

OPTOELECTRONICA.

CURSO
OPTOELECTRONICA
ING. ALFONSO PEREZ GARCIA.

PROGRAMA.....	10
CONCEPTOS BASICOS (UNIDAD 1)	12
Como trabaja la luz.(1.1).....	13
Formas de pensar acerca de la luz.	13
¿Que es la luz? (1.3)	14
Produciendo un fotón.....	15
Haciendo colores	17
Cuando la luz golpea un objeto	19
Arco-iris en las Pompas de Jabón.....	22
Como trabaja la visión	23
Anatomía Básica	23
Percibiendo la luz	26
Visión de Color.....	28
Ceguera al color.....	29
Deficiencia de Vitamina A.....	29
Refracción	29
Visión Normal	30
Errores de refracción	31
Astigmatismo.....	32
Percepción profunda	32
Ceguera	33
Unidades de medición (1.4).....	34
Lentes (1.5)	38
Introducción	38
Propiedades de los lentes.....	38
Imágenes y trazado de rayos	39
Recolección de luz	39
Aberraciones.....	40
Aberración cromática.....	40
Aberración esférica	40
Coma.....	40
Astigmatismo.....	40
Minimizando las aberraciones.	40
Nuevos materiales semiconductores, (1.6)	41
Características y propiedades.....	41
Introducción	41
REFERENCIAS.....	43
OTRAS REFERENCIAS	44
AUTORES Y MAGAZINES.....	44
SENSORES OPTOELECTRONICOS Y TRANSDUCTORES (UNIDAD 2).....	45

¿Que es una celda fotoconductiva? (2.2)	46
Aplicaciones típicas de celdas fotoconductivas	48
¿Porque usar foto celdas?	48
Aplicaciones	48
Aplicaciones análogas	48
Aplicaciones digitales	49
Seleccionando una foto celda	50
Criterio de rendimiento	51
Sensitividad	51
Respuesta a la longitud de onda	52
Características de pendiente	53
Tolerancia de la resistencia	53
Resistencia de oscuridad	54
Coeficiente de temperatura de la resistencia	54
Velocidad de respuesta	55
Historial de luz	55
Consideraciones de Empaquetamiento, Circuitería y Ambiente	56
Rango de temperatura	56
Disipación de potencia	56
Voltaje máximo de la celda	57
¿Qué tipo de material es el mejor?	57
Curvas características típicas de una foto celda	58
Material tipo 0 a 25 ° C	58
Material tipo 3 a 25 ° C	60
Notas generales y pruebas de celdas fotoconductivas	62
Una iniciación a la tecnología de los fotodiodos. (2.3)	63
Construcción del fotodiodo	63
Aproximaciones de Corriente de corto circuito	65
Varias fuentes de luz	65
Polaridad del fotodiodo	65
Sensibilidad del fotodiodo.(R)	66
Respuesta espectral	66
Linealidad	67
Eficiencia Quantum (Q.E.)	67
Efectos de temperatura	68
Potencia Equivalente de Ruido (NEP)	69
Tiempo de subida (tr)	71
Voltaje inverso máximo (Vr)	71
Tiempo de respuesta	71
Circuitos de operación equivalentes	72
Operación fotovoltaica - $R_l \gg R_d$, línea de carga (a).	73
Operación de polarización cero - $R_l \ll R_d$, línea de carga (b)	74
Operación foto conductiva - línea de carga (c)	74

Amplificadores híbridos.....	76
Capacitancia de la unión.....	76
Teoría y características de los foto transistores.(2.4)	77
Introducción.....	77
Historia.....	77
Efecto fotoeléctrico en barras de cristal semiconductor.....	77
Uniones tipo PN	80
El foto transistor.....	83
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS ESTATICAS DEL FOTO TRANSISTOR. ..	86
Respuesta espectral.....	86
Alineación angular.....	86
Respuesta de temperatura color.....	88
Coefficiente de temperatura de I_p	89
Características de colector.....	89
Capacitancia.....	91
Características dinámicas del foto transistor.....	92
Linealidad.....	92
Respuesta de frecuencia.....	92
Figura de ruido.....	93
Parámetros H de pequeña señal.....	93
Características de conmutación del foto transistor.....	96
Velocidad de conmutación.....	96
Voltaje de saturación.....	98
Aplicaciones de los foto transistores.....	100
Conclusión	103
Apéndice I.....	104
Apendice II definiciones optoelectrónicas.....	107
Bibliografía y Referencias.....	108
Referencias.....	109
Otras Referencias	109
Autores Y Magazines	109
Como trabajan los diodos emisores de luz. (2.6)	110
¿Que es un diodo?	110
¿Cómo puede un diodo producir luz.?	113
Introducción.....	116
Una breve historia de los LEDS.....	116
¿Quién fabrica LEDS?	117
El C.I.E., Lúmenes y Candelas.....	117
¿Qué son los leds?	119
Construcción de un display de LEDS Numérico y alfanumérico.(2.8)...	121
Características eléctricas y ópticas del LED.....	124

Excitando a los LEDES – excitación estática y multiplexada.....	125
Expectativa de vida útil del LED.	127
Leds azules y blancos.	127
Aplicaciones recientes para los LEDES.	127
Aplicaciones Futuras de los LEDES.	129
Comparación de Tecnologías de display.....	129
Revolucionando la luz: LEDES, ELDS, y OLEDS.....	131
"PAPEL ELECTRONCO " Diodos emisores de luz orgánicos.....	139
Todo esta en la forma en que vemos las cosas:	139
¿Que es un diodo emisor de luz orgánico (OLED)?.....	140
Como trabajan:.....	142
Ventajas:	142
Desventajas:.....	143
El panorama futuro:	143
Resumen.....	144
Una iniciación a la tecnología del OLED.....	145
Diodos Emisores De Luz Orgánicos (OLED).....	145
Como trabajan los LCD (2.9)	150
Cristales líquidos.	150
Cristales líquidos Fase Nematica.....	151
Tipos de cristal líquido.....	151
Creando un LCD.....	152
Construyendo tu propio LCD.	154
Backlit vs. Reflectivo.	154
Sistemas LCD.....	155
Historia del LCD.....	155
Matriz Pasiva.	156
Matriz Activa.....	158
Color	158
Avances en LCD.	158
REFERENCIAS	159
OTRAS REFERENCIAS	159
AUTORES Y MAGAZINES	160
OPTOACOPLADORES (UNIDAD 3).....	161
OPTO ACOPLADORES.....	162
FUNCIONES	162
Respuesta espectral del silicio.	162
CONSTRUCCIÓN (3.1)	163
PRINCIPIO DE OPERACIÓN (3.2).....	163
SALIDA FOTO DIODO.....	163

SALIDA FOTO TRANSISTOR.....	164
SALIDA FOTO DARLINGTON.....	165
SALIDA FOTO SCR.	165
OPTO ACOPLADOR DE SLOTT.	166
APLICACIONES.	166
Especificaciones (3.3).....	168
Descripcion del Producto.....	168
Diagrama del paquete.	168
Valores maximos absolutos.....	168
Consideraciones de Temperatura.....	168
Valores de la seccion de entrada.....	168
Valores de la seccion de salida.	168
Características eléctricas de la entrada.....	169
Características eléctricas de la salida.....	169
REFERENCIAS.	170
OTRAS REFERENCIAS.	170
AUTORES Y MAGAZINES.	170
CELIDAS SOLARES (UNIDAD 4)	171
Como trabajan las celdas solares.	172
Convirtiendo Fotones a Electrones.....	172
El silicio en las celdas solares.....	173
Cuando la luz golpea la celda. (4.2)	174
Perdida de energía.	175
Terminando la celda. (4.1)	176
Alimentando a una casa.	177
Obstáculos.	177
Baterías (4.3)	178
REFERENCIAS.....	180
OTRAS REFERENCIAS	180
Mas ligas importantes!	180
AUTORES Y MAGAZINES.....	180
Acerca del Autor:	180
LASER (UNIDAD 5)	181
Como trabaja el LASER. (5.1)	182
Las bases de un átomo.	182
Energía de absorción:.....	183
La conexión Láser/Átomo.	184
Láser de Rubí.....	185
Láser de tres niveles. (5.2).....	187
Tipos de Láser. (5.2).....	188

Clasificaciones de Láser. (5.2)	189
Que es un láser y como trabaja. (5.1)	190
Una breve introducción a los láser, sus principios y estructura.	190
La era láser.	190
Características Generales de los Lasers	191
Operación básica de los láser	194
Introducción a los láseres en línea	195
Características de algunos láser comunes	199
Los diodos láseres.	199
Calidad del haz.	199
Potencia	199
Aplicaciones	199
Costo	199
Comentarios	199
Láseres de Helio-Neón (HeNe)	200
Longitudes de onda	200
Calidad del Haz	200
Los mas grandes y los mas pequeños láser	202
Guía para los aficionados y experimentadores.	203
¿por qué la gente se involucra con los láser?	203
Láser Comercial Versus Construcción de láser Amateur.	204
Comentarios generales sobre el láser como Hobby	204
Base de datos de equipo que contiene láser interesantes.	205
GLOSARIO.	206
Láser	206
Inversión de población.	206
Monocromático.	206
Coherencia.	206
Fase.	206
Onda incoherente.	207
Holografía.	207
Láser de Argón.	207
REFERENCIAS	207
OTRAS REFERENCIAS	208
AUTORES Y MAGAZINES	208
SENSORES DE IMAGEN (UNIDAD 6)	209
Tecnología de CCD, Resumen técnico. (6.1)	210
Introducción	210
Arquitectura CCD de Kodak.	210
Arreglos lineales	210
Sensor trilineal.	211
Transfer interlínea.	211
Cuadro completo.	211

Incrementando la respuesta del canal azul.....	211
Sensores CCD y Captura de imagen.	211
Convirtiendo la luz en una carga eléctrica.	212
Técnicas de transferencia de carga.	212
Otros formatos de archivo.....	212
Fundamentos.	212
El archivo TIFF.	213
El archivo PICT.	213
El archivo EPS.	213
El archivo GIF.	214
El archivo JPEG.	214
El archivo Photoshop	214
El archivo IVUE.	215
Un día en la vida de un usuario común de archivos de imagen.....	215
Fundamentos de imágenes digitales.	216
La imagen digital.....	216
Gráficos de vector y rastreados.....	218
Calidad de la imagen.	220
Captura.....	223
Diferencia entre un sensor CCD y uno CMOS (6.2).....	224
Las siguientes ligas te ayudaran a aprender mas:	225
Glosario.....	225
REFERENCIAS.....	227
Mayor información sobre formatos Gráficos	228
FIBRAS OPTICAS (UNIDAD 7)	229
Como trabajan las fibras ópticas.	230
¿Qué son las fibras ópticas?	230
¿Cómo transmite luz una fibra óptica?.....	231
Diagrama de reflexión total interna en una fibra óptica.	231
Un sistema de relevo de fibra óptica.	232
Transmisor.....	232
Regenerador óptico.	232
Receptor óptico.	233
Ventajas de la fibra óptica.....	233
¿Cómo se hacen las fibras ópticas?	234
Haciendo el blank preformado.	234
Dibujando las fibras desde el blank preformado.....	235
Probando la fibra óptica terminada.....	235
Física de la reflexión interna total.....	236
Bibliografía y Referencias.....	237
REFERENCIAS.....	237

OTRAS REFERENCIAS	237
Artículos relativos de "HowStuffWorks"	237
Mas ligas interesantes.	237
Corning Optical Fiber	237
Reflexión interna total.	238
AUTORES Y MAGAZINES.....	238

PROGRAMA.

S.E.P. DIRECCIÓN GENERAL DE INSTITUTOS TECNOLÓGICOS S.E.I.T

1. IDENTIFICACION DEL PROGRAMA DESARROLLADO POR UNIDADES DE APRENDIZAJE.

NOMBRE DE LA ASIGNATURA:	OPTOELECTRONICA (4-2-10).
NIVEL:	LICENCIATURA.
CARRERA:	INGENIERIA ELECTRONICA.
CLAVE:	ECC 9340

NUMERO	TEMA	SUBTEMAS:		DURACION	EVAL.
I	Conceptos Básicos.	1.1 Introducción. 1.2 Definiciones básicas. Luz, luz visible, Luz infrarroja, flujo luminoso, etc.	1.3 Espectro electromagnético, luz y frecuencia. 1.4 Unidades de medición. 1.5 Lentes. 1.6 Materiales semiconductores.	4 SEMANAS	100% EE
II	Transductores Opto electrónicos.	2.1 Sensor de luz. 2.2 Fotoconductor de una pieza (Fotorresistencia). 2.3 Fotodiodo. 2.4 Fototransistor.	2.5 Foto tiristor. 2.6 Led's. 2.7 Irled's. 2.8 Displays. 2.9 Display LCD. 2.10 Relación señal/ruido.	3 SEMANAS	100% EE
III	Opto acopladores.	3.1 Construcción. 3.2 Clasificación.	3.3 Características eléctricas. 3.4 Aplicaciones.	2 SEMANAS	100% EE
IV	Celdas Solares.	4.1 Construcción. 4.2 Efecto fotovoltaico.	4.3 Baterías y acumuladores.	1 SEMANA	100% EE
V	Láser.	5.1 Principio básico. 5.2 Clasificación y construcción.	5.3 Aplicaciones.	2 SEMANAS	100% EE
VI	Sensores de Imagen.	6.1 Principios. 6.2 Clasificación.	6.3 Aplicación.	2 SEMANAS	100% EE
VII	Fibras Ópticas.	7.1 Principios básicos. 7.2 Construcción.	7.3 Modulas de transmisión y recepción. 7.4 Aplicaciones.	1 SEMANA	100% EE

BIBLIOGRAFIA.

AUTOR	TITULO	EDITORIAL
	WWW.HOWSTUFFWORKS.COM	
	OPTOELECTRONICS DATA BOOK	LITEON
	OPTOELECTRONICS DATA BOOK	MOTOROLA
	Pagina web de EG&G	
	Pagina web de LITEON	
	Pagina web de HAMAMATSU	www.hamamatsu.com
	Pagina web de TAOS	www.taos.com
	Pagina web de PERKIN ELMER	
	DATA BOOK de OPTEK	OPTEK
	Pagina web de Fairchild Semiconductors	
	Pagina de PHOTONICS Magazine	
	Pagina web de Edmund Scientific	www.edmundoptics.com
	Pagina de OSI Optoelectronics	www.osioptoelectronics.com

Practicas.

Practica No.	Descripción.	Unidad.
1	COLORES PRIMARIOS	I
2	FOTORESISTENCIA CON LUZ VISIBLE	II
3	FOTORESISTENCIA CON LUZ INFRAROJA	II
4	CURVA CARCTERISTICA DEL LED	II
5	DISPLAY DE 7 SEGMENTOS	II
6	DISPLAY MATRICIAL DE 7X5	II
7	DISPLAY ALFANUMERICO	II
8	DISPLAY DE CRISTAL LIQUIDO	II
9	OPTOACOPLADOR APLICACIÓN ANALOGA	III
10	OPTOACOPLADOR APLICACIÓN DIGITAL	III
11	CELDA SOLAR	IV
12	FIBRA OPTICA ANALOGA	VII
13	FIBRA OPTICA DIGITAL	VII

CONCEPTOS BASICOS (UNIDAD 1)

1.1 Introducción.

1.2 Definiciones básicas. Luz, luz visible, Luz infrarroja, flujo luminoso, etc.

1.3 Espectro electromagnético, luz y frecuencia.

1.4 Unidades de medición.

1.5 Lentes.

1.6 Materiales semiconductores.

Como trabaja la luz.(1.1)

Por: Craig Freudenrich, Ph.D. ^[Autor1]

Traducción de: Ing. Alfonso Pérez García.

Nosotros vemos cosas todos los días, desde el momento en que nos levantamos cada mañana hasta que nos acostamos por la noche. Nosotros vemos todo lo que nos rodea usando la luz. Apreciamos los dibujos de los niños, los oleos clásicos, los gráficos de computadora, los impresionantes y hermosas puestas de sol, el cielo azul, las estrellas fugaces y el arco iris. Confiamos en el espejo para vernos presentables. ¿Pero alguna vez te has detenido a pensar que cuando vemos alguna de estas cosas no estamos conectados directamente a ellas? Lo estamos de hecho viendo la luz — luz que un tanto, deja que los objetos cercanos o lejanos alcancen nuestros ojos. Luz es todo lo que nuestros ojos realmente pueden ver.

La otra forma en que encontramos a la luz es en dispositivos que la generan — lámparas incandescentes, lámparas fluorescentes, Lasers, luciérnagas, el sol. Cada uno de ellos utiliza diferente técnica para generar los fotones

En esta edición de "How stuff works" ^[1] echaremos una mirada a la luz desde diferentes ángulos para mostrar como trabaja exactamente.

Formas de pensar acerca de la luz.

Probablemente has escuchado hablar acerca de la luz de dos formas diferentes:

Existe la teoría de la "partícula", expresada en parte por la palabra **fotón**. Y la teoría de la "onda", expresada por el termino, **onda de luz**.

Desde los antiguos griegos, la gente ha conceptualizado la luz como un chorro de pequeñas **partículas**. Después de todo la luz viaja en línea recta y rebota en un espejo igual que lo hace una pelota en una pared. Nadie en la actualidad ha visto partículas de luz, pero aun ahora es fácil explicar porque puede ser. Las partículas pueden ser tan pequeñas o moverse tan rápido que no podemos apreciarlas o quizás nuestros ojos ven a través de ellas.

La idea de la onda de luz viene de **Christian Huygens**, quien propuso a finales de los 1600 que la luz se comportaba como una onda mas que como un chorro de partículas. En 1807 **Thomas Young** apoyo la teoría de Huygens, mostrando que cuando la luz pasa por una apertura muy pequeña, puede difundirse, e interferir con el paso de la luz a través de otra apertura.

Young hizo brillar una luz a través de una delgada ranura, lo que él vio fue una brillante barra de luz que correspondía justo a la delgada ranura, pero eso no fue todo lo que él vio, Young también percibió una luz adicional no tan brillante en el área alrededor de la barra, si la luz fuera un chorro de partículas, esta luz adicional no debería de estar allí. Este experimento sugiere que la luz se **dispersa** como una onda, de hecho un haz de luz se dispersa todo el tiempo.

Albert Einstein presento la teoría de la luz más adelante en 1905, Einstein consideraba **el efecto fotoeléctrico**, en el cual la luz ultravioleta golpea una superficie y causa que se emitan algunos electrones de la superficie. La explicación de Einstein para esto fue que la luz puede estar hecha de un chorro de paquetes de energía llamados **fotones**.

Los físicos modernos creen que la luz puede comportarse como ambos una partícula y una onda, pero también reconocen que también este es una explicación muy simple para algo mucho más complejo. En este artículo hablaremos de la luz como una onda, dado que esta nos da la mejor explicación para la mayoría de los fenómenos que nuestros ojos pueden ver.

¿Que es la luz? (1.3)

¿Porque es que un haz de luz se dispersa, ¿cómo lo probó Young? ¿Qué está pasando realmente? Para comprender las ondas de luz, nos ayudara comenzar a discutir con una clase de onda más familiar—la que vemos en el agua. Un punto clave que debemos tener en mente acerca de la onda en el agua es que no está hecha de agua; la onda está hecha de **energía** viajando a través del agua. Si una onda se mueve de izquierda a derecha en una alberca, el agua permanece en donde está, no significa que el agua de la izquierda se mueva hacia la derecha, el agua ha permanecido donde está, es la onda la que se ha movido. Cuando tu mueves tu mano en una bañera llena de agua, tú haces una onda porque estás poniendo tu energía en el agua. La energía viaja a través del agua en la forma de una onda.

Todas las ondas son energía que viaja, y generalmente se mueven a través de un medio, tal como el agua. Podrás ver un diagrama de una onda de agua en la **figura 1**. Una onda de agua consiste de moléculas de agua que vibran arriba y abajo en ángulos rectos a la dirección de la onda. Este tipo de ondas es llamado **onda transversal**.

Las **ondas de luz** son un tanto más complicadas, y no necesitan de un medio para viajar, pueden viajar a través del vacío. Una onda de luz consiste de energía en la forma de un campo eléctrico y magnético. Los campos vibran en ángulos rectos a la dirección del movimiento de la onda, y en ángulos rectos uno de otro, debido a que la luz tiene ambos, campos eléctrico y magnético, también conocidos como **radiación electromagnética**.

Las ondas de luz vienen en diferentes tamaños, el tamaño de una onda es medido como su **longitud de onda**, la cual es la distancia entre dos puntos correspondientes de una onda sucesiva, generalmente de pico a pico o de valle a valle (figura1). Las longitudes de onda de la luz que podemos ver están en el rango de 400 a 700 mil millonésima de un metro (nanómetros), pero el rango completo de longitudes de onda incluidos en la definición de radiación electromagnética se extiende desde una mil millonésima de metro, como los rayos gamma, a los centímetros y metros tal como las ondas de **radio**. ^[2] La luz es solo una pequeña parte del espectro.

Las ondas de luz también vienen en muchas frecuencias, la **Frecuencia** es el número de ondas que pasan por un punto en el espacio durante un intervalo de tiempo cualquiera, generalmente un segundo. Esta medida en unidades de ciclos por segundo (ondas) o Hertz (Hz). La frecuencia de la **luz visible** es conocida como **color**, y su rango está de los 430 tera hertz, visto como el rojo hasta los 750 tera hertz visto como el violeta. Una vez más el rango de frecuencias se extiende más allá del espectro visible, desde 1 giga hertz, como las ondas de radio hasta más allá de 3000 tera hertz como los rayos gamma.

Como se apunto anteriormente, las ondas de luz son ondas de energía. La cantidad de energía en una onda de luz esta relacionada proporcionalmente a su frecuencia: La luz de alta frecuencia tiene alta energía; la luz de baja frecuencia tiene baja energía. Es así que los rayos gamma tienen la energía más alta, y las ondas de radio tienen la más baja. De la luz visible, el **violeta** tiene la más alta energía y el **rojo** la menor.

La luz no solo vibra a diferentes frecuencias, también viaja a diferentes velocidades. La luz viaja a su máxima velocidad en el vacío, **300,000 kilo metros por segundo** o 186,000 millas por segundo, lo cual hace que la luz sea el fenómeno más rápido del universo. Las ondas de luz disminuyen su velocidad cuando entran en una sustancia, como el aire, el agua, el vidrio o un **diamante** [3]. La forma en que las diferentes sustancias afectan la velocidad a la cual viaja la luz es la clave para comprender la deflexión de la luz o su refracción, lo cual discutiremos mas adelante.

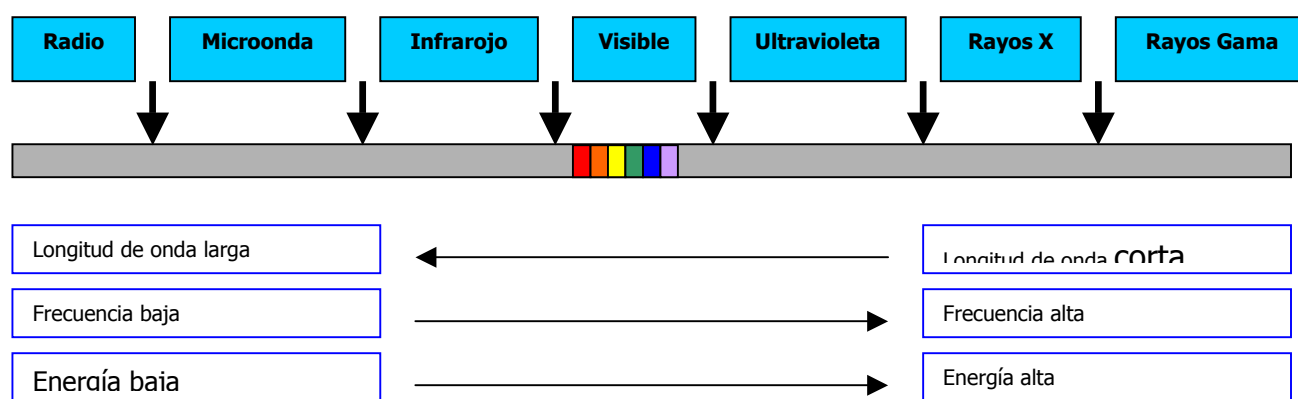


Figura 2

Así la luz viene en una continua variedad de tamaños, frecuencias y energías, a esta continuidad nos referimos como el **espectro electromagnético** (figura 2), la figura 2 no está dibujada a escala, y la parte de luz visible ocupa solo una milésima de porcentaje del espectro.

Produciendo un fotón.

Cualquier luz que tú ves está hecha de una colección de uno o más fotones propagándose a través del espacio como ondas electromagnéticas. En total oscuridad nosotros podemos ver simples fotones, pero usualmente lo que vemos en la vida diaria viene a nosotros en forma de infinidad de fotones producidos por fuentes de luz y reflejados por los objetos. Si tú miras por tu derecha en este momento, es probable que una fuente de luz en la habitación produzca fotones y los objetos que reflejan esos fotones. Tus ojos **absorben** algunos de los fotones que fluyen a través del cuarto y de esta manera es como los ves.

Existen muchas maneras diferentes de producir un fotón, pero todas ellas utilizan el mismo mecanismo dentro de un **átomo** [4] para hacerlo. Este mecanismo involucra la excitación de los **electrones** que orbitan el núcleo del átomo. El artículo "How Nuclear Radiation Works" [5] describe en detalle a los protones, neutrones y electrones. Por ejemplo los átomos de hidrógeno tienen un electrón orbitando el núcleo, el helio tiene dos electrones orbitando su núcleo, el aluminio tiene 13 y así cada material tiene sus electrones orbitando sus núcleos.

Los electrones circulan al núcleo en **orbitas fijas** –una forma simple de pensar sobre ello es imaginárselos como los **satélites** ^[6] que orbitan la tierra. Hay una gran cantidad de teorías acerca de los orbitales de los electrones , pero para comprender el tema de la luz solo hay un factor clave que entender. Un electrón tiene una orbita natural la cual ocupa pero si tu **excitas** al átomo puedes mover sus electrones a orbitales más altos. Un fotón se produce cuando un electrón en una orbita más alta que su orbita normal, regresa a su orbita normal. Durante la caída de una alta energía a su energía normal, el electrón emite un fotón – un paquete de energía con características muy específicas. El fotón tiene una frecuencia o color que es exactamente la distancia que el electrón cayo.

Existen casos cuando puedes ver claramente este fenómeno. Por ejemplo en lotes de fabricas y estacionamientos tú puedes ver las **luces de vapor de sodio**. Tu puedes decir que son de vapor de sodio porque son de un amarillo intenso cuando las ves. Una luz de vapor de sodio excita los átomos del sodio para generar fotones. Un átomo de sodio tiene 11 electrones y debido a la forma en que están acomodados en las orbitas uno de esos electrones es propenso a aceptar y emitir energía (este electrón es llamado electrón 3s y es explicado en esta pagina de **internet** ^[7]). Los paquetes de energía que probablemente más emiten estos electrones caen alrededor de los 590 nanómetros de longitud de onda. Esta longitud de onda corresponde a la luz amarilla. Si tú haces pasar la luz de sodio a través de un prisma no veras el arco iris sino dos líneas amarillas.

Probablemente la manera más común de excita un átomo es con calor y esta es la base de la **incandescencia**. Si se calienta una herradura con una antorcha, eventualmente se pondrá al rojo vivo y si la calientas lo suficiente esta podrá llegar al rojo blanco. El rojo es la luz de energía más baja que se puede ver, así en un objeto al rojo vivo sus átomos tienen apenas la energía suficiente para comenzar a emitir luz que puedas ver. Una vez que tu aplicas suficiente calor para producir luz blanca, estas excitando tantos electrones de muchas maneras diferentes que todos los colores se están generando –los cuales se juntan o mezclan para verse como blanco, como se explicara en una de las secciones más adelante.

El calor es la manera más común de ver luz generada –un foco normal de 75 watts genera luz usando la electricidad para crear calor. Sin embargo existen muchas otras maneras de generar luz, algunas de las cuales se listan a continuación:

Lámparas de halógeno – Las **lámparas de halógeno** ^[8] usan electricidad para generar calor, beneficiándose de una técnica que le permite al filamento ir a temperaturas mayores.

Linternas de gas – Una **linterna de gas** ^[9] usa como combustible el gas natural o keroseno como su fuente de calor.

Luces fluorescentes – Las **luces fluorescentes** ^[10] utilizan la electricidad para directamente energizar los átomos mas que calentarlos.

Lasers – los **Lasers** ^[11] utilizan energía para bombear un medio emisor de luz coherente y que todos los átomos empujen su energía con la misma longitud de onda y fase.

Juguetes que brillan en la oscuridad – En un **juguete que brilla en la oscuridad** ^[12] los electrones son empujados a un nivel de energía mas bajo en un periodo de tiempo mas prolongado de manera tal que el juguete puede brillar por espacio de una media hora.

Relojes indigo – En los **relojes Indigo** ^[13] el voltaje energiza los átomos de fósforo.

Palitos de luz químicos – Un palito de luz químico y por cierto las **luciérnagas** ^[14] usan una reacción química para energizar los átomos.

La parte importante a notar de esta lista es que cualquier cosa que produzca luz, lo hace a partir de excitar los átomos de alguna forma.

Haciendo colores

La luz visible es luz que puede percibir el ojo humano. Cuando tú ves la luz del sol, aparentemente **no tiene color**, a lo cual llamamos luz **blanca**. Aun cuando podemos ver la luz, el blanco nos es considerado parte del espectro visible (figura 2). Esto se debe a que la luz blanca no es una luz de un solo color o frecuencia, sino que esta hecha de muchos colores, de muchas frecuencias. Cuando la luz del sol pasa a través de un vaso con agua y se refleja finalmente en la pared podemos ver un arco-iris. Esto no sucedería a menos que la luz blanca fuera una mezcla de todos los colores del espectro visible. **Isaac Newton** fue la primera persona en demostrar esto, Newton hizo pasar la luz solar a través de un prisma para separar los colores en un espectro, y posteriormente hizo pasar luz solar a través de un segundo prisma y combinó los dos arco-iris produciendo así luz blanca. Esto probó concluyentemente que la luz es una mezcla de colores o una mezcla de luces de diferentes frecuencias. La combinación de todos los colores en el espectro visible produce una luz que no tiene color, o luz blanca.

Los colores aditivos – tu puedes hacer un experimento similar con tres lámparas destellantes y tres colores diferentes de celofán – rojo, verde y azul (comúnmente conocidos como RGB). Cubre una lámpara con uno o dos hojas de celofán rojo y asegúralo con una liga (no uses muchas hojas o bloquearas la luz de la lámpara), cubre otra mas con celofán azul y la tercera con celofán verde, ve a un cuarto oscuro, enciende las luces y proyéctalas contra la pared de forma que los haces se4 traslapen como se muestra en la **figura 3**.

Donde se intersectan el rojo y el azul tú veras el **magenta**, donde se intersectan rojo y verde tú veras el **amarillo** y donde se intersectan el verde y el azul veras el **cyan**. Notaras que la luz blanca se puede obtener combinando el **amarillo con el azul**, el **magenta con el verde** y el **cyan con el rojo**, o con la mezcla de los **tres colores juntos**.



Figura 3

Mezclando varias combinaciones de luz rojo, verde y azul se pueden hacer todos los colores del espectro visible. Así es como trabajan los monitores de computadora (monitores RGB) y producen los colores.

Los colores subtractivos – Otra forma de hacer los colores es absorber alguna de las frecuencias de luz y removerla de la combinación de luz blanca. Los colores absorbidos son aquellos que no podrás ver – solo podrás ver los que rebotan a tu vista. Esto es lo que sucede con las pinturas y colorantes, la pintura o moléculas colorantes absorben frecuencias específicas y rebotan o **reflejan** las otras frecuencias a tu vista. La frecuencia reflejada (o frecuencias) es lo que tú ves como el color del objeto, por ejemplo las hojas de una planta verde contienen un pigmento llamado **clorofila**, el cual absorbe los colores rojo y azul del espectro y reflejan el verde.

A continuación un experimento que puedes hacer en casa. Tomen una banana y el celofán azul con la lámpara destellante que hiciste anteriormente y ve al cuarto oscuro e ilumina con la luz la banana; ¿cuál color crees que obtendrás? ¿Qué color es?. Si tu iluminas la banana amarilla con la luz azul, el amarillo absorberá la frecuencia azul y debido a que el cuarto es oscuro no habrá luz amarilla reflejada a tu vista y por lo tanto la banana se vera negra.

De esta manera si tu tienes tres pigmentos Magenta, Cyan y Amarillo y dibujas tres círculos con estos colores como se muestra en la **figura 4** tú veras que donde dibujaste con la combinación de Magenta y Amarillo el resultado será rojo, mezclando el Cyan con Amarillo obtendrás el verde y mezclando Cyan con Magenta obtendrás el azul. El negro es un caso especial en cual todos los colores se absorben. Tu puedes crear negro combinando Amarillo y Azul, Cyan y Rojo o Magenta y Verde, estas combinaciones en particular te aseguran que no habrá frecuencias de luz visible reflejándose a tu vista.



Figura 4

Aparentemente el esquema de colores mostrado en la figura 4 va en contra de lo que aprendiste con tu maestra de pintura acerca de mezclar colores, ¿no es cierto?. Si tú mezclas los crayones amarillo y azul tu obtienes verde y no negro, esto es porque los **pigmentos artificiales** como los crayones no son absorbedores perfectos – ellos absorben todos los colores excepto uno. Un crayón “amarillo” absorbe el azul y el violeta pero refleja el rojo naranja y verde. Un crayón “azul” puede absorber el rojo, naranja y amarillo mientras que refleja el azul, violeta y verde. De esta manera cuando tú combinas los crayones, se absorben todos los colores excepto el verde. Por tanto tu ves la mezcla como verde en vez del negro como se demostró en la figura 4.

De esta forma existen dos formas básicas de poder ver los colores, o bien un objeto puede directamente **emitir** las ondas de luz en las frecuencias de la luz observada, o puede **absorber** todas las frecuencias reflejando solo la onda de luz o combinación de ondas de luz que se ven como el color observado. Por ejemplo si vemos un objeto amarillo, o bien el objeto esta emitiendo directamente ondas de luz en la frecuencia del amarillo, o esta absorbiendo la parte azul del espectro y reflejando la parte roja y verde a tu vista, el cual percibe la mezcla como amarillo.

Cuando la luz golpea un objeto

Cuando una onda de luz golpea un objeto lo que pasa depende de la energía de la onda de luz, la frecuencia natural a la que vibran los electrones en el material y la fuerza con la que los átomos del material sostienen sus electrones. Basados en estos tres factores, pueden pasar 4 cosas cuando la luz golpea un objeto.

Las ondas pueden ser **reflejadas o dispersadas** fuera del objeto

Las ondas pueden ser **absorbidas** por el objeto

Las ondas pueden ser **refractadas** a través del objeto

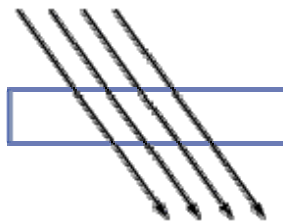
Las ondas pueden **pasar a través** del objeto sin ningún efecto

Y más de una de estas opciones puede pasar al mismo tiempo. Las siguientes 5 ilustraciones muestran estas posibilidades, con la reflexión y dispersión ilustradas de forma separada.

Transmisión — Si la frecuencia o energía de la onda de luz que llega es mucho más alta o mucho más baja que la frecuencia necesaria para hacer que los electrones en el material vibren, entonces los electrones no captarán la energía de la luz y la onda pasará a través del material sin ser afectada. Como resultado, el material será transparente a dicha frecuencia de la luz.

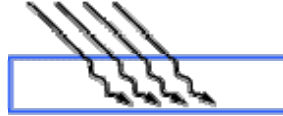
La mayoría de los materiales son transparentes a alguna frecuencia pero no a otras, por ejemplo la luz de alta frecuencia tal como los rayos gamma, pasará a través del vidrio ordinario, pero la luz de baja frecuencia como el ultravioleta o el infrarrojo no pasaran.

Tu podrás leer más acerca de lo que hace al vidrio transparente en [esta página \[15\]](#).



Absorción – En la absorción, la frecuencia de la onda de luz que llega esta en o muy cerca de la frecuencia de vibración de los electrones del material. Los electrones toman la energía de la onda de luz y comienzan a vibrar. Lo que pasa a continuación depende de que tan sujetos tenga el átomo sus electrones. La absorción ocurre cuando los electrones están fuertemente sujetos y pasan la vibración a través de los núcleos atómicos. Esto hace que los átomos aumenten su velocidad y colisionen con otros átomos en el material y produzcan calor de la energía que adquirieron de la vibración.

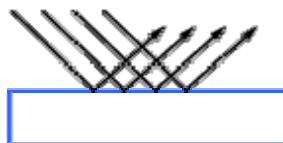
La absorción de luz hace que un objeto se vea oscuro u opaco a la frecuencia de la onda de luz que llega, la madera es opaca a la luz visible. Algunos otros materiales son opacos a algunas otras frecuencias de luz pero transparentes a otras. El vidrio es opaco para la luz ultravioleta pero transparente para la luz visible.



Reflexión y Dispersión: Los átomos en algunos materiales sostienen sus electrones muy ligeramente, en otras palabras estos materiales tienen muchos electrones libres que fácilmente pueden pasar de un átomo a otro dentro del material. Cuando los electrones de este tipo de materiales absorben la energía de una onda de luz que le llega, estos no pasan la energía de un átomo a otro. Los electrones energizados simplemente vibran y sacan la energía fuera del material como una onda de luz de la misma frecuencia de la onda de luz que llegó. Al final el efecto es que la onda de luz no penetra profundamente dentro del material.

En la mayoría de los metales los electrones se sostienen ligeramente, y son fáciles de mover, así estos materiales reflejan la luz visible y estos parecen ser brillantes. Los electrones en el vidrio tienen algo de libertad pero no tanta como los metales. Con un grado menor el vidrio también refleja la luz y parece menos brillante.

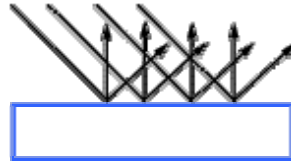
Una **onda reflejada** siempre llega y sale de la superficie de un material en un ángulo igual al ángulo con que incidió al golpear la superficie. En física esto es llamado la **ley de reflexión**. Probablemente has escuchado sobre la definición de la ley de reflexión como "el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión".



Puedes ver por ti mismo que la luz reflejada tiene la misma frecuencia que la luz que llegó, solo tienes que mirarte en un espejo. Los colores que ves en el espejo son los mismos que tú ves cuando te miras directamente. Los colores de tu camisa, pelo son los mismos que se reflejan en el espejo, si no fuera verdad tendríamos que confiar totalmente en la gente que nos diría como nos vemos.

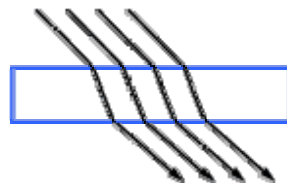
Dispersión es simplemente la reflexión de una superficie rugosa, la luz que llega es reflejada en todas direcciones y ángulos debido a que la superficie es dispereja. La superficie del papel es un buen ejemplo. Tu puedes ver que tan rugosa es si la miras con un microscopio. Cuando la luz golpea el papel las ondas son reflejadas en todas direcciones. Esto es lo que hace increíblemente útil al papel – tu puedes leer las palabras escritas en una página impresa sin importar el ángulo al cual están viendo tus ojos sobre la superficie.

Otra superficie interesante es la de la atmósfera de la tierra. Posiblemente no te imaginas la atmósfera como una superficie, pero lo es, no importa que sea rugosa para la luz blanca que llega. La atmósfera contiene muchas clases de moléculas de diferentes tamaños que incluyen el nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y otros contaminantes, esta variedad dispersa las ondas de luz de alta energía, aquellas que vemos como luz azul, es por eso que el cielo luce azul.



Refracción – La refracción ocurre cuando la energía de una onda que llega iguala a la frecuencia natural de vibración de los electrones del material, la onda de luz penetra profundamente en el material y causa pequeñas vibraciones de los electrones. Los electrones pasan estas vibraciones a los átomos del material y estos envían ondas de luz de la misma frecuencia que la onda de luz que llego, pero todo esto lleva un tiempo. La parte de la onda dentro del material se frena, mientras que la onda fuera del material mantiene su frecuencia original. Esto tiene el efecto de doblar la porción de la onda que está dentro del objeto hacia lo que se conoce como la **línea normal**, una línea imaginaria recta que corre perpendicular a la superficie del objeto. La desviación de la línea normal de la luz dentro del objeto será menor que la desviación de luz antes de entra al objeto.

La cantidad de desviación o **ángulo de refracción** de la onda de luz depende de que tanto frena la luz el material. Los diamantes no serían tan destellantes si no frenaran la luz que les llega mucho más, digamos que lo que el agua lo hace. Los diamantes tienen el **índice de refracción** más grande que el del agua por lo cual digamos que frena la luz en un grado mayor.



Una nota interesante acerca de la refracción es que luces de diferentes frecuencias, o **energías** se desviarán ligeramente a ángulos diferentes. Comparemos la luz violeta y la luz roja cuando pasan por un prisma, debido a que la luz violeta tiene mas energía le toma mas interactuar con el vidrio, así pues es frenada en una extensión mayor que una onda de luz roja y será desviada en un grado mayor. Esto cuenta par el orden de los colores que vemos en el arco-iris y es también lo que le da al diamante los finos arco-iris que lo hacen tan placentero a la vista.

Arco-iris en las Pompas de Jabón

Alguna vez te has preguntado ¿porque las pompas de jabón reflejan el arco-iris? Y ¿porque una gota de aceite derramada en un camino mojado refleja el arco-iris? Esto es lo que pasa cuando la luz pasa a través de un objeto con dos superficies reflexivas. Cuando dos ondas de luz de la misma frecuencia llegan a golpear una fina capa de jabón, como se ve en la **figura 5** a continuación, parte de las ondas de luz se reflejan de la parte superior de la superficie, mientras que otra parte pasa a través de la fina capa y son reflejadas desde la superficie inferior. Dado que parte de las ondas que penetraron la capa interactúan mas con la misma, estas son sacadas de sincronía con la parte de las ondas que se reflejaron desde la superficie superior. Los físicos se refieren a este estado como **fuera de fase**. Cuando los dos juegos de ondas reflejadas llegan a los fotorreceptores de tus ojos se interfieren uno con otro; la interferencia ocurre cuando las ondas se suman o se restan una de otra formando así una nueva onda de diferente frecuencia o **color**.

Básicamente, cuando la luz blanca, la cual es una mezcla de diferentes colores, brilla en una fina capa con dos superficies reflexivas, las diferentes ondas reflejadas interfieren unas con otras para formar finos arco-iris. Estos finos arco-iris cambian de color cuando cambias el ángulo desde el cual miras la capa, debido a que estas cambiando la ruta por la cual la luz viaja hasta alcanzar tus ojos. Si decrementas el ángulo en cual miras, incrementarás la cantidad de capa que la luz debe de viajar a través de ella para llegar a tus ojos. Esto causa gran **interferencia** ^[16].

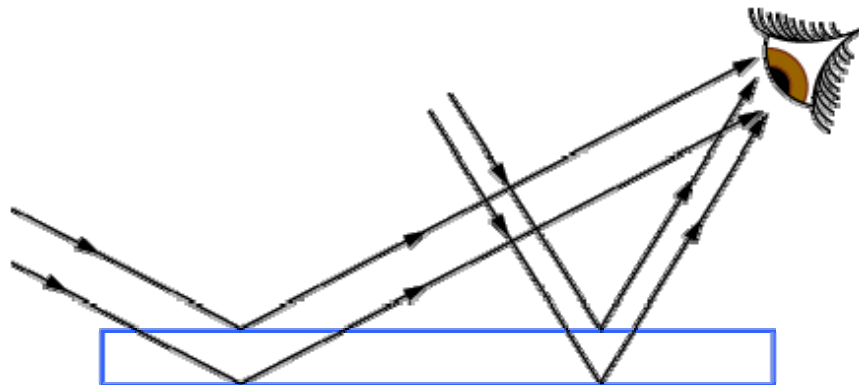


Figura 5

Todas las cosas que vemos es el producto de, y es afectado por la naturaleza de la luz. La luz es una forma de energía que viaja en ondas. Nuestros ojos están entonados para aquellas ondas que nosotros llamamos luz visible. Complejidades de la naturaleza de las ondas de luz explican el origen del color, como viaja, y que le ocurre cuando se encuentra con diferentes clases de materiales.

Como trabaja la visión

Por: Dr. Carl Bianco, M.D. [AUTOR2]

Traducción de: Alfonso Pérez García, Ing.

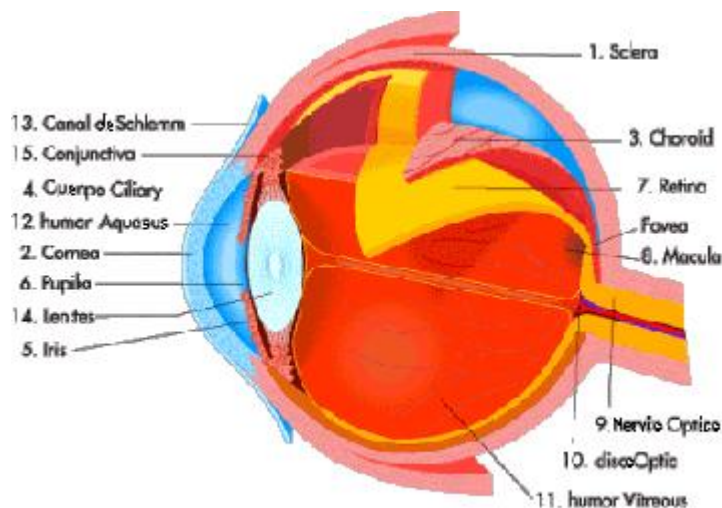
No es un accidente que la función principal del **sol** [17] en el centro de nuestro sistema solar es suministrar luz, la cual propicia la vida. Es difícil imaginar nuestro mundo y la vida sin ella.

El sentido de la luz por los seres vivos es casi universal. Las plantas usan la luz para la fotosíntesis y crecer. Los animales usan la luz para cazar su presa o para sentirla y escapar de sus predadores. Algunos dicen que el desarrollo de la visión estereoscópica, junto con el desarrollo de un **cerebro humano** [18] más grande y la liberación de las manos de la locomoción han permitido a los humanos **evolucionar** [19] a tan alto nivel.

En esta edición de "How stuff works" [1] aprenderás acerca del increíble trabajo interior del ojo humano.

Anatomía Básica

Aunque pequeño en tamaño, el ojo es un órgano muy complejo. El ojo es aproximadamente de 1 pulgada de ancho (2.54 cm.) por 1 pulgada de profundidad y 0.9 pulgadas de altura (2.3 cm.).



El viscoso, la capa más externa de los ojos es llamada **esclera**. Mantiene la forma del ojo. El sexto frontal de esta capa es claro y es llamado la **cornea**. Toda la **luz** [20] debe pasar primero a través de esta, cuando entra al ojo. Pegado a la esclera están los **músculos** [21] que mueven al ojo, llamados **músculos extra oculares**.

El **coroide** (o trácto uveal) es la segunda capa del ojo. Contiene los vasos sanguíneos que proveen de **sangre** ^[22] a la estructura del ojo. La parte frontal del coroide contiene dos estructuras:

El **cuerpo ciliar** – El cuerpo ciliar es un área muscular que esta pegada a los lentes, se contrae y relaja para controlar el tamaño de los lentes para enfocar.

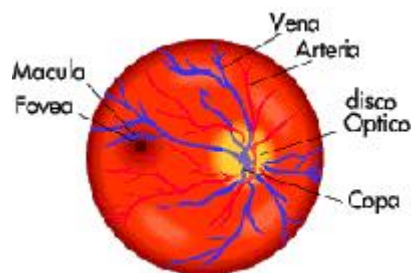
El **iris** – El iris es la parte coloreada del ojo, el color del iris esta determinado por el color del tejido conectivo y las celdas de pigmento. Menos pigmento hace que el ojo sea azul y más pigmento hace al ojo café. El iris es un diafragma ajustable alrededor y abriendo la llamada **pupila**.

El iris tiene dos músculos: El **dilator** que hace que el iris se vuelva pequeño y por lo tanto la pupila se alarga, permitiendo que entre mas luz al ojo y el **esfínter (sphincter)** que hace que el iris se alargue y la pupila se haga pequeña, permitiendo que menos luz entre al ojo. El tamaño de la pupila puede variar de 2 a 8 milímetros, esto significa que cambiando el tamaño de la pupila, el ojo puede variar la cantidad de luz que le entra hasta por un factor de 30 veces

La capa más interna es la **retina** – la parte del ojo sensible a la luz. Esta contiene las **rodoceldas**, las cuales son las responsables de la visión con baja luz, y las **cono-celdas**, las cuales son las responsables de la visión en color y detalle. En la parte posterior del ojo en el centro de la retina esta la **macula**. En el centro de la macula esta un área llamada la **fovea centralis**. Esta área contiene solamente conos y es responsable de ver los detalles finos claramente.

La retina contiene un químico llamado **rhodopsin** o "púrpura visible". Este es el químico que convierte la luz en impulsos eléctricos que interpreta el **cerebro** ^[18] como visión. La fibra nerviosa retinal recolecta en la parte posterior del ojo estos impulsos y forma el **nervio óptico**, el cual conduce los impulsos eléctricos al cerebro. La marca donde el nervio óptico y los vasos sanguíneos salen de la retina es llamado **disco óptico**. Esta área es una marca ciega en la retina porque no existen rodillos ni conos en esa parte, sin embargo no hay cuidado de esta marca dado que un ojo cubre la marca ciega del otro.

Cuando un medico mira la parte posterior de tu ojo con un oftalmoscopio, aquí esta lo que ve:



Dentro de la esfera del ojo existen dos secciones llenas de fluido separadas por los lentes. La sección más grande, la posterior contiene un claro y gelatinoso material llamado **humor vítreo**. La sección más pequeña, la frontal contiene un claro y aguado material llamado **humor acuoso**. El humor acuoso está dividido en dos secciones llamadas cámara anterior (en el frente del iris) y cámara posterior (detrás del iris). El humor acuoso se produce en el cuerpo ciliar y es drenado a través del **canal de Schlemm**. Cuando este drenaje es bloqueado se puede producir una enfermedad llamada **glaucoma**.

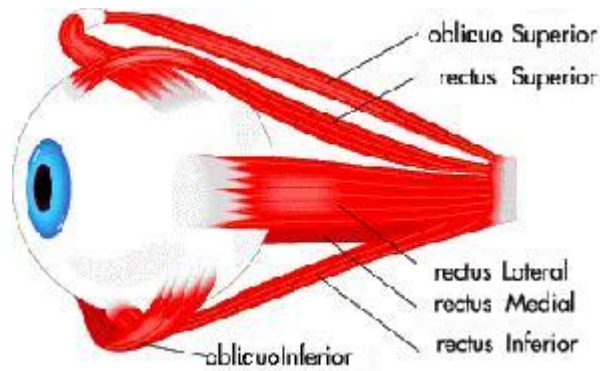
Los **lentes** son una estructura clara biconvexa de alrededor de 10 mm de diámetro (0.4 In.), los lentes cambian su forma debido a que están pegados a los músculos en el cuerpo ciliar, los lentes se usan para entonar la visión fina.

Cubriendo la superficie interna de los párpados de los ojos y la esclera está una membrana mucosa llamada la **conjuntiva**, la cual ayuda a mantener la humedad del ojo. Una infección en esta área es conocida como **conjuntivitis** (también llamada ojos rojos).

El ojo es único con relación a que se puede mover en muchas direcciones para maximizar el campo de visión, además de estar protegido por una cavidad del hueso llamada **cavidad orbital**. El ojo está envuelto en grasa, lo cual lo provee de acolchonamiento. Los párpados protegen al ojo por medio del parpadeo. Esto también mantiene la superficie del ojo humedecida dispersando lágrimas sobre el ojo. Las pestañas y cejas protegen al ojo de partículas que pudieran dañarlo.

Las lágrimas se producen en la **glándula lagrimal**, la cual está localizada por encima del segmento externo de cada ojo. Las lágrimas eventualmente bajan a la esquina interna del ojo, en el saco lagrimal y luego al ducto nasal a la nariz, esta es la razón por la que te escurre la nariz cuando lloras.

Existen 6 músculos pegados a la esclera que controlan los movimientos del ojo. Ellos se muestran a continuación.



Función primaria del músculo:

Rectus Medio, mueve el ojo hacia la nariz.

Rectus Lateral, mueve al ojo alejándolo de la nariz.

Rectus Superior, eleva al ojo.

Rectus Inferior, baja al ojo.

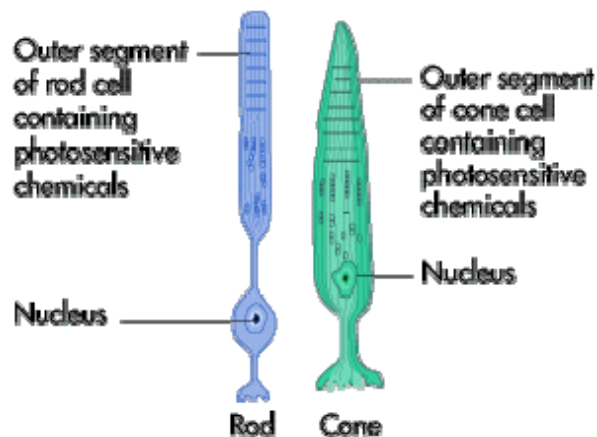
Oblicuo Superior, rota al ojo

Oblicuo Inferior, rota al ojo

En la siguiente sección, aprenderás como el ojo percibe la luz.

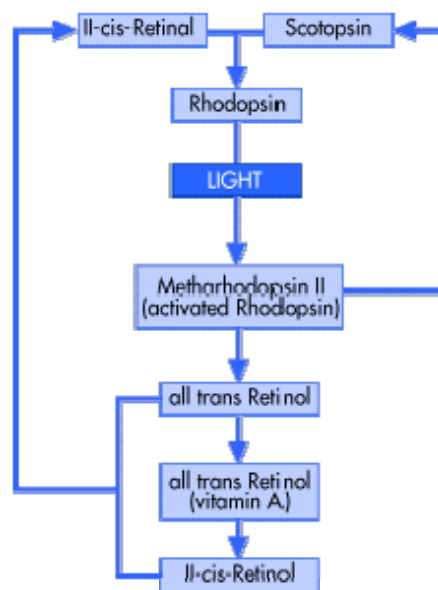
Percibiendo la luz

Cuando la luz entra al ojo, primero pasa a través de la cornea, luego el humor acuoso, los lentes y el humor vítreo, finalmente alcanza la **retina**, la cual es la estructura sensible del ojo. La retina contiene dos tipos de células, llamadas rodillos y conos. Los **rodillos** manejan la visión con baja luz y los **conos** la visión en color y detalle. Cuando la luz hace contacto con estos dos tipos de células, una serie de complejas reacciones químicas ocurre, el químico que se forma (rhodopsin activado) crea los impulsos eléctricos en el nervio óptico. Generalmente el segmento externo de los rodillos es largo y delgado mientras que el segmento externo de los conos es más bien de forma cónica, enseguida se muestra un dibujo de un rodillo y de un cono:



La parte externa de los rodillos y conos contienen los químicos sensibles a la luz. En los rodillos este es llamado **rhodopsin**, y en los conos los químicos son llamados **pigmentos de color**. La retina contiene 100 millones de rodillos y 7 millones de conos. La retina está delineada con pigmentos negros llamados **melanina** – justo como una **cámara** ^[23] es negra por dentro – para disminuir la cantidad de reflexión. La retina tiene un área central, la llamada **macula**, la cual contiene una alta concentración de conos solamente, esta área es responsable de la visión nítida y detallada.

Cuando la luz entra al ojo, llega a contactar con el químico fotosensible rhodopsin (también llamado "**púrpura visible**"). El rhodopsin es una mezcla de una proteína llamada **scotopsin** y **11-cis-retinal** – esta última derivada de la **vitamina A** ^[24] (es por ello que una deficiencia de vitamina A causa problemas de la vista). El rhodopsin se descompone cuando es expuesto a la luz dado que la luz causa un cambio físico en la porción 11-cis-retinal del rhodopsin, cambiando a **todo-transretinal**. La primera reacción solo toma unas pocas trillonésimas de segundo. El 11-cis-retinal es una molécula angulada mientras que todo-transretinal es una molécula recta. Esto hace al químico inestable. El rhodopsin se descompone en varios compuestos intermedios, pero eventualmente (en menos de un segundo) forma **metarhodopsin II** (rhodopsin activado). Este químico causa impulsos eléctricos que son transmitidos al **cerebro** ^[18] e interpretados como **luz** ^[20]. Enseguida un diagrama de la reacción química que se describió:



El rhodopsin activado causa los impulsos eléctricos de la siguiente manera:

La membrana de la celda (capa externa) de una celda rodillo tiene una carga eléctrica. Cuando la luz activa el rhodopsin, causa una reducción del GMP cíclico, el cual causa que la carga eléctrica se incremente. Esto produce una corriente eléctrica a lo largo de la celda. Cuando se detecta más luz se activa más rhodopsin y se produce más corriente.

Este impulso eléctrico finalmente alcanza la celda gangliosa y luego el nervio óptico. Los nervios alcanzan la apertura óptica, donde las fibras nerviosas de la mitad interior de cada retina Cruzan al otro lado del cerebro, pero las fibras nerviosas de la mitad exterior de la retina permanecen en el mismo lado del cerebro.

Estas fibras eventualmente llegan a la parte posterior del cerebro (**lóbulo occipital** ^[25]). Es ahí donde la visión es interpretada, y es llamada la **corteza visual primaria**. Algunas de las fibras visuales van hacia otras partes del cerebro para ayudar a controlar el movimiento de los ojos, la respuesta de las pupilas y el iris así como su comportamiento.

Eventualmente el rhodopsin necesita ser formado nuevamente de forma que el proceso pueda volver a ocurrir. El todo-transretinal se convierte en 11-cis-retinal, el cual luego se recombina con scotopsin para formar rhodopsin y comenzar el proceso una vez mas cuando se expone a la luz.

Visión de Color

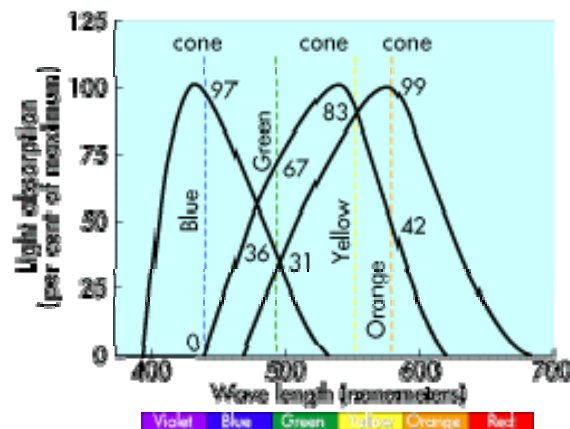
Los químicos responsables del color en los conos son llamados **pigmentos de cono** y son muy similares a los químicos en los rodillos. La parte retinal del químico es la misma; sin embargo el scotopsin es remplazado por photopsins. Por lo tanto los pigmentos responsables del color están hechos de retinal y photopsins. Existen tres clases de pigmentos sensibles al color:

Pigmento sensible al Rojo

Pigmento sensible al Verde

Pigmento sensible al Azul

Cada cono tiene uno de estos pigmentos de forma que son sensibles a ese color. El ojo humano puede sentir casi cualquier graduación de color cuando se mezclan el rojo, verde y azul.



En el diagrama anterior se muestran, las longitudes de onda de los tres tipos de conos (rojo, verde y azul). La **absorbencia pico** del pigmento sensible al azul es de **445 nanómetros**, para el pigmento verde es de **535 nanómetros** y para el pigmento rojo es de **570 nanómetros**.

Ceguera al color

La ceguera al color es la falta de habilidad para distinguir los diferentes colores. La ceguera más común de este tipo es la falta de habilidad para distinguir el rojo y verde. Esto pasa en el 8% de la población masculina y en el 0.4% de la población femenina. Y pasa cuando no hay conos verdes o rojos o estos no funcionan apropiadamente. La gente con este problema no es completamente incapaz de ver el rojo o el verde, pero a menudo confunden estos colores.

Este es un **desorden hereditario** y afecta más comúnmente al hombre dado que la capacidad para la visión en color está localizada en el **cromosoma X**, (la mujer tiene dos cromosomas X de esta forma la probabilidad de heredar al menos un cromosoma X y tener visión de color es mayor, los hombres solo tienen uno con que trabajar. Para mayor información sobre cromosomas consulte esta [pagina \[26\]](#))

Para mayor información sobre la ceguera al color consulte esta [pagina \[27\]](#).

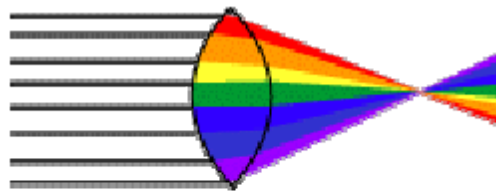
Deficiencia de Vitamina A

Cuando hay una severa deficiencia de vitamina A, se presenta la **ceguera nocturna**.

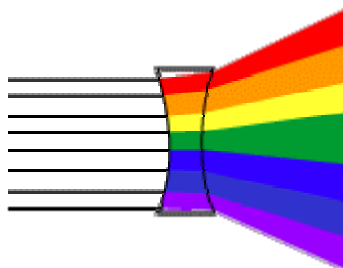
La vitamina A es necesaria para formar el **retinal**, el cual forma parte de la molécula rhodopsin. Cuando los niveles de moléculas sensibles a la luz son demasiado bajos debido a la deficiencia de vitamina A, no existe suficiente luz por la noche para permitir la visión. Durante el día hay suficiente estimulación para que se produzca la visión sin importar los bajos niveles de retinal.

Refracción

Cuando los rayos de luz alcanzan una superficie angulada de un material diferente, causa que la luz se desvíe. Esto es conocido como **Refracción**. Cuando la luz llega a un lente convexo, los rayos de luz se desvían hacia el centro:



Cuando los rayos de luz llegan a un lente cóncavo, los rayos de luz se desvían alejándose del centro:



El ojo tiene múltiples superficies anguladas que causan que la luz se desvíe. Estas son:

La interfase entre el aire y el frente de la cornea

La interfase entre la parte posterior de la cornea y el humor acuoso

La interfase entre el humor acuoso y el frente de los lentes

La interfase entre la parte posterior de los lentes y el humor vítreo

Cuando todo está trabajando correctamente, la luz pasa a través de estas 4 interfaces y llega a la retina perfectamente enfocada.

Visión Normal

La visión o **agudeza visual** se prueba por medio de la lectura de la gráfica del ojo de Snellen, a una distancia de 20 pies. A través de un muestreo en la gente, los doctores han decidido lo que un ser humano normal debe de ser capaz de ver cuando se para a 20 pies de distancia de una gráfica del ojo. Si tu tienes una visión 20/20, esto significa que cuando tu te paras a 20 pies de distancia de la gráfica tu podrás ver lo que un ser humano normal puede ver. (En el sistema métrico la distancia es de 6 metros y es llamada visión 6/6). En otras palabras, si tienes una visión 20/20 tu vista es normal – la mayoría de la gente en la población puede ver lo que tu puedes ver a 20 pies de distancia.

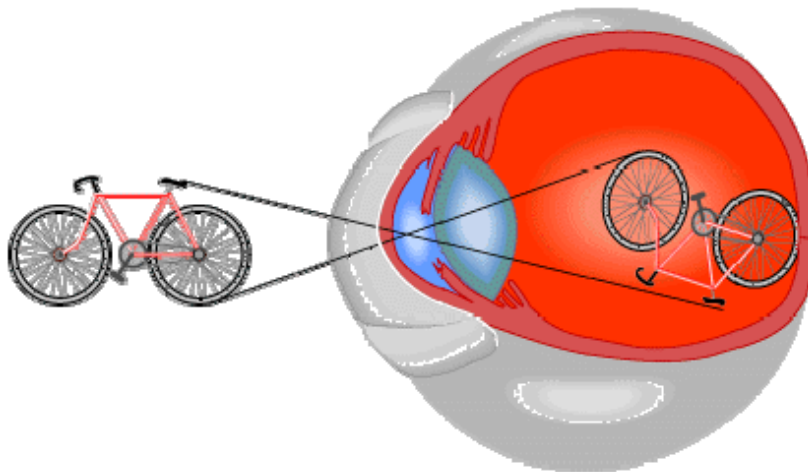
Si tu tienes una visión 20/40, esto significa que cuando tú estás a 20 pies de distancia de la gráfica tu solo veras lo que una persona normal podría ver parado a 40 pies de distancia de la gráfica, y tu solamente a 20 pies. 20/100 por ejemplo significa que cuando tú estás parado a 20 pies de distancia de la gráfica tu solo puedes ver lo que una persona normal puede ver a 100 pies, 20/200 es el límite legal para la ceguera en los Estados Unidos.

Tu puedes tener también una mejor visión que una persona normal. Una persona con una visión 20/10 es aquella que puede ver estando a 20 pies de distancia, lo que una persona normal a 10 pies de distancia de la gráfica.

Los halcones, búhos y otras aves depredadoras tienen mucha más agudeza visual que los humanos. Un halcón tiene un ojo mucho más pequeño que el de un ser humano pero tiene muchos sensores (conos) juntados en un espacio. Esto le da al halcón la visión que posee, 8 veces más aguda que la de un ser humano. ¡Un halcón posee una visión 20/2!

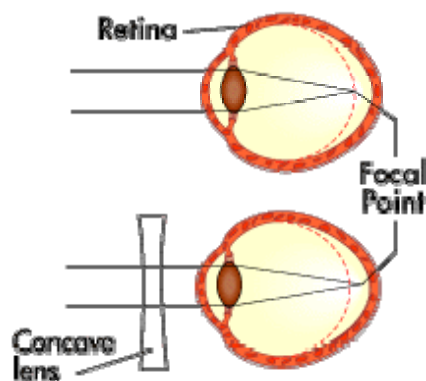
Errores de refracción

Normalmente, tu ojo puede enfocar exactamente una imagen sobre la retina:

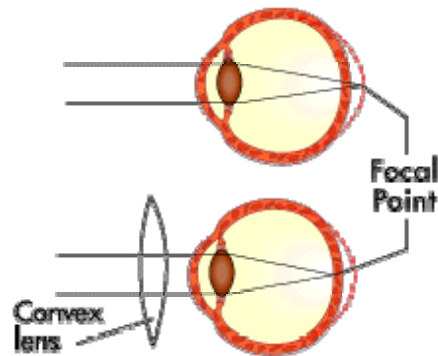


La falta de enfoque cercano o lejano sucede cuando este no es perfecto

Cuando la **falta de enfoque cercano** se presenta (**miopía**), una persona es capaz de mirar los objetos cercanos bien pero tiene dificultades viendo los objetos lejanos. Los rayos de luz llegan enfocados en frente de la retina. Esto es causado por un glóbulo ocular que es demasiado largo, o un sistema de lentes que tiene mucho poder de enfoque. La falta de enfoque cercano se corrige con **lentes cóncavas**. Estos lentes causan que la luz se disperse ligeramente antes de alcanzar el ojo como se ve a continuación:



Cuando la falta de enfoque lejano se presenta (hiperopía), una persona es capaz de mirar los objetos lejanos bien pero tiene dificultades para ver los cercanos. Los rayos de luz llegan bien enfocados detrás de la retina. Esto se debe a un glóbulo ocular demasiado corto, o por un sistema de lentes que tiene muy poco poder de enfoque. Esto se corrige con unos **lentes convexos** como se ve en seguida:



Consulte las siguientes paginas para mas detalles:

<http://www.howstuffworks.com/vision-refractive.htm>

<http://www.howstuffworks.com/lens.htm>

Astigmatismo

El astigmatismo es una curvatura dispareja de la cornea que provoca una distorsión en la visión. Para corregir esto se forma un lente con una forma apropiada para emparejar esta curvatura. ¿Por qué la visión empeora con la edad?

Conforme envejecemos, los lentes se vuelven **menos elásticos**. Pierden su habilidad para cambiar de forma. Esto se llama **presbiopía** y es más notable cuando tratamos de ver cosas muy cercanas, debido a que el cuerpo ciliar debe contraerse para hacer que los lentes se hagan más gruesos. La pérdida de elasticidad no permite a los lentes hacerse más gruesos, como resultado perdemos nuestra habilidad de enfocar los objetos cercanos.

Al principio, la gente comienza a sostener las cosas mas lejos para poder verlas enfocadas. Esto generalmente es notable cuando andamos por los cuarenta y tantos años. Eventualmente, el lente es incapaz de moverse y llega a quedar mas o menos a una distancia fija permanentemente enfocado (la cual es diferente para cada persona).

Para corregir esto, se requieren de **bifocales**, que son una combinación de unos lentes bajos para el enfoque de visión cercana (la lectura por ejemplo) y los lentes superiores para la visión a distancia.

Percepción profunda

El ojo utiliza tres métodos para determinar la distancia:

El tamaño de un objeto conocido que se tiene en tu retina – Si tu tienes conocimiento del tamaño de un objeto por experiencia previa, entonces tu cerebro puede calcular la distancia basado en el tamaño del objeto en la retina

Movimiento paralelo – Cuando mueves tu cabeza de lado a lado, los objetos que están cerca de ti se mueven rápidamente a lo largo de tu retina. Sin embargo, los objetos que están más lejos se mueven muy poco. De esta manera tu cerebro puede más o menos calcular que tan lejos está de ti.

Visión Estereo – Cada ojo recibe una imagen diferente de un objeto en su retina, esto se debe a que cada ojo está separado uno del otro por alrededor de 2 pulgadas. Esto es particularmente cierto, cuando un objeto está muy cerca de tus ojos. Esto pierde utilidad cuando los objetos están lejos de ti dado que las imágenes en la retina llegan a ser más semejantes en tanto más lejos estén de tus ojos.

Ceguera

La ceguera legal se define generalmente como la agudeza visual **menor que una visión 20/200** con lentes correctivos. Ahora que tú has aprendido algo de anatomía del ojo y como funciona es más fácil comprender como las siguientes condiciones te pueden llevar a la ceguera:

Cataratas – Esta es una nubosidad en los lentes que bloquean la luz de llegar a la retina. Llega a ser más común cuando envejecemos, pero algunos bebés pueden nacer con cataratas. Conforme va progresando la enfermedad requerirán de cirugía para remover el lente e introducir un lente artificial intraocular

Glaucoma – Cuando el humor acuoso no drena adecuadamente, entonces se forma una presión en el ojo. Esto provoca que las células y fibras nerviosas en la parte posterior del ojo se mueran. Esto puede ser tratado con medicamentos o cirugía.

Retinopatía diabética – Las personas con **diabetes** ^[28] puede tener bloqueos de sus vasos sanguíneos, derrames y cicatrices que pueden conducir a la ceguera. Esto se puede tratar con cirugía láser.

Degeneración Macular – En algunas personas, la mácula (la cual es responsable de los detalles finos en el centro de visión) puede deteriorarse con la edad por razones desconocidas. Esto causa que se pierda la visión central. Algunas veces la cirugía láser puede ayudar

Trauma – Los traumas directos o lesiones químicas pueden causar el suficiente daño a los ojos como para no tener una visión adecuada.

Retinitis pigmentosa – Esta es una enfermedad hereditaria que produce una degeneración de la retina y pigmento en exceso. Esto provoca la ceguera nocturna y por consiguiente la visión túnel, la cual a menudo progresa gradualmente hasta la ceguera total, no existe tratamiento conocido.

Tracoma – Esta es una infección causada por un organismo llamado Chlamydia trachomatis. Es una causa de ceguera muy común en el mundo, pero muy rara en los Estados Unidos, se puede tratar con **antibióticos** ^[29].

Existen muchas otras causas de ceguera, tal como la deficiencia de vitamina A, los tumores, los golpes, enfermedades y otras infecciones, enfermedades hereditarias y toxinas.

Unidades de medición (1.4)

La energía radiante cubre una amplia gama del espectro electromagnético. Un segmento relativamente pequeño de la banda es el espectro de luz visible. Una porción del espectro electromagnético incluyendo el rango de luz visible se muestra en la **figura 6**.

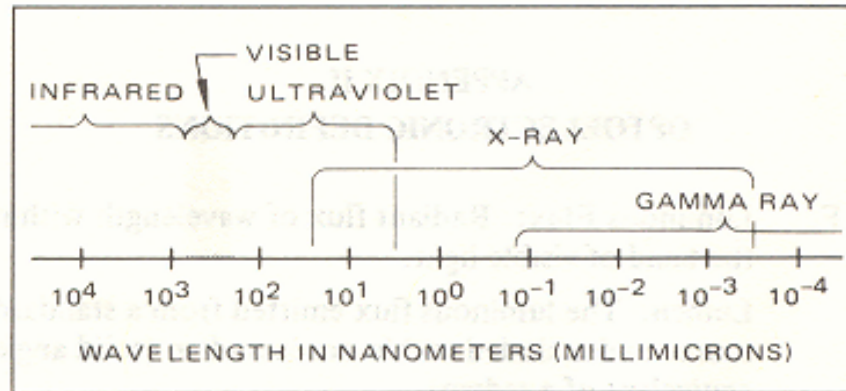


FIGURE I-1 – Portion of Electromagnetic Spectrum

Figura 6

La parte de flujo radiante, o energía radiante emitida por unidad de tiempo, la cual es visible esta definida como **flujo luminoso**. Esta distinción se debe a la falta de habilidad del ojo para responder de igual manera como los niveles de potencia de las diferentes longitudes de onda. Por ejemplo si dos fuentes de luz, una verde y una azul ambas emitiendo la misma potencia, el ojo percibiría la verde como más brillante que la azul. Consecuentemente cuando hablamos de luz visible de colores variados, el watt es una unidad de medición muy pobre, una unidad con mas significado es el **Lumen**. Para poder entender mas claramente el significado del Lumen es necesario definir dos conceptos más.

El primero de estos conceptos es la **fuentes estándar (figura 7)**. La fuente estándar, adoptada por acuerdo internacional, consiste de un segmento de thoria fundida inmersa en una cámara de platino. Cuando el platino esta en su punto de fusión, la luz emitida desde la cámara se aproxima a la radiación de un cuerpo negro. El **flujo luminoso** emitido por la fuente es dependiente de la abertura y el cono de radiación. El cono de radiación se mide en términos del **ángulo sólido**.

