



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGON**

**ESTUDIO DE ILUMINACION EN UNA ZONA  
URBANA PARA LA IMPLEMENTACION DE  
ENERGIA SUSTENTABLE POR MEDIO DE LEDS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELECTRICO ELECTRONICO**

**P R E S E N T A:  
ELOY ALEJANDRO LOPEZ GONZALEZ**

**ASESOR:**

**ING. ABEL VERDE CRUZ**

Cd. Nezahualcoyotl, Edo. de México



**FES Aragón**

**2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

La primera frase es para mi familia que estuvieron conmigo desde el inicio, en todas sus facetas siempre creyendo en mí. Doy gracias por crecer entre ellos, enseñándome lecciones de todo tipo y alcance, construyendo un carácter sólido, decidido y humilde. GRACIAS POR TODO SU AMOR.

Gracias padre por darme un hogar, una familia. Gracias madre por toda la paciencia, Gracia por ser mi cimiento, Gracias por todo tu apoyo incondicional, Gracias por todo tu AMOR. Este logro te pertenece....

Gracias Mike por creer en mí en todo momento, en toda debilidad, en cada logro. Eres mi mayor ejemplo, sin ti no hubiera logrado crecer en la persona que soy. Si no fuera por ti muchas cosas no hubieran sucedido. Gracias hermano por estar siempre conmigo.

Gracias amigos que me han enseñado infinidad de cosas que daba por hechas.

Gracias a todas las personas que entraron a mi vida como escenas en una obra, unas llegaron un tiempo, otras se quedaron, y así, otras llegaron y otras se irán... Gracias por todo.

Gracias UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO por darme un mar de conocimiento, sensaciones, sabores y magnificas experiencias que llevare conmigo toda la vida

# INDICE

OBJETIVO.....	6
INTRODUCCION .....	7
CAPITULO 1 .....	8
PRINCIPIOS BASICOS DE ILUMINACION .....	8
<i>1 Iluminación.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1 Flujo luminoso.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2 Iluminación.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3 Intensidad luminosa .....</i>	<i>10</i>
<i>1.4 Luminancia o brillantez .....</i>	<i>10</i>
<i>1.5 Eficiencia luminosa .....</i>	<i>10</i>
<i>1.6 Índice de Rendimiento de color: .....</i>	<i>10</i>
<i>1.7 Control de la luz.....</i>	<i>10</i>
<i>1.8 Reflexión .....</i>	<i>11</i>
<i>1.9 Refracción .....</i>	<i>12</i>
<i>1.10 Absorción .....</i>	<i>13</i>
<i>1.11 Transmisión .....</i>	<i>13</i>
<i>1.12 Curvas fotométricas .....</i>	<i>14</i>
<i>1.13 Tipos de iluminación .....</i>	<i>15</i>
<i>1.14 Iluminación natural .....</i>	<i>18</i>
<i>1.15 Iluminación artificial .....</i>	<i>19</i>
<i>1.16 Condiciones de una buena iluminación. ....</i>	<i>20</i>
CAPITULO 2 .....	23
FOTOCELIDAS.....	23
2 Fotoceldas.....	24
2.1 Sistema solar fotovoltaico.....	25
2.2 Comportamiento de un semiconductor en paneles solares. ....	28
2.3 Tipos de semiconductores. ....	29
2.4 Semiconductor tipo N .....	30

2.5 Semiconductor tipo P .....	31
2.6 Principio de funcionamiento de un panel solar .....	31
2.7 Separación de los portadores de carga .....	34
2.8 Barrera interna de potencial. ....	35
2.9 Polarización directa de la unión P-N.....	36
2.10 Polarización inversa de la unión P-N.....	37
2.12 Esquema eléctrico. ....	38
2.13 Tipos de placas.....	39
2.14 Constitución de las celdas .....	40
2.15 Tipos de conexiones.....	42
CAPITULO 3 .....	44
CONSIDERACIONES BASICAS DE LAS BATERIAS .....	44
3 Baterías .....	45
3.1 Principios de operación. ....	53
3.2 Tipos de celdas .....	54
3.3 Parámetros de una batería .....	54
3.4 Voltaje, corriente y potencia.....	55
3.5 Las baterías y la corriente eléctrica .....	56
3.6 Banco de batería .....	57
3.7 Batería de plomo acido abierta .....	60
3.8 Batería sellada de plomo AGM .....	60
3.9 Batería sellada de gel de plomo.....	61
3.10 Batería sellada de plomo ácido válvula regulada VRLA .....	62
3.11 Características de operación .....	64
3.12 Los mecanismos del envejecimiento .....	66
3.13 Ciclo de la batería .....	67
3.14 Capacidad de la batería .....	67
3.15 Densidad del electrolito .....	68
3.16 Tensión de batería .....	70
3.17 Efectos de auto descarga en la capacidad. ....	70
3.18 Profundidad de descarga (DOD) .....	70
3.19 Efectos de la temperatura en la DOD .....	71
3.20 Batería de ciclo profundo .....	71
3.21 Carga de la batería .....	72
3.22 Gaseo y sobre carga .....	72
3.23 Factores que afectan a la vida de la batería. ....	73
3.24 Rendimiento de la batería .....	75

CAPITULO 4 .....	77
FUENTES REGULADAS .....	77
4 Fuentes .....	78
4.1 Conceptos básicos .....	78
4.2 Fuentes conmutadas .....	87
4.3 Configuraciones básicas .....	87
4.4 Configuraciones básicas recomendada .....	89
4.5 Reguladores con conmutación en el primario.....	94
4.7 Fuentes reguladas .....	96
4.8 Tipos de reguladores lineales .....	97
4.9 Fuentes reguladas de tensión .....	98
4.10 Regulador serie completo .....	104
CAPITULO 5 .....	105
LED'S APLICACIÓN EN LAMPARAS .....	105
5 Leds .....	106
5.1 Ventajas de los leds .....	109
5.2 Creando al diodo.....	111
5.3 De diodos a Led. ....	112
5.4 Leds de potencia. ....	112
5.5 Beneficios de la luz led de alta potencia .....	115
5.6 Colorimetria .....	117
5.7 Espectro Electromagnetico.....	118
5.8 Eficiencia. ....	121
5.9 Vida útil de leds. ....	121
5.10 Longitud de onda y temperatura de color.....	121
CAPITULO 6 .....	125
ESTUDIO DE APLICACIÓN DEL CAMBIO DE LUMINARIAS EN UNA ZONA URBANA.....	125
6 Planteamiento del estudio .....	126
6.1 Sistema de alumbrado público actual .....	126
6.2 Sistema propuesto.....	129
6.3 estudio de avenidas primarias, secundarias y terciarias .....	131
.....	135
CONCLUSIONES .....	136
BIBLIOGRAFIA.....	138
ANEXOS.....	139

## **OBJETIVO**

La idea principal de este estudio es la integración de las tecnologías autosustentables en entornos comunes para la sociedad y no solo en áreas específicas como museos, teatros, parques, etc.

El alumbrado público es una necesidad básica en el entorno urbano actual donde se quiere aprovechar todo el tiempo posible. Para ello se debe estudiar las necesidades actuales, las herramientas y tecnologías que el mercado pone a nuestras manos.

En este tiempo debemos exprimir con eficiencia las energías renovables que la naturaleza nos provee, con ello dejaremos de consumir gigantescas cantidades de combustibles fósiles.

En el sistema de alumbrado público, brotan las deficiencias en el sistema operativo de luminarias, las cuales tienen grandes pérdidas de energía y un rendimiento pobre (baja eficiencia de luz artificial).

Este estudio se basa en la implementación de lámparas led en sustitución de las de vapor de sodio alta presión y algunas de aditivos metálicos. De esta manera tendremos las bases en ahorro energético KW/h y rendimiento luminotécnico que los led nos ofrece, sin mencionar que el sistema será autosustentable y no interconectado.

Un objetivo secundario pero igual de importante es que este trabajo sirva a toda persona que busque información, ya que en muchas ocasiones como estudiante no llegábamos a encontrar datos o encontrábamos muy pocos.

## INTRODUCCION

la luz es una parte importante en la sociedad actual, pero realmente nos hemos detenido a ver sus efectos y consecuencias en nuestras vidas.

el alumbrado publico es un claro ejemplo de lo esencial que se ha vuelto en nuestras vidas, de como no podemos visualizar una sociedad sin este fenomeno indispensable en un entorno de constante crecimiento social y tecnologico.

dentro del desarrollo tecnologico esta la modernizacion de los sistemas actuales mediante estudios de operaci3n, compararlos y mas que esto, instalarlos para lograr un aprovechamiento de los efectos naturales del cual nos podemos ver enriquecidos a tal nivel que no dependeriamos de energias fosiles.

en las ultimas dos decadas se han alcanzado niveles de recoleccion de energias renovables considerablemente respetables, junto con herramientas auxiliares podemos llegar a mayores porcentajes de eficiencia electrica

el estudio luminotecnico nos ofrece una idea mas acertada de las necesidades tecnicas, ya que con este estudio podremos seleccionar la bateria que reuna el desgaste energetico viable, asi como el panel que se encargara de recolectar esta energia solar, para convertirla en energia electrica utilizable.

este trabajo se basa en los conocimientos basicos que constituyen un sistema autosustentable y sus variantes de cada uno de sus elementos opertivos

**CAPITULO 1**

**PRINCIPIOS BASICOS DE  
ILUMINACION**

## ***1 Iluminación***

Se estima que un 80% de las impresiones sensoriales humanas son de naturaleza óptica, esto demuestra la importancia de la luz natural y artificial como vínculo de información para el desarrollo de cualquier actividad.

La luz es la sensación de visión que se produce sobre el ojo humano por ondas electromagnéticas. Se trata de campos electromagnéticos alternos que transportan energía a través del espacio y se propagan bajo la forma de oscilaciones o vibraciones.

Dichas oscilaciones pueden tener diferentes longitudes de onda, cada una de ellas corresponde a un color en particular. Teniendo como límite de percepción, para el ojo humano, las longitudes comprendidas entre las 350 m $\mu$  y 760m $\mu$ .

Estas se pueden producir de varias maneras; calentando hasta la incandescencia cuerpos sólidos o gases, donde se origina pérdida de energía en forma de calor, o bien se puede obtener también energía luminosa por medio de descargas eléctricas entre dos placas de material conductor sumergido en gas ionizado o en un vapor metálico.

A todo objeto que produzca luz de manera natural o artificial, se le conoce como manantial o fuente luminosa. La iluminación es la más antigua y más difusa de las aplicaciones de la electricidad. Actualmente, parece difícil concebir la vida sin la luz eléctrica.

### ***1.1 Flujo luminoso***

Es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo (segundo). La unidad de medida del flujo luminoso es el "Lumen" Cabe señalar que el flujo luminoso de un manantial de luz no se distribuye uniformemente en todas direcciones del espacio, sino depende de algunos otros factores como la cantidad de luz absorbida por el aparato de iluminación, depósito de polvo u otras sustancias en la lámpara, etc.

### ***1.2 Iluminación***

Se define como el flujo luminoso por unidad de superficie y se mide en "Lux", la ecuación 1 que se muestra a continuación sirve para el cálculo del flujo luminoso.

Se puede decir también que la iluminación de una superficie es el flujo luminoso que cubre cada unidad de la misma.

Se dice que la iluminación es el principal dato de proyecto para una instalación de alumbrado y se puede medir por medio de un instrumento denominado "luxómetro".

$$LUX = \frac{LUMEN}{m^2}$$

### **1.3 Intensidad luminosa**

Es una cantidad fotométrica de referencia. La unidad relativa de medición es la “candela” (cd), cuyo patrón es una superficie de 1.66 mm<sup>2</sup> de platino, llevada a la temperatura de fusión que es de 1769°C. Es conveniente señalar que esta unidad de medida está prácticamente en desuso.

También se puede agregar que una fuente luminosa que emite una candela en todas las direcciones proporciona un flujo luminoso de 12.57 lumen.

### **1.4 Luminancia o brillantez**

Es la intensidad luminosa emitida en una dirección determinada por una superficie luminosa o iluminada (fuente secundaria de luz).

En otros términos, expresa el efecto de la luminosidad que una superficie produce sobre el ojo humano, ya sea fuente primaria (lámpara o aparato de iluminación) o secundaria (por ejemplo, el plano de la mesa que refleja la luz), y se mide en candelas/m<sup>2</sup>, aun cuando se usa también una unidad 10 000 veces más grande que es la candela/cm<sup>2</sup>.

### **1.5 Eficiencia luminosa**

Es el cociente entre el flujo luminoso emitido por una lámpara y la potencia consumida. Es decir nos informa sobre el flujo luminoso según el consumo de la lámpara Unidad: Lumen/watt.

$$Eficiencia = \frac{Lumen}{watt}$$

### **1.6 Índice de Rendimiento de color:**

(Ra) de una fuente es el cociente entre el color proporcionado al iluminar un objeto, con una fuente dada, respecto al color de una iluminación patrón. Se expresa en porcentaje, así por ejemplo si los colores de nuestra iluminación fueran iguales al patrón tendríamos un Ra de 100 si se pareciera en 80 % el Ra sería 80.

### **1.7 Control de la luz**

Una vez obtenida la luz mediante un manantial luminoso, y conociendo sus parámetros fundamentales se presenta el problema de su control ya que, debido a su gran luminancia, la mayoría de las fuentes luminosas existentes en la actualidad no realizan por sí mismo una

distribución de flujo luminoso que permita su aplicación directa, sino que se hace necesaria la utilización de dispositivos que modifiquen o controlen la luz emitida por dichos manantiales luminosos.