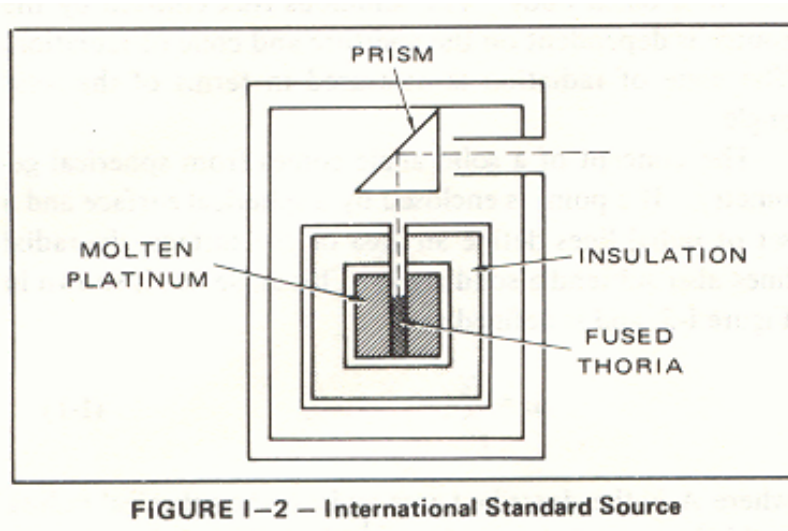


Figura 7

El concepto de **ángulo sólido** viene de la geometría esférica. Si un punto es encerrado por una superficie esférica y un conjunto de líneas radiales definen un área sobre la superficie, las líneas radiales tienden un **ángulo sólido**. Este ángulo ω se muestra en la **figura 8** y esta definido como:

$$\omega = A / r^2 \quad (1-1)$$

Donde A es el área descrita y r es el radio esférico. Si el área es igual a r^2 entonces el ángulo sólido tendido es una unidad de ángulo sólido o un **steradian**, lo cual no es nada mas que el equivalente de un radian en tres dimensiones.

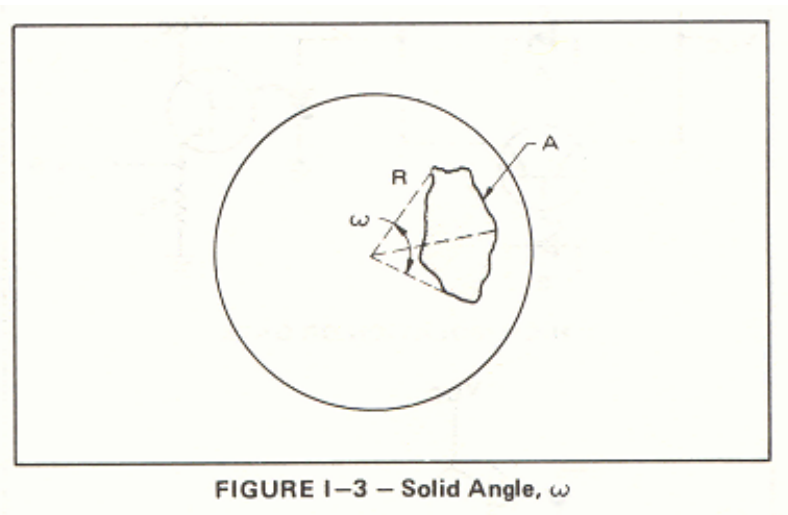


Figura 8

Una vez definida la **fuentes estándar** y el **ángulo sólido**, se puede definir el **Lumen**. Un lumen es el flujo luminoso emitido de una fuente estándar e incluido dentro de un steradian. Usando el concepto de Lumen, ahora es posible definir otros términos de **Iluminación**.

Iluminancia.

Si una cantidad diferencial de flujo luminoso, δF , esta acometiendo sobre un diferencial de área δA , la Iluminancia, **E**, esta dada por :

$$E = \delta F / \delta A \quad (1-2)$$

La **iluminancia** se expresa a menudo en **Lúmenes por pie cuadrado**, o **pie candela**. Si la Iluminancia es constante sobre un área, esta llega a ser:

$$E = F / A \quad (1-3)$$

Intensidad Luminosa.

Cuando el flujo diferencial δF , es emitido a través de un ángulo sólido $\delta \omega$, la **intensidad luminosa**, **I**, esta dada por:

$$I = \delta F / \delta \omega \quad (1-4)$$

La intensidad luminosa es a menudo expresada en **Lúmenes por steradian**, o **Candela**. Si la intensidad luminosa es constante con respecto al ángulo de emisión, (1-4) esta llega a ser

$$I = F / \omega \quad (1-5)$$

Si la longitud de onda de la radiación visible es variada pero la iluminación se mantiene constante, la potencia radiante en watts se vera que varia. Esto una vez mas nos muestra la pobre calidad del watt como unidad de medición de la iluminación. Una relación entre la iluminación y la potencia radiante se debe entonces expresar con relación a una frecuencia específica. El punto específico tomado es a una longitud de onda de **0.555 μM** , el cual es el pico de la respuesta espectral del ojo humano. A esta longitud de onda, **1 watt de potencia radiante** es equivalente a **680 Lúmenes**.

DEFINICIONES DE OPTOELECTRONICA

F, Flujo luminoso – Flujo radiante de una longitud de onda dentro de la banda de luz visible.

Lumen – El flujo luminoso emitido de una fuente estándar e incluido en un steradian (ángulo sólido equivalente de un radian en tres dimensiones)

H Densidad de flujo radiante (Irradiancia) – La energía de radiación incidente total medida en potencia por unidad de área (ejemplo mW/cm^2).

E Densidad de Flujo Luminoso (Iluminancia) – Densidad de flujo de radiación de una longitud de onda dentro de la banda de luz visible, medida en **Lúmenes por pie cuadrado o Candelas**.

A la longitud de onda pico del ojo humano; 0.555 μM ($0.555 \times 10^{-6}\text{m}$), 1 watt de potencia radiante es equivalente a 680 Lúmenes.

SR Sensibilidad de radiación – la relación de la corriente inducida a la energía radiante incidente, medida lo más cercano al plano de los lentes de un foto-dispositivo.

SI Sensibilidad de Iluminación – La relación de la corriente inducida a la energía luminosa incidente , medida lo más cercano al plano de los lentes de un foto-dispositivo.

Respuesta espectral – La sensibilidad como una función de la longitud de onda de la energía incidente. Generalmente Normalizada a la sensibilidad pico.

Constantes

Constante de Planck: $h = 4.13 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$.
 Carga del electrón: $q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ culombios}$.
 Velocidad de la luz: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

Factores de Conversión de Iluminación

Multiplica	por	Para Obtener
Lúmenes / ft ²	1	Pie-Candelas
lúmenes/ ft ²	1.58×10^{-3}	mW/cm ²
Candela de-poder	4π	lúmenes

* A 0.555 μm .

Lentes (1.5)

Introducción

Los lentes son componentes ópticos transparentes que usan la refracción para enfocar o colimar la radiación electromagnética.

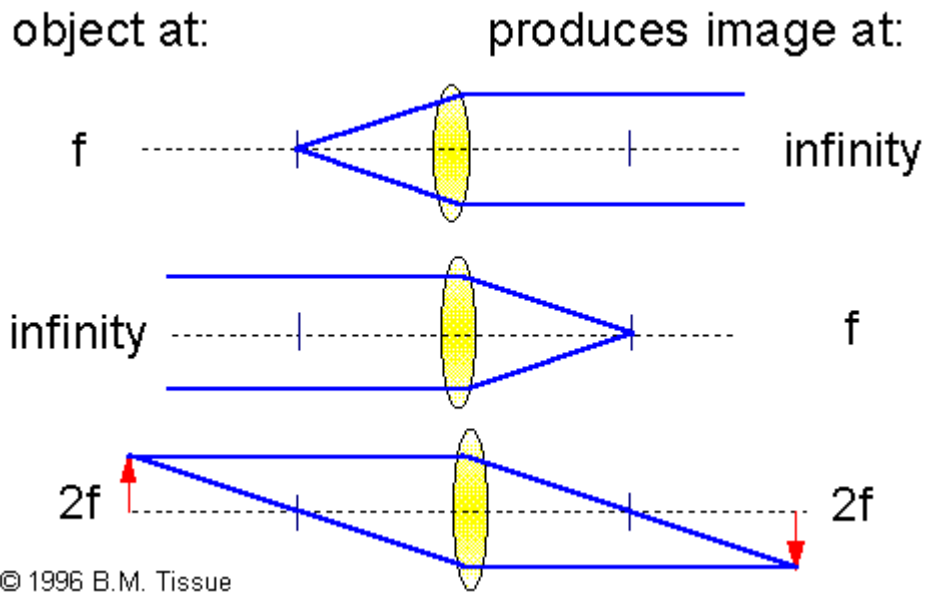
Propiedades de los lentes

Los lentes se caracterizan por su distancia focal. La distancia focal esta dada por la formula del fabricante:

$$1/f(\lambda) = [n(\lambda) - 1][1/R_1 - 1/R_2]$$

Donde f es la distancia focal, n es el índice de refracción y R_1 y R_2 son los radios de la curvatura de los lentes.

Ilustración de las propiedades de los lentes:



El tamaño de la marca de foco de la luz proveniente del infinito:

$$\text{Diámetro de la marca} = \lambda * f / \pi * D$$

Donde λ es la longitud de onda, f la distancia focal, y D es el diámetro del haz entrante.

Imágenes y trazado de rayos

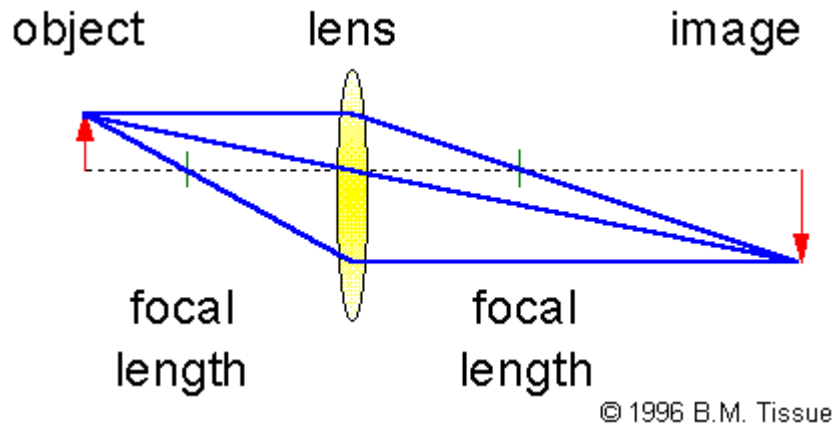
La posición de una imagen puede ser determinada por tres líneas trazadas en un diagrama:

Paralela al eje óptico a través del punto focal.

A través del centro de la lente.

A través del punto focal a los lentes y luego paralela al eje óptico.

Encontrando una imagen por medio del trazo de líneas.



La posición de una imagen se puede encontrar de un trazado de líneas o de:

$$1/f = 1/X_0 + 1/X_i$$

Donde f es la distancia focal, X_0 es la distancia del objeto desde el lente, y X_i es la distancia de la imagen desde el lente.

La magnificación M , es la relación del tamaño de la imagen al tamaño del objeto, y es igual a:

$$M = X_i / X_0$$

Donde X_i y X_0 son las distancias de la imagen y el objeto desde el lente respectivamente.

Recolección de luz

La eficiencia de recolección de luz es el ángulo sólido que un óptico hace con un objeto. El número f describe este ángulo:

$$f\text{-numero: } f/\# = l/d$$

donde l es la distancia y d es el diámetro de la lente

El ángulo sólido que una lente capta es aproximadamente:

$$\Omega = \pi d^2 / 4 l^2$$

La fracción de la luz que un óptico colecta es este ángulo sólido dividido por el total de 4π steradianes:

$$\text{Fracción colectada} = \Omega/4\pi = \pi d^2 / 16 \pi l^2 = 1 / 16 (f/\#)^2.$$

Aberraciones.

Los lentes (y espejos curvos) no enfocan la luz de forma perfecta. Se presentan aberraciones Cromáticas y esféricas sobre el eje, Coma y astigmatismo fuera del eje.

Aberración cromática.

La aberración cromática sucede debido a la variación del índice de refracción con longitudes de onda para un material del lente (no hay aberración cromática en los espejos curvos). Esta dependencia de la longitud de onda arroja como resultado longitudes focales ligeramente diferentes para longitudes de onda diferentes de la luz. Los lentes compuestos, llamados acromáticos, pueden reducir o eliminar la aberración cromática, debido a que los componentes se escogen de tal forma que la variación en el índice de refracción es una función de la longitud de onda que se cancela.

Aberración esférica

La aberración esférica resulta debido a que el punto focal actual de un rayo de luz depende de su distancia del eje óptico.

Coma

Coma esta provocado por la distorsión de un frente de onda que se encuentra un óptico asimétricamente. El resultado para luz colimada entrante es un círculo de imagen en vez de un punto de imagen. Los rayos de luz más lejanos al eje óptico tienen una aberración más severa y producen una imagen que se asemeja a un cometa en serie de círculos.

Astigmatismo

La proyección de un óptico fuera del eje se ve dispersado en una dirección. La dirección de dispersión enfoca la luz a una extensión mayor que el tamaño normal. Como resultado hay dos líneas de imagen.

Minimizando las aberraciones.

Trabaja encima o muy cerca del eje óptico

Utiliza lentes compuestos (acromáticos, dobles o triples) los cuales puedan ser diseñados para reducir la aberración cromática, la aberración esférica, y el coma

Utiliza lentes esféricos optimizados por computadora.

Nuevos materiales semiconductores, (1.6)

Características y propiedades.

Material cortesía de: **Instituto A.F.Ioffe**
Traducción de: **Ing. Alfonso Pérez García**

Introducción

A continuación proporcionamos información sobre los materiales semiconductores más importantes, se han incluido también referencias básicas donde se puede obtener información adicional.

En la recopilación de información, tomamos ventaja de la generosa ayuda de muchos colegas del **Instituto A.F.Ioffe** ^[0] quien hizo muchas excelentes sugerencias. Y en muchos casos nos dio valores más exactos de los parámetros del material.

Los coeficientes de recombinación Auger para heteroestructuras semiconductoras están desarrolladas y calculadas por **George Zegrya, Natalia Gunko y Anatolli Polkovnikov**. El archivo esta en construcción y en esta versión presentamos solamente una parte de los datos que se han calculado. Se planea agregar mas datos en el archivo posteriormente.

Tus preguntas, comentarios y sugerencias son bienvenidos, por favor contacte a: **Vadim Siklitsky o Alexei Tolmatchev**. Si encuentras de utilidad este servidor y usas los datos para tus investigaciones, apreciaremos que nos des crédito en tus trabajos.
<http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/Si/index.html>

Si ^[1]	Silicio
Ge ^[2]	Germanio
GaP ^[3]	fosfuro de galio
GaAs ^[4]	Arsenuro de Galio
InAs ^[5]	Arsenuro de indio
C ^[6]	Diamante
GaSb ^[7]	Antimonio-galio
InSb ^[8]	Antimonio-indio
InP ^[9]	Fosfuro de indio
GaAs_{1-x}Sb_x ^[10]	Antimonio-Arsénico-Galio
AlN ^[11]	Nitruro de aluminio
InN ^[12]	Nitruro de indio
GaN ^[13]	Nitruro de galio

Agregaremos nueva información para:

Al_xGa_{1-x}As [14]	Arsenuro de galio-aluminio
Ga_xIn_{1-x}P [15]	Fosfuro de galio-indio
Ga_xIn_{1-x}As	Arsenuro de galio –indio
Ga_xIn_{1-x}Sb	Antimonio-galio-indio
InAs_{1-x}Sb_x	Antimonio-arsénico-indio
Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}	Fosfuro arsenuro galio indio
Ga_xIn_{1-x}As_ySb_{1-y}	Antimonio arsenuro-galio-indio
BN	Nitruro de silicio

El propósito de esta sección es sistematizar los parámetros de los compuestos semiconductores y heteroestructuras basadas en ellos, dado que un archivo WWW tiene un sin numero de ventajas, en particular faculta a los físicos tanto teóricos como experimentalistas, para obtener rápidamente los parámetros del material semiconductor en el cual están interesados, además se agregan tablas de parámetros físicos-ópticos, eléctricos, mecánicos etc.-tanto para compuestos conocidos como para nuevos.

Como punto de partida para la creación de la base de datos se utilizo el voluminoso libro "Handbook Series on Semiconductor Parameters" volumen 1 y 2 editado por M.Levinstein, S. Romyantsev y M. Shur, World Scientific, London, 1996,1999.

Nuestra gratitud a ME Levinstein por la ayuda y atención al presente trabajo. Un gran numero de referencias y trabajos originales se citan como referencia al final de esta sección, que fueron usados para la formación de esta base de datos.

Para mayor información consulte el apéndice A.

REFERENCIAS.

REF1 [HTTP://:www.HowStuffWorks.COM](http://www.HowStuffWorks.COM)

REF2 [/radio-spectrum.htm](#)

REF3 <http://www.howstuffworks.com/diamond.htm>

REF4 <http://www.howstuffworks.com/atom.htm>

REF5 <http://www.howstuffworks.com/nuclear.htm>

REF6 <http://www.howstuffworks.com/satellite.htm>

REF7 <http://www.phy.duke.edu/Courses/100/lectures/Atom1/atom1.html>

REF8 <http://www.howstuffworks.com/question151.htm>

REF9 <http://www.howstuffworks.com/gas-lantern.htm>

REF10 <http://www.howstuffworks.com/question236.htm>

REF11 <http://www.howstuffworks.com/laser.htm>

REF12 <http://www.howstuffworks.com/question388.htm>

REF13 <http://www.howstuffworks.com/question296.htm>

REF14 <http://www.howstuffworks.com/question554.htm>

REF15 <http://www.howstuffworks.com/question404.htm>

REF16 <http://www.howstuffworks.com/question52.htm>

REF17 <http://www.howstuffworks.com/sun.htm>

REF18 <http://www.howstuffworks.com/brain.htm>

REF19 <http://www.howstuffworks.com/evolution.htm>

REF20 <http://www.howstuffworks.com/light.htm>

REF 21 <http://www.howstuffworks.com/muscle.htm>

REF 22 <http://www.howstuffworks.com/blood.htm>

REF 23 <http://www.howstuffworks.com/camera.htm>

REF 24 <http://www.howstuffworks.com/question129.htm>

REF 25 <http://www.howstuffworks.com/brain5.htm>

REF 26 <http://www.howstuffworks.com/question92.htm>

**REF 27 [http://www.howstuffworks.com/framed.htm?parent=eye.htm&url=
http://www.dushkin.com/connectext/psy/ch04/colorb.mhtml](http://www.howstuffworks.com/framed.htm?parent=eye.htm&url=http://www.dushkin.com/connectext/psy/ch04/colorb.mhtml)**

REF 28 <http://www.howstuffworks.com/diabetes.htm>

REF 29 <http://www.howstuffworks.com/question88.htm>

REF 30

REF 31

REF 32

REF 33

REF 34

REF 35

OTRAS REFERENCIAS

AUTORES Y MAGAZINES.

Autores.**Craig Freudenrich, Ph.D**

mailto:comments@howstuffworks.com

Dr. Carl Bianco, M.D

Carl Bianco, M.D., es un practicante de emergencias físicas en el Hospital General Dorchester en Cambridge Maryland. El Dr. Bianco estudia en la escuela de medicina de Georgetown y recibió su título de la Universidad de Georgetown con especialidades en enfermería y pre-médico. Ha completado su internado y residencia en medicina emergente en el Hospital de la Ciudad de Akron en Akron Ohio.

El Dr. Bianco vive cerca de Baltimore con su esposa y dos hijos.

Libros y Magazines.

NUMERO	AUTOR	TITULO	EDITORIAL
	Hewitt, Paul G. (1999)	Conceptual Physics, Third Edition	Scott-Foresman-Addison-Wesley, Inc., Menlo Park, Calif. (isbn=0321009711)
	Serway, Raymond A, and Jerry S. Faughn (1999)	Holt Physics	Holt, Rinehart, and Winston, Austin, Texas (isbn=0030565448)
	Fitchen, Franklin C.,	Transistor Circuit Analysis and Design	D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton 1962.
	Hunter, Lloyd P., ed.	Handbook of Semiconductor Electronics, Sect 5.	McGraw-Hill Book Co., Inc., New York 1962.
	Jordan, A.G. and A.G. Milnes	"Photo-effect on Diffused PN Junctions with Integral Field Gradients"	IRE Transactions on Electron Devices, October 1960.
	Millman, Jacob	Vacuum-tube and Semiconductor Electronics	McGraw-Hill Book Co., Inc., New York 1958.
	Sah, C.T.	"Effect of Surface Recombination and Channel on PN Junction and Transistor Characteristics"	IRE Transactions on Electron Devices, January 1962.
	Sears, F.W. and M.W. Zemansky	University Physics	Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Massachusetts 1962.
	Shockley, William	Electrons and Holes in Semiconductors	D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton 1955.

SENSORES OPTOELECTRONICOS Y TRANSDUCTORES (UNIDAD 2)

Contenido del programa.

- 2.1** Sensor de luz.
- 2.2** Fotoconductor de una pieza (Fotorresistencia).
- 2.3** Fotodiodo.
- 2.4** Fototransistor.
- 2.5** Foto tiristor.
- 2.6** Led's.
- 2.7** Irled's.
- 2.8** Displays.
- 2.9** Display LCD.
- 2.10** Relación señal/ruido.

¿Que es una celda fotoconductiva? (2.2)

Material cortesía de Perkin-Elmer Optoelectronic's

Traducción de: Ing. Alfonso Pérez García

Los detectores de luz pueden ser divididos en dos grandes categorías:

Dispositivos de unión

Dispositivos de barra

Los dispositivos de unión cuando se operan en modo fotoconductor, utilizan la característica inversa de una unión PN. Bajo una polarización inversa, la unión PN actúa como una fuente de corriente controlada por luz. La salida es proporcional a la iluminación incidente y es relativamente independiente del voltaje implicado como se muestra en la **figura 1**.

Los fotodiodos son un ejemplo de este tipo de detector.

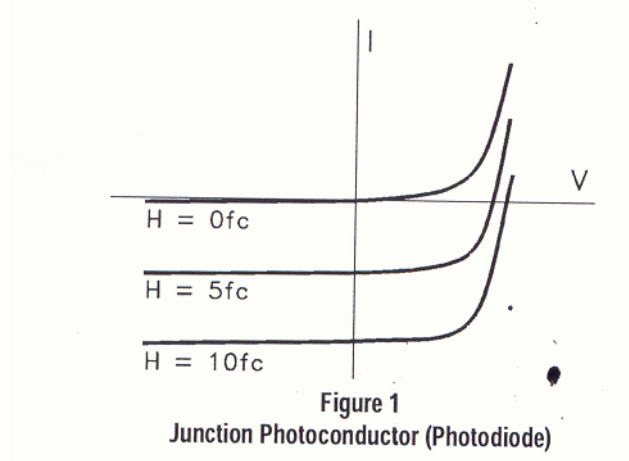


Figura 1

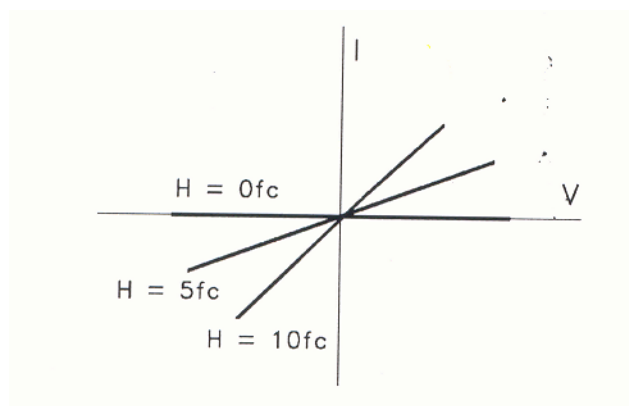


Figura 2

Efecto fotoconductor en barras (fotocelQ)

En contraste con los dispositivos de unión, las barras de efecto fotoconductor, no tienen unión. Como se muestra en la **figura 2**, la resistividad de la barra se decreta conforme se incrementa la iluminación, permitiendo que fluya mas foto-corriente. Esta característica resistiva le da a las barras fotoconductoras una calidad única. La señal de corriente del detector se puede variar en un amplio rango ajustando el voltaje aplicado. Para hacer una clara distinción, **Perkin-Elmer Optoelectronic's** se refiere a sus fotoconductores como celdas fotoconductoras o simplemente **fotoceldas**.

Las fotoceldas son dispositivos de película delgada que se fabrican depositando una capa de material fotoconductor sobre un substrato cerámico. Los contactos metálicos se evaporan sobre la superficie del fotoconductor, y la conexión eléctrica externa se hace a estos contactos. Estas películas delgadas de material fotoconductor tienen una alta resistencia de hoja. Por lo tanto el espacio entre estos dos contactos se hace delgado e ínter digitado para una celda de baja resistencia con niveles de luz moderados. Esta construcción se muestra en la **figura 3**.

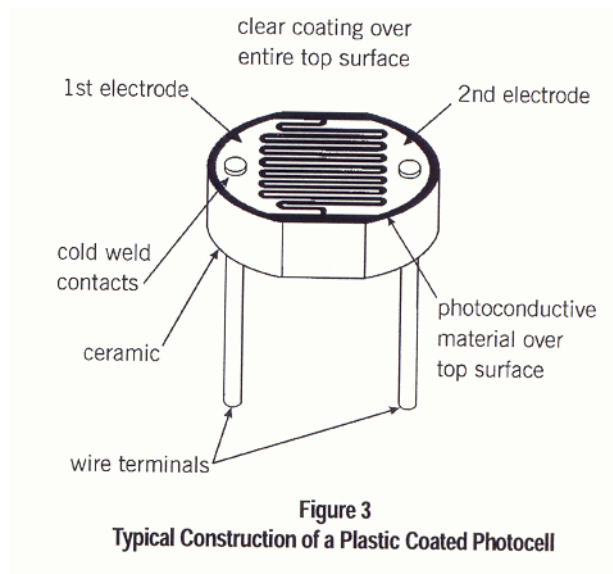


Figura 3.

Aplicaciones típicas de celdas fotoconductoras.

¿Porque usar foto celdas?

Las fotoceldas pueden proporcionar una solución muy económica y técnicamente superior para muchas aplicaciones donde se necesita la presencia o ausencia de luz (operación digital) o donde la intensidad de luz necesita ser medida (operación analógica). Sus características generales y prestaciones pueden ser resumidas como sigue:

El costo mas bajo disponible, y foto detector **Ir**, de corto alcance.

Disponibles en paquetes plásticos de bajo costo así como también paquetes herméticos (TO-46, TO-5, TO-0), sensibilidad a ambos niveles de luz, muy bajos (luz de luna) y muy altos (luz directa del sol).

Rango dinámico amplio, cambios de resistencia de varios ordenes de magnitud entre luz y no-luz.
Baja distorsión de ruido.

Voltajes máximos de operación de 5 a 400 volts aptos para operar en 120/240 volts de AC
Disponibles en configuraciones duales de tap central, así como en rangos especiales de resistencia, para aplicaciones especiales.

Fácil de usar en circuitos de DC o AC-son resistencias variables con la luz y por consiguiente simétricas con referencia a las formas de onda de AC.

Se pueden usar con la mayoría de las fuentes de **IR** tales como LEDs, neones, lámparas fluorescentes e incandescentes, lasers, flamas, luz solar, etc.

Disponibles en una amplia gama de valores de resistencia.

Aplicaciones

Las celdas fotoconductoras se usan en muchos tipos de circuitos y aplicaciones

Aplicaciones análogas.

Control de exposición en cámaras, foco automático celda doble.

Maquinas fotocopiadoras-densidad del toner.

Equipo de prueba de colorimetría, Densímetro.

Basculas electrónicas celda doble

Control automático de ganancias, fuente de luz modulada.

Retrovisor automatizado.

Aplicaciones digitales.

Luces frontales superiores automáticas.
 Control de luces nocturnas
 Sensado de apagado de flama en quemadores
 Control de luces publicas
 Ausencia/Presencia (interruptor de haz)
 Sensor de posición

Medición de luz ambiente.
 Medidor de exposición en cámara (VT900)
 Control de brillo (VT900)

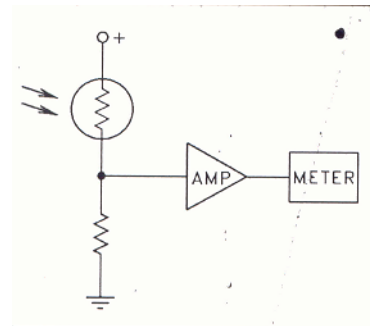


Figura 4

Relevador de DC
 Control de espejo retrovisor (VT200)
 Dimer en luz superior frontal (VT300 o VT800)

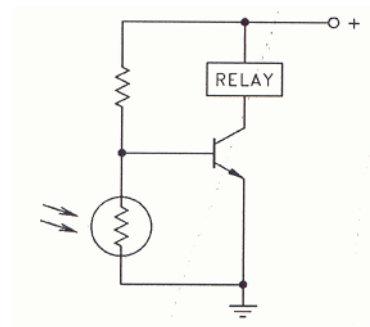


Figura 5

Relevador de AC
 Control de luz nocturna
 (VTBOO o VT900)
 Control de luces publicas(VT 400)
 Detector de flama (VT400 o 500)

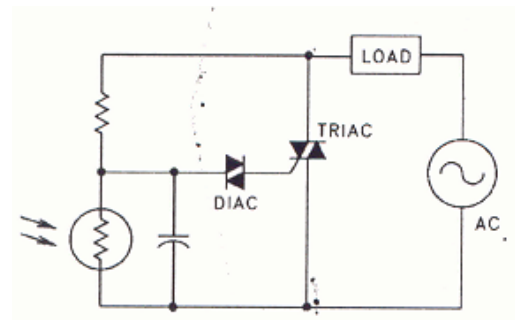


Figura 6

Medición de I y Sensado de objetos
 Aplicaciones de interferencia de haz (VT800)
 Sistemas de seguridad (VT800 o VT900)
 Equipo de prueba de colorimetría (VT200 o VT300)
 Densímetro (VT200 o VT300)

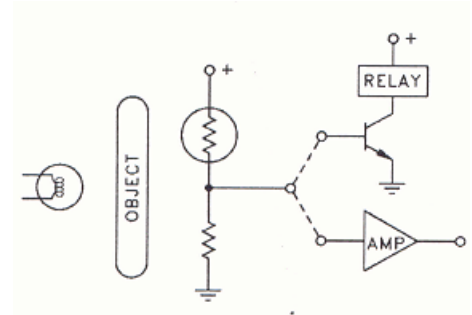


Figura 7

Circuitos puente.
 Foco automático (VT300CT o VT800CT)
 Basculas electrónicas (VT300CT o VT800CT)
 Servo fotoeléctrico (VT300CT o VT800CT)

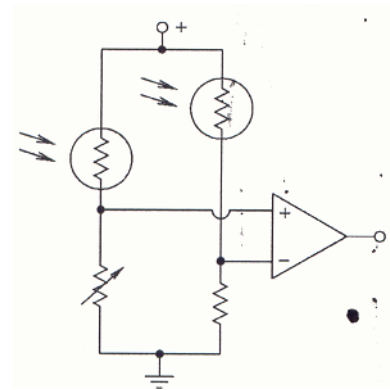


Figura 8

Seleccionando una foto celda.

Especificar la mejor celda fotoconductiva que una aplicación requiere y comprender sus principios de operación. Esta sección revisa algunos fundamentos de la tecnología de foto celdas para ayudarte a obtener el mejor conjunto de parámetros para tu aplicación.

Cuando se selecciona una foto celda, el ingeniero de diseño debe preguntarse dos cosas básicas:

- 1 Que clase de rendimiento se requiere de la celda.
- 2 Que clase de ambiente deberá soportar la celda.

Criterio de rendimiento.

Sensitividad.

La sensibilidad de un foto detector es la relación entre la caída de luz en el dispositivo y la señal de salida resultante. En el caso de una foto celda, uno esta tratando con la relación entre la luz incidente y la resistencia correspondiente de la celda.

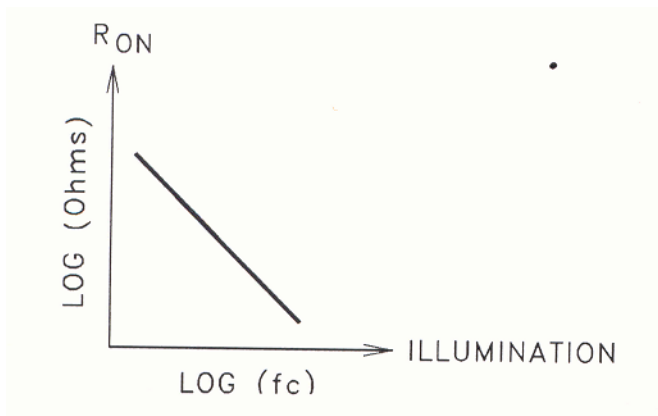


Figura 9.

Definir la sensibilidad requerida para una aplicación específica puede probar ser uno de los aspectos más difíciles de especificar en un fotoconductor.

En resumen, para especificar la sensibilidad se debe caracterizar en cierto grado la fuente de luz en términos de su **intensidad** y su contenido espectral.

Dentro de este libro encontraras curvas de resistencia versus **intensidad lumínica** para muchas foto celdas **Perkin Elmer's**. La iluminación esta expresada en unidades de **pie candela** y **luxes**. La fuente de luz es una lámpara incandescente. Esta lámpara es especial solamente en su composición espectral de la luz que genera, y se equipara la de un **cuerpo negro** a una **temperatura color** de 2850°K . Este tipo de fuente de luz es un estándar industrial.

Al paso de los años Perkin Elmer ha desarrollado diferentes "tipos" de materiales semiconductores, a través de modificaciones hechas a la composición química del detector. Para un material dado de foto conductor, a una iluminación dada, la película foto conductiva tendrá una cierta resistencia de hoja. La resistencia de una foto celda a este nivel de luz esta determinada por la geometría del electrodo.

$$R_H = \rho_H (w/l)$$

Donde:

R_H = resistencia de la celda al nivel de luz H

ρ_H = resistividad de hoja de la película fotoconducciona al nivel de luz h

w = ancho del gap del electrodo

l = longitud del gap del electrodo

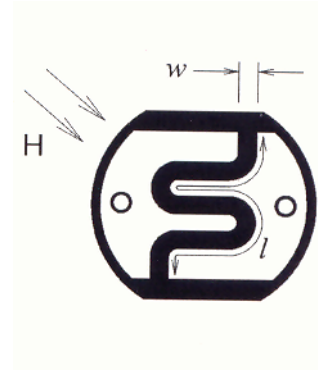


Figura 10

La longitud de onda (ρ_H) para película fotoconducciona a 2 pies candelas esta en el orden de $20M\Omega$ por cuadrada.

La relación w/l se puede variar en amplio rango de manera que se logren los objetivos de diseño. Los valores típicos de w/l van de 0.002 a 0.05, lo cual da flexibilidad para la resistencia terminal y el voltaje máximo de la celda.

Respuesta a la longitud de onda.

Así como el ojo humano, la longitud de onda relativa de la celda fotoconducciona es dependiente de la longitud de onda (color) de la luz incidente. Cada tipo de material fotoconductor tiene su propia curva de respuesta longitud de onda grafica de respuesta relativa de la foto celda versus la longitud de onda de la luz.

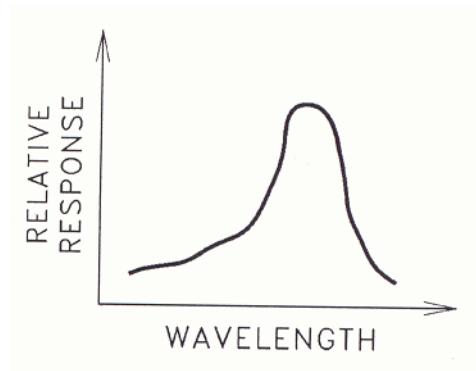


Figura 11

Las curvas de respuestas para los tipos de material de Perkin-Elmer están dadas en la hoja de datos y deben de ser considerados en la selección de una foto celda para una aplicación en particular.

Características de pendiente

Las graficas de resistencia de las fotoceldas listadas en este libro versus la **intensidad** de luz, dan como resultado una serie de curvas con pendientes características diferentes. Esta es una característica importante de las fotoceldas dado que en muchas aplicaciones no solamente es el valor absoluto de resistencia en un nivel de luz dado lo que importa sino también el valor de resistencia conforme la fuente de luz es variada. Una manera de especificar esta relación es usando el parámetro **gamma** el cual esta definido como la línea recta que pasa por dos puntos específicos sobre la curva de resistencia. Los dos puntos usados por Perkin-Elmer son 10 luxes (0.93 pies candela) y 100 luxes (9.3 pies candela).

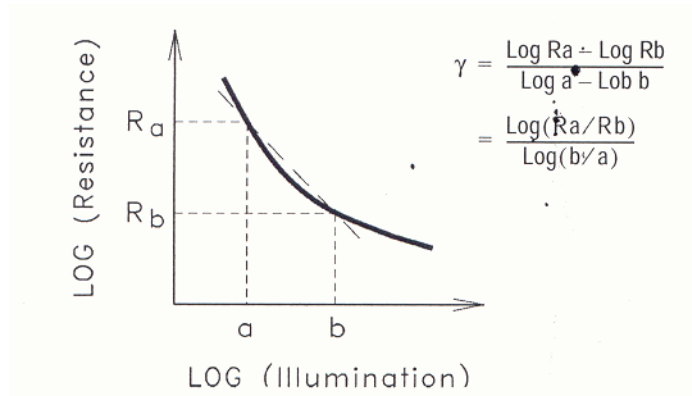


Figura 12.

Las aplicaciones de las fotoceldas están en dos categorías digitales o análogas. Para las aplicaciones de tipo digitales o de tipo ON/OFF tales como detectores de flama, las celdas apropiadas son con pendientes escalonadas a sus curvas de resistencia versus intensidad de luz. Para las de tipo análogo tales como controles de exposición de cámaras, las celdas con pendientes planas se adaptan mejor.

Tolerancia de la resistencia.

La sensibilidad de una foto celda esta definida como su resistencia a un nivel definido de iluminación. Dado que dos celdas no pueden ser exactamente iguales, la sensibilidad está definida como el valor de resistencia típico más una tolerancia permitida. Tanto el valor de resistencia como su tolerancia están definidos para un solo nivel de luz. Para variaciones moderadas de este nivel de luz el nivel de tolerancia permanece mas o menos constante. Sin embargo, cuando el nivel de luz cae en valores más grandes o más pequeños que el nivel de referencia la tolerancia puede diferir considerablemente.

Conforme decrece el nivel de luz, la variación en el nivel de tolerancia se incrementa. Para niveles mas altos de luz la tolerancia se cierra.

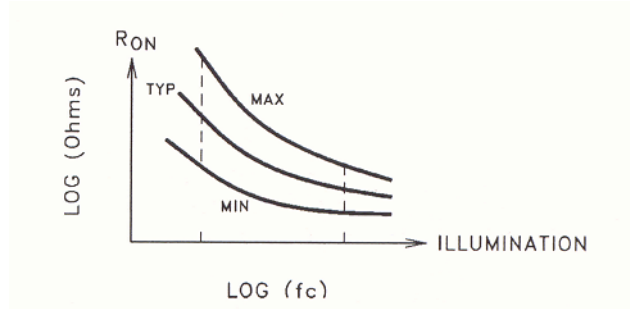


Figura 13.

Similarmente, para celdas duales el factor de apareamiento, el cual está definido como la relación de la resistencia entre los dos elementos, se incrementara conforme el nivel de luz decrece.

Relaciones típicas de apareamiento de elementos duales				
0.01 pies candela	0.1 pies candela	1.0 pies candela	10 pies candela	100 pies candela
0.63-1.39	0.74-1.27	0.75-1.25	0.76-1.20	0.77-1.23

Resistencia de oscuridad.

Como dice su nombre, implica la **resistencia de oscuridad**, es la resistencia de la celda bajo condiciones de cero iluminación. En algunas aplicaciones puede ser muy importante dado que la resistencia de oscuridad determina cual es la máxima corriente de fuga que puede ser esperada cuando se aplica un determinado voltaje a través de la celda. Una corriente de fuga muy alta podría producir falsos disparos en algunas aplicaciones.

La **resistencia de oscuridad** es a menudo definida como la mínima resistencia que puede ser esperada **5 segundo después** de que a la celda se le quito una **fente de luz de una intensidad de 2 pies candela**. Los valores típicos de resistencia de oscuridad tienden a estar en el orden de **500k ohm a 20M ohm**.

Coefficiente de temperatura de la resistencia.

Cada tipo de material foto conductor tiene su propia característica de temperatura versus resistencia, además los coeficientes de temperatura de los fotoconductores son también dependientes del nivel de luz en el que las celdas están operando.

De las curvas de los diferentes materiales es aparente que el coeficiente de temperatura es una función inversa del nivel de luz. De esta manera para minimizar los problemas con la temperatura es deseable tener operando a la celda en el nivel de luz mas alto posible.

Velocidad de respuesta.

La velocidad de respuesta es la medida de la velocidad a la cual la foto celda responde a un cambio de luz a oscuridad. El tiempo de subida esta definido como el tiempo necesario para que la conductancia de luz de la foto celda alcance $1-I/e$ (cerca del 63%) de su valor final.

El decaimiento o tiempo de bajada esta definido como el tiempo necesario para la conductancia de luz de la foto celda en decaer a I/e (cerca del 73%) de su estado de iluminación. A un pie candela de iluminación los tiempos de respuesta típicos están en el rango de 5 milisegundo a 100 milisegundos.

La velocidad de respuesta depende de varios factores, incluyendo el nivel de luz, historial de luz y temperatura ambiente. Todos los materiales muestran velocidades mas altas a mayores niveles de iluminación y menores velocidades a menor iluminación. El almacenamiento en la oscuridad causara tiempos de respuesta más lentos que si las celdas estuviesen en la luz, entre mas tiempo suceda esto mayor será el efecto, además las fotoceldas tienden a responder mas lento en temperaturas frías.

Historial de luz.

Todas las celdas fotoconductoras presentan un fenómeno conocido como histéresis, memoria de luz o efecto de historial de luz. Definido simplemente, una foto celda tiende a recordar su condición mas reciente de almacenaje (oscura o iluminada) y su conductancia instantánea es función de su condición previa. La magnitud del efecto "**memoria**" depende del nuevo nivel de luz y del tiempo en este nuevo nivel, este efecto es reversible.

Para comprender el efecto "memoria" a menudo es conveniente hacer una analogía entre la respuesta de la foto celda y la del ojo humano. Como la celda, la sensibilidad del ojo humano a la luz depende del nivel de luz al que estuvo expuesto. La mayoría de la gente ha experimentado cuando entra a un cuarto con niveles de iluminación normal de una parte exterior en un día muy soleado y temporalmente ser incapaz de ver, eventualmente los ojos se ajustaran a las condiciones pero tomará un tiempo antes que lo hagan, la rapidez con que esto suceda dependerá de que tan brillante estaba afuera y que tanto tiempo se paso afuera.

La siguiente tabla muestra la relación general entre el historial de luz o efecto memoria y la resistencia de luz a varios niveles de luz. Los valores mostrados se determinaron dividiendo la resistencia de una celda dada enseguida del **historial de luz infinita (RLH)** por la resistencia de la misma celda dada enseguida del **historial de oscuridad infinita. (RHD)**. Para propósitos prácticos la **RHD** se obtiene después de 24 horas en la oscuridad y la **RLH** se obtiene después del mismo tiempo pero con la celda expuesta a **30 pies candela**.

Variación típica de resistencia con historial de luz expresado como el cociente RLH/ROH, probado a diferentes niveles de iluminación.

	Iluminación				
Relación	0.01fc	0.1fc	1.0fc	10fc	100fc
RLH/RDH	1.55	1.35	1.20	1.10	1.10

Esta tabla ilustra el hecho de que una foto celda que ha sido almacenada durante un periodo largo a la luz, tendrá una resistencia considerablemente mas baja que si hubiese sido almacenada por un periodo largo en la oscuridad. También si una celda es almacenada por un periodo de tiempo largo en niveles más altos que el nivel de prueba presentará una resistencia más alta que si hubiese sido almacenada a un nivel de iluminación más cercano al nivel de prueba.

Este efecto se puede minimizar significativamente guardando la foto celda a un nivel bajo de iluminación, de manera constante (de forma opuesta a tenerla en oscuridad). Esta es la razón por la que las fotoceldas se caracterizan después de 16 horas de exposición a su medio.

Consideraciones de Empaquetamiento, Circuitería y Ambiente.

Las fotoceldas están empaquetadas en encapsulados de metal o vidrio (hermético) o cubiertas con una capa plástica transparente de manera que estén protegidas contra ambientes hostiles. Mientras que los paquetes herméticos proporcionan un alto grado de protección, los plásticos son el método más económico.

La desventaja de los paquetes plásticos es que no son barreras absolutas para una eventual invasión de humedad. Esta puede tener un efecto adverso en la vida de la celda, sin embargo, estas fotoceldas han sido usadas con éxito a través de los años en ambientes tan hostiles como el alumbrado publico.

Rango de temperatura.

La química de los materiales foto conductivos dicta un rango de operación y almacenaje de **40 ° C a 75 ° C**. Nótese que la operación de una celda por encima de 75 ° C no necesariamente conduce a fallas catastróficas, pero la superficie fotoconductiva se puede dañar, produciendo cambios irreversibles en la sensibilidad.

La magnitud de cambio de resistencia es función del tiempo así como de la temperatura. Mientras que podrían ocurrir cambios de algunos cientos en el porcentaje en cuestión de minutos a 150 ° C, podría tomar años para que esto ocurra a 50 ° C.

Disipación de potencia.

Durante la operación, la celda debe permanecer dentro de su rango de temperatura máxima iinfernal!, de 75 ° C. Cualquier potencia aplicada a la celda elevará la temperatura de esta, por lo que debe de ser considerada.

Muchas situaciones de bajo voltaje involucran una pequeña potencia, de forma que la foto celda puede ser de tamaño pequeño, cuando los voltajes y o corrientes sean más grandes, el tamaño de la foto celda deberá de ser mayor, de forma que la película semiconductor a alcance a disipar e calor.

La siguiente curva de potencia disipada versus temperatura ambiente describe a la serie entera de celdas para la operación a una temperatura ambiente de cuarto (25 ° C). Nótese que sin importar el tamaño todas la foto celdas decaerán linealmente a cero a una temperatura ambiente de ° C. Una adecuada disipación incrementaría la disipación hasta 4 veces los niveles mostrados en la grafica.

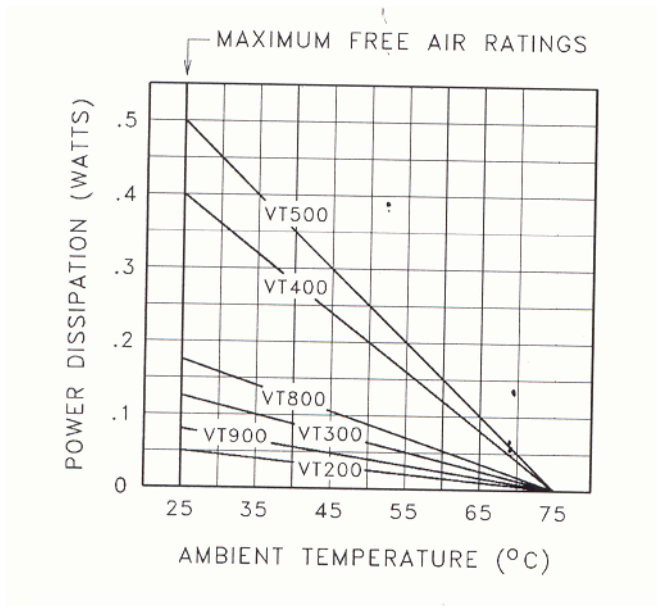


Figura 14

Voltaje máximo de la celda.

En ningún momento el voltaje máximo de la celda debe ser excedido, el diseñador deberá determinar el voltaje pico máximo que la celda experimentará el circuito y escogerá la celda apropiada. Los voltajes típicos van de los 100 a los 300 volts.

¿Qué tipo de material es el mejor?

Cada tipo específico de material representa un balance entre algunas características. Seleccionar el mejor material es un proceso para determinar cuales características son las más importantes en la aplicación.

Las fotoceldas estándar Perkin Elmer presentadas aquí son fabricadas usando uno de dos materiales, el tipo "0" o el tipo "3".

En general el material tipo "0" se usa para aplicaciones tales como luces nocturnas, sensores automotrices, y el material "3" se usa principalmente en aplicaciones de cámaras, alumbrado público y detección de flama.

Curvas características típicas de una foto celda.

Material tipo 0 a 25 ° C

Este es un material de propósito general. Sus características incluyen un buen coeficiente de temperatura y un tiempo de respuesta rápido, especialmente en niveles de muy baja luz. Las celdas de este tipo tienen un relativamente bajo historial de oscuridad. El material tipo 0 a menudo se utiliza en controles de alumbrado tales como luces nocturnas y luces de seguridad.

Para obtener la característica típica de resistencia versus iluminación de un número de parte específico refiérase a la tabla de datos del fabricante (Perkin Elmer)

- 1 Busque la resistencia a un nivel de 2 pies candela en la tabla.
- 2 inserte el valor dado y dibuje una curva a través de ese punto y paralela al miembro más cercano de la familia de curvas mostradas escoger el material foto sensitivo más apropiado.

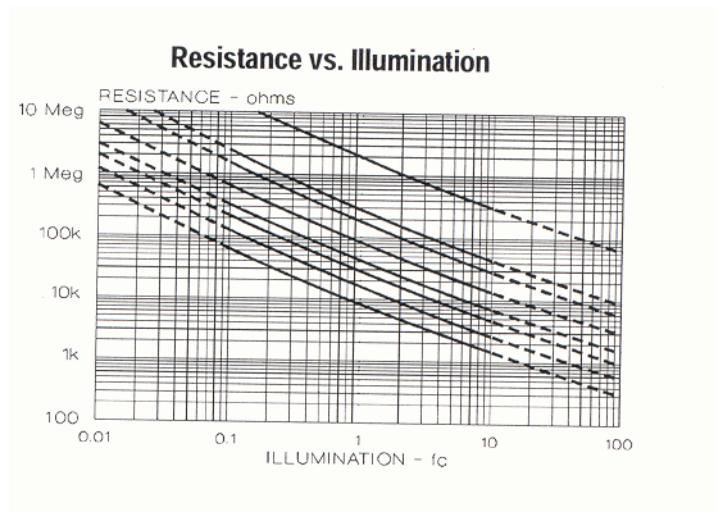


Figura 15

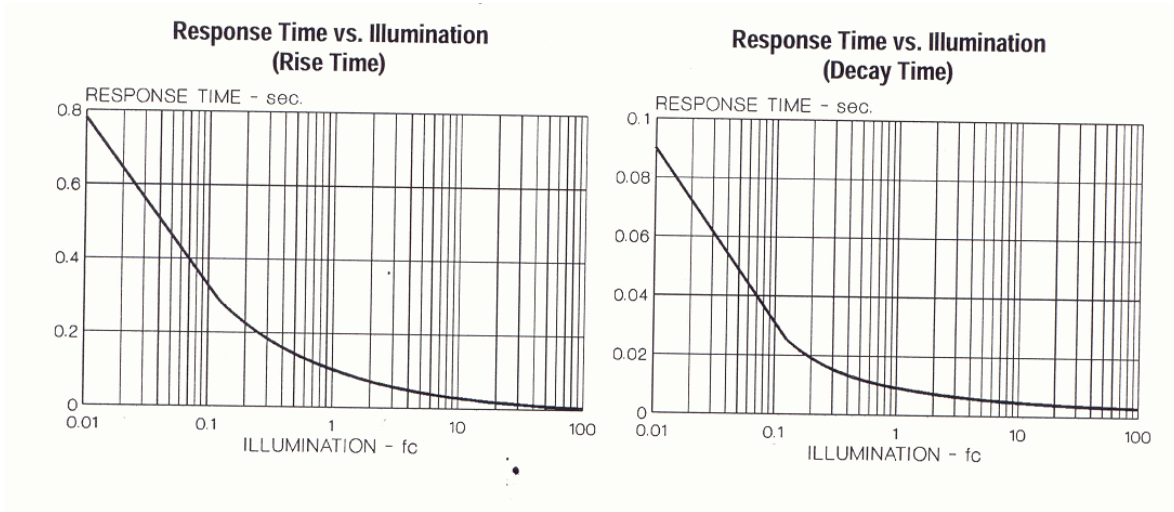


Figura 16 Tiempos de respuesta

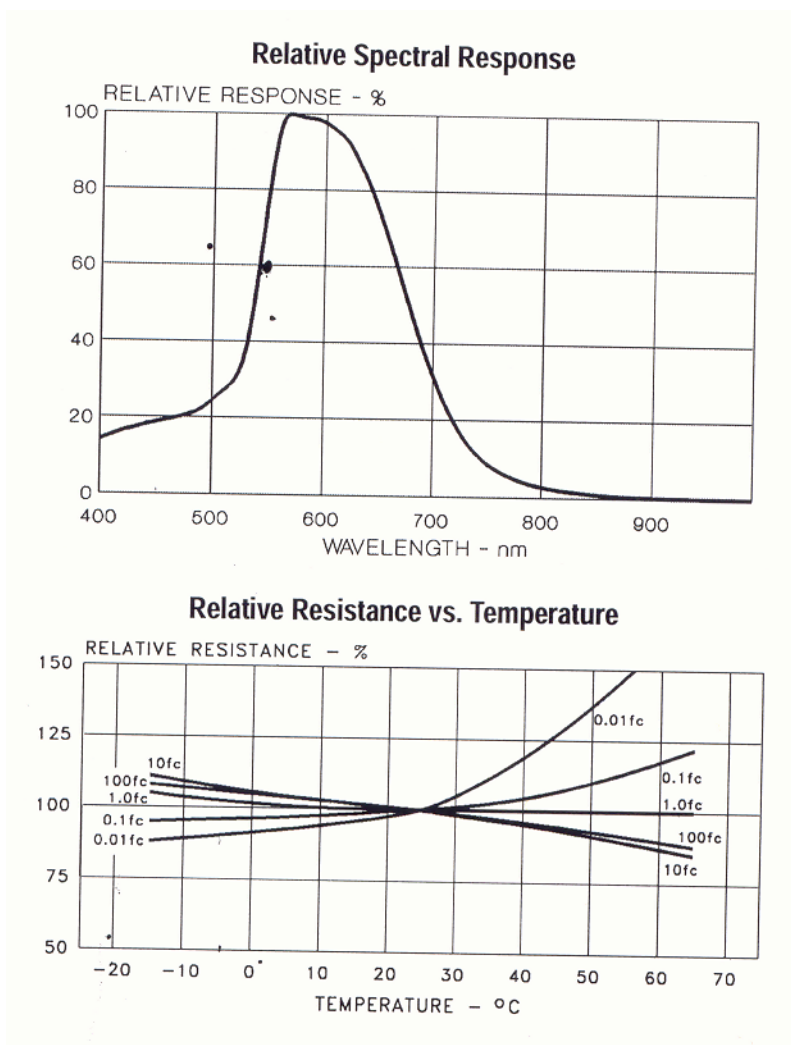


Figura 17

Material tipo 3 a 25 ° C

Este es un material de alta velocidad con una respuesta espectral muy cercana a la del ojo humano, este material es apto para conmutar de un nivel de luz a otro y ofrece un mejor tiempo de respuesta y estabilidad de temperatura. Este material a menudo se utiliza para cámaras y controles industriales.

Para obtener la característica típica de resistencia versus iluminación de un número de parte específico refiérase a la tabla de datos del fabricante (Perkin Elmer)

- 1 Busque la resistencia a un nivel de 2 pies candela en la tabla.
- 2 inserte el valor dado y dibuje una curva a través de ese punto y paralela al miembro más cercano de la familia de curvas mostradas escoger el material foto sensible más apropiado.

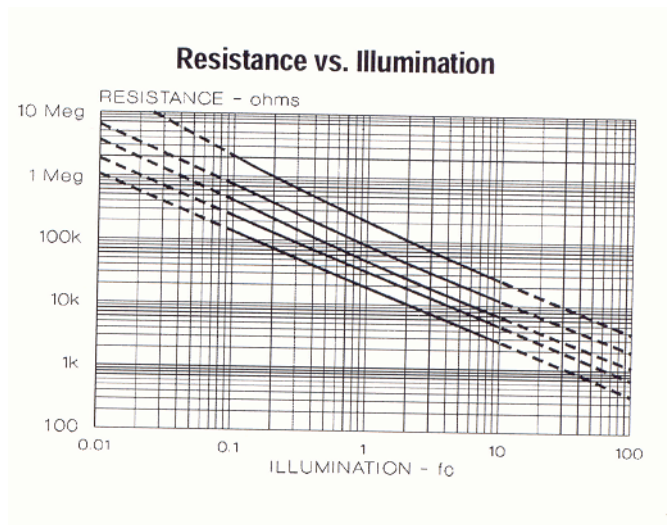


Figura 18.

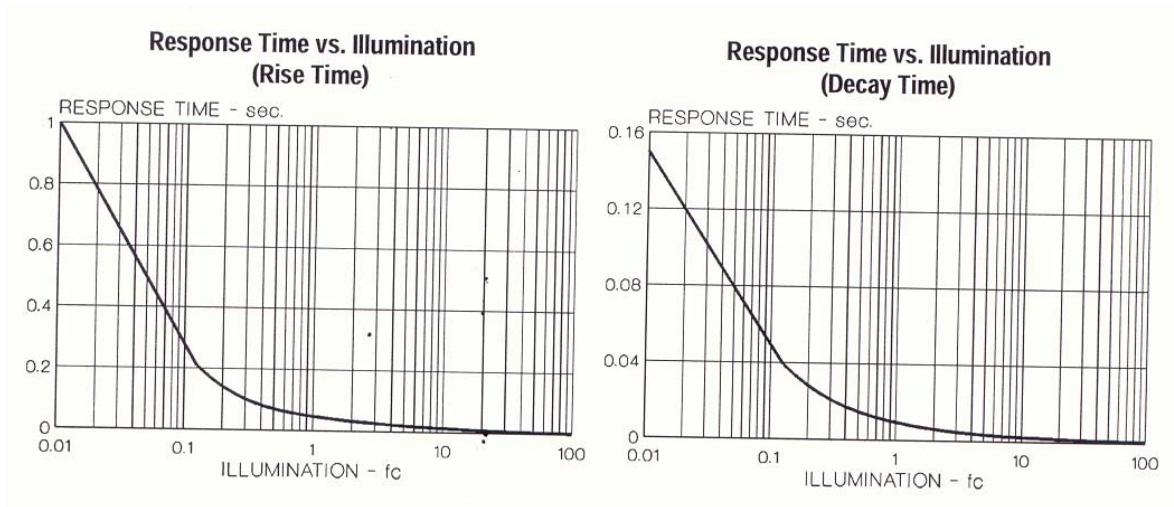


Figura 19.

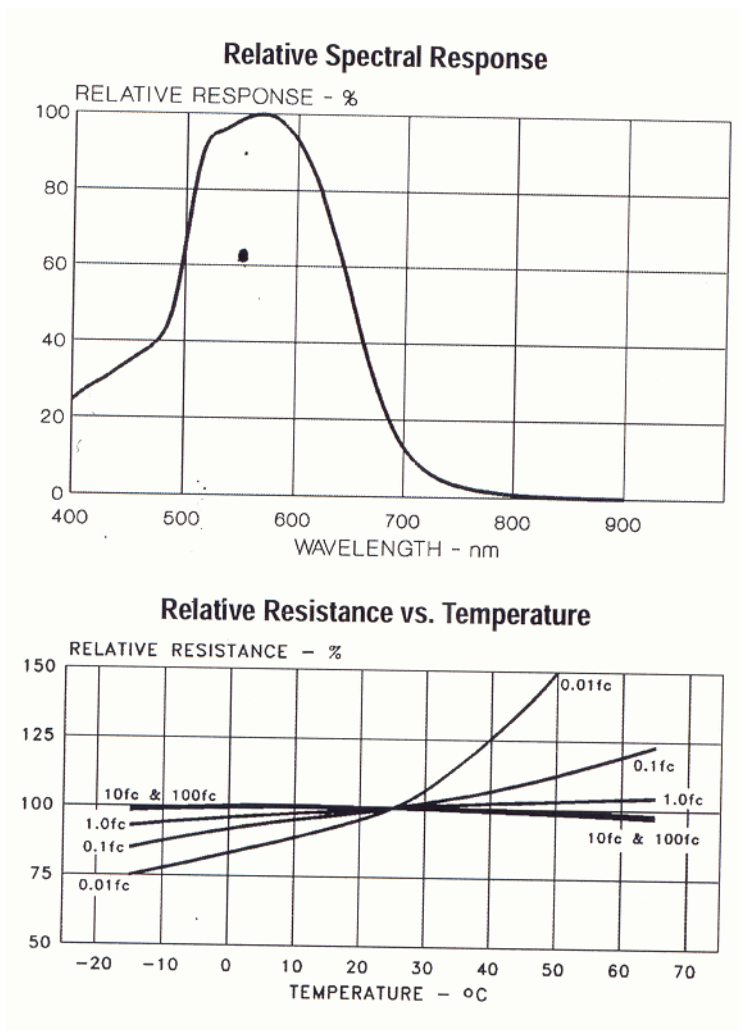


Figura 20.

Notas generales y pruebas de celdas fotoconductoras.

Pruebas de producción de foto celdas, nuevo método PerkinElmer.

Históricamente dentro de esta industria, los vendedores han tenido sus probadores de línea a los límites especificados por los planos del cliente. Los errores de medición debido a la temperatura ambiente, calibración de la fuente de luz, efecto "**memoria**", adicional a cualquier otro error del equipo de prueba se han garantizado a que cierto porcentaje de las celdas fabricadas para el cliente estén fuera de especificación.

Esta practica es incompatible en la realidad de nuestro mercado hoy en día, donde los niveles de calidad están siendo medidos en partes por millón.

En las especificaciones actuales de PerkinElmer se han corregido y se ha hecho un esfuerzo para minimizar los errores en los probadores de línea de manera que los datos usados aquí son más exactos.

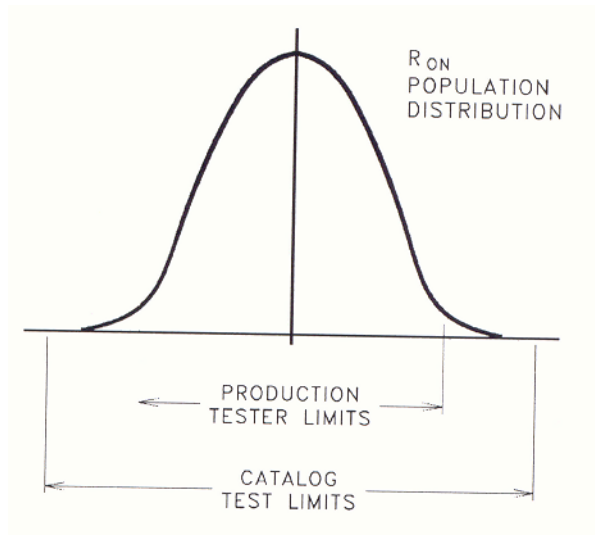


Figura 21.

Notas generales.

(refiérase a las hojas de datos)

- 1 Las fotoceldas se proveen en categorías de resistencia.
- 2 Dimensiones controladas desde la base del empaquetado.
- 3 Las fotoceldas se prueban a 1 pie candela o 10 pie candela, los valores típicos mostrados en las tablas son solamente de referencia.
- 4 Las celdas se acondicionan para 30 o 50 pie candela.
- 5 El patrón reticular de la fotocelda puede variar de la mostrada.
- 6 La resistencia de cualquier celda estándar esta controlada en un solo nivel de luz.

Una iniciación a la tecnología de los fotodiodos. (2.3)

Cortesía de <http://www.centrovision.com>

Construcción del fotodiodo.
 Polaridad del fotodiodo.
 Sensibilidad.
 Respuesta espectral.
 Linealidad.
 Eficiencia Quantum.
 Efectos de la Temperatura.
 Potencia de ruido equivalente (NEP)
 Tiempo de respuesta y de subida.
 Circuitos con fotodiodos.

Construcción del fotodiodo.

Los fotodiodos de silicio están contruidos de wafers de cristal de silicio simple semejantes a aquellos usados en la fabricación de circuitos integrados. La principal diferencia es que los fotodiodos requieren de un silicio mucho mas puro. La pureza del silicio esta relacionada directamente con la resistividad del mismo, a mayor resistividad, mayor pureza del silicio.

Los productos Centrovision usan silicio cuya resistividad va de los 10ohms-cm a los 10,000 ohms-cm.

Una sección transversal de un fotodiodo típico se muestra en la figura 22. el silicio de tipo N es el material de arranque. Una delgada capa de material "P" se forma en la superficie frontal del dispositivo por difusión térmica o implantación de ión del material de dopado apropiado, (generalmente Boro). La interfase entre la capa "p" y la capa "n" es conocida como unión PN. Se aplican pequeños contactos metálicos a la superficie frontal del dispositivo y toda la parte posterior del mismo.

El contacto posterior es el cátodo, y el contacto frontal es el ánodo. El área activa esta depositada con una capa de Nitruro de silicio, monóxido de silicio o dióxido de silicio para proteger, a la vez que sirve de capa antirreflejante. El grosor de la capa esta optimizado para una longitud de onda irradiada en particular. Como un ejemplo la serie de fotodiodos 5-T de Centrovision tiene una capa la cual amplia su respuesta a la parte azul del espectro.

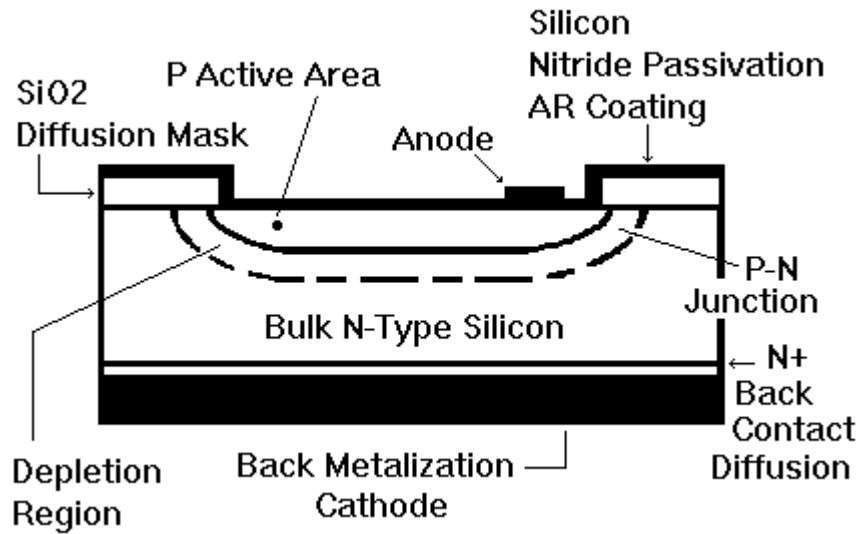


Figura 22.

Las características de la unión PN son bien conocidas, sin embargo, las uniones de fotodiodos son inusuales debido a que la capa superior tipo "p" es muy delgada. El grosor de esta capa está determinado por la longitud de onda de la radiación que será detectada. En las cercanías de la unión PN el silicio llega a estar completamente vacío de cargas eléctricas. Esta se conoce como la "región de vacío". La profundidad de la región de vacío puede variar de acuerdo al voltaje inverso que se le aplique a la unión. Cuando la región de vacío alcanza la parte posterior del diodo, el fotodiodo se dice que esta completamente vaciado. La región de vacío es importante para el desempeño del fotodiodo dado que la mayor parte de su sensibilidad se origina allí.

La capacitancia de la unión PN depende del grosor de esta región de vacío variable. A medida que se incrementa la polarización inversa se incrementa la profundidad de la región de vacío y se disminuye la capacitancia hasta que se logra la condición de vaciamiento total. La capacitancia de la unión es también una función de la resistividad del silicio usado y del tamaño del área activa. La relación entre la capacitancia de la unión, voltaje de polarización y el área se muestran en la grafica siguiente.

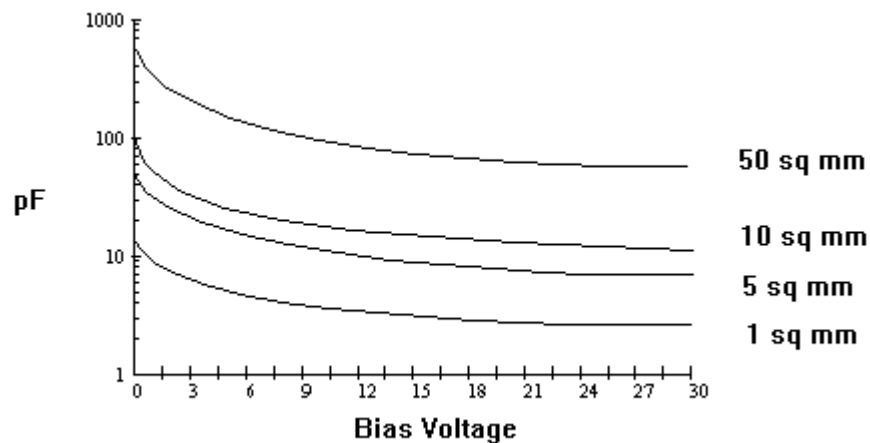


Figura 23.

Cuando la luz es absorbida en el área activa se forma un par electrón-hueco. Los electrones y los huecos son separados pasando los electrones a la región "n" y los huecos a la región "p", esto da como resultado una corriente eléctrica generada por la luz (generalmente abreviada como **Isc**). La migración de electrones y huecos a sus respectivas regiones es llamado "**El efecto fotovoltaico**". Los fotodiodos de silicio son más útiles como generadores de corriente, sin embargo también se genera un voltaje debido a la iluminación. La mayoría de los datos provistos en los manuales se refieren a las características de corriente de corto circuito de los fotodiodos. La corriente de corto circuito es una función lineal de la irradiancia en un muy amplio rango de por lo menos 7 órdenes de magnitud. La *Isc* solo es afectada ligeramente por la temperatura, variando menos del 0.2% por grado Celsius para longitudes de onda visibles. Un estudio reciente de un laboratorio independiente ha mostrado que los fotodiodos de **Centrovision** tienen una muy buena estabilidad de *Isc*, mejor que +/- 0.25% por año.

Aproximaciones de Corriente de corto circuito Varias fuentes de luz.

Numero de parte	Luz de mediodía, mA	Tabla de luz de cuarto encendida, microA	LED súper rojo a 10 mA, 1 CM Alejado, microA	Apuntador @ 1 metro, mA
OSD1-5T	0.47	0.45	0.32	0.71
OSD5-5T	1.80	2.10	1.70	1.00
OSD15-5T	4.50	5.60	2.60	1.00
OSD35-5T	11.00	14.00	3.80	1.10
OSD60-5T	28.00	39.00	7.20	1.10

Tabla xx

Debe notarse que cuando se aplica una polarización inversa fluirá alguna corriente sin que este iluminada. La "**corriente de oscuridad**" se especifica para cada dispositivo. En los casos en que se utiliza un voltaje de polarización muy bajo, se especifica una **resistencia shunt**. Esta determinada por la corriente de oscuridad cuando se le aplica un voltaje de polarización de +/- 0.010 volts.

Polaridad del fotodiodo.

Un fotodiodo tiene dos terminales, un cátodo y un ánodo. Tiene una baja resistencia en directa (ánodo positivo) y una resistencia alta en inversa (ánodo negativo). La polarización normal de operación de la mayoría de los fotodiodos descrita aquí necesita una polarización negativa del área activa del dispositivo el cual es el ánodo o positiva en el lado opuesto del dispositivo, el cual es el

cátodo. En los modos de polarización fotovoltaico y cero, la corriente o voltaje generado esta en la dirección de la dolarización directa del diodo. Por consiguiente, la polaridad generada es opuesta a la requerida para el modo polarizado.

Sensibilidad del fotodiodo.(R)

La medida de la sensibilidad es el cociente de la **energía radiante** (en watts) incidente sobre el fotodiodo y la corriente de salida del fotodiodo en amperes. Se expresa como una sensibilidad absoluta en **amperes por watt (A/W)**. Note que la energía radiante generalmente se expresa como watts por centímetro cuadrado y que la corriente del fotodiodo se expresa en amperes por centímetro cuadrado, por lo que los cm^2 se cancelan y solo dejamos amperes por watt (A/W). Una curva típica de sensibilidad que muestra A/W como función de la longitud de onda se muestra a continuación.

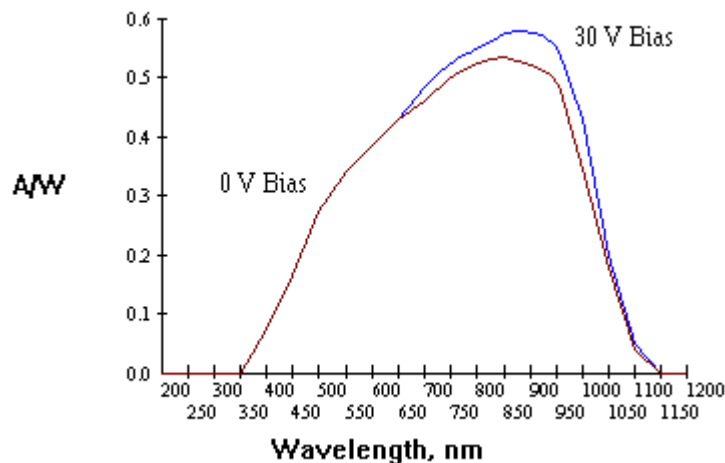


Figura 24.

Respuesta espectral.

La longitud de onda de radiación a ser detectada es un parámetro importante. Como se pudo ver de la grafica, el silicio llega a ser transparente para longitudes de onda mayores que 1100 nM. Por lo tanto no es apto para usarse con longitudes de onda mas allá de esta. La luz ultravioleta por el contrario se absorbe en los primeros 100 nM del grosor del silicio. Aun la preparación más cuidadosa de la superficie deja algunos daños, lo cual reduce la eficiencia de recolección para esta longitud de onda (λ). Además otras capas en la superficie afectan la respuesta espectral del dispositivo. Es normal aplicar capas antirreflejantes, las cuales amplían la respuesta hasta en un 25% en la λ requerida. Estas capas pueden reducir la eficiencia en otras λ las cuales reflejan además la ventana del paquete modifica la respuesta espectral. El vidrio estándar absorbe longitudes de onda (λ) menores de 300 nM. Para la detección de UV (ultra violeta) se usa una ventana de silica fundida o vidrio transmisor de UV. Existen varios filtros disponibles para adecuar la respuesta espectral a la aplicación. Un filtro en particular el cual es de gran interés, modifica la respuesta del silicio para aproximarla a la respuesta espectral del **ojo humano** [\[16\]](#).