La modificación de las características luminosas de un manantial luminoso, con vista a una aplicación eficiente emitida puede realizarse aprovechando uno o varios fenómenos físicos que se describen a continuación:

Contraste: Tiene normalmente un factor subjetivo y otro objetivo.

Subjetivo: Evaluación subjetiva de la diferencia de apariencia.

Objetivo: Está definido por la formula siguiente  $C = (L2 - L1) / L1$

L1= Luminancia del fondo.

L2= Luminancia del objetivo.

### **1.8 Reflexión**

Cuando una superficie devuelve la luz que incide sobre ella hacia el espacio que la rodea, se dice que refleja la luz. La reflexión de la luz depende, esencialmente, de las siguientes circunstancias:

a) Condiciones moleculares de la superficie reflectante. Por ejemplo, una superficie lisa refleja mejor la luz que una superficie rugosa.

b) Color de los rayos incidentes, la luz blanca se refleja mejor que la luz coloreada.

c) Angulo de incidencia de los rayos luminosos. La ley fundamental de la reflexión de la luz dice: El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Llamando ángulo de incidencia al ángulo formado entre el rayo incidente y la vertical en el punto de incidencia cuando dicho rayo choca con la superficie, y ángulo de reflexión al ángulo que forma el rayo luminoso, ya reflejado, con la vertical en el punto de incidencia, cuando ese rayo luminoso se aleja de la superficie.

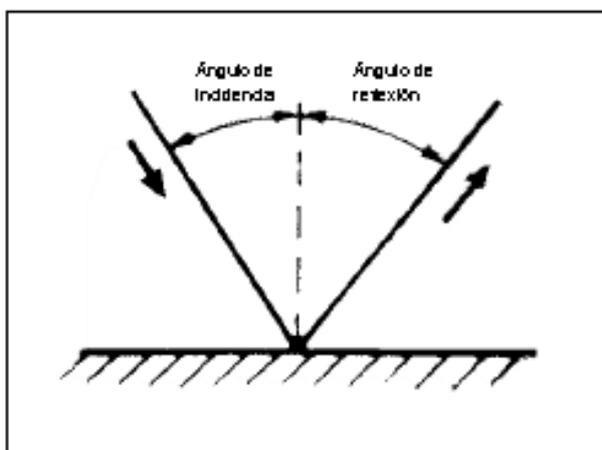


Figura 1: ilustrativa de la ley fundamental de la reflexión de la luz

Fuente: Luminotecnia enciclopedia ceac de electricidad

Esta ley fundamental es solamente teórica. En la práctica se cumple solamente cuando la superficie sobre la que incide el rayo luminoso es absolutamente lisa y brillante como por ejemplo, la de un espejo. En este caso se habla de

reflexión dirigida. Si se coloca una lámpara encendida sobre un espejo puede observarse en el espejo la imagen de la lámpara.

Cuando la superficie sobre la que incide el rayo luminoso es rugosa y brillante, a cada rayo incidente le corresponde varios rayos reflejados, que cumple solo aproximadamente la ley fundamental de la reflexión. En este caso se trata de reflexión semidirigida. Si se sitúa la lámpara como el caso anterior, desaparece la imagen de la lámpara, que queda sustituida por una mancha de luz más brillante que el resto de la superficie.

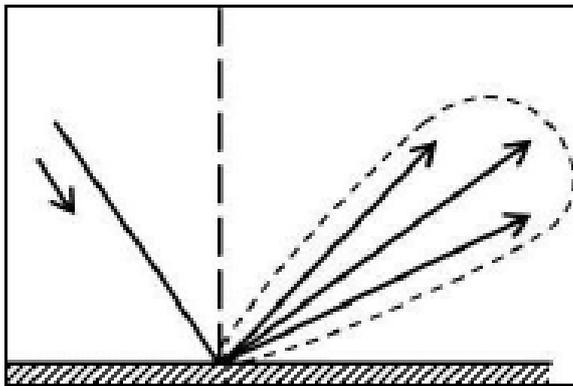


Fig. 2: Reflexión semidirigida

Finalmente cuando la superficie es rugosa y mate, por ejemplo, un trozo de tela blanca, el rayo incidente se refleja por todas partes por igual y, por lo tanto, no se cumple la ley fundamental de la reflexión. En este caso se habla de reflexión difusa.

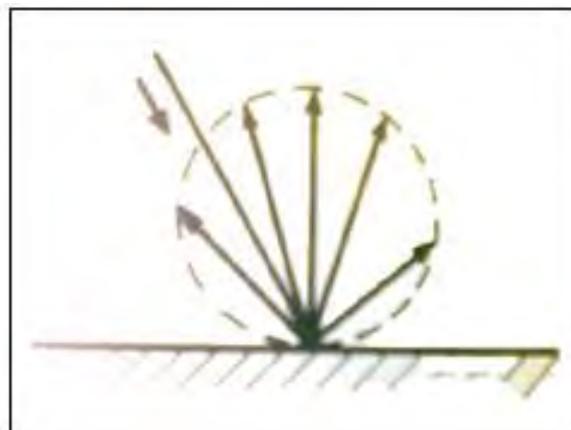


Fig. 3: Reflexión difusa

Fuente: Luminotecnia enciclopedia ceac de electricidad

### **1.9 Refracción**

La dirección de los rayos luminosos queda modificada al pasar de un medio a otro de diferente densidad; este fenómeno físico se llama refracción, y varía dependiendo del tipo de material por el cual atraviesa la luz.

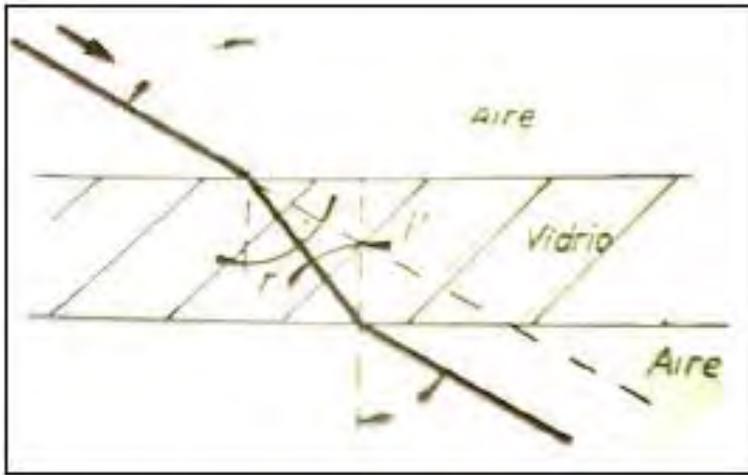


Fig. 4: Ilustrativa de la ley fundamental de la refracción de la luz

Fuente: Luminotecnia enciclopedia ceac de electricidad

### ***1.10 Absorción***

En el fenómeno de reflexión de la luz, no todo el flujo luminoso que incide sobre los cuerpos, se refleja; una parte de este flujo luminoso, queda absorbido en mayor o menor proporción según los materiales componentes de cada cuerpo.

La consecuencia más interesante del fenómeno de absorción es el color de los cuerpos. Si el cuerpo es de color blanco, quiere decir que al incidir sobre el luz blanca, la reflejara enteramente, sin haber absorción; por el contrario los cuerpos negros absorben por completo la luz blanca, sin haber reflexión y si es de color gris, parte de la luz blanca es reflejada y parte absorbida.

### ***1.11 Transmisión***

Al pasar los rayos luminosos a través de los cuerpos transparentes o traslúcidos, se dice que estos rayos han sido transmitidos.

La transmisión de la luz puede ser dirigida si el rayo luminoso solo sufre la variación debido a la refracción normal; se consigue este tipo de transmisión usando cristales claros (es decir transparentes) y se produce intenso deslumbramiento debido a la gran luminancia de los rayos incidentes.

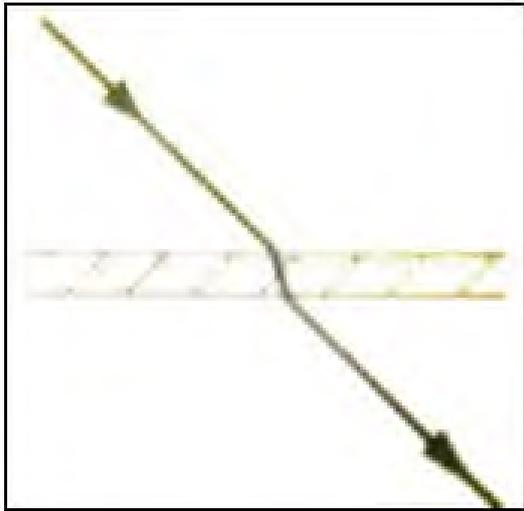


Fig. 5: Transmisión dirigida

Fuente: Luminotecnia enciclopedia ceac de electricidad

La transmisión de la luz se le llama difusa cuando el rayo luminoso incidente queda dispersado al chocar con el material, de manera que quede iluminada uniformemente toda la superficie del cuerpo que se trate. Se puede obtener una transmisión difusa utilizando cristales opalinos, mateados, etc..., es decir, cuerpos translúcidos. En este caso la luminancia es constante en todas las direcciones del espacio y el deslumbramiento es mucho menor que en el caso anterior.

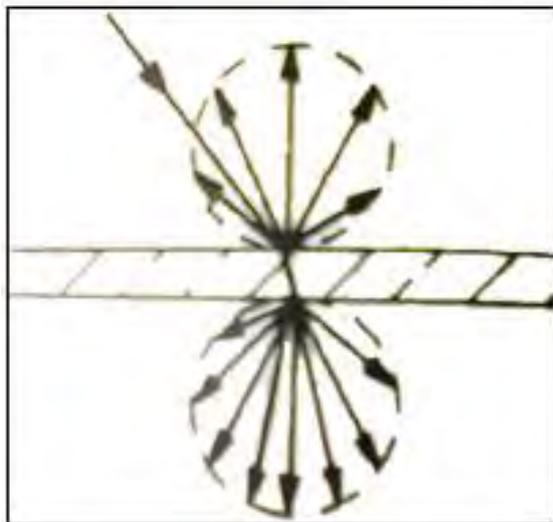


Fig. 6: Transmisión difusa

Fuente: Luminotecnia enciclopedia ceac de electricidad

### ***1.12 Curvas fotométricas***

La curva fotométrica es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa en diversos ángulos alrededor de una luminaria y/o fuente luminosa y transcribirlas en forma gráfica, generalmente en coordenadas polares. La distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de la fuente en esa dirección (a mayor distancia mayor intensidad).

Cada lámpara está caracterizada por una distribución del flujo luminoso que produce, la distribución de este es tal que la intensidad luminosa es máxima entre los 30 y 60 grados con

respecto al eje de la lámpara en donde la iluminación es mínima (parte superior) o máxima (parte inferior).

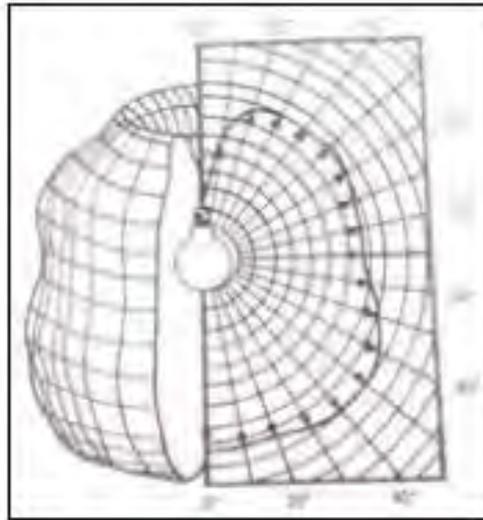


Fig. 7: Distribución del flujo luminoso de una lámpara incandescente.  
*Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*

Las luminarias se caracterizan de acuerdo a su curva fotométrica. Por simplicidad, estas curvas se limitan solo a dos dimensiones.

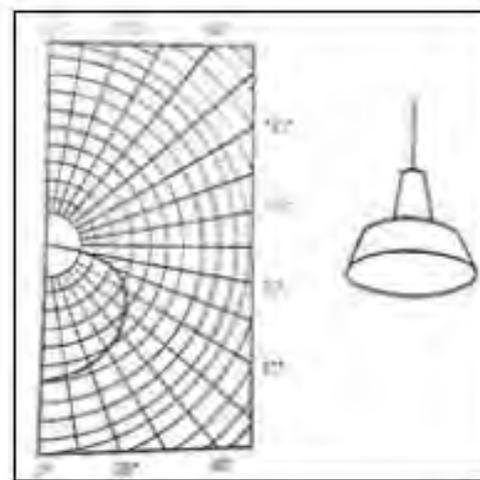


Fig. 8: Ejemplo del diagrama polar de un aparato de iluminación.

*Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*

La lectura de la curva de distribución luminosa permitirá optar por la luminaria más adecuada y lograr un proyecto más económico. Una luminaria de distribución “ancha” y buen rendimiento permitirá un gran distanciamiento entre las mismas sin sacrificar la uniformidad de la iluminación.

### ***1.13 Tipos de iluminación***

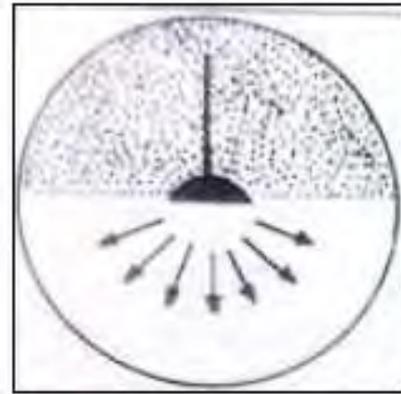
Los tipos de iluminación se pueden clasificar de acuerdo a la distribución del flujo luminoso.

#### ***Iluminación Directa***

En este tipo de iluminación el flujo luminoso es directo hacia abajo, las luminarias de este tipo tienen, por lo general, un rendimiento elevado del orden del 90-100%.

Fig. 9: Ejemplo de Iluminación directa.

*Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*



Es apta para lugares de trabajo donde se necesita de abundante luz enfocada aunque puede generar sombras muy marcadas. Por ejemplo una lámpara colgante que ilumina una mesa de trabajo o comedor.

### ***Semi-directa***

El flujo luminoso es directo en gran parte, hacia abajo entre el 60 y 90% y hacia arriba entre el 10 y 40%.

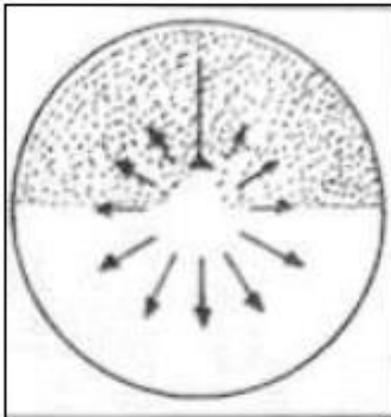


Fig. 10: Ejemplo de iluminación semi-directa.

*Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*

Se logra usando un difusor entre la lámpara y el lugar alumbrado, atenuando así la incidencia de la luz. Y su uso es general en lugares en donde no se requiere elevados niveles de iluminación.

### ***Mixta***

El flujo luminoso está distribuido uniformemente, hacia abajo entre el 40-50% y hacia arriba entre el 50-60%.

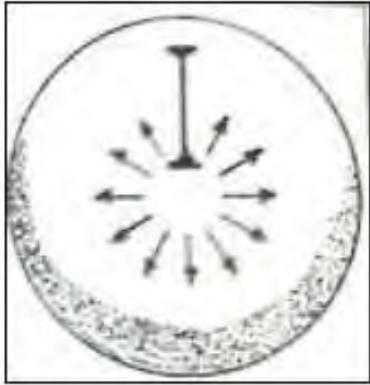


Fig. 11: Ejemplo de iluminación mixta.

*Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*

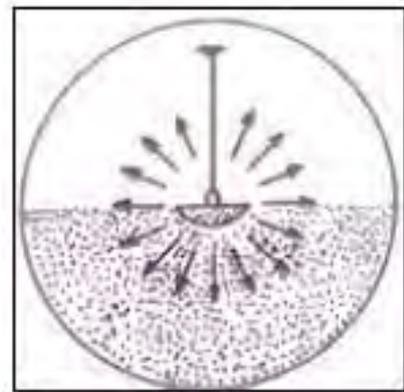
Es usada en iluminación general en donde no se requiere radiación luminosa enfocada y se logra generalmente sin necesidad de usar alguna luminaria y solo colocando la lámpara directa.

### ***Semi-indirecta***

El flujo luminoso prevalece hacia la parte superior corresponde entre el 60-90% del flujo total.

Fig. 12: Ejemplo de iluminación semi-indirecta.

*Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*



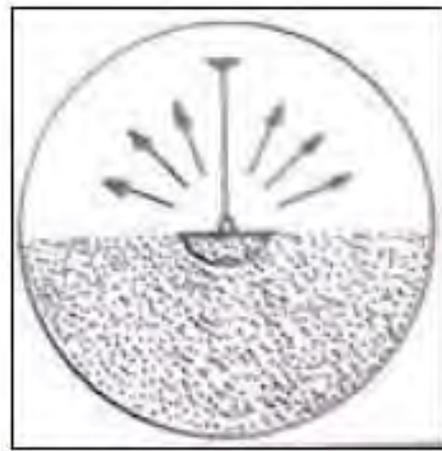
Se hace uso de este tipo de iluminación para lograr efectos decorativos dejando un poco de lado lo funcional.

### ***Indirecta***

El rendimiento es bajo y la visión poco nítida por falta del efecto de sombra, la iluminación hacia arriba es del 90-100%.

Fig. 13: Ejemplo de iluminación indirecta.

*Fuente: El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*



Es una luz directa hacia el techo, donde el ambiente es iluminado por la refracción de la luz en la superficie clara, creando un ambiente calmo y sin sombras demasiado marcadas

Así como las clasificaciones anteriores existen otras tantas en base al tipo de aparato, la posición, etc.

#### ***1.14 Iluminación natural***

La ordenanza general del trabajo dice que “siempre que sea posible se empleara la iluminación natural” evitando las sombras, procurando la intensidad luminosa suficiente, evitando los reflejos y deslumbramientos. Se realizara la limpieza periódica de las superficies iluminantes, cuya área representa como mínimo un sexto de la superficie del suelo.

La iluminación natural es la solución adecuada por las razones siguientes:

- Se corresponde con el espectro para el cual el ojo está adaptado.
- Solamente ella da los colores exactos.
- Tiene efectos fisiológicos y psicológicos beneficios.
- Tiene efectos bactericidas por los UV que posee.

Respecto a otros conceptos no detallados en la ordenanza se puede comentar que la iluminación natural puede ser: unilateral, bilateral o vertical.

- a) Unilateral: La orientación se dice que debe ser sudeste o sur-oeste para trabajos finos y norte para trabajos pesados. Esto se afirma debido a que la cantidad de luz es mucho mayor por el sur que por el norte las necesidades de lux son mayores en los trabajos finos. El inconveniente de las ventanas dirigidas al sur suele ser el problema térmico, ya que dan mayor cantidad de calor. Así mismo la radiación solar es un factor no deseable en iluminación.
- b) Bilateral: Permite aumentar la profundidad de una pieza. El entrecruzamiento de los rayos luminosos aumenta la fatiga visual. En general el trabajo fino precisa de una iluminación unilateral que conserve el relieve.
- c) Vertical: Es solo aplicable a los edificios sin alturas o al último piso. La superficie debe ser al menos del 30% de la superficie del suelo. Tiene varios inconvenientes; el calor en verano y su pérdida en invierno. El trabajador puede proyectar su propia sombra sobre la tarea.

Como conclusión se puede afirmar que los trabajos finos precisan de una iluminación unilateral, izquierda (si es diestro) y un poco anterior.

En iluminación es importante evitar los excesivos contrastes, como por ejemplo los provenientes de una ventana. La visión directa de la ventana va a dar unas luminancias elevadas impidiendo muchas veces la visión. Ejemplo: los despachos de los directores tienen normalmente las ventanas a su espalda de tal manera que los interlocutores se sientan de cara a elle; ensayar y veréis como cuesta ver la cara del sujeto y si puede optar por las tres soluciones siguientes:

- Cortinas: reduce las luminancias, difumina la luz y suaviza los contrastes.
- Ventanas especiales tintadas o semireflectantes: Muchas veces unidas a un doble cristal lo que mejora las condiciones térmicas del local.
- Aumento de la superficie de ventanas: aumenta la iluminancia general y disminuye los contrastes.

La visión del exterior tiene efectos beneficios para ello la superficie acristalada debe ser entre el 20 al 30 % de la superficie de la pared. La parte más baja de la ventana se debe corresponder aproximadamente con la altura de la superficie de trabajo, ya que si es más alta la visión única y exclusivamente del cielo no es aceptada.

La cantidad de luz natural puede ser especificada a partir del “factor de luz de día” (Day light quotient Dq), que es el cociente entre la iluminancia en un punto con relación a la iluminancia exterior medida sobre un plano horizontal, exclusivo en ambas medidas la luz solar directa. Es decir, se hacen dos medidas una en el interior y otra en el exterior a la sombra y se saca el cociente entre ambas.

Si hay información meteorológicas sobre las distintas luminosidades exterior a la sombra, es posible utilizar este índice para prever en qué medida será necesario proveerse de luz artificial con el objetivo de garantizar un nivel de iluminancia adecuado.

Este factor de luz de día –Dq- debe ser lo más uniforme y lo más elevado posible dentro de un local.

### ***1.15 Iluminación artificial***

Existen en general tres tipos de lámparas:

- 1- Incandescentes: Un filamento de tungsteno por su resistencia eléctrica llega a altas temperaturas produciendo luz. Su eficacia luminosa es del orden de 10 lumen/watt.
- 2- Fluorescentes: Contienen un gas noble en su interior que se ioniza, disminuyendo su resistencia permitiendo a una corriente de aire pasar a través del tubo; el mercurio presente se vaporiza a muy baja presión y el vapor emite una radiación de 253.7 nM (ultravioleta en luz visible. El color de la luz está determinado por la naturaleza de esta sal.
- 3- Lámparas de descarga: son lámparas a mercurio o sodio, utilizadas principalmente para la iluminación de las carreteras, no son válidas para iluminación de espacio de trabajo ya que sus colores no son los adecuados. Las lámparas de mercurio son blanco-azuladas y las de sodio amarillentas. Sus características principales son
  - Vida media muy larga: 24000 h (hg) y 15000 (Na)
  - Alta eficacia luminosa: 60 lm/w (hg) 180lm/w (Na).

### 1.16 Condiciones de una buena iluminación.

Las condiciones de una buena iluminación sobre las que vamos a hablar son:

- 1- Intensidad suficiente.
- 2- Difusión óptima.
- 3- Uniformidad.
- 4- Ausencia de deslumbramiento.
- 5- Calidad de la luz.
- 6- Color de la superficie.
- 7- Entretenimiento.

Intensidad suficiente

Zona o parte del lugar de trabajo	Nivel mínimo de iluminación(lux)
Zona donde se ejecuten tareas con:	
- Bajas exigencias Visuales	100
- Exigencias visuales moderadas	200
- Exigencias visuales altas	500
- Exigencias visuales muy altas	1000
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

TABLA 1: ZONAS DE TRABAJO

Existe la tendencia a recomendar niveles de luminosidad más importantes conforme aumenta la edad. Es cierto que para tener la misma agudeza visual la iluminación debe ser más potente conforme aumenta la edad, pero si la aumentamos la fatiga también crece y el riesgo de deslumbramiento también. Lo cual habrá de ser tenido en cuenta.

Difusión óptima

La iluminación directa emitida sobre la superficie a iluminar tiene el inconveniente del deslumbramiento y de dar zonas de sombras.

La iluminación indirecta da muy pocas sombras y es muy caro, ya que necesita de:

- Superficie altamente reflectantes en las paredes, capaces de producir deslumbramientos.
- Una gran potencia de las lámparas.

Los arquitectos gustan de este tipo de iluminación ya que facilita la creación de diversos efectos estéticos. En cambio la eliminación de sombras es muy molesto para los trabajos de precisión. Las recomendaciones actuales son combinar los dos tipos de iluminación: semidirecto (75 % de la luz hacia abajo) o semi-directo (75% de la luz hacia arriba). Esta iluminación mixta da lugar a una reducción de contraste demasiado fuertes, permitiendo observar los relieves.

También da la sensación de local más acogedor y limpio.

### Uniformidad

La iluminación artificial debe comprender una instalación general destinada a informar las iluminancias de todo el local. En caso de ser insuficiente es necesario completarla con un sistema de iluminación local.

La iluminación exclusiva local es desaconsejable. La colocación de las luminarias debe ser de tal forma que no provoque sombras entre ellas. Su número depende del grado de dispersión del haz luminoso. Se puede tener como norma que cuando más pequeñas es la dispersión más luminaria se necesitan, pero también menor riesgo de deslumbramiento.

### Ausencia de deslumbramiento

Se distinguen tres tipos de deslumbramientos:

- a) Absoluto: Se da en el momento que la retina es incapaz de adaptarse, ej.: visión directa del sol.
- b) De adaptación:
- c) Por ejemplo en el paso de una habitación oscura a otro lugar iluminado, es decir todavía la adaptación no se ha completado.
- d) Relativo: Si las iluminancias de la superficie en el campo visual son muy diferentes. El ojo humano tiende continuamente a adaptarse a su sensibilidad. Lo que le supone un esfuerzo suplementario que entraña una fatiga rápida y una disminución de las “performances” del sujeto.

Los casos de deslumbramiento comprenden:

- a) Deslumbramiento directo: Generalmente provocados por la visión directa de la fuente luminosa, las fuentes luminosas a tener en cuenta son las que están entre los  $45^\circ$  a  $85^\circ$  por encima de la horizontal del ojo, son permisibles luminancia entre 1000 a 10000 candelas/m<sup>2</sup>.

#### Soluciones:

- Sacar las fuentes del campo visual del sujeto.
- Colocar pantallas claras y mates evitando la luz directa de la fuente.
- Reducir los contrastes con la fuente misma dando unas luminancias parecidas al entorno inmediato de la luminaria. (Por ejemplo: los techos muy claros).

- b) Deslumbramiento indirecto: Producido por las reflexiones espectaculares sobre los objetos o la mesa de trabajo.

#### Solución:

Utilizar objetos y superficies mates, evitar los cristales en las mesas.

- c) Contraste demasiado fuertes: Para evitarlos hay que aplicar las siguientes reglas.

-Las luminancias de los objetos y de las superficies que se encuentran en el mismo campo visual deben ser lo más parecidas entre sí.