Linealidad.

La salida del fotodiodo cuando esta polarizado inversamente es extremadamente lineal con respecto a la **iluminación** aplicada a la unión del fotodiodo como se puede apreciar en la grafica.

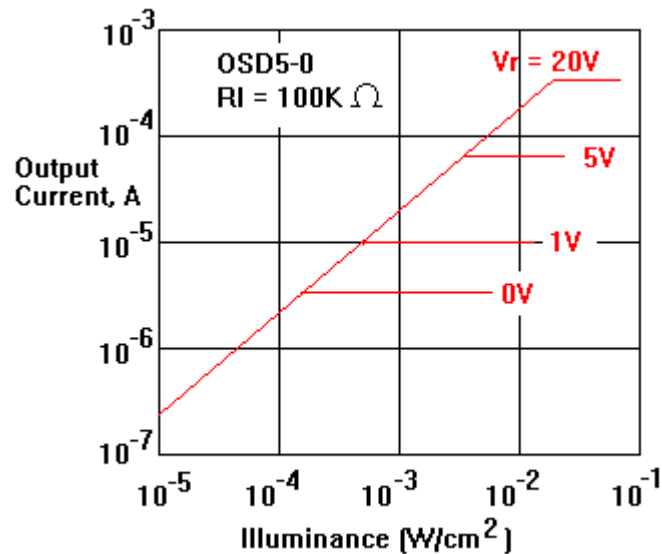


Figura 25.

Efectos de la polarización inversa en la linealidad del fotodiodo.

Eficiencia Quantum (Q.E.).

La capacidad de los fotodiodos para convertir energía luminosa en energía eléctrica, se expresa como un porcentaje, este es la eficiencia Quantum. La sensibilidad (**R**) de un fotodiodo puede también ser expresada en unidades practicas de amperes de corriente del fotodiodo por watt de iluminación incidente. La **QE** esta relacionada a la sensibilidad de un fotodiodo por la siguiente ecuación:

$$Q.E.(\%) = \frac{1.24 \times 10^5 R(A/W)}{\lambda (nm)}$$

Figura 26.

Operando bajo condiciones ideales de reflectancia, estructura cristalina y resistencia interna, un fotodiodo de silicio de alta calidad de diseño optimo debería de ser capaz de aproximarse a una QE de 80%, la sensibilidad ideal de un fotodiodo en un rango de longitud de onda de 200 a 1100 nM. Debe notarse que una QE del 100% no es posible.

Longitud de onda, nm	Sensibilidad a 100% Q.E. A/W
200	0.161
300	0.242
400	0.323
500	0.403
600	0.484
700	0.565
800	0.645
900	0.726
1000	0.806
1100	0.887

Tabla xx

Efectos de temperatura.

El incremento en la temperatura de operación del fotodiodo resulta en dos cambios de las características de operación. El primer cambio es un corrimiento de la eficiencia quantum (QE) debido a cambios en la absorción de radiación del dispositivo. Los valores de QE bajan en la región de UV y suben en la región de IR, véase la **figura 27**.

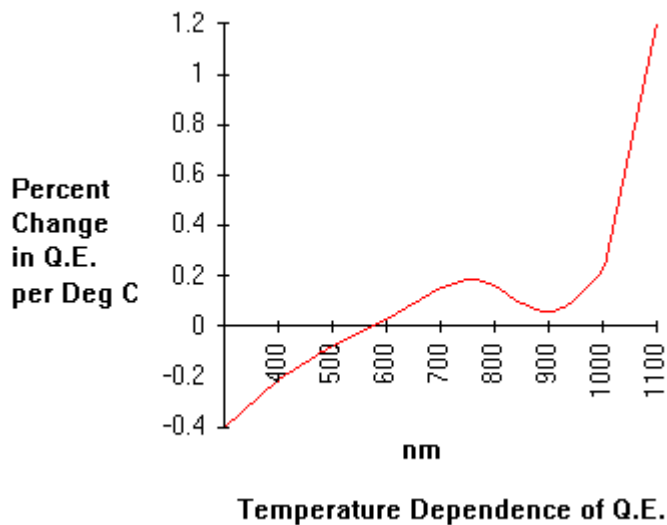


Figura 27.

El segundo cambio es causado por el incremento exponencial en la excitación térmica, de los pares electrón-hueco dando como resultado un incremento en la corriente de oscuridad. Esta fuga se duplica por cada 8 o 10 grados Celsius de incremento como se muestra a continuación:

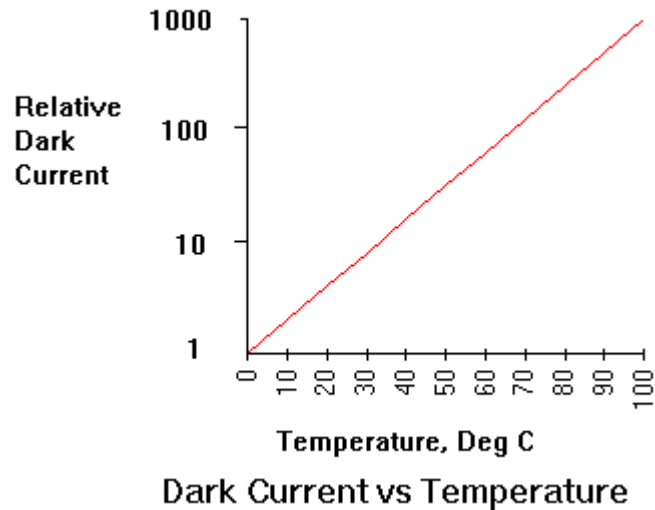


Figura 27.

Potencia Equivalente de Ruido (NEP).

En muchos diseños de aplicaciones, el diseñador necesita saber la luz mínima detectable (potencia) del fotodiodo. La potencia incidente mínima requerida por un fotodiodo para generar una foto corriente igual a la corriente de ruido total del fotodiodo está definida como, la potencia equivalente de ruido, o **NEP**.

$$\text{NEP} = \frac{\text{noise current (A)}}{\text{responsivity (A/W)}}$$

Figura 28.

El NEP es dependiente del ancho de banda del sistema de medición; para quitar esta dependencia, la figura esta dividida por la raíz cuadrada del ancho de banda. Esto le da como resultado la NEP las unidades de watts/hertz E-5. Dado que la conversión de potencia de luz a corriente en el fotodiodo depende de la longitud de onda radiada, el NEP es no lineal en el rango de longitudes de onda así como lo es la sensibilidad.

El ruido generado por un fotodiodo, que opera en polarización inversa, es una combinación del ruido de disparo, debido a la corriente de fuga de oscuridad y el ruido Johnson producido por la resistencia shunt del dispositivo y la temperatura ambiente. La corriente de ruido de disparo producida por la corriente de fuga inversa del dispositivo esta dada por la formula:

Shot Noise Equation

$$I_s = [2eI_d B]^{1/2}$$

Where: I_s = shot noise current

e = electronic charge (1.6×10^{-19} coulomb)

I_d = dark leakage current (A)

B = bandwidth of system (Hertz)

Figura 29.

La contribución del ruido Johnson es aportada por la resistencia shunt del dispositivo, la resistencia serie y la resistencia de carga. El ruido Jonson esta dado por:

Johnson Noise Equation

$$I_j = \left(\frac{4KT B}{R} \right)^{1/2}$$

Where: I_j = Johnson noise current

K = Boltzmann constant (1.38×10^{-23} JK⁻¹)

T = absolute temperature (K)

R = resistance giving rise to noise, Ohms

B = bandwidth of system, Hz

Figura 30.

La corriente de ruido total es la suma de la raíz media cuadrática de las contribuciones de corriente de ruido individuales.

Como un ejemplo: si un fotodiodo tiene una corriente de fuga de oscuridad de 2 nA y una resistencia shunt de 5 E8 ohms, y una sensibilidad de 0.5 A/W, y dejando el ancho de banda del sistema en 1 Hz,

$$\text{Shot Noise } I_s = 2.5 \times 10^{-14} \text{ A}$$

$$\text{Johnson Noise } I_j = 5.6 \times 10^{-15} \text{ A}$$

$$\text{Total Noise } = 2.6 \times 10^{-14} \text{ A}$$

$$\text{and NEP} = 5.1 \times 10^{-14} \text{ W}$$

Figura 31.

El ruido de disparo es el componente dominante de la corriente de ruido de un fotodiodo polarizado inversamente. Esto es particularmente cierto a voltajes más altos. Si los dispositivos son operados en modo fotovoltaico con polarización cero, el ruido Jonson domina, conforme la corriente de oscuridad se acerca a cero. Cuando se opera en modo cero la corriente de ruido se reduce de tal forma que la NEP, y por consiguiente la señal detectable mínima se reducen y tomando en cuenta alguna pérdida de sensibilidad absoluta.

Tiempo de subida (t_r)

Esta es la medida de la velocidad de respuesta del fotodiodo a una señal impulso de entrada de luz. Es el tiempo requerido para que el nivel de salida se incremente de un 10% a un 90% del valor final de salida (véase tiempo de respuesta mas abajo)

Voltaje inverso máximo (V_r).

La aplicación excesiva de un voltaje inverso al fotodiodo puede causar el rompimiento del mismo o severos daños al rendimiento de este. Cualquier voltaje inverso aplicado deberá de mantenerse por abajo del voltaje máximo especificado ($V_r \text{ max}$).

Tiempo de respuesta.

En muchas aplicaciones el parámetro más importante es el rendimiento dinámico. El tiempo de respuesta del fotodiodo es la suma de la raíz cuadrática media del tiempo de recolección de carga y la constante de tiempo RC que surge de la resistencia serie de la carga y la unión y las capacitancias parásitas. El tiempo de recolección de carga es dependiente del voltaje y esta hecho de un componente rápido y uno lento. El componente rápido es el tiempo de transito de los portadores de carga (electrones y huecos) a través de la región de vaciamiento, produciendo portadores que son recolectados por difusión. El tiempo de transito de estos portadores será relativamente lento. La **figura 32** ilustra la respuesta al transitorio de un fotodiodo a un pulso cuadrado de radiación.

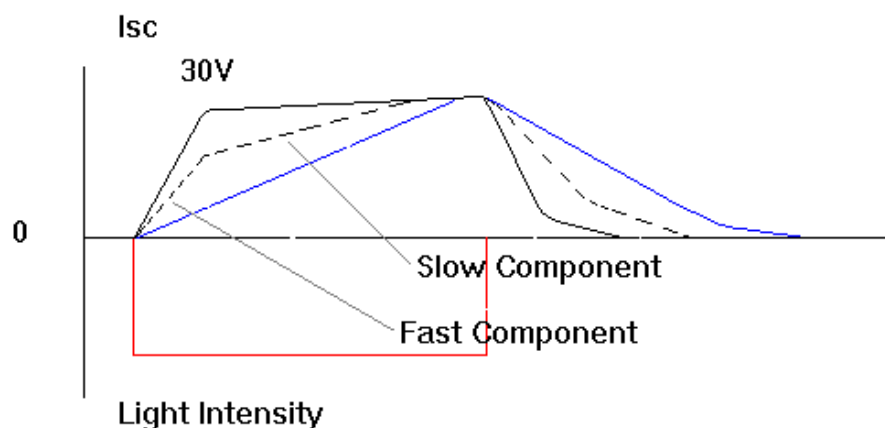


Figura 32.

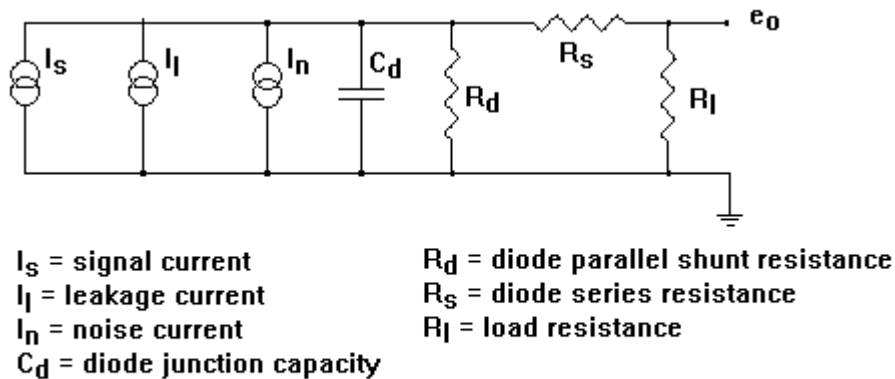
Cuando un fotodiodo se opera en modo no polarizado, el componente de difusión lenta domina, dando tiempos de subida en el orden de 0.5 uS.

Para un tiempo de respuesta rápido, se debe de escoger una resistividad del silicio y un voltaje de operación que produzcan una capa de vació dentro de la cual se genere la mayoría de portadores. En este caso el tiempo de transito dependerá de la desviación de velocidad tanto de electrones como de huecos. La profundidad del vaciamiento necesaria para la absorción total se incrementa rápidamente con la longitud de onda de operación el tiempo de respuesta se incrementa correspondientemente. Esto hace difícil lograr tiempos de subida mayores a 15 o 20 nS a una λ de 1064 nM mientras que se pueden obtener tiempos de bajada menores a 2nS por debajo de los 900 nM.

La serie Centrovision 3T y 4x toman ventaja del incremento en la desviación de velocidades, dando como resultado un campo eléctrico muy alto. En esta estructura el grosor del silicio se reduce justo para contener la profundidad requerida de vaciamiento, y una capa posterior altamente dopada se utiliza para suministrar la carga necesaria para soportar la región de vaciamiento a voltajes mayores. De esta manera el campo de operación, y por consiguiente la desviación de velocidades de los portadores puede ser incrementada sin un incremento significativo en la profundidad del vaciamiento. Además se puede obtener un incremento en la velocidad a costa de la sensibilidad global a través del uso del silicio, el cual no es lo suficientemente grueso para permitir la absorción total de la radiación incidente.

Circuitos de operación equivalentes.

El circuito equivalente del fotodiodo se muestra en la **figura 33**.



$$e_0 = [I_s + I_l + I_n] [R_l R_d] [R_l + R_d + R_s]$$

Figura 33.

Fundamentalmente un fotodiodo es un generador de corriente. La capacitancia de la unión del fotodiodo depende de la profundidad de la capa de vaciamiento y por consiguiente del voltaje de polarización. El valor de la resistencia shunt generalmente es alto (megaohms). La resistencia serie es baja. El efecto del valor de la resistencia de carga en las características de voltaje corriente se muestra en la **figura 34**.

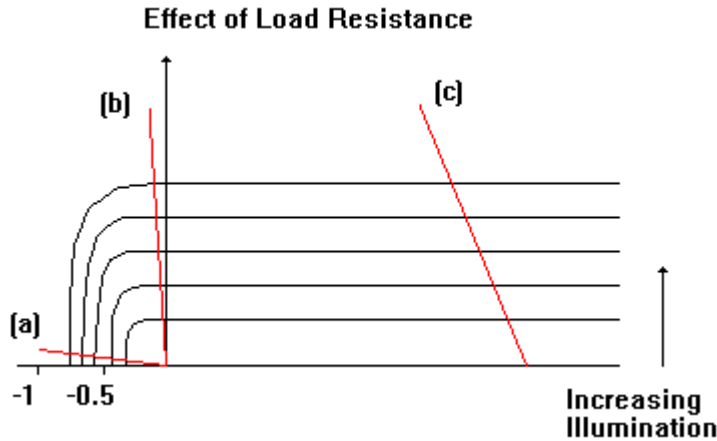


Figura 34.

Operación fotovoltaica - $R_L \gg R_d$, línea de carga (a).

La foto corriente generada fluye a través de R_d causa un voltaje a través del diodo. Este voltaje se opone al potencial de banda de la unión del fotodiodo. Polarizándolo en directa. El valor de R_d cae exponencialmente según crece la iluminación. De esta manera el voltaje foto generado es una función logarítmica de la intensidad de luz incidente. La mayor desventaja de este circuito es que la señal depende de T_d , el cual tiene un amplio rango de valores en los diferentes lotes de producción. El circuito básico se muestra a continuación.

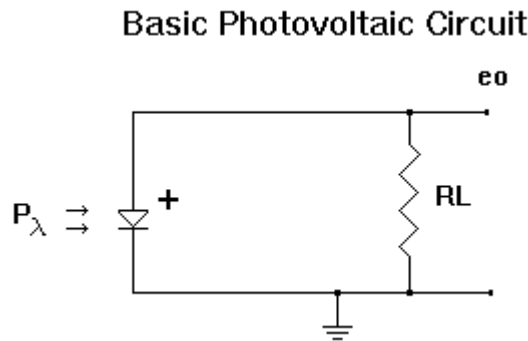


Figura 35.

Operación de polarización cero - $R_I \ll R_d$, línea de carga (b)

La foto corriente generada fluye a través de R_I la cual es fija. El voltaje que resulta es por lo tanto linealmente dependiente del nivel de radiación incidente. Una manera de lograr una resistencia de carga suficientemente baja y un voltaje de salida amplificado es alimentar esta corriente a la tierra virtual de un amplificador operacional, como se muestra en la **figura 36**. el circuito tiene una respuesta lineal y un bajo ruido debido a la eliminación casi completa de la corriente de fuga.

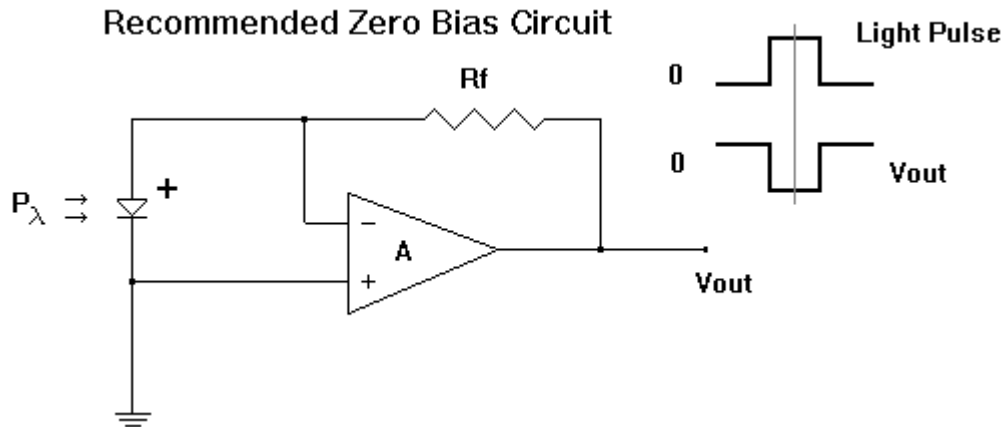


Figura 36.

Operación foto conductiva - línea de carga (c)

En el modo fotoconductor, la foto corriente generada produce un voltaje en una resistencia de carga en paralelo con la resistencia shunt. Dado que en el modo de polarización inversa R_d es substancialmente constante, se pueden usar valores grandes de R_I dando como resultado una respuesta lineal entre el voltaje de salida y la intensidad de radiación aplicada. Este es el tipo de circuito que se requiere para altas velocidades de respuesta. La principal desventaja de este modo de operación es que se incrementa la corriente de fuga debido al voltaje de polarización, dando como resultado un ruido mayor en comparación con otros modos ya descritos. Algún os circuitos prácticos se muestran a continuación, nótese que en ambos el fotodiodo esta polarizado en forma inversa.

Negative Bias Circuit

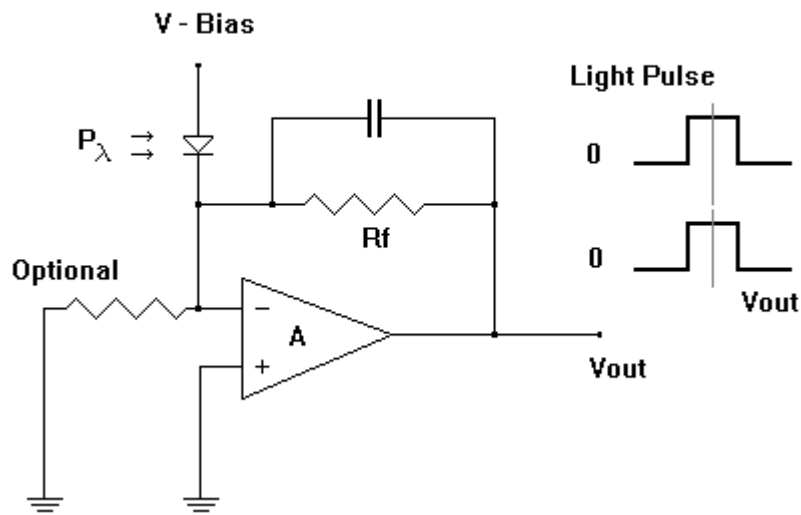


Figura 37.

Positive Bias Circuit

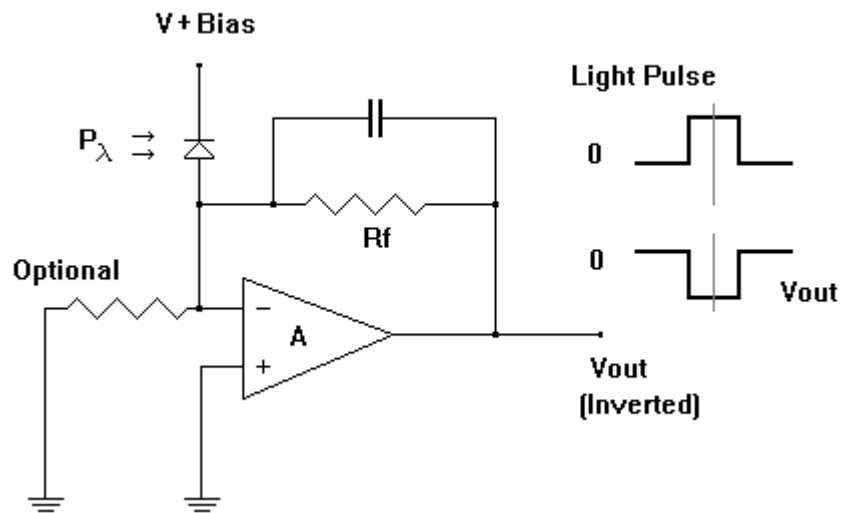


Figura 38.

Amplificadores híbridos.

En la actualidad es posible construir un fotodiodo junto con un amplificador de transimpedancia en un mismo paquete, a diferencia de un fotodiodo básico. Esto reduce la longitud de las conexiones así como las capacitancias parásitas en las entradas de alta impedancia de pequeña señal. El ruido capturado y el generado por el mismo amplificador se mantienen por lo tanto en el mínimo absoluto usando esta técnica. Por lo tanto para conveniencia del usuario, para bajo ruido y altas frecuencias un circuito híbrido es el dispositivo óptimo. Centrovision tiene varios amplificadores híbridos como productos estándar (véase la serie OSI).

Capacitancia de la unión.

La capacitancia de la unión en un fotodiodo depende de su área y el voltaje de polarización, como se muestra en la **figura 39**.

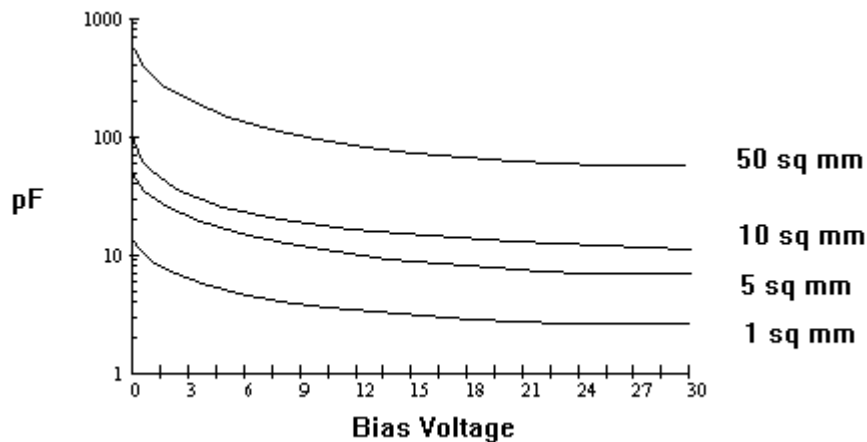


Figura 39.

Teoría y características de los foto transistores.(2.4)

Preparado por: John Bliss
Traducción de: Alfonso Pérez García
Cortesía de Motorola.(AN-440).

Introducción.

La operación del fototransistor esta basada en la sensibilidad de una unión PN a la energía radiante, si la energía radiante es de la longitud de onda apropiada para alcanzar la unión, la corriente en esa unión se incrementara el fenómeno optoelectronico ha proporcionado al diseñador con un dispositivo que se usa en una amplia variedad de aplicaciones. Sin embargo para hacer uso optimo de los fototransistores, el diseñador debe tener un sonoro soporte de sus principios de operación y características.

Historia.

La primera correlación hecha entre la radiación y la electricidad fue notada por **Gustav Hertz** en 1887. Hertz observó que bajo la influencia de la luz ciertas superficies liberaban electrones. En 1900 **Max Planck** propuso que la luz contenía energía en paquetes discretos, a los cuales llamo fotones. **Einstein** formuló esta teoría en 1905, mostrando que el contenido de energía de cada protón era directamente proporcional a la frecuencia de la luz:

$$E = hf, \quad (1).$$

Donde:

E es la energía del protón.

h es la constante de Planck.

f es la frecuencia de la luz.

Planck teorizo que el metal tiene asociado una función de trabajo, o energía encapsulada para los electrones libres. Si un fotón pudiera transferir su energía a un electrón libre, y esa energía excediera la función de trabajo, el electrón podría ser liberado de la superficie. La presencia de un campo eléctrico podría ampliar efectivamente esto reduciendo la función de trabajo. Einstein amplio los estudios de Plank mostrando que la velocidad y por consiguiente el momentum de un electrón emitido, dependen de la función trabajo y la frecuencia de la luz.

Efecto fotoeléctrico en barras de cristal semiconductor.

Si una luz de la longitud de onda apropiada incide sobre un cristal semiconductor, la concentración de portadores de carga encontrada se incrementa. Así, la conductividad del cristal se incrementa:

$$\sigma = q(\mu_e n + \mu_h p), \quad (2)$$

donde:

σ es la conductividad,

q es la carga del electrón,

μ_e es la movilidad del electrón,

μ_h es la movilidad del hueco,

n es la concentración de electrones y

p es la concentración de huecos.

El proceso por el cual se incrementa la concentración de portadores de carga se muestra en la **figura 40**. la estructura de banda del semiconductor se muestra con un a banda prohibida de energía o región prohibida de E_g electrón-volts. También se muestra la radiación de dos fuentes que golpean el cristal. La frecuencia de luz f_1 es lo suficientemente grande de forma que hf_1 es ligeramente mayor que la de la banda prohibida de energía. Esta energía a un electrón pegado a la banda de valencia, y el electrón es excitado a un estado energético mayor, en la banda de conducción. Donde sirve como portador de carga. El hueco dejado atrás en la banda de valencia sirve también como portador de carga.

El fotón de energía f_2 de frecuencia más baja de luz, hf_2 es menor que la banda prohibida, y el electrón liberado de la segunda parte en la banda de valencia subirá de nivel en la región prohibida, solo para liberar esta energía y volver a caer en la banda de valencia y recombinarse con el hueco en la parte tres.

Lo expuesto anteriormente implica que la banda prohibida, E_g representa un umbral de respuesta a la luz. Esto es verdad, sin embargo este no es un umbral abrupto. A través de todo el proceso, se aplica la ley de conservación de momentos.

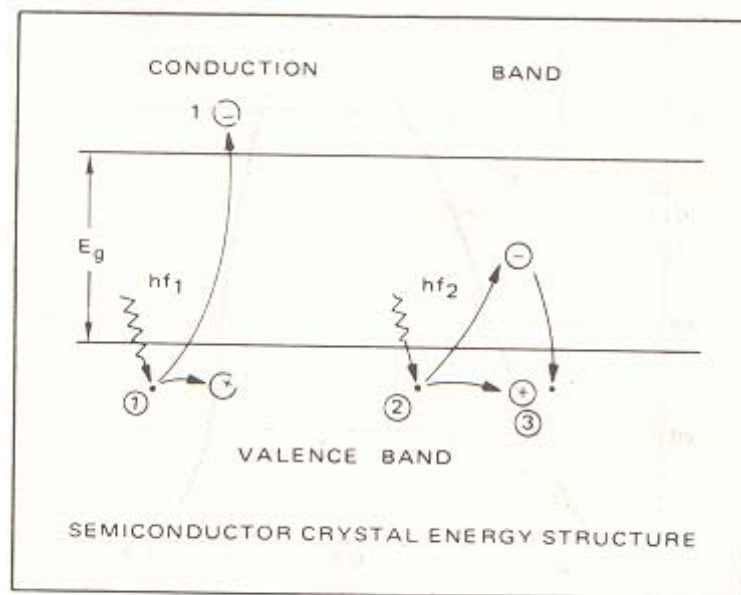


FIGURE 1 – Photoeffect in a Semiconductor

Figura 40.

El momentum y la densidad de los lugares de electrones-hueco es la más alta entre el centro de las bandas de valencia y conducción, y cae a cero en los limites alto y bajo de las bandas. Por lo tanto, la probabilidad de que un electrón excitado en la banda de valencia un lugar de momentum en la banda de conducción, es máximo que en el centro de las bandas y mínimo en los limites de las bandas. Consecuentemente se encuentra que, la respuesta del cristal a la luz incidente se eleva de cero a la energía del fotón de E_g electron-volts, y a un pico en un nivel de energía mayor, y luego cae a cero una vez mas, al nivel correspondiente a la diferencia entre la parte baja de la banda de valencia y la parte alta de la banda de conducción.

La respuesta es una función de energía, y por lo tanto de la frecuencia, a menudo esta dada como una función reciproca de la frecuencia, o de manera más precisa de la longitud de onda. Un ejemplo se muestra en la **figura 41** para un cristal de selenuro de cadmio. Basándonos en la información dada hasta ahora, se vería razonable esperar una simetría en la curva, sin embargo, centros de enganche y otros fenómenos de absorción afecta la forma de la curva 1

La respuesta óptica de la barra semiconductor se puede modificar agregando impurezas. La adición de una impureza aceptora, la cual causa que la barra de material semiconductor se convierta en un material de naturaleza tipo p, dando como resultado niveles de impureza un tanto arriba del tope de la banda de valencia. La excitación fotonica puede ocurrir de estos niveles de impureza a la banda de conducción, generalmente dando como resultado un corrimiento y reformateo de la curva espectral. Una modificación similar de la respuesta se puede atribuir a los niveles de impureza del donador en el material tipo n.

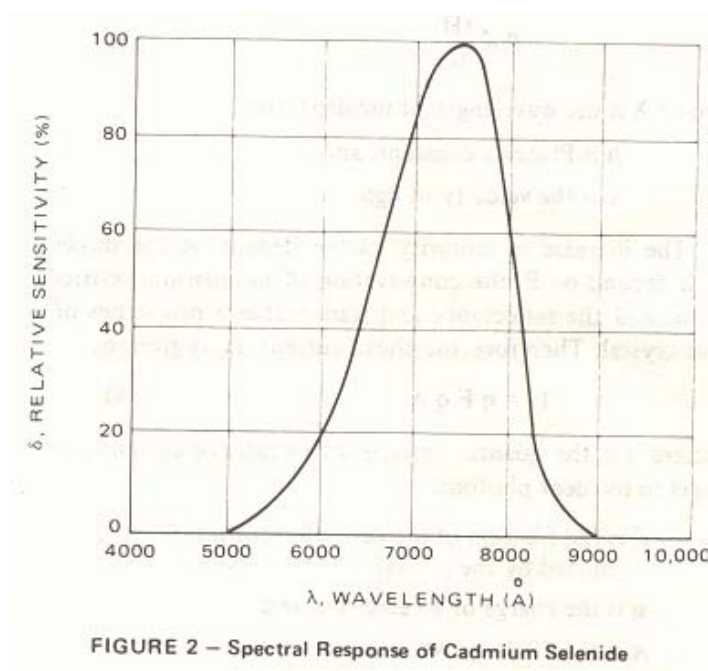


Figura 41

Uniones tipo PN

Si una unión PN se expone a la frecuencia apropiada de luz, el flujo de corriente a través de la unión tenderá a crecer. Si la unión está polarizada directamente, el incremento neto será relativamente insignificante. Sin embargo, si la unión está polarizada en forma inversa, el aumento será relativamente apreciable, la **figura 42** muestra el efecto fotoeléctrico en la unión bien dentro de la curva de respuesta del dispositivo.

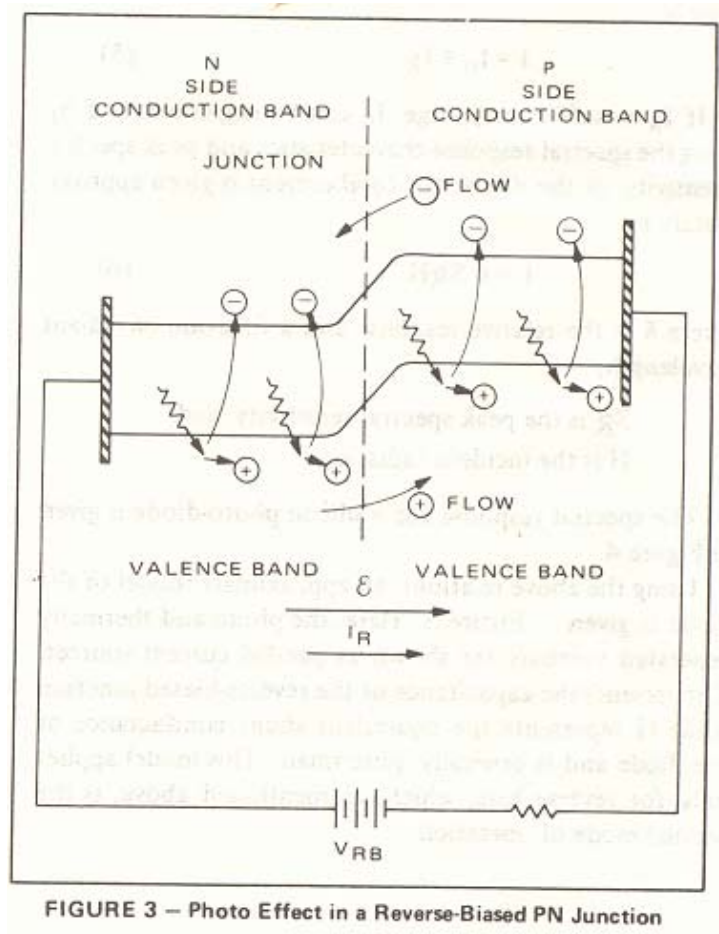


Figura 42.

Vea las referencias para una discusión mas detallada de esto.

Los fotones crean pares electrón-hueco en el cristal en ambos lados de la unión. La energía transferida promueve los electrones hacia la banda de conducción, dejando huecos en la banda de valencia. La polarización externa provee un campo eléctrico E , como se muestra en la figura 42. así los electrones foto inducidos en la banda de conducción del lado p fluirán debajo del potencial de montaña en la unión hacia el lado n y de allí al circuito externo. De forma semejante, los huecos en la banda de valencia del lado n fluirán a través de la unión hacia el lado p donde se sumaran a la corriente externa.

Bajo condiciones de oscuridad, la corriente que fluye a través del diodo polarizado inversamente, es la corriente inversa de saturación, I_0 . Esta corriente es relativamente independiente del voltaje aplicado (debajo del rompimiento) y es básicamente el resultado de la generación térmica de pares electrón-hueco.

Cuando la unión es iluminada, la energía transferida de los fotones crea pares de electrón-hueco adicionales. El número de pares electrón-hueco creados es función de la intensidad de la luz.

Por ejemplo una radiación monocromática incidente de H (watts/cm²) proporcionara P fotones al diodo:

$$P = \lambda H / h c \quad (3)$$

Donde:

λ es la longitud de onda de la luz incidente,
 h es la constante de Planck y,
 c es la velocidad de la luz.

El incremento de la densidad de los portadores minoritarios en el diodo dependerá de P , la restricción de la conservación del momentum y las propiedades de reflectancia y transmitancia del cristal.

Por lo tanto la foto corriente I_λ esta dada por:

$$I_\lambda = \eta F q A \quad (4)$$

donde:

η es la eficiencia quantum o cociente de portadores de corriente a fotones incidentes
 F es la fracción de fotones incidentes transmitidos por el cristal,
 q es la carga de un electrón, y
 A es el área activa del diodo.

Así bajo condiciones de iluminación, el flujo de corriente total es:

$$I = I_0 + I_\lambda \quad (5)$$

Si I_λ es lo suficientemente grande, I_0 puede ser despreciable y usando las características de respuesta espectral y la sensibilidad de pico espectral del diodo, la corriente total esta dada por:

$$I \approx \delta S_R H \quad (6)$$

donde:

δ es la respuesta relativa y una función de la longitud de onda radiante,

S_R es la sensibilidad pico espectral, y
 H es la radiación incidente.

La respuesta espectral de un fotodiodo de silicio esta dada en la **figura 43**. Usando las relaciones anteriores, un modelo aproximado de los diodos se proporciona en la **figura 44**. aquí las corrientes foto generadas y térmicas se muestran como fuentes de corriente en paralelo. **C** representa la capacitancia de la unión polarizada inversamente mientras que **G** es la conductancia equivalente del diodo la cual generalmente es pequeña. Este modelo aplica solamente para polarización inversa, como fue mencionado anteriormente es la forma normal de operación.

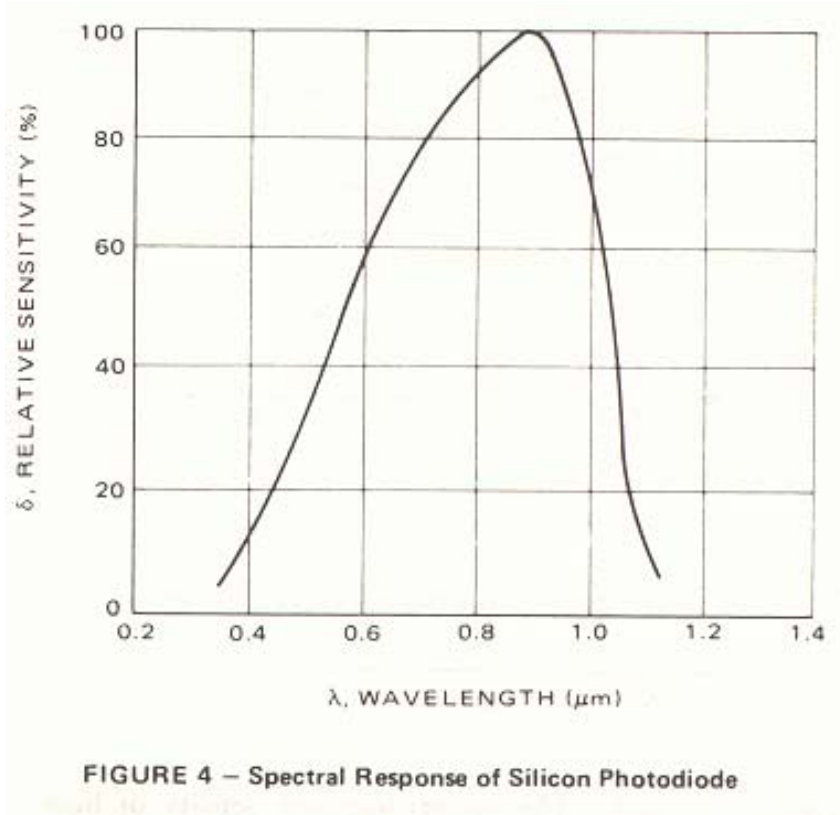


Figura 43.

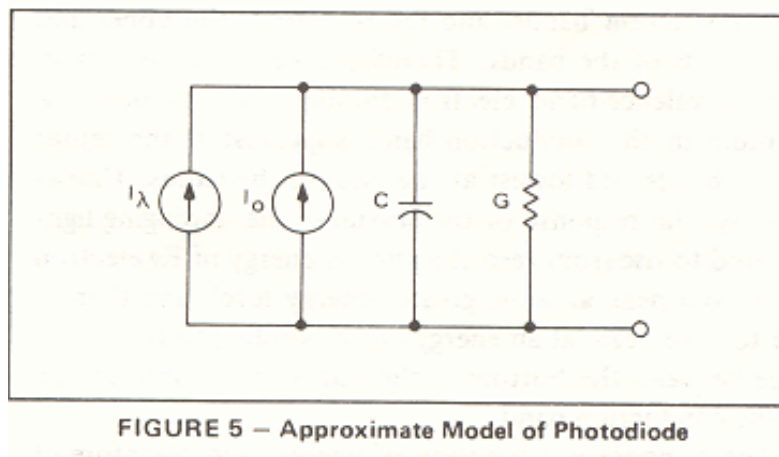


Figura 44.

El foto transistor.

Si la unión discutida anteriormente se hace el **diodo colector-base** de un transistor bipolar, la corriente fotoinducida es la corriente de base. La ganancia de corriente del transistor dará como resultado una corriente colector-emisor de:

$$I_C = (h_{fe} + 1) I_{\lambda} \quad (7)$$

Donde:

I_C es la corriente del colector,
 h_{fe} es la ganancia en sentido directo de corriente, y
 I_{λ} es la corriente de base foto inducida.

La terminal de base puede dejarse flotando, o puede ser polarizada a un valor de operación deseado. En cualquier caso, la unión colector-base esta polarizada en forma inversa y la corriente del diodo es la corriente de fuga inversa. Así la foto estimulación dará como resultado un incremento significativo en la corriente de base del diodo, y con la ganancia de corriente dará como resultado un incremento en la corriente de colector.

El diagrama de bandas para el foto transistor se muestra en la **figura 45**. la corriente de base foto inducida regresa al colector a través del emisor y la circuiteria externa. Haciendo que los electrones sean alimentados a la región de la base por el emisor, donde son jalados hacia el colector por el campo eléctrico ξ .

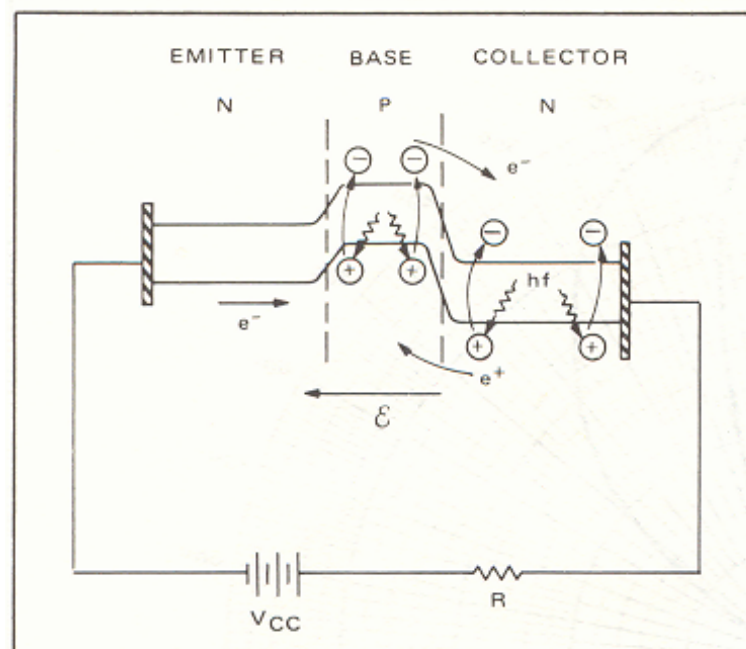


FIGURE 6 – Photoeffect in a Transistor

Figura 45.

El modelo del fotodiodo en la **figura 44** se puede aplicar también al foto transistor, sin embargo, este será severamente limitado al trasladar las verdaderas características del transistor. Un modelo mas preciso y exacto se obtiene usando el modelo híbrido "pi" del transistor y agregando un generador de foto corriente entre el colector y la base. Este modelo aparece en la **figura 46**.

Asumiendo una temperatura de 25 ° C y una fuente de radiación de una longitud de onda de respuesta pico (i.e., $\delta = 1$), se aplican las siguientes relaciones:

$$I_{\lambda} \approx \text{SRCBO } H, \quad (8a)$$

$$g_m = 40 i_c, \text{ y} \quad (8b)$$

$$r_{be} = h_{fe}/g_m, \quad (8c)$$

donde:

SRCBO es la sensibilidad de radiación del diodo colector-base con emisor abierto,
gm es la transconductancia en directa,
ic es la corriente de colector, y
rbe es la resistencia efectiva de base-emisor.

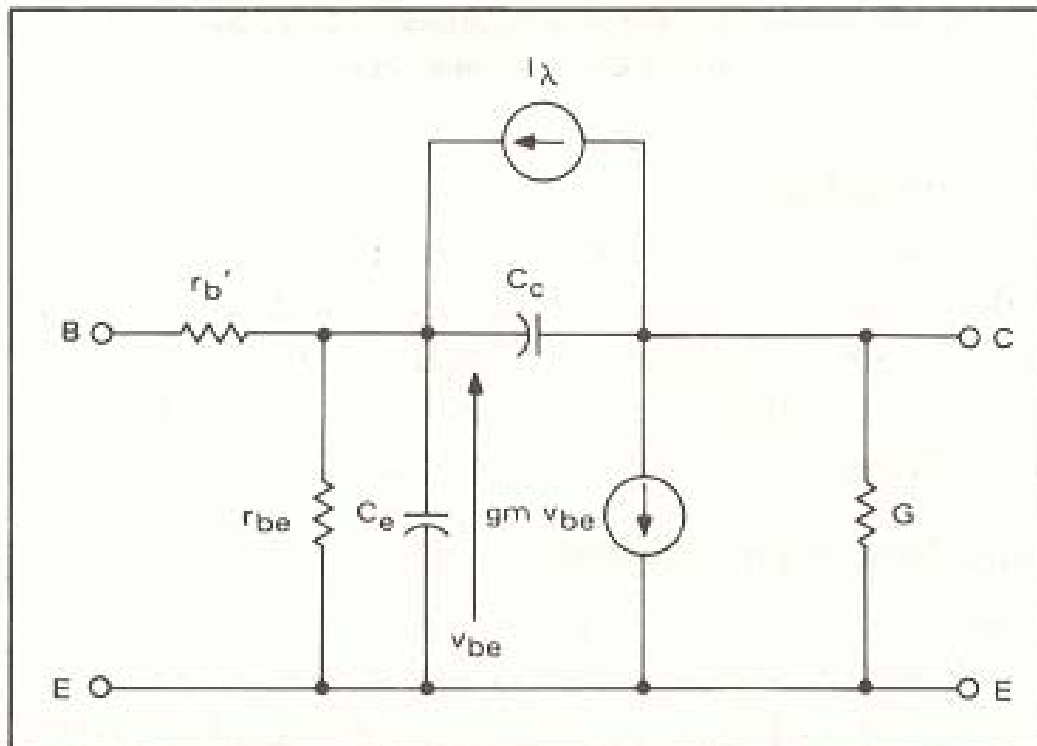


FIGURE 7 – Hybrid-pi Model of Phototransistor

Figura 46.

En la mayoría de los casos $r_{b'}$ \ll r_{be} y puede ser despreciada. La operación de base abierta se representa en la figura 47. Utilizando este modelo, se puede obtener una aproximación de la respuesta en alta frecuencia del dispositivo, usando la relación:

$$f_t \approx g_m / 2 \pi C_e \quad (9)$$

donde:

f_t es el producto de ancho de banda de la ganancia de corriente del dispositivo.

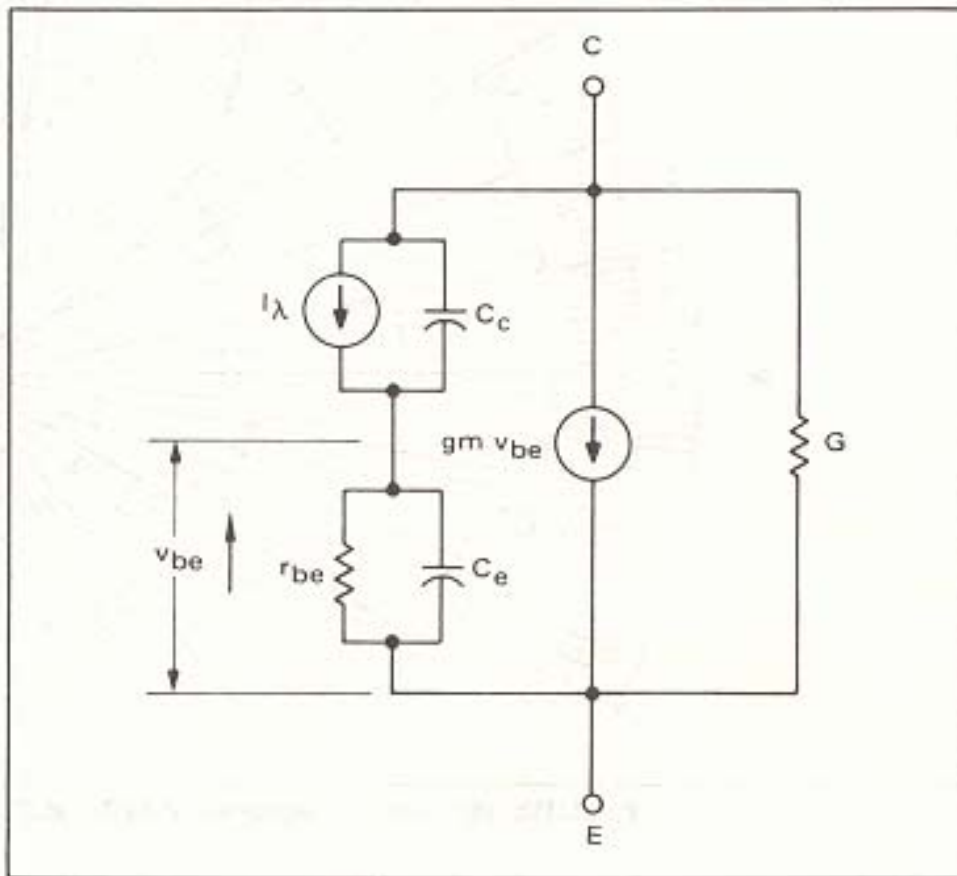


FIGURE 8 – Floating Base Approximate Model of Phototransistor

Figura 47.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS ESTATICAS DEL FOTO TRANSISTOR.

Respuesta espectral.

Como se menciona previamente, la curva de respuesta espectral nos proporciona una indicación de la habilidad del dispositivo para responder a las diferentes longitudes de onda. En la **figura 48** se muestra la respuesta espectral de un fototransistor de la serie **MRD300** de **Motorola** expuesto a una radiación de energía constante. Como se puede ver la respuesta pico se obtiene alrededor de los 8000 Ångstrom o 800 nano Metros.

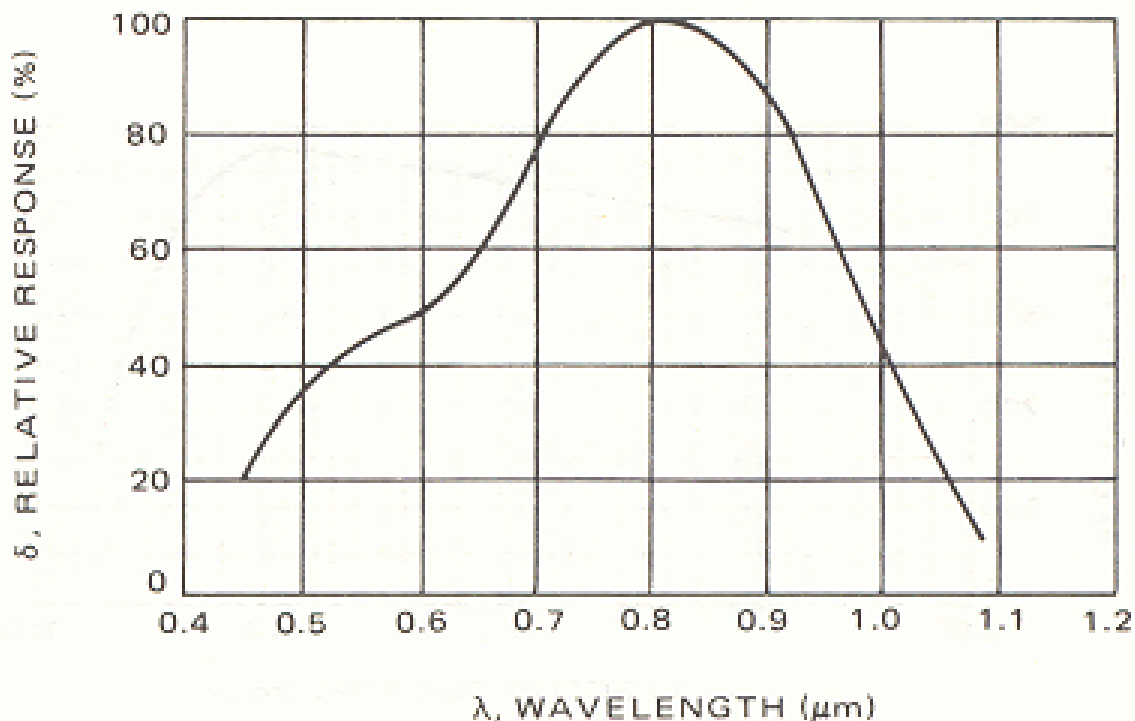


FIGURE 9 – Constant Energy Spectral Response for MRD300

Figura 48.

Alineación angular.

La ley de Lambert de la iluminación establece que, la iluminación de una superficie es proporcional al coseno del ángulo entre la normal de la superficie y la dirección de la radiación. Así el alineamiento angular de un foto transistor y su fuente de radiación es muy significativo. La proporcionalidad cosenoidal representa una respuesta angular ideal. La presencia de un lente

óptico y el límite del tamaño de la ventana afectan también la respuesta. Esta información se maneja mejor en una gráfica polar de la respuesta del dispositivo. Esta gráfica se presenta en la **figura 49** para la serie **MRD300**.

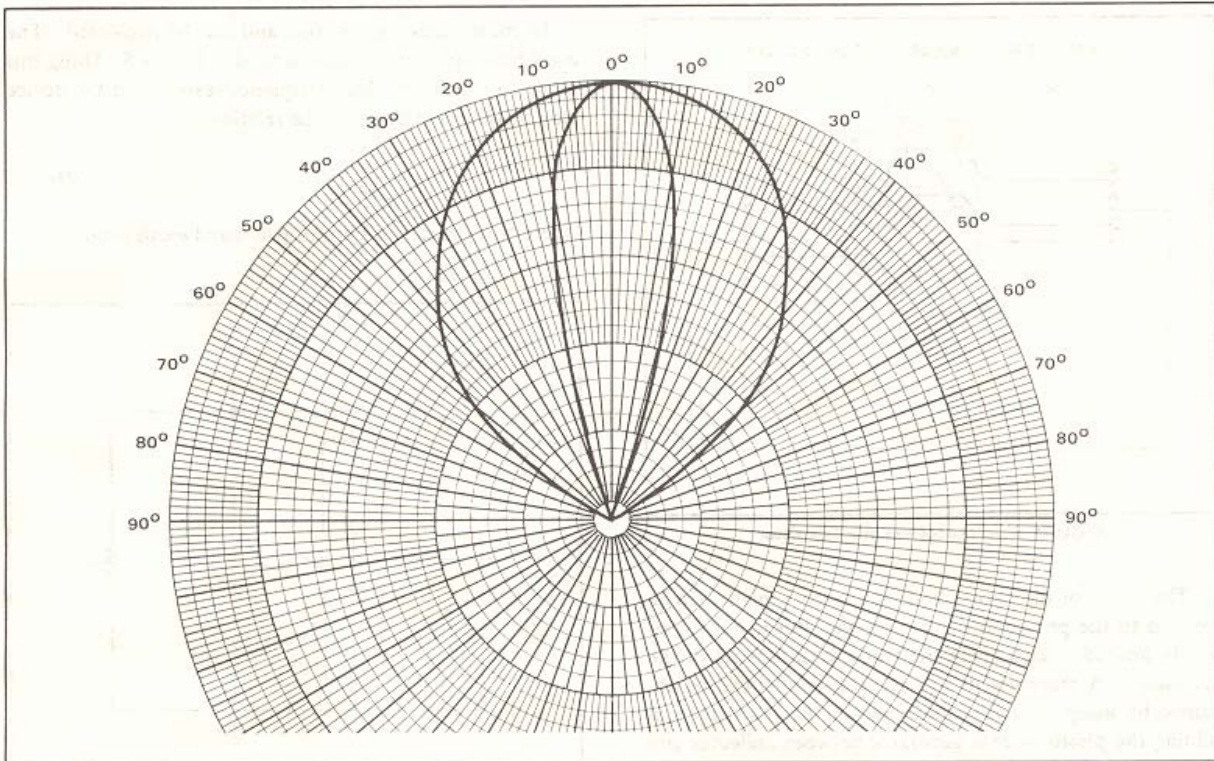


FIGURE 10 – Polar Response of MRD300. Inner Curve with Lens, Outer Curve with Flat Glass.

Figura 49.

La sensibilidad de un foto transistor es una función de la eficiencia quantum del diodo colector-base y también de la ganancia de corriente DC del transistor.

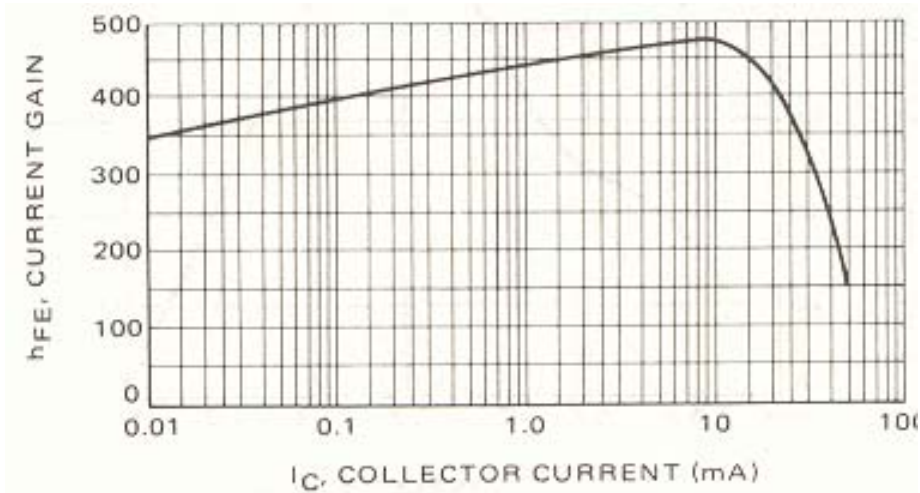


FIGURE 11 – DC Current Gain versus Collector Current

Figura 50.

Por lo tanto, la sensibilidad total es una función de la corriente de colector, la **figura 50** muestra la dependencia de la corriente de colector de la ganancia de DC de corriente.

Respuesta de temperatura color.

En muchas ocasiones un foto transistor se utiliza con una amplia gama de fuentes de radiación, tales como una lámpara incandescente. La respuesta del foto transistor es por lo tanto dependiente de la **temperatura color** de la fuente. Las fuentes incandescentes operan generalmente a una **temperatura color de 2870 ° K**, pero la operación a temperaturas color mas bajas no esta fuera de lo común. Por lo tanto llega a ser deseable saber el resultado que tiene en la sensibilidad una diferencia de temperaturas color, la **figura 51** muestra la respuesta relativa de la serie **MRD300** como una función de la temperatura color.

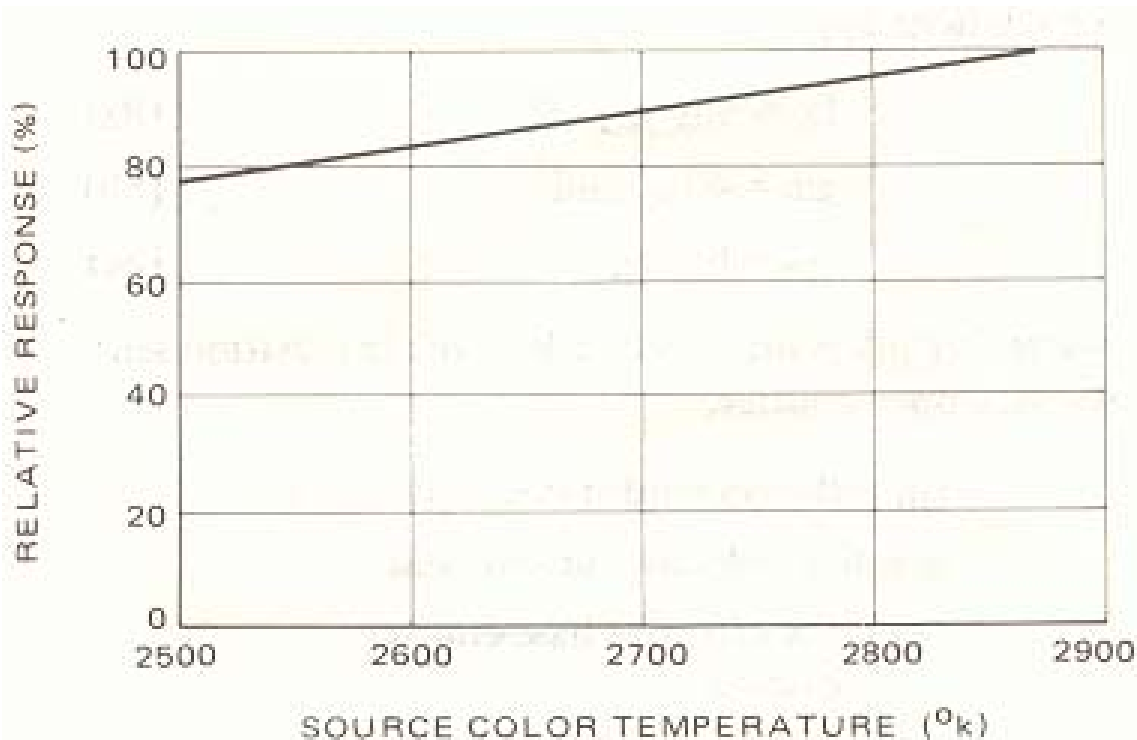


FIGURE 12 – Relative Response of MRD300
versus Color Temperature

Figura 51.

Coeficiente de temperatura de I_p

Un sinnúmero de aplicaciones necesitan usar el foto transistor en temperaturas ambiente fuera de lo normal en un cuarto. La variación de la foto corriente con la temperatura cambia de manera lineal aproximadamente con una pendiente positiva de **$0.667\%/^{\circ}\text{C}$** .

La magnitud de este coeficiente de temperatura es primeramente el resultado de un incremento en la HFE versus la temperatura, dado que el coeficiente de temperatura de la foto corriente colector base es solamente de alrededor de **$0.1\%/^{\circ}\text{C}$**

Características de colector.

Dado que la corriente de colector es primeramente una función de la radiación incidente, el efecto del voltaje colector-emisor por debajo del rompimiento, es pequeño. Por lo tanto una grafica de las características I_C - V_{CE} con la radiación incidente como parámetro, son muy semejantes a las mismas características con I_B como parámetro. La familia de curvas del colector para la serie **MRD300** aparecen en la **figura 52**.

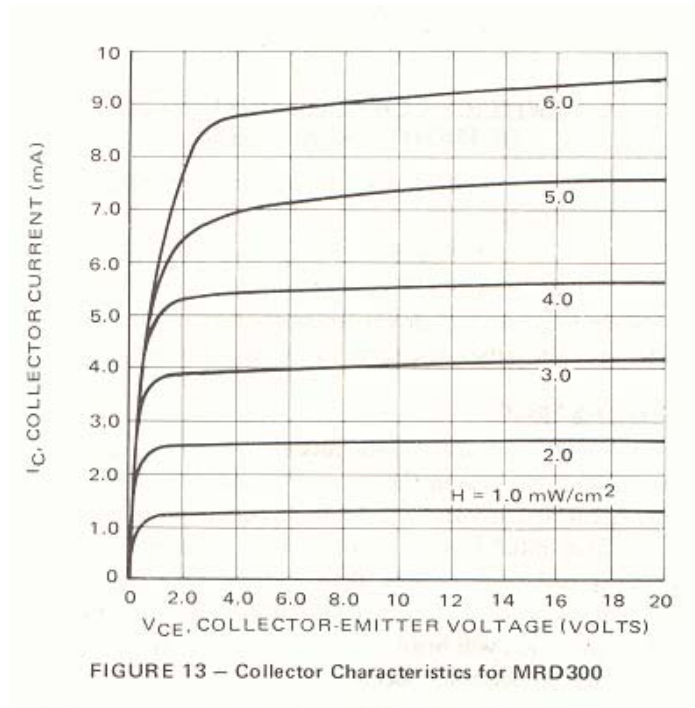


Figura 52.

Sensibilidad de radiación. La capacidad de un transistor dado para servir en una aplicación es a menudo completamente dependiente de la sensibilidad de radiación del dispositivo. La sensibilidad de radiación de base abierta de la serie **MRD300** se proporciona en la **figura 53**. Esto indica que la sensibilidad es aproximadamente lineal con respecto a la radiación incidente. La capacidad

adicional del MRD300 de ser prepolarizado le proporciona una elevación a la sensibilidad como una función de la resistencia de base equivalente. La **Figura 54** nos da la relación.

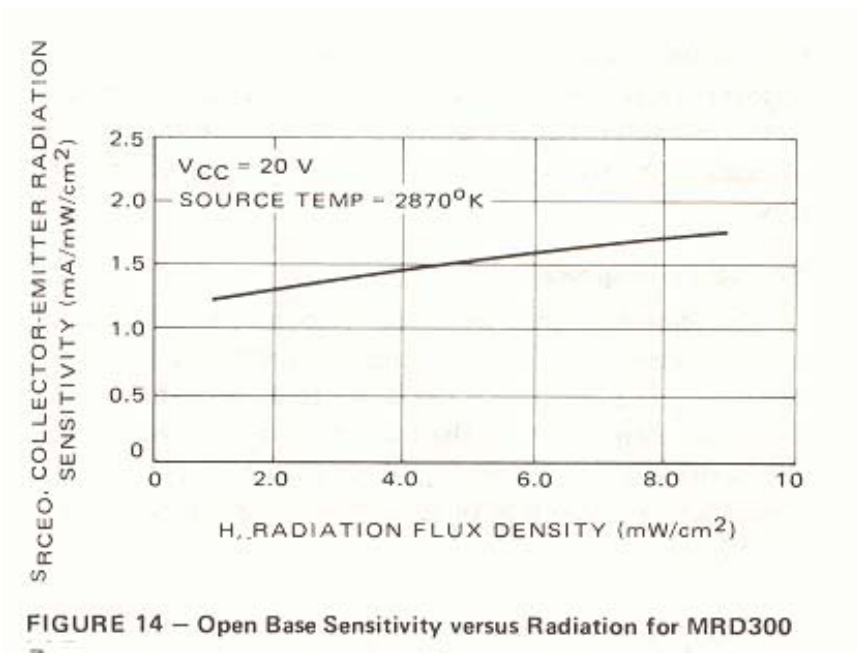


Figura 53.

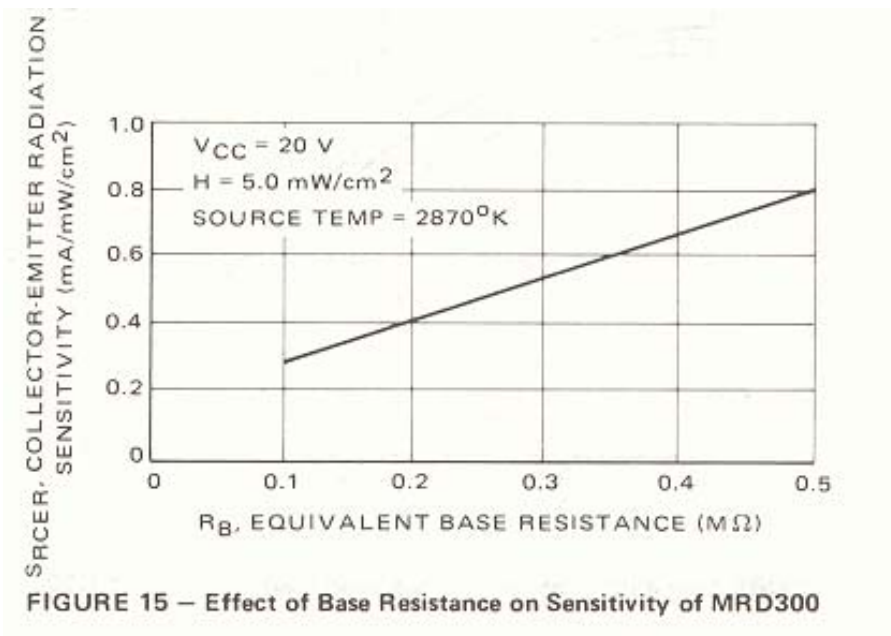


Figura 54.

Capacitancia.

La capacitancia de la unión es un parámetro significativo cuando se determina la capacidad en alta frecuencia de la velocidad de conmutación del transistor. Las capacitancias de las uniones del MRD300 como una función de los voltajes de unión se proporcionan en la **figura 55**.

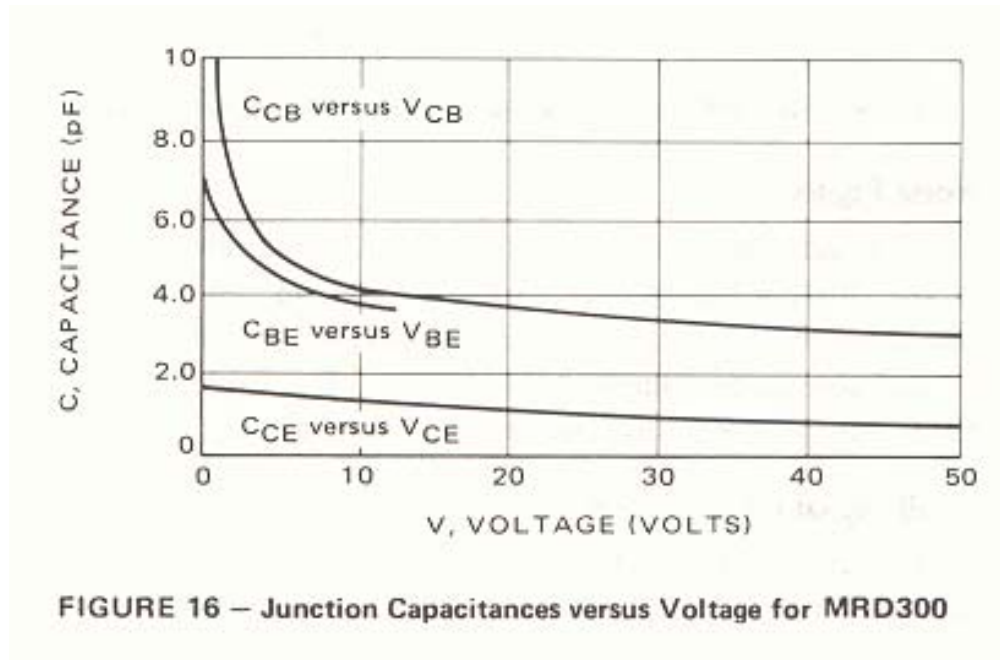


Figura 55.

Características dinámicas del foto transistor.

Linealidad.

La variación de la h_{fe} con respecto a la corriente de colector da como resultado una respuesta no lineal del foto transistor sobre ondas de gran señal. Sin embargo la respuesta a pequeña señal es aproximadamente lineal. El uso de la recta de carga en las características de colector de la **figura 52** indicará el grado de linealidad esperado para un rango de excitación óptica específico.

Respuesta de frecuencia

La respuesta de frecuencia del foto transistor como se refiere en las **figuras 46 y 47** se presentan en la **figura 56**. la respuesta del dispositivo es plana bajando hacia DC con una frecuencia de corte dependiente de la impedancia de carga así como también del dispositivo. La respuesta esta dada en la **figura 56** como la **frecuencia de 3dB** en función de la impedancia de la carga para dos valores de corriente de colector.

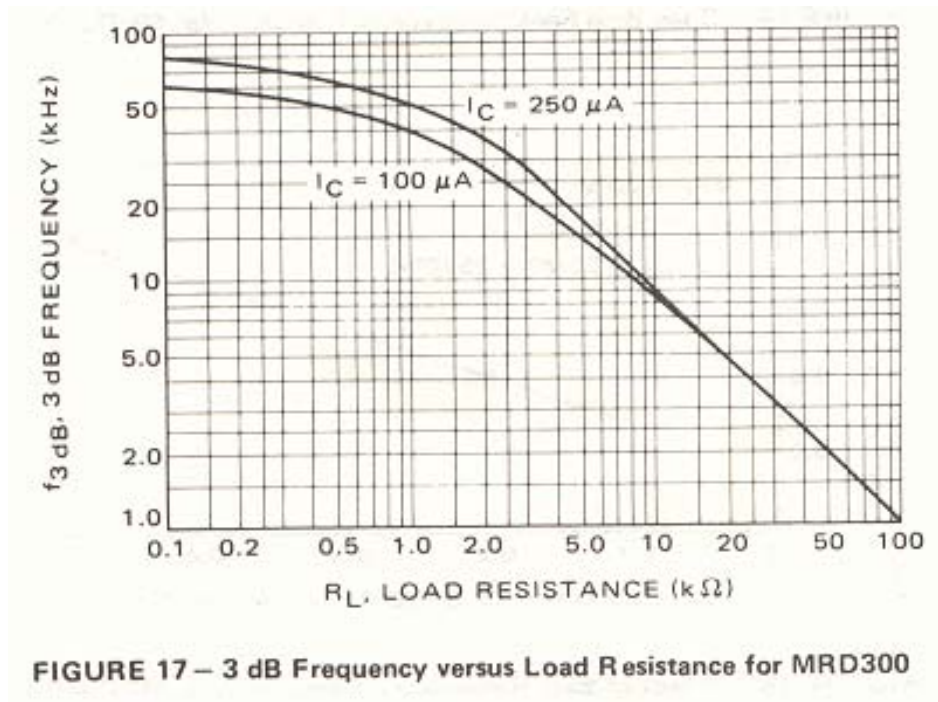


Figura 56.

Figura de ruido.

Mientras que la operación normal de un foto transistor es con la base flotada, una buena aproximación cualitativa de las características de ruido del dispositivo se puede obtener midiendo la figura de ruido bajo condiciones estándar. La figura de ruido de 1 KHz para el **MRD300** se muestra en la **figura 57**.