-Si dibujamos tres círculos, en el cual el centro sería el campo visual centrado. El siguiente sería el campo visual adyacente y el último: el campo periférico. El cociente de luminancias entre estos círculos debe ser llamado a la luminancia central 1, el adyacente tiene que tener una luminancia mínima de 33cd/m<sup>2</sup>, y el campo periférico 10 cd/m<sup>2</sup>.

Esto es muchas veces imposible, ya que muchas pantallas de ordenador son llamadas negativas (fondo negro y letras verdes o blancas), en este caso la superficie más clara estará alrededor de la pantalla; en este caso las luminancias deben ser 1, 3, 10 para cada uno de los campos que se han definido anteriormente.

-En general las superficies más claras deben estar en el campo central y las más sombrías en la periferia.

-Los contrastes importantes son más molestos cuando se encuentran en los lados o la parte inferior, que cuando se encuentran en la parte superior

# **CAPITULO 2**

## **FOTOCELIDAS**

## **2 Fotoceldas**

El termino fotovoltaico (fotocelda) proviene del griego: phos, que significa “luz” y voltaico, que proviene del campo de la electricidad, en honor al fisico italiano Alejandro volta, (que también proporciono el termino volt a la unidad de medida de la diferencia de potencial en el sistema internacional de medidas). El término fotovoltaico se comenzó a usar en Inglaterra desde el año 1849.

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primer célula solar no se construyó hasta 1883. Su autor fue Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Este primitivo dispositivo presentaba una eficacia de solo 1 %. Russell Ohl patentó la célula solar moderna en el año de 1946, aunque Sven Ason Berglund había patentado, con anterioridad, un método que trataba de incrementar la capacidad de las células fotosensibles.

La era moderna de la tecnología de potencia solar no llegó hasta el año de 1953 cuando los laboratorios Bell, descubrieron, de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran sensibles a la luz.

Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente, el 6 %. La URSS lanzó su primer satélite espacial en el año de 1957, y los EEUU un año después. En el diseño de este se usaron células solares creadas por Peter Iles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics.

La primera nave espacial que so paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard 1, lanzado en marzo de 1958. Este hito generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo crucial que estimuló la investigación por parte de algunos gobiernos y que impulsó la mejora de los paneles solares.

En 1970 la primera célula solar con heteroestructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrolló en la extinta URSS por Zhore Alferov y su equipo de investigación.

La producción de equipos de deposición química de metales por vapores orgánicos o MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition), no se desarrolló hasta los años 80 del siglo pasado, limitando la capacidad de las compañías en la manufactura de células solares de arseniuro de galio. La primera compañía que manufacturó paneles solares en cantidades industriales, a partir de uniones simples de GaAs, con una eficiencia de AM0 (Air Mass Zero) del 17 % fue la norteamericana ASEC (Applied Solar Energy Corporation). La conexión dual de la celda se produjo en cantidades industriales por ASEC en 1989, de manera accidental, como consecuencia de un cambio de GaAs a GaAs sobre sustrato de germanio.

El dopaje accidental de germanio (Ge) con GaAs como capa amortiguadora creó circuitos de tensión eléctrica abiertos, demostrando el potencial del uso de los sustratos de germanio como otras celdas. Una celda de uniones simples de GaAs llegó al 19% de eficiencia AMO en 1993.

ASEC desarrollo la primera celda de doble unión para las aves espaciales usadas en los EEUU, con una eficiencia de un 20% aproximadamente.

Estas celdas no usan el germanio como segunda celda, pero usan una celda basada en GaAs con diferentes tipos de dopaje. De manera excepcional, las células de doble unión de GaAs pueden llegar a producir eficiencias AMO del orden del 22 %. Las uniones triples comienzan con eficiencias del orden del 24 % en el 2000, 26 % en el 2002, 28 % en el 2005, y han llegado, de manera corriente al 30 % en el 2007. En el 2007, dos compañías norteamericanas Emcore photovoltaics y Spectrolab, produce el 95 % de las células solares del 28 % de eficiencia.

En México, el centro de investigaciones Avanzadas del IPN ha sido pionero del desarrollo fotovoltaico desde hace más de 25 años, periodo en el que se han fabricado tanto celdas de silicio cristalino como módulos fotovoltaicos a nivel de planta piloto. No obstante. No se ha llegado a la fabricación en serie, más bien el objetivo ha sido demostrar la disponibilidad tecnológica para la producción de celdas con vista a su industrialización; sin embargo, la tecnología utilizada es prácticamente artesanal y los elementos de producción limitados, aun cuando varios módulos han sido instalados, principalmente por dependencias gubernamentales. Otras instituciones como el Laboratorio de energía solar y el instituto de física, ambas de la UNAM, han desarrollado cierta actividad, principalmente en la tecnología de películas delgadas, probando diferentes técnicas de deposición y analizando varios compuestos. A la fecha no han logrado tener prototipo, motivo por el que se puede aseverar que el desarrollo fotovoltaico en México es realmente incipiente.

### ***2.1 Sistema solar fotovoltaico***

Los paneles fotovoltaicos o paneles solares fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas (Células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (radiación solar). El conjunto de estos paneles solares forman el arreglo del sistema solar fotovoltaico.

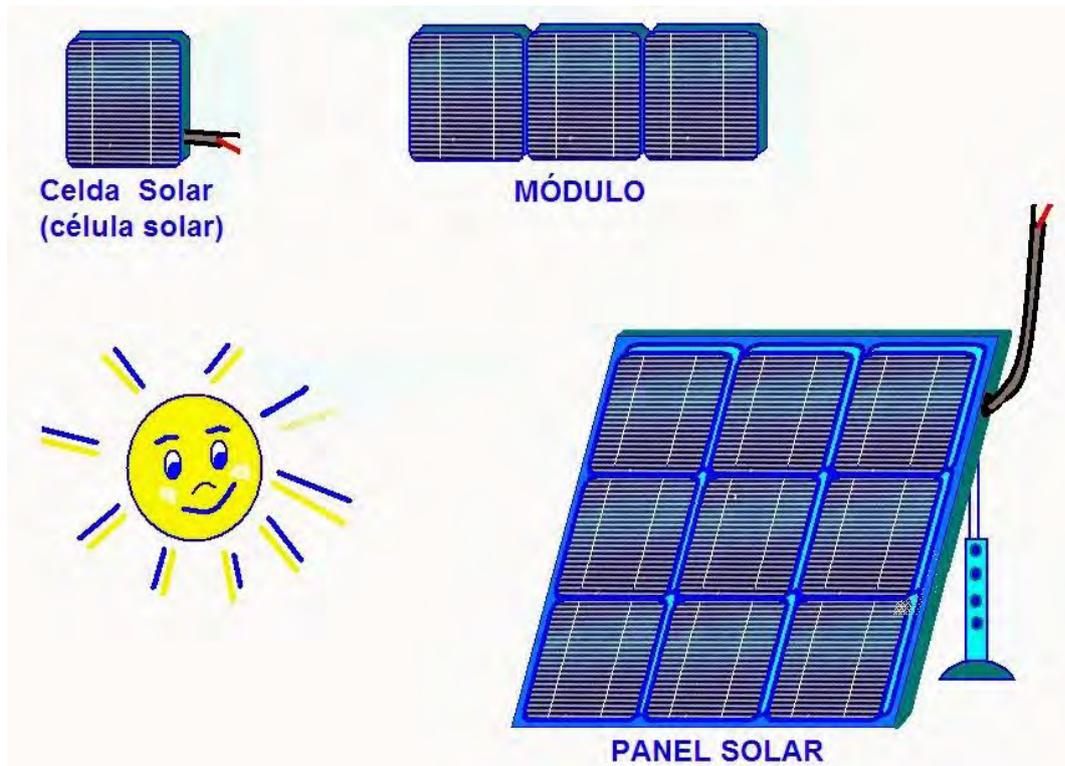


Fig. 14: COMPOSICION DE PANELES SOLARES

El comportamiento eléctrico de un módulo fotovoltaico, es decir su curva característica V-I, que se necesita conocer para la utilización de dicho modulo y el diseño de generadores fotovoltaicos, viene determinado por una serie de parámetros, obtenidos a partir de la información característica suministrada por el fabricante, habitualmente bajo condiciones Estándares de Medición, de uso universal, que son:

- Radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura de célula de 25° C

En estas condiciones se miden al menos la potencia máxima que puede entregar el modulo, la corriente de corto circuito, la tensión a circuito abierto y el factor de forma.



Fig. 15: PANELES SOLARES FOTOLTAICOS

Las características de un módulo se complementan con la temperatura de operación Nominal de la Célula (TONC), definida como la temperatura que alcanza las células solares, cuando se somete al módulo a las condiciones de operación siguientes:

- Radiaciones de 800 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura de ambiente de 20° C

El parámetro de los cuatro parámetros anteriores, Potencia máxima, Corriente de corto circuito, Tensión de circuito abierto y el TONC es suficiente para conocer el comportamiento del panel en cualquier condición de operación definida por un valor de la radiación y un valor de temperatura ambiente.

De acuerdo a estos parámetros, los valores de eficiencia obtenidos en módulos con distintas tecnologías de células solares se muestran en la tabla.

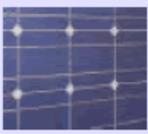
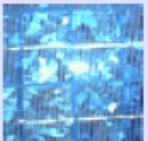
CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

TABLA 2: EFICIENCIA EN CELDAS SOLARES

Dos factores afectan directamente el comportamiento de los paneles solares, que son la radiación solar y la temperatura ambiente.

- La intensidad de corriente máxima ( $I_{mp}$ ) y la tensión máxima ( $V_{mp}$ ) del panel solar se da de acuerdo a la potencia máxima ( $W_p$ ) que se genera en el panel.
- La potencia máxima ( $W_p$ ) del panel dependerá no solo de la radiación solar, también es factor la carga a la que esté conectada.
- La corriente de corto circuito ( $I_{cc}$ ) y la tensión a circuito abierto ( $V_{ca}$ ) son valores que se miden en Condiciones Estándares de Medición.

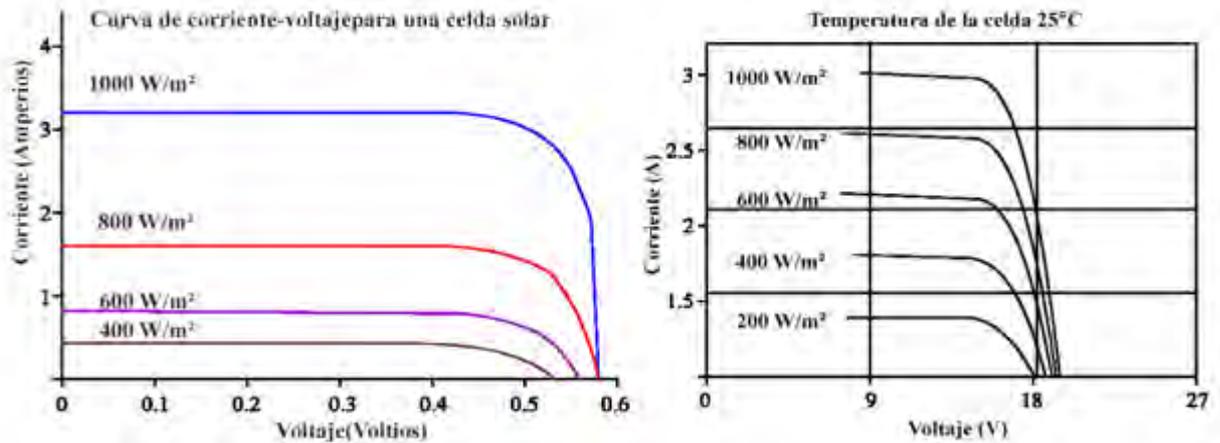


Fig. 16: COMPORTAMIENTO ELECTRICO DEL PANEL SOLAR CON DIFERENTES NIVELES DE RADIACION

El efecto de la temperatura en el panel solar se manifiesta de la siguiente forma: a temperatura por encima de 25° C el panel solar va perdiendo alrededor de 0.5 % de V por cada grado centígrado.

Para un panel con una radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>, cuyos datos nominales son 20 V, y 3.5 A, y es sometido a 25° C, 27° C y 29° C, se tendrían los valores tal como se muestra.

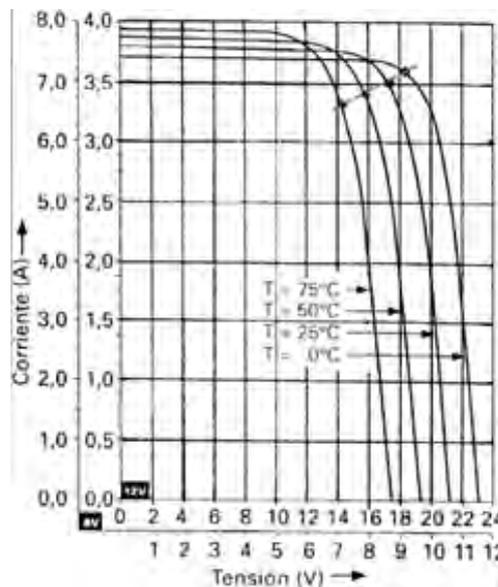


Fig. 17: COMPORTAMIENTO ELECTRICO DEL PANEL SOLAR CON DIFERENTES NIVELES DE TEMPERATURA

### 2.2 Comportamiento de un semiconductor en paneles solares.

Un semiconductor es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de diversos factores, como por ejemplo el campo eléctrico o magnético, la presión,

la radiación que le incide o la temperatura del ambiente en el que se encuentre. Los elementos químicos semiconductores de la tabla periódica se indican en la tabla.

## TABLA DE ELEMENTOS SEMICONDUCTORES

Número Atómico	Nombre del Elemento	Grupo en la Tabla Periódica	Categoría	Electrones en la última órbita	Números de valencia
48	Cd (Cadmio)	IIa	Metal	2 e <sup>-</sup>	+2
5	B (Boro)		Metaloide	3 e <sup>-</sup>	+3
13	Al (Aluminio)	IIIa	Metal		
31	Ga (Galio)				
49	In (Indio)				
14	Si (Silicio)	IVa	Metaloide	4 e <sup>-</sup>	+4
32	Ge (Germanio)		No metal	5 e <sup>-</sup>	+3, -3, +5
15	P (Fósforo)	Va	Metaloide		
33	As (Arsénico)				
51	Sb (Antimonio)				
16	S (Azufre)	VIa	No metal	6 e <sup>-</sup>	+2, -2 +4, +6
34	Se (Selenio)		Metaloide		
52	Te (Telurio)				

TABLA 3: TIPOS DE SEMICONDUCTORES

El elemento semiconductor más usado es el silicio, el segundo el germanio, aunque de idéntico comportamiento presentan las combinaciones de elementos de los grupos 12 y 13 con los de los grupos 14 y 15 respectivamente (AsGa, Pin, AsGaAl, TeCd, SeCd y SCd). Posteriormente se ha comenzado a emplear también el azufre. La característica común a todos ellos es que son tetravalentes, teniendo el silicio una configuración electrónica  $s^2 p^2$ .

### 2.3 Tipos de semiconductores.

#### *Semiconductores intrínsecos*

Es un cristal de silicio o germanio que forma una estructura tetraédrica similar a la del carbono mediante enlaces covalentes entre sus átomos. Cuando el cristal se encuentra a temperatura ambiente algunos electrones pueden absorber la energía necesaria para saltar a la banda de conducción dejando el correspondiente hueco en la banda de valencia. Las energías requeridas, a temperatura ambiente, son de 0,7 eV y 0,3 eV para el silicio y el germanio respectivamente.

Obviamente el proceso inverso también se produce, de modo que los electrones pueden caer, desde el estado energético correspondiente a la banda de conducción, a un hueco en la banda de valencia liberando energía. A este fenómeno se le denomina recombinación. Sucede que, a una

determinada temperatura, las velocidades de creación de pares de electrones y huecos, y de recombinación se igualan, de modo que la concentración global de electrones (cargas negativas) y “p” la concentración de huecos (cargas positivas), se cumple que:  $n_i = n = p$

Siendo la concentración intrínseca del semiconductor, función exclusiva de la temperatura. Si se somete el cristal a una diferencia de potencial se producen dos corrientes eléctricas. Por un lado la debida al movimiento de los electrones libres de la banda de conducción, y por otro, la debida al desplazamiento de los electrones en la banda de valencia, que tenderán a saltar a los huecos próximos, originando una corriente de hueco con 4 capas ideales y en la dirección contraria al campo eléctrico cuya velocidad y magnitud es muy inferior a la banda de conducción.

### *Semiconductores extrínsecos*

Si aún semiconductor intrínseco, como el anterior, se le añade un pequeño porcentaje de impurezas, es decir, elementos trivalentes o pentavalentes, el semiconductor se denomina extrínseco, y se dice que está dopado. Evidentemente, las impurezas deberán formar parte de la estructura cristalina sustituyendo al correspondiente átomo de silicio. Hoy en día se han logrado añadir impurezas de una parte por cada 10 millones, logrando con ello una modificación del material.

#### **2.4 Semiconductor tipo N**

Un semiconductor tipo N se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado añadiendo un cierto tipo átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libre (en este caso negativos o electrones).

Cuando se añade el material dopante aporta sus electrones más débilmente vinculados a los átomos del semiconductor. Este tipo de agente dopante es también conocido como material donante ya que da algunos de sus electrones.

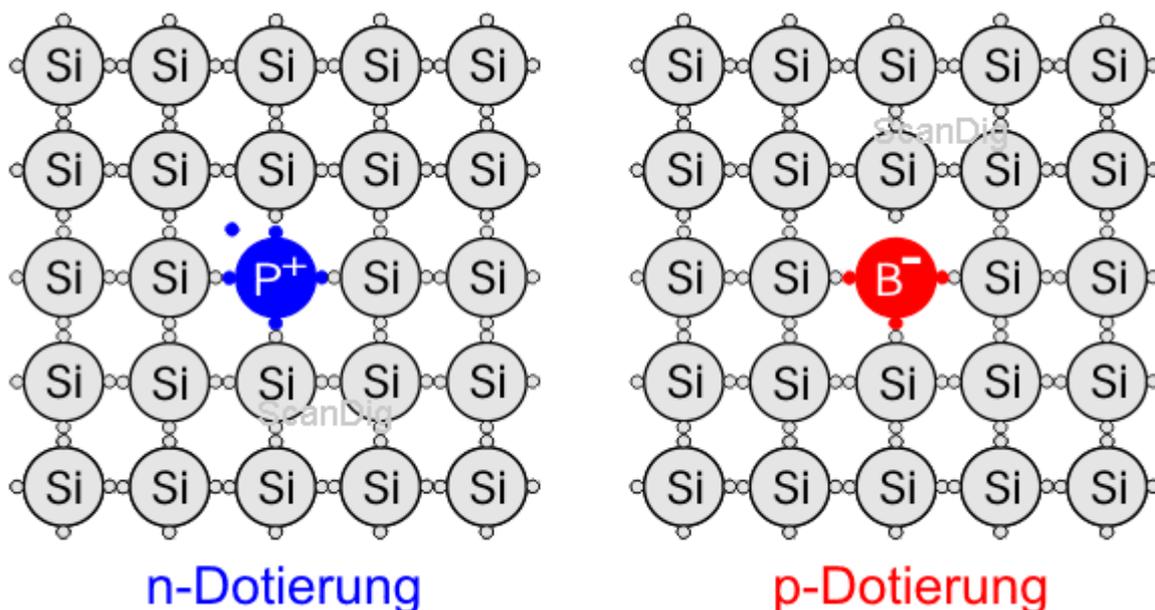


Fig. 18: ESTRUCTURA DE UN SEMICONDUCTOR

El propósito del dopaje tipo n es el de producir abundancia de electrones portadores en el material. Para ayudar a entender cómo se produce el dopaje tipo n considérense el caso del silicio (Si). Los átomos del silicio tienen una valencia atómica de cuatro, por lo que se forma un enlace covalente con cada uno de los átomos de silicio adyacentes, si un átomo con cinco electrones de valencia, tales como los del grupo 15 de la tabla periódica (ej. Fosforo (P). Arsénico (As) o antimonio Sb)), se incorpora a la red cristalina en el lugar de un átomo de silicio, entonces ese átomo tendrá cuatro enlaces covalentes y un electrón no enlazado. Este electrón extra da como resultado la formación de “electrones libres”, el número de electrones en el material supera ampliamente el número de huecos, en ese caso los electrones son los portadores mayoritarios y los huecos son los portadores minoritarios. A causa de que los átomos donadores. Nótese que cada electrón libre en el semiconductor nunca está lejos de un ion dopante positivo inmóvil, y el material dopado tipo N generalmente tiene carga eléctrica neta final de cero.

### ***2.5 Semiconductor tipo P***

Un semiconductor tipo P se obtiene llevando a cabo un proceso de dopado, añadiendo un cierto tipo de átomos al semiconductor para poder aumentar el número de portadores de carga libres (en este caso positivos o huecos).

Cuando se añade el material dopado libera los electrones más débilmente vinculados de los átomos del semiconductor. Este agente dopante es también conocido como material aceptor y los átomos del semiconductor que han perdido un electrón son conocidos como huecos.

El propósito del dopaje tipo P es el crear abundancia de huecos. En el caso del silicio, un átomo tetravalente (típicamente del grupo 14 de la tabla periódica) se le une un átomo con tres electrones de valencia, tales como los del grupo 13 de la tabla periódica (ej. Al, Ga, B, In), y se incorpora a la red cristalina en el lugar de un átomo de silicio, entonces ese átomo tendrá tres enlaces covalentes y un hueco producido que se encontrará en condición de aceptar un electrón libre.

Así los dopantes crean los “huecos”. No obstante, cuando cada hueco se ha desplazado por la red, un protón del átomo situado en la posición del hueco se ve “expuesto” y en breve se ve equilibrado como una cierta carga positiva. Cuando un número suficiente de aceptores son añadidos, los huecos superan ampliamente la excitación térmica de los electrones. Así, los huecos son los portadores mayoritarios, mientras que los electrones son los portadores minoritarios en los materiales tipo P. Los diamantes azules (tipo IIb), que contienen impurezas de boro (B), son un ejemplo de un semiconductor tipo P que se produce de manera natural.

### ***2.6 Principio de funcionamiento de un panel solar***

Algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en este y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio o el arsénico de galio.

Los electrones, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad. Las cargas positivas complementarias que se crean en los átomos que pierden los electrones, (parecidas a

burbujas de carga positiva) se denominan huecos y fluyen en el sentido opuesto al de los electrones, en el panel solar.

Se ha de comentar que, así como el flujo de electrones corresponde a cargas reales, es decir, cargas que están asociadas a desplazamiento real de masa, los huecos, en realidad, son cargas que se pueden considerar virtuales puesto que no implican desplazamiento de masa real.

Un conjunto de paneles solares la energía solar (energía en forma de radiación y que depende de la frecuencia de los fotones) en una determinada cantidad de corriente continua (cc), también denominada DC (acrónimo del inglés Direct current y que corresponde a un tipo de corriente eléctrica que se describe como un movimiento de carga en una dirección y un solo sentido, a través de un circuito. Los electrones se mueven de los potenciales más bajos a los más altos).

Si la instalación eléctrica funciona con corriente alterna en lugar de corriente continua que es la que produce los paneles solares entonces se utiliza un inversor (invertir) que transforma la corriente continua en corriente alterna, (AC) (tipo de corriente disponible en el suministro eléctrico por parte de CFE) de 120 V o 220 V.

La electricidad generada se distribuye, casi siempre, a la línea de los dispositivos de iluminación, ya que estos no consumen energía excesiva y son los adecuados para que funcionen correctamente con la electricidad generada por el panel.

La electricidad que no se usa se utiliza en los dispositivos de iluminación se puede dirigir a otro tipo de carga, ya sea computadoras, televisores, etc.

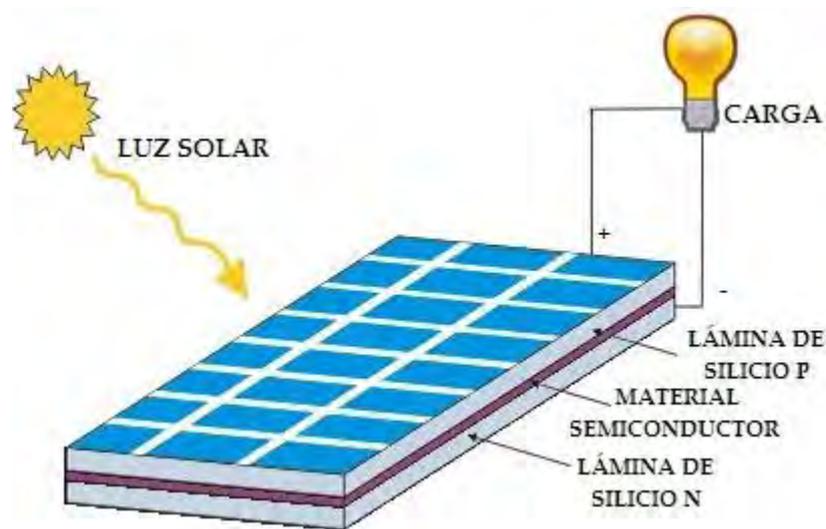


Fig. 19: FUNCIONAMIENTO DE UN PANEL SOLAR

Cuando un fotón llega a una pieza de silicio, pueden ocurrir tres acontecimientos:

- 1- El fotón puede pasar a través del material de silicio sin producir ningún efecto, esto ocurre, generalmente para fotones de baja energía.
- 2- Los fotones pueden ser reflejados al llegar a la superficie del panel, y son expulsados de este.

3- El fotón es absorbido por el silicio, en cuyo caso puede:

-Generar calor.

Producir pares de electrones-huecos, si la energía del fotón incidente es más alta que la mínima necesaria para que los electrones liberados lleguen a la banda conducción.

Nótese que si un fotón tiene un número entero de veces el salto de energía para que el electrón llegue a la banda de conducción, podría crear más de un único par electrón-hueco. No obstante, este efecto no es significativo, de manera usual, en las células solares. Este fenómeno, de múltiplos enteros, es aplicable mediante la mecánica cuántica y la energía cuántica.

Cuando se absorbe un fotón la energía de este se comunica a un electrón de la red cristalina. Usualmente, este electrón está en la banda de valencia, y está fuertemente vinculado en enlaces covalentes que forma la red cristalina da lugar a lo que se llama la banda de valencia. Los electrones pertenecientes a esa banda son incapaces de moverse más allá de los confines de la banda, a no ser que se les proporcione energía, y además energía determinada. La energía que el fotón le proporciona es capaz de excitarlo y promocionarlo a la banda de conducción, que está vacía y donde puede moverse con relativa libertad, usando esa banda, para desplazarse, a través del interior del semiconductor.