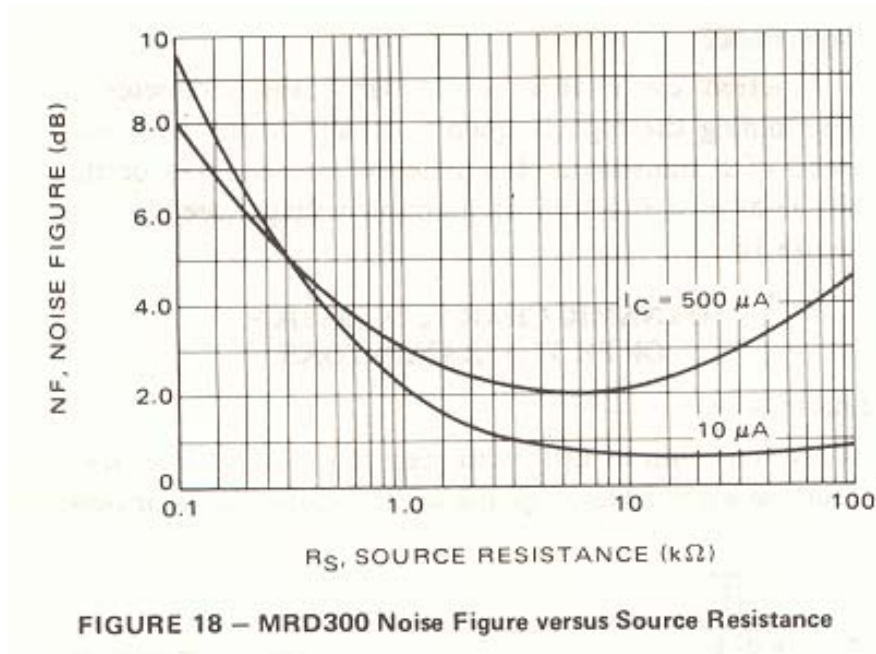


Figura 57.

Parámetros H de pequeña señal.

Así como con la figura de ruido, los parámetros h , medidos bajo condiciones estándar dan una aproximación cualitativa del comportamiento del dispositivo. Estas se dan como funciones de la corriente de colector en la **figura 58**. con esta información el dispositivo puede ser analizado con el modelo híbrido estándar de la **figura 59 a**, usando la tabla xx de conversión, se puede usar el modelo de parámetro r equivalente de la **figura 59 b**

TABLE I – Parameter Conversions

$$h_{fb} = \frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}}$$

$$r_c = \frac{h_{fe} + 1}{h_{oe}}$$

$$r_e = \frac{h_{re}}{h_{oe}}$$

$$r_b = h_{ie} - \frac{h_{re}(1 + h_{fe})}{h_{oe}}$$

Tabla xx

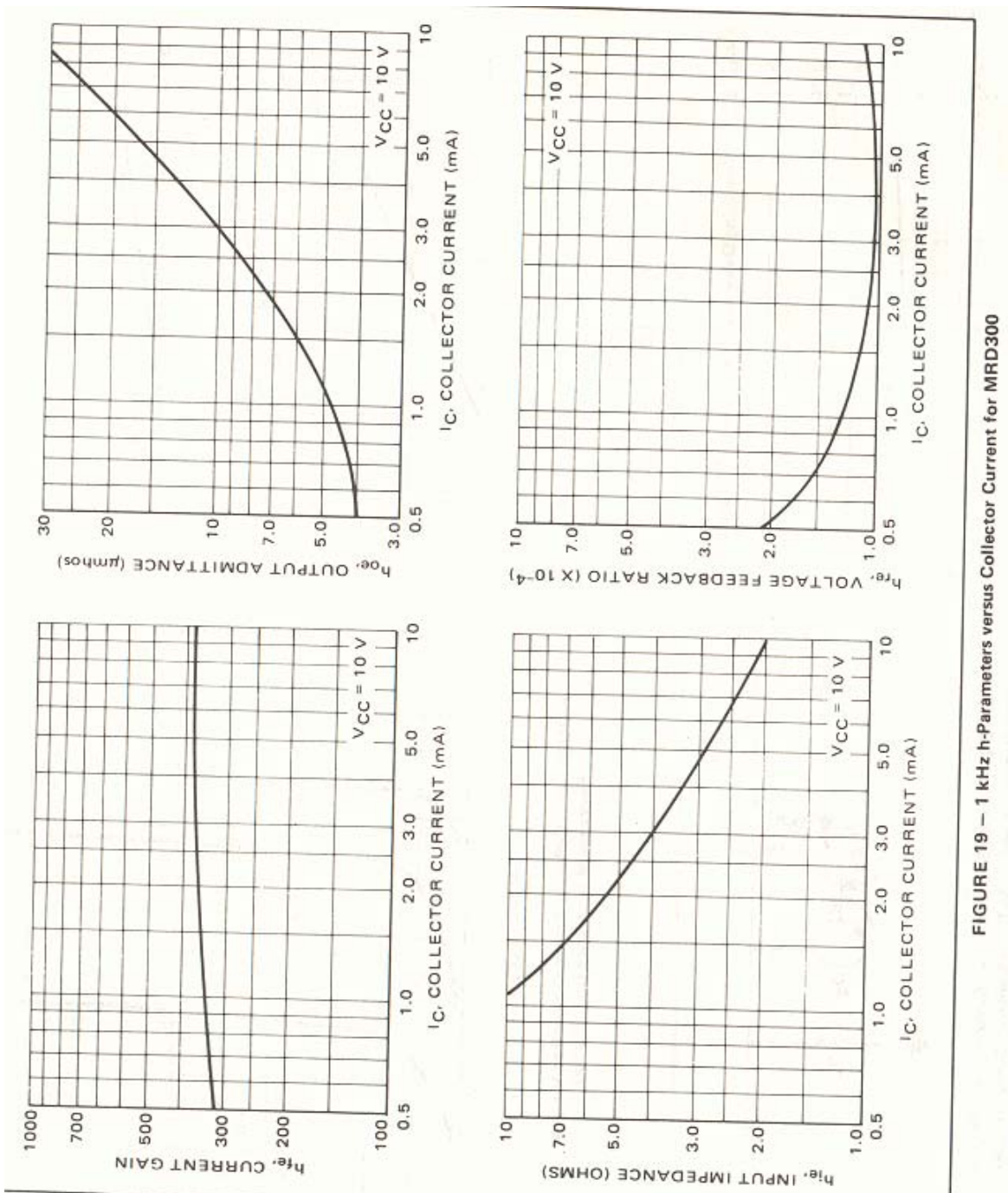


FIGURE 19 – 1 kHz h-Parameters versus Collector Current for MRD300

Figura 58.

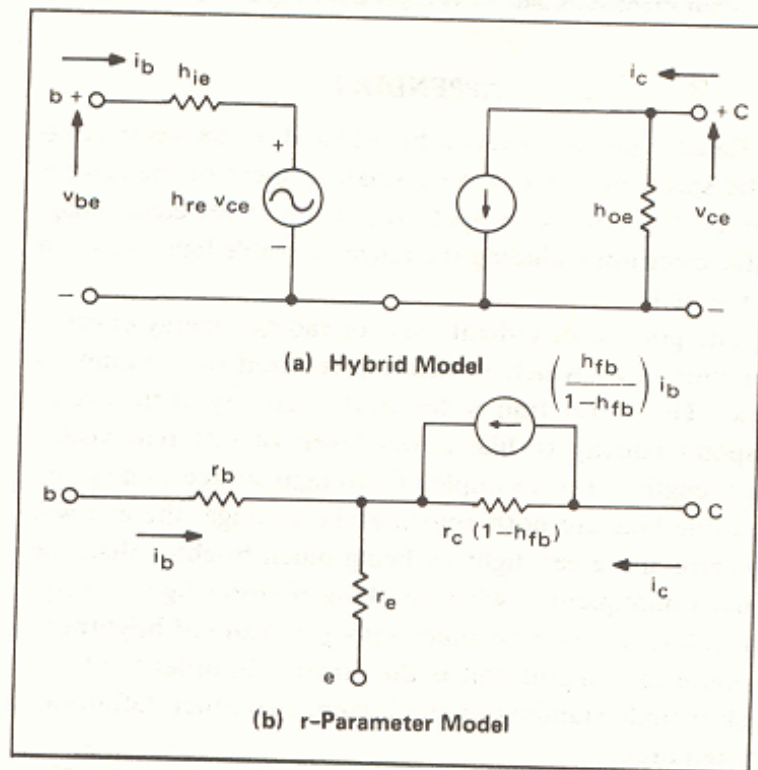


FIGURE 20 – Low Frequency Analytical Models of Phototransistor Without Photo Current Generator

Figura 59 a y b.

Características de conmutación del foto transistor.

En aplicaciones de conmutación, existen dos requerimientos muy importantes que son:

- Velocidad.
- Voltaje de encendido.

Dado que algunas excitaciones ópticas para los foto transistores pueden tener pulsos de luz rápidos, se aplican estas dos consideraciones.

Velocidad de conmutación.

Si se hace referencia al modelo de la figura 47, se puede ver que una rápida subida en la corriente I_x no dará como resultado un incremento instantáneo equivalente en la corriente de colector-emisor. El flujo inicial de I_x debe suministrar corriente de carga a CCB y CBE. Una vez que estas capacitancias han sido cargadas, I_x fluirá a través de r_{be} , entonces el generador de corriente $g_{m_{v_{be}}}$ comenzará a suministrar corriente. Durante el apagado ocurre algo semejante, mientras que I_x puede caer instantáneamente a cero, la descarga de CCB y CBE a través de r_{be} sostendrá un flujo de corriente a través del colector.

Cuando las capacitancias han sido descargadas, entonces v_{be} caerá a cero y la corriente i_{be} también decaerá a cero. Esta discusión asume que las corrientes de fuga son despreciables. Estas capacitancias por lo tanto dan como resultado retardos en el encendido y apagado y tiempo de subida y bajada para aplicaciones de conmutación justo como se les encuentra en aplicaciones con transistores bipolares de conmutación convencionales. Y así como con conmutación convencional, los tiempos son una función de la excitación. La **figura 60** muestra la dependencia de la corriente de colector (o de excitación) del retardo de encendido y el tiempo de subida. Como se indica el tiempo de retardo es dependiente del dispositivo solamente; mientras que el tiempo de subida es dependiente de ambos, el dispositivo y la carga.

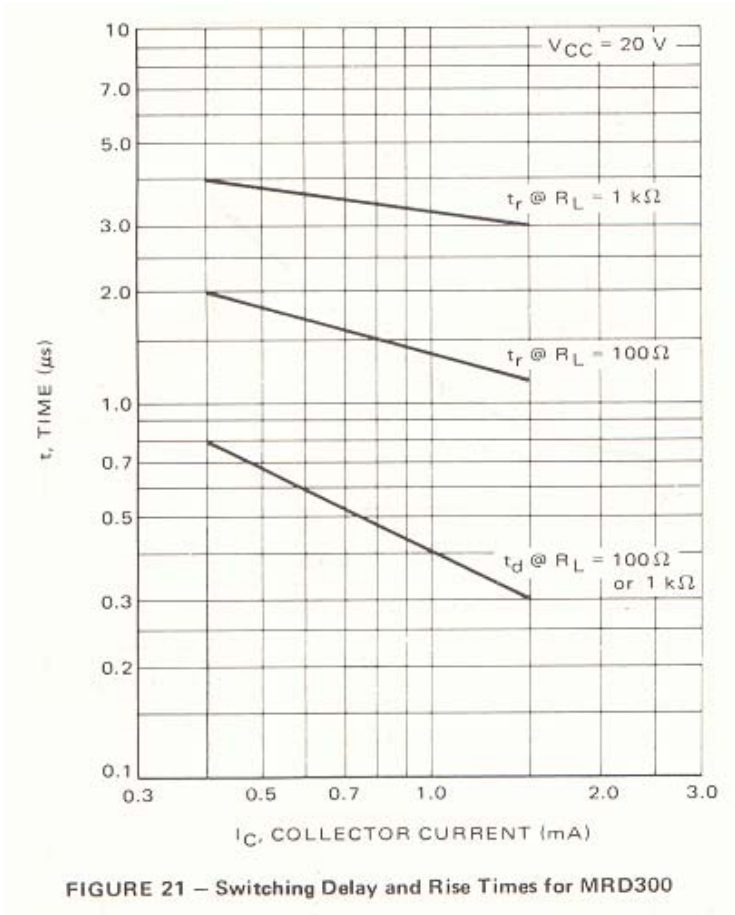


FIGURE 21 – Switching Delay and Rise Times for MRD300

Figura 60.

Si una fuente de alta intensidad, tal como una lámpara flash de xenón se utiliza como excitación óptica, el dispositivo se saturará ópticamente, a menos que se ponga una gran atenuación óptica entre la fuente y el detector. Esto puede resultar en un tiempo de almacenamiento significativo durante el apagado, especialmente en el modo de base flotada, dado que la carga no tiene una senda directa desde la región de base. Sin embargo si se usa una fuente no saturante tal como un diodo de arsenio-galio para la excitación, el retardo en el apagado es bastante bajo como se muestra en la **figura 61**.

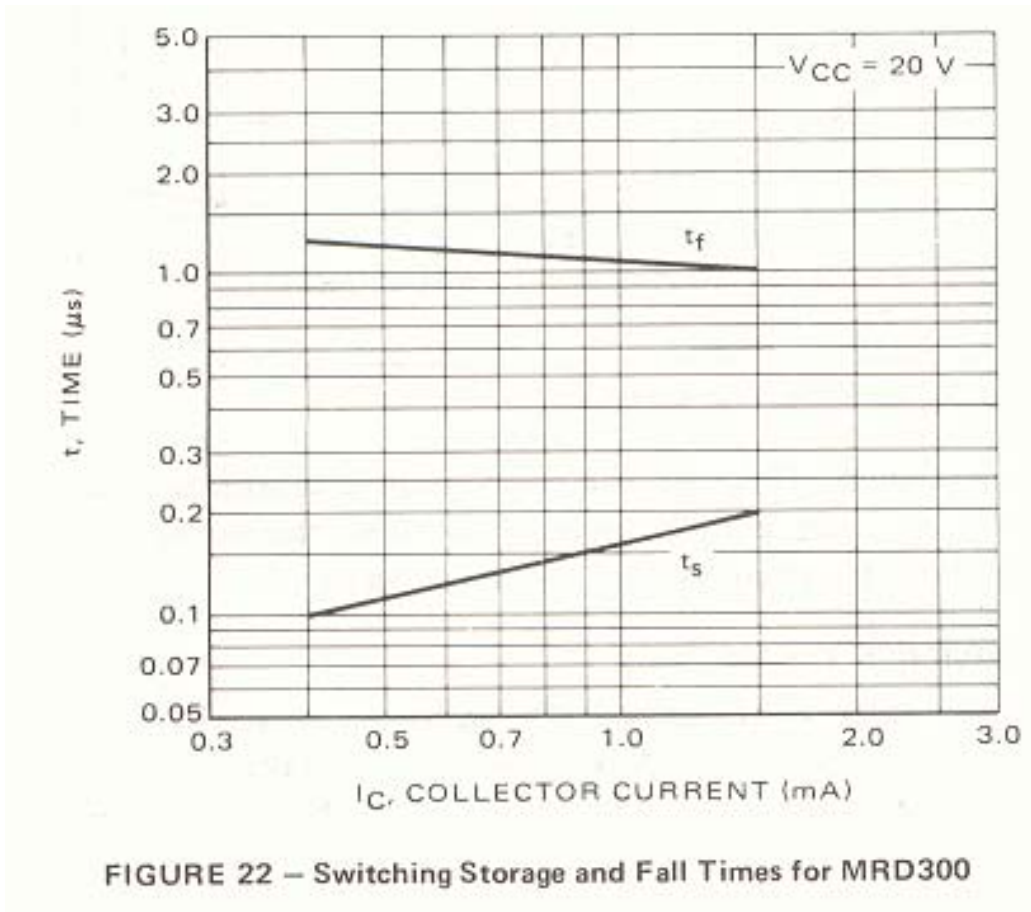


Figura 61.

Voltaje de saturación

Un switch ideal tiene impedancia cero de encendido, o una caída de voltaje de cero cuando esta encendido. El voltaje de saturación de encendido del MRD300 es relativamente bajo, de aproximadamente 0.2 volts. Para una corriente dada de colector, esta es función de la excitación y se muestra en la **figura 62**.

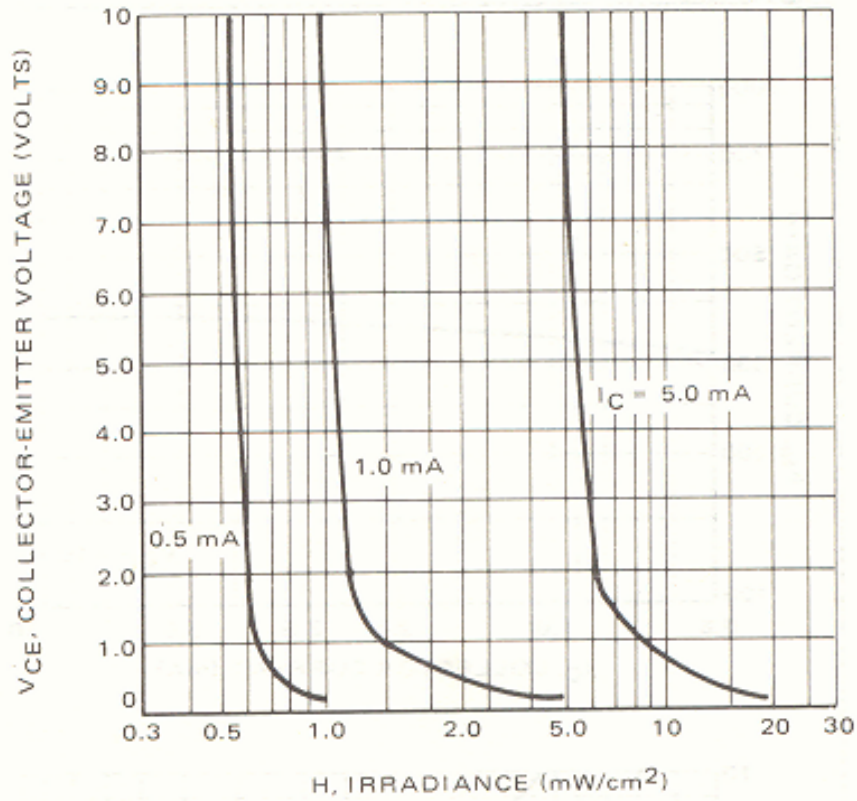


FIGURE 23 – Collector Emitter Saturation Voltage as a Function of Irradiance for MRD300

Figura 62.

Aplicaciones de los foto transistores.

Como se menciona previamente, el foto transistor se puede usar en muchas aplicaciones, la figura 63 muestra dos fototransistores en un circuito choper serie. Cuando Q1 esta encendido Q2 esta apagado, y cuando Q1 se apaga Q2 se enciende.

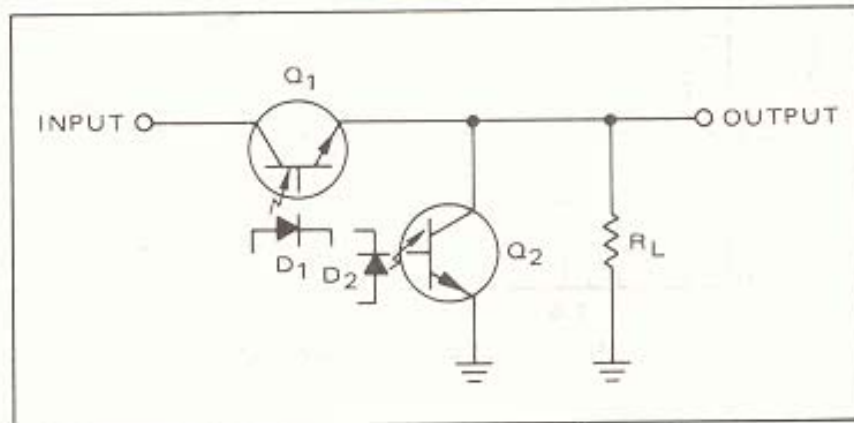


FIGURE 24 – Series-Shunt Chopper Circuit Using MRD300 Phototransistors and GaAs Light Emitting Diodes (LEDs)

Figura 63.

La circuiteria lógica que muestra la característica de alto aislamiento eléctrico de entrada/salida del foto transistor se muestra en la **figura 64**.

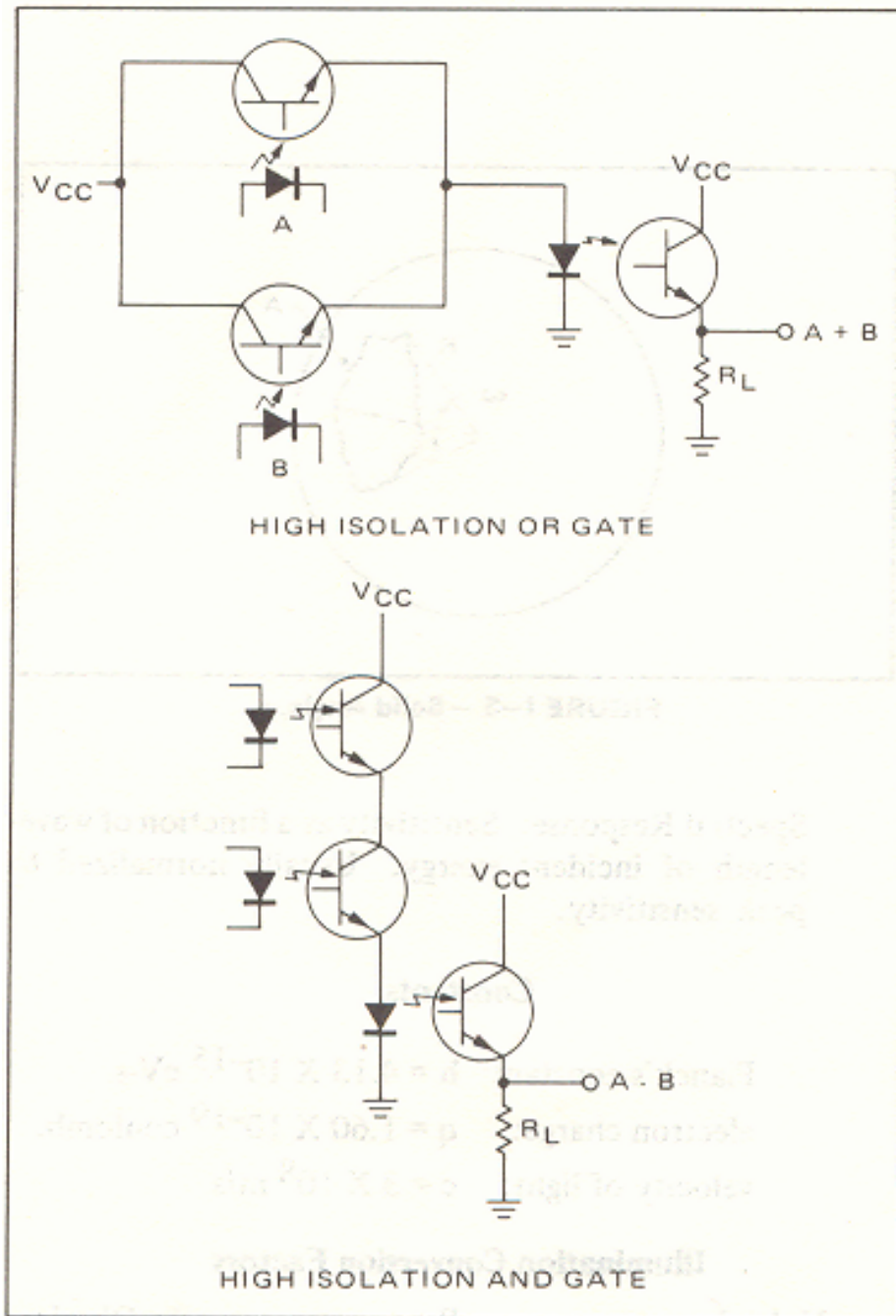


FIGURE 25 – Logic Circuits Using the MRD300 and LEDs

Figura 64.

La **figura 65** muestra una aplicación lineal de un foto transistor. Como se menciona previamente la linealidad se obtiene para ondas de pequeña señal

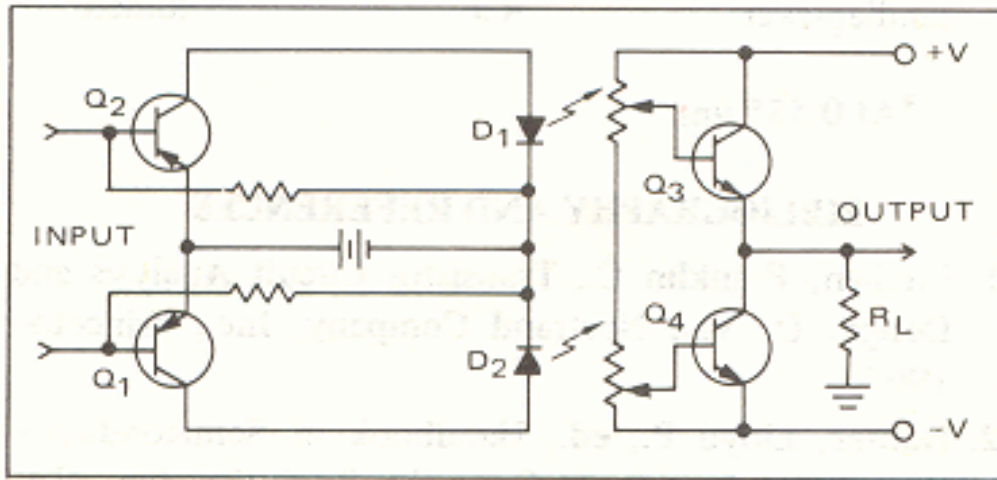


FIGURE 26 – Small Signal Linear Amplifier Using MRD300 and LEDs

Figura 65.

Un relevador de doble polo un tiro se muestra en la **figura 66**. En general, el foto transistor puede ser usado en circuiteria de conteo, indicaciones de nivel, circuitos de alarma, tacómetros y varias controles de proceso.

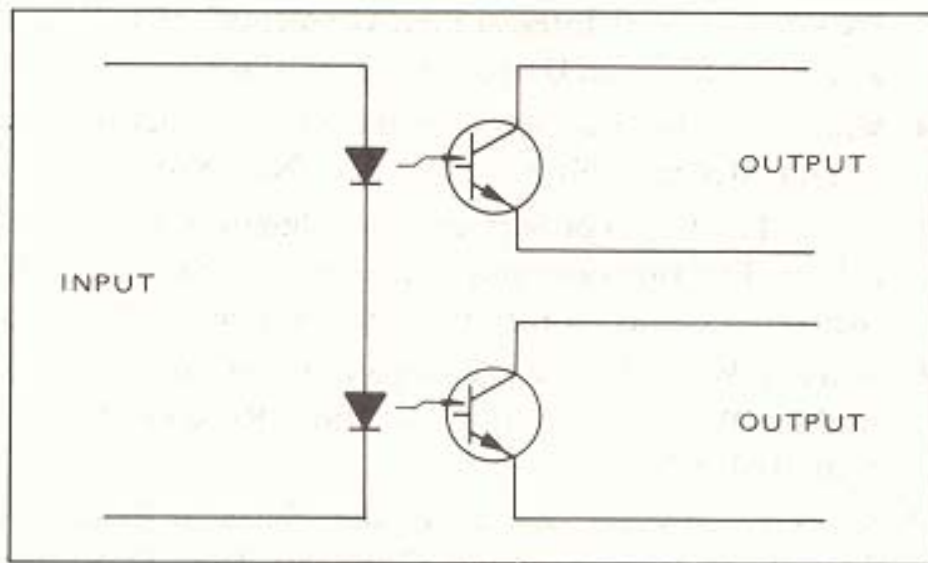


FIGURE 27 – DPST Relay Using MRD300s and LEDs

Figura 66.

Conclusión

El fototransistor es un dispositivo activo sensible a la luz de una sensibilidad moderadamente alta y relativamente rápido. Su respuesta es función de la intensidad de luz y la longitud de onda (λ) y se comporta básicamente como un transistor bipolar estándar con una corriente de fuga de colector-base controlada externamente.

Apéndice I.

La energía radiante cubre una amplia banda del espectro electromagnético. Un segmento relativamente pequeño de la banda es el espectro de luz visible. Una porción del espectro electromagnético incluyendo el rango de luz visible se muestra en la **figura A1.1**.

La porción de flujo radiante, o energía radiante emitida por unidad de tiempo, la cual es visible se conoce como **flujo luminoso**. Esta distinción se debe a la inhabilidad del ojo de responder de igual forma a diferentes niveles de potencia de las diferentes longitudes de onda (λ) . por ejemplo si dos fuentes de luz una verde y una azul emitieran el mismo wattaje, el ojo percibiría la verde como mas brillante que la azul.

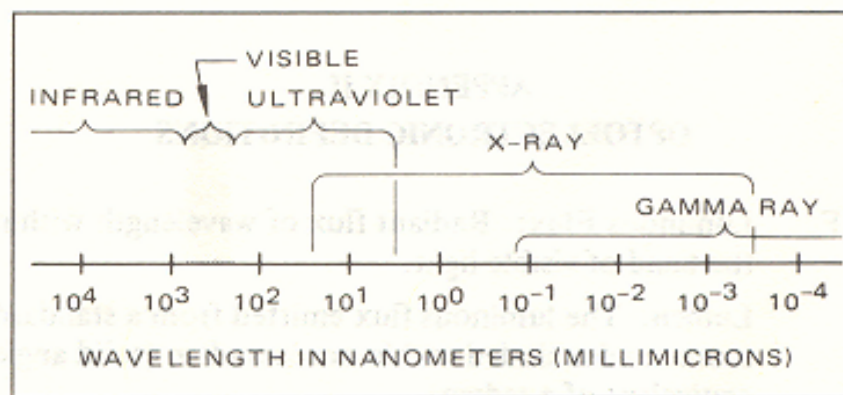


FIGURE I-1 – Portion of Electromagnetic Spectrum

Figura A1.1.

Consecuentemente, cuando se habla de luz visible o variaciones de color, el watt es una medida muy pobre de brillantez. Una unidad con mas sentido es el lumen. De manera que podamos entender claramente el lumen es necesario definir dos conceptos.

El primero de estos es la fuente estándar (**figura A1.2**). la fuente estándar, adoptada por acuerdo internacional, consiste de un segmento de thoria fundido inmerso en una cámara de platino. Cuando el platino se encuentra en su punto de fusión, la luz emitida por la cámara se aproxima a la emisión de un cuerpo negro. El flujo luminoso emitido por la fuente es dependiente de la apertura y el cono de radiación. El cono de radiación se mide en términos de un ángulo sólido.

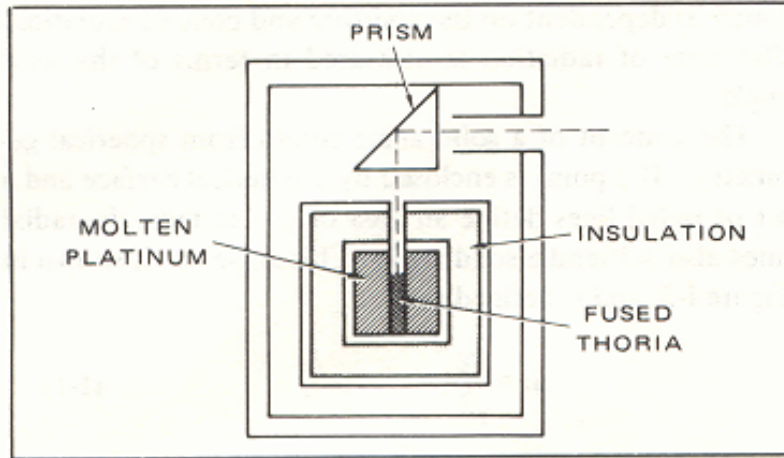


FIGURE I-2 – International Standard Source

Figura A1.2.

El concepto de un ángulo sólido viene de la geometría esférica. Si un punto se encierra por una superficie esférica y una serie de rayos define un área sobre la superficie, las líneas radiales también subtenden un ángulo sólido. Este ángulo sólido se muestra en la **figura A1.3** y está definido como:

$$\omega = A/r^2 \quad (1-1)$$

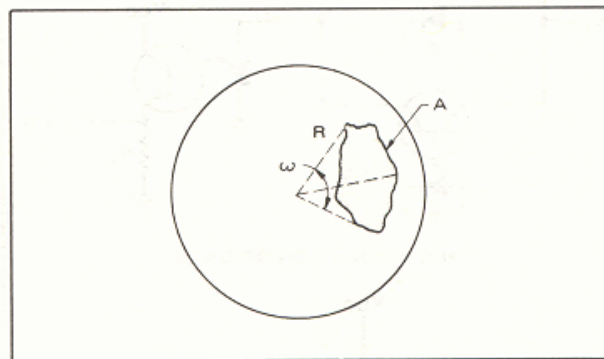
donde:

**A es el área descrita y
r es el radio esférico.**

Si el área A es igual a r^2 , entonces el ángulo sólido subtendido es un ángulo sólido unitario o un steradian, el cual no es más que el equivalente en tres dimensiones de un radian.

Una vez definido, la fuente estándar y el ángulo sólido, el lumen puede ser definido.

Un **lumen** es el **flujo luminoso** emitido por una **fuentes estándar** e incluido en **un steradian** (ángulo sólido unitario).

FIGURE I-3 – Solid Angle, ω **Figura A1.3.**

Usando el concepto de lumen, es posible ahora definir otros términos de iluminación.

Iluminancia.

Si una cantidad diferencial de flujo luminoso δF , incidiendo en una área diferencial δA . La Iluminancia **E** esta dada por:

$$E = \delta F / \delta A \quad (1-2)$$

La iluminancia a menudo se expresa en **lúmenes por pie cuadrado** o **pie-candela**. Si la iluminancia es constante sobre una área entonces (1-2) se convierte en:

$$E = F/A \quad (1-3)$$

Intensidad luminosa.

Cuando el flujo diferencial δF , es emitido a través de un diferencial de ángulo sólido, $\delta \omega$, la intensidad luminosa **I** esta dada por:

$$I = \delta F / \delta \omega \quad (1-4)$$

La intensidad luminosa a menudo se expresa en lúmenes por steradian o Candela. Si la intensidad luminosa es constante con respecto al ángulo de emisión (1-4) se convierte en:

$$I = F/W \quad (1-5)$$

Si la longitud de onda de la radiación visible es variada, pero la iluminación se mantiene constante, la potencia radiada en watts también variara. Esto una vez mas nos ilustra la pobre calidad del watt como medida de iluminación. Una relación entre la iluminación y la potencia radiada debe especificarse entonces en términos de una frecuencia en particular. El punto de especificación que se ha tomado es a una longitud de onda de **0.555 micrómetros**, la cual es la **longitud de onda pico** de respuesta del **ojo humano**. En esta frecuencia o longitud de onda, **1 watt de potencia radiada** es equivalente a **680 lúmenes**.

Apéndice II definiciones optoelectrónicas.

F	FLUJO LUMINOSO: flujo radiante de una longitud de onda dentro del rango de luz visible. Lumen: El flujo luminoso emitido de una fuente estándar e incluido dentro de un steradian (ángulo sólido equivalente de un radian en tres D).
H	Densidad de flujo radiante.(Irradiancia): La energía de radiación incidente total medida en potencia por unidad de área. (Ejemplo mW/cm ²).
E	Densidad de flujo luminoso (Iluminancia): Densidad de flujo de radiación de una longitud de onda dentro de la banda de luz visible. Medida en lúmenes/ft ² o pie candela. A la longitud de onda de respuesta pico del ojo humano 0.555 μM (0.555 x 10 E-6 M), 1 watt de potencia radiada es equivalente a 680 lúmenes.
SR	Sensitividad de radiación: La relación de la corriente foto inducida a la energía radiante incidente, medida en lo más cercano al plano de los lentes del foto dispositivo.
SI	Sensitividad de iluminación: La relación de la corriente foto inducida a la energía luminosa incidente, medida en lo mas cercano al plano de los lentes del foto dispositivo.
Respuesta Espectral	Sensitividad como una función de la longitud de onda de la energía incidente, generalmente normalizada a la sensibilidad pico

Constantes	
Constante de Planck	h = 4.13 X 10 ⁻¹⁵ eV-s.
Carga del elector	q = 1.60 X 10 ⁻¹⁹ coulombios.
Velocidad de la luz	C = 3 X 10 ⁸ m/s.

Factores de conversión de iluminación		
Multiplica	Por	Para obtener
lumens/ft ²	1	Pie-candelas
lumens/ft² *	1.58 X 10⁻³	MW/cm²
Candela de poder	4π	lúmenes

A 0.555 μm

Bibliografía y Referencias.

Numero	Autor	Titulo	Editorial
1.	Fitchen, Franklin C.	Transistor Circuit Analysis and Design	D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton 1962.
2.	Hunter, LIoyd P.	ed., Handbook of Semiconductor Electronics, Sect 5.	McGraw-Hill Book Co., Inc., New York 1962.
3.	Jordan,A.G. and A.G. Milnes	"Photo effect on Diffused PN Junctions with Integral Field Gradients"	IRE Transactions on Electron Devices, October 1960.
4.	Millman, Jacob	Vacuum-tube and Semiconductor Electronics	McGraw-Hill Book Co., Inc., New York 1958.
5.	Sah, C.T.	"Effect of Surface Recombination and Channel on PN Junction and Transistor Characteristics"	IRE Transactions on Electron Devices, January 1962.
6.	Sears, F.W. and M.W. Zemansky	University Physics	Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Massachusetts 1962.
7.	Shockley, William	Electrons and Holes in Semiconductors	D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton 1955.

Referencias.

REF0 <http://www.ioffe.ru/>

REF1 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/Si/index.html>

REF2 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/Ge/index.html>

REF3 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/GaP/index.html>

REF4 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/GaAs/index.html>

REF5 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/InAs/index.html>

REF6 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/Diamond/index.html>

REF7 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/GaSb/index.html>

REF8 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/InSb/index.html>

REF9 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/InP/index.html>

REF10 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/GaAsSb/index.html>

REF11 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/AlN/index.html>

REF12 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/InN/index.html>

REF13 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/GaN/index.html>

REF14 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/AlGaAs/index.html>

REF15 <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/GaInP/index.html>

REF16 <http://www.centrovision.com/eye.htm>

Otras Referencias



El instituto IOFFE es una de las instituciones mas grandes de Rusia para la investigación de la física y la tecnología con una amplia variedad de proyectos en operación. Fue fundada en 1918 y administrada por varias décadas por [Abram F. Ioffe](#).

De esta forma es natural que el instituto lleve el nombre de su notable promotor y organizador. El instituto esta afiliado a la [Russian Academy of Sciences](#).

Funcionarios del Instituto

Director: Andrei G. Zabrodskii

Executive Secretary: Andrei P. Shergin

26 Polytekhnicheskaya, St Petersburg 194021, Russian Federation

Fax: (812) 247 1017

Phone: (812) 247 2245

Autores Y Magazines

George Zegrya <mailto:Zegrya@theory.ioffe.rssi.ru>

Vadim Siklitsky <mailto:siklitsky@pop.ioffe.rssi.ru>

Alexei Tolmatchev <mailto:tolm@mail.ru>

Como trabajan los diodos emisores de luz. (2.6)

Por Tom Harris.

Material cortesía de "HowStuffWorks.com"

Traducción de: Alfonso Pérez García.

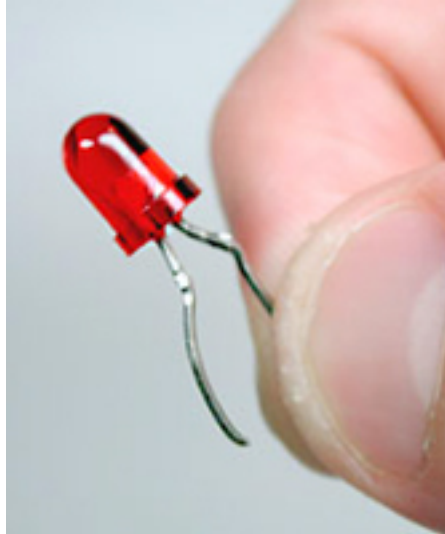


Figura 1.

Los **diodos emisores de luz**, comúnmente llamados **LEDS**, los reales héroes ocultos del mundo de la opto electrónica. Ellos hacen docenas de trabajos y se encuentran en toda clase de dispositivos, además de otras cosas, forman los números de un reloj digital, transmiten información de los controles remotos, iluminan los relojes, y te dicen cuando tus electrodomésticos están encendidos. Todos juntos pueden formar imágenes en una televisión (pantalla jumbo), o iluminar una luz de semáforo

Básicamente los **LEDS** son pequeños bulbos de luz que encajan fácilmente en los circuitos eléctricos. Pero a diferencia de las lámparas incandescentes, no tienen un filamento que encienda, y especialmente no se calientan. Solamente se iluminan por el movimiento de los electrones en un material semiconductor, y duran tanto como dura un transistor estándar.

En esta edición de "HowStuffWorks" examinaremos el simple principio que está detrás del funcionamiento de estos, dando luz sobre algunos principios de la electricidad y la luz en el transcurso.

¿Que es un diodo?

Un **diodo** es la pieza más simple de los dispositivos semiconductores. Hablando en sentido amplio, un semiconductor es un material con la habilidad variable de conducir corriente eléctrica. La mayoría de los semiconductores están hechos de un pobre conductor, tal como el **silicio** que ha tenido **impurezas** añadidas a él (átomos de otro material). El proceso de agregar impurezas se denomina **dopado**.

En el silicio puro todos sus átomos encajan uno con otro de manera perfecta, dejándose a sí mismo sin **electrones** libres (partículas cargadas negativamente) para conducir corriente eléctrica. En el silicio dopado los átomos adicionales cambian el balance, o bien agregando electrones, o bien **huecos**, donde los electrones pueden ir. Cualquiera de las adiciones, hacen al material más conductivo.

Un material semiconductor con electrones extra se denomina material **tipo N**, dado que tiene partículas extra cargadas negativamente. En el material tipo N, los electrones libres se mueven de un área cargada negativamente a una cargada positivamente.

Un semiconductor con huecos extra es denominado material **tipo P**, dado que efectivamente tiene partículas extra cargadas positivamente. Los electrones pueden pasar de hueco en hueco, moviéndose de un área cargada negativamente a una cargada positivamente, como resultado los mismos huecos parecen moverse de un área cargada positivamente a una cargada negativamente. Un diodo comprende una sección de material tipo N pegada con una de material tipo P, con un electrodo en cada extremo. Este arreglo conduce electricidad en solamente una dirección. Cuando no se le aplica voltaje al diodo, los electrones del material tipo N llenan los huecos del material tipo P, a lo largo de la **unión**, entre las capas se forma una **zona de vaciamiento**. En la región de vaciamiento, el semiconductor regresa a su estado original de **aislamiento** –todos los huecos están llenos, de manera que no hay electrones libres o espacios vacíos para los electrones, y la carga no puede fluir.

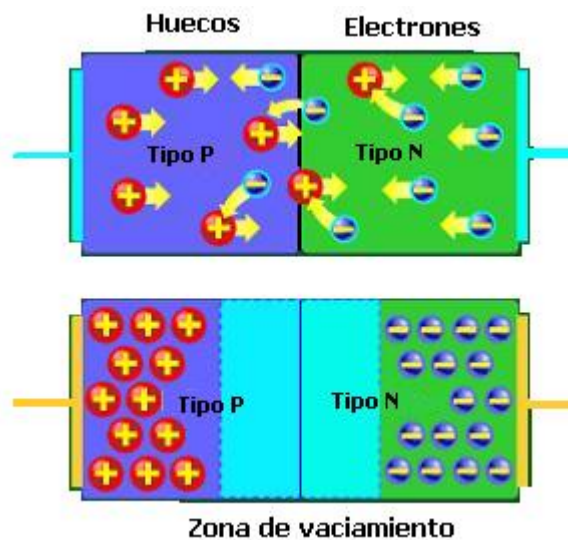


Figura 2.

En la unión, los electrones libres del material tipo N llenan los huecos del material tipo P. Esto crea una región de aislamiento en el medio del diodo, llamada la **región de vaciamiento**.

Para pasar la zona de vaciamiento, se tiene que tener electrones moviéndose del lado N al lado P y en el sentido opuesto huecos del lado P al lado N. Para hacer esto se conecta el lado N al negativo de un circuito, y el lado P al positivo de un circuito. Los electrones libres del material N son repelidos por el electrodo negativo y atraídos por el electrodo positivo. Los huecos del lado P se

mueven en la otra dirección. Cuando la diferencia de potencial entre los electrodos es suficientemente grande, los electrones de la zona de vaciamiento son sacados de sus huecos y comienzan a moverse libremente. La zona de vaciamiento desaparece, y la carga se mueve a través del diodo.

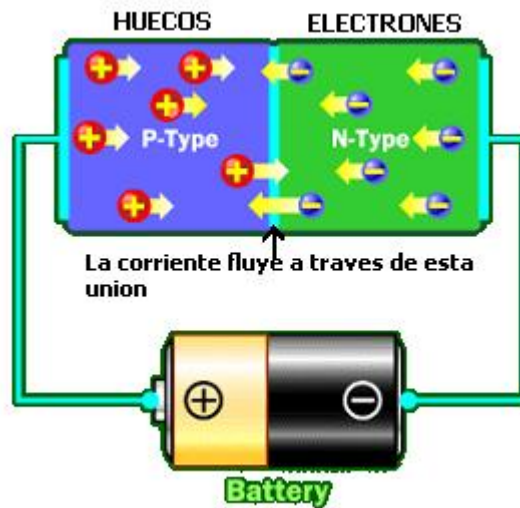


Figura 3.

Cuando la terminal negativa del circuito se conecta al lado N y la positiva al lado P, los electrones y huecos comienzan a moverse y la **región de vaciamiento** desaparece.

Si tu tratas de pasar corriente en sentido contrario, conectando el lado P con el negativo y el lado N con el positivo, la corriente no fluirá. Los electrones del lado N son atraídos por el electrodo positivo y los huecos del lado P son atraídos por el electrodo negativo. No hay flujo de corriente a través de la unión dado que los electrones y huecos se mueven en la dirección equivocada para ello. La **región de vaciamiento** se hace mayor.

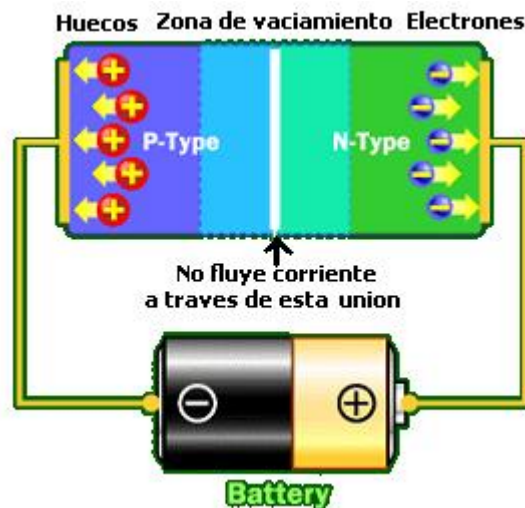


Figura 4.

Cuando la terminal positiva se conecta al lado N y la negativa al lado P, los electrones libres y huecos se colectan en cada extremo de forma que la **zona de vaciamiento** se hace mayor.

La interacción entre electrones y huecos de esta manera tiene un efecto interesante –genera **iluz!**. En la siguiente sección encontraremos como es que esto sucede exactamente y porque.

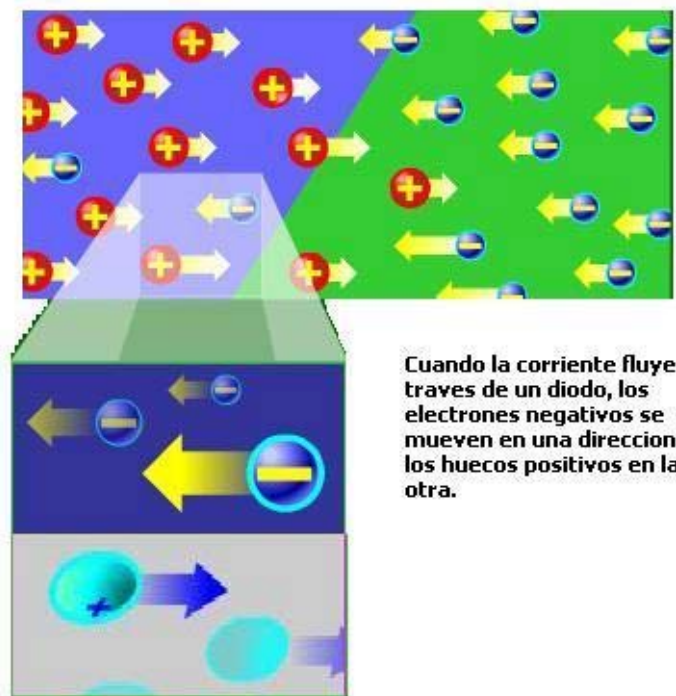
¿Cómo puede un diodo producir luz.?

La luz es una forma de energía que puede ser liberada por un átomo. Esta está hecha de pequeñas partículas como paquetes, que tienen energía pero no masa. Estas partículas llamadas **fotones** son la unidad más básica de la luz.

Los fotones son liberados como resultado de los electrones que se mueven. En un átomo los electrones se mueven en **orbitales** alrededor del **núcleo**. Los electrones en diferentes orbitales tienen diferente cantidad de energía. Generalmente hablando, los electrones con mayor energía se mueven en orbitales más alejados del núcleo.

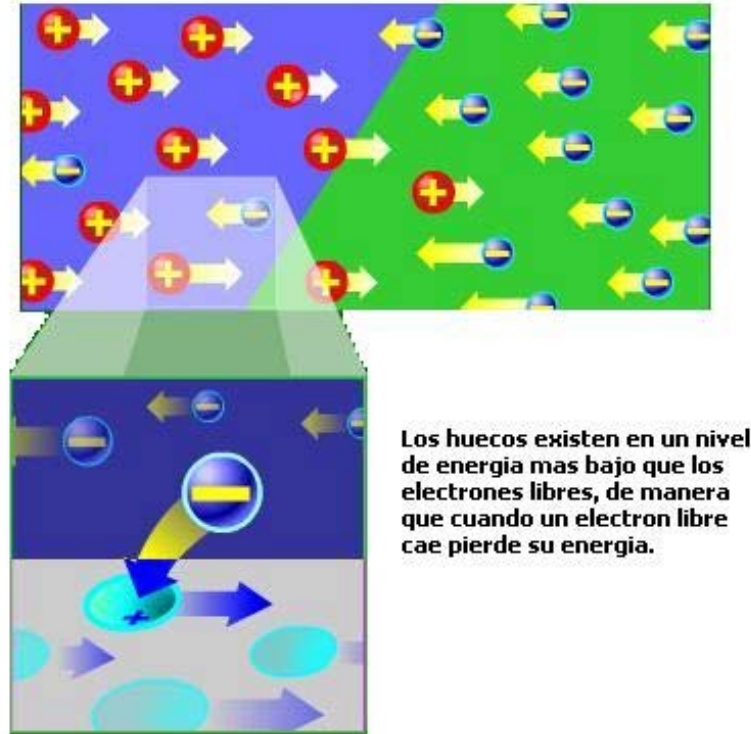
Para un electrón brincar de un orbital de más baja energía a uno de más energía, tiene que haber algo que le impulse su nivel de energía. Por el contrario un electrón libera energía cuando cae de un orbital de más energía a otro de menos. Esta energía se libera en forma de un fotón, una caída de energía mayor libera un fotón de más energía, el cual se caracteriza por una frecuencia más alta. (Véase como trabaja la luz).

Como vimos en la sección anterior, los electrones libres moviéndose a través de un diodo pueden caer en huecos vacíos del lado P. Esto involucra una caída de la **banda de conducción** a un orbital de más bajo nivel, de esta manera los electrones liberan energía en forma de fotones. Esto sucede en cualquier diodo, pero tu solo puedes ver los fotones cuando el diodo esta hecho de ciertos materiales. Los átomos de un diodo de silicio estándar están hechos de forma tal que los electrones caen una distancia relativamente corta. Como resultado, la frecuencia de los fotones es tan baja que es invisible para el ojo humano, esta en el rango del **infrarrojo** del espectro de luz. Esto no es necesariamente algo malo, por supuesto. Los diodos infrarrojos son ideales para los controles remotos.



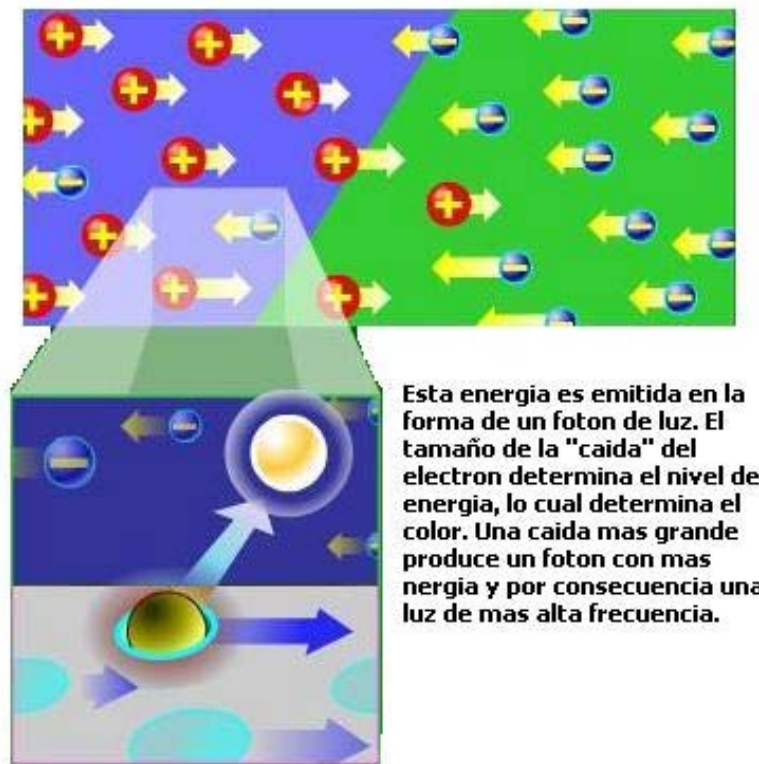
Cuando la corriente fluye a través de un diodo, los electrones negativos se mueven en una dirección y los huecos positivos en la otra.

Figura 5a.



Los huecos existen en un nivel de energía mas bajo que los electrones libres, de manera que cuando un electron libre cae pierde su energía.

Figura 5b.



Esta energía es emitida en la forma de un foton de luz. El tamaño de la "caida" del electron determina el nivel de energía, lo cual determina el color. Una caída mas grande produce un foton con mas energía y por consecuencia una luz de mas alta frecuencia.

Figura 5c.

Diodos emisores de luz visible (VLEDS), tales como los que iluminan los números de un reloj digital, están hechos de materiales que se caracterizan por una banda prohibida más grande de lo normal entre la banda de conducción y la banda de valencia, u orbitales más bajos. El tamaño de la banda prohibida determina la frecuencia del fotón – en otras palabras, determina el **color** de la luz.

Mientras que todos los diodos liberan luz, la mayoría no lo hace eficientemente. En un diodo ordinario, el material de silicio por si mismo termina por absorber una gran parte de esta energía de la luz, los **LEDS** están especialmente construido para liberar un gran número de fotones hacia fuera. Adicionalmente se empacan en un bulbo plástico que concentra la luz en una dirección en particular, como puedes ver en la **figura 6**, la mayor parte de la luz rebota en las paredes del bulbo viajando hasta el final redondeado.



Figura 6.

Los **LEDS** tienen algunas ventajas sobre las lámparas incandescentes. Por ejemplo no tienen un filamento que se queme, por lo que duran más. Adicionalmente su empaquetado de bulbo plástico los hace mucho más durables. Y también se adaptan mejor en la electrónica moderna.

Pero la ventaja principal es la **eficiencia**. En las lámparas incandescentes convencionales, el proceso de producción de la luz envuelve la generación de una gran cantidad de calor (el filamento debe de ser calentado). Esta es una completa pérdida de energía, a menos que estés usando la lámpara como calefactor, dado que una gran porción de la electricidad disponible no va a producir luz visible. Los **LEDS** generan muy poco calentamiento, relativamente hablando. Un porcentaje mucho mayor de potencia eléctrica va directamente a la generación de luz, lo cual reduce considerablemente la demanda de la electricidad.

Hasta hace poco, los **LEDS** eran demasiado caros para ser usados en las aplicaciones de iluminación, eran construidos en materiales de avanzada. Actualmente el precio de los semiconductores se ha reducido, haciendo de los **LEDS** una opción de iluminación más efectiva en costo para una gran variedad de situaciones. Mientras que pueden ser mas caros que las lámparas incandescentes, sus costos en el largo plazo los hacen una mejor compra. En el futuro tendrán un rol aun más grande en el mundo de la tecnología.

Los LEDS aun son populares (... y se están mejorando) después de todos estos años.

Introducción

En los años recientes algunos artículos se han enfocado sobre las nuevas tecnologías de displays. Estos han cubierto la explosión de los paneles de color LCD de TFT de siempre incrementando el tamaño de las pantallas de las laptop, los PDP (paneles display de plasma) para televisión de alta definición reemplazando los CRT, los LED polímeros (PLED) o los displays de leds orgánicos (OLED) para los pequeños juegos, celulares y PDAS.

Esta sección discute 35 años de tecnología en displays que por si misma ha cambiado rápidamente – El LED. Este resumen general cubre los orígenes del LED, sus aplicaciones tradicionales y como las mejoras de la tecnología han estimulado la creación de nuevas aplicaciones.

Una breve historia de los LEDS

El desarrollo comercial de la tecnología de los **LEDS** comenzó en los inicios del 62, notablemente por **Bell Labs, Hewlett-Packard, IBM, Monsanto, y RCA**. Trabajaron en el led de arsenuro fosfuro de galio (**GaAsP**) para la introducción del primer led rojo comercial de 655 nm en 1968 por **HP y Monsanto**. En 1971 HP libera su contador de frecuencia portable 5300A de 500 Mhz que usaba un display de leds de **GaAsP**. Los displays de leds florecieron en los inicios de los 70 como displays numéricos en las calculadoras de bolsillo de **HP, Texas Instruments, Sinclair** y otros. Por un periodo corto de tiempo, los **LEDS** aparecieron en los relojes digitales de pulsera pero pronto fueron reemplazados por los **LCDS**, mientras tanto, los **LEDS** reemplazaban a los focos y neones como indicadores y se convertían en la opción estándar de display numérico y alfanumérico para la instrumentación.

La candente competencia de los **LEDS** en los 70 y 80 por los bienes para el consumidor vino de los displays de vacío fluorescentes (**VFDS**) cuyas brillantes luces verdes y azules ofrecían una alta brillantez y contraste cuando se veían a través de un filtro verde o azul. Los **VFDS** fueron desarrollados primeramente por **ISE Electronic Corporation** en 1967. **ISE**, a menudo conocida por el nombre divisional **Noritake** en conjunto con **Futaba** y **Nec** ofrecieron válvulas display desde finales de los 60 hasta los inicios de los 70, comenzando con simples displays de un dígito que se usaron en el rápidamente creciente mercado de las calculadoras de escritorio. Pronto aparecieron válvulas display multi-dígito, reduciendo los costos de fabricación, y estos son posiblemente mejor recordados por su apariencia en la popular calculadora de bolsillo **Casio**. Mas tarde **Samsung** comenzó a hacer válvulas para su propio consumo en los enseres de consumo. En 1993, **Nec** vendió completamente sus línea de fabricación a **ZEC en China**, y entre ellos **Futaba**, **ISE**, **Samsung** y la misma **ZEC** producen alrededor del 95% de la producción de **VFDS** del mundo.

En los 80 y a la fecha, los **LCD** monocromáticos compiten fuertemente con los **LEDS** y **VFDS** por los enseres de consumo, la instrumentación y los tableros automotrices. Los **LCDS** tienen la ventaja de un bajo consumo de potencia y su fácil adaptabilidad, y se convierten en la opción obvia para las aplicaciones operadas con baterías. En tanto que los **LCDS** no emiten luz, existen muchas aplicaciones donde la luz ambiente se puede garantizar. De manera alternativa, la luz de un par de leds verdes, naranjas, o amarillos se pueden difundir y difuminar detrás de un **LCD** pequeño (10 centímetros cuadrados) con un plástico opaco moldeado; para proporcionar un iluminado posterior barato y agradable.

¿Quién fabrica LEDS?

La producción mundial de leds actualmente es de 4,000 millones de unidades al mes, de acuerdo con el **ITIS (Servicio de información de tecnología industrial)** de **Taiwán**, **Taiwán** actualmente produce cerca de la mitad de la demanda mundial con cerca de sus 30 fabricantes de leds, siendo **Japón y Estados Unidos** los siguientes más productivos. Hace 10 años **Japón** fue el líder productor y **Taiwán** producía apenas el 10% de la demanda mundial. La mayoría de los fabricantes de leds son actualmente ensambladores y empacadores, comprando los wafers o dados de las fabricas en **Japón y Estados Unidos**, y (mas recientemente) **Taiwán**.

El C.I.E., Lúmenes y Candelas

Posiblemente sea de ayuda incluir en una discusión de la tecnología de displays, un tutorial corto de la teoría radio métrica y fotométrica. La radiometría es la medición de la energía radiante en todas las longitudes de onda, (visibles o no visibles) mientras que la fotometria es la medición de la brillantez aparente al ojo humano. El ojo humano ve el rango de longitudes de onda de los 380 nM a los 740 nM como el familiar espectro de colores, (**figura 1**).

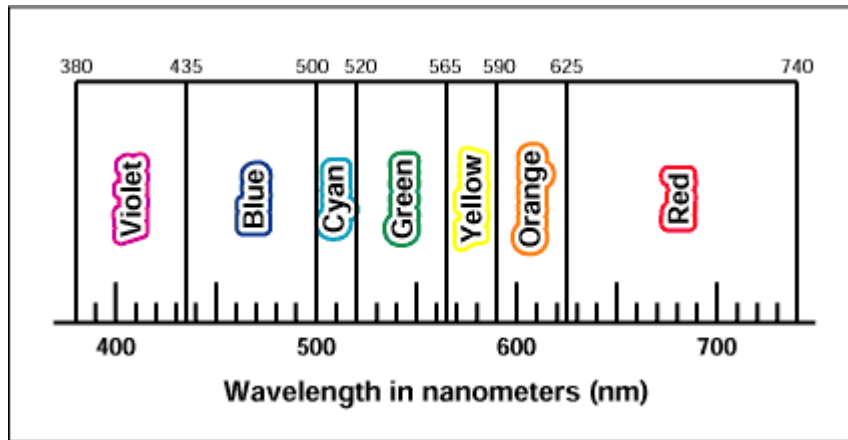


Figura 1. Longitudes de onda del color

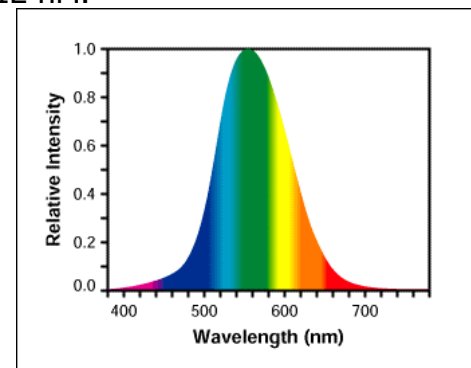
La "Comision Internationale de l'Eclairage" (CIE), formalizó estándares para la medición de luz, y la respuesta del ojo humano u "observador estándar", por los años 30. Estos estándares se caracterizaron por la variación en la respuesta del ojo sobre el rango entero de visibilidad bajo condiciones variadas de iluminación, tales como luz de día o noche. La CIE también definió los colores primarios (**Tabla 1**).

Nombre del color	Longitud de onda
Rojo	700nm
Verde	546.1nm
Azul	435.8nm

Tabla 1. Definición de colores de CIE

Estos estándares y definiciones han sido controversiales, y existen otros. Los puntos de interés para los displays son que la respuesta pico del ojo humano ronda aproximadamente en el verde de 555 nM, es sensible al amarillo y cae aproximadamente en el azul de 400 nM, y también hacia el rojo de 700 nM. Esto se puede ver en el diagrama de cromaticidad fotópica 1931 (luz de día), el cual esta mostrado en la **figura 2** de una forma simplificada. La curva escotópica (adaptada por la noche) es muy diferente, donde el pico esta alrededor de los 512 nM.

Figura 2. Respuesta del ojo humano a la luz del día.



Intensidad de luz radiante (todas las longitudes de onda) se mide en Lúmenes. El Lumen esta definido de forma que se producen 683 lúmenes de luz por 1 watt de radiación monocromática a una longitud de onda de 555 nM. La intensidad luminosa, se mide en Candelas (cd), y resulta de la aplicación de la respuesta de color de CIE al flujo radiante y proporciona la medición de la porción visible de una fuente de luz. La intensidad de display por lo tanto esta descrita en cd y mcd para indicar la salida de luz útil para el observador.

¿Qué son los leds?

Un diodo emisor de luz (LED) es un diodo de unión PN de semiconductores que emite fotones cuando se polariza directamente. El efecto de emitir luz es llamado inyección de electroluminiscencia, y sucede cuando los portadores de un lado se recombinan con los del lado opuesto en la banda del diodo. La longitud de onda de la luz emitida varia primeramente debido al material semiconductor usado, dado que la banda prohibida varia con el semiconductor. No todos los portadores minoritarios inyectados se recombinan de manera radiativa aun en un cristal perfecto; la recombinación no radiativa ocurre en defectos y dislocaciones en el semiconductor que pueden dar lugar a grandes variaciones en las emisiones útiles en diodos aparentemente idénticos. Esto en la practica significa que los lotes fabricados de LEDS se ordenan y gradúan para emparejar su intensidad.

Los leds están procesados en "wafers" de manera similar a los circuitos integrados de silicio, y separados en dados. El tamaño de la pastilla para los leds de señal visible generalmente está en el rango de 0.18 mm cuadrados a 0.36 mm cuadrados (**figura 3**). Los leds infrarrojos (Ir leds) pueden ser más grandes para manejar picos de potencia, y los leds para iluminación son más grandes aun.

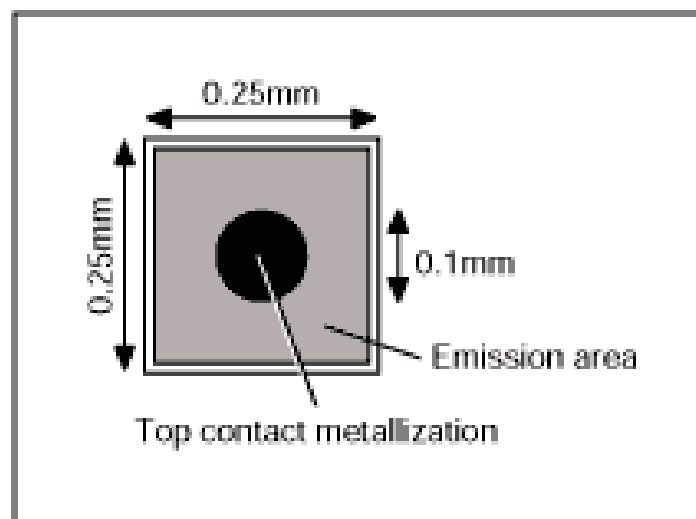


Figura 3. Dado Típico de un led de GaP.

El producto LED empacado más simple es la lámpara o indicador. La estructura básica de un led indicador consiste de un dado, una estructura de puntas conductoras donde se ubica actualmente el dado y el encapsulado epoxico que rodea y protege al dado, y también dispersa la luz (**figura 4**). El dado está pegado con un epoxico conductoro dentro de un receso en una mitad de la estructura de puntas conductoras, llamado yunque debido a su forma. El receso en el yunque esta formado para lanzar la radiación de luz hacia delante. El contacto superior del dado esta pegado con un alambre hacia la otra terminal de la estructura de puntas conductoras, el poste.

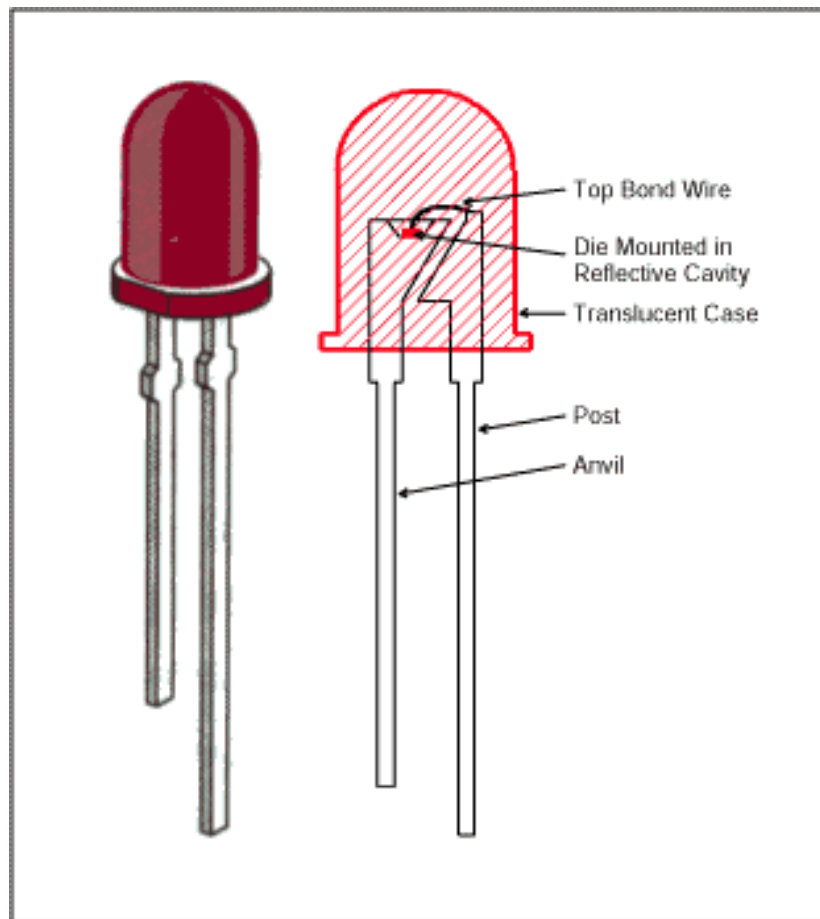


Figura 4. Típico LED indicador y corte de su construcción.

La construcción mecánica de la lámpara LED determina la dispersión del patrón de radiación de luz. Un patrón de radiación estrecho (**figura 5**) aparecerá muy brillante cuando se ve desde el eje, pero el ángulo de visión no será muy amplio. El mismo dado podría ser montado para proporcionar un ángulo de visión más amplio, pero la intensidad a lo largo del eje será menor. Este compromiso es inherente en todas las lámparas indicadoras, y se puede ver fácilmente. Los leds de alta brillantez con 15° o 30° de ángulo de visión son una buena opción para un panel de información que está directamente en frente del operador, pero un indicador de dirección o tablero automotriz puede requerir de ángulos tan grandes como 120°.

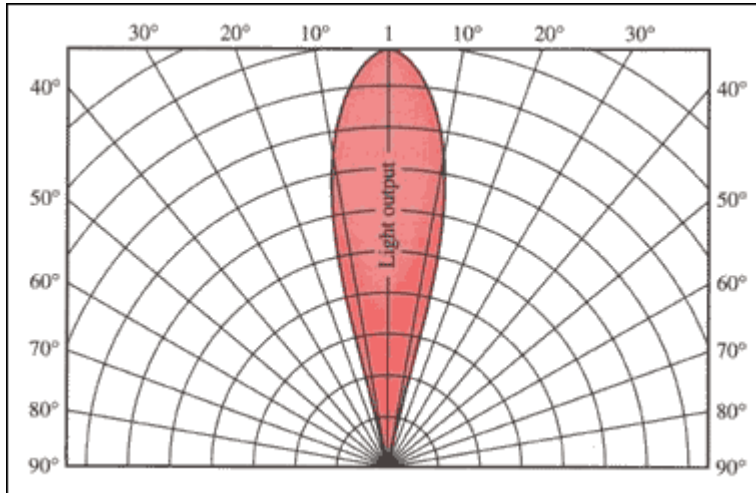


Figura 5 patrón de difusión agudo de un led indicador.

Construcción de un display de LEDS Numérico y alfanumérico.(2.8)

El muy familiar display numérico de 7 segmentos, el cual sufre actualmente de una numeración incorrecta dado que existe un octavo led para el punto decimal (DP), y el un tanto menos familiar display "estrella" los cuales son referidos de forma semejante como displays de 14 o 16 segmentos, ignorando el punto decimal una vez más. Los displays estrella proporcionan un medio económico de mostrar los 26 caracteres del alfabeto romano en mayúsculas así como también los dígitos del 0 al 9. La diferencia entre el display de 14 y el de 16 segmentos, es que el segmento superior e inferior en el de 16 esta dividido en dos, mejorando con ello la apariencia de algunos caracteres, **figura 6**.

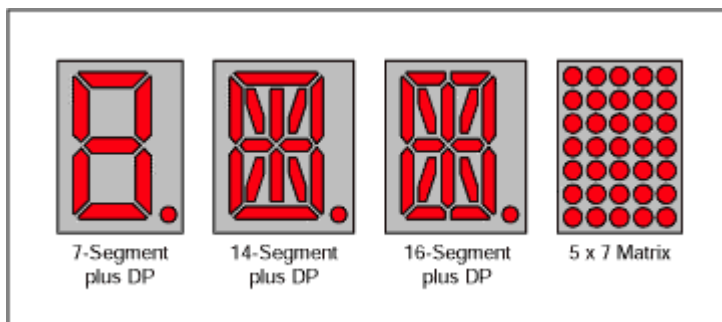


Figura 6. 7 segmentos, 14 segmentos, 16 segmentos y matricial de 5 x 7.

El matricial de 5 x 7 es aun más versátil, capaz de desplegar el alfabeto romano tanto en mayúsculas como minúsculas, así como también una serie de símbolos. La diferencia en la calidad del display se muestra en la **figura 7**, la cual compara los caracteres desplegados usando una matriz de 5 x 7 con un mapa de caracteres del driver de Maxim MAX6952/3 y usando un display de estrella con un driver Maxim MAX6954/5 y el mismo mapa de caracteres. La matriz de 5 x 7 es inadecuado para los caracteres CJK (Chino, Japonés, Coreano), a menudo se cita una resolución granular de 12 x 12 como mínima para estos caracteres.