El enlace covalente del cual formaba parte el electrón, tiene ahora un electrón menos. Esto se conoce como hueco. La presencia de un enlace covalente perdido permite a los electrones vecinos moverse hacia el interior de ese hueco, que producirá un nuevo hueco al desplazarse el electrón de al lado, y de esta manera, y por un efecto de translaciones sucesivas, un hueco puede desplazarse a través de la red cristalina. Así pues, se puede afirmar que los fotones absorbidos por el semiconductor crean pares móviles de electrones-huecos.

Un fotón solo necesita tener una energía más alta que la necesaria para llegar a los huecos vacíos de la banda de conducción del silicio, y así poder excitar un electrón de la banda de valencia original a dicha banda.

El espectro de frecuencia solar es muy parecido al espectro del cuerpo negro cuando este se calienta a la temperatura de 6000 °K y, por tanto, gran cantidad de la radiación que llega a la tierra está compuesta por fotones con energías más altas que la necesaria para llegar a los huecos de la banda de conducción. Ese excedente de energía que muestran los fotones, y mucho mayor de la necesaria para la promoción de electrones a la banda de conducción, será absorbida por la

célula solar y se manifestara en un apreciable calor (dispersado mediante vibraciones de la red, denominadas fotones) en lugar de energía eléctrica utilizable.

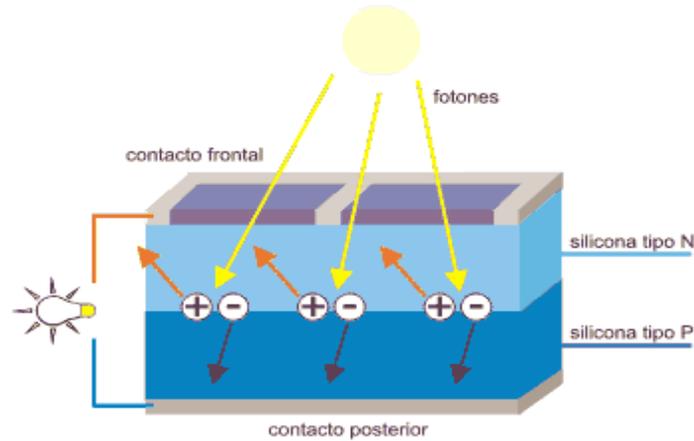


Fig. 20: REACCION QUIMICA DENTRO DE UNA CELULA FOTOVOLTAICA

### ***2.7 Separación de los portadores de carga***

Hay dos modos fundamentales para la separación de portadores de carga en una célula solar.

- 1- Movimiento de los portadores, impulsados por un campo electrostático establecido a través del dispositivo.
- 2- Difusión de los portadores de carga de zonas de alta concentración de portadores a zonas de baja concentración de portadores (siguiendo un gradiente de potencial eléctrico).

En las células de unión p-n ampliamente usadas en la actualidad, el modo que predomina en la separación de portadores es por la presencia de un campo electrostático. No obstante, en células solares en las que no ha uniones p-n (típicas de la tercera generación de células solares experimentales, como células de película delgada de polímeros o tintas sensibilizada), el campo eléctrico electrostático parece estar ausente.

En el caso, el modo dominante de separación es mediante la vía de la difusión de los portadores de carga.

## 2.8 Barrera interna de potencial.



Fig. 21: BARRERA INTERNA DE POTENCIAL

Al unir ambos cristales, se manifiesta una difusión de electrones del cristal n al p.

Al establecerse estas corrientes aparecen cargas fijas en una zona a ambos lados de la unión, zona que recibe diferentes denominaciones como barrera interna de potencia, zona de carga espacial, de agotamiento o empobrecimiento, de deflexión, de vaciado, etc.

A medida que progresa el proceso de difusión, la zona de carga espacial va incrementando su anchura profundizando en los cristales a ambos lados de la unión. Sin embargo, la acumulación de iones positivos en la zona n y de iones negativos en la zona p, crea un campo eléctrico  $\mathcal{E}$  que actuara sobre los electrones libres de la zona n con una determinada fuerza de desplazamiento, que se opondrá a la corriente de electrones y terminara deteniéndolos.

Este campo eléctrico es equivalente a decir que aparece una diferencia de tensión entre las zonas p y n. esta diferencia de potencial ( $V_0$ ) es de 0,7 V en el caso del silicio y de 0,3 V si los cristales son de germanio.

La anchura de la zona de carga espacial una vez alcanzado el equilibrio, suele ser del orden de 0,5 micras pero cuando uno de los cristales está mucho más dopado que el otro, la zona de carga espacial es mucho mayor.

## 2.9 Polarización directa de la unión P-N

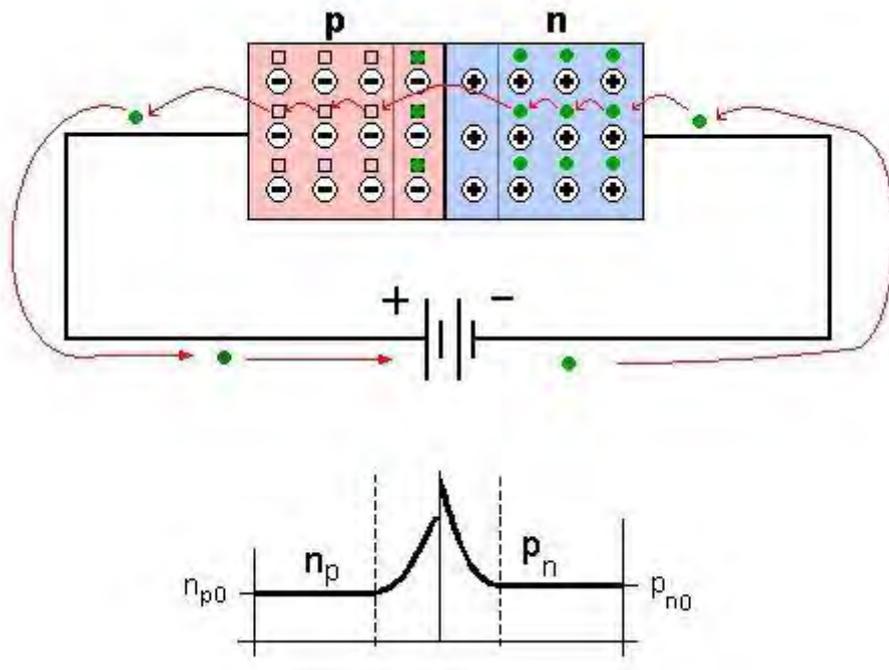


Fig. 22: POLARIZACION DIRECTA DEL DIODO p-n

En este caso, la batería disminuye la barrera de potencial de la zona de carga espacial, permitiendo el paso de la corriente de electrones a través de la unión, es decir, el diodo polarizado directamente conduce la electricidad.

Para que un diodo este polarizado directamente, tenemos que conectar el polo positivo de la batería al ánodo del diodo y el polo negativo al cátodo. En estas condiciones podemos observar que:

- El polo negativo de la batería repele los electrones libres del cristal n, con lo que estos electrones se dirigen hacia la unión p-n.
- El polo positivo de la batería atrae a los electrones de valencia del cristal p, esto es equivalente a decir que empuja a los huecos hacia la unión p-n.
- Cuando la diferencia de potencial entre los borne de la batería es mayor que la diferencia de potencial en la zona de carga espacial, los electrones libres del cristal n, adquieren la energía suficiente para saltar a los huecos del cristal p, los cuales previamente se han desplazado hacia la unión p-n.
- Una vez que un electrón libre de la zona p atravesando la zona de carga espacial, cae en uno de los múltiples huecos de la zona p convirtiéndose en electrón de valencia. Una vez ocurrido esto el electrón es atraído por el polo positivo de la batería y se desplaza de átomo en átomo hasta llegar al final del cristal p, desde el cual se introduce en el hilo conductor y llega hasta la batería.

De este modo, con la batería cediendo electrones libres a la zona n y atrayendo electrones de valencia de la zona p, aparece a través del diodo una corriente eléctrica constante hasta el final. Polarización directa: se produce cuando se conecta el polo positivo de la pila a la parte P de la unión P-N y la negativa a la N.

### 2.10 Polarización inversa de la unión P-N

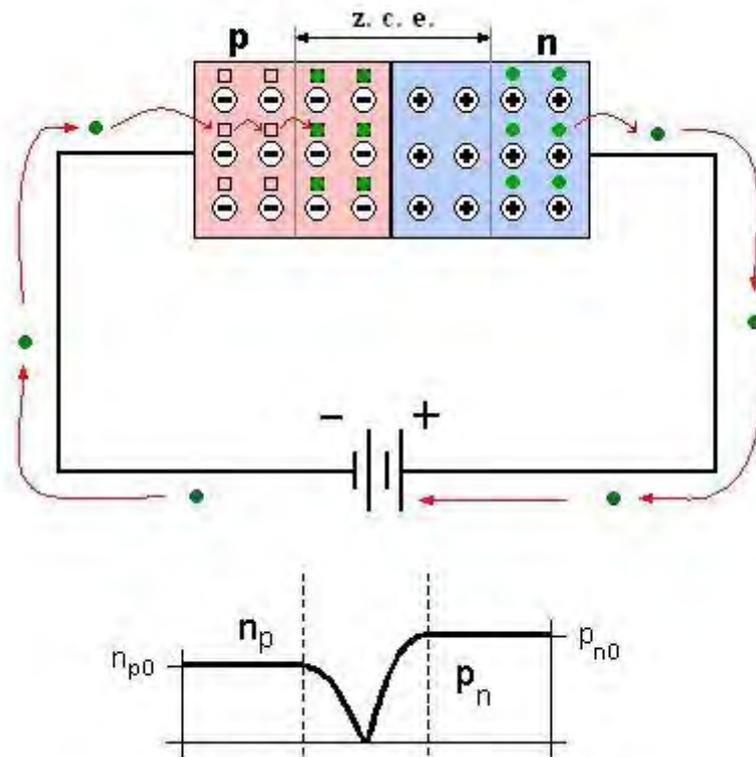


Fig. 23: POLARIZACION INVERSA DE LA UNION p-n

En este caso, el polo negativo de la batería se conecta a la zona p y el polo positivo a la zona n, lo que hace aumentar el valor de la tensión de la batería, tal y como se explica a continuación:

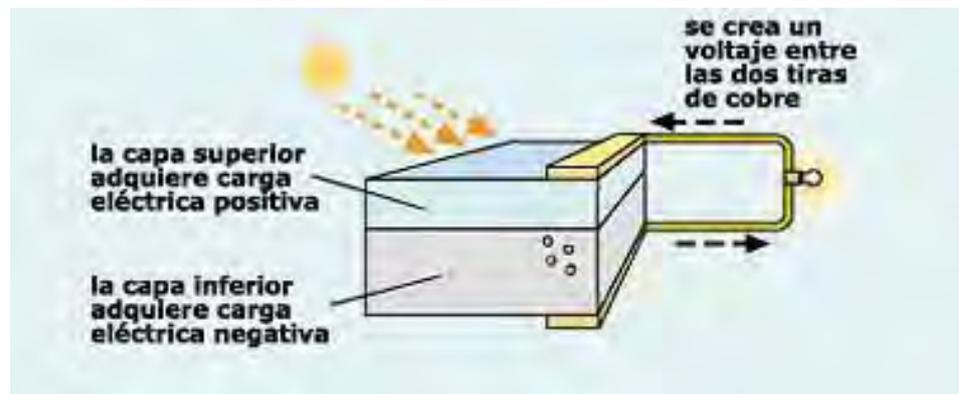
- El polo de la batería atrae a los electrones libres de la zona n, los cuales salen del cristal n y se introducen en el conductor dentro del cual se desplazan hasta llegar a la batería. A medida que los electrones libres abandonan la zona n, los átomos pentavalente que eran neutros, al verse desprendidos de su electrón en el orbital de conducción, adquieren estabilidad (8 electrones en la capa de valencia, ver semiconductor y átomo) y una carga eléctrica neta de +1, con lo que se convierte en iones positivos.
- El polo negativo de la batería cede electrones libres a los átomos trivalentes de la zona p. Recordemos que estos átomos solo tienen 3 electrones de valencia, con lo que una vez que han formado los enlaces covalentes con los átomos de silicio, tienen solamente 7 electrones de valencia, siendo el electrón que falta el denominado hueco. El caso es que cuando los electrones libres cedidos por la batería entran en la zona p, caen dentro de esto

huecos con lo que los átomos trivalentes adquieren estabilidad (8 electrones en su órbita de valencia) y una carga eléctrica neta de -1, convirtiéndose así en iones negativos.

- Este proceso se repite una y otra vez hasta que la zona de carga espacial adquiere el mismo potencial eléctrico que la batería.

En esta situación, el diodo no debería conducir la corriente, sin embargo, debido al efecto de la temperatura se formarían pares electro-hueco a ambos lados de la unión produciendo una pequeña corriente (del orden de  $1\mu\text{A}$ ) denominada corriente inversa de saturación. Además, existe también una denominada corriente superficial de fugas la cual, como su propio nombre lo indica, conduce una pequeña corriente por la superficie del diodo; ya que en la superficie, los átomos de silicio no están rodeados de suficientes átomos para realizar los cuatro enlaces covalentes necesarios para obtener estabilidad. Esto hace que los átomos de la superficie del diodo, tanto de la zona n como de la p, tengan huecos en su orbital de valencia con lo que los electrones circulan sin dificultad a través de ellos. No obstante, al igual que la corriente inversa de saturación, la corriente superficial de fugas es despreciable.