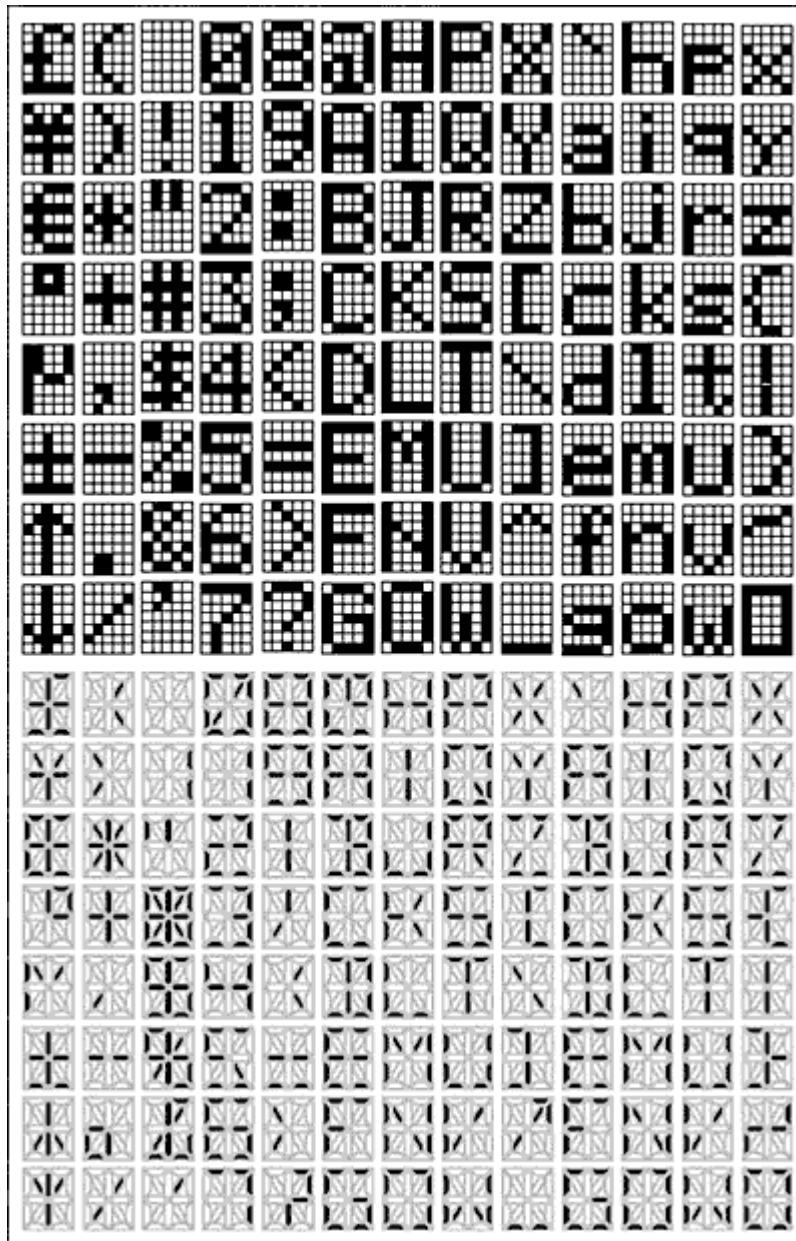


Figura 7 Comparación de caracteres de una matriz 5 x 7 y un display estrella.

La mayoría de los displays numéricos y alfanuméricos actuales son híbridos, montando chips de leds múltiples en un paquete. Algunos display tan pequeños (como por ejemplo los de burbuja frontal en las populares calculadoras de los 70) son monolíticos. De alguna manera la forma de cada segmento está definida por un reflector y una guía de luz montada alrededor del dado y no por el dado mismo. Los displays pequeños usan un dado por segmento del display, mientras que los grandes utilizan 2 o más dados por segmento para proyectar la luz de forma más efectiva y mostrar una intensidad razonablemente uniforme a lo largo del segmento.

En el proceso de manufactura, los chips se montan o bien en una estructura de terminales o en un PCB, y pegados con alambre a un patrón de interconexión. El dado se monta usando pasta conductiva debido a que el substrato forma una de las conexiones del diodo (**figura 8**). El patrón de interconexión generalmente conecta o bien los cátodos o bien los ánodos de la pastilla de forma conjunta para reducir el numero de pins requeridos para un dígito, como resultado los displays se conocen como de ánodo común, AC, o cátodo común, CC, y los circuitos integrados de excitación especificarán un tipo u otro, **figura 9**.

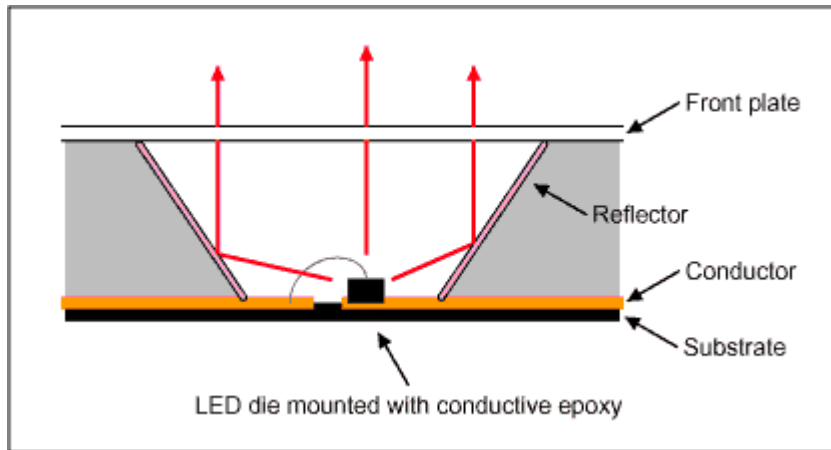


Figura 8 montaje de un dado de led para formar un segmento

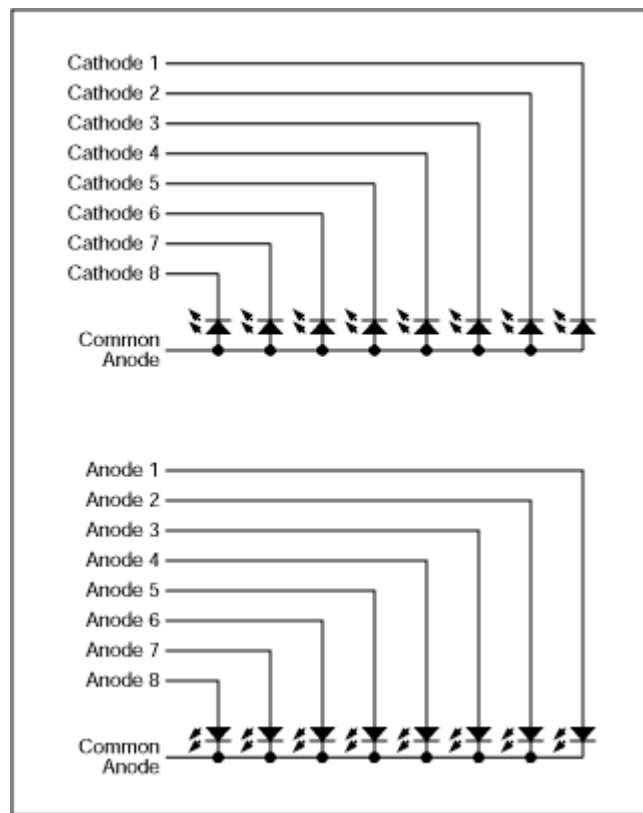


Figura 9 displays de ánodo común y cátodo común.

El método de construcción de las terminales es similar al que usan en la fabricación de los circuitos integrados. La estructura normalmente es de acero con pintura de plata, lo cual proporciona una buena conducción del calor y reflexión de la luz. El canal reflector que forma la guía de luz de cada segmento se llena de epoxica durante la construcción, y esta proporciona la robustez mecánica y ambiental que protege al display.

Un método más económico usa un substrato de tipo PCB en vez de una estructura de terminales. Los displays construidos de esta forma a menudo se conocen como de tipo "stick", dado que el método es comúnmente usado para construir displays multidígito, como por ejemplo el de 4 dígitos de un reloj. La construcción "stick" permite que el display sea construido sin relleno de epoxica, lo cual ahorra costos pero deja al display susceptible a degradación por contaminantes.

Características eléctricas y ópticas del LED.

El comportamiento eléctrico del led es similar al de un diodo semiconductor. El voltaje en directa es más alto, y es diferente por los diferentes materiales usados para los diferentes colores (**figura 10**). El voltaje en directa crece conforme crece la corriente y decrece con la temperatura en alrededor de $2\text{mV}/^\circ\text{C}$. Y como todos los semiconductores el led debe ser degradado a temperaturas de operación muy altas.

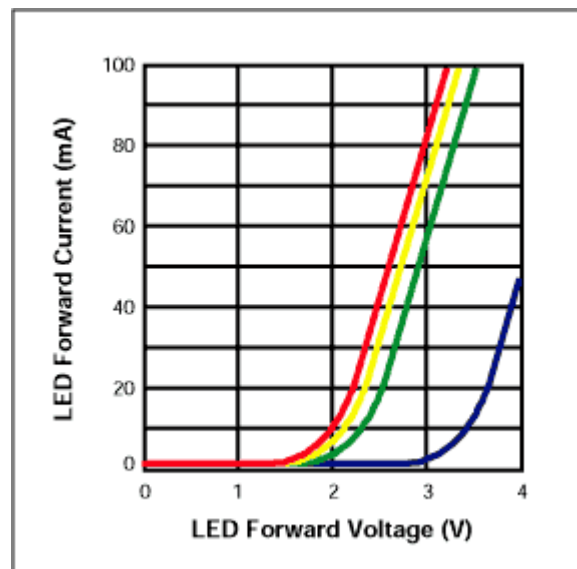


Figura 10 el voltaje de directa del led varia con el color y la corriente.

El comportamiento óptico del led varia significativamente con la temperatura. Primero la cantidad de luz emitida por la lámpara led decrece cuando la temperatura de la unión crece. Esto es debido a que existe un incremento en la recombinación de huecos y electrones que hace que no contribuyan a la emisión de luz., también la longitud de onda emitida cambia con la temperatura, principalmente porque la banda de energía del semiconductor cambia con la temperatura

Excitando a los LEDS – excitación estática y multiplexada.

La forma más fácil de excitar leds múltiples, tales como los de un display de segmentos, es excitar cada led por separado con una resistencia o fuente de corriente que fije el voltaje de directa, esta técnica es llamada excitación estática dado que la corriente del led es continua. La excitación estática es útil cuando son relativamente pocos los leds a excitar, con un limite sensato de dos dígitos de 7 segmentos. Los leds de alta eficiencia se pueden excitar a una brillantez alta con 2 mA, lo cual generalmente está disponible de cualquier puerto de salida de un microcontrolador.

Cuando se van a excitar un lote de segmentos, la excitación estática demanda una cantidad no económica de salidas de excitación, 1 por led. El multiplexeo o excitación por pulsos reduce la las conexiones dado que solamente se excita un numero pequeño de segmentos a la vez (típicamente un dígito). La activación se hace a una velocidad lo suficientemente rápida. Para que el ojo perciba una iluminación continua, sin embargo los leds deben de excitarse a una corriente mayor para compensar el reducido ciclo de trabajo.

Una ventaja de la excitación por pulsos es que el ojo humano se comporta parcialmente como un integrador y parcialmente como un lector fotómetro. Como resultado el ojo percibe la luz pulsada rápidamente entre la brillantez pico y la brillantez promedio. Esto significa que un pulso de ciclo de trabajo bajo y alta intensidad de luz parecería más brillante que una señal de DC igual al promedio de la señal pulsada, por lo tanto una ventaja de la operación multiplexada es una mejora en la intensidad del display para un consumo promedio de potencia dado.

La eficiencia de un led típicamente se eleva con la corriente en directa, asumiendo que la temperatura de la unión permanece constante, este sin embargo no siempre es el caso, y las hojas de datos del led deben ser examinadas (y comparadas) cuidadosamente cuando se escoja el pico máximo de corriente (**figura 11**). Sin embargo la multiplexación a menudo nos da 1.5 veces la salida de luz de la corriente de excitación promedio del ciclo, comparada con el nivel equivalente de DC.

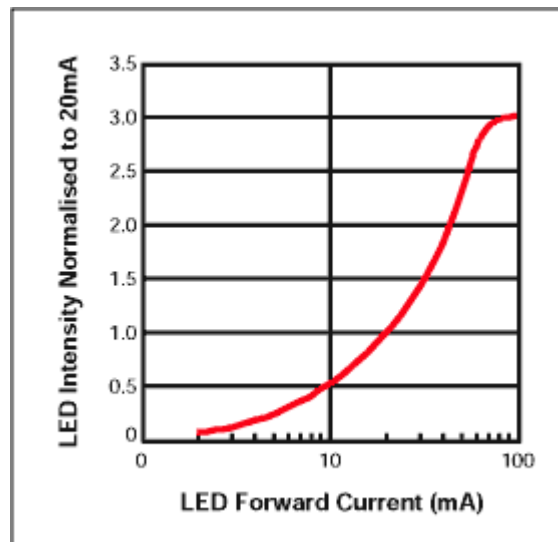


Figura 11 salida de luz versus corriente de led

Según se incrementa la corriente de excitación del multiplexeo, las temperaturas internas dentro del chip también se incrementan. Existe un punto donde el incremento de temperatura es tal que la caída de eficiencia en la conversión de fotones debido a la alta temperatura niega el efecto de incremento en la densidad de corriente a través de la unión. En este punto incrementar la corriente resulta en un cambio muy pequeño o inapreciable, o aun decrecer la salida de luz del chip.

La conexión estándar para displays multiplexados usa un pin separado para cada cátodo común mientras que las conexiones de segmentos, ánodos se hacen comunes para todos los dígitos (**figura 12**). El número de conexiones requeridas se puede calcular como una por cada dígito usado mas 1 por cada segmento dentro de un dígito. Un esquema más eficiente en pines se basa en el hecho de que durante la operación de multiplexeo, solo una salida de dígito se está utilizando, haciendo que los pines de excitación alternen el ciclo de trabajo entre dígitos excitados y segmentos excitados, n pines de excitación se pueden usar para excitar n dígitos cada una con n-1 segmentos. Esta técnica se usa en el Maxim MAX6951 para conectarlo a 8 dígitos numéricos con solamente 9 pines (**figura 13**).

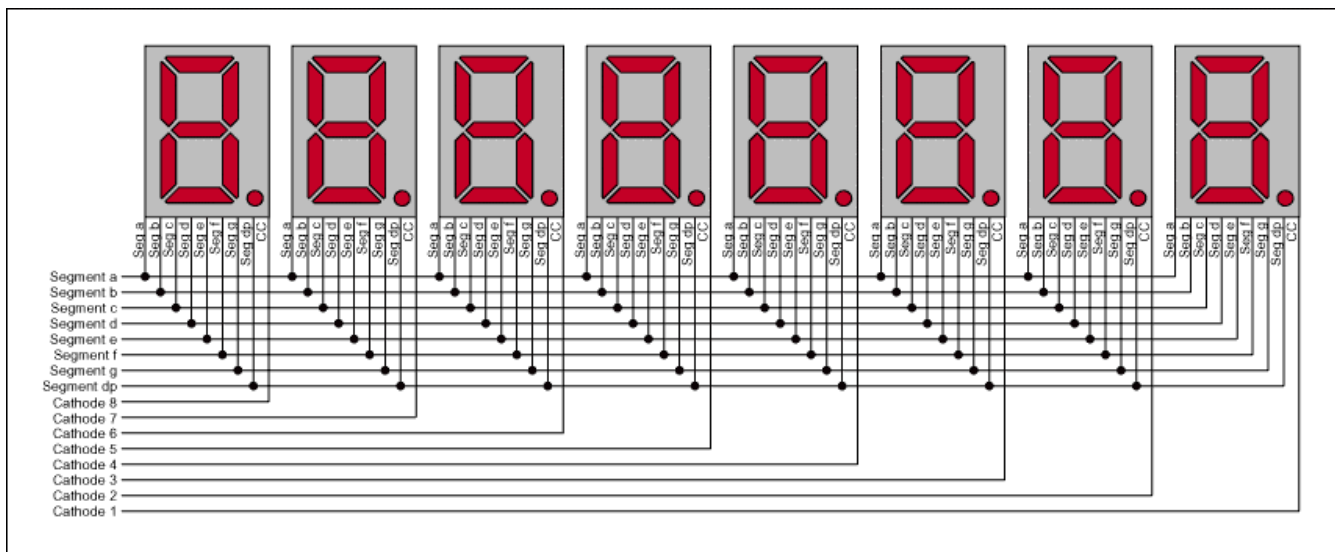


Figura 12. Conexión estándar para el multiplexeo.

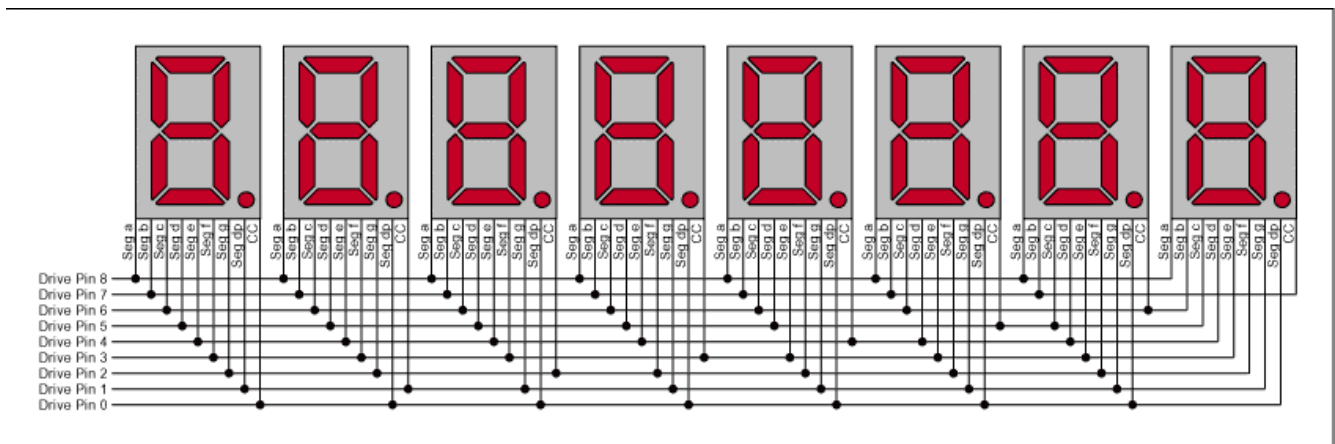


Figura 13 Conexión de multiplexeo con pines reducidos en el MAX6951.

Expectativa de vida útil del LED.

Los leds tienen un tiempo promedio entre fallas(**MTBF, Mean Time Between Failures**) que usualmente esta en el rango de 100,000 a 1,000,000 de horas. Este es un tiempo muy grande para la operación continua, considerando que un año es de 8760 o 8784 horas, en la practica la medida útil de la vida de un led es la mitad de su vida, esto es que un led se ve considerado para alcanzar el fin de su vida cuando su salida de luz ha llegado a la mitad de lo que originalmente era. Cuando la corriente que circula por la unión de un led no es uniforme, da como resultado pequeños diferenciales de temperatura dentro del chip. Estos diferenciales de temperatura ejercen un estrés sobre la estructura cristalina que ocasionan fracturas. Estos defectos en la estructura se acumulan con el uso y reducen la eficiencia de conversión de fotones del chip y por tanto reduciendo la salida de luz. La razón de contricción varia de acuerdo al material del led, temperatura, humedad y corriente en directa.

Leds azules y blancos.

Existen esencialmente dos tecnologías para generar luz blanca de los leds. Una manera es montar un dado rojo, uno verde y uno azul muy juntos uno de otro dentro de un paquete y mezclar las salidas de luz en las proporciones correctas para lograr una luz blanca. El problema con este método, ignorando los aspectos técnicos de fijar los niveles correctos de excitación de los leds, es el costo de los tres dados. Sin embargo en relación con esto, los leds son muy populares para la iluminación posterior de LCD en aplicaciones de electrónica de consumo, dado que el consumidor puede ajustar el color de iluminación posterior a cualquier matiz deseado. El método mas barato, impulsado notablemente por Nichia, involucra fósforo con un led azul que absorbe algo de la luz azul y fluoresce en un segundo color para lograr un blanco muy cercano. Algunos de los primeros leds blancos usaban esta técnica y mostraban un visible tinte azulado, pero desarrollos más recientes han mejorado y se pueden ver en los nuevos PDAS y celulares de color.

Aplicaciones recientes para los LEDS.

Los procesos para los leds cambiaron rápidamente en los 80 con el surgimiento de los eficientes leds de arsenuro de galio aluminio y arsenuro galio aluminio indio (**tabla 2**). En un corto periodo de tiempo, la eficiencia quantum de los leds se fue aproximando un porcentaje, todos los colores primarios (**RGB**) se tuvieron a la disposición y la confiabilidad fue al menos tan buena como la tecnología de otros displays. Los leds de montaje superficial se consiguen en un color, incluyendo el blanco, bicolores, usualmente rojo y verde y tricolores, (**figura 15**) y estos han proliferado en luces de iluminación posterior de paneles pequeños de LCDS, de equipos y tableros de mensajes para interiores. Los tableros de mensajes para exteriores que utilizan leds en vez de lámparas incandescentes con filtros utilizan racimos de leds agrupados lo suficientemente juntos para parecer un típico píxel cuadrado de 25 milímetros cuadrados (**figura 14**). Estos tableros de mensajes (o señales de mensaje variable) se usan para displays de anuncios y señales de trafico. Otro sector de mercado creciente es en el reemplazo de lámparas de trafico, estas lámparas consumen alrededor de 75 a 150 watts dependiendo del tamaño (20 o 30 cm) y color (debido a la transmisividad de los filtros usados, rojo, verde y naranja). Las luces de trafico con leds consumen

alrededor de 7 a 15 watts y pueden ser reemplazadas cada 5 años en vez de cada año como las incandescentes.

Tabla 2. Procesos de los LED.

Capa emisora de luz	Época	Comentario
GaAsP (arsenuro fosfuro de galio)	1960s	Baja eficiencia Original rojo., usaban fase liquida epitaxial.
GaP (fosfuro de Galio)	1970s	Rojo de alta eficiencia
GaAlAs (Arsenuro de Galio aluminio)	1980s	Heteroestructura simple y doble, procesada usando fase vapor epitaxial, incrementando la eficiencia.
InGaAlP (Fosfuro de Indio galio aluminio)	1990s	Metal orgánica, fase vapor epitaxial.
InGaN (Nitruro de Indio galio)	2000s	Azul y verde ultra brillante.

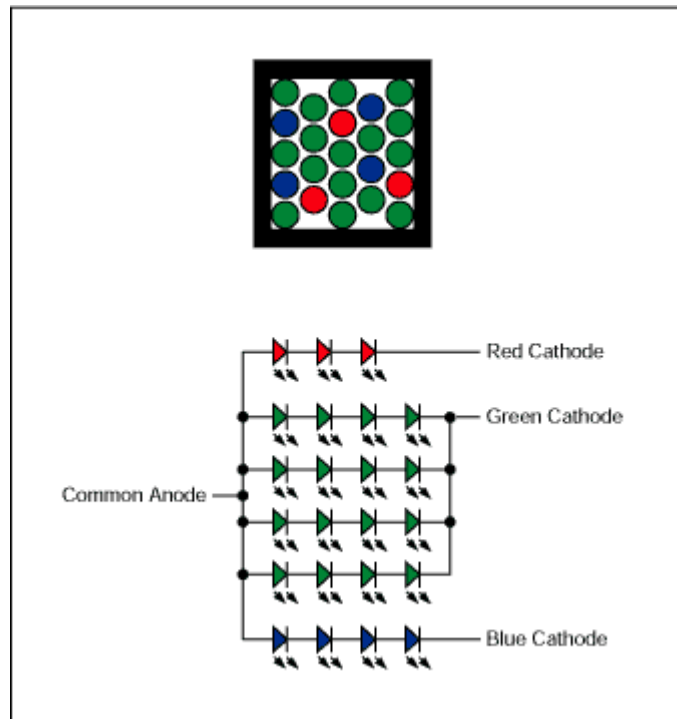


Figura 14. Píxel de racimo de LEDs para tableros exteriores de mensajes



Figura 15. leds de montaje superficial de Everlight

Aplicaciones Futuras de los LEDS.

Los leds ultra brillantes actuales exceden la salida de las de las lámparas incandescentes y de halógeno y no están sujetas a los requerimientos de mantenimiento (a lo mucho una vida de algunos miles de horas) asociadas con las lámparas de filamento. Además pueden ser controladas con dimmers que usan PWM y otras técnicas. Así el objetivo de los diseñadores de procesos para leds es construir un led blanco muy brillante que sea lo suficientemente económico para ser usado en la iluminación domestica. Ahora mismo, existe interés por la alta eficiencia, lámparas de larga vida por parte de hoteles y fabricas, no solo porque la electricidad usada en la iluminación es costosa sino por el costo de la mano de obra que también hay que considerar en el reemplazo de las lámparas.

Comparación de Tecnologías de display

Tipo de display	Display de cristal.
Emisivo o Reflectivo	Reflectivo
Tecnología	Un LCD utiliza las propiedades de los cristales líquidos en un campo eléctrico para guiar la luz de una placa frontal polarizada a la placa opuesta del display. El cristal liquido trabaja como un director helicoidal (cuando el excitador presenta el campo eléctrico correcto) para guiar la luz a través de 90° de una placa a la otra.
Ventajas	<p>Mono paneles pequeños, estáticos, pueden ser de muy bajo costo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - ambos paneles de color y mono están disponibles ampliamente - los paneles estáticos ofrecen los displays de más baja potencia y voltaje. - Los paneles reflectivos en general son de baja potencia. - son fáciles de hacer a la medida, segmentos, formas y tamaños. - los mono paneles con iluminación posterior son atractivos.
Desventajas	<p>La iluminación posterior agrega costo y a menudo disminuye la vida útil.</p> <ul style="list-style-type: none"> - requiere de una onda de alterna para excitarse. - es frágil amenos que se proteja. - pueden tener rangos de temperatura estrechos (0°C - 50°C) - requieren generalmente de compensación de temperatura. - pueden tener ángulos de visión estrechos. - incrementa los costos para los displays mayores a 17 pulgadas

Tipo de display	Diodo emisor de luz.
Emisivo o Reflectivo	Emisivo
Tecnología	Los leds son semiconductores emisores de fotones, los cuales emiten luz debido a la inyección del efecto electro luminiscente. La longitud de onda de la luz emitida varia primeramente debido al tipo de material semiconductor usado y comúnmente esta en el espectro visible o el infrarrojo.
Ventajas	<p>Indicadores rojos o verdes del mas bajo costo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - disponible en tamaños muy pequeños. - versiones muy brillantes disponibles también pero a mayor costo. - los tipos rojo y verde trabajan con 3 volts de alimentación.
Desventajas	<p>El led es una fuente puntual, así que la luz requiere de ser moldeada para formar segmentos</p> <p>Los leds blancos y azules son mas caros y requieren de voltajes de alimentación mayores a 3.6volts.</p> <ul style="list-style-type: none"> - pueden tener ángulos de visión muy estrechos. - el color y la eficiencia varían con la temperatura y la corriente. - requieren de cuidado para lograr una vida de 50k horas o más.

Tipo de display	LED orgánico LED polímero
Emisivo Reflectivo	o Emisivo
Tecnología	Estos display usan materiales orgánicos electro luminiscentes depositados en vidrio o un sustrato flexible. Los dispositivos basados en moléculas más pequeñas generalmente se conocen como OLEDs. Aquellos basados en moléculas de polímero más grandes generalmente se conocen como PLEDs. La luz es generada por inyección de electroluminiscencia como en los leds. La selección del material fija el color de emisión. Los píxeles de OLED son capacitivos (decenas o centenas de pico farad) conduciendo a pérdidas significativas por conmutación para displays grandes, con razones de multiplexeo altos.
Ventajas	Costo moderado para paneles de color pequeños, menores a 4 pulgadas. - ángulos de visión mayores a los del LCD. - respuesta del elemento más rápida que los LCD - Emisivo, a diferencia de los LCD de color y mono cromáticos. - se pueden construir en sustratos flexibles.
Desventajas	Voltajes de operación de 6Va 16V. -efectos de envejecimiento diferencial limitan su vida útil. - el consumo de potencia es alto para displays mayores a 128 x 64.

Tipo de display	Display de vacío fluorescente.
Emisivo Reflectivo	o Emisivo
Tecnología	El VFD es un tubo de vacío que usa filamentos calientes para generar termo electrones. Una rejilla (tipo de display estático) o múltiples rejillas (tipo de display multiplexado) controlan y difunden los termo electrones, los cuales son atraídos a uno o más ánodos de alto voltaje cubiertos de fósforo, los cuales emiten luz. Los ánodos son la parte posterior del display de manera que la luz pasa a través de las rejillas y filamentos y el frente del display que es visto por el usuario. Los filamentos no están tan calientes como para poder verlos.
Ventajas	Rangos de temperatura más amplios. - larga vida 40k horas o más. - ángulo de visión más amplio. - display verde típico muy brillante y atractivo. - tamaños y formas de segmento muy fáciles de hacer a la medida. - segmentos de color fáciles de lograr. - disponibles en versiones de 12V de rejilla-ánodo.
Desventajas	Requiere de alimentación de filamento (tolerancia típica de 8%). - voltajes de 10V a 60V de rejilla-ánodo - displays de color RGB disponibles pero muy caros. - los fósforos diferentes al verde limitan la vida útil.

Revolucionando la luz: LEDS, ELDS, y OLEDS.

Por: Frederick Su

Traducción de: Alfonso Pérez García.

Material cortesía de: OE Reports by SPIE.[1]

2 IIA					
4 Be 9.012					
12 Mg 24.31					
20 Ca 40.08					
38 Sr 87.62					
56 Ba 137.3					
88 Ra (226)					
		13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA
		5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00
		13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07
	12 IIB:	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.92
		48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8
		80 Hg 200.3	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0
				84 Po (210)	

Figura 1 a.

En la figura 1 a se muestran algunos elementos comúnmente usados de los grupos III-V o II-VI, donde los números romanos denotan la valencia para los elementos en la columna. Note que III + V igual a 8; de la misma manera II + VII. La valencia para los elementos del tope de las columnas están mas fuertemente pegadas. Por lo tanto la banda prohibida de energía es mucho más grande para los elementos más altos en la columna.

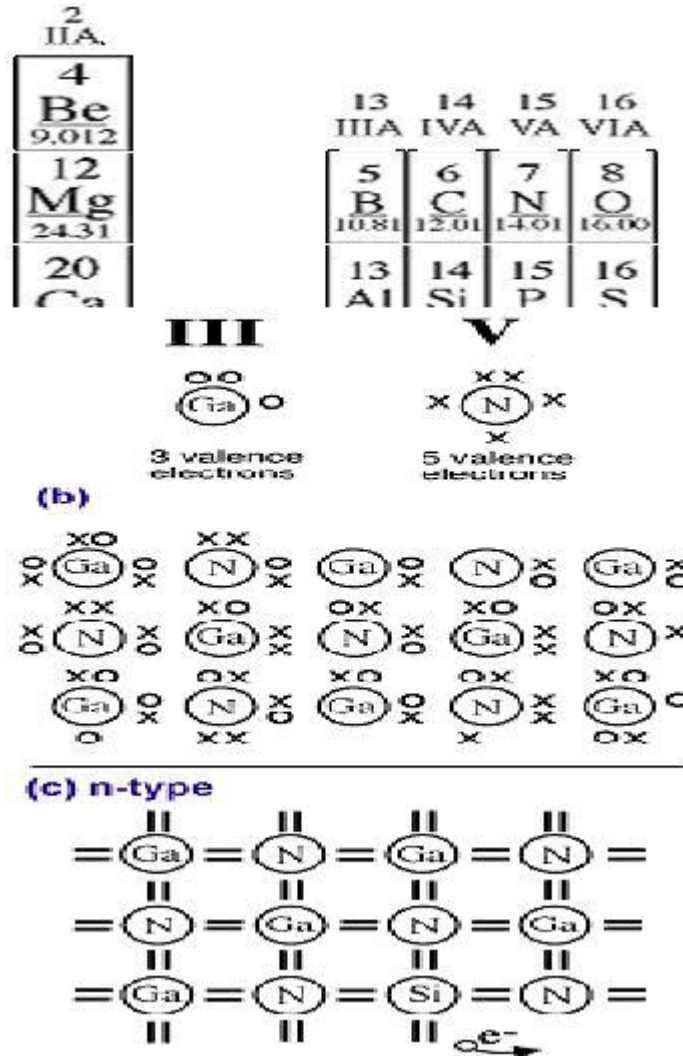


Figura 1 b.

En la figura 1 b. el numero 8 denota el número de electrones necesarios para complementar los enlaces covalentes entre los átomos para formar una molécula o cristal. El fosfuro de galio (GaP) y el nitruro de galio (GaN) son cristales estables con electrones de valencia llenando sus orbitas exteriores.

La figura 1 c para hacer que el arsenuro de galio (GaP) sea conductivo, (tipo N), lo dopas con silicio el cual tiene 4 electrones de valencia. Esto significa que reemplaza un pequeño porcentaje de los átomos de galio con silicio. Esto hace que se completen algunos orbitales exteriores y deje algunos electrones extra para moverse libremente; como en un conductor.

En la figura 1 d para hacer que el nitruro de galio (GaN) sea conductivo tipo P, lo dopas con magnesio. Este proceso crea huecos, no se completan algunos orbitales exteriores. De esta forma un electrón adyacente puede brincar hacia el hueco de manera continua, haciendo de esto un proceso de migración de huecos.

Bajo una polarización directa los huecos y electrones se recombinan en la región activa produciendo luz. Agregando aluminio (Al) e indio (In) al nitruro de galio (GaN), se forma el compuesto semiconductor cuaternario AlInGaN, ajustando la banda prohibida (longitud de onda) y que se acerca mas a la constante de geometría del sustrato (para una mejor eficiencia).

En los **LEDS**, los huecos y electrones se recombinan en una doble hetero-estructura o región quantum bien activa, cuando pasan a través de la unión PN de los semiconductores dopados bajo polarización directa, (Figuras 2a y 2b). La región activa esta hecha de un material de una banda prohibida pequeña y la barrera o región de confinamiento esta hecha de material de banda prohibida más grande. Esta clase de estructura se puede usar en diodos **LASER**, un **LED** es también como un diodo **LASER** sin la cavidad óptica. Esta "tecnología de luz" es el producto de una integración sinérgica de tecnologías, que han hecho posible la **era de la información**, (véase **premio Nóbel de la era auxiliada de la información** ^[21])

LEDS, ELDS (diodos electro-luminiscentes) y OLEDS (LEDS orgánicos), están llegando por si mismos y compitiendo entre ellos mas que de forma directa contra el diodo láser. Los **LEDS** pueden suplantar al diodo láser como fuente de luz en las fibras ópticas de comunicación, y los leds de potencia se están usando en iluminación, siendo los pioneros para remplazar las lámparas incandescentes y fluorescentes. Los **ELDS** y **OLEDs** pueden remplazar los **CRTS** y displays de cristal liquido. Los **OLEDs** los cuales se pueden depositar en sustratos flexibles, pueden ser útiles para nuevas aplicaciones tales como papel tapiz iluminado.

Muchos de los emisores rojos de baja potencia con los que estamos familiarizados, se basan en el GaAsP, y no son brillantes. Crecidos en un sustrato GaAs no encajan geoméricamente, y por consiguiente no son emisores eficientes. "Entre más cercano a la constante de geometría del sustrato sea la constante de geometría del cristal de los grupos III-V a ser crecidos, mejor será el apareamiento geométrico o estructural" dijo Paul Martín de **LumiLeds** en **San José, California**.

La explosión fue la introducción del compuesto semiconductor cuaternario **AlGaInP** para el rojo y el amarillo y el **GaN** para el azul y el verde.

El **AlGaInP** como la región activa en una heteroestructura doble o región quantum bien activa, y crecido sobre un sustrato de arsenuro de galio (**GaAs**), el cual es altamente luminoso. El rango de las bandas prohibidas de **1.9 a 2.2 eV**, corresponden a la emisión en los **650 a los 570 nm**, y se puede variar mezclando la relación del galio (**Ga**) al aluminio (**Al**) en el **AlGaInP**. Generalmente el **Al** va del 0 al 50% y el **Ga** del 50% al 100%. Para los materiales de nitruro de galio (**GaN**), el cual emite en el rango de ultravioleta (**UV**), uno puede mezclarlo con, nitruro de indio (**InN**), el cual emite en el rojo, y se forma nitruro de galio-indio (**InGaN**), el cual emite cualquier color entre el ultravioleta y el rojo, dependiendo de la relación indio-galio.

Los LEDS azules y verdes fueron desarrollados y comercializados por Shuji Nakamura (véase OE Reports de Agosto de 1996.), formalmente de la compañía Nichia Chemical Industries (Japón) y quien ahora esta en la Universidad de California en Santa Bárbara. En ese tiempo (por el 1988), la mayoría de la gente estaba persiguiendo hacer LEDS azules y diodos láser, usando compuestos basados en elementos de los los grupos II-VI, tales como el selenuro de zinc (ZnSe). Estos materiales eran fáciles de crecer, tenían vidas cortas. Nakamura escogió los materiales basados en los elementos del grupo III-V, arsenuro de galio (GaAs), el cual es más difícil de crecer. El

desencaje de estructuras del arsenuro de galio (GaN) crecido en zafiro fue de 13%, pero desarrollaron un sistema de dos flujos MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) y una técnica de capa de respaldo de GaN para crecer filmes de alta calidad de GaN. La banda prohibida del AlInGaN se puede cambiar de 2.0 a 6.2 eV, que corresponden a la longitud de onda de 620 a 200 nm.

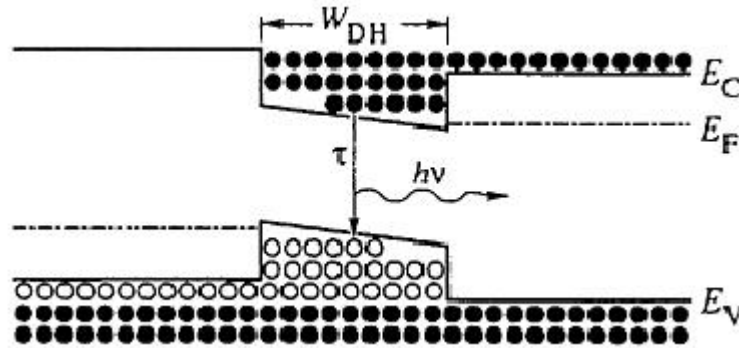


Figura 2 a.

La Figura 2 a, muestra una heterounión bajo polarización directa. En la actualidad los LEDs más eficientes utilizan el diseño de doble heteroestructura donde los portadores se confinan a la región activa W_{DH} . E_C = energía de la banda de conducción, E_V = energía de la banda de valencia, E_F = energía de Fermi, la energía a la cual la probabilidad de que un estado cuantico este ocupado por un electrón es de $1/2$. t es el tiempo de vida espontáneo de recombinación. Típicamente para una hetero-estructura doble W_{DH} es > 500 Ångstrom, mientras que para un buen estado cuantico, W_{DH} = 50-200 Ångstrom

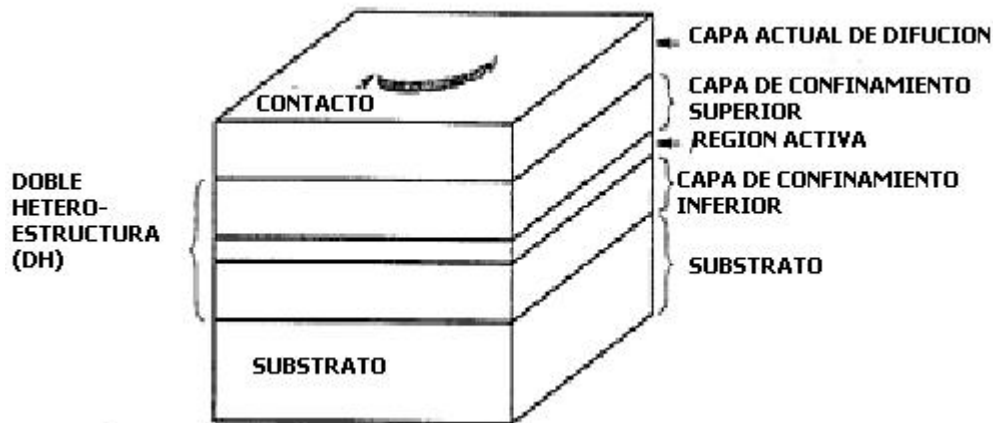


Figura 2 b.

La figura 2 b, muestra un LED de doble hetero-estructura. Por ejemplo, la región activa puede ser AlGaInP y las capas de confinamiento superior y del fondo de AlInP y la capa de corriente de AlGaAs. El substrato de GaAs. (Fuente: "Light-Emitting Diodes: Device Physics, Fabrication, and Applications" SPIE Short Course Notes, Photonics West 2000, Boston Univ. E. Fred Schubert)

Estos LEDs de alta brillantez prometen ser una nueva fuente de iluminación blanca. Los LEDs tradicionales tenían una potencia de salida muy pequeña, alrededor de unos pocos miliwatts, pero actualmente los LEDs basados en AlInGaP, los cuales han alcanzado potencias de salida de hasta 100 lúmenes en color ámbar. Generalmente le azul y el amarillo se combinaran para formar la luz blanca. "La ventaja incluye confiabilidad, menos calor y una eficiencia mas alta en comparación con lámparas incandescentes de tamaño similar" dijo Bob Karlicek de **GELcore (Valley View, Ohio)**

En los mejores dispositivos quantum, la eficiencia interna (la conversión de pares electrón-hueco a luz) se aproxima al 90%. Si se puede lograr una eficiencia del 45% al 55% (viniendo de un dispositivo quantum a un led terminado), entonces la eficiencia total de un LED es de cerca del 50%. "Si lo comparamos con un foco normal, es 10 veces peor que eso" dijo E. Fred Shubert de la **Universidad de Boston**.

Martín dijo que los LEDs actualmente tienen una potencia de entrada de 1 Watt, la cual crecerá hasta 4 Watts en un año y 10 Watts en un par de años. Estos LEDs de 10 Watts operaran con luz blanca y alrededor de 20 lúmenes por watt, lo que significa una increíble salida de 200 lúmenes de salida de un solo LED, comparados con los 900 lúmenes de un foco de 60 Watts

Shubert y sus colegas han desarrollado lo que ellos llaman un diodo emisor de luz de semiconductor reciclador de fotones. La región activa (**InGaN**) del LED primario emite en azul. Pegados en la parte superior de este, un wafer reciclador de fotones (**Al_{0.3}Ga_{0.7}InP**) que emite en color amarillo, el color complementario. El LED es dicromático y el ojo humano ve como resultado luz blanca.

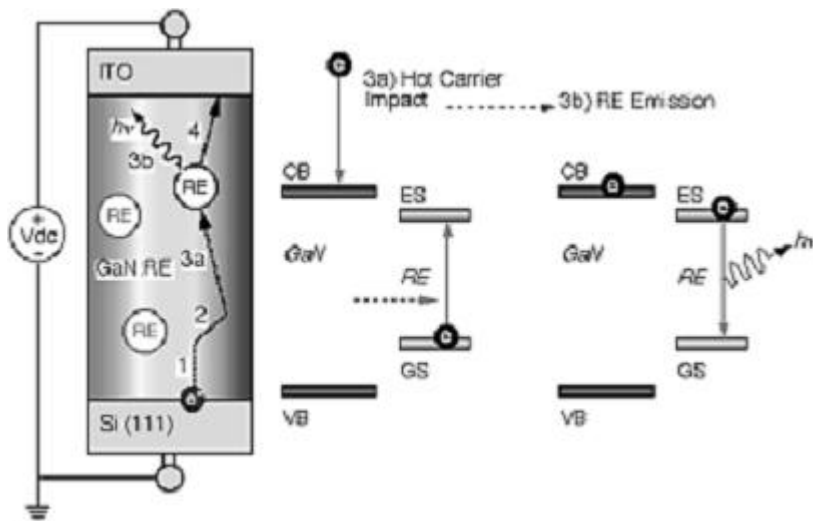


Figura 3.

La figura 3, muestra el proceso de excitación del modelo simple del **GaN:RE**, donde **RE** es un elemento raro. El diodo schottky es la unión rectificadora semiconductor-metal, el contacto **ITO-GaN**, donde **ITO** es ((**indium tin oxide**), óxido estaño indio). Un **ELD** brillante utiliza una gran concentración de tierras raras para poder maximizar la probabilidad de los eventos radiactivos **3a** y **3b**, mientras que se mantiene un adecuado nivel de cristalinidad de manera que decrezcan los eventos no radiactivos de rebote **1** y **2**.

En **3a** un **electrón caliente** (acelerado) en la banda de conducción del **GaN** transfiere su energía (flecha rota) a un átomo de tierra rara, elevándolo a un estado de excitación.

En **3b**, el electrón en el fondo de la banda de conducción del **GaN** ha perdido su energía. El electrón en el estado excitado **ES** del átomo de tierra rara regresa a su estado natural después de haber emitido un fotón. Imagen cortesía de Jason Heikenfeld y Andrew Steckl, de la **Universidad de Cincinnati**.

Los diodos electroluminiscentes (**ELDS**) son otro emisor de estado sólido prometedor. La principal diferencia entre un **LED** y un **ELD** es que el **LED** es una unión PN que opera a bajo voltaje y alta corriente, mientras que un **ELD** es un diodo schottky (figura3), el cual básicamente es un semiconductor-metal que opera a altos voltajes y baja corriente. En un **ELD**, los átomos de **tierras raras** tal como el **Erbio**, se despliegan uniformemente en todo el material base (**GaN** en este caso) usando haz epitaxial molecular. "Dentro de cada átomo de tierra rara, existen ciertas transiciones electrónicas, ciertos niveles de energía, los cuales si se excitan se desexcitaran emitiendo luz" dijo Andrew Steckl de la **Universidad de Cincinnati**.

A diferencia de los **LEDS**, estos niveles de energía excitados están en los orbitales interiores y para excitarlos se tiene que bombardear estos átomos de tierras raras con alto voltaje. Como el electrón o el hueco van a través del material bajo campos altos que toman energía, chocan con los átomos de tierras raras, y en el proceso excitan al electrón en el orbital interno.

Steckl, cita las ventajas de los **ELDS**, y dice " Los colores que emiten son muy monocromáticos. Puedes incorporar dos o más tierras raras en la misma capa y generar un color mezclado y los colores por si mismos son muy puros"

Los **ELDS** se podrían usar para pantallas planas, sustituyendo los **LCDS**, los cuales son lentos y limitados en su rango de temperatura, tienen un ángulo de visión limitado así como una vida útil limitada, y los cuales no pueden operar a las frecuencias de TV. Los **ELDS** serian una solución de estado sólido total para las pantallas planas, reemplazando el cristal liquido encapsulado entre dos placas de vidrio. Posiblemente también podrían usarse en comunicación de fibra óptica, iluminación, memoria óptica y como indicadores de instrumentos.

Los investigadores también están desarrollando **OLEDs**, principalmente para displays. Las ventajas de los **OLEDs** son:

- 1 son baratos y fáciles de fabricar.
- 2 se pueden depositar en casi cualquier sustrato.
- 3 se pueden hacer en muy grandes (hojas luminiscentes)

Estos leds se construyen de polímeros, los cuales están normalmente aislados. A principios de los 70 sin embargo, Hideki Shirakawa de la **Universidad de Tsukuba** descubrió que algunos polímeros comunes se podían hacer conducir. El polímero tiene que tener enlaces simples y dobles alternadamente, llamados enlaces dobles conjugados. Un ejemplo de estos es el poli acetileno **figura 4a** . Para conducir el polímero tiene que ser oxidado (remoción de electrones), lo que lo hace tipo P o reducido (adición de electrones), lo que lo hace tipo N **figura 4b**. Bajo un campo eléctrico, los huecos o electrones del orbital π de los enlaces conjugados brincan de uno doble a otro (electrones del orbital π no están tan fuertemente pegados como lo están los electrones de orbital σ de los enlaces dobles).

Un polaron o radical cation (entidad molecular cargada positivamente con un electrón no apareado) se produce y migra a lo largo de la cadena de la molécula polímero. Lo que es increíble es que este filme de poli acetileno dopado por oxidación de halógeno es hecho 109 veces más conductivo, dando una conductividad de 105 Siemens/Metro. En comparación, el teflón tiene una conductividad de 10^{-16} S/m, el cobre y la plata 108 S/m.

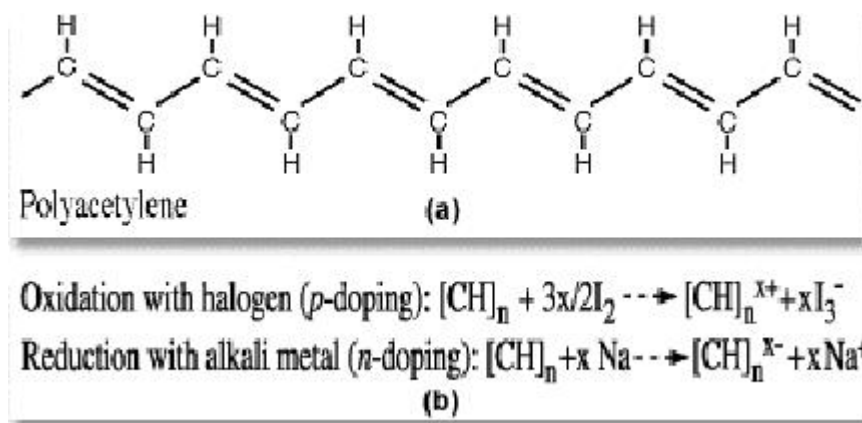


Figura 4.

En la **figura 4 a**. Los enlaces (alternados simples y dobles) conjugados del polímero poli acetileno. En la **figura 4 b**, las ecuaciones de oxidaciones (remoción de electrones) y reducción (adición de electrones) del poli acetileno. **[CH]_n** es el polímero y **x** es el numero entero que representa el numero total de cargas positivas o negativas.

Los **OLEDs** son también fáciles de depositar, dado que se puede usar el moldeo spin para hacer las capas. "Dependiendo de la velocidad con que se hace el spin y la viscosidad de la muestra de polímero con la que uno inicia, se tendrá la capacidad de controlar el grosor y la calidad de la película que se obtiene", dijo Ram Silvaraman, **Radiant Photonics, Austin, Texas**. El proceso toma cerca de tres horas en contraste con el crecimiento de un material inorgánico, el cual toma un día o aun más tiempo.

La unión PN se construye por un confinamiento de capas en sándwich, (poli fenileno vinileno), entre una capa de polímero rico en huecos tal como poli vinil carbazol y una capa de polímero rico en electrones tal como poli anileno (**figura 5**). La estructura de Silvaraman se construyo sobre un substrato de vidrio con oxido de indio estaño como la capa de contacto del fondo y un electrodo de oro en la parte superior. Los electrones y huecos se inyectan hacia la capa intermedia donde se recombinarán y emitirán luz.

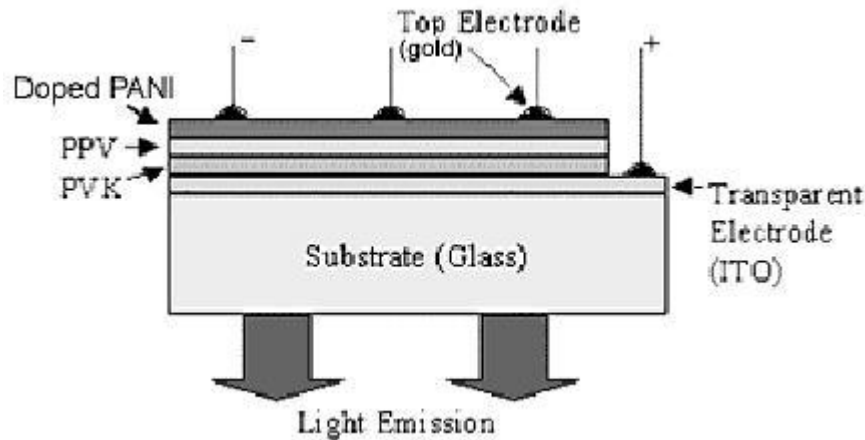


Figura 5.

La Figura 5. muestra un esquemático de la estructura de un LED orgánico PANI=poli anileno, PPV=poli fenileno vinilo, PVK=poli vinil carbazol. La región activa o capa de confinamiento, el PPV es emparedado entre una capa rica en hoyos, PVK, y una capa rica en electrones, PANI. El electrodo posterior ITO (óxido de estaño indio) es la capa inyectora de huecos. El PANI está dopado con ácido sulfónico para hacerlo rico en *electrones* y es la capa de transporte. El electrodo superior es usado como la capa de inyección de electrones. Imagen cortesía de Ram Sivaraman, Radiant Photonics.

La emisión pico para el poli vinil carbazol está en el azul. Otros investigadores han desarrollado OLEDs que emiten en el color rojo y en el verde, pero la mayoría de ellos involucran materiales inorgánicos como la capa de inyección de electrones.

William Gillin del Colegio Queen Mary, de la Universidad de Londres, está concentrado en el desarrollo de OLEDs que emitan infrarrojo basados en moléculas que contienen tierras raras, tales como los quelatos hidroxidoquinolinos lantánidos. Sus OLEDs podrán sustituir los diodos láser en la comunicación de fibras ópticas, porque según dice él, "pueden ser depositados directamente en un sustrato de silicio, el cual puede suministrar todo el procesamiento y electrónica de excitación. Se pueden formar fácilmente guía ondas de luz de $1.5 \mu\text{m}$ en el silicio e integrarlos con los OLEDs". "Una vez hechos los circuitos electrónicos de excitación, solo toma un par de evaporaciones de baja temperatura para hacer los OLEDs, de esta forma la integración es simple y barata.". "Para los leds convencionales, los cuales se crecen en sustratos de fosforo de indio o arsenuro de galio, estos deben de estar crecidos y en un dado y posteriormente conectados de manera individual a su electrónica de excitación. Así como el tubo de vacío dio paso al transistor, los leds algún día sustituirán al foco y las lámparas fluorescentes. Ya se están usando para los semáforos, focos de automóvil, e iluminación directa. Los OLEDs prometen revolucionar el mercado de los displays planos y ya se están usando en algunos celulares.

En la tecnología, lo que hoy soñamos, será una realidad mañana.

“PAPEL ELECTRONICO ” Diodos emisores de luz orgánicos.

By:Patrick A. Tollefsrud.

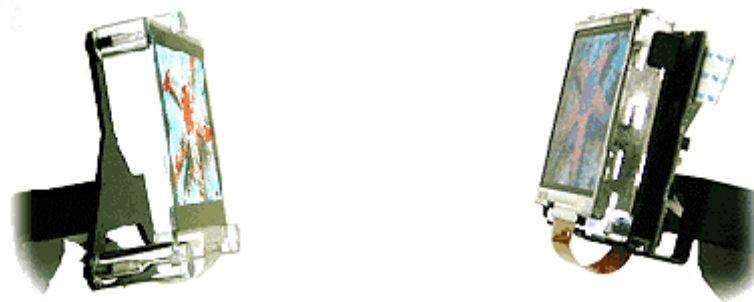
Traducción de: Alfonso Perez Garcia.

Material cortesía de:



Todo esta en la forma en que vemos las cosas:

Si alguna vez una tecnología ha rogado por ser desentrañada, esa es la de los displays de cristal liquido. “Inventada en 1963 y visionada como el reemplazo elegante y ligero de los brumosos tubos de rayos catódicos o como las pantallas de televisiones de montaje en la pared- un uso que no ha sido posible debido al escalamiento hacia superficies más grandes- los display de cristal liquido en vez de ello han llegado a ser el estándar para todo, desde relojes hasta computadoras portátiles.” Sin tomar en cuenta esto, sin embargo, aun quedan los gastos comerciales y de una producción alta, que nunca han podido ser bajados lo suficiente para hacer un éxito en el mercado de masas de estos displays, dejando esta tecnología vulnerable a nuevas innovaciones.



Con la revolución silenciosa de los enseres de imagen, la necesidad de dispositivos portables más avanzados que combinaran los atributos de una computadora, el **PDA** y los celulares, se esta incrementando y la industria de los displays planos esta en la búsqueda de una tecnología de despliegue que revolucionara la industria. “La necesidad de dispositivos de comunicación portables y manuales de peso ligero, bajo consumo de potencia y amplio ángulo de visión ha presionado a la industria del display a revisitar la tecnología actual de displays planos usada para aplicaciones móviles”. Alertándose, para lograr satisfacer las necesidades de aplicaciones tan demandantes como los e-books, enseres domésticos inteligentes conectados en red, tarjetas de administración de identidad, y dispositivos portátiles móviles centralizadores de imágenes, la industria de displays planos esta ahora buscando los nuevos displays conocidos como **OLEDs (Organic Light Emitting Diodes)** diodos emisores de luz orgánicos.

¿Que es un diodo emisor de luz orgánico (OLED)?

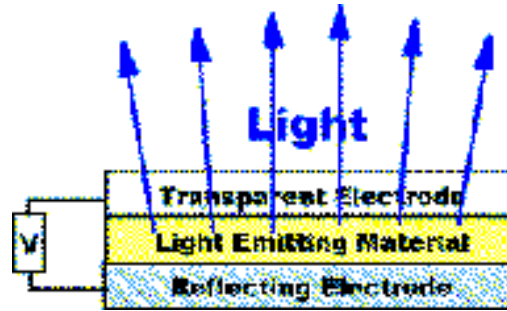


Figura 6.

La tecnología de diodos emisores de luz orgánicos, descubierta y patentada por Kodak/Sanyo, posibilita los displays de pantalla plana a todo color y movimiento completo con una brillantez y claridad que no es posible con otras tecnologías.

A diferencia de los **LCD** tradicionales, los **OLEDs** se iluminan por si mismo y no requieren iluminación posterior, difusores, polarizadores o algún otro accesorio como en los **LCDS**.

Esencialmente los **OLEDs** consisten de dos electrodos cargados emparedados sobre un material emisor de luz orgánico. Esto elimina la necesidad de voluminosas y ambientalmente indeseables lámparas de mercurio y nos arroja como consecuencia un display más versátil, compacto y delgado. Su bajo consumo de potencia produce una eficiencia máxima y ayuda a minimizar el calor y la interferencia eléctrica en dispositivos electrónicos. Armado con estas características, los displays OLED dan mas información de una forma mas comprometida mientras que son menos pesados y ocupan menos espacio.

Existen dos tipos de displays OLED: matriz **pasiva** y matriz **activa**.

Displays pasivos.

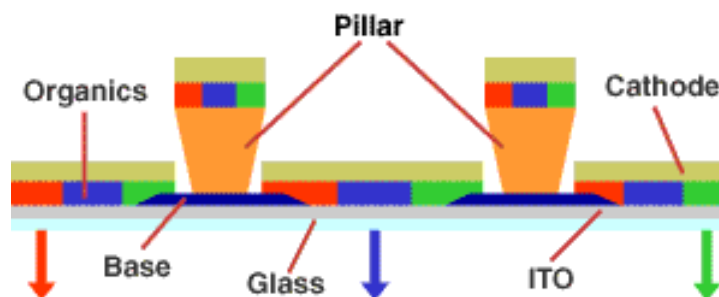


Figura 7.

El display **OLED** de matriz pasiva tiene una estructura simple y es apropiada para aplicaciones de bajo costo y poca información tales como displays alfanuméricos. Esta se forma con un arreglo de píxeles **OLED** conectados en intersecciones de conectores ánodo y cátodo.

Los materiales orgánicos y el cátodo de metal se depositan en una estructura de "costilla" (base y pilar), en la cual la estructura de costilla produce automáticamente un panel de display **OLED** con el aislamiento eléctrico deseado para las líneas de cátodo. Una ventaja principal de este método es que todos los pasos del patronaje son convencionales, de manera que todo el proceso de fabricación del panel se puede fácilmente adaptar a una área más grande de manufactura avanzada.

Para que una matriz pasiva de **OLED** trabaje, la corriente eléctrica se pasa a través de píxeles selectos, aplicándoles voltaje a los amplificadores de columnas y renglones correspondientes que están conectados a cada uno de los renglones y columnas. Un controlador externo proporciona la potencia de entrada necesaria, señales de datos de video y switches. La señal de datos generalmente proporcionada a las columnas y sincronizada al rastreo de las líneas de renglón. Cuando un renglón en particular está seleccionado, las líneas de columna y renglón de datos determinan cual píxel se encenderá. Una salida de video se despliega en el display rastreando todos los renglones de manera sucesiva en un periodo de tiempo, el cual típicamente es de **1/60** de segundo.

Displays activos.

En contraste con los displays **OLED** de matriz pasiva, los de matriz activa tienen integrado un plano de respaldo electrónico como su substrato y se presta por sí mismo a aplicaciones de una alta resolución y mucha información que incluyen video y gráficos. Este tipo de displays ha sido posible gracias al desarrollo de la tecnología de poli silicón, debido a que esta tiene una gran movilidad de portadores, proporciona **transistores de película delgada (TFT)** con capacidad de gran corriente y altas velocidades de conmutación.

En un display **OLED** de matriz activa, cada píxel individual puede ser direccionado independientemente a través de su TFT y capacitor asociado en el plano de respaldo electrónico. Esto es que cada elemento de píxel puede ser seleccionado para permanecer encendido durante todo el periodo de tiempo, o duración del video. Dado que un **OLED** es un dispositivo de emisión, el factor de apertura del display no es crítico, a diferencia de un **LCD** donde la luz debe de pasar a través de una apertura.

Por lo tanto no existen limitaciones intrínsecas al número de píxeles, resolución o tamaño de un display de matriz activa, dejando abiertas las posibilidades para su uso comercial a nuestra imaginación. Debido también a los **TFTS** en el diseño de la matriz activa, un píxel defectuoso solo produce un efecto de oscuridad, el cual se considera un defecto menos objetable que el defecto de un punto brillante, como los encontrados en los **LCDS**.

Como trabajan:

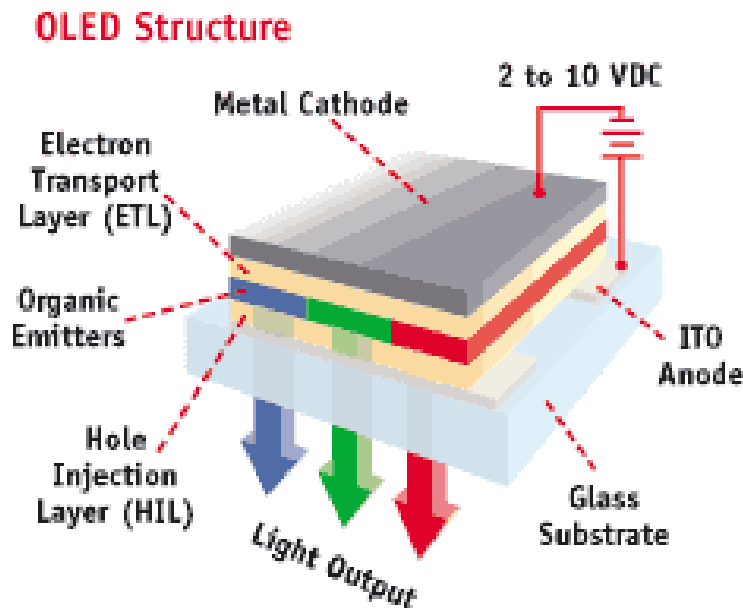


Figura 8.

La estructura básica de una celda de OLED consiste de una pila de capas orgánicas delgadas emparedadas entre un ánodo transparente y un cátodo metálico. Las capas orgánicas comprenden la capa de inyección de huecos, la de transporte de huecos, una capa emisiva y la de transporte de electrones.

Cuando se aplica un voltaje apropiado (típicamente de 2 a 10 volts) a la celda, las cargas negativas y positivas inyectadas se recombinan en la capa emisiva para producir la luz (electroluminiscencia). La estructura de las capas orgánicas y la selección del cátodo y ánodo están diseñadas para maximizar el proceso de precombinación en la capa emisiva, maximizando de esta manera la salida de luz del dispositivo **OLED**.

Ventajas:

Diseño robusto – Los **OLEDs** son lo suficientemente fuertes para usarse en dispositivos portables tales como: celulares, cámaras digitales de video, reproductores de **DVD**, equipo de audio automotriz y **PDAS**.

Ángulos de visión – Se pueden ver en ángulos de hasta 160 grados, las pantallas **OLED** proporcionan una imagen clara y distinguible aun en ambiente de luz brillante.

Alta resolución - Aplicaciones de alta información que incluye videos y graficos, los **OLED** de matriz activa proporcionan la solución. Cada píxel puede ser prendido o apagado de forma independiente para crear múltiples colores en un despliegue fluido y uniforme.

Papel electrónico - Los OLED son tan delgados como papel. Debido a la exclusión de cierto hardware que los LCD requieren normalmente, los OLED son tan delgados como una moneda.

Ventajas de producción - De un 20% a un 50% mas barato que el reproceso de los LCDS. Los plásticos lo hacen más duradero. En un futuro completamente posible, podrían producirse como periódico mas que como chips de computadora.

Capacidad de video – Tienen la posibilidad de manejar video ínter lazado, lo cual podría revolucionar el mercado de los PDAS y los celulares.

Contenido de hardware – Mas ligero y rápidos que los LCDS. Pueden ser producidos en plástico flexible, y tampoco necesitan de lámparas, polarizadores o difusores.

Uso de potencia – Toman menos voltaje para funcionar (de 2 a 10 volts).



OLED



LCD

Desventajas:

Obstáculos de ingeniería – Los **OLED** aun están en el desarrollo de la fase de producción. Aun cuando han sido introducidos comercialmente para dispositivos alfanuméricos como celulares y auto estéreos, la producción aun enfrenta muchos obstáculos para producirlos.

Color – La confiabilidad del **OLED** aun no esta a la par, después de un mes de uso la pantalla pierde uniformidad, los rojos y azules mueren primero dejando un display muy verde. 100,000 hora del rojo, 30,000 para el verde y 1000 para el azul, lo que es suficiente para un celular, pero no para un display de PC laptop o de escritorio.

Sobrepasando al LCD – El LCD ha sido predominantemente la forma preferida de display en las ultimas décadas, sentar un pilar en la multimillonaria industria, requerirá de un gran producto y un desarrollo inovativo continuo, además los fabricantes de LCDS probablemente no le darán carpetazo a los mismos, estos continuaran mejorando los displays y buscaran nuevas formas de reducir costos de producción.

El panorama futuro:

La tecnología del **OLED** enfrenta un futuro brillante en el mercado de displays, como parece ser en el siempre cambiante mercado, que parece ser una carrera global para el logro de nuevos éxitos. Eventualmente la tecnología podría ser usada para pantallas lo suficientemente grandes coma para una laptop o pc de escritorio. Dado que la producción esta más ligada a los procesos químicos que a la industria semiconductor, los materiales **OLED** podrían algún DIA ser aplicados al plástico o algún otro material para crear paneles de video de tamaño monumental, pantallas rodables para laptop y más aun displays que se usen en la cabeza.



El mercado del **OLED** parece crecer a un ritmo rapidísimo, la venta de **OLEDs** pasivos se elevó de 2 millones a 18 millones en poco tiempo (1 año), y la venta proyectadas para el 2005 se esperan alcancen los 717 millones, y los de matriz activa alrededor de la mitad de esta cifra.

Resumen.

El display de diodo emisor de luz orgánico aun enfrenta muchos obstáculos antes de llegar a ser popular y más importante aun, su confiabilidad debe subir para estar a la par de los estándares esperados por los consumidores. Mientras que la tecnología se presenta como un competidor importante en el campo de los displays sortear estos obstáculos probara ser una dura tarea, sin embargo, las ventajas que el **OLED** tiene sobre el **LCD** y el panorama futuro tienen a muchos con el ojo puesto en él sin número de posibilidades. Para los que sabemos y tenemos esperanza en ello los **OLED** podrían cambiar la forma en que vemos las cosas.

Una iniciación a la tecnología del OLED.

Por Webster E. Howard

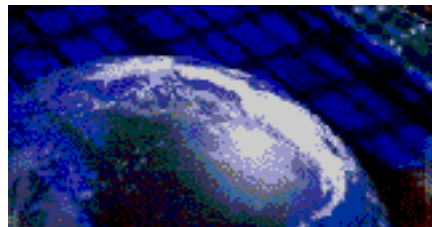
Vice-Presidente de Tecnología.

eMagin Corporation

Traducción de: Alfonso Perez Garcia.

Material cortesía de: eMagin Corporation

© Copyright 2001,. All rights reserved.



Diodos Emisores De Luz Orgánicos (OLED)

Los diodos emisores de luz, basados en semiconductores como el arsenuro de galio, fosfuro de galio y más recientemente, Nitruro de galio han estado por aquí desde fines de los cincuentas. La mayoría de estos se utilizan para lámparas indicadoras, aunque antes fueron utilizados en calculadoras, cristal liquido y fueron usados y grandes anuncios donde fueron valuados por su larga vida y gran brillantez. Tales **LEDS** cristalinos no son baratos y son muy difíciles de integrar en displays pequeños de alta resolución.

La operación de un **LED** esta basada en el hecho de que los semiconductores que pueden ser de dos tipos P y N, dependiendo de cómo fueron dopados, si con materiales donadores o aceptores. Un **LED** se forma cuando se juntan materiales tipo P y tipo N. Cuando se le aplica voltaje causa que los electrones fluyan a través de la estructura, fluyendo los electrones hacia el material tipo P y los huecos hacia el material tipo N. Una combinación electrón-hueco es inestable; hay mucha potencial de energía para ser liberado. Como resultado estos se combinan y liberan la energía en forma de luz, esta es una manera eficiente de convertir electricidad en luz.

Existen una amplia gama de compuestos orgánicos, llamados orgánicos conjugados o polímeros conjugados, los cuales tienen muchas de las características de los semiconductores. Estos tienen gaps de energía de una magnitud aproximada a la de los semiconductores, también son conductores pobres de la electricidad si no tienen dopado, y pueden ser dopados para conducirla, tanto con electrones (tipo N) o con huecos (tipo P). En principio estos materiales fueron usados como fotoconductores para reemplazar semiconductores inorgánicos tales como el selenio en las copadoras. Hace cerca de 15 años **Ching Tang y Steve Van Slyke** de **Kodak Eastman** descubrieron que, como en los semiconductores cristalinos, los materiales orgánicos tipo P y tipo N se podían combinar para hacer diodos emisores de luz, donde a través de pasar una corriente en una estructura de capas simple produce luz visible con alta eficiencia.

Mientras que los primeros diodos no tenían suficiente eficiencia o vida para ser comercialmente atractivos, el progreso en el mejoramiento de estos factores ha sido increíble, probablemente se debe a la variada gama de componentes orgánicos que se pueden sintetizar, aun dentro de la clase de materiales conjugados. En contraste con el caso de los materiales semiconductores cristalinos, el proceso de fabricación permite la posibilidad de hacer displays de muy alta resolución y también contrastando con el caso convencional el color fue también rápidamente logrado, en tanto que los **LEDS** azules tomaron casi 30 años para obtener uno razonablemente eficiente.

Un **OLED** típico de la variedad Kodak, esta formado para comenzar, con un electrodo transparente, el cual también pasa a ser un emisor eficiente de huecos, **oxido de indio estaño (ITO)**. El **ITO** esta cubierto con una delgada capa de cobre phtalocyalino, la cual pasiva el **ITO** y proporciona una gran estabilidad (véase la **figura 9**). Entonces el material tipo P, por ejemplo un **nafta fenileno benceno (NPB, naphthaphenylene benzidine)** se deposita seguido de un material tipo N, por ejemplo **aluminio hidroxiquinolino (Alq, alumynum hydroxyquinoline)**. Y por ultimo, se deposita un cátodo de aleación de plata magnesio. Todos los filmes o capas se pueden evaporar haciendo el proceso de fabricación muy simple. Los electrones y huecos se recombinan en la interfase de los materiales tipo N y tipo p y emiten en este caso una luz verde.

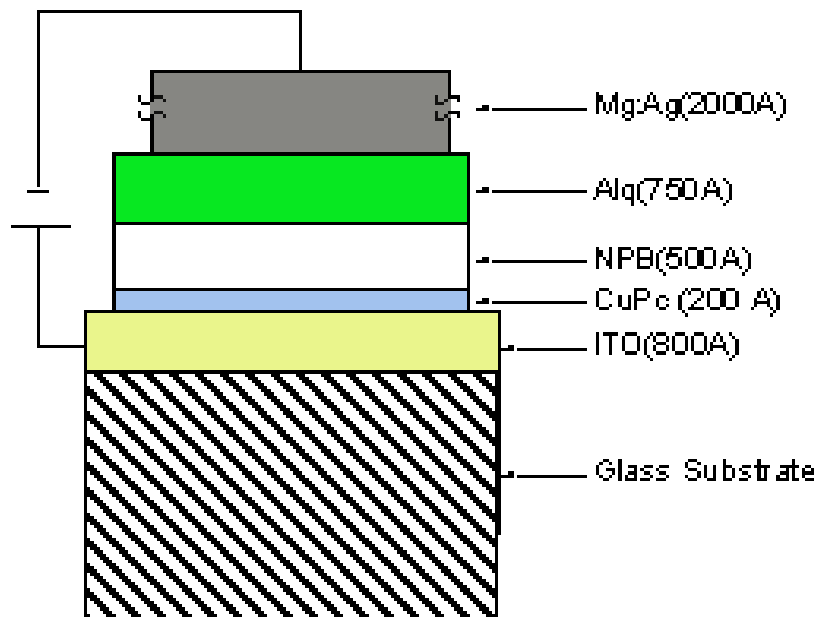


Figura 9.

Un voltaje de 5 a 10 volts es suficiente para excitar suficiente corriente y originar una emisión brillante, la cual es una virtud adicional de esta tecnología, dado que los circuitos de bajo voltaje son más fáciles de construir y menos caros.

Mas recientemente, **Burroughes** et al de la **Universidad de Cambridge** desarrollaron un tipo similar de diodo emisor de luz, usando un polímero, específicamente poli para fenileno vinileno (**PPV, polyparaphenylene vynilene**) como el emisor. Este dispositivo es llamado indistintamente **led polímero (PLED)** o **polímero emisor de luz (LEP)**. Los dispositivos de polímeros que emplean materiales basados en poli fluoreno, han logrado eficiencias al menos tan buenas como las de los **OLEDs** moleculares pero aun su vida útil es inferior.