Fig. 24:  
Generación de corriente en una placa convencional.



### 2.12 Esquema eléctrico.

Los paneles solares funcionan, como se ha dejado entrever en el anterior apartado, por el efecto fotoeléctrico. Cada célula fotovoltaica está compuesta de, al menos, dos delgadas láminas de silicio. Una dopada con elementos con menos electrones de valencia que el silicio, denominada P y otra con elementos con más electrones que los átomos de silicio, denominado N.

Aquellos fotones procedentes de la fuente luminosa, que presentan energía adecuada, incidente sobre la superficie de la capa P, y al interactuar con el material liberan electrones de los átomos de silicio los cuales, en movimiento, atraviesan la capa de semiconductor, pero no pueden volver. La capa N adquiere una diferencia de potencial respecto a la P. si se conectan unos conductores eléctricos a ambas capas y estos, a su vez, se unen a un dispositivo o elemento eléctrico consumidor de energía que, usualmente y de forma genérica se denomina carga, se iniciará una corriente eléctrica continua.

Este tipo de paneles producen electricidad en corriente continua y aunque su efectividad depende tanto de su orientación hacia al sol como de su inclinación con respecto a la horizontal, se suelen montar instalaciones de paneles con orientación e inclinación fija, por ahorros en mantenimiento. Tanto la inclinación como la orientación, se fija dependiendo de la latitud y tratado de optimizarla al máximo usando las recomendaciones de la norma correspondiente.

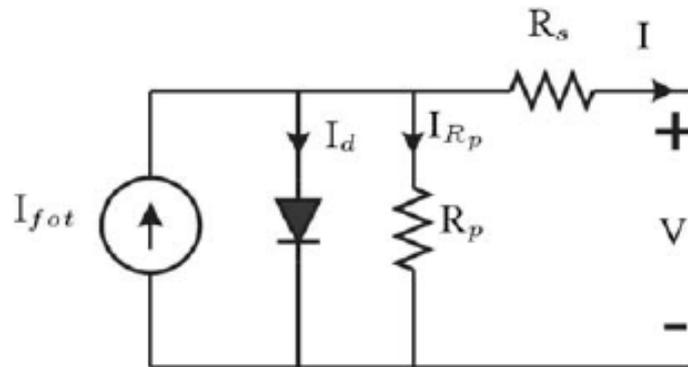


Fig. 25: ESQUEMA ELECTRICO BASICO DE UN PANEL SOLAR

### 2.13 Tipos de placas

Las placas fotovoltaicas se dividen en:

- 1- Cristalinas
  - Mono cristalinas: se componen de secciones de un único crista de silicio (reconocibles por su forma circular u octagonal, donde los 4 lados cortos, son curvos, debido a que es una célula circular recortada).
  - Poli cristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.



MONOCRISTALINO VS POLICRISTALINO

Fig. 26: Placas

2- Amorfas: cuando el silicio no se ha cristalizado.

Las celdas FVs que se ofrecen en el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores. Uno tiene una estructura cristalina uniforme, el otro una estructura poli cristalina.

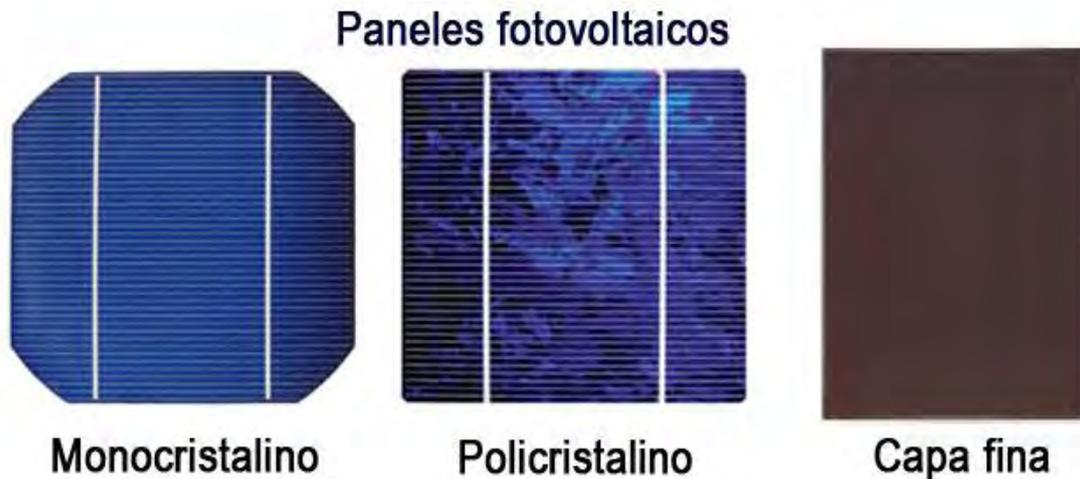


Fig. 27: CELDAS MONOCRISTALINA Y POLICRISTALINA

El tipo cristalino requiere un elaborado proceso de manufactura, que consume enormes cantidades de energía eléctrica, incrementando sustancialmente el costo del material semiconductor. La versión poli cristalina se obtiene fundiendo el material semiconductor, el que es vertido en moldes rectangulares. Su estructura cristalina no es uniforme, de ahí el nombre de poli (muchos) y cristalino (cristales).

Los dos tipos pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee una superficie de brillo uniforme, mientras que la poli cristalina muestra zonas de brillo diferente.

### **2.14 Constitución de las celdas**

#### ***Superficie activa***

Esta es la parte del área total de la celda que interviene en el proceso de conversión. En la actualidad, es común que la conexión a uno de los materiales semiconductores sea hecha usando diminutos trazos metálicos en la parte frontal (área expuesta al sol).

Este proceso resulta en una disminución del área activa de la celda. Algunas de estas celdas tienen conectadas las zonas N y P del semiconductor en la parte posterior de la celda. Este proceso de fabricación incrementa el área activa de la celda, sin aumentar la superficie de la misma.

### Forma geométrica

El método de fabricación determina, así mismo, la forma geométrica de la celda FV. Las primeras versiones eran circulares. Versiones más recientes tienen forma cuadrada, ya sea con vértices redondeados 0 a 90°.

### Material anti reflejante

De no ser tratada, la superficie del material semiconductor que está expuesta a la luz incidente tiende a reflejar una porción de la misma, disminuyendo la cantidad de energía luminosa que puede llegar al par semiconductor. Para evitar esta pérdida, el fabricante deposita una finísima capa de material anti reflejante.

### Material amorfo

Algunos paneles fotovoltaicos no tienen celdas independientes conectadas entre sí, sino una estructura semiconductores que ha sido depositada, en forma continua, sobre una base metálica laminar. Este proceso permite la fabricación de un panel fotovoltaico flexible, el que puede adaptarse a superficies que no son completamente planas. La superficie activa de estos paneles no tiene una estructura cristalina, y por ello se le denomina amorfa (a = sin; morfos = forma). La ausencia de una estructura cristalina aumenta la posibilidad de que una carga libre sea atrapada, lo que se traduce en una menor eficiencia de conversión, recientemente la compañía United solar system ha introducido un panel de este tipo bajo el nombre Uní-Solar. Para compensar el bajo rendimiento de conversión, este panel apila tres capas de material amorfo. Cada una de ellas responde a un distinto rango de frecuencia dentro del espectro visible de luz solar.

El más profundo responde al rojo, el del medio al verde, y el de arriba al azul. Como la eficiencia total sigue siendo más baja que la de un panel con celdas cristalinas o poli cristalinas,

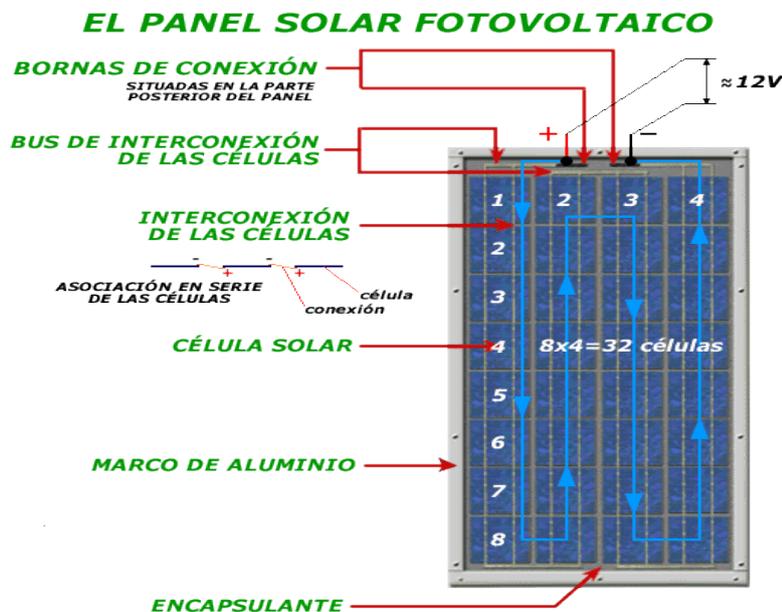


Fig. 28: la superficie activa requerida para obtener una determinada potencia de salida es siempre mayor. Estos paneles adquieren rigidez mecánica mediante el uso de una placa de acero en la parte posterior, un laminado plástico de protección en el frente y un marco metálico de aluminio.

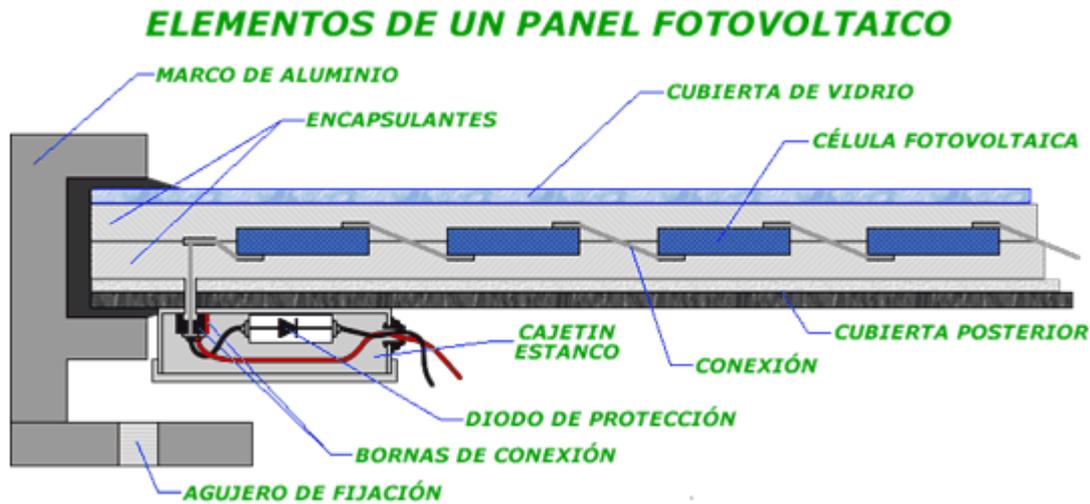


Fig. 29: COMPOSICION DE UN PANEL SOLAR EN CORTE

### **2.15 Tipos de conexiones.**

Las conexiones más comunes para los paneles solares fotovoltaicos dependiendo de la tensión eléctrica a utilizar son las siguientes.

#### ***Conexión paralelo.***

Las conexiones de cableado en párelo se hacen de los terminales positivos (+) a positivo (+) y de las terminales negativo (-) al negativo (-) de entre los módulos o paneles solares fotovoltaicos.

Cuando las cargas o las fuentes se conectan en paralelo, las corrientes se suman y la tensión resultante es la misma en todas las partes del circuito.

Por lo tanto, si se desea aumentar la intensidad de corriente en un sistema de paneles solares, estos se deben conectar en paralelo.

Remarcando: si se conecta en paralelo aumenta la corriente producida y no la tensión. Parámetros nominales de cada uno de los paneles:

$$V = 12 \text{ V}$$

$$I = 2.5 \text{ A}$$

$$P = 40 \text{ W}$$

Entonces conectado en paralelo los 3 paneles:

$$V = 12 \text{ V}$$

$$I = 3 \times 2.5 = 7.5 \text{ A}$$

$$P = 3 \times 40 = 120 \text{ W}$$

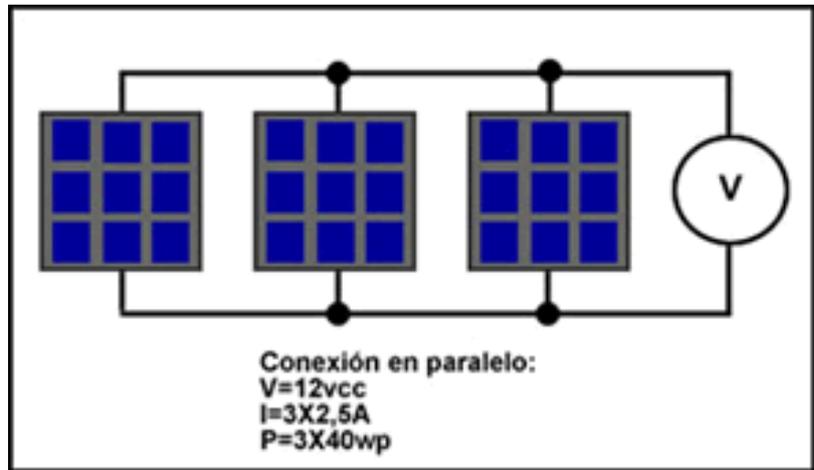


Fig. 30: paneles en paralelo

### Conexión serie

Son circuito donde el cableado se hace desde un extremo positivo (+) del panel a otro extremo negativo (-) del mismo panel. Por supuesto puede hacerse la conexión también desde un panel a otro panel cuidando las salidas positivas (+) a negativo (-) o viceversa.