La ventaja establecida de los dispositivos de polímero es la habilidad de encender las capas y en algunos casos de modelar los filmes con foto litografía. Los filmes moleculares por otro lado son típicamente solubles en agua y los solventes orgánicos comunes, no siendo factible modelarse así con técnicas fotolitográficas convencionales. Esto crea un verdadero reto para logra un display de matriz de alta resolución y displays con finas tiras de diferentes emisores para displays de colores.

Los displays de matriz con alto contenido de información, se pueden hacer de **OLED** de dos maneras. Arreglos de **matriz pasivos** se pueden formar modelando el electrodo inferior, por ejemplo la capa **ITO** sobre vidrio en tiras, luego una estructura de mascara de sombreada, se forma perpendicular a las tiras del electrodo usando fotolitografía. En este punto la pila orgánica, seguida del electrodo superior, se puede depositar sobre la totalidad del arreglo. La estructura de mascara sombreada asegura que el electrodo superior no será continuo sino más bien de tiras de manera semejante a las del electrodo inferior, la figura 10 muestra esquemáticamente como se construye dicha matriz.

De esta forma uno logra llegar a un display con electrodos para renglones y columnas sin tener que sujetar alas capas orgánicas a un proceso foto litográfico. Este método se utilizo por los pioneros de la industria en la fabricación de los primeros displays **OLED** comerciales.

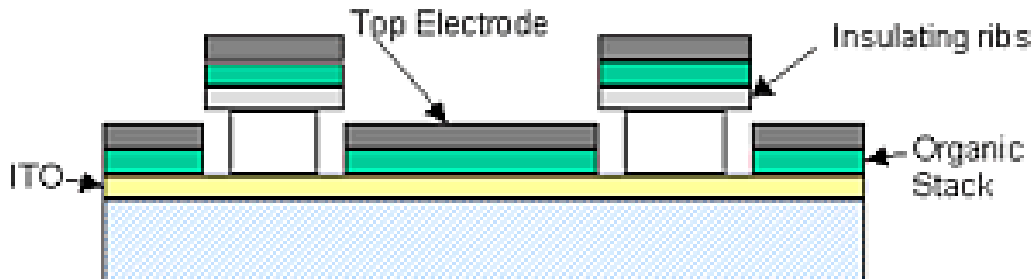


Figura 10.

Un segundo método para fabricar displays de alto contenido de información, es el de **matriz activa**, en donde los renglones y columnas se construyen en el sustrato, utilizando técnicas de semiconductor estándar, en este caso el sustrato terminado tiene un arreglo de electrodos discretos, cada uno correspondiendo a un punto de la matriz. La pila orgánica se puede depositar seguida de un electrodo transparente sobre el total del arreglo, sin que sea necesario un modelaje. Este ultimo método es eminentemente apto para hacer microdisplays, dado que se puede usar un pequeño chip de silicio como sustrato y se puede incorporar la circuiteria de excitación necesaria en el mismo chip junto con la estructura de la matriz. La **figura 11** muestra un esquemático, resultado de este tipo de estructura de display, note que en este caso el **OLED** debe emitir arriba; el electrodo superior, generalmente el cátodo, debe de ser transparente, a diferencia de la mayoría de los **OLED** que tienen transparente el electrodo inferior.

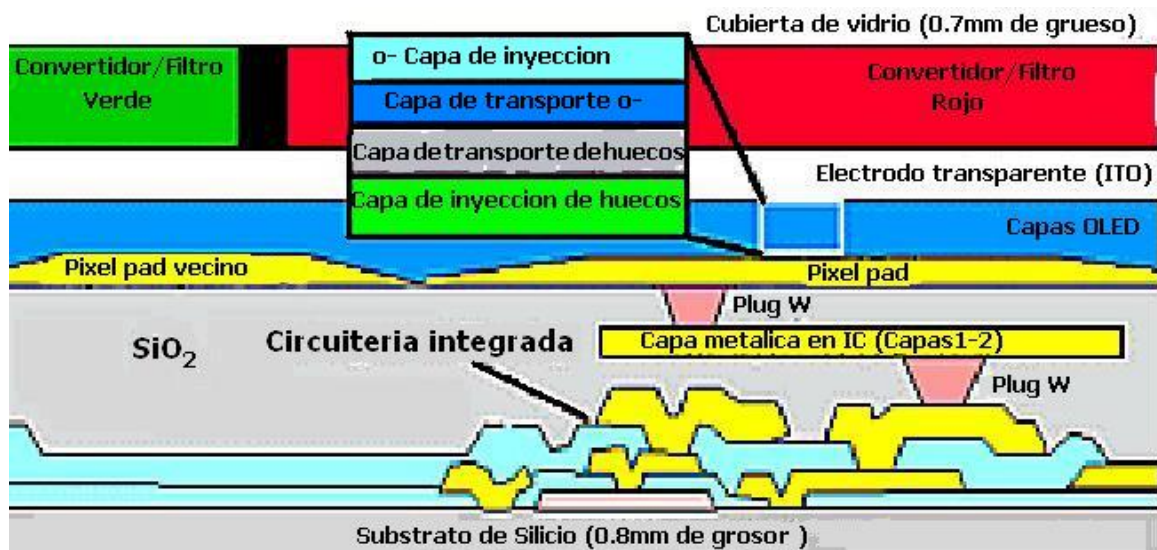


Figura 11.

Los **OLEDs** de matriz activa remarcan una diferencia fundamental entre los **LEDs** orgánicos e inorgánicos: Ninguno ha tenido éxito en la integración de un arreglo de densidad semejante de **LEDs** inorgánicos, aun los arreglos menos densos tienden a sufrir de acoplamiento óptico cruzado, o complejidad mecánica. Por ejemplo las pantallas de **LEDs** en grandes edificios están hechas de miles de dispositivos discretos.

Los display de colores se pueden hacer de varias maneras. El Alq3 se puede dopar con colorantes que corren la emisión de color (sin dopar da verde) y otros materiales similares se pueden usar para otros colores, de forma que tiras de diferentes emisores se pueden depositar a través de mascarar de sombreado para crear píxeles con subpíxeles rojos, verdes y azules. Este método se ha utilizado donde los píxeles son relativamente grandes y es impracticable para los microdisplays, donde los subpíxeles son de algunos micrones solamente.

Un segundo método es dopar al emisor con más de un colorante, de forma que emita luz blanca y se usan filtros de color pasivos, tales como los usados en LCDs para formar los subpíxeles rojo, azul y verde. Los filtros se pueden modelar en placas separadas usando foto litografía y sobreponiéndolo sobre el arreglo emisor de luz blanca. Esta es la forma más simple de hacer un display OLED de color, sin embargo se desperdicia luz en los filtros dado que en cada subpíxel solo pasa un tercio de la luz blanca a través del filtro.

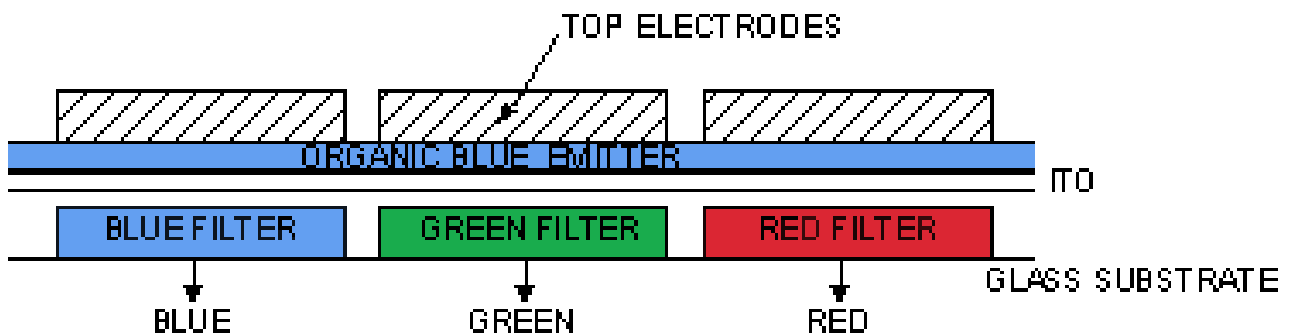


Figura 12.

Un mejor método para logra los colores es el uso de un medio fluorescente o de color cambiante en lugar de filtros, en este caso un emisor azul se usa y la luz azul es convertida en verde o roja por el medio cambiante de color (**CCM, color changing media**). Esto se dibuja en la figura 12. se desperdicia menos luz en este caso con relación al uso de filtros, dado que los materiales **CCM** tienen una eficiencia de conversión alta. Así como en los filtros los materiales **CCM** se pueden modelar por foto litografía y en algunos materiales tienen eficiencias de 50% al 80%. La pureza del color y la gama de colores puede ser excelentes.

En resumen,la tecnología OLED

In summary, OLED technology can be used to great benefit for both direct view and micro display applications. In both cases, OLEDS offer higher efficiency and lower weight than competing liquid crystal displays, since they do not require backlights or reflective light sources. These are important attributes for head-mounted and portable products.

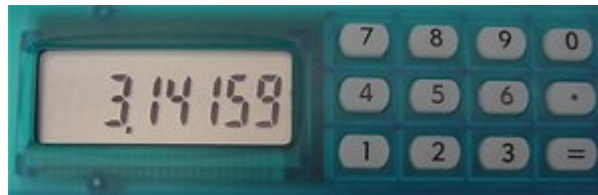
© Copyright 2001, eMagin Corporation. All rights reserved.

Como trabajan los LCD (2.9)

Por: Jeff Tyson

Traducción de Alfonso Pérez García

Probablemente cada día usas artículos que tienen un LCD (display de cristal líquido). Estos están a nuestro alrededor – en las computadoras laptop, relojes digitales, de pulsera, hornos de microondas, reproductores de CD y muchos otros dispositivos electrónicos. Los LCD son muy comunes porque ofrecen una serie de ventajas reales sobre otras tecnologías de despliegue. Son mucho más delgados y ligeros y consumen mucho menos energía que los CRT (tubos de rayos catódicos) por dar un ejemplo.



Un display LCD simple de una calculadora.

Pero, ¿porque estas cosas son llamadas cristales líquidos? El nombre “cristal líquido” suena como una contradicción. Nosotros pensamos en un cristal como un material sólido, como el cuarzo, tan duro como una roca y un líquido obviamente es diferente ¿Cómo podría un material combinar los dos? En este artículo encontraras como los cristales líquidos logran este gran truco, y entraremos al interior de la tecnología que hace posible los LCD. También aprenderás como las extrañas características de los cristales líquidos se han usado para crear una nueva clase de obturadores y como rejillas de estos pequeños obturadores abren y cierran y con ello forman patrones que representan números, palabras e imágenes.

Cristales líquidos.

En la escuela aprendimos que hay tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Los sólidos son así debido a la manera en que sus moléculas mantienen siempre su orientación y permanecen en su posición una respecto de otra. Las moléculas de un líquido por el contrario, estas pueden cambiar su orientación se pueden mover a cualquier parte en el líquido. Pero existen algunas sustancias raras que pueden existir en estados raros como si fueran líquidos en parte y sólidos en parte. Cuando están en ese estado, sus moléculas tienden a mantener su orientación como lo harían las moléculas de un sólido, pero también se mueven a posiciones diferentes como lo harían las moléculas en un líquido. Esto significa que los cristales líquidos ni son un sólido ni son un líquido. Es así como terminaron con ese aparentemente contradictorio nombre.

De esta forma es que los cristales líquidos actúan como sólidos y/o líquidos o algo por el estilo, aunque es un hecho que los cristales líquidos están mas cerca de ser líquidos que sólidos. Solo toma una cantidad justa de calor para cambiar una sustancia de sólido a cristal líquido y solo un poco mas para que este se vuelva un líquido real. Esto explica porque los LCD son tan sensibles a la **temperatura** y porque son usados para fabricar termómetros y anillos de humor, esto también explica porque la pantalla de las laptop se ve chistosa en días fríos o en días calientes como en la playa.

Cristales líquidos Fase Nematica.

Así como existe una variedad de sólidos y líquidos, también existe una variedad de cristales líquidos. Dependiendo de la temperatura y la naturaleza particular de una sustancia, los cristales líquidos pueden estar en una de varias diferentes fases (vea abajo, tipos de cristal líquido). En este artículo discutiremos los cristales líquidos en su **fase nematica**, los que hacen posible los LCD.

Una característica de los cristales líquidos es que se ven afectados por la **corriente eléctrica**. En particular una clase de cristal líquido nematico llamado nematico torcido (**twisted nematics, TN**) el cual de forma natural esta torcido. Aplicando una corriente eléctrica a estos cristales líquidos se logra destorcerlos en varios grados, dependiendo del voltaje de la corriente. Los LCD usan estos cristales líquidos porque reaccionan de forma predecible ala corriente eléctrica de forma tal que podemos controlar el paso de la luz a través de él.

Tipos de cristal líquido.

La mayoría de las moléculas de cristal líquido son del tipo rodillo se categorizar ampliamente como termotropicas o lyotropicas.



Imagen coretesia de: Dr. Oleg Lavrentovich, Liquid Crystal Institute

Los cristales líquidos termotropicos reaccionarán a cambios en la temperatura y en algunos casos a la presión. La reacción de los cristales líquidos lyotropicos, los cuales se usan en la fabricación de jabones y detergentes, dependen del tipo de solvente con el que se mezclen. Los cristales líquidos termotropicos son o bien **isotropicos** o **nematicos**. La diferencia clave esta en que las moléculas en una sustancia de cristal líquido isotropita están arregladas de forma aleatoria mientras que las nematicas tienen un orden definido o patron.

La orientación de las moléculas en su fase nematica esta basada en un **director**. El director puede ser cualquier cosa desde un campo magnetico a una superficie que tiene ranuras microscópicas en ella. En la fase nematica los cristales líquidos pueden ademas ser clasificados por la forma en que sus moléculas se orientan a si mismas, respecto una de otra.

Smectic, es el arreglo mas común, crea capas de moléculas. Hay muchas variaciones de la fase **smectica** tal como la **smectica C**, en el cual las moléculas en cada layer se inclina en un angulo respecto de las capas previas. Otra fase común es la **colesterica**, también conocida como nematica charal. En esta fase, las moléculas están torcidas ligeramente de una capa a otra, lo que resulta en la formación de una espiral.

Los **cristales líquidos ferroelectricos (FLC)** usan sustancias que tienen moléculas **chirales** en un arreglo del tipo **smectico C** debido a la naturaleza espiral de estas, permite la conmutación en tiempos de respuesta de microsegundos, lo que hace a los **FLC** particularmente perfectos para aplicaciones de display avanzados. Los **cristales líquidos ferroelectricos de superficie estabilizada (SSFLC)** aplican presión controlada a través del uso de una placa de vidrio, suprimiendo la espiral de las moléculas para hacer la conmutación aun mas rápida

Creando un LCD.

Aun hay mas para construir un LCD que simplemente crear una hoja de cristales líquidos. Es la combinación de cuatro factores lo que hace posible los LCD:

La luz puede ser polarizada. (consulte "**How Sunglases Work**" para mas información sobre la polarización.)

Los cristales líquidos pueden transmitir y cambiar la luz polarizada.

La estructura de los cristales líquidos se puede cambiar con corriente eléctrica.

Existen sustancias transparentes que pueden conducir la electricidad.

Un LCD es un dispositivo que usa estos cuatro factores de una manera sorprendente.

Para crear un LCD tú tomas **dos piezas de vidrio polarizado**. Un polímero especial que crea ranuras microscópicas en la superficie es ahulado sobre el lado del vidrio que no tiene el filme polarizante sobre él. Las ranuras deben de estar en la misma dirección que el filme polarizante, entonces se agrega una **capa de cristal líquido nemático** a uno de los filtros. Las ranuras provocaran que la primera capa de moléculas se alineen con la orientación del filtro. Se agrega la segunda pieza de vidrio con el **filme polarizante en Angulo recto** a la primera pieza. Cada capa sucesiva de moléculas TN se torcerá gradualmente hasta la capa más alta que esta a 90° con respecto del fondo, encajando con los filtros polarizantes.

Conforme la luz golpea al primer filtro, esta se polariza. Las moléculas en cada capa guían entonces la luz que reciben a la siguiente capa, conforme la luz pasa a través de las capas del cristal líquido, las moléculas cambian también el plano de vibración de la luz para que encaje con su propio ángulo. Cuando la luz alcanza el final de las capas del cristal líquido, esta vibra en el mismo angulo que la capa final de moléculas. Si la capa final esta emparejada con el segundo filtro polarizante entonces la luz pasa a través de él.

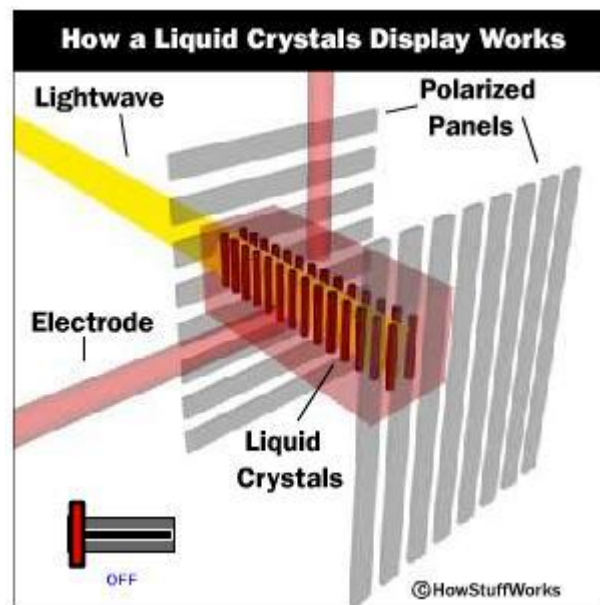
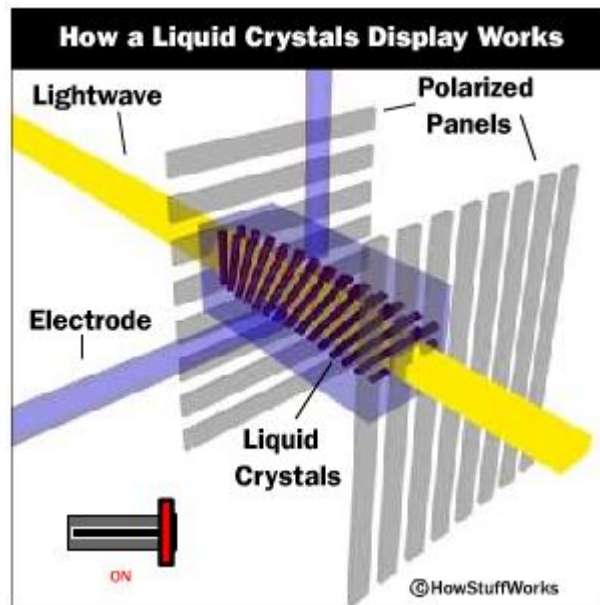
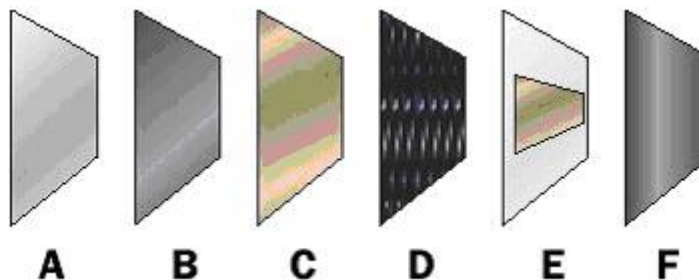


Figura xxx

Si aplicamos una “**carga eléctrica**” a las moléculas de cristal líquido, estas se destorceran, cuando estas se alinean cambian el ángulo de la luz que pasa a través de ellas, de manera que que no encajan en el ángulo del filtro polarizante frontal. Consecuentemente no puede pasar luz a través de esa área del LCD, lo cual hace esta región más oscura que el área circundante.

Construyendo tu propio LCD.

Construir un LCD es más fácil de lo que piensas. Comienzas con un sándwich de vidrio y cristal líquido como se describe a continuación y se agregan dos electrodos transparentes. Por ejemplo imagínate que quieres crear el LCD más simple posible, con tan solo un electrodo rectangular en él. Las capas lucirían así:



El **LCD** necesario para hacer este muy básico trabajo, tiene un espejo (**A**), el cual lo hace reflectivo. Luego agregamos una pieza de vidrio (**B**) con un filtro polarizante en la parte posterior, y un electrodo plano común (**C**) hecho de óxido de indio estaño en la parte superior. Un electrodo plano común cubre el área entera del **LCD**, y encima de esta, está la capa de sustancia de cristal líquido (**D**), enseguida viene otra pieza de vidrio (**E**), con un electrodo en forma de rectángulo en la parte posterior y un filtro polarizante (**F**) en la parte superior, este último en un ángulo ortogonal al primero.

El electrodo se conecta a una fuente de poder como una batería, cuando no hay corriente, la luz entrante por la parte frontal del LCD simplemente golpeará el espejo y rebotará de regreso, pero cuando la batería suministra corriente a los electrodos, el cristal líquido entre el electrodo común y el electrodo con forma de rectángulo se destuerce y bloquea la luz en esa región no permitiéndole el paso, lo que hace que el LCD muestre el rectángulo como un área negra.

Backlit vs. Reflectivo.

Hay que notar que nuestro simple LCD requiere de una **fuentes externa de luz**, los cristales líquidos no emiten luz propia. La mayoría de los LCD baratos a menudo son **reflectivos**, lo que significa que para desplegar cualquier cosa estos deben de reflejar la luz de una fuente externa. Observa un reloj **LCD**, los números aparecen donde pequeños electrodos cargan los cristales líquidos, y hacen que se destorzan, de forma que la luz no se transmite por los filmes polarizantes.

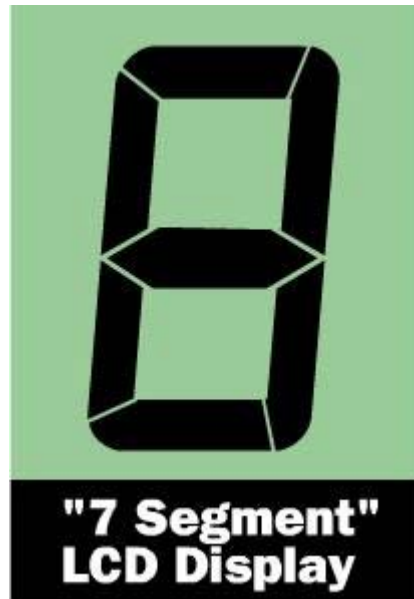


figura xxx

La mayoría de los displays de computadoras se construyen con tubos fluorescentes por debajo y algunas veces detrás del LCD, un panel difusor blanco detrás del LCD dirige y distribuye la luz uniformemente para asegurar un despliegue uniforme. De esta manera se pierde más de la mitad de la luz a través de los filtros, capas del LCD y electrodos.

En nuestro ejemplo tenemos un electrodo común y un electrodo simple en forma de barra que controla que cristales líquidos responden a una carga eléctrica, si tomas la capa que contiene el electrodo simple y agregas unos más, podrás empezar la construcción de un LCD más sofisticado.

Sistemas LCD.

Los LCDs basados en "plano común" son buenos para displays simples que solo necesitan mostrar la misma información una y otra vez, relojes y timers de microondas caen en esta categoría. Sin embargo la barra hexagonal ilustrada previamente es la forma más común de arreglo de un electrodo en tales dispositivos, pero casi cualquier forma es posible, solo tienes que mirar los juegos de video portátiles; juegos de cartas, extraterrestres, pescados y máquinas de ranura son solo algunas formas de electrodos que tú podrás ver.

Existen dos clases de LCD usados en computadoras, los de **matriz pasiva** y los de **matriz activa**, en las siguientes dos secciones aprenderás sobre estos tipos.

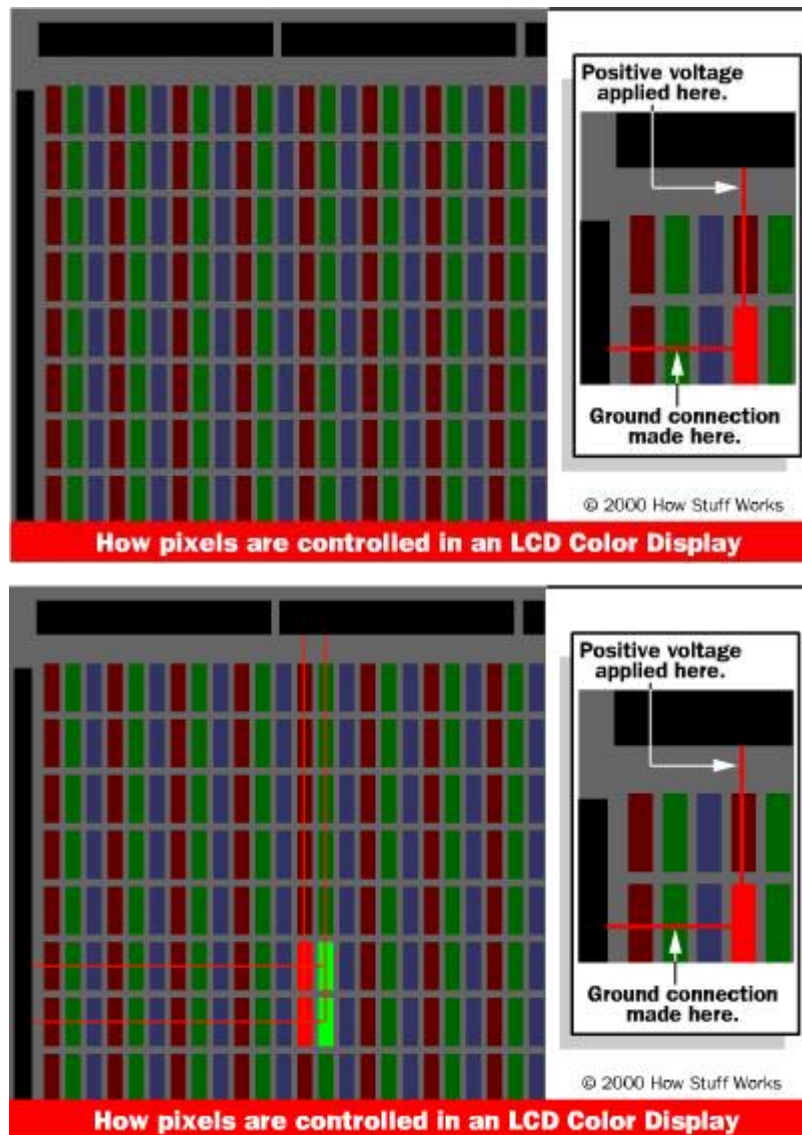
Historia del LCD

En la actualidad los LCD están por dondequiera que miremos, pero estos nos se notan por la noche. Tomo un largo periodo de tiempo desde que se descubrieron los cristales líquidos hasta que se logró disfrutar de las múltiples aplicaciones que tienen ahora. Los cristales líquidos se descubrieron por primera vez en **1888**, por el botánico austriaco **Friedrich Reinitzer, Reinitzer** observó que cuando fundía una curiosa sustancia colesterina (**colesterol benzoato**), primero se convertía en un líquido nuboso y posteriormente se aclaraba conforme la temperatura se elevaba; después de enfriarlo el líquido se tornaba azul antes de cristalizarse finalmente, pasaron 80 años antes de que **RCA** hiciera su primer LCD experimental en **1968**, desde entonces los fabricantes de

LCD continuamente han desarrollado ingeniosas variaciones y mejoras de la tecnología, llevando a los LCD a increíbles niveles de complejidad técnica, y existen señales de que así continuarán para darnos nuevos desarrollos de LCD en el futuro.

Matriz Pasiva.

Los LCD de **matriz pasiva** utilizan una rejilla simple para proporcionar la carga a un píxel en particular sobre el display, crear la rejilla es un verdadero proceso! Se comienza con dos capas llamadas **substratos**, un substrato está dado para las columnas en tanto que el otro es para los renglones hechos de un material conductor y transparente, generalmente este es Óxido de Estaño Indio. Las columnas y renglones se conectan a **circuitos integrados** que controlan cuando se manda una carga a una columna y renglón en particular, el material de cristal líquido está entre estos dos substratos de vidrio y se agrega una película polarizante por la parte exterior de cada substrato, para prender un píxel el circuito integrado de control envía una carga a la **intersección** de columna y renglón correcta de forma que el cristal líquido se destuerce justo en ese píxel.



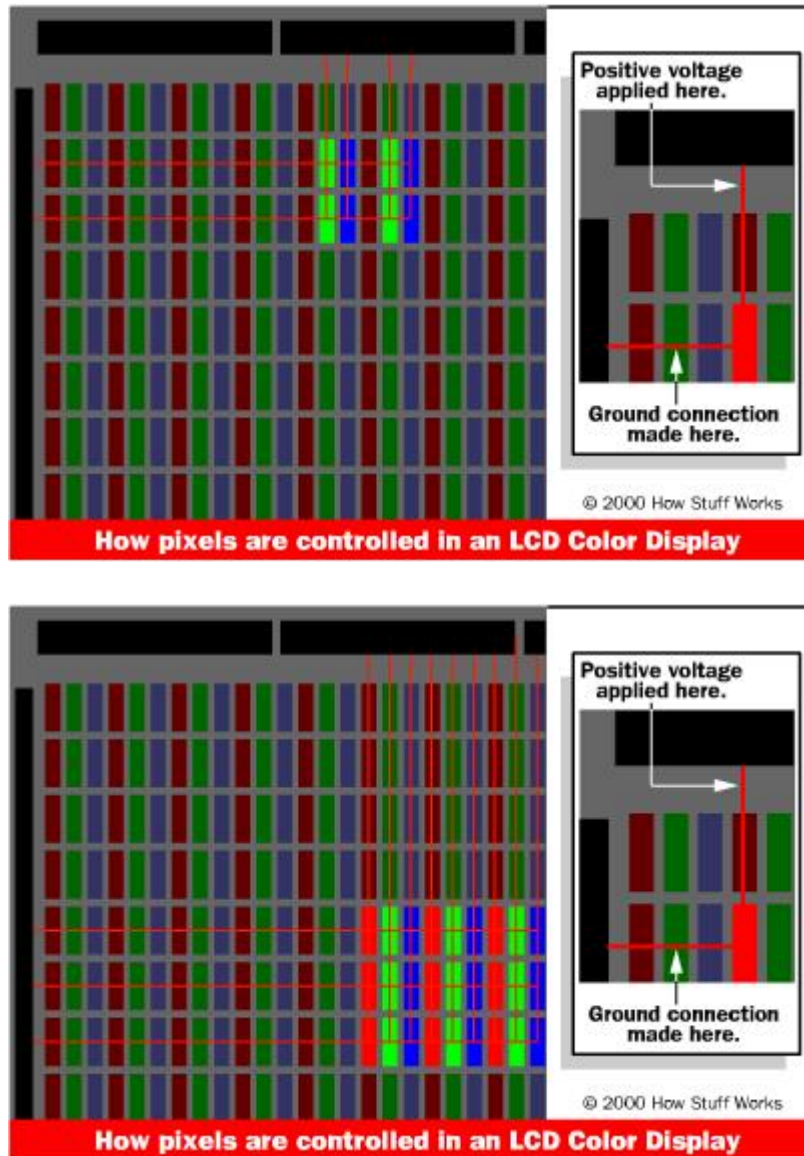


figura conteniendo matriz activa de color rgb

La simplicidad del sistema de matriz pasiva es hermosa! Pero tiene inconvenientes significativos, su **tiempo de respuesta** es notablemente lento y un **control de voltaje impreciso**. El tiempo de respuesta, se refiere a la habilidad del LCD de refrescar la imagen desplegada, la mejor manera de observar la lenta respuesta de un LCD de matriz pasiva es mover el raton de forma rapida de un lado a otro, notarás una serie de fantasmas que siguen al apuntador. El control impreciso de voltaje posterior afecta la habilidad de la matriz pasiva de influenciar solo un píxel a la vez, cuando el voltaje se aplica para destorcer un píxel, los pixeles alrededor se destuercen parcialmente, lo cual hace que la imagen aparezca difusa y sin contraste.

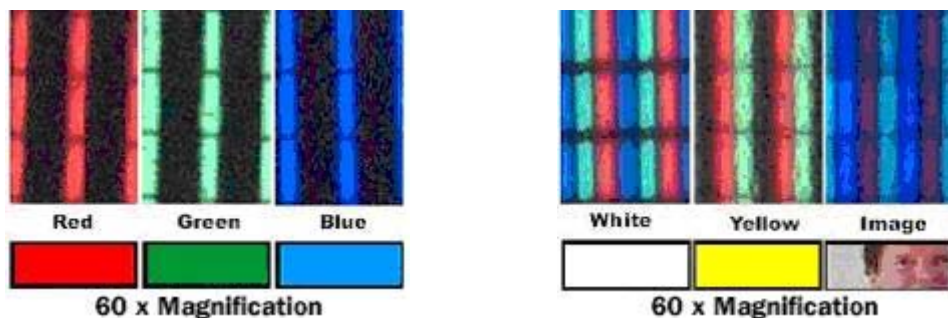
Matriz Activa.

Los LCD de **matriz activa** dependen de los **transistores de película delgada (TFT)**. Básicamente los **TFTS** son pequeños transistores de conmutación y capacitores, y están arreglados en una matriz sobre un sustrato de vidrio, para direccionar un píxel se enciende el renglón y se envía la carga correspondiente a la columna. Dado que el resto de los renglones que intersectan las columnas están apagados, solo el capacitor en el píxel designado recibe la carga, el capacitor es capaz de sostener la carga hasta el siguiente ciclo de recarga, y, si se controla cuidadosamente la cantidad de voltaje que se administra al cristal, podemos destorcerlo lo suficiente para que pase algo de luz. Cuando se hace esto de manera exacta y en pequeños incrementos el LCD puede crear una **escala de grises**, la mayoría de los displays actualmente ofrecen 256 niveles de brillantez por píxel.

Color

Un LCD que puede mostrar colores debe tener **tres subpíxeles** con filtros de color **rojo, verde y azul** para crear cada color, a través de un control y ajuste del voltaje aplicado, la intensidad de cada subpíxel puede variar en un rango de **256 tonos**, combinando los subpíxeles se puede producir una paleta de colores de **16.8 millones de colores** (256 rojos X 256 verde X 256 azules) como se muestra abajo.

Estos displays de color se llevan una cantidad enorme de transistors, por ejemplo una computadora laptop que soporta **resoluciones** de 1024 X 768; si multiplicamos 1024 columnas por 768 renglones por tres subpíxeles obtenemos 2,359,296 transistores grabados sobre el sustrato!. Si hay un problema con alguno de estos transistores, esto crea un píxel defectuoso en el display, la mayoría de los displays de matriz activa tiene algunos píxeles defectuosos desparramados por la pantalla.



Avances en LCD.

La tecnología de LCD esta en continua evolucion, los LCD actuales emplean varias formas de cristal liquido, incluyendo nemáticos super torcidos (**STN**), nemáticos torcidos de doble rastreo (**DSTN**), cristales líquidos ferroelectricos (**FLC**) y cristales líquidos ferroelectricos de superficie estabilizada (**SSFLC**).

El tamaño del display esta limitado por la cantidad de problemas en el control de calidad que enfrentan los fabricantes, es simple para incrementar el tamaño del display los fabricantes deben de agregar mas píxeles y transistores, conforme sucede esto también se incrementa la probabilidad de que se incluyan transistores defectuosos en el display. Los fabricantes de display grandes a menudo tiene un 40 % de paneles rechazados que salen de la linea de ensamble, el nivel de rechazo afecta directamente el precio de estos dado que la venta de los displays buenos

debe cubrir los gastos de ambos (buenos y defectuosos), solamente los avances en la fabricación puede conducir a mejores precios en los diaplays grandes. Para mayor información consulte la ligas que se listan a continuación.

REFERENCIAS

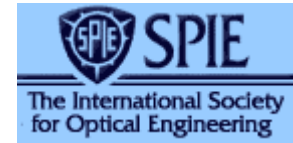
REF00 <http://spie.org/>.

REF01 http://www.spie.org/web/oer/oer_home.html.

REF02 <http://www.spie.org/web/oer/december/dec00/nobel.html>.

REF03 © Copyright 2001, eMagin Corporation. All rights reserved.

REF04 <http://www.emagincorp.com/default.asp>.



<http://spie.org/>

© 2000 SPIE - The International Society for Optical Engineering



eMagin Corporation

OTRAS REFERENCIAS

Optrex - character and graphic TFT/STN LCD modules	http://electronics.howstuffworks.com/hsw.php?s=584
Liquid Crystal Institute	http://electronics.howstuffworks.com/framed.htm?parent=lcd.htm&url=http://www.lci.kent.edu/
ALCOM Education Project	http://electronics.howstuffworks.com/framed.htm?parent=lcd.htm&url=http://olbers.kent.edu/alcomed/dhtml1.html
Flat Panel Display Project	http://electronics.howstuffworks.com/framed.htm?parent=lcd.htm&url=http://www.atip.org/fpd/
Ferroelectric Liquid Crystal Devices	http://electronics.howstuffworks.com/framed.htm?parent=lcd.htm&url=http://www.lci.kent.edu/boslab/projects/flc/
Movie Gallery: Organic Liquid Crystals	http://electronics.howstuffworks.com/framed.htm?parent=lcd.htm&url=http://146.201.224.61/movies/crystals/index.html

AUTORES Y MAGAZINES

Frederick Su is a freelance writer based in Bellingham, WA. Web: www.bythewrite.com.

Bibliografía:

Numero	Autor	Titulo	Editorial
	Burroughes, J.H.	"Organic Light Emitting Diodes"	Cambridge Display Technologies. http://www.msc.cornell.edu/~george/oled.htm , June, 1999.
	Cropper, A.D.	"Display Technology, Electronic Imaging Products"	Kodak Company. http://www.nd.edu/~ee/seminars/OLED.html , October, 2000.
	Johnstone, Bob.	"A Bright Future for Displays"	Technology Magazine, (p.80-84) April, 2001, NY.
	LitPetri, Joe.	"A Bright Future for OLED?"	MacWEEK.com. http://macweek.zdnet.com/2000/11/26/1130oled.html , November, 2000.

About Jeff Tyson

Jeff Tyson is a Microsoft-certified systems engineer with a degree in business administration from Southeastern Community College, where he was president of the local chapter of Phi Beta Lambda, the national honor society. In 1987, he won the Phi Beta Lambda state collegiate competition in computer technology and went on to take eighth place nationally. Jeff served as director of Education Future Now at the prestigious North Carolina School of Science and Mathematics (NCSSM), and as a system administrator for the U.S. Department of Defense, where he worked on a national initiative to develop "paperless recruiting."

OPTOACOPLADORES (UNIDAD 3)

Contenido del programa.

- 2.1** Construcción.
- 2.2** Clasificación.
- 2.3** Características.
- 2.4** Aplicaciones.

OPTO ACOPLADORES

Un opto acoplador también llamado opto aislador, es un componente electrónico que transfiere una señal eléctrica o voltaje de un circuito a otro, en tanto que mantiene el aislamiento eléctrico entre ambos. ¿Como es posible esto? Por el acoplamiento óptico, un opto acoplador es un dispositivo que por medio de la luz liga las señales eléctricas de ambos circuitos. Se conoce como **opto aislador** porque este es uno de sus **propósitos fundamentales**, una característica que lo diferencia de otros sistemas de acoplamiento óptico es que tanto el **emisor de luz** como el **detector de luz comparten un mismo paquete** (empaquetado común).

Típicamente consiste de un led infrarrojo, el cual esta alineado con un detector de luz semiconductor. Este detector puede ser un Foto diodo, Foto transistor, Foto darlington, foto SCR, etcétera.

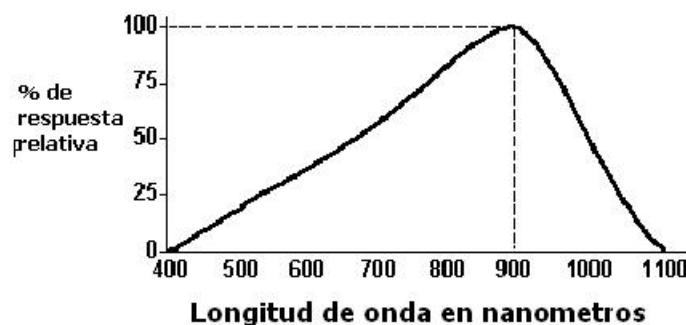
FUNCIONES

Algunos de los objetivos o funciones del opto acoplador son:

- Aislar** un circuito eléctrico de otro, sobre todo cuando tienen diferentes niveles de voltaje.
- Prevenir** el acoplamiento de **ruido eléctrico** o transitorios de voltaje.

Respuesta espectral del silicio.

Dado que el Silicio tiene una respuesta a la luz (respuesta espectral) cuyo pico esta en el infrarrojo (entre 800 y 950 nanómetros), los dispositivos de Silicio son preferidos como los foto detectores en la conjunción del "opto acoplador" con un LED infrarrojo como emisor (**figura 1**). El acoplamiento del LED infrarrojo al chip de Silicio provee la máxima transferencia de la señal eléctrica deseada. Los diferentes tipos de opto acopladores tienen características específicas que determinan su compatibilidad para cada aplicación única. El tipo más simple de opto acoplador es con una sección de salida de Foto diodo. A menudo la sección de salida del opto acoplador se conecta a un amplificador (o serie de amplificadores) para cambiar el nivel de voltaje de entrada en un nivel apropiado de salida mas grande.



Curva espectral de Respuesta del Silicio.
Figura 1

CONSTRUCCIÓN (3.1)

La sección de entrada de un opto acoplador es un LED infrarrojo, está separado del diodo de salida por una delgada y transparente capa de mylar embebida en silicio transparente (un derivado del silicio). El ensamble está sellado en un paquete marcado para designar al pin # 1. el paquete mas comúnmente utilizado para los opto acopladores es el DIP (**D**ual **I**n line **P**ackage).

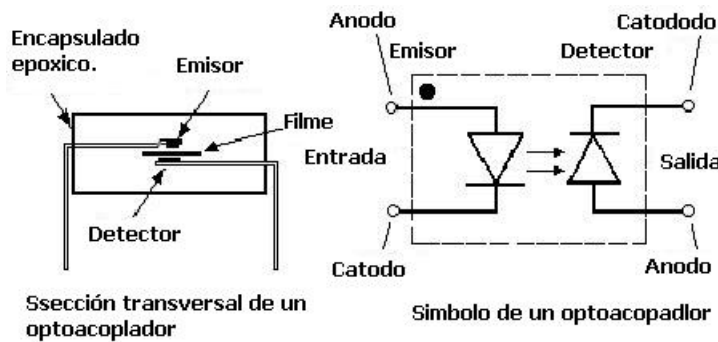


Figura 2 seccion transversal y símbolo de un optoacoplador.

PRINCIPIO DE OPERACIÓN (3.2)

Cuando se aplica un voltaje de polarización directo en las terminales de entrada del led (positivo al ánodo) se establece una corriente de entrada, I_{IN} , limitada por una resistencia en serie R_s . La corriente produce una emisión de luz infrarroja alrededor de los 900 nanómetros, la cual incide sobre el foto diodo.

SALIDA FOTO DIODO.

Con la luz incidiendo sobre el foto diodo en la figura 3, sus características fotovoltaicas crearán una foto corriente I_L o I_{out} , la cual fluirá en el diodo, con una resistencia de carga R_L conectada a las terminales del acoplador, la foto corriente desarrollará un voltaje V_L a través de la carga $V_L = I_{out} \times R_L$.

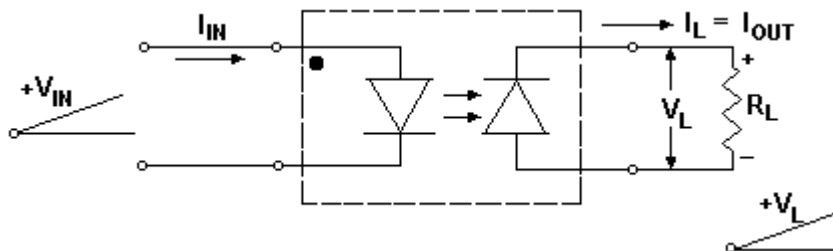


Figura 3 opto acoplador con foto diodo de salida.

Conforme la señal de entrada, V_{in} varía la intensidad de la luz infrarroja. La corriente de salida I_{out} , también cambiará causando que el voltaje de salida V_L cambie de la misma manera. Como la corriente de salida se incrementa, el voltaje de salida también y viceversa. Un pequeño cambio de la corriente de entrada producirá un cambio proporcional en la corriente de salida. Esta característica del opto acoplador servirá para acoplar señales de bajo voltaje análogas o de DC, prácticamente sin distorsión o muy poca.

En el circuito de la figura 3, ambas señales se acoplan y logra un aislamiento, sin embargo la relación de **transferencia de corriente (CTR)** del foto diodo de salida del opto acoplador es extremadamente baja, de alrededor del 10% al 15%. El término de "**relación de transferencia de corriente**" (**CTR**) define la **relación** de corriente de salida **I_{out}** , a la corriente de entrada **I_{in}** .

$$CTR = \frac{I_{OUT}}{I_{IN}}$$

El voltaje de salida V_L , puede ser acoplado a la entrada de un amplificador para incrementar su amplitud a un nivel apropiado.

La **sección de entrada** de la mayoría de los opto acopladores es un **led infrarrojo**, sin embargo la **sección de salida** puede ser diferente dependiendo de la aplicación requerida. El principio básico de operación es el mismo sin importar la **sección de salida** particular que se seleccione.

SALIDA FOTO TRANSISTOR.

Dado que el **CTR** de un opto acoplador con una salida de foto diodo es muy bajo (10 al 15 %) un método que se prefiere es reemplazar el foto diodo con un foto transistor bipolar (**figura 4**). El transistor bipolar con su inherente ganancia de corriente, **B**, proveerá una considerable aumento en el **CTR** (alrededor de **50 al 100%**) dependiendo de la beta del foto transistor.

La terminal de base del transistor se puede invertir en polaridad para reducir la sensibilidad, o polarizar directamente para incrementar la misma o simplemente dejarla flotada.

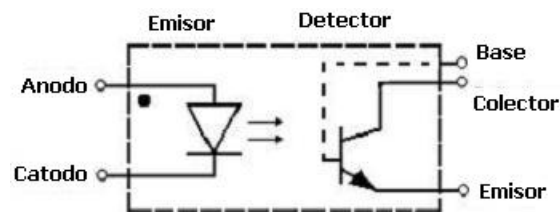
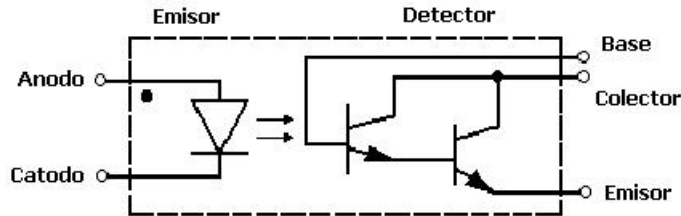


Figura 4 Opto acoplador con foto transistor de salida.

SALIDA FOTO DARLINGTON.

Si aun es necesario un CTR mas alto, el transistor bipolar puede ser reemplazado por un transistor Darlington que sirva como detector en la sección de salida.



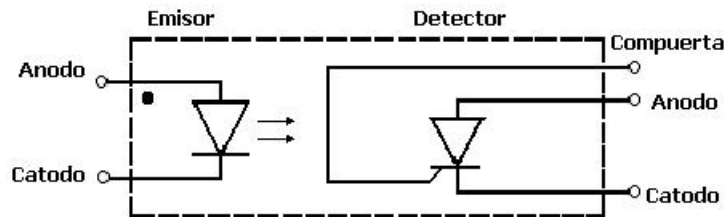
Opto acoplador con salida Foto Darlington
Figura 5

En los circuitos de la figuras 4 y 5 la corriente de salida I_c , del foto transistor simple o del foto Darlington desarrollarán un voltaje V_L a través de la resistencia de carga R_L . Este voltaje es el producto de la corriente de salida I_c y la resistencia de carga. R_L

El opto acoplador puede ser operado o bien como un amplificador lineal o bien como un switch digital, dependiendo del voltaje de polarización aplicado a la base del transistor.

SALIDA FOTO SCR.

Si la salida de un optoacoplador es un foto SCR, la función de este es conmutar la parte positiva de un voltaje de AC a través de la carga, operando bajo los mismos principios que un SCR ordinario.



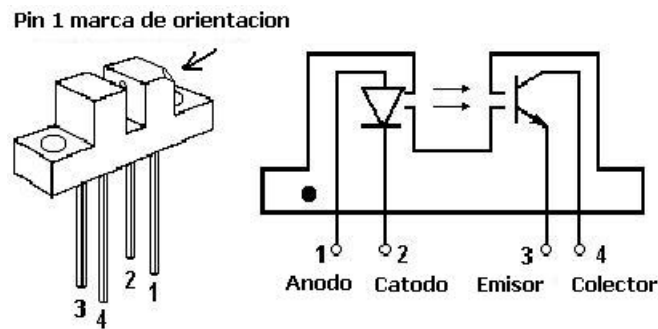
Optoacoplador con salida foto SCR
Figura 13.6

La corriente de la compuerta del SCR se logra a través de una acción fotovoltaica producida por una luz infrarroja incidiendo sobre la compuerta del SCR mientras que se mantiene el aislamiento de los circuitos de entrada y salida del optoacoplador.

Se puede utilizar un voltaje de DC en la entrada causando que la salida se amarre en encendido cuando el SCR se excite, este tipo de circuitos se aplica en sistemas de alarma, de seguridad e incendios. Para apagar el sistema después de que se encendió un simple interruptor de un polo un tiro (SPST) normalmente cerrado en serie con la fuente de alimentación es suficiente.

OPTO ACOPLADOR DE SLOTT.

El optoacoplador de slot esta disponible con foto transistor o foto darlington, con el paquete del dispositivo estructurado para proporcionar un elemento adicional de control. El paquete normalmente tiene una ranura de aire entre las dos secciones que mide alrededor de 1/8 de pulgada de ancho, una seccion tiene un LED infrarrojo y la otra tiene un fotodetector (figura 13.7). Existen optoacopladores de slot con ranuras mas anchas.



Opto acoplador de slot paquete y esquemático
Figura 13.7

APLICACIONES.

El haz de luz infrarroja que liga las dos secciones de un optoacoplador se puede dividir por medio de la inserción de una barrera mecánica de material delgado en la ranura de forma que bloqué la luz IR, este dispositivo se presta para muchas aplicaciones de control por si mismo.

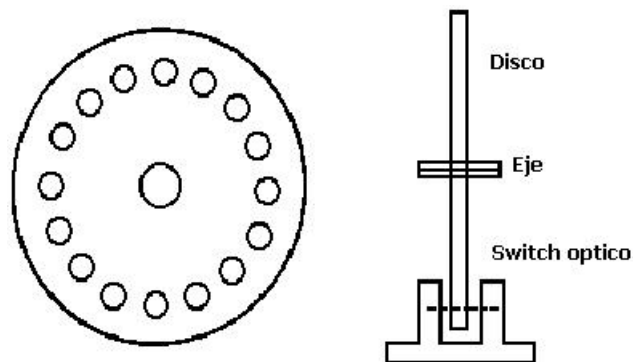


Figura 13.8 Aplicacion de un optoacoplador de Slot

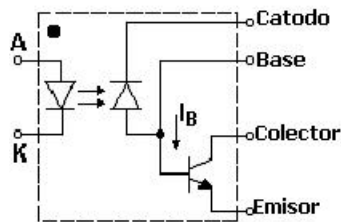
Cuando un disco de metal o plástico delgado con perforaciones o cortes en su orilla se rota dentro de la ranura del optoacoplador, la luz IR se puede detectar donde existe un hoyo o un corte, como resultado la corriente fluye en la salida del optoacoplador. Cuando la luz IR está bloqueada por el disco (no hay hoyo o corte), no existe corriente en la salida, (figura 13.8).

Según se interrumpa el haz de luz se generan pulsos en la salida del optoacoplador y la velocidad de rotación del disco se puede medir, por tanto podríamos controlar la velocidad de un motor. Si el disco es rotado por el flujo de un líquido se podría determinar el flujo de este. Con un sistema de

conteo apropiado y calibrado se podría determinar por ejemplo el número exacto de galones de gasolina que se están bombeando en una estación.

Otras aplicaciones de este dispositivo podrían ser un lector de tarjetas perforadas, contador de partes, un sensor de final de cinta en una impresora o grabadora de cinta o en mecanismos de cerradura.

Adicionalmente a los tipos ya discutidos anteriormente los optoacopladores se pueden fabricar en muchas versiones en su sección de salida, un tipo consiste de un LED emitiendo luz a un circuito con fotodiodo/transistor que permite el acoplamiento directo a un circuito lógico digital (figura 13.9a), otro circuito que permite a un fotodiodo acoplarse directamente a un circuito lógico el cual sirve como sección de salida de este (figura 13.9b).



Variaciones de la sección de salida del optoacoplador

Figura 13.9a

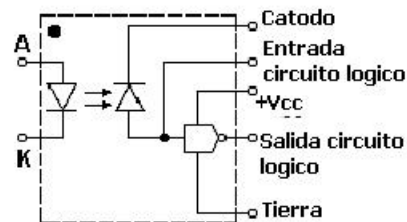


Figura 13.9b

Los optoacopladores están disponibles como componentes simples, duales o cuádruples (dos dispositivos o cuatro en el mismo paquete).

Especificaciones (3.3)

Descripcion del Producto

La informacion del tipo de optoacoplador, configuración del circuito, linealidad, respuesta de frecuencia, velocidad de conmutación, voltaje de aislamiento y aplicaciones tipicas se listan en las **hojas de datos** del fabricante.

Diagrama del paquete.

El paquete y sus especificaciones aparecen en la hoja de datos e incluye informacion sobre las dimensiones del paquete, detalles de montaje, espaciamiento de terminals y designacion y material de las terminales.

Valores maximos absolutos.

A temperatura ambiente estandar de 25 °C a menos que se especifique otra cosa.

VOLTAJE DE AISLAMIENTO

El voltaje maximo diferencial que el dispositivo puede soportar entre las secciones de entrada y salida, este depende del material que se utiliza para el aislamiento – aire vidrio o plastico, los valores tipicos de aislamiento varian de 500 a 6000 volts.

Consideraciones de Temperatura

Temperatura de operacion y almacenaje.

Paquetes palsticos varian de -55°C a +100°C.

Los dispositivos hermeticamente sellados van de -55°C to +125°C.

Temperature de soldado de terminals.

El valor tipico es de 230 °Cdurabnte 7 segundos con la punta de soldadura separada al menos ¼ de pulgada de la interseccion de la terminal y el paquete.

Valores de la seccion de entrada.

Estas especificaciones son identicas a aquellas definidas para un diodo emisor y que se listan usualmente en la seccion de "**Valores Maximos Absolutos**" e incluyen:

Especificación.	Nomenclatura.
Voltaje de pico inverso (o reversa)	(PIV) o (PRV).
Corriente de DC en inversa	(I_R)
Corriente continua de DC en directa	(I_{Fcont})
Corriente pico en directa	(I_{Fpeak})
Dispiacion de potencia en DC	(P_D)

Valores de la seccion de salida.

Estas especificaciones son identicas a aquellas que se definen en la seccion de "**Valores Maximos Absolutos**" según corresponda al dispositivo como sigue:

Fotodiodo.

Especificación.	Nomenclatura.
Voltaje inverso	(V_R)
Dispacion de potencia en DC	(P_D)

Foto transistor y Foto darlington

Especificación.	Nomenclatura.
Voltaje de collector a emisor	(V_{CEmax})
Voltaje de colectro a base	(V_{CBmax})
Voltaje de emisor a base	(V_{EBmax})
Disipacion de potencia en	DC (P_D)

Foto SCR

Especificación.	Nomenclatura.
Voltaje de pico inverso repetitivo (reverse)	(PRV) o (PIV)
Voltaje inverso no repetitivo	($PRV_{TRANSIENT}$)
Voltaje pico positivo de anodo	(PFV)
Corriente pico de transitorio de un ciclo	(I_{SURGE})
Corriente promedio en directa	(I_F)
Voltaje de pico de compuerta	(V_{GM})
Corriente de pico positiva de compuerta	(I_{GM})
Capacidad de potencia total.	(P_T)

Características eléctricas de la entrada.

Estas especificaciones son identicas a aquellas definidas para un LED en la seccion de "Caracteristicas electricas" e incluyen:

Especificación.	Nomenclatura.
Voltaje en directa	(V_F)
Corriente de fuga inversa	(I_R)

Características eléctricas de la salida.

Estas especificaciones son identicas a aquellas definidas para un Fotodido en la seccion de "Caracteristicas electricas" e incluyen:

Foto Diodo

Especificación.	Nomenclatura.
Voltaje directo	V_F
Corriente de fuga o reversa	I_L or I_R
Tiempo de encendido y tiempo de apagado	(T_{ON}) (T_{OFF})

Foto Transistor y Foto Darlington

Especificación.	Nomenclatura.
Corriente de corte de colector	(I_{CES})
Ganancia de corriente	Beta (β) or (h_{FE})
Resistencia de saturacion de colector	($R_{CE(sat)}$)
Tiempo de encendido y tiempo de apagado	(T_{ON}) (T_{OFF})
Frecuencia de corte	(F_{CO})

Foto SCR

Especificación.	Nomenclatura.
Voltaje de encendido de compuerta	(V_{GT})
Corriente de encendido de compuerta	(I_{GT})
Voltaje en directa FORWARD	(V_F)
Corriente inversa	(I_R)
Tiempo de encendido y tiempo de apagado	(T_{ON}) (T_{OFF})

La salida de un optoacoplador se puede conectar a cualquier otro circuito con su ensamble entero en un simple paquete y tratado como un componente simple, este método por sí mismo se presta para la creación de muchos productos que incluyen los optoacopladores como parte de sus características. Sin importar el diseño del circuito, el principio de operación se mantiene, el cual es el acoplamiento óptico entre los circuitos en tanto que se logra el aislamiento eléctrico.

REFERENCIAS.**OTRAS REFERENCIAS.****AUTORES Y MAGAZINES.**

CELDAS SOLARES (UNIDAD 4)

- 4.1 Construcción.
- 4.2 Efecto fotovoltaico.
- 4.3 Baterías y acumuladores.

Como trabajan las celdas solares.

Por: **Scott Aldous**

Traducción de: **Ing. Alfonso Pérez García.**

Probablemente has visto calculadoras que tienen celdas solares — calculadoras que nunca necesitan baterías, y en algunos casos ni siquiera tienen botón de apagado, siempre que tengas suficiente luz, estas parecen trabajar por siempre. Puede ser que hayas visto grandes paneles solares- en las señales de emergencia de las carreteras o casetas telefónicas, sobre boyas y aun en las luces de iluminación de los estacionamientos. Aun cuando estos paneles que son más grandes, no son tan comunes como las calculadoras alimentadas con celdas solares, estos están ahí, y no son difíciles de encontrar si sabes donde buscar.

Existen arreglos solares en los satélites, donde se usan para alimentar los sistemas eléctricos.

Probablemente has escuchado sobre la “**Revolución Solar**”, desde los pasados 20 años — La idea de que un día utilizaremos energía eléctrica gratuita del sol, lo cual es una promesa seductora.

En un brillante y soleado día, el sol proporciona aproximadamente 1000 watts de energía por metro cuadrado a la superficie del planeta, si pudiéramos recolectar toda esa energía podríamos fácilmente alimentar nuestros hogares y oficinas gratuitamente.

En esta edición de “**Houstuffworks**” examinaremos las celdas solares para aprender como convierten la energía del sol directamente en electricidad. En el proceso, aprenderás por que nos estamos acercando a la utilización de la energía solar sobre una base diaria, y por que aún tenemos que desarrollar mucho para que el proceso llegue a ser efectivo en costo.

Convirtiendo Fotones a Electrones

Las celdas solares que has visto en las calculadoras y las de los satélites son **celdas fotovoltaicas** o **módulos** (módulos son simplemente un grupo de celdas eléctricamente conectadas y empacadas en una estructura).

Fotovoltaico, como lo implica la palabra (foto = luz, voltaico = electricidad) convierten la luz del sol directamente en electricidad. Alguna vez fue usada casi exclusivamente en el espacio, las celdas fotovoltaicas son usadas mas y más de formas menos exóticas. Podrían inclusive alimentar tu casa. ¿Cómo trabajan estos dispositivos?.

Las celdas fotovoltaicas (**PV**) están hechas de materiales especiales llamados **semiconductores** tales como el silicio, el cual actualmente es el más comúnmente utilizado.

Básicamente, cuando la luz golpea la celda, una cierta porción de esta es absorbida dentro del material semiconductor. Esto significa que la energía de la luz absorbida se transfiere al semiconductor. Esta energía golpea electrones libres permitiéndoles que fluyan libremente. Las celdas PV también tienen uno o más campos eléctricos que actúan para que los electrones liberados por la absorción de luz fluyan en una cierta dirección. El flujo de electrones es una corriente y si ponemos contactos metálicos en la parte superior y posterior de la celda PV, podremos extraer esa corriente para poder usarla. Por ejemplo, la corriente puede alimentar una calculadora, esta corriente, junto con el voltaje de la celda (el cual es el resultado de sus campos eléctricos), definen la potencia (o wattaje) que la celda solar puede producir.

Este es el proceso básico, pero existe realmente mucho mas sobre esto. Demos un vistazo mas profundo con un ejemplo de una celda PV: La celda simple de cristal de silicio.

El silicio en las celdas solares

El silicio tiene algunas propiedades químicas especiales, especialmente en su forma cristalina. Un átomo de silicio tiene **14 electrones**, arreglados en **3 diferentes orbitales**. Los primeros dos orbitales, aquellos que están mas cerca del centro, están completamente llenos. El orbital más externo, sin embargo, esta solamente a la mitad, teniendo solamente 4 electrones.

Un átomo de silicio siempre buscara la manera de completar su ultimo orbital (el cual debería tener 8 electrones). Para hacer esto, compartirá electrones con 4 átomos de silicio vecinos. Es la manera en que los átomos se sostienen juntos con sus vecinos, excepto que en este caso, cada átomo tiene 4 manos unidas a sus 4 vecinos. Esto es lo que forma la **estructura cristalina**, y esta estructura se torna importante para el tipo de celdas PV.

Hemos descrito hasta ahora el silicio cristalino. El silicio puro es un pobre conductor de la electricidad dado que ninguno de sus electrones esta libre para moverse, como los electrones en los buenos conductores tales como el cobre. En vez de ello, los electrones están amarrados en su estructura cristalina. El silicio en una celda solar se modifica ligeramente de manera que pueda trabajar como una celda solar.

Nuestra celda tiene silicio con **impurezas**- otros átomos mezclados con los átomos de silicio, cambiando un poco la forma en que trabajan las cosas.

Generalmente pensamos en las impurezas como algo indeseable, pero en nuestro caso, nuestra celda no trabajaría sin ellas.

Estas impurezas actualmente se introducen a propósito. Considera el silicio con un átomo de fósforo por aquí y otro por allá, quizás uno por cada millón de átomos de silicio. El fósforo tiene 5 electrones en su última capa y no cuatro. Aun así embona con su vecino de silicio, pero en un sentido el fósforo tiene un electrón que no empata con ningún otro. No forma parte de un enlace, pero existe un protón positivo en el núcleo que lo sostiene en su lugar.

Cuando se agrega energía al silicio puro, por ejemplo en la forma de calor, esto puede causar que unos pocos electrones rompan su enlace y se liberen de sus átomos. Se deja entonces un hueco atrás en cada caso, luego estos electrones vagan aleatoriamente alrededor de la estructura cristalina en busca de algún hueco para llenarlo. Estos electrones son llamados **portadores libres**, y pueden llevar corriente eléctrica.

Existen solo unos pocos de ellos en el silicio puro, sin embargo no son muy útiles. Nuestro silicio impuro mezclado con átomos de fósforo es una historia diferente. Es fácil observar que en este toma mucho menos energía dislocar un electrón "extra" del fósforo dado que este no esta ligado en un enlace con algún vecino. Como resultado muchos de estos electrones se liberan y tenemos mucho mas portadores libres que en el silicio puro. El proceso de agregar impurezas a propósito se llama **dopado**, y cuando se dopa con fósforo el silicio resultante se denomina **tipo N** (**N** por negativo) dado que prevalecen los electrones libres. El silicio dopado tipo N es mucho mejor conductor que el silicio puro.

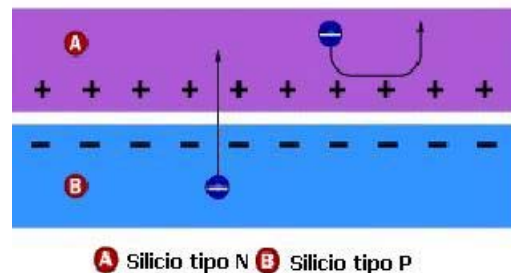
En la actualidad solo parte de nuestra celda es **tipo N**. La otra parte esta dopada con Boro, el cual solo tiene tres electrones libres en su ultima capa en vez de cuatro, para convertirse en silicio **tipo P**. En vez de tener electrones libres el silicio **tipo P** (**P** por positivo) tiene huecos libres. Los huecos en realidad son solo la ausencia de electrones, de esta manera ellos portan la carga opuesta (positiva) a la del electrón, y se mueven de manera similar a como lo hacen los electrones.

¿Así que donde nos pone todo esto? La parte interesante comienza cuando se junta el silicio tipo N y el silicio tipo P. Recuerda que cada celda PV tiene al menos un **campo eléctrico**. Sin un campo eléctrico la celda no trabajaría, y este campo se forma cuando el silicio tipo N y tipo P están en contacto. Súbitamente los electrones libres en el lado N, los cuales han estado buscando huecos por todas partes, ahora ven todos esos huecos libres en el lado P, y entonces fluyen locamente a llenarlos.

Hasta este momento nuestro silicio había estado eléctricamente neutral, nuestros electrones extras balanceados por los protones extras en el fósforo, nuestros electrones faltantes (huecos) balanceados por los protones faltantes en el Boro.

Sin embargo cuando los electrones y huecos se mezclan en la **unión** entre los tipos N y P, esta neutralidad se ve rota. ¿Será que todos los electrones libres llenan los huecos libres? No, si así fuera, entonces el arreglo completo no sería muy útil. Justo en la unión, sin embargo se mezclan y forman una barrera, haciendo más difícil y difícil para los electrones del lado N cruzar hacia el lado P.

Eventualmente se alcanza un equilibrio y tenemos un campo eléctrico separando los dos lados.



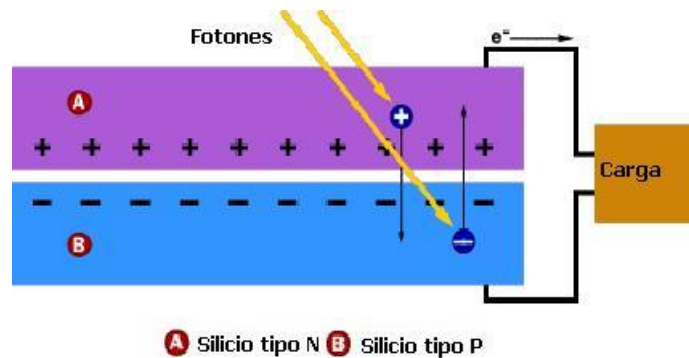
El efecto de un campo eléctrico en una celda.

Este campo eléctrico actúa como un **diodo**, permitiendo (y a veces empujando) a los electrones fluir del lado P al lado N, pero no de la otra manera. Es como una montaña-los electrones pueden ir fácilmente cuesta abajo (hacia el lado N) pero no pueden cuesta arriba (hacia el lado P). Así que tenemos un campo eléctrico actuando como diodo en el cual los electrones solo se pueden mover en una sola dirección. Ahora veamos que pasa cuando la luz golpea esta celda.

Cuando la luz golpea la celda. (4.2)

Cuando la luz, en la forma de **fotones**. Golpea nuestra celda solar, su energía libera pares de electrón-hueco.

Cada fotón con suficiente energía normalmente liberará un electrón y por lo tanto un hueco libre también. Si esto pasa muy cerca del campo eléctrico, o si un electrón libre y un hueco libre vagan cerca por su región de influencia, el campo enviara al electrón al lado N y un hueco al lado P. Esto causa una ruptura de la neutralidad eléctrica, y si proporcionamos una senda externa, los electrones fluirán a través de ella a su lado original (el lado P) para juntarse con los huecos que el campo eléctrico envió allá, haciendo un trabajo para nosotros en el trayecto. El flujo de electrones proporciona la corriente, y el campo eléctrico de la celda causa un **voltaje**. Con ambos voltaje y corriente tenemos **potencia**, la cual es el producto de las dos.



Operación de una celda PV.

¿Cuanta energía de la luz del sol absorbe nuestra celda PV? Desafortunadamente, lo máximo que nuestra celda puede absorber es un **25 %** y muy probablemente está en **15% o menos**. ¿Porque tan poco?.

Perdida de energía.

¿Por qué nuestra celda solar absorbe tan solo el **15%** de la luz solar? La luz visible es solamente una parte del **espectro electromagnético**. La radiación electromagnética **no** es **monocromática**-esta hecha de un rango de diferentes longitudes de onda, y por lo tanto diferentes niveles de energía. (véase "**Como trabaja la relatividad especial**", para una buena referencia del espectro electromagnético)

La luz puede ser **dividida** en diferentes **longitudes de onda** y podemos verlas en la forma de un arco iris. Dado que la luz que golpea nuestra celda que tiene fotones de una amplia gama de energías, nos damos cuenta que **algunas** de ellas **no tienen la energía suficiente** para formar un par **electrón-hueco**. Estas simplemente pasan a través de la celda como si esta fuera transparente. Aun cuando otros electrones tienen mucha energía, solamente cierta cantidad de esta, medida en **electrón-volt (eV)** y definida por el material de nuestra celda (alrededor de **1.1 eV** para el **silicio cristalino**), se requiere para dislocar un electrón. Llamamos a esto la **banda de energía del material**. Si un **fotón** tiene **mas energía de la necesaria**, entonces la **energía extra** se **pierde** (a menos que un fotón tenga el doble de la energía requerida, y pueda crear mas de un par electrón-hueco, aunque este efecto no es muy significativo). **Estos dos efectos** solos cuentan para la **perdida del 70 %** de la energía de radiación incidente en nuestra celda.

¿Porque no podemos escoger un material con una banda de energía tan baja, de forma que usemos mas fotones? Desafortunadamente, nuestra **banda** también determina la fuerza (**voltaje**) de nuestro campo eléctrico y si es demasiado bajo entonces, lo que hacemos en corriente extra (por la absorción de mas fotones), lo perdemos al tener un voltaje más pequeño. Recuerda que la **potencia** es el producto del **voltaje por la corriente**. La **banda de energía optima**, balanceando estos dos efectos es alrededor de **1.4 eV** para una celda hecha de un material simple.

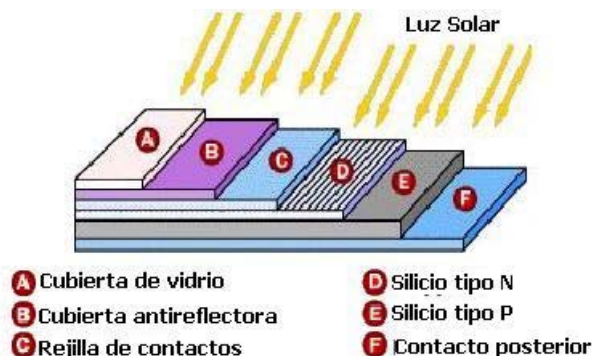
También tenemos otras perdidas, nuestros electrones tienen que fluir de un lado de la celda al otro a través de un circuito externo. Podemos cubrir el fondo con un metal, permitiendo una buena conducción, pero si cubrimos completamente la parte superior entonces los fotones no pueden

pasar a través del conductor opaco y perdemos toda la corriente (en algunas celdas, se utilizan conductores transparentes en la parte superior de la celda pero no en toda). Si ponemos los contactos solo en los costados de la celda, entonces los electrones tienen que viajar una distancia extremadamente grande (para un electrón) para logra llegar a los contactos. Recuerda, el silicio es un semiconductor-no es tan bueno como un metal para conducir la electricidad. Su resistencia interna (llamada **resistencia serie**) es muy alta y una resistencia alta significa una pérdida alta. Para minimizar estas pérdidas nuestra celda se cubre de un **contacto metálico** en forma de rejilla que acorta la distancia que los electrones tienen que viajar mientras que cubren solo un porcentaje pequeño de la superficie de la celda. Aun así algunos fotones son bloqueados por la rejilla, la cual no puede ser demasiado pequeña o su propia resistencia sería muy alta.

Terminando la celda. (4.1)

Hay algunos otros pasos más antes de que podamos usar realmente nuestra celda. El silicio es un material muy brillante, lo que significa que es muy reflectivo. Los fotones que se reflejan no pueden ser utilizados por la celda, por esta razón una **capa anti-reflejante** se aplica a la parte superior de la celda para reducir las **pérdidas por reflexión a menos del 5%**.

El paso final es la **placa cubierta de vidrio** que protege la celda de los elementos. Los módulos PV están hechos de varias celdas conectadas (**generalmente 36**) en serie y paralelo para lograr niveles de voltaje y corriente y puestos en una estructura fuerte y completa con una cubierta de vidrio y sus terminales positiva y negativa en la parte posterior.



Estructura básica de una celda PV genérica de silicio

El cristal de **silicio simple** no es el único material usado para las celdas PV. El **silicio policristalino** también se utiliza en un intento por **recortar los costos** de fabricación, en tanto las celdas resultantes no son tan eficientes como las del silicio simple (mono cristalino). El silicio amorfo, el cual no tiene estructura cristalina también es usado, una vez más en un intento por reducir los costos de producción. Otros materiales incluidos el arsenuro de galio, di-selenuro de cobre indio y telurio de cadmio. Dado que los diferentes materiales tienen diferentes bandas prohibidas, estos se han visto "entonados" para diferentes longitudes de onda o fotones de diferentes energías. De una forma la **eficiencia** ha sido mejorada con el uso de dos o más capas de diferentes materiales con diferentes bandas de energía. El material de más alta banda de energía se ubica en la superficie, absorbiendo los fotones de mayor energía mientras que permite

a los fotones de más baja energía ser absorbidos por el material de banda de energía más baja por debajo de este. Esta técnica puede resultar en eficiencias mucho mayores. Tales celdas llamadas **celdas multi-juntura** pueden tener mas de un campo eléctrico.

Alimentando a una casa.

Ahora que tenemos nuestro modulo PV, ¿qué hacemos con él? ¿Qué tendrías que hacer para alimentar tu casa con energía solar? Mientras que no es tan simple solo juntar algunos módulos en tu techo, tampoco es demasiado difícil de hacerlo.

Antes que nada, no todos los techos tienen la **orientación** o **ángulo de inclinación** correcto para poder tomar ventaja de la energía del sol. Los sistemas PV sin seguimiento en el hemisferio norte deben de apuntar hacia el verdadero sur(esta es la orientación). Deben de estar inclinados en un ángulo igual a la latitud del área, para absorber la máxima cantidad de energía promedio durante el año. Una orientación o inclinación diferente podría utilizarse si deseas maximizar la producción de energía por la mañana o tarde, o durante el verano y el invierno. Por supuesto los módulos nunca deben de estar sombreados por los árboles o edificios cercanos, sin importar la hora del día o la época del año. En un módulo PV, aun si alguna de sus 36 celdas esta sombreada, la producción se reducirá en mas de la mitad.

Si tienes una casa con un techo no sombreado y orientado hacia el sur, necesitarás decidir de que tamaño será tu sistema. Esto es complicado por el hecho de que tu producción de electricidad depende del clima, el cual nunca es completamente predecible, y de que tu demanda de electricidad también varia. Estos obstáculos son relativamente fáciles de sortear. Los **datos meteorológicos** nos proporcionan los niveles de luz solar promedio mensual para diferentes áreas geográficas, esto tomando en cuenta la lluvia y los días nublados, así como altitud, humedad y otros factores más sutiles. Tu debes de diseñar para el peor de los meses, de manera que tengas electricidad todo el año. Con esa información y conociendo tu demanda promedio de la casa (tu recibo de energía te hace saber convenientemente cuanta energía usas por mes), existen métodos simples que tu puedes usar para determinar cuantos módulos PV necesitarás. También necesitarás decidir que sistema de voltaje, el cual puedas controlar para decidir cuantos módulos poner en serie.

Obstáculos.

Por lo pronto ya has alojado un par de problemas que tendrás que resolver, primero que haremos cuando el sol no este brillando. Ciertamente nadie aceptaría tener luz solo durante el día y luego solamente en días claros si tuvieran una alternativa. Necesitamos un sistema de **almacenamiento de energía** – baterías. Desafortunadamente las baterías agregan un costo adicional y mantenimiento a los sistemas con celdas PV. Actualmente sin embargo, es una necesidad si tu quieres ser completamente independiente. Una forma de corregir el problema es conectarte a la línea de **energía publica**, comprando potencia cuando la necesites. De esta manera el servicio publico actúa prácticamente como un sistema de almacenaje infinito. El servicio publico tiene que estar de acuerdo por supuesto, y en la mayoría de los casos comparará energía de ti, a un precio mas bajo del que ellos venden. Necesitaras también un equipo especial para asegurar que la energía que le vendes esté en sincronía con la de ellos – esto es que tengan la misma senoide y frecuencia. La seguridad es un punto también. La red publica debe asegurarse que si existe un apagón en tu vecindario tu sistema no tratará de proporcionar electricidad a las

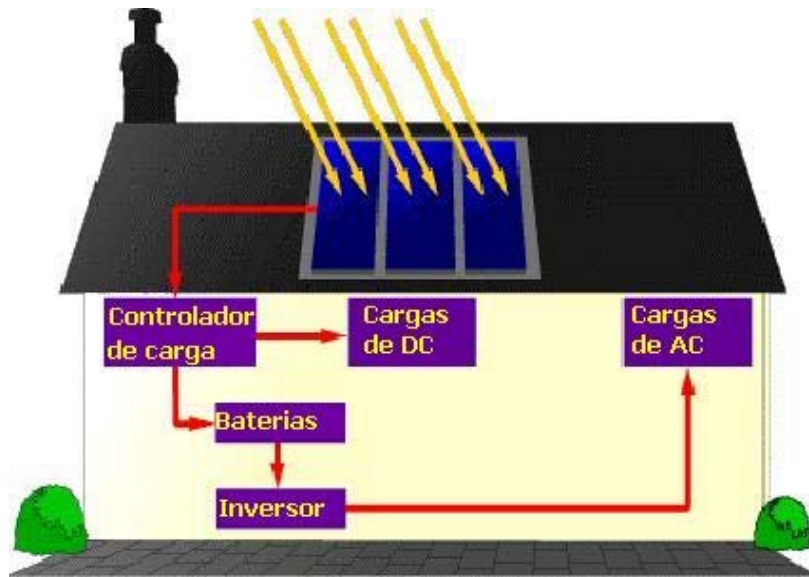
líneas, dado que un técnico de la compañía piensa que la línea esta muerta. Esto se denomina **isleo**. Si decides usar baterías mantén en mente que estas necesitarás darles mantenimiento y reemplazarlas después de algunos años. Los módulos PV deberán de durar al menos 20 años o más, pero las baterías no tienen esa clase de vida útil. Las baterías en los sistemas de PV pueden también ser peligrosas debido a la energía que guardan y los ácidos y electrolitos que contienen, así que será necesario un gabinete apropiado para ello, bien ventilado y no metálico.

Baterías (4.3)

¿Qué tipo de batería se usan en los sistemas PV? Mientras que se usan comúnmente diferentes clases, la única característica que deben de tener en comunes que sean **baterías de ciclo profundo**. A diferencia de una batería de carro, la cual es una batería de **ciclo rápido**, las **baterías de ciclo profundo** pueden descargar mas de su energía almacenada y aun mantener una larga vida. Las baterías de carro descargan una gran cantidad de corriente por un periodo de tiempo muy corto – para arrancar el auto – y son inmediatamente recargadas según manejas. Las baterías de sistemas PV usualmente descargan pequeñas corrientes por periodos de tiempo prolongados (ejemplo toda la noche), mientras que se recargan durante el día. Las **baterías de ciclo profundo** mas usadas son las de **ácido plomo** (tanto selladas como ventiladas) y las de **níquel-cadmio**. Las baterías de **níquel-cadmio** son más costosas pero duran mas y pueden ser descargadas completamente sin ningún riesgo. Aun las baterías de ciclo profundo de ácido plomo pueden descargarse al 100% sin serios recortes a su vida útil, y generalmente los sistemas PV se diseñan para descargar baterías de ácido plomo en no mas del 40% o 50%.

También, el uso de baterías requiere de la instalación de otro dispositivo llamado **controlador de carga**. Las baterías duran bastante mas si se tiene cuidado de forma que no se sobrecarguen o sobre descarguen demasiado. Y esto es lo que un controlador de carga hace. Una vez que las baterías están completamente cargadas el controlador ya no deja pasar corriente de las celdas PV. De manera semejante, una vez que las baterías han sido drenadas aun nivel predeterminado, controlado a través de la medición del voltaje de la batería, la mayoría de los controladores no permitirán que más corriente sea drenada de estas, hasta que esta sea recargada. El uso de un controlador de carga es esencial para la vida útil de la batería.

El otro problema es que la electricidad generada en los módulos PV y extraída de tus baterías, si es que decide usarlas es corriente directa, mientras que la electricidad suministrada por la red publica (y la de cada enser domestico que tienes en casa) es de corriente alterna. Necesitaras un **inversor**, un dispositivo que convierte la corriente directa en corriente alterna. La mayoría de los inversores grandes también te permitirán controlar automáticamente como trabaja tu sistema. Algunos módulos PV llamados **módulos AC** actualmente cuentan con un **inversor** ya construido en él, eliminando la necesidad de un gran inversor central y simplificando el alambrado.



Esquemático general de un sistema residencial PV con almacenamiento de baterías

Adentrándonos en los fierros de montaje, alambrado, cajas de unión y equipo de aterrizaje, protección de sobre corrientes conexiones de AC y DC y otros accesorios y tendrás tu mismo que seguir un código eléctrico (tan solo existe una sección para en código eléctrico nacional solo para los sistemas PV), y es recomendable que la instalación sea hecha por un técnico eléctrico con licencia que tenga experiencia en sistemas PV. Una vez instalado un sistema PV requiere muy poco mantenimiento (especialmente si no se usan baterías), y **proveerá de electricidad limpia y calladamente** por unos **20 años**.

Si el fotovoltaico es tal maravilla de fuente gratuita de energía, entonces ¿porqué el mundo no rueda con energía del sol? Alguna gente ha degenerado el concepto de la energía solar. Mientras que es verdad que la energía del sol es gratis, la electricidad del sistema PV no lo es. Como has visto de nuestra discusión de los sistemas PV para casas, se necesita un poco de infraestructura. Actualmente un sistema PV instalado cuesta alrededor de **\$9.00 por watt pico**. Para darte una idea de cuanto puede costar un sistema PV para una casa, considera lo siguiente la **casa solar[1]** – una casa residencial modelo en **Raleigh, Carolina del norte**, con un arreglo de PV provisto por el **Centro Solar de Carolina** para demostrar la tecnología. Es prácticamente una casa pequeña, y se estima que su sistema PV provee **3.6KW** cubriendo la mitad de la necesidad total de electricidad (este sistema no usa baterías – esta conectado a la red publica). Aun así a **\$9.00 por watt**, este sistema instalado costaría **\$32,000.00**.

Esta es la razón por la cual los sistemas PV se utilizan en regiones remotas, lejanas de las fuentes tradicionales de electricidad. Ahora mismo, simplemente no pueden competir con la red publica. Los costos se han ido reduciendo conforme se ha investigado, sin embargo los investigadores están confiados en que los PV algún día serán efectivos en costo en las áreas urbanas, tanto como en las remotas. Parte del problema es que las necesidades de manufactura deben de ser de gran

escala para reducir los costos tanto como sea posible. Sin embargo tal clase de demanda de PVS no existirá hasta que los precios caigan en ordenes competitivos, lo cual nos lleva a una situación de circulo vicioso. Aun así la demanda y la eficiencia constantemente se están incrementando, y los precios están cayendo, y el mundo paulatinamente se esta preocupando mas por cuestiones ambientales asociadas con las fuentes convencionales de poder, haciendo los fotovoltaicos (PV) una tecnología con futuro brillante.

Para mas información consulte las siguientes ligas.

REFERENCIAS

REF01 <http://www.ncsc.ncsu.edu/house/sh.htm>

AUTOR	TITULO	EDITORIAL
Beckman, William A. and Duffie, John A.	Solar Engineering of Thermal Processes.	2nd Ed. John Wiley and Sons, Inc. 1991, pp.768-793. ISBN=0471510564
Zweibel, Ken.	Harnessing Solar Power: The Photovoltaics Challenge.	Plenum Press, New York and London. 1990. ISBN=0306435640

OTRAS REFERENCIAS

Mas ligas importantes!

North Carolina Solar Center	(http://www.ncsc.ncsu.edu)
FSEC: Photovoltaics and Distributed Generation	(http://www.howstuffworks.com/framed.htm?parent=solar-cell.htm&url=http://www.fsec.ucf.edu/PVT/)
National Center for Photovoltaics	(http://www.howstuffworks.com/framed.htm?parent=solar-cell.htm&url=http://www.nrel.gov/ncpv/pvmenu.cgi)
Sunelco solar systems	(http://www.howstuffworks.com/framed.htm?parent=solar-cell.htm&url=http://www.sunelco.com/)
National Renewable Energy Laboratory	(http://www.howstuffworks.com/framed.htm?parent=solar-cell.htm&url=http://www.nrel.gov)
Sandia National Laboratorios	(http://www.howstuffworks.com/framed.htm?parent=solar-cell.htm&url=http://www.sandia.gov/pv/)

AUTORES Y MAGAZINES

Acerca del Autor:

Scott Aldous sirvió como ingeniero de campo de el Centro Solar de Carolina del Norte, por muchos años trabajando principalmente en fotovoltaicos. El paso algún tiempo en Cochabamba, Bolivia, trabajando con electrificación rural por medio de PV como parte del programa de proyectos internacionales del centro. Tu puedes contactarlo en el Centro Solar de Carolina del Norte en: ncsun@ncsu.edu

LASER (UNIDAD 5)

- 5.1 Principio básico.
- 5.2 Clasificación y construcción.
- 5.3 Aplicaciones.

Como trabaja el LASER. (5.1)

Por: Mathew [Weschler](#).

Traducción de: [Alfonso Pérez García](#).

Los láser se muestran en una amplia gama de aplicaciones de productos y tecnologías, los encontrarás en "Reproductores de CD", en fresas dentales, en maquinas cortadoras de metal y en sistemas de medición, todos usando láser ¿Pero que es un láser? Y ¿Qué hace diferente un haz de luz láser de los demás?



Foto cortesía de: [NASA](#)

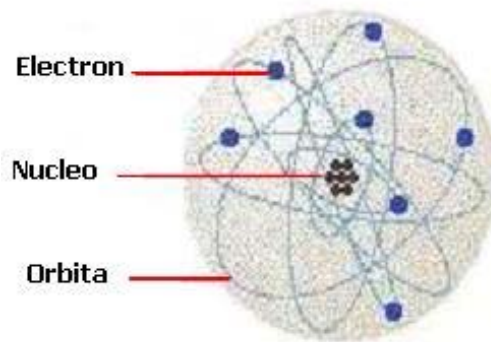
Estación de umbral de daño óptico en el centro de investigación Langley de la NASA, tiene tres láser; uno de alta energía pulsado ND Yag, uno de Ti zafiro y otro más de alineamiento de HeNe.

En esta edición de "[How Stuff Works](#)" aprenderás acerca de los láser de forma que entiendas por completo esta fascinante tecnología.

Las bases de un átomo.

Existen solamente alrededor de 100 **átomos** diferentes en el universo (**elementos**). Todo lo que vemos está hecho de ellos en una variedad de combinaciones ilimitada. El cómo se juntan y pegan estos determina que estos átomos formen una taza de agua, una pieza de metal o el gas que sale de tu refresco.

Los átomos están en constante movimiento, continuamente vibran, se mueven, rotan. Aun los átomos de la silla en que nos sentamos se están moviendo en rededor. Los sólidos están en movimiento. Los átomos pueden estar en diferentes **estados de excitación**, en otras palabras ellos tienen diferentes niveles de energía. Si aplicamos una gran cantidad de energía a un átomo, este puede dejar lo que se denomina **nivel energético de estado fundamental** y pasar a un **nivel excitado**. El nivel de excitación depende de la cantidad de energía que se le aplica al átomo por medio de calor, luz o electricidad. Aquí esta una interpretación clásica de cómo luce el átomo.



Un átomo, en su modelo más simple, consiste de un núcleo y electrones orbitando. Este átomo simple consiste de un **núcleo** (conteniendo protones y neutrones) y **una nube de electrones**. Es de ayuda pensar que los electrones en esta nube orbitan circulando al **núcleo** en diferentes orbitas. Aunque teorías más modernas sobre el átomo no lo describen con **orbitas discretas** para los electrones, es de utilidad pensar en estas orbitas como niveles energéticos diferentes de un átomo, en otras palabras, si aplicamos algo de calor a un átomo podemos esperar que algunos electrones de niveles energéticos bajos transiten a los orbitales de mas energía lejos del núcleo.



Energía de absorción:

Un átomo absorbe energía en la forma de calor, luz o electricidad. Los electrones se mueven de un nivel bajo a un nivel alto.

Esta es una vista simplificada de las cosas, pero actualmente reflejan la idea central de cómo los **átomos** trabajan en términos del láser.

Una vez que un electrón se mueve a un orbital de mayor energía, eventualmente querrá regresar a su estado **energético fundamental**, cuando lo hace libera la energía como un **fotón** – una partícula de luz. Tú ves átomos liberando energía como fotones todo el tiempo, por ejemplo cuando el tostador de pan se pone al rojo vivo, el color rojo brillante es causado por los átomos excitados por el calor y liberando fotones rojos. Cuando ves una imagen en la pantalla de TV, lo que ves en realidad son átomos de fósforo excitados por electrones de alta velocidad, los cuales emiten diferentes colores de luz. Cualquier cosa que produzca luz – lámparas fluorescentes,

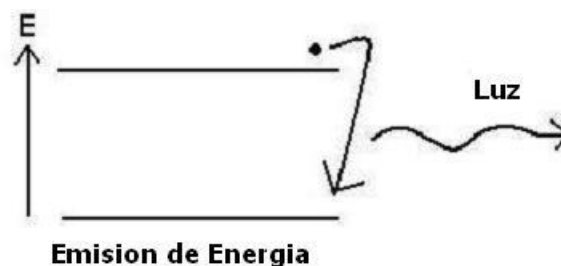
linternas de gas, lámparas incandescentes – los hace a través de la acción de los electrones cambiando de orbitas y liberando fotones.

La conexión Láser/Átomo.

Un **láser** es un dispositivo que controla la forma en que átomos energizados liberan fotones. "Láser" es una sigla que proviene de: "**light amplification by stimulated emission of radiation**" y que describe muy precisamente como trabaja un láser.

Mientras que existen muchos tipos de láser, todos tienen en común ciertas características esenciales. En un láser el **medio activo** es "**bombeado**" para tener a los átomos en **estado excitado**. Típicamente se usan intensos destellos de luz flash o descargas eléctricas para **bombear** al **medio activo** y crear una gran cantidad de átomos en **estado excitado** (átomos con electrones de mayor energía). Es necesario tener una colección de átomos en **estado excitado** para que el láser trabaje eficientemente. En general los átomos se excitan a un nivel que es dos o tres veces mayor que el **estado fundamental**, esto incrementa el grado de **inversión de población**. La **inversión de población** es el numero de átomos en **estado excitado** versus el numero de estos en **estado fundamental**.

Una vez que el **medio activo** es **bombeado**, este contiene una colección de átomos con algunos electrones asentados en niveles excitados. Los electrones excitados tienen energías mayores que aquellos electrones mas relajados. Justo cuando un electrón absorbe alguna cantidad de energía para alcanzar el nivel de excitación, puede también liberar esta energía, como se ilustra en la figura siguiente, el electrón puede simplemente relajarse y a cambio montarse algo de energía. Esta **energía emitida** llega en la forma de **fotones** (energía de luz). El fotón emitido tiene una **longitud de onda** muy específica (**color**) que depende del estado de la energía del electrón cuando el fotón es liberado. Dos átomos idénticos con electrones en idéntico estado liberarán fotones con idénticas longitudes de onda.



La luz láser es muy diferente de la luz normal, la luz láser tiene las siguientes propiedades:

La luz liberada es **monocromática**. Contiene solo una longitud de onda específica de luz (un color específico). La longitud de onda está determinada por la cantidad de energía liberada cuando el electrón cae a un orbital más bajo.

La luz liberada es **coherente**. Esta "organizada" – cada fotón se mueve en fase con los otros. Esto significa que todos los fotones tienen frentes de onda que se mueven al unísono.

La luz es muy **direccional**. Una luz láser tiene un haz muy estrecho, muy fuerte y concentrado. Una luz flash por otro lado libera la luz en muchas direcciones y esta es muy débil y difusa.

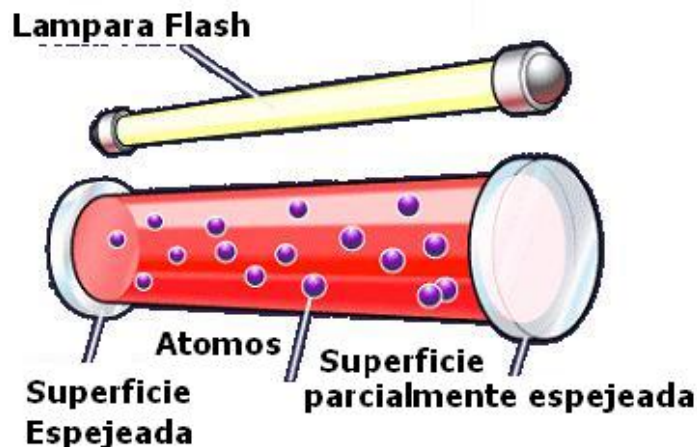
Para hacer que estas tres propiedades ocurran se lleva a cabo algo que se denomina **emisión estimulada**. Esto no ocurre en una luz flash ordinaria – en la luz flash todos los átomos liberan sus fotones de manera aleatoria. En la emisión estimulada, la emisión de fotones está organizada. El fotón que libera cualquier átomo tiene cierta longitud de onda que depende de la diferencia de energía entre el estado excitado y el estado fundamental. Si el fotón (el cual posee una cierta energía y una cierta fase) debe de encontrar otro átomo que tenga un electrón en el mismo estado excitado para que la emisión estimulada ocurra.

El primer fotón puede estimular o inducir emisión atómica de forma que el fotón emitido subsiguiente (del segundo átomo) vibra con la misma frecuencia y dirección que el fotón que llegó. El otro punto clave para un láser es un par de **espejos**, uno en cada extremo del medio activo. Fotones con fase y longitud de onda muy específicas, se reflejan una y otra vez a través del medio, en el proceso esto estimula otros electrones para hacer que la energía resguardada salte y cause la emisión de mas fotones de la misma longitud de onda y fase. Un efecto cascada sucede y pronto hemos propagado muchos fotones de la misma fase y longitud de onda, un espejo en un extremo del láser esta "medio plateado", esto significa que solo refleja algo de luz dejando pasar algo de luz a través de él. La luz que pasa a través de él es la luz láser.

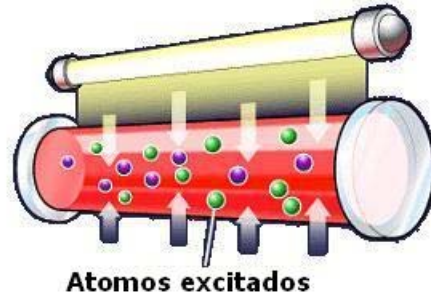
Tú puedes ver todos estos componentes en las siguientes figuras, las cuales ilustran como trabaja un **láser simple de Rubí**.

Láser de Rubí.

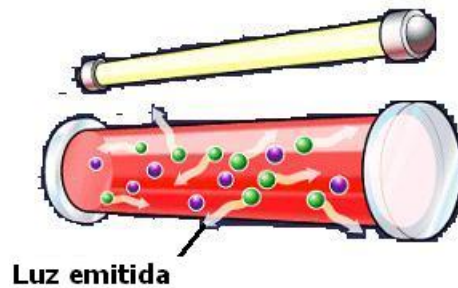
Un Rubí láser consiste de un tubo flash (como el que tiene una cámara), un cilindro de rubí y dos espejos (uno de ellos medio plateado). El cilindro de rubí es el medio activo y el tubo flash lo bombea.



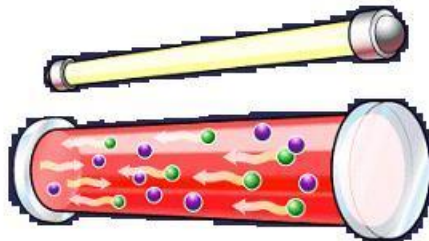
1. El láser en su estado no activo.



2. el tubo flash dispara e inyecta luz dentro del cilindro de la luz excita los átomos dentro del rubí.

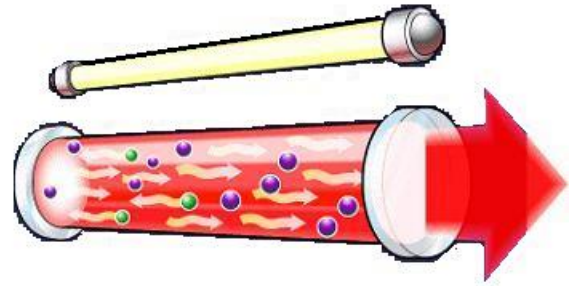


3. Algunos de estos átomos emiten fotones.



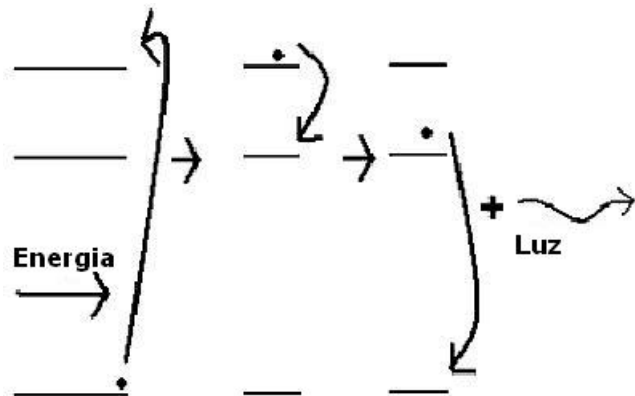
4. Algunos de estos fotones corren en dirección paralela al eje del rubí, de manera que rebotan de un lado a otro de los espejos. Conforme pasan a través del cristal estos estimulan la emisión de otros átomos.

5. Luz monocromática, de una fase y alineada deja el rubí a través del espejo medio plateado (parcialmente reflexivo) – la luz láser.



Láser de tres niveles. (5.2)

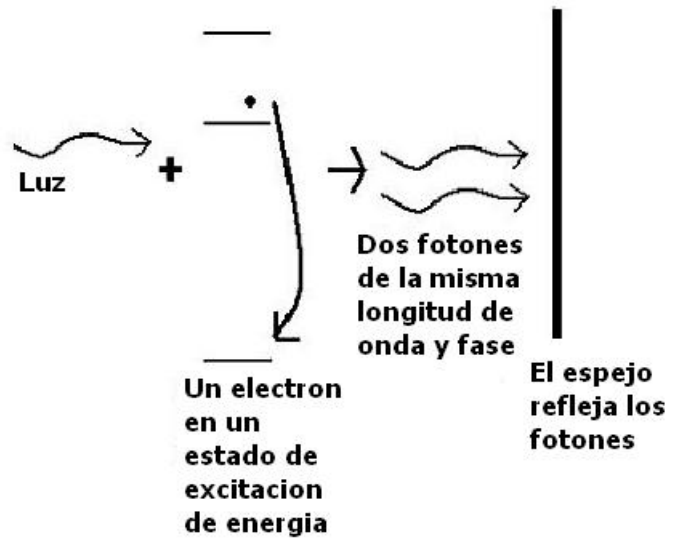
Aquí está lo que sucede en la vida real, el láser de tres niveles.



El electron se bombea a un nivel de energia mayor

El nivel de bombeo es inestable, asi que el electron rapidamente brinca a un nivel de energia ligeramente menor

Los electrones se relajan a un nivel de energia menor y liberan un foton



Un electron en un estado de excitacion de energia

Dos fotones de la misma longitud de onda y fase

El espejo refleja los fotones

En la siguiente sección aprenderás acerca de los diferentes tipos de láser

Tipos de Láser. (5.2)

Existen muchos tipos de láser. El medio activo puede ser sólido, gaseoso, líquido o semiconductor. Los láser se denominan comúnmente por el tipo de material de **medio activo** que se emplea

<p>Láser de estado sólido tienen un material de medio activo distribuido en una matriz sólida (tal como un rubí o neodimio: láser de Itrium- aluminio "yag"). El láser de neodimio "yag" emite una luz infrarroja en los 1064 nanómetros (nM)</p>
<p>Láser de Gas (Helio y Helio-Neón, HeNe, son los gases mas comunes de láser) y tienen una salida primaria de luz roja visible. Los láser de CO2 emiten luz en el infrarrojo lejano y se utilizan para cortar materiales duros.</p>
<p>Láser Excimer (el nombre esta derivado de os términos "excited" y dimmers", utilizan gases reactivos como el cloro y el flúor, mezclados con gases inertes como el Argón, Kriptón o Xenón. Cuando se estimulan eléctricamente, se produce una seudo molécula ("dimmer"). Cuando se activa el "dimmer" produce luz en el rango ultravioleta.</p>
<p>Láser de colorante utiliza colorantes orgánicos complejos, tales como el rodamin 6G, en una solución líquida o suspensión como medio activo. Estos son entonables en un gran rango de longitudes de onda.</p>
<p>Láser Semiconductor algunas veces llamado diodo láser, no son láser de estado sólido. Estos dispositivos electrónicos son generalmente muy pequeños y utilizan baja potencia. Ellos se pueden construir en grandes arreglos tal como la fuente de escritura en algunas impresoras láser o reproductores de CD.</p>

Un **láser de rubí** (como el descrito en las paginas anteriores) es un láser de estado sólido y emite una longitud de onda de 694 nM. Otros **medios activos** se pueden seleccionar basados en la longitud de onda deseada (véase la siguiente tabla abajo), potencia necesitada y duración del pulso.

Algunos láser son muy poderosos, como los de CO2, los cuales pueden cortar el acero. La razón por la cual el láser de CO2 es tan peligroso es porque emite luz láser en el infrarrojo y la región de las microondas del espectro. La radiación infrarroja es calor y este láser básicamente derrite lo que sea en lo que este enfocado.

Otros láser como el diodo láser, son tan débiles y se utilizan en los apuntadores de bolsillo de hoy. Estos emiten típicamente un haz rojo de luz, que tiene su longitud de onda en los 630 0 680 nanómetros. Los láser se han usado en la industria y la investigación para hacer muchas cosas, incluyendo el uso la láser intensos para la estimulación de otras moléculas y observar que pasa con ellas.

Aquí están algunos láser típicos y sus longitudes de onda emitidas:

Tipo de láser	Longitud de onda. (nm)
Fluoruro de Argón (UV)	193
Fluoruro de Kriptón (UV)	248
Nitrógeno (UV)	337
Argón (azul)	488
Argón (verde)	514
Helio neón (verde)	543
Helio neón (rojo)	633
Rodamin 6G colorante (entonable)	570-650
Rubí (CrAlO ₃) (rojo)	694
Nd:Yag (NIR)	1064
Dióxido de Carbón (FIR)	10600

Clasificaciones de Láser. (5.2)

Los láser se clasifican en cuatro grandes áreas dependiendo del **daño potencial biológico** que puedan causar. Cuando tú ves un láser este debe de estar etiquetado con alguna de estas cuatro designaciones de **clase**:

Clase I – Estos láser no pueden emitir radiación láser en ningún nivel de riesgo conocido
Clase I.A. – Esta es una designación especial que aplica solamente a láser cuyo propósito no es verlos, como ejemplo el láser de un escáner en el supermercado. El máximo poder de un Clase IA es de 4 mW .
Clase II – Estos son láser visibles de baja potencia que emiten por encima de la Clase I , pero con una potencia radiante menor a 1 mW. El concepto es que la reacción de rechazo humana a la luz brillante protegerá a la persona.
Clase IIIA – Estos son láser de potencia intermedia (cw: 1 – 5 mW) los cuales son riesgosos de ver solamente por interposición. La mayoría de los apuntadores láser de pluma son de esta clase.
Clase IIIB – Estos son láser de potencia moderada.
Clase IV – Estos son láser de alta potencia (cw: 500 mW, pulsados: 10J/cm ² o el límite de reflexión difuso), los cuales son riesgosos de ver bajo alguna de las siguientes condiciones, directamente o reflejada difusamente), y son potencialmente riesgosos de fuego y de daño a la piel. Se requiere de controles significativos para las instalaciones de esta Clase IV de láser.

Que es un láser y como trabaja. (5.1)

Por: Samuel M. [Goldwasser](#)

Traducción de: Alfonso Pérez García.

Una breve introducción a los principios del láser y su estructura.

Introducción en línea a los láser.

Características de algunos láser comunes.

Láser para los aficionados y experimentadores.

[Una breve introducción a los láser, sus principios y estructura.](#)

La era láser.

Dado que cada documento sobre láser debe tener una discusión sobre sus principios, aquí se presenta. Si tu ya sabes todo sobre los láser te puedes brincar esta sección y pasar a la sección de Características de algunos láser comunes, porque probablemente el resumen siguiente te pondrá a dormir y te perderás del resto de la diversión 😊. Si tu prefieres una introducción mas profunda puedes acudir al sitio: [On-Line Introductions to Lasers](#)

Un láser es una fuente de luz, pero a diferencia de otras que se han visto o implementado antes de los 60 cuando **Theodore H. Maiman** de la **Hughes Aircraft** montará un rubí sintético especialmente preparado dentro de una poderosa lámpara flash, semejante a las usadas en fotografía de alta velocidad. (Si tú estas relacionado con la literatura científica pesada, la referencia es **T.H.Maiman, "Stimulation Optical Radiation in Ruby", Nature 6 Aug. 1960, vol 187 No. 4736, paginas 493-4**). Cuando su lámpara fue activada, un intenso pulso de luz roja broto de un extremo del cilindro de rubí el cual fue tanto monocromático(de un solo color) como coherente (todas las ondas estaban precisamente en fase). La diferencia entre la salida de un láser y una lámpara incandescente es como la diferencia entre ruido blanco y un tono puro.

La era láser había nacido. Dentro de un corto tiempo, se sumaron a otros muchos materiales sólidos, la acción láser se demostró en gases (el ubicuo láser de Helio-Neón, fue el primero concebido, originalmente solo producía longitudes de onda invisibles de IR), líquidos y cristales semiconductores.

Casi cualquier material concebible fue probado en el frenesí de producir nuevos e interesantes láser. Aun algunas cosas como la gelatina de marca registrada "**Jello**" fue probada con luz Xenón y de acuerdo con la leyenda se supone que trabajo bien. Me pregunto si los sabores tenían que ser naturales 😊. (véase la siguiente referencia, "[Comments on the Jello Laser Legend](#)" para una discusión más emocionante del tema)

Véase "[laser Stars – HISTORIA DEL LASER \(1917-1996\)](#)" para una cronología interesante del láser, desarrollo, descubrimiento y aplicaciones.

Mientras que el primer láser que funciona fue construido en "**Hughes Aircraft**", mucho del trabajo teórico y practico previo se hizo en los laboratorios **Bell** – trabajos que continúan hoy en día. Véase "[La invención del láser en laboratorios Bell 1958- 1998](#)". Citando de esta pagina:

"La invención del láser, cuyo significado es simple **Luz Amplificada por eStimulada Emision de Radiación**, puede ser fechada en 1958 con la publicación de un reporte científico, "infrared and optical masers" de Arthur L. Schawlow entonces investigador de Bell Labs. Y Charles H.Townes, un consultor de Bell Labs. Ese reporte se publico en la Revista Física, el periódico de la Sociedad

Americana de Física, abriendo un nuevo campo científico y las puertas de una industria multi millonaria.”

De muchas maneras el láser fue una solución buscando un problema. Pues bien los problemas pronto aparecieron y en gran numero. Sería difícil imaginar el mundo moderno sin los láser - usados en reproductores de CD e impresoras Láser, fibras ópticas y comunicaciones espaciales, soldadura y corte industrial, tratamientos quirúrgicos y médicos, holografía y show de luces, investigación científica básica en docenas de campos, y desarrollo de armas.

Las características únicas del láser – **monocromaticidad** (la luz es de una sola longitud de onda o color), **coherencia** (todas las ondas están en fase) y **direccionalidad** (el haz esta bien colimado de inicio o es muy fácil de colimar) hacen posible numerosas aplicaciones. De hecho es seguro decir que la vasta mayoría de aplicaciones del láser aun no han sido contempladas. Para tener una idea de los extenso y diversificado de las aplicaciones para las cuales el láser ha llegado a ser una herramienta indispensable véase por ejemplo la referencia “[Rami Arieli – The Laser Adventure: Laser Applications](#)” y “[Lasers On-Line: Some Applications](#)”

Características Generales de los Lasers

La palabra **LASER** es una sigla “**Light Amplification by Stimulated of Emisión Radiation**”. De alguna manera esto es algo un tanto confuso dado que actualmente la mayoría de los láser son osciladores (generadores de fuentes de luz) y no amplificadores (dispositivos para incrementar la fortaleza de una señal), vistos así también es posible y se utilizan en algunas aplicaciones.

La salida de un láser puede ser un haz continuo o pulsado; visible; infrarrojo; o ultravioleta, de menos de 1 mili-watt o de millones de watts de potencia. Sin embargo todos los láser poseen las siguientes cualidades en común.

1 Un **medio activo**. Este puede ser un sólido, liquido o gas, o material semiconductor el cual pueda ser **bombeado** a un estado energético mas alto.

Debe de ser posible elevar la mayor parte del **medio activo** a un estado energético mas alto (electrón, ión, vibracional) llamado **inversión de población**.

Debe de existir una **transición de resguardo** disparable por una **emisión estimulada**. La mayoría de los láser están basados en **sistemas de 3 o 4 niveles** (de energía). Cuales de estos son posibles dependerá de el medio activo.

Nivel 3, Ejemplo: Se **bombea** del **nivel 1 (estado fundamental)** al **nivel 3**, el cual cae rápidamente al **nivel 2**. La **emisión estimulada** se lleva a cabo del **nivel 2 al 1**. Este tipo de sistema de **nivel 3** debe de funcionar **pulsado**, dado que es un **absorbedor** de la propia longitud de onda del medio activo cuando esta en el estado fundamental. El comportamiento de propia absorción, haría prácticamente imposible mantener la **inversión de población**, requerida para una onda continua (operación **CW**). En resumen, un **medio activo** tal debe de ser **bombeado completamente** (no solo parte de su longitud) dado que la región no excitada tendería a bloquear la luz láser dando como resultado un incremento del **umbral de medio activo** y perdida de eficiencia. El **láser de rubí** es uno de tales sistemas de **nivel 3**. (otro tipo de sistema tendría la emisión estimulada del nivel 3 al 2 con una rápida caída al nivel 1)

Nivel 4, Ejemplo: Se bombea del **nivel 1 (estado fundamental)** al **nivel 4** con rápida caída al **nivel 3**. la emisión estimulada tiene lugar del **nivel 3 al 2** y después una caída al nivel 1. Tales

sistemas de **nivel 4** pueden funcionar de forma **continua (CW)** si el **tiempo de vida** del **nivel 2** es **suficientemente corto**. El láser de **Helio Neón** es un **sistema de nivel 4**, pero uno donde la **transición láser** (emisión estimulada) se lleva cabo entre el **nivel 4 y 3**. El **nivel 3** cae rápidamente al 2 y luego al 1 por medio de la colisión con las paredes del tubo. Intuitivamente podríamos pensar en un sistema **nivel 2** pero este no trabaja bien en la práctica debido a la dificultad de lograr la **inversión de población**.

2 Un medio de **bombear** energía dentro del **medio activo**, puede ser óptico, eléctrico, mecánico, químico etcétera.

Los **láser de gas** utilizan descargas de **corriente eléctrica de AC o DC** a través del **medio activo** (gas) o una excitación de RF externa, bombardeo de haz electrónico, o una reacción química.

Existen otros medios de **bombear** que son posibles. La descarga de DC es la más común para los **láser de gas** (por ejemplo el **Helio Neón**, **Argón ión**, etcétera.)

Para una explicación de un láser grande bombeado químicamente, véase la referencia [the Mid-Infra Red Advanced Chemical Laser \(MIRACL\)](#) el cual usa deuterio y flúor como reactivos. El arreglo del láser es a veces descrito como la máquina cohete entre un par de espejos.

Y uno que actualmente está en desarrollo, y supuestamente es para derribar misiles balísticos de mediano alcance durante la fase de lanzamiento de su trayectoria – “**Airforce’s AirBorne Laser**”, un **láser químico de Oxido de Yodo (COIL)**. Montado en un boeing 747 modificado. Algunas ligas interesantes.

Airborne Laser Home Page	http://www.airbornelaser.com/
Advanced Technology Center Airborne Laser	http://atc.external.lmco.com/atc/abl.htm
Description of the ABL Project	http://www.af.mil/lib/afissues/1997/app_b_14.html
How the COIL Laser Works	http://www.de.afri.af.mil/pa/factsheets/coil.html

Otro láser químico recientemente anunciado es el **AGIL** – “**All Gas Iodine Laser**” – el cual mezcla cloruro de nitrógeno y yodo en una cámara de vacío. Véase la referencia [AGIL News Report](#)

Los Láser de estado sólido generalmente utilizan el bombeo óptico de una lámpara flash de Xenón de alta energía (rubí, Nd:YAG) o de un segundo láser de bombeo o arreglo de diodos láser (DPSS láser verde de frecuencia doblada). La luz solar continua o arcos de Xenón se pueden usar para bombear algunos tipos de láser.

Los láser de semiconductor, son a menudo referidos como bombeados por corriente de DC, aunque también es posible utilizar el bombeo óptico y con haz de electrones.

Los láser de rayos X, tienen supuestamente el bombeo de pequeños dispositivos nucleares. Aun cuando se han desarrollado pruebas (por debajo del agua), existe la controversia de que tan buenas fueron y si tuvieron éxito. (existe la posibilidad de que haya algunos **láser de rayos X** actualmente, y que utilicen otros medios de bombeo y no se autodestruyan en cada disparo) vea la referencia [X-Ray Lasers](#) .

Láser de electrones libres, (FEL) estos se bombean por aceleradores de partículas de millones y millones de dólares. Estos láser no se construyen a lo largo de una línea como los otros, para mayor información consulte la referencia [Free Electron Lasers](#) .

3 Un resonador. En la mayoría de los casos este es una cavidad de la forma "**Fabry-Perot**", un par de espejos, uno en cada extremo del láser, el cual le permite a la luz estimulada rebotar una y otra vez a través del **medio activo**. Generalmente uno de los espejos es totalmente reflectivo mientras que el otro es parcialmente transparente para permitir al haz láser que escape. Los espejos son perfectamente planos o también pueden ser ligeramente cóncavos, aunque se pueden usar otras configuraciones.

Algunos láser tienen un solo espejo en uno de sus extremos (el láser de nitrógeno) y en ocasiones ningún espejo (el láser de rayos X, dado que es imposible reflejar una radiación electromagnética como la longitud de onda de los rayos X).

Láser construidos en la forma de un triángulo o rectángulo (espejos en las esquinas) los cuales pueden no tener salida de haz pero utilizan la interferencia de un par de haces láser contra rotantes en un punto interno para sensar la orientación del ensamble en una plataforma de giro de un láser de anillo. Véase la referencia [Ring laser gyros](#) .

La loza óptica a menudo usada para amplificadores láser de alto poder. En una configuración común, la loza esta orientada en el ángulo Brewster (vea la referencia [What is a Brewster Window?](#)) de manera que virtualmente no existe perdida por reflexión de sus superficies cuando el haz pasa por ella. Las lozas también se pueden configurar de tal forma que el haz láser sigue una trayectoria en zig-zag a través de las superficies de la misma, reflejándose una y otra vez. En ambos casos, el área mas grande de la loza significa que es capaz de disipar una gran cantidad de potencia sin daño. Los láser de pulso más grande del mundo (usados para fusión inercial y desarrollo de bombas nucleares) emplea extensamente los amplificadores de loza óptica.

Para mayor información véase la referencia [Lawrence Livermore National Laboratory Laser Programs](#) .

Los láser se pueden construir con retroalimentación distribuida, lo cual reemplaza uno de los espejos con difracción granulada. Véase la referencia [Difference Between Fabry-Perot and DFB Lasers](#) . ajustando el ángulo del granulado para seleccionar la longitud de onda de salida del láser en algunos de ellos. (también se puede usar un prisma "intracavidad" para este propósito).

Elementos adicionales como prismas, moduladores, interruptores Q, celdas Kerr y algunas otras cosas pueden estar presentes dentro del **resonador**.

Operación básica de los láser

Relajate! Esto sera breve y simple. Existen numerosas referencias con extensa información – en todos los niveles de sofisticacion – sobre la teoría del laser. Ve al capítulo "[fuentes de información del laser](http://www.repairfaq.org/sam/laserlir.htm#lirtoc)" (<http://www.repairfaq.org/sam/laserlir.htm#lirtoc>) para referencias y vinculos a toda clase de material, el cual te curara de insomnia.

Presentamos solo lo mas breve de los resúmenes. El material adicional mas específico se presenta en los capítulos "[laser de helio-neon](http://www.repairfaq.org/sam/laserhen.htm#hentoc)" (<http://www.repairfaq.org/sam/laserhen.htm#hentoc>) y "[diodos laser](http://www.repairfaq.org/sam/laserdio.htm#diotoc)" (<http://www.repairfaq.org/sam/laserdio.htm#diotoc>).

Refierase al diagrama: "[Operación Básica del Láser](http://www.repairfaq.org/sam/laserop.gif)" (<http://www.repairfaq.org/sam/laserop.gif>) mientras esté leyendo la siguiente explicación. Los números entre comillas denotan cada parte en el proceso de excitación láser.

Normalmente, todos los átomos, iones o moléculas (dependiendo del láser en particular del medio activo) están en su nivel mas bajo de energía o "ground state" (1).

Para producir la acción láser el dispositivo de bombeo de energía debe lograr la inversión de población en el medio activo de manera que la mayoría de los átomos, iones o moléculas en el nivel más alto de energía de el par que participa en la emisión estimulada. Note que aquellos marcados como "Nivel de Energía 2" en el diagrama son aquellos que nos interesan; algunos han sido elevados al "Nivel de Energía 1" y se asientan ahí tomando algún espacio (2).

En tiempos aleatorios, algunos de estos átomos, iones, moléculas excitadas decaerán a un estado de energía mas bajo. En el proceso cada uno emite un fotón simple de luz en una dirección aleatoria. Esto es conocido "Emisión Espontanea", y por si misma no es terriblemente útil. Es básicamente el mismo proceso que se lleva a cabo en una lámpara de neón para que brille. O en la capa de fosforo de una capa fluorescente, o en la pantalla de un CRT (3).

Sin embargo, Einstein demostró que si uno de estos fotones se encontrara con un átomo, ión o molécula en la manera apropiada, caería a un estado de energía mas bajo y emitiría un fotón con algunas propiedades increíbles comparadas con el original. Algunas de éstas son:

El nuevo fotón será de la misma longitud de onda.

El nuevo fotón tendrá exactamente la misma fase.

El nuevo fotón será emitido exactamente en la misma dirección.

El nuevo fotón tendrá exactamente la misma polarización también, aunque esto no es un requerimiento para crear un láser. Sin embargo, el resonador favorece una polarización en particular (existe una ventana de ángulo Brewster o placa en la senda del haz o la cavidad es altamente asimétrica), o en algunos casos, existe una configuración de campo magnético particular, el haz de salida también estará polarizado –pero esto es para el curso avanzado-.

Así que, imagina el medio de excitación (lasing) (quizás, lo más fácil de visualizar es como el gas brillando en una lámpara de neón).espontáneamente emiten estos fotones en todas direcciones de manera aleatoria. La mayoría se perderan en el lado de descarga del tubo o golpeará alguno de los espejos en un angulo y escapará de su confinamiento.

Ocasionalmente sin embargo, un foton pasara a ser emitido muy cercanamente al paralelo de la dirección del resonador (3,4) en este caso viajara a lo largo de uno de los espejos y sera capaz de rebotar una y otra vez muchas veces (con alguna configuración de espejos ligeramente cóncavos y sino hubiera perdidas esto podría hacerse indefinidamente. Hasta ahora, ¡Muy aburrido! sin

embargo a lo largo del camino se encuentra en átomos, iones o moléculas excitadas y las ESTIMULA para que den sus propios fotones. Conforme progresa esto, lo que fue una vez^o un simple foton es ahora una avalancha de mas mas y mas fotones producida por el proceso de emisión estimulada (3,4,5).

El haz resultante es altamente monocromático (enteramente muy cercano a una longitud de onda) y coherente (todas las ondas al mismo paso). Esta también bien colimado (rayos casi paralelos para la mayoría de los lasers incluyendo los de tipo gas y estado sólido) o parece originarse de una fuente puntual (diodos lasers) en cualquiera de los casos el haz puede manipularse fácilmente de maneras con otras fuentes de luz sería imposible.

Si la fuente de bombeo es adecuada y existen suficientes átomos, iones, moléculas que están siendo elevadas a un nivel de energía mayor para mantener la inversión de población mientras que esto pasa, la acción laser continuara indefinidamente (sin tomar en cuenta problemas triviales como el sobrecalentamiento o el vaciamiento de la potencia disponible de tu toma eléctrica) esto da como resultado un onda laser continua. Si el bombeo no se puede mantener o algunos niveles de energía se quedan enganchados arriba, el resultado es un laser pulsado. (por lo tanto la "[Operación Básica del Láser](#)" actualmente ilustra un láser pulsado dado que el bombeo no es continuo.

Aquí lo tienes!, todo lo demás son solo detalles.

Para algunos (aún fáciles de comprender) detalles sobre los principios de operación del obicuo láser de helio-neón, ve a la sección: "[Curso en línea de Teoría de Operación, Modos, Longitud de Coherencia](#)", así como también los capítulos sobre tipos de láser específicos.). Información adicional sobre las características generales del láser, se pueden encontrar en el capítulo "[Temas de Interés](#)".

Introducción a los láseres en línea

Existe una gran cantidad de páginas web con información y tutoriales del láser. Muchas son de valor marginal a lo mucho, sin embargo hay unas cuantas que valen la pena.

La mejor que he encontrado por mucho es la [CORD](#) (Laser/Electro-Optics Technology Series, Cord Communications, 324 Kelly Drive, P.O. Box 21206, Waco, Texas 76702-1206).

Esencialmente este es un libro de texto completo con cientos de diagramas, muchas ecuaciones básicas (no se puede tener todo!), experimentos de laboratorio detallados y una extensa lista de referencia para estudios posteriores.

Existen algunos otros cursos mas o menos completos (algunos todavía en desarrollo). Mientras que el material original fue desarrollado a principios de los 70's (existen algunos diagramas con circuitos de bulbos!), Este ha sido actualizado y tiene una gran cantidad de material que por mucho es la presentación en línea más completa de la tecnología láser (estructuras de resonador, y esquemáticos de fuentes).

El LEOT (Laser/Electro-Optics Technology) fue desarrollado por CORD entre 1970 y 1974 con fondos de la oficina de educación de los Estados Unidos. AL mismo tiempo se publicaron muchos libros sobre láseres para físicos e ingenieros. Éstos libros contenían la información teórica rigurosa necesaria para el desarrollo de los nuevos diseños y aplicaciones de láseres. El Currículum LEOT no proporciona ésta clase de información pero en cambio está escrito para los técnicos que construirán, modificarán, instalarán, operarán, diagnosticarán y repararán los láseres.

Los técnicos son una liga vital en el avance de la tecnología fotonica. Son los trabajadores en los laboratorios fábricas y campos quienes aseguran que los láseres y otro equipo fotónico relacionado operen confiable y propiamente.

De manera que estos cursos son de naturaleza muy práctica y proporcionan un buen complemento a la orientación práctica de el láser de Sam.

Éstos cursos se pueden consultar en :

[Dewtronics LEOT Tutorial on Lasers](#)

[Sam's Copy of LEOT Tutorial on Lasers](#)

Here are the main table of contents (list of modules) for each course that presently exists or is under development:

Course 1: Intro to Lasers	1-1 Elements and Operation of a Laser
	1-2 Elements and Operation of an Optical Power Meter
	1-3 Introduction to Laser Safety
	1-4 Properties of Light
	1-5 Emission and Absorption of Light
	1-6 Lasing Action
	1-7 Optical Cavities and Modes of Oscillation
	1-8 Temporal Characteristics of Lasers
	1-9 Spatial Characteristics of Lasers
	1-10 Helium-Neon Gas Laser—A Case Study
	1-11 Laser Classifications and Characteristics

Course 3: Laser Technology

- 3-1 Power Sources for CW Lasers
- 3-2 Pulsed Laser Flashlamps and Power Supplies
- 3-3 Energy Transfer in Solid-State Lasers
- 3-4 CW Nd:YAG Laser Systems
- 3-5 Pulsed Solid-State Laser Systems
- 3-6 Energy Transfer in Ion Lasers
- 3-7 Argon Ion Laser Systems
- 3-8 Energy Transfer in Molecular Lasers
- 3-9 CO₂ Laser Systems
- 3-10 Liquid Dye Lasers
- 3-11 Semiconductor Lasers
- 3-12 Laser Q-Switching-Giant Pulses
- 3-13 Measurements of Laser Outputs
- 3-14 Laser Safety Hazards Evaluation

Course 4: Laser Electronics

- 4-1 Electrical Safety
- 4-2 Gas Laser Power Supplies

- 4-3 Ion Laser Power Supplies
- 4-4 Flashlamps for Pulsed Lasers and Flashlamps
- 4-5 Arc-Lamp Power Supplies
- 4-6 Diode Laser Power Supplies
- 4-7 Electro-Optic and Acousto-Optic Devices
- 4-8 Optical Detectors
- 4-9 Electro-Optic Instrumentation

Course 6: Laser and Electro-Optic Components

- 6-1 Optical Tables and Benches
- 6-2 Component Supports
- 6-3 Photographic Recording Mediums
- 6-4 Windows
- 6-5 Mirrors and Etalons
- 6-6 Filters and Beam Splitters
- 6-7 Prisms
- 6-8 Lenses
- 6-9 Gratings
- 6-10 Polarizers
- 6-11 Nonlinear Materials

Course 10: Laser and Electro-Optic Measurements

- 10-1 Spectrometers
- 10-2 Monochromators
- 10-3 Spectrophotometers
- 10-4 Michelson Interferometers
- 10-5 Fabry-Perot Interferometers
- 10-6 Twyan-Green Interferometers
- 10-7 Mach-Zehnder Interferometers
- 10-8 Spatial Resolution of Optical Systems

Applications of Photonics in Telecommunications (impl construction)

- Module 1: CW Nd: YAG Laser Systems
- Module 2: Pulsed Solid-State Laser Systems
- Module 3: Semiconductor Lasers
- Module 4: Photodetector Characteristics
- Module 5: Laser Information Systems
- Module 6: Laser Distance Measurement
- Module 7: Laser Trackers and Alignment Systems
- Module 8: Laser/Fiber-Optic Communication Systems

This is all great educational content for those who wish to gain a better understanding of the principles of laser operation, find out what is in a laser, see examples of power supply circuits, and much more. But, it is designed at a level that shouldn't put you to sleep with too much heavy math. ☺

Another site which provides an outline of a course on lasers including summaries of laser types, applications, and laboratory experiments is: [The Laser Adventure](#) by Rami Arieli. I call it an outline because although most of the major topics are included, their coverage is quite brief and the serious student would need to find details elsewhere – perhaps from the CORD Communications Lasers and Electro-Optics courses described above. ☺

Some specific links with the most general interest are:

[Table of Contents](#) (Links to all chapters and sections of the course)

[Laser Types](#) (Summaries of major characteristics of most common lasers)

[Laser Applications](#) (Daily use, military, medical, scientific, industry, special)

[Laboratory Experiments](#) (Divergence, diffraction, measuring wavelength with a ruler, etc.)

[Rockwell Laser International](#) has a variety of short articles and summaries with info on laser theory, common laser types, wavelengths, and applications, a glossary, and more at their [Laser Tutorials](#) page.

[MEOS GmbH](#) is a developer of laser educational materials and equipment (among other things). Their Download Page has the lab/study manuals for their courses on a wide variety of laser related topics. While designed to be used in conjunction with the laboratory apparatus which they sell, these manuals include a great deal of useful information and procedures that can be applied in general.

The modules include (all in PDF format):

- EXP01 Emission and Absorption
- EXP03 Fabry Perot Resonator
- EXP04 Diode Laser
- EXP05 Second Harmonic Generation
- EXP07 Generation of Short Pulses
- EXP05 Nd:YAG Laser
- EXP06 HeNe Laser
- EXP09 CO2 Laser
- EXP10 Michelson and Laser Interferometer
- EXP11 Plastic Fibre Optics
- EXP12 Glass Fibre Optics
- EXP13 Optical Time Domain Reflectometry
- EXP15 Laser Range Finder
- EXP14 Erbium doped Fibre Amplifier
- EXP19 Radio – and Photometry
- EXP20 Laser safety
- EXP27 Bar Code Reader

Also see the section: [General Laser Information and Tutorial Sites](#) for other sites that may be worth visiting.

Características de algunos láser comunes

Aquí se presenta un resumen de las características, potencia de salida, requerimientos de potencia de alimentación, longitudes de onda, calidad del haz, costo y aplicaciones de los láseres de diodo, Helio-Neón, Argón, Ión de Criptón y dióxido de Carbono.

Los diodos láseres.

El chip de diodo láser semiconductor activado por una fuente de alimentación de bajo voltaje. Se utiliza generalmente una retroalimentación óptica de un fotodiodo monitor (comúnmente en el mismo paquete que el diodo láser) para una regulación precisa de la corriente del diodo láser.

Longitudes de Onda: Rojo (635 nm, actualmente muy semejante a un naranja rojizo) hasta el rojo profundo (670nm) y mas allá, el Infrarojo (780nm, 800nm, 900nm, 1550nm, etc.) hasta algunos micrometros.

Los diodos láseres verde y azul se han producido en varios laboratorios de investigación pero hasta la actualidad solamente operan a temperaturas de nitrógeno líquido, teniendo expectativas de vida muy limitadas (alrededor de 100 horas o menos). Desarrollos recientes sugieren que muy pronto los láseres azules y verdes estarán comercialmente disponibles a temperatura estandar de un cuarto. El violeta (alrededor de los 400 nm) está ya en producción.

Calidad del haz.

Apropiada en gran medida del diseño. El trazado del haz es elíptico u ovalado y astigmático. Se requiere corregir con óptica adicional (interna o externa). La longitud de coherencia va desde unos pocos milímetros a muchos metros.

Potencia

De 0.1mW a 5mW los más comunes, y hasta 100 watts o hay disponibles de mas potencia. Las unidades de mayor potencia se componen de arreglos de diodos láser y no de un simple dispositivo.

Aplicaciones

Reproductores de CD, drives de CD-ROM, láser disk, mini disk y otros dispositivos de almacenamiento óptico; impresoras láser y máquinas fax láser; apuntadores láser, miras y lentes de alineación; equipo de medición; sistemas de comunicación espacial y de fibra óptica de alta velocidad; como fuentes de bombeo para otros láser; escáneres de código de barra y UPC; capturadores de imagen de alto desempeño y "typesetters", y pequeños shows de luces.

Costo

Desde 15 hasta 10000 dólares o más.

Comentarios

Barato, bajo consumo de potencia, muy compacto, pero la excitación es crítica, muchos tipos de diodo láser no son apropiados para la holografía o interferometría donde se requiere de un alto grado de coherencia y estabilidad. Sin embargo vea la sección [Interferómetros usando diodos láser baratos](#) dado que los diodos láseres visibles de los reproductores de Cd pueden ser de hecho demucho mas calidad de la que generalmente se supone. En resumen se ha reportado que

algunos diodos láseres baratos aparentan ser superiores a los tradicionales láseres de helio-neón que cuestan varios miles para holografía. Vea la sección: [Holografía usando diodos láseres baratos](#).

Láseres de Helio-Neón (HeNe)

Los mas comunes son tubos de plasma sellados de helio-neón con espejos internos, y fuente alimentación de alto voltaje. También los hay de espejos externos de laboratorio y son muy caros.

Longitudes de onda

Rojo (632.8 nm, actualmente se ve como naranja rojizo) el mas común por ahora es el naranja (611.9 nm), amarillo (594.1 nm), verde (543.5 nm), e Infrarrojo (1523.1 nm). Los láseres de helio-neón también están disponibles (pero son menos eficientes y por lo tanto mas costo por la misma potencia del haz).

Calidad del Haz

Extremadamente alta. La salida está muy bien colimada sin óptica externa y tiene una longitud de coherencia excelente (de 10 cms a metros o mas)

Helium-Neon (HeNe) lasers. Most common are sealed HeNe plasma tube with internal mirrors, high voltage power supply. Externall mirror HeNe lab lasers also available and expensive.

Wavelengths: Red (632.8 nm, actual appearance is actually orange-red) is most common by far. Orange (611.9), yellow (594.1 nm), green (543.5 nm), and IR (1,523.1 nm) HeNe lasers are also readily available (but these are less efficient and therefore more costly for the same beam power). Beam quality: Extremely high. The output is well collimated without external optics, and has excellent coherence length (10 cm to several meters or more) and monochromaticity. Most small tubes operate single mode (TEM00).

Power: .5 to 10 mW (most common), up to 250 mW or more available.

Some applications: Industrial alignment and measurement; blood cell counting and analysis); medical positioning and surgical sighting (for higher power lasers); high resolution printing, scanning, and digitization; bar code and UPC scanners, interferometric metrology and velocimetry; non-contact measuring and monitoring; general optics and holography; small to medium size light shows, laser pointers, LaserDisc and optical data storage.

Cost: \$25 to \$5,000 or more depending on size, quality, new or surplus.

Comments: Inexpensive, components widely available, robust, long life.

Argon (Ar) and krypton (Kr) ion lasers. These differ mainly in gas fill. Sealed plasma tube with internal or external mirrors and high current (10 amps or more at around 100 VDC) regulated power supply (constant current or optical power based). Combined Ar/Kr produces lines in red, green, and blue, and is therefore considered a 'white light laser'. All are electrical power guzzlers and larger units are water cooled.

Wavelengths: Violet-blue (457.9 nm), blue (488 nm – single line), green (514 nm), Red (Kr or Ar/Kr types only, 646 nm). Many other lines throughout the visible spectrum (and beyond) are available (but generally weaker) and may be 'dialed up' on some models.

Power: 10 mW to 10 W. Research lasers up to 100 W.

Beam quality: High to very high. Single and multimode types available.

Some applications: Very high performance printing, copying, typesetting, photoplotting, and image generation; forensic medicine, general and ophthalmic surgery; entertainment; holography; electrooptics research; and as an optical 'pumping' source for other lasers.

Cost: \$500 (surplus 100 mW) to \$50,000 (multi-watt new) or more.

Comments: High performance for someone who is truly serious about either optics experiments like holography or medium to high power light shows.

Carbon dioxide (CO₂) lasers. Sealed (small) or flowing gas design. High voltage DC, RF, electron beam or other power supply.

Wavelength: Mid-IR. 10.6 μm (10,600 nm) is by far the most common but 9.6 μm and several other wavelengths are also possible.

Beam quality: High.

Power: A few watts to 100 kW or more.

Some applications: Industrial metal cutting, welding, heat treatment and annealing; marking of plastics, wood, and composites, and other materials processing, and medicine including surgery.

Cost: New systems go for several \$K to 100s of \$K depending on specific type and output power. Used/surplus low to moderate power (up to 100 W) flowing gas systems may be available for under \$500.

Helium-Cadmium (HeCd) lasers. Sealed HeCd plasma tube with internal mirrors, high voltage power supply, and control system. Systems are more complex than other common gas lasers due to the need for control of cadmium vapor pressure and overall temperature/pressure. Actual discharge power requirements are in between HeNe and ion lasers – 1 to 2 kV at around 100 mA.

Wavelengths: Violet-blue (442 nm) and ultra-violet (325 nm) depending on the optics.

Beam quality: Very high. HeCd lasers usually use sealed narrow bore plasma tubes and operate in TEM₀₀ mode.

Power: 10s to 100s of mW.

Some applications: Non-destructive testing and spectroscopy.

Cost: High initial cost (many \$K) due to low production volume and greater plasma tube and power supply/control system complexity. Older systems may be available for under \$100 but could need tube replacement or regassing.

Comments: Less common than HeNe, Ar/Kr ion, and CO₂ types. Few uses for the hobbyist except for the challenge value.

Solid State Lasers. Rod, slab, or disk of crystal or amorphous material usually pumped optically by flashlamps, high intensity discharge lamps, or high power laser diodes or arrays of laser diodes. The output may be pulsed, CW, or quasi-CW, depending on design and application.

Wavelengths: Near-IR (most common are Nd doped materials, around 1,064 nm) to visible (ruby at 694.1 nm), many other materials are now being developed. Output may be frequency multiplied to yield a visible (532 nm) or UV (355 or 266 nm) beam.

Power: Varies widely. Peak in the TeraWatt range, average up to 1,000 W or more. Q-switching provides extremely high peak power in a short pulse.

Beam quality: Low to high.

Some applications: Materials processing (drilling, cutting, welding, trimming), green (532 nm) laser pointers and other visible lasers replacing argon ion types, inertial confinement fusion and nuclear bomb research, laser entertainment, laser rangefinders, laser weapons, target designation, medical/surgical, spectroscopy, study of very short pulse phenomena, study of matter, and many many others.

Los mas grandes y los mas pequeños láser

Since you were about to ask:

By far the largest pulsed solid state laser on the face of the earth (at least for awhile) will be at the [National Ignition Facility](#) being constructed at [Lawrence Livermore National Laboratory](#). It will produce about 1.8 MJ per pulse with a peak output power of over 500 Terawatts. The NIF laser will be about the size of a football STADIUM with 192 beam lines and over 7,300 major optical components including some 3,000 Nd:Glass slab amplifiers nearly a meter across! Its estimated construction cost is more than \$1,200,000,000 with an annual operating budget of about \$60,000,000. No, the NIF laser isn't portable. ☺

The largest CW laser is probably a CO₂ laser at the Troisk Institute for Thermonuclear Research (in Troisk, about 80 miles outside of Moscow, Russia). This is claimed to be 10 **MegaWatt** laser, perhaps a slight exaggeration, but not by much. It is truly a CW laser though and would run for as long as power and cooling were supplied. I don't know the exact size of the laser but the room it is in rivaled that of the NOVA laser.

The smallest lasers in common use are diode lasers like those found in CD players, barcode scanners, and telecommunications equipment. The active region is a fraction of a millimeter long and as little as 1 x 3 micrometer in width and height. The entire semiconductor chip is about the size of a grain of sand. Even smaller 'microlasers' have been developed and some are in commercial production. In principle, a single atom can be the active medium in a laser.

Guía para los aficionados y experimentadores. ¿por qué la gente se involucra con los láser?

If you are reading this material because you are already a laser nut, skip this section – you already know how you got hooked. For someone who has stumbled upon Sam's Laser FAQ and is wondering why anyone would be interested in such an apparently esoteric topic – or whose only previous contact with lasers has been to tease their pet cat with a laser pointer, here are a few reasons (besides being able to talk about a topic that 99.99% of the World's people haven't a clue about!):

Laser technology: - Lasers use all sorts of interesting apparatus, electronics, optics, and mechanics. Much of this involves complex circuits, high quality mirrors, precision structures, and other high tech toys. Skills needed to deal with laser design, adjustment, testing, and repair may include high voltage electronics to vacuum systems and gas handling; pulsed high energy discharge circuits; stable DC or RF current or voltage sources, drivers, and modulators; structural components like optics mounts and resonators; and much more. A working laser is a study in technological beauty. This is my main interest. ☺

Laser applications: - There are literally 10s of thousands of uses for lasers using devices ranging from the microscopic laser diode in a CD or DVD player to huge industrial carbon dioxide lasers for cutting, welding, and other large scale materials processing. However, the most common application of lasers for fun would be to create the dynamically changing patterns and graphics of a laser light shows using a combination of helium-neon, argon and krypton ion, and diode lasers, along with modulators and deflectors.

Laser research: - The laser is a wonderfully sophisticated but in many ways, elegantly simple device that makes use of the fundamental principles of quantum mechanics. There are vast uncharted waters to be explored (no, this is not about sailboats!) in creating new and more advanced types of lasers and systems using lasers. While the typical experimenter and hobbyist isn't likely to have access to the types of facilities and equipment to discover anything fundamentally new, they can keep up with much of the developments through trade magazines and scientific literature.

If you are now thinking: "I'd probably enjoy bamboo under the fingernails or root canal therapy more than any of this", perhaps lasers aren't for you. ;) However, if anything you have read so far seems fascinating or *really way cool*, then continue on. It doesn't take a lot of money to get into lasers (\$10 will get you a laser and a simple laser show can be put together for under \$25 – though it is quite possible to end up spending many \$1,000s even on used or surplus lasers and laser related equipment!) but it does take a driving interest and the ability and willingness to construct and tinker. If you are incapable of changing a light bulb without the instruction manual, perhaps lasers aren't for you either. Lasers are also not the sort of thing where you are likely to find many other people in your immediate neighborhood sharing your passion except in a few places – mostly near laser manufacturers or research installations. So, be prepared to do most of your interaction via the Internet and other long distance correspondence. There are few laser clubs and no laser trading cards (but trading of laser equipment is quite popular)!

Having said all that, doing almost anything successfully with lasers can be very rewarding and if you haven't decided on a career, could give you a head start in the photonics area – the merging of lasers, optics, and electronics – which is one of the key technologies of today and the future.

(From: Bob.)

If you are still in high school, and you REALLY want to get into lasers your choices for college would be University of Rochester, followed by a coin flip decision between University of Arizona or University of Central Florida. Also there are numerous other schools with some optics courses and laser research.

Láser Comercial Versus Construcción de láser Amateur.

Diode, helium-neon (HeNe), and argon/krypton (Ar/Kr) ion lasers are probably the most popular types of lasers generally available to hobbyists and experimenter (see the section: [Characteristics of Some Common Lasers](#)). This is due to the wide availability of complete lasers and laser components (new as well as surplus), and their desirable optical and physical characteristics, including the generation (in most cases) of a continuous beam, manageable power and cooling requirements, and the fact that there is no need for sophisticated laboratory facilities to keep them healthy. A major portion of this document is devoted to the practical aspects of these types of laser systems, their power sources, and related optics and electronics.

Of these, I still consider the HeNe laser to be the quintessential laser: An electrically excited gas between a pair of mirrors. It is also the ideal first laser for the experimenter and hobbyist. OK, well, maybe after you get over the excitement of your first laser pointer! ☺ HeNe's are simple in principle though complex to manufacture, the beam quality is excellent – better than anything else available at a similar price. When properly powered and reasonable precautions are taken, they are relatively safe if the power output is under 5 mW. And such a laser can be easily used for many applications. With a bare HeNe laser tube, you can even look inside while it is in operation and see what is going on. Well, OK, with just a wee bit of imagination! ☺ This really isn't possible with diode or solid state lasers.

While many other types of lasers may be acquired or constructed including: mercury vapor ion, nitrogen, excimer, dye, ruby, Nd/YAG, chemical, free electron, and X-ray, most of these are less commonly available as surplus. There could also be problems obtaining the 100 million volt particle accelerator required for the free electron laser and the small thermonuclear device needed to pump the X-ray laser. ☺

Now, back down to earth....

Where you are really interested in actually constructing any of these types of lasers from basic materials (e.g., not by simply hooking together commercial laser tubes and power supplies), check out the chapters beginning with: [Amateur Laser Construction](#) which include general information on the types and requirements for home-built lasers, setting up a laser lab, introduction to vacuum systems and glass working, and other really exciting topics.

Comentarios generales sobre el láser como Hobby.

(From: Richard Alexander (Ralexan290@gnn.com).)

How much do you like to build things? Would you prefer to assemble a bunch of parts, or do you want to blow your own glass tubes, too? Do you have any mechanical experience? Do you build electronic kits? Keep in mind that you will often be working with intense light (enough to instantly damage your unprotected eyes, and maybe your unprotected skin) and high voltages.

All laser experimenters (and optics types, too) should have a copy of "Scientific American"'s "Light and Its Uses." [5] It gives construction plans for a Helium-Neon (you blow the glass tube yourself), an argon ion (even more complicated), a CO₂ (designed and built by a high school student, and able to cut through metal), a dye, a nitrogen (a great first laser, but watch out for UV light) and a diode laser (obviously, you buy the diode laser and assemble the driver circuit from the plans they supply). They also explain how to make holograms using visible and infrared light, microwaves and sound. There are other projects, too. The book is getting fairly old (the HeNe dates to the '60s), but it's still a great reference.

A nitrogen laser may be built for under \$200 (maybe less than half that amount if you are lucky). It requires no mirror alignment (since it has no mirrors). The technology for building this laser was available to Ben Franklin, so there is nothing too critical in it. The hazards it presents are lots of ultraviolet light (spark discharges and laser beam), high voltage (necessary to arc across a 1/4 inch spark gap in a nitrogen environment) and circuit etcher (the main capacitor is made from an etch circuit board).

Once built, the nitrogen laser can drive many other projects. It can be used as a pump for the dye laser, for example. It will light up anything fluorescent. It is a pulse laser (10 ns) that can be repetitively pulsed (120 Hz is a likely frequency). Megawatt power is possible, but the total energy is low (due to the short pulses).

Helium-Neon laser tubes may be bought from many mail-order companies. I bought one from Meredith Instruments in Arizona. They cost about \$15, and the power supply can be built or bought for about another \$20. You have the option of buying tubes with mirrors attached or not. You might want to buy the mirrors attached, because aligning those mirrors is extremely tedious. I was given an "A" for constructing a working Helium-Neon laser from the parts in the Laser Lab in less than an hour. The class was given two semesters to gain the experience they needed to do that.

If you want more than one color from lasers, there are various ways to do it, but none of them are as nice as one might like. For \$3,000 or so, you can buy a Helium-Neon laser that will produce laser light ranging from infra-red to green. All you have to do is turn a dial on the back.

Laser light shows usually use argon ion or krypton lasers. These are able to produce most of the colors of visible light, and they can also be dialed to the desired color. However, they usually cost several thousand dollars (\$40,000 is not too unusual) and require either forced air or water cooling or a combination.

A dye laser is the usual solution to the multi-color problem. They are inexpensive and simple. They aren't especially tunable, unless you change the dye, although a diffraction grating can be used to tune a particular dye to various colors. One common dye that can be used in a dye laser is the green dye found in radiator antifreeze.

[Base de datos de equipo que contiene láser interesantes.](#)

We all know that CD, DVD, MiniDisc, LaserDisc, and other optical storage devices; barcode scanners, laser printers, laser pointers, and so forth, contain lasers but all sorts of other equipment does as well. And, some of those lasers may be nice and large and powerful. Each of the respective chapters on particular types of lasers has information on their common uses and in some cases, specific models of equipment where they may be found (mostly argon ion).

Mike Harrison (mike@whitewing.co.uk) has a Web page in the early stages of development which lists graphic arts, industrial, medical, scientific, and other equipment which include internal lasers

of all kinds. The page can be updated with your contributions as well. Take the link near the bottom of [Mike's Electric Stuff Page](#) (which also has a lot of other interesting topics).

GLOSARIO.

Láser

Un dispositivo para producir una luz intensa y altamente coherente, el nombre es un acrónimo de amplificación de luz por emisión estimulada de radiación. Los electrones son excitados a un nivel de energía muy alto en número suficiente para que la inversión de población se dé. Luego cuando se estimula para que caiga a un nivel más bajo por medio de un fotón, cada átomo excitado emite su energía y produce un fotón de una frecuencia muy precisa. Los láser pueden ser **pulsados**, si la energía se produce en una ráfaga simple y rápida, o **continuos**. Las cuatro **características principales** de un láser son, su naturaleza **monocromática**, **coherencia**, alta **potencia** y **delgado haz**. La propiedad monocromática es especialmente importante para la separación de isótopos, dado que el láser puede excitar los modos vibracionales de un compuesto, de uno solo de sus isótopos.

Láser de colorante sintonizables, se pueden entonar la emisión monocromática en un rango del espectro visible. Similarmente los láser han extendido la utilidad de la espectroscopia **Raman**. El hecho de que el láser es coherente hace posible la **holografía**. Los láser pulsados liberan su energía en periodos cortos de tiempo, esto ha probado ser útil para ampliar la técnica de **fotolisis flash** por debajo de los nanosegundos y aun en la escala de pico segundos. Los haces de láser se usan en cirugías oculares de retina y para medir la distancia a la luna y la lectura de pistas en los discos compactos.

Inversión de población.

Una condición en la cual existen más electrones en un estado de energía más alto que los electrones en estado normal, la inversión del estado natural. Esta inversión de población se puede lograr por estimulación con luz.

Monocromático.

De una frecuencia (o equivalentemente de una longitud de onda). La luz visible que es monocromática es de un solo color puro; como en un láser. Una fuente monocromática perfecta exhibe coherencia temporal.

Coherencia.

De ondas, o señales similares, o su fuente, una medida de que tan bien correlacionadas están las ondas entre dos tiempos (**coherencia temporal**) o dos puntos cercanos (**coherencia espacial**). Las ondas coherentes difieren por una constante fase. El tiempo de coherencia es el periodo sobre el cual la relación de fase se mantiene constante.

Fase.

1 (Química) cualquier parte de un sistema que es uniforme químicamente y tiene una frontera reconocible con otra parte. Es así que hablamos de las fases sólida líquida y gaseosa de una sustancia pura, el término se puede extender a mezclas tales como las **aleaciones**.

2 (Matemáticas) para una cantidad x que varía con el tiempo t de acuerdo a la función $x = A \sin(\omega t + \Phi)$, el valor de la cantidad $(\omega t + \Phi)$. La fase generalmente se expresa como una fracción del

ciclo completo, en radianes (el cual no tiene dimensiones) o en grados. El termino de ángulo de fase se refiere a la diferencia de fase entre dos cantidades.

Onda incoherente.

Cualquier onda, pero generalmente una electromagnética, consiste de la suma de dos o mas contribuciones de fase aleatoria.

Holografía.

Un método para grabar y reproducir imágenes tridimensionales de objetos a través de la creación de un holograma. Técnicas de grabación mas modernas y sofisticadas permiten que los hologramas sean vistos con luz natural mas que con una fuente de luz especial monocromática, y han llegado a ser comunes en tarjetas de crédito dado que son muy difíciles de hacer.

Láser de Argón.

Un tipo de láser que produce un haz de luz intensa, usada especialmente en cirugía de ojos para el tratamiento de enfermedades de la retina (diabetes, retinopatía, o glaucomas)

Definiciones de: The New Penguin Dictionary of Science, © M. J. Clugston 1998 ⓘ

REFERENCIAS.

Ref1	http://www.nasa.gov
Ref2	http://www.repairfaq.org/sam/laserfaq.htm#faqoli
Ref3	http://www.repairfaq.org/F_email.html
Ref4	http://www.repairfaq.org/sam/lasercdy.htm#cdycdye
Ref5	http://www.ttples.net/~jtalbot/history/
Ref6	http://www.bell-labs.com/history/laser/
Ref7	http://stwi.weizmann.ac.il/Lasers/laserweb/Apps/Ap_frm.htm
Ref8	http://www.bcnred.com/laser/uk/aplicaciones-uk.html
Ref9	http://www.fas.org/spp/military/program/asat/ripps.htm
Ref10	http://shns.ripps.com/shns/story.cfm?pk=GASLASER-08-11-00&cat=AS
Ref11	http://www.repairfaq.org/sam/laserioi.htm#ioixrl
Ref12	http://www.repairfaq.org/sam/laserioi.htm#ioifel
Ref13	http://www.repairfaq.org/sam/laserlia.htm#liarlg
Ref14	http://www.repairfaq.org/sam/laserioi.htm#ioibrw
Ref15	http://lasers.llnl.gov/lasers/
Ref16	http://www.repairfaq.org/sam/laserioi.htm#ioidfb
Ref17	http://www.repairfaq.org/sam/laserlir.htm#lirtoc
Ref18	
Ref19	
Ref20	http://www.repairfaq.org/sam/laserop.gif
Ref21	http://www.repairfaq.org/sam/laserhen.htm#hentoo
Ref22	http://www.repairfaq.org/sam/laserioi.htm#ioitoc
Ref23	http://www.cord.org/
Ref24	http://www.dewtronics.com/tutorials/lasers/leot/
Ref25	http://repairfaq.ece.rexel.edu/sam/CORD/leot/
Ref26	http://www.repairfaq.org/sam/laserdio.htm#dioint
Ref27	http://www.repairfaq.org/sam/laserlia.htm#liahol4

OTRAS REFERENCIAS

AUTORES Y MAGAZINES

Mathew Weschler.

Mathew Weschler tiene una maestría en Química Orgánica Física de la Universidad estatal de Florida. El tópico de su tesis es "Espectroscopia con láser pico segundo", él ha estudiado como reaccionan las moléculas pico segundos después de haber sido bombardeadas con luz láser.

Samuel M. Goldwasser.

Samuel M. Goldwasser

Para información de contacto, por favor vea la siguiente pagina: [Sci.Electronics.Repair FAQ Email Links Page](#).

Derechos Reservados © 1994-2002

Todos los derechos reservados.

La reproducción de este documento de forma total o parcial esta permitida si se cumplen las siguientes dos condiciones:

- 1 Este nota se incluye al principio de manera integra.
2. no exista cargo, excepto para cubrir el costo de la copia.

SENSORES DE IMAGEN (UNIDAD 6)

- 6.1** Principios.
- 6.2** Clasificación.
- 6.3** Aplicación.

Tecnología de CCD, Resumen técnico. (6.1)

Contenido.

Introducción

Arquitectura CCD de Kodak.

Incrementando la respuesta del canal azul.

Sensores CCD y captura de imágenes.

Convirtiendo luz en carga Eléctrica.

Técnicas de transferencia de carga.

Introducción

El dispositivo acoplado por carga CCD fue inventado a finales de los 60 por investigadores en los laboratorios Bell. Originalmente concebido como un nuevo tipo de circuito de memoria para computadora, pronto llegó a ser obvio que el CCD tenía muchas otras potenciales aplicaciones, que incluyen el sensado y procesamiento de imagen- la última debido a la sensibilidad del silicio a la luz. Los CCD comienzan en delgados wafers de silicio procesado con una serie de pasos que definen las diferentes funciones dentro del circuito. Sobre cada wafer hay varios dispositivos idénticos, o dados, cada uno capaz de proporcionar un dispositivo funcional. Dados selectos se cortan del wafer y se empaquetan en un portador para ser usados en un sistema.

Como en el motor de un auto, los sensores CCD en una cámara digital, actúan como la primera herramienta para capturar una imagen. En su forma más elemental el sensor CCD es como el "ojo electrónico" de la cámara.-colectando luz y convirtiéndola en carga, y subsecuentemente emitiendo la señal como resultado en una imagen digital.

Los sensores CCD patentados de Kodak están hechos de miles de píxeles agrupados o bien en una fila o bien en una matriz para registrar la intensidad total de la luz de cada punto en la escena.

Arquitectura CCD de Kodak.

A continuación se da un resumen sobre los métodos de captura de imagen tomados por los sensores CCD y sus aplicaciones reales en el mundo.

Arreglos de área.

Los arreglos de área permiten a los fotógrafos capturar objetos en movimiento en una exposición a cualquier velocidad de obturación.

Arreglos lineales

Los arreglos lineales usan un solo renglón de píxeles que rastrean a través de la imagen, haciendo tres exposiciones separadas-una por cada uno de los filtros rojo, verde, azul (RGB). Como lo sugiere el nombre los sensores lineales capturan una imagen dimensional. Principalmente se usan para capturar imágenes estáticas que se usan en anuncios. Los arreglos lineales, en tanto que poseen la capacidad de dar imágenes de alta resolución, están limitados a objetos sin movimiento que deben de estar continuamente iluminados.

Sensor trilineal.

En el sensor tri-lineal, tres CCD lineales en paralelo, los cuales están capados separadamente con filtros RGB. Cuando la imagen de color se captura, esta se construye línea por línea permitiendo una captura de imagen de pleno color. Los sensores CCD tri-lineales se usan en cámaras digitales de alta calidad para proporcionar la más alta resolución y gama espectral.

Transfer interlínea.

Este tipo de sensor utiliza arreglos separados para la captura de imagen y transferencia de carga, permitiendo que las imágenes puedan ser leídas mientras que otra imagen esta siendo capturada. Los sensores CCD transfer interlínea se usan comúnmente en las cámaras digitales de mediana calidad, cámaras de video y cámaras de estudio para capturar movimiento.

Cuadro completo.

Permitiendo una mayor capacidad de carga, un mejor rango dinámico, menor ruido y una mejor resolución óptica, los sensores de cuadro completo de Kodak permiten la captura de una matriz RGB completa de manera instantánea.

Los CCD de cuadro completo consisten de un registro de corrimiento CCD paralelo, un registro de corrimiento CCD serie y un amplificador de señal de salida. En un CCD de cuadro completo, la exposición es controlada por un obturador mecánico o disparador para preservar la integridad de la escena, dado que un registro paralelo se usa tanto para la detección de escena como para la salida.

Las imágenes se proyectan ópticamente sobre el arreglo paralelo, el cual actúa como el plano de imagen. El dispositivo toma la información de la escena y la particiona en elementos discretos, los cuales están definidos por el número de píxeles que "cuantizan" la escena. La información resultante de los renglones se desvía de una manera paralela a un registro serial, el cual recorre la información hacia la salida en una cadena serial de datos. Este proceso se repite hasta que todos los renglones son transferidos fuera del chip. Entonces la imagen de salida se reconstruye según lo dicta el sistema. Una cámara digital Kodak profesional DCS 520 de cuadro completo proporciona una resolución de 1736 x 1160 píxeles.

Incrementando la respuesta del canal azul.

En la cámara Kodak Profesional DCS 520 se comercializa por primera vez y se patenta el uso único del ITO, óxido de Indio-Estaño. Supliendo al ITO, una avanzada tecnología para reemplazar el sensor de poli-silicio en las cámaras digitales, ha resultado en un significativamente amplio canal azul.

Este es el resultado de la habilidad del sensor ITO de ser mas transmisor que el sensor de poli-silicio del pasado. El beneficio clave del sensor ITO es su habilidad de incrementar la respuesta espectral de la cámara, permitiendo que llegue al sensor dos y media veces mas luz azul, mejorando así la exactitud del color y reduciendo el ruido en la imagen.

Sensores CCD y Captura de imagen.

A continuación se da una explicación paso a paso de un sensor CCD y su rol en el proceso de captura de imagen digital.

El obturador mecánico abre, exponiendo el CCD a la luz.

La luz es convertida en carga en el CCD.

El obturador cierra bloqueando la luz.

La carga es transferida a la salida del CCD y convertida en una señal.

La señal esta digitalizada, y los datos digitales se capturan en memoria.

La imagen capturada es procesada y desplegada en el LCD de la cámara o computadora.

La imagen en el CCD se captura en un proceso de tres pasos.

Exposición, lo cual convierte la luz en una carga electrónica en sitios discretos llamados píxeles.

Transferencia de carga, la cual mueve los paquetes de carga dentro del sustrato de silicio.

La conversión de carga a voltaje y la amplificación de salida.

Convirtiendo la luz en una carga eléctrica.

Una imagen se adquiere cuando la luz incidental en forma de fotones cae en el arreglo de píxeles.

La energía asociada con cada fotón se absorbe por el silicio y toma lugar una reacción que crea un par electrón hueco (por ejemplo un electrón). El número de electrones recolectados en cada píxel es linealmente dependiente del nivel de luz y tiempo de exposición, y dependiente de forma no lineal de la longitud de onda.

Técnicas de transferencia de carga.

Una vez que la carga ha sido integrada y se sostiene en la arquitectura de píxeles, debe de existir un medio de obtener esa carga en un amplificado de sensado, el cual esta físicamente separado de los píxeles. Conforme la carga asociada de cada píxel se mueve, al mismo tiempo la carga asociada en todos los píxeles de ese renglón o columna se mueve también.

Los paquetes de carga eventualmente se recorren al nodo de salida del amplificador donde los electrones se convierten en voltaje. Las técnicas convencionales utilizan un nodo de sensado de difusión flotante, seguido por un amplificador de carga a voltaje, tal como un seguidor de fuente. Los seguidores de fuente se usan para preservar la relación lineal entre la luz entrante (electrones generados) y el voltaje de salida.

Otros formatos de archivo.

Fundamentos.

Durante los primeros años del desarrollo de los gráficos de computación y la carrera por el dominio del hardware y software por parte de los fabricantes, se diseñaron muchos formatos propios. Cada programa gráfico guardaba sus archivos en su propio – o nativo – formato, y por lo tanto, cualquier archivo guardado de una aplicación específica y usado exclusivamente por esa aplicación fue – y sigue siendo - conocida como archivo nativo. Desafortunadamente, estos archivos nativos no siempre fueron leíbles por otras aplicaciones, especialmente si estas eran de Mac y la aplicación objetivo era de PC o viceversa.

Conforme la demanda creció por compatibilidad entre aplicaciones y la compatibilidad de referencia cruzada, muchos diseñadores y fabricantes se dieron cuenta que la supervivencia estaba ligada a satisfacer estas demandas.

En la actualidad, la mayoría de las aplicaciones graficas pueden guardar y abrir archivos en ambos formatos tanto nativos como de otras aplicaciones que pueden ser usadas para imágenes, transfiriendo de un formato a otro y de una plataforma a otra.

El archivo TIFF.

TIFF -- o "**Tag Image File Format**" – fue desarrollado por: "**Aldus Corporation**" en 1986, específicamente para guardar imágenes de los escaners, marcadores y programas de retoque y fotográficos.

En la actualidad, probablemente es el más confiable, versátil y ampliamente soportado formato de mapa de bits. Capaz de describir en dos niveles, escala de grises, paleta de colores e imágenes de pleno color en diferentes espacios de color.

Esto incluye un numero de esquemas para compresión y no esta atado a algún escáner en especial, impresora o display de computadora.

El formato "**TIFF**" tiene sin embargo algunas variantes, esto significa que ocasionalmente puede tener problemas para abrir un archivo "**TIFF**" creado por otra aplicación o plataforma.



El archivo PICT.

El formato "**PICT**" – el cual no es una sigla – es nativo de **Macintosh**.

Apareció por primera vez en 1984 con la introducción del software **McDraw**. Desde entonces se ha utilizado por muchas aplicaciones, especialmente cuando las imágenes son usadas para presentaciones en pantalla. Es muy buena cuando se trata de presentaciones, despliegues en pantalla y trabajo de video.

El formato "**PICT**" puede contener tanto mapas de bit como gráficos orientados a objetos. Es un formato estándar para gráficos que son cortados o copiados en el portapapeles o dibujos que serán impresos en impresoras de rastreo.



El archivo EPS.

Los archivos "**EPS**" – o **PostScript encapsulado** – son el formato estándar para almacenar las ilustraciones de alta resolución **PostScript**. El formato "**EPS**" – el cual fue introducido a mediados de los 80 permite tanto a usuarios Mac como Windows guardar pantallas de mapas de bits d imágenes. Estas presentaciones sin embargo no se transportan bien a través de las plataformas.

Un archivo "**EPS**" generalmente tiene dos partes: una descripción **PostScript** (texto) que le dice a una impresora **PostScript** como sacar la imagen independiente de la resolución, y (opcionalmente) una imagen de mapa de bits **PICT** para vista preliminar en pantalla.

Un dibujo guardado en formato **EPS** se puede importar a otros documentos, escalar y despuntar, pero su contenido a menudo no es editable, aun por el mismo programa que lo creo (los archivos de Adobe Illustrator son la excepción)



El archivo GIF.

El formato **GIF** -- o "**Graphics Interchange Format**" – define un protocolo para la transmisión en línea e intercambio de datos gráficos rastreados, de forma tal que es independiente del hardware usado en su creación o despliegue.

El formato "**GIF**" fue desarrollado en 1987 por **CompuServe** – uno de los servicios de tableros de avisos (**BBS**) más exitosos – para comprimir imágenes de 8 bits que pudieran ser telecomunicadas a través de sus servicios e intercambiadas con otros usuarios.

El archivo "**GIF**" está definido en términos de bloques y sub-bloques, los cuales contienen parámetros y datos relevantes usados en la reproducción de un gráfico. Una cadena de datos gif es una secuencia de bloques de protocolo y sub-bloques que representan una colección de gráficos.



El archivo JPEG.

JPEG es un mecanismo estandarizado de compresión de imágenes. El nombre se deriva de "**Joint Photographics Expert Group**" el nombre original del comité que escribió el estándar. En realidad **JPEG** no es un formato de archivo sino más bien un método de codificar datos usado para reducir el tamaño de un archivo de datos. Es muy comúnmente usado en formatos de archivo tales como el "**JFIF**" y el "**TIFF**".

El formato **JPEG** de intercambio de archivo (**JFIF**) es un formato de archivo mínimo, el cual habilita a las cadenas de bits **JPEG** a ser intercambiadas entre una variedad de aplicaciones y plataformas. Este formato mínimo no incluye ninguna de las características avanzadas del formato **TIFF**, **JPEG** o cualquier otra especificación de formato de archivo.

JPEG está diseñado para comprimir imágenes de color o en escala de grises de escenarios naturales del mundo real. Funciona muy bien con fotografías, arte naturalista y material similar, pero no muy bien cuando se trabaja con letras o arte de líneas. Se utiliza muy comúnmente en transmisión en línea como por ejemplo en la **WEB**. Una imagen de 24 bits guardada en formato **JPEG** puede ver reducido su tamaño en un veintiocho de su tamaño original.



El archivo Photoshop

Un archivo **Photoshop** es el modo nativo de "**Adobe Photoshop**". Un archivo guardado en este formato solo puede ser abierto y editado en **Photoshop**. Sin embargo, el usuario tiene la opción de guardar el archivo en una variedad de otros formatos que son compatibles con ambientes Macintosh y PC.

La principal ventaja de "**Photoshop**" se hace presente cuando se trabaja con documentos que manejan capas. Por ejemplo, un fondo puede ser creado en una capa, y los gráficos se pueden agregar en una segunda capa, una capa de sombras en una tercera y texto en otra más. Cada capa es independiente una de otra y se puede editar por separado sin afectar el contenido de las



otras. **Photoshop** soporta la preservación de la información de las capas (layers), de forma que estas se pueden preservar para una edición adicional.

El archivo **IVUE**.

El archivo **IVUE** es un formato desarrollado por "Live Picture Inc." Para trabajar con su tecnología **FITS** (**F**unctional **I**nterpolating **T**ransformation **S**ystem).



Las acciones de edición de imagen se guardan matemáticamente en un archivo **FITS**, mientras que los datos originales de píxeles se guardan en el formato **IVUE**. Se crea un archivo nuevo de la imagen **IVUE** original basado en el archivo **FITS** en un simple y final proceso **RIP** que evita el error acumulativo de proceso. La ventaja más grande del formato es la habilidad de tratar con la porción de la imagen que esta siendo editada, por consiguiente mejorando la velocidad de despliegue entre ediciones.

Un día en la vida de un usuario común de archivos de imagen

Mientras que, el numero de computadoras en los hogares y pequeños negocios sé disparo al cielo en los últimos años, el porcentaje de estas que se usan en imagen digital es extremadamente bajo. Si los usuarios de computadora se clasificarán de acuerdo al uso de imágenes digitales, estos serian clasificados en alguno de estos tres grupos:

Los usuarios poderosos que podrían definirse como una minoría de profesionales de la imagen y algunos otros usuarios avanzados de computadora con alto conocimiento que manejan el poderoso hardware y software requerido para tratar con la actual tecnología de imágenes.

Las masas "no vendidas" son la vasta mayoría de usuarios de computadora quienes no han tratado siquiera de usar fotografías. Ellos piensan de las computadoras como herramientas para edición de texto y hojas de calculo.

En medio de aquellos dos grupos muy divergentes esta un tercero el cual podría ser llamado los "poco cansados". Estos son usuarios promedio quienes han tratado con imágenes digitales solo para verse frustrados por una serie de complejos formatos y arreglos, resoluciones, bajo rendimiento, inconsistencia de colores y almacenamiento inadecuado. Una parte de esta gente invierte tiempo y dinero para poder ser "usuario poderoso" pero la gran mayoría de ellos se rinde por el tiempo que toma.

Juan es uno de ellos. Él trabaja en una pequeña compañía y hace publicidad de escritorio para una serie de departamentos, incluyendo ventas, recursos humanos, ingeniería y manufactura. Con tantas demandas colectivas y fechas limite muy cerradas, él tiene uno de esos días.

Recientemente, el departamento de ventas le pidió si podría agregar algunos colores a una cartel de ventas que estaba preparando para ellos. La idea le pareció a Juan, aun cuando él sabía que esto significaría mas horas de trabajo ya que él nunca había explorado las imágenes digitales. El primer impacto fue la serie de términos técnicos y palabras raras tales como, relación de aspecto, líneas por pulgada, píxeles por pulgada, puntos por pulgada, balance de color, saturación... y así sucesivamente.

Juan decidió "aventarse". Compró un escáner de transparencias, lo conectó a su computadora e inició la adquisición de imágenes para el cartel de ventas. Primero tenía que decidir que resolución usar. El cartel de veta se iba a imprimir en un fino acabado, así que optó por la resolución más grande.

Ese fue el primer problema, el mismo se dio cuenta con un archivo de 18 megabytes, y su sistema trabado. Reinició la máquina y redujo la resolución, ahora tenía un archivo de 4 megas. Eso se veía más razonable, así que procedió a coleccionarlo y hacer algunas mejoras con Photoshop.

Cada vez que la pantalla se refrescaba, le parecía que iba a durar para siempre, por supuesto que para un profesional con una estación gráfica de trabajo muy poderosa esto no es un problema, pero para Juan – con su Pentium 100 y 16 MB de RAM – esto es un verdadero reto. Le habló a su proveedor de equipo de cómputo y le preguntó cuánto le costaría actualizar su equipo a un sistema que pudiera manejar esta clase de trabajo, la respuesta que recibió fue el segundo impacto.

Entonces para cerrar con broche de oro, una de las imágenes que necesitaba venía de una agencia que se basaba en Mac en formato "TIFF". Ahora tenía que imaginar cómo importar la imagen en la resolución correcta y el tamaño apropiado. Para Juan el tiempo corría... al final una total frustración.

El choque final llegó cuando Juan recibió un estimado por parte de una compañía local dedicada a este servicio por hacer el trabajo.

¿La última línea? Se había acabado el presupuesto para el proyecto del cartel de venta, tomó tanto tiempo en el proyecto que había fallado en fechas de entrega para otros departamentos y ya no estaba tan emocionado de involucrarse con imágenes digitales al menos no por un tiempo.

Juan se convirtió en un usuario "un poco cansado"

Fundamentos de imágenes digitales.

Este curso proporciona una comprensión fundamental de cómo las imágenes de filme se capturan, procesan y se sacan digitalmente. Cada módulo está seguido de un breve resumen y también de un examen de competencia para el mismo.

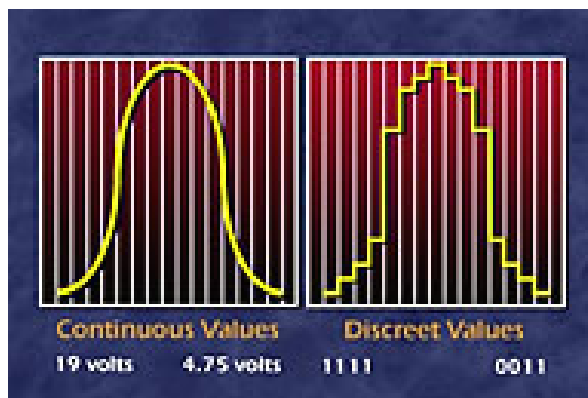
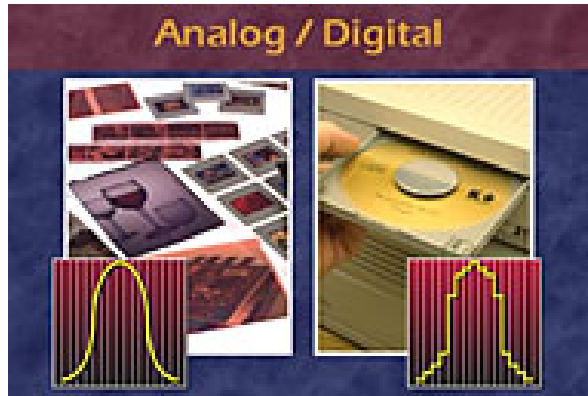
Lección 1. La imagen digital.

En este módulo exploraremos las propiedades fundamentales de una imagen digital fotográfica.



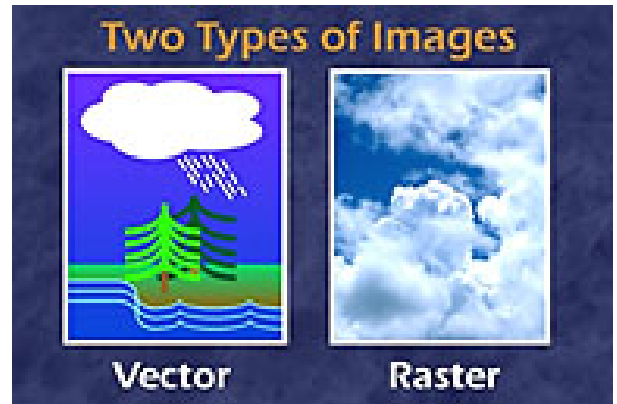
La imagen digital.

En este módulo, exploraremos las propiedades fundamentales de la imagen fotográfica digital. Los productos de imagen digital como los foto CD, nos permiten capturar y guardar imágenes de película de forma electrónica y luego procesarlas en una computadora, muy parecido a la forma en que lo hacemos con textos y dibujos. Una imagen de película se representa electrónicamente por formas de onda continuas, una imagen digital está representada por valores digitales derivados de un muestreo de la imagen análoga. Los valores análogos son continuos, los valores digitales son pulsos electrónicos discretos que han sido traducidos en cadenas de unos y ceros, los únicos dígitos en el sistema numérico binario.



Gráficos de vector y rastreados.

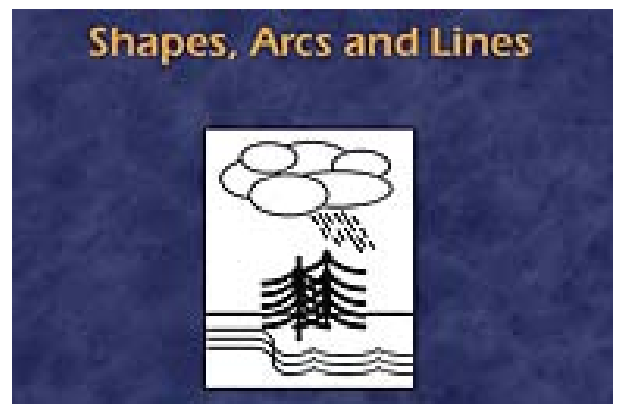
Antes de que echemos un vistazo a la imagen fotográfica digital, necesitamos entender la diferencia entre dos formas que tiene la computadora de guardar los datos de una imagen: gráfico vectorizado y gráfico rastreado



Los gráficos vectorizados, también conocidos como gráficos orientados a objetos, se crean con varios programas de dibujo.



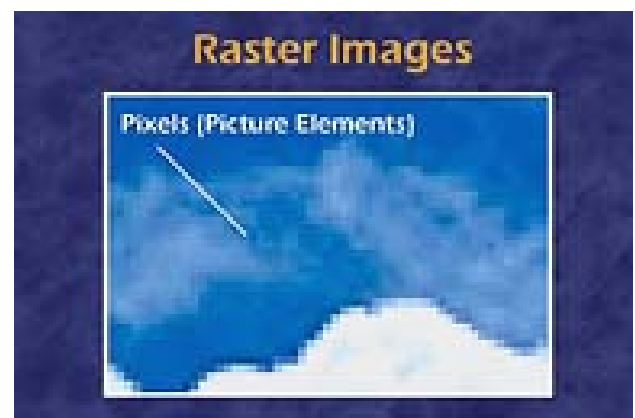
Las imágenes de vector se almacenan como una lista de despliegue, describiendo la ubicación y propiedades del objeto que hace la imagen, tal como formas, arcos y líneas.



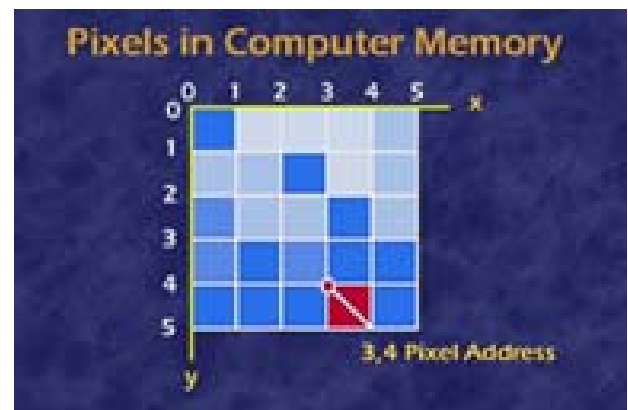
Los gráficos rastreados, también conocidos como gráficos de mapa de bits, se crean en escáneres y cámaras digitales. A partir de este punto en este curso, estaremos hablando de imágenes rastreadas (escaneadas).



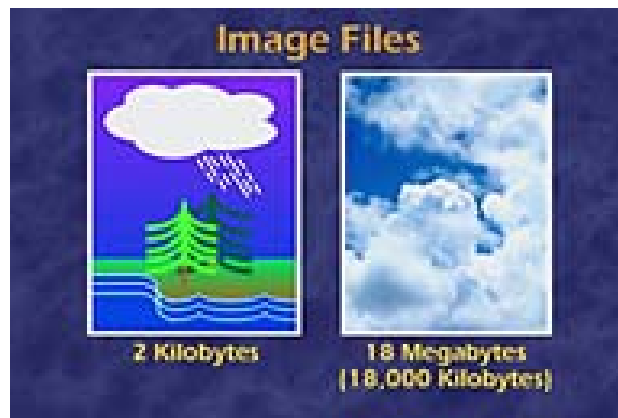
Las imágenes rastreadas se "pintan" a lo largo de la pantalla de la computadora en un arreglo de elementos cuadrados llamados píxeles, un píxel es una conjunción de "picture" y "element", "pi-x-el".



Cada píxel se almacena en una área de memoria llamada "bit map", cada píxel tiene un número de dirección.

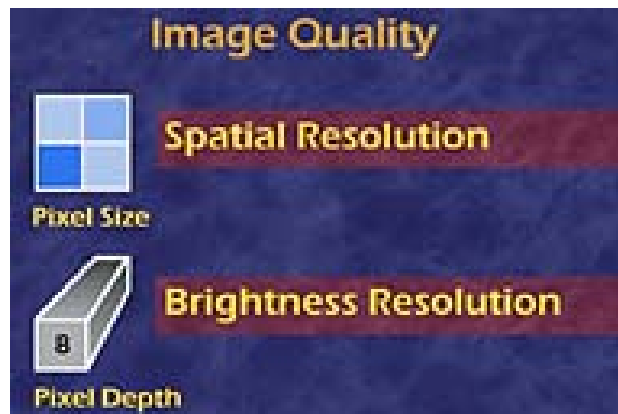


Guardar una formula para crear una imagen vectorizada solo toma unos cuantos kilo bytes, almacenar la localización y valor de cada píxel de una imagen rastreada se puede tomar miles de veces más memoria.

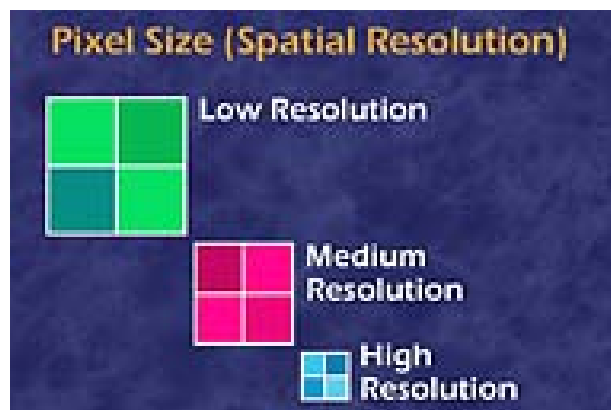


Calidad de la imagen.

La calidad de una imagen escaneadas se determina por dos factores: la resolución espacial y la resolución de brillo.



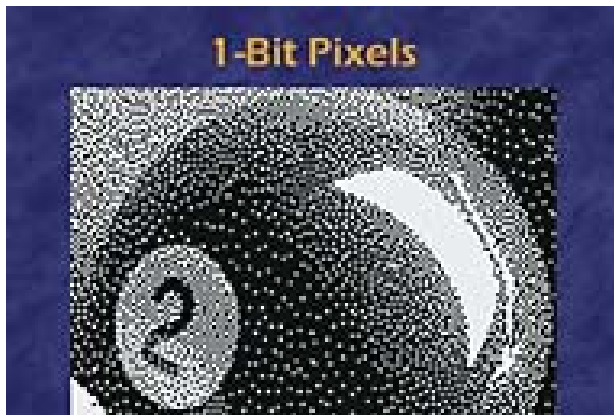
Como veremos en el modulo de Captura, el tamaño del píxel se determina por la velocidad a la cual el escáner muestrea la imagen. Un intervalo de muestreo prolongado produce una imagen de baja resolución espacial, un intervalo corto produce una de alta resolución.



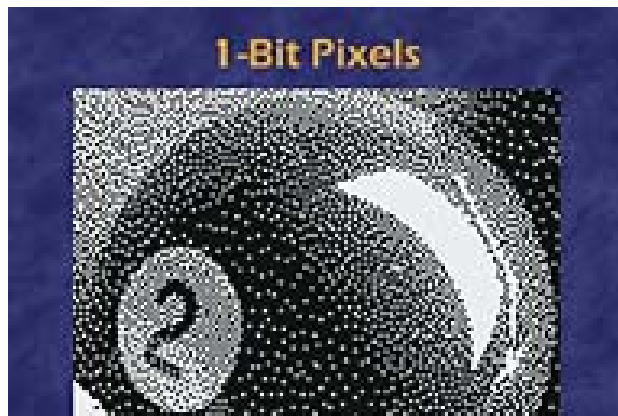
La brillantez o valor del color de cada píxel se define por un bit o por un grupo de bits. Entre mas bits se usen mas es la resolución del brillo.



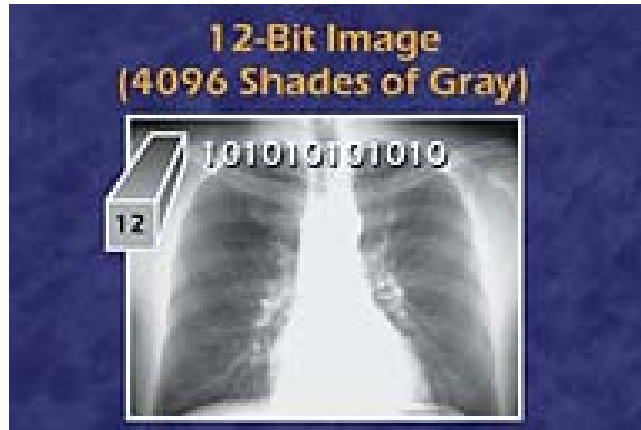
Una imagen de un bit solo puede tener dos valores, blanco o negro. Una imagen de 1 bit simula grises por medio de la agrupación de píxeles blancos y negros. A este proceso se le denomina "difuminar" o medios tonos.



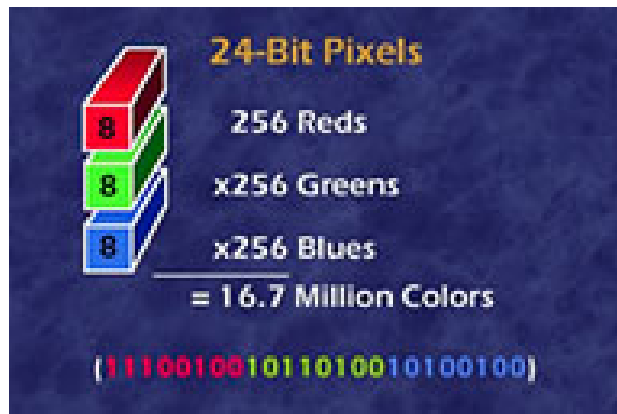
Una imagen en escala de grises de 8 bits, despliega 256 niveles de brillantez. Cada píxel es blanco, negro o de 254 tonos de gris.



Una resolución mas alta de 12 bits para aplicaciones medicas proporciona hasta 4000 niveles de brillantez.



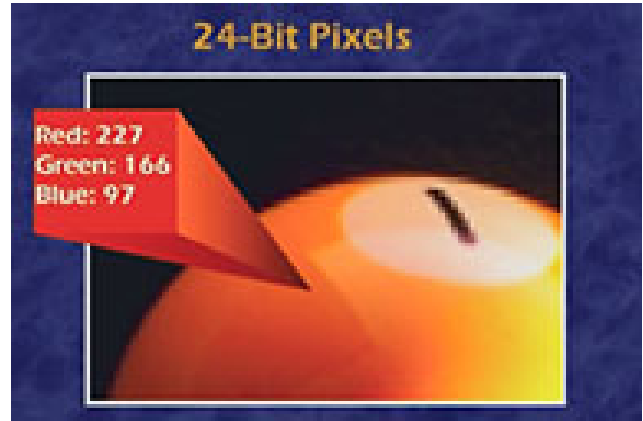
En una imagen de 24 bits, cada píxel esta descrito por un arreglo de tres números de 8 bits que representan los valores de brillantez del Rojo, Verde y Azul.



Las imágenes de 24 bits de resolución despliegan 16.7 millones de colores



Cada píxel en una imagen de 24 bits tiene un valor de entre 256 de brillantez para el Rojo, el Verde y el Azul.



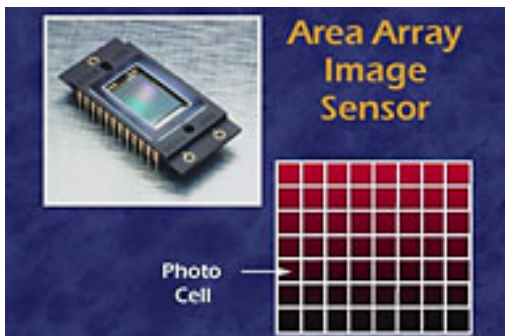
Captura.



Un sistema de captura básico contiene una lente y un detector, la película detecta tanta información visual como le es posible con un sistema digital.



Con fotografía digital, el detector es un sensor de imagen de estado sólido llamado CCD "charge coupled device".



Sobre un CCD con arreglo de matriz, miles de fotoceldas microscópicas crean píxeles al sentir la intensidad de la luz de las pequeñas porciones en la imagen.

Diferencia entre un sensor CCD y uno CMOS (6.2)

¿Cuál es la diferencia entre un sensor de imagen CCD y uno CMOS en una cámara digital?

Las cámaras digitales han llegado a ser sumamente comunes conforme su precio ha disminuido. Uno de los motivos que han impulsado la baja en los precios ha sido la introducción de un sensor de imagen llamado **CMOS**. El sensor de imagen **CMOS** es mucho menos caro de fabricar que un sensor **CCD**.

Ambos sensores de imagen tanto el **CCD** (charge-coupled device) como el **CMOS** (complimentary metal-oxide semiconductor) comienzan en el mismo punto – estos tienen que convertir la luz en electrones. Si has leído la sección “**Como trabajan las celdas solares**”, comprenderás la tecnología que es usada para llevar a cabo la conversión. Una forma simple de pensar sobre ella es, tener un arreglo de dos dimensiones de miles de millones de celdas solares pequeñas, cada una de las cuales transforma la luz de una pequeña porción de la imagen en electrones. Ambos sensores realizan esta tarea usando una variedad de tecnologías.

El siguiente paso es **leer el valor** (carga acumulada) de cada una de las celdas en la imagen. En un dispositivo **CCD**, la carga se transporta a través del chip y leída en una esquina del arreglo. Un convertidor análogo a digital convierte cada valor de píxel en un valor digital. En la mayoría de los dispositivos **CMOS** existen varios **transistores** en cada píxel que amplifican y mueven la carga usando conductores tradicionales. El método del **CMOS** es más flexible porque cada píxel puede ser leído individualmente.

Los **CCDS** utilizan un proceso especial de manufactura para crear la habilidad de transportar carga a través del chip sin distorsión, este proceso conduce a un sensor de muy alta calidad en términos de fidelidad y sensibilidad a la luz. Los chips **CMOS** por otro lado utilizan el proceso tradicional de fabricación para crear el chip – el mismo proceso usado para fabricar la mayoría de los microprocesadores. Debido a las diferencias de proceso usadas, existen algunas diferencias notables entre los sensores **CCD** y **CMOS**.

Los sensores **CCD**, como se menciono anteriormente, crean imágenes de alta calidad y poco ruido, los **CMOS** son tradicionalmente más sensibles al ruido.

Dado que cada píxel en el sensor **CMOS** tiene varios transistores localizados junto a él, la sensibilidad del chip CMOS tiende a ser mas baja. Muchos de los fotones que golpean el chip golpean los transistores en vez del fotodiodo.

Los **CMOS** tradicionalmente consumen menos potencia. Al implementar un sensor CMOS se obtiene un sensor de baja potencia.

El **CCD** utiliza un proceso que consume mucha potencia, este consume tanto como 100 veces más potencia que su equivalente **CMOS**.

Los chips CMOS se pueden fabricar en casi cualquier línea estándar de producción de silicio de forma que tienden a ser muy baratos comparados con los **CCDS**.

Los sensores CCD se han producido en masa por algún periodo largo de tiempo de manera que son un producto mas maduro. Estos tienden a tener una calidad más alta y más píxeles.

Basados en estas diferencias, podrás ver que los CCD tienden a ser usados en cámara que son para imágenes de alta calidad con muchos píxeles y excelente sensibilidad a la luz. Los sensores CMOS tradicionalmente tienen menor calidad, menor resolución y menor sensibilidad pero estos están en proceso de mejorar, al punto que están alcanzando a los dispositivos CCD en algunas aplicaciones. Las cámaras con CMOS por lo general son más baratas y les dura más la batería.

Las siguientes ligas te ayudaran a aprender mas:

Patent# 5,841,126: CMOS active pixel sensor type imaging system on a chip	http://patft.uspto.gov (PN/5,841,126)
Patent# 5,471,515: Active pixel sensor with intra-pixel charge transfer	http://patft.uspto.gov (PN/5,471,515)
Patent# 6,005,619: Quantum efficiency improvements in active pixel sensors	http://patft.uspto.gov (PN/6,005,619)
PhotoCourse.com: CCD and CMOS Image Sensors	http://www.photocourse.com/01/01-04.htm
BeyondLogic: CMOS Digital Image Sensors	http://www.beyondlogic.org/imaging/camera.htm
Vision Sensing: CCD, CMOS or other image capturing sensors	http://sensors-transducers.globalspec.com/ProductGlossary/Sensors_Transducers_Detectors/Vision_Sensing

Glosario

APS (Advanced Photo System) APS incorpora algunas nuevas tecnologías en un excitante sistema fotográfico que incluye cámara, películas y procesamiento. Con su abundancia de características fáciles de usar, te garantizan prácticamente fotografías de alta calidad y un rato feliz tomándolas.

BMP Un formato gráfico de mapa de bits para windows, el cual almacena imágenes como un arreglo de puntos o píxeles.

CCD (Charge Coupled Device) Un sensor de estado sólido que convierte la energía de la luz en electricidad.

CMYK Un sistema de impresión en color que consiste de cuatro colores: Cyan, Magenta, Amarillo y Negro.

EPS (Encapsulated PostScript) Un formato estándar de alta resolución para ilustraciones Post Script.

Exif (Exchangeable Image Format) un formato de archivo usado en cámaras digitales.

FITS (Functional Interpolating Transformation System) Un formato que contiene todos los datos usados para diseñar y ensamblar archivos extremadamente grandes en una estructura matemática pequeña y eficiente.

FPX Un formato de imagen multi resolución en el cual la imagen se almacena como una serie de arreglos independientes, desarrollado por Eastman Kodak, Hewlett Packard, Live Picture Inc. Y Microsoft Corp. Y fue introducido en Junio de 1996.

GIF (Graphic Interchange Format) Un formato de archivos gráficos de mapa de bits muy popular para guardar imágenes de baja resolución.

ICC (International Color Consortium) Establecido en 1993 por 8 vendedores de la industria con el propósito de crear promocionar y alentar la estandarización y evolución de un sistema de componentes y administración de color, abierto, independiente del vendedor y de la plataforma

Image Pac Es un formato de archivo propietario diseñado específicamente para guardar imágenes de calidad fotográfica en CD. En la actualidad usado en numerosas aplicaciones comerciales científicas y de preimpresión.

IVUE Un formato de archivo asociado con la tecnología **FITS** que posibilita a las imágenes de ser abiertas y desplegadas en segundos, mostrando solamente tanta información como lo permita la pantalla y el factor de acercamiento.

JFIF (JPEG File Interchange Format) Un formato mínimo de archivo que posibilita a las cadenas de bits de un JPEG a ser intercambiadas entre una amplia gama de plataformas y aplicaciones.

JPEG (Joint Photographic Experts Group) Una técnica de compresión de gráficos de color de mapa de bits.

LCD (Liquid Crystal Display) Un panel plano de pequeñas celdas usado en computadoras móviles en lugar de un monitor.

MB (Megabyte) Una medida de la memoria de una computadora y capacidad de almacenamiento, un mega byte es igual a 1,024 kilo bytes o 1,048,576 bytes.

OLE (Object Linking and Embedding) Un estándar para combinar datos de diferentes aplicaciones que se actualiza automáticamente.

PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) Un formato estándar para tarjetas de expansión tamaño tarjeta de crédito usadas para agregar capacidad de almacenamiento a una computadora.

Photo YCC Un esquema de codificación de color desarrollado por **Kodak** para su formato de archivos de imágenes PAC.

PIC Un formato de archivo estándar para archivos de animación.

PICT Un formato de archivo estándar para archivos de mapa de bits y orientados a objetos.

Pixels Abreviatura para “picture” y “element” “pi-x-el”. Uno de los pequeños puntos de luz que hacen la imagen en una pantalla de computadora. Entre más pequeños y juntos estén estos, mayor es la resolución.

PostScript Un lenguaje de computadora diseñado para controlar exactamente como y donde los elementos impresos – líneas, tipos y gráficos – aparecerán en la pagina.

PQIX (Picture Quality Image Exchange) Registros de información acerca de la escena que está siendo fotografiada sobre una capa magnética delgada que está en la parte posterior de la película y ópticamente sobre la emulsión. PQIX también permite a los laboratorios de impresión fotográfica incluir información como fecha, hora y títulos en el anverso de tu foto.

RAM (Random Access Memory) Los chips en una computadora que contienen la memoria de trabajo.

Exchange (Red, Green, Blue) Los colores primarios usados por los monitores para crear imágenes tal como aparecen en la pantalla.

RIP (Raster Image Processor) Una pieza de hardware o software que convierte gráficos orientados a objetos y tipos en los mapas de bits requeridos para sacarlos a una impresora.

TIFF (Tag Image File Format) El formato estándar de archivo para gráficos de mapa de bits de alta resolución, especialmente de los escaners.

TIFF/EP (Tag Image File Format for Electronic Photography) Una versión del formato de archivo “TIFF” usado por Kodak en sus cámaras digitales para guardar datos que no son de imagen con muchos tipos diferentes de datos de imagen

TWAIN Un programa de control de rastreo que se activa dentro de una aplicación para permitir el ajuste de brillantez, contraste, etc.

REFERENCIAS.

Información de Kodak: En los EU, llame al numero 1-800-235-6325 (1-800-CD-KODAK) o 1-716-726-7260 (llamada de larga distancia), en Canadá llame al 1-800-465-6325 (1-800-GOKODAK). De cualquier otra parte del mundo, llame a su oficina Kodak más cercana.

Kodak y Kodak Professional son marcas registradas de Eastman Kodak Company.

Mayor información sobre formatos Gráficos

Se puede encontrar mas información acerca de formatos de archivos gráficos y tópicos relacionados en las siguientes fuentes:

Numero	Autor	Titulo	Editorial
	James D. Murray and William van Ryper	Encyclopedia of Graphics File Formats	O'Reilly & Associates Inc. 1994
	Jeff Walden	File formats for Popular PC Software: A Programmer's Reference	John Wiley & Sons, Inc. 1986
	Gunter Born, Allen G. Taylor	File Format Handbook	Microtrend Books 1992
		The File Format Handbook	International Thomson Computer Press 1995)
	David C. Kay and John R. Levine	Graphics File Formats	Windcrest Books/McGraw-Hill 1995
	C. Wayne Brown and Barry J. Shepherd	Graphics File Formats: Reference and Guide	Manning Publications 1994
	Steve Rimmer	The Graphic File Toolkit: Converting and Using Graphic Files	Addison-Wesley 1994
	Jon Peddie	High Resolution Graphics Display Systems	Windcrest Books/McGraw-Hill 1994
	Tom Swan	Inside Windows File Formats,	Sams Publishing 1993
	Tim Kientzle	Internet File Formats	The Coriolis Group 1995
	Ralf Kussmann	PC File Formats & Conversions	Abacus 1990

OTRAS REFERENCIAS

AUTORES Y MAGAZINES

FIBRAS OPTICAS (UNIDAD 7)

7.1 Principios básicos.

7.2 Construcción.

7.3 Aplicaciones.

Como trabajan las fibras ópticas.

Por: Craig C. Freudenrich, Ph.D.

Traducción de: Alfonso Pérez García

Tu has oído hablar acerca de los cables de fibra óptica siempre que la gente habla sobre los **sistemas telefónicos**, los **sistemas de televisión por cable** o internet. Las líneas de fibra óptica son hilos de **vidrio** óptico puro, tan delgado como un cabello humano; que transporta información digital sobre grandes distancias. También son usadas en imágenes medicas e ingeniería de inspección mecánica

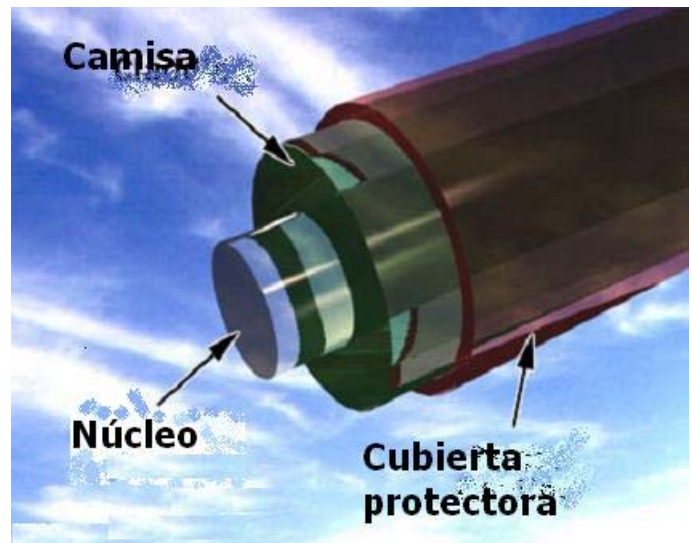
En este artículo, te mostraremos como estos pequeños hilos de vidrio transmiten la luz, y la fascinante forma en que estos hilos se fabrican.



Foto cortesía de: **Corning**
Un alambre de fibra óptica.

¿Qué son las fibras ópticas?

Las **fibras ópticas** (son grandes y delgadas tiras de hilo de vidrio puro de un diámetro de alrededor de un cabello humano). Estos se arreglan en manojos llamados **cables ópticos** y se usan para transmitir señales de luz sobre grandes distancias.



Partes de una fibra óptica simple

Si miras de cerca de un fibra óptica simple, verás que se compone de las siguientes partes:

núcleo – El Delgado centro de vidrio de la fibra donde viaja la luz.

Cubierta o Funda – material óptico exterior que rodea al núcleo que refleja la luz hacia el interior del núcleo.

Cubierta protectora – cubierta de plástico que protege de daños y humedad.

Cientos de miles de estas fibras ópticas se arreglan en manojos en cables ópticos. Los manojos se protegen por una cubierta exterior llamada **chaqueta o camisa (jacket)**

Las fibras ópticas vienen en dos tipos:

Fibras mono modo.

Fibras multi modo.

Refiérase a [tpub.com](http://www.tpub.com), teoría de modo, para una buena explicación.

(<http://www.tpub.com/neets/tm/106-10.htm>)

Las **fibras mono modo** tiene pequeños núcleos (alrededor de 3.5×10^{-4} pulgadas o 9 micrones de diámetro) y transmiten luz infrarroja láser (longitud de onda de 1300 a 1550 nanómetros).

Las **fibras multi modo** tiene pequeños núcleos (alrededor de 2.5×10^{-3} pulgadas o 62 micrones de diámetro) y transmiten luz infrarroja (longitud de onda de 850 a 1300 nanómetros) de diodos emisores infra rojos.

Algunas fibras óptica se pueden fabricar de **plástico**. Estas fibras tiene un núcleo grande (0.04 pulgadas o 1 mm de diámetro) y transmiten luz visible roja (longitud de onda de 650 nM) proveniente de leds.

¿Cómo transmite luz una fibra óptica?

Supón que tu quieres hacer brillar un haz de luz flash a largo de todo un corredor, solo apuntas el haz en la dirección del corredor – la luz viaja en líneas rectas de forma que no hay ningún problema – ¿que pasaría si la luz tendiera a desviarse? Podrías colocar un espejo en el punto de desvío para reflejar el haz de luz. ¿qué pasaría si el corredor es muy ondulado? Podrías colocar espejos y reflejar el haz de luz de forma que rebote de un lado al otro a lo largo del corredor. Esto es lo que pasa exactamente en una fibra óptica.

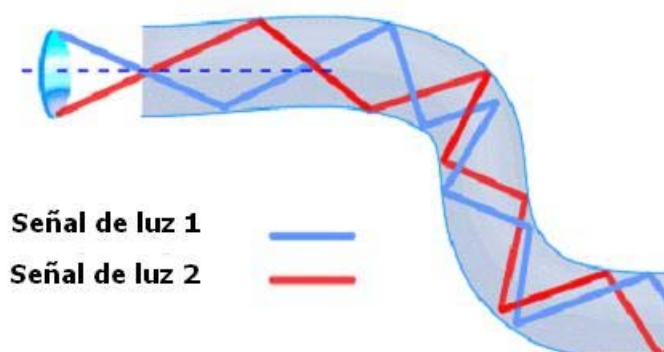


Diagrama de reflexión total interna en una fibra óptica.

¿Necesitas saber mas? Checa la descripción detallada de la física de la reflexión interna total, (<http://electronics.howstuffworks.com/fiber-optic6.htm>)

La luz en la fibra óptica viaja a través del núcleo (corredor) por medio de rebotes constantes desde la cubierta reflejante (paredes espejo), un principio llamado **reflexión interna total**. Dado que la cubierta reflejante no absorbe ninguna cantidad de luz del núcleo, la onda de luz puede viajar grandes distancias, sin embargo algo de la señal de luz se **degrada** dentro de la fibra principalmente debido a impurezas en el vidrio. La medida en que la señal se degrada depende de la pureza del vidrio y la longitud de onda de la luz transmitida (por ejemplo, 850 nM = 60% o 75% por Km.; 1300 nM = 50% o 60% por Km.). Algunas fibra calidad premium muestran una degradación mucho menor – menos del 10% por kilo metro a 1550 nM.

Un sistema de relevo de fibra óptica.

Para comprender como se usan las fibras ópticas en los sistemas de comunicación, miremos un ejemplo de una película de la segunda guerra mundial o documental donde dos barcos en una flota necesitaban comunicarse uno con otro mientras que la radio debía de permanecer en silencio o en mares tormentosos. Un barco se alinea junto al otro, el capitán de un barco envía un mensaje a un marinero en la cubierta del otro barco. El marinero traduce el mensaje en clave Morse (puntos y rayas) y usa una señal luminosa (una lámpara con un obturador tipo veneciano en ella) para enviar el mensaje al otro barco. Un marinero en la otra cubierta ve el mensaje en código Morse y lo traduce al español y lo envía al capitán.

Ahora imagina que haces esto cuando los barcos están separados por miles de kilómetros y tu tienes un sistema de comunicación de fibra óptica entre los dos barcos. Un sistema de relevo de fibra óptica consiste de lo siguiente:

Transmisor – produce y codifica las señales de luz.

Fibra Óptica – conduce la señal de luz sobre una distancia.

Regenerador Óptico - puede ser necesario amplificar la señal de luz (para grandes distancias)

Receptor Óptico – mas recibe y decodifica las señales de luz.

Transmisor.

El **transmisor** es como el marinero en la cubierta del barco que envía, este recibe y dirige el dispositivo óptico para prender y apagar la luz en la secuencia correcta, por lo tanto generando una señal de luz.

El transmisor está físicamente cerca de la fibra óptica y mas aun tiene un lente para enfocar la luz en la fibra. Los láser tienen mas potencia que los leds, pero varían mas con los cambios de temperatura y son mas caros. Las longitudes de onda mas comunes de las señales de luz son 850 nM, 1,300 nM y 1550 nM (infrarrojos, porción no visible del espectro)

Regenerador óptico.

Como se menciono anteriormente, ocurren algunas **perdidas de señal** cuando la luz se transmite a través de la fibra, especialmente cuando son grandes distancias (mas de media milla o un kilómetro) un ejemplo los cables bajo del mar. Por lo tanto se distribuyen uno o mas **regeneradores ópticos** a lo largo del cable para amplificar las señales de luz degradadas.

Un regenerador óptico consiste de fibras ópticas con una cubierta especial (**dopado**). La porción dopada se "bombea" con un láser. Cuando la señal degradada llega a la cubierta dopada, la energía del láser permite a las moléculas dopadas volverse láser por si misma. Las moléculas dopadas emiten entonces una nueva y amplificada señal con las mismas características que la débil señal entrante. Básicamente el regenerador es un amplificador láser para la débil señal entrante. Véase "**photonics.com: fiber amplifiers**" para mas detalles.

(<http://www.photonics.com/spectra/features/XQ/ASP/artabid.237/QX/read.htm>)

Receptor óptico.

El receptor óptico es como el marinero en la cubierta del barco receptor. Este toma las señales ópticas digitales entrantes, las decodifica y envía la señal eléctrica a los otros usuarios, computadora, TV o teléfono (capitán del barco receptor). El receptor utiliza una foto celda o fotodiodo para detectar la luz.

Ventajas de la fibra óptica.

¿porque las fibras ópticas están revolucionando las telecomunicaciones? Comparadas con los alambres metálicos convencionales (alambre de cobre), las fibras ópticas son:

Menos caras – varias millas de fibra óptica son mas baratas que su equivalente en cobre. Esto le ahorra dinero a tu proveedor (TV cable o internet) y tu dinero.

Mas delgadas – las fibra ópticas son mas pequeñas en diámetro que los alambres de cobre.

Capacidad de carga mas grande. – dado que las fibras ópticas son mas delgadas que los alambres de cobre, se pueden juntar mas conductores en un diámetro dado de fibras ópticas que de alambres de cobre. Esto permite que se tengan mas líneas telefónicas en el mismo tendido o mas canales de TV en tu receptor de TV por cable.

Menos degradación de la señal. – la perdida de señal en una fibra óptica es menor que en un alambre de cobre.

Señales de luz. – a diferencia de las señales eléctricas en los alambres de cobre, las señales de luz de una fibra no interfieren con las de otra fibra en el mismo tendido. Estos significa conversaciones telefónicas mas claras o recepción de TV mas clara.

Baja potencia – Dado que las señales se degradan menos en las fibras ópticas, se pueden usar transmisores de mas baja potencia en vez de los transmisores eléctricos de alto voltaje utilizados con conductores de cobre. Una vez mas esto ahorra dinero para ti y tu proveedor.

Señales Digitales – Las fibras ópticas son idealmente aptas para el transporte de información digital, la cual es especialmente útil en redes de computo.

No-flamable – Dado que no existe el uso de electricidad en las fibras ópticas no hay riesgo de fuego implícito.

Peso ligero – Un cable óptico pesa menos que su análogo de cobre. Los cables de fibra óptica ocupan menos espacio en la tierra.

Flexible – Dado que las fibras son tan flexibles y pueden transmitir o recibir luz estas son utilizadas en muchas cámaras digitales flexibles para los siguientes propósitos:

Visualización de imágenes medicas. – en broncoscopios, endoscopios y laparoscopios.

Visualización de imágenes Mecánicas – Inspeccionando soldaduras mecánicas en tuberías y maquinas (en aeroplanos, cohetes, naves espaciales y autos)

Plomería. – Para inspeccionar líneas de ensamble

Debido a estas ventajas tu puedes ver la fibras ópticas en muchas industrias, mas notablemente en las telecomunicaciones y redes de computo. Por ejemplo, si tu telefoneas a Europa desde los estados unidos o viceversa y la señal es rebotada a un satélite de comunicaciones, a menudo se escucha un eco sobre la línea. Pero cuando se hace por cables de fibra óptica transatlánticos se obtiene una conexión directa sin ecos.

¿Cómo se hacen las fibras ópticas?

Ahora que conocemos como trabajan los sistemas de fibra óptica y porque son tan útiles - ¿Cómo las hacen? Las fibras ópticas están hechas de **vidrio óptico** extremadamente puro. Nosotros pensamos en una ventana de vidrio como transparente, pero cuando mas grueso se vuelve el vidrio menos transparente es debido a impurezas del mismo. Sin embargo, el vidrio en una fibra óptica tiene por mucho menos impurezas en él comparado con una ventana de común. Una descripción de una compañía acerca de la calidad del vidrio dice así:

Si estuvieras arriba de un océano que fuera de varios kilómetros de fondo y este fuera de sólido vidrio de fibra óptica, podrías ver claramente el fondo.

Hacer fibras óptica requiere los siguientes procesos:

Hacer un cilindro de vidrio preformado (conocido como la **preforma**)

Estirar las fibras de la preforma.

Probar la fibras.

Haciendo el blank preformado.

El vidrio de la preforma esta hecho por un proceso llamado **Deposición de vapor química modificada** (MODIFIED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION, **MCVD**)

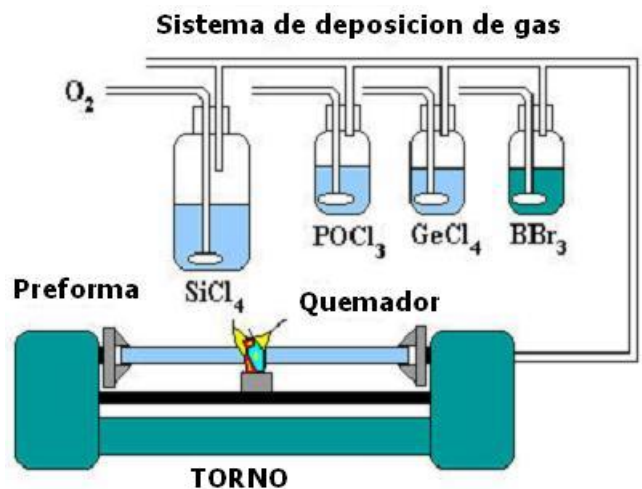


Imagen cortesía de: **Fibercore Ltd.**
Proceso MCVD para hacer la preforma.

En el proceso **MCVD**, el oxígeno es burbujeado a través de soluciones de cloruro de silicio (**$SiCl_4$**), cloruro de germanio (**$GeCl_4$**) y algunos otros químicos. La mezcla precisa gobierna las diferentes propiedades físicas y ópticas (Índice de refracción, coeficiente de expansión, punto de fusión, etc.). Los vapores de gas se conducen al interior de un **tubo de sílica sintética o cuarzo (Funda)** en un **soporte** especial. Conforme el **soporte** gira un soplete se mueve arriba y abajo del exterior del tubo. El extremo caliente del soplete causa que sucedan dos cosas:



Foto cortesía de: **Fibercore Ltd.**
Soporte usado en la preparación de la preforma.

El Silicio y el Germanio reaccionan con el oxígeno formando dióxido de silicio (**SiO_2**) y dióxido de Germanio (**GeO_2**).

El dióxido de Silicio y de Germanio se depositan en el interior del tubo y se funden juntos para formar vidrio.

El **soporte** gira continuamente para hacer una barra consistente. La pureza del vidrio se mantiene usando plástico resistente a la corrosión en el sistema de liberación de gas (válvulas, bloques, tuberías y sellos) y controlando de manera precisa el flujo y la composición de la mezcla. El proceso de hacer la barra **preforma** es un proceso altamente automatizado y se lleva algunas horas. Una vez que la **preforma** se enfría, esta se prueba para verificar su calidad (**índice de refracción**).

Dibujando las fibras desde el blank preformado.

Una vez que la **preforma** ha sido probada, se carga en la **torre de estiramiento de fib**

La barra es bajada en un horno de grafito (a temperaturas de 3452 °F o 1900 °C) y la punta comienza a fundirse y una gota fundida y comienza a caer por gravedad. Conforme cae se enfría y forma un hilo.

El operador hila la trama a través de una serie copas de recubrimiento (recubrimiento buffer) y hornos de curado de luz ultravioleta en un mecanismo hilador de tracción controlada. El mecanismo de tracción lentamente jala la fibra de la **preforma** calentada y se controla de manera precisa por medio de un **micrómetro láser** para medir el diámetro de la fibra y retroalimentar al mecanismo tractor. La fibra es jalada de la preforma a un ritmo de 33 a 66 pies por segundo (10 a 20 metros por segundo) y el producto terminado se enrolla en un hilador. No es nada fuera de lo normal que un hilador tenga mas de 1.4 millas (2.2 kilómetros) de fibra óptica.

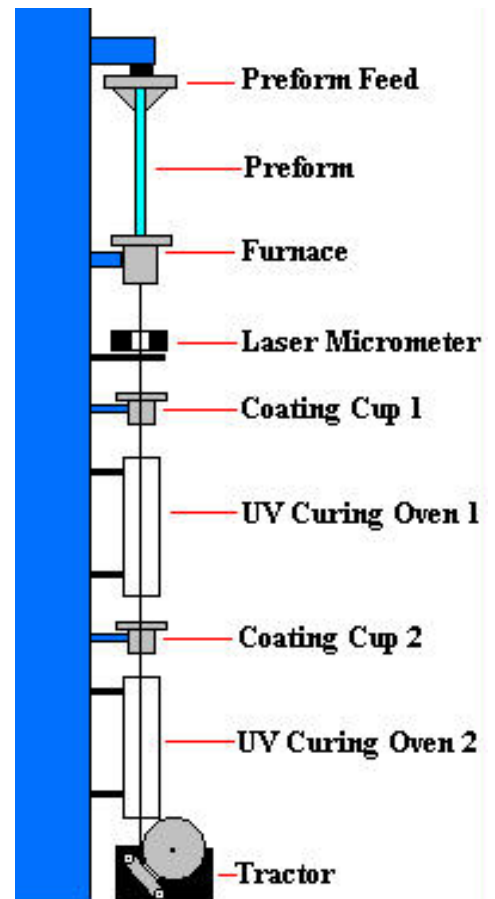


Diagrama de la torre de estiramiento de fibra usada para estirar fibras ópticas de vidrio de una **preforma**.

Probando la fibra óptica terminada.

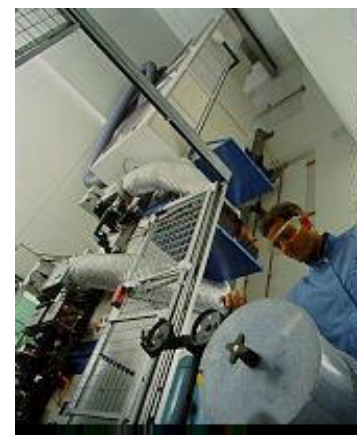
La fibra óptica terminada se prueba para los siguientes parámetros:

Resistencia a la tensión. Debe de resistir 100,000 libras por pie cuadrado.

Perfil de índice refractivo. Determina la apertura numérica así como también despliega los defectos ópticos.

Geometría de la fibra. Diámetro del núcleo, dimensión de la camisa y diámetro de recubrimiento uniformes.

Atenuación. Determina la extensión que las señales de luz de diferentes longitudes de onda se degradaran a una distancia.



Capacidad de transporte de información. (**Ancho de Banda**) numero de señales que pueden ser transportadas en un tiempo (fibras multi modo).

Dispersión cromática. La variedad de varias longitudes de onda de luz a través del núcleo (importante para el ancho de banda).

Rango de temperatura/humedad.

Dependencia de la temperatura de la atenuación.

Habilidad de conducir luz bajo el agua. Importante para los cables submarinos.

Una vez que las fibras han pasado el control de calidad, estas se venden a las compañías de teléfonos, de TV por cable y proveedores de servicios de red. Muchas compañías actualmente están reemplazando sus viejos sistemas con conductores de cobre por nuevos sistemas con fibra óptica, para mejorar la velocidad capacidad y claridad.

Foto cortesía de: **Corning**
Rollo terminado de fibra óptica

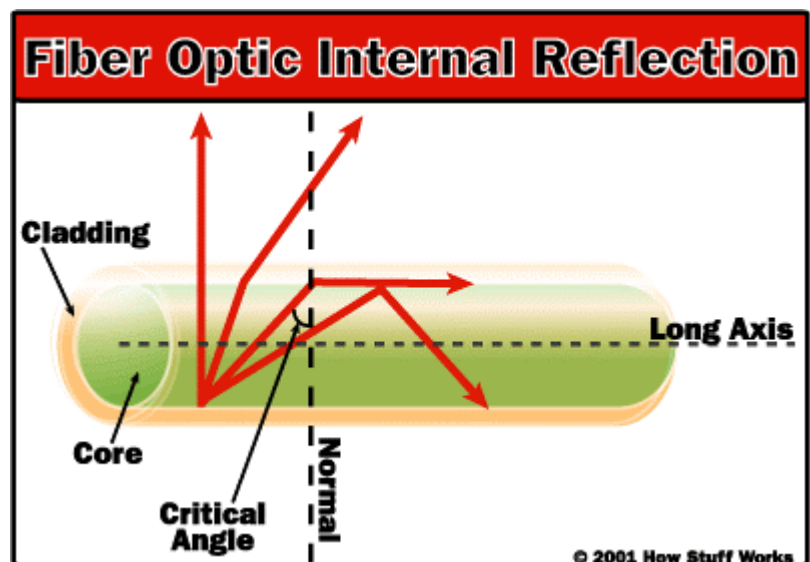


Física de la reflexión interna total.

Cuando la luz pasa a través de un medio con un **índice de refracción (m1)** a otro medio con un índice menor de refracción (**m2**), la luz se **dobla o refracta** a lo largo de una línea imaginaria perpendicular a la superficie (**línea normal**). Conforme el ángulo del haz a través de **m1** llega a ser mayor respecto de la línea normal, la luz refractada a través de **m2** se dobla aun mas lejos de la línea.

En un ángulo en particular (**ángulo critico**), la luz refractada no irá hacia m2 sino que viajará a lo largo y a través de la superficie entre los dos medios(**Sin (ángulo critico) = n2/n1**, donde n1 y n2 son los **índices de refracción (n1 es menor que n2)**). Si el haz a través de **m1** es mas grande que el **ángulo critico**, entonces el haz refractado se reflejara totalmente dentro del medio m1 (**reflexión interna total**), mas aun **m2** puede ser un **medio transparente!**

En física, el ángulo critico se describe con respecto de la línea normal. En fibras ópticas el ángulo critico se describe con respecto a el eje paralelo que corre por el medio de la fibra. Por lo tanto el ángulo critico de la fibra óptica = (90 grados – ángulo critico físico)



Reflexión interna total en una fibra óptica.

En una fibra óptica, la luz viaja a través del **núcleo** (m_1 , índice de refracción alto) por medio de una reflexión constante desde la **camisa o cubierta** (**cladding**, m_2 índice de refracción bajo) debido a que el **ángulo de la luz** siempre mayor que el **ángulo crítico**. La luz se refleja desde la camisa sin importar que ángulo tenga la fibra por si misma, aun si esta se dobla en un círculo completo.

Dado que la **camisa (cladding)** no absorbe ninguna luz del **núcleo**, la onda de luz puede viajar grandes distancias. Sin embargo algo de la luz se degrada dentro de la fibra, principalmente por impurezas en el vidrio. La extensión en que la señal se degrade depende de la **pureza del vidrio** y de la **longitud de onda** que será transmitida (por ejemplo para **850 nM** de un **60 a un 75 % por kilómetro**; para **1300 nM** de un **50 a un 60 %/Km**; para **1550 nM** es mayor al **50%/Km**). Algunas fibras ópticas **Premium** muestran degradaciones mucho menores en la señal – menos del **10 %/Km** a **1550 nM**.

Para mayor información sobre fibras ópticas y tópicos relacionados, cheque las [referencias](#)

Bibliografía y Referencias.

REFERENCIAS.

<http://www.corningfiber.com/>

<http://www.fibercore.com>

OTRAS REFERENCIAS

Artículos relativos de "HowStuffWorks".

How Light Works

How Lasers Work

How Cable Television Works

How Ethernet Works

How Routers Work

How Telephones Work

How Web Servers Work

Mas ligas interesantes.

Corning Optical Fiber	http://www.corningfiber.com/
Communications Specialties: Introduction to Fiber Optics	http://www.commspecial.com/fiberguide.htm
StarTech.com: What are Fiber Optics?	http://www.startech.com/fiberoptics/
Fiberoptics Online	http://www.fiberopticsonline.com/content/homepage/
Fiberoptic Product News Online	http://www.fpnmag.com/scripts/
Schott Fiber Optics: Introduction to fiber optic imaging	http://www.us.schott.com/fiberoptics/english/products/healthcare/imagingfiberoptics/index.html
Fibercore: Virtual Facilities Tour	http://www.fibercore.com/tour_index.php

Reflexión interna total.

What is Total Internal Reflection (TIR)	http://www.cvu.strath.ac.uk/courseware/msc/jbagot/totalIR/totalIR.html
The Physics Classroom: Total Internal Reflection	http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/Class/refrn/u14l3b.html
Refraction: Total internal reflection	http://www.qesn.meq.gouv.qc.ca/mst/sapco/opticks/Chapter3/7_refltotint4.html

AUTORES Y MAGAZINES

Craig C. Freudenrich, Ph.D. "How Fiber Optics Works"