Cuando las cargas o las fuentes de energía están conectadas en serie, aumenta la tensión eléctrica.

En serio no aumenta la intensidad de corriente producida, la figura muestra dos módulos conectados en serie que resulta en 36 V y 2.5 A

Parámetros nominales de cada uno de los paneles:

$$V = 12 \text{ V}$$

$$I = 2.5 \text{ A}$$

$$P = 40 \text{ W}$$

Entonces conectado en paralelo los 3 paneles:

$$V = 3 \times 12 = 36 \text{ V}$$

$$I = 2.5 \text{ A}$$

$$P = 3 \times 40 = 120$$

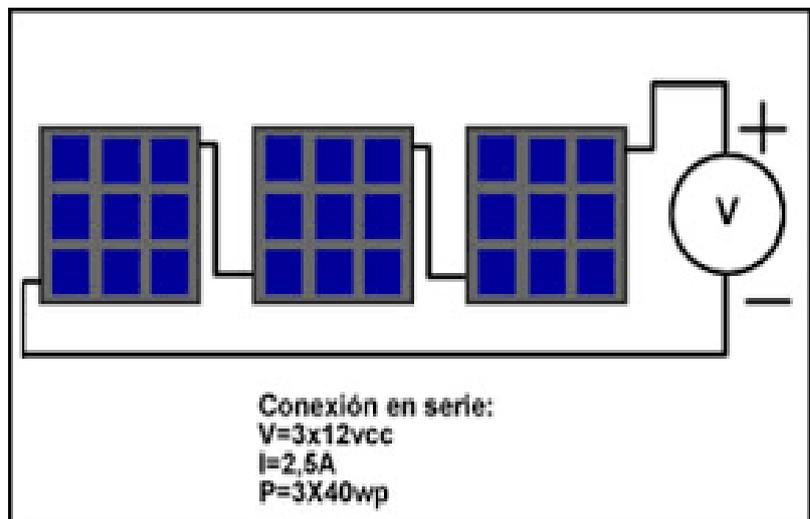


Fig. 31: paneles en serie

## **CAPITULO 3**

# **CONSIDERACIONES BASICAS DE LAS BATERIAS**

### 3 Baterías

Desde tiempos muy remotos el hombre ha experimentado y probado con la electricidad. Una prueba de ello son unos inusuales jarrones encontrados en parthian de Mesopotamia (hoy en día Iraq) en 1936. Dichos jarrones datan del año 250 A.C., estos fueron desenterrados durante excavaciones arqueológicas en khujut rabu cerca de Bagdad y dichos jarrones se muestran en la figura actualmente se encuentran resguardados en el museo del estado de Bagdad. Estos jarrones son básicamente un cilindro de cobre de 130mm de alto, el fondo está cubierto por un disco de cobre en el centro del cilindro como podemos ver en la imagen a continuación. La barra demostró evidencia de la corrosión con una agente acido tal como vino o vinagre. Era una batería que contenía un núcleo de hierro insertado en cilindro delgado de cobre. Tal vez fue diseñada para almacenar electricidad estática. En 1938 fueron examinados por el arqueólogo alemán Wilhelm Kônig que concluyo que era células galvánicas.

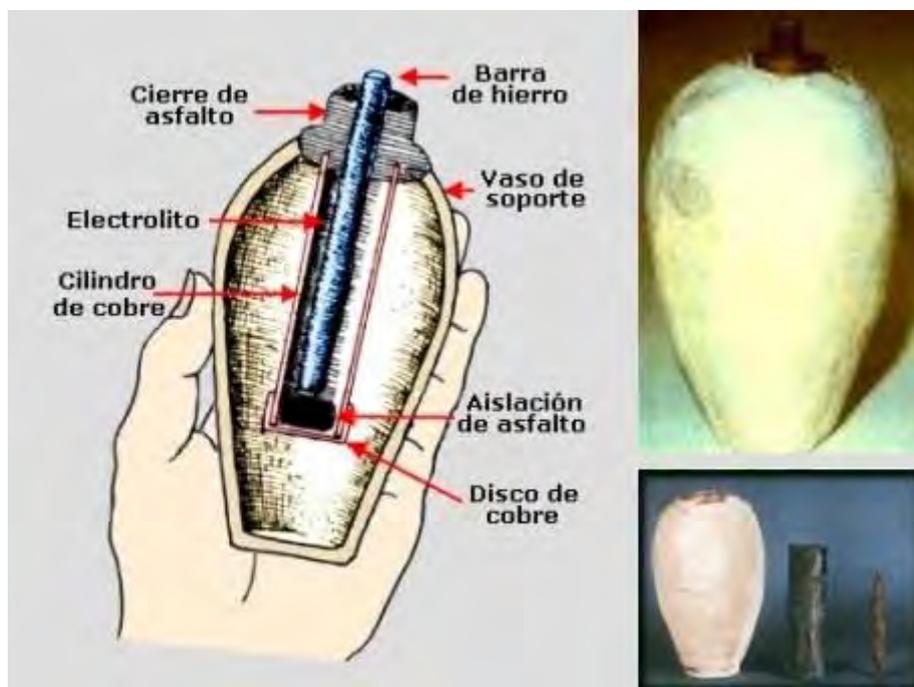


Fig. 32: Esquema de un jarrón como los encontrados en parthian de Mesopotamia.

La historia de esta antigua batería tal vez nunca la sepamos, pero lo que sí se sabe es que en la antigua Grecia ya se conocía el efecto que tenía una pieza de ámbar cuando era frotado con otro material: tenía la propiedad de atraer cuerpos ligeros.

Pero la historia de la batería es mucho más reciente. Benjamín Franklin en 1748 es el primero en acuñar el término batería al describir un arreglo de placas de cristal cargadas.

Luigi Galvani un anatomista y físico observo los músculos de una rana se podían contraer cuando son sacudidos deliberadamente por una carga electroestática. En sus experimentos en la universidad de Boloña en bioelectrogenesis, Galvani noto que la pierna de la rana también

reacciona cuando se colocan dos diferentes metales en el musculo, tal y como se muestra en la siguiente figura. Con estos experimentos Galvani dedujo que el musculo producía electricidad.

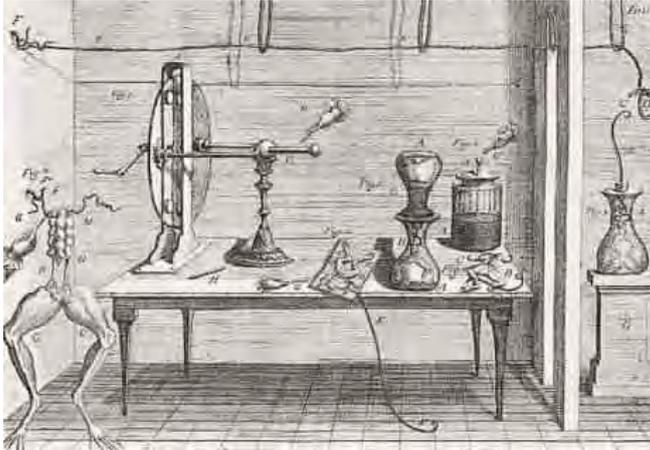


Fig. 33

a) Boceto del primer experimento de galvani

Fig. 34

b) Pinza de cobre y Platino

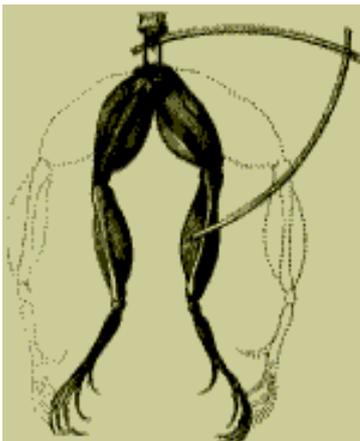


Fig. 35

b) Esquema del uso de las pinzas de cobre y platino

El nombre de Galvani desde entonces es asociado íntimamente con la electricidad. Hasta nuestros días, el proceso de producir electricidad por una reacción química es llamado bajo el termino de galvanismo; sentado las bases para el desarrollo de futuros inventos, como los realizados por

Alessandro Volta (de quien obtenemos el nombre de la unidad de medición de la diferencia de potencial: Voltios) profesor de filosofía natural en la universidad de pavía, quien obtuvo los mismos resultados que Galvani. Construyó el primer aparato conocido que generó corriente continua y comunicó de su hallazgo a la Royal London Society, el 20 de marzo de 1800.

Como se aprecia en la siguiente figura el experimento consistió en poner dos pequeños discos del tamaño de una moneda pequeña, uno de plata y el otro de zinc en un recipiente, separados por un material esponjoso como el cuero.



Fig. 36: Pila de Alessandro Volta.

Todo este conjunto estaba en agua salada o en otra solución alcalina. A este conjunto le podemos llamar una pila. Volta después se dio cuenta de que si ponía estas pilas una seguida de otra, unidas por tiras de metal, tal como se muestra en la figura se lograba que el voltaje final fuera mayor.



Fig. 37: Esquema de la pila de Alessandro Volta.

Johann Wilhelm Ritter construyó su acumulador eléctrico en 1803. Como muchos otros le siguieron, era un prototipo teórico y experimental, sin posible aplicación práctica.

En 1813, Sir Humphrey Davy conectó una batería gigante en el sótano de la sociedad Royal de Londres. Esta batería estaba hecha de 2000 pares de platinas y tenía el tamaño de más o menos

100 m2. Con ella, realizo muchos experimentos que permitieron un más profundo conocimiento de la naturaleza de la electricidad, en la figura siguiente podemos ver un boceto del experimento.

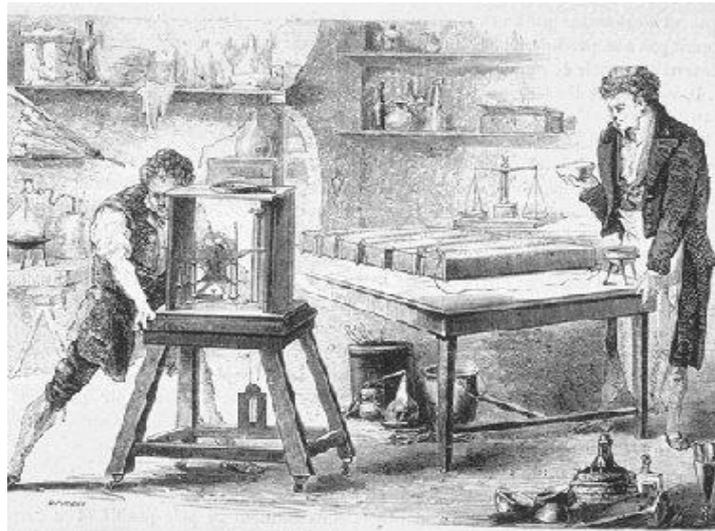


Fig. 38: Boceto de Humphrey en su laboratorio en la sociedad royal de Londres.

John F. Daniel movió cobre y zinc dentro de un baño de ácido sulfúrico para crear la gravedad o la celda Daniel en 1836 que usaba dos tipos de electrolitos, sulfato de cobre y zinc. La celda Daniel era más segura y menos corrosiva que la celda hecha por Volta.

Tres años después William Robert Grove agregó un agente oxidante para prevenir acumulación de hidrógeno en el cátodo, proveniente de la reducción de voltaje de la celda. La celda de dos partes de Grove consiste en una amalgama de zinc (ánodo) como recipiente poroso para el ácido sulfúrico con ácido nítrico y finalmente un cátodo de platino. El químico alemán Robert Wilhelm Busen (más famoso por su mechero bunsen que por sus experimentos eléctricos) mejoró la celda de Grove en 1841 sustituyendo el costoso cátodo de platino por carbón que era más barato. Ninguna de estas primitivas tecnologías en baterías es usada hoy en día.

Gastón Plante un inventor francés en el año de 1859 desarrolló el primer sistema de almacenamiento práctico de una batería ácida que podría ser recargada (con una batería secundaria), este tipo de batería es la que conocemos actualmente conocida como de plomo-ácido y es la utilizada hasta ahora en los automóviles. En la figura podemos observar lo que sería la antecesora de la batería actual de plomo-ácido.



Fig. 39: Batería ácido de Gastón.

Poco a poco los científicos fueron mejorando la idea original de la batería de volta y en 1860 George Leclanche de Francia desarrollo la primera batería utilizada ampliamente (la célula de zinc-carbón) patentada en 1866. El ánodo era de zinc y una aleación de mercurio y el cátodo era un compuesto de dióxido de magnesio y un poco de carbón. Ambos, ánodo y cátodo fueron sumergidos en una solución de cloruro de amonio, que actuaba como electrolito. El sistema fue llamado: “la célula húmeda”, y puede apreciarse en la siguiente figura. A finales de siglo XIX, sin embargo, la electricidad se iba convirtiendo rápidamente en artículo cotidiano, y cuando Plante volvió a explicar públicamente las características de su batería, en 1879, tuvo una acogida mucho mejor, de modo que comenzó a ser fabricado y utilizado casi inmediatamente, iniciándose un intenso y continuado proceso de desarrollo para perfeccionarlo y soslayar sus deficiencias, proceso que dura hasta nuestros días.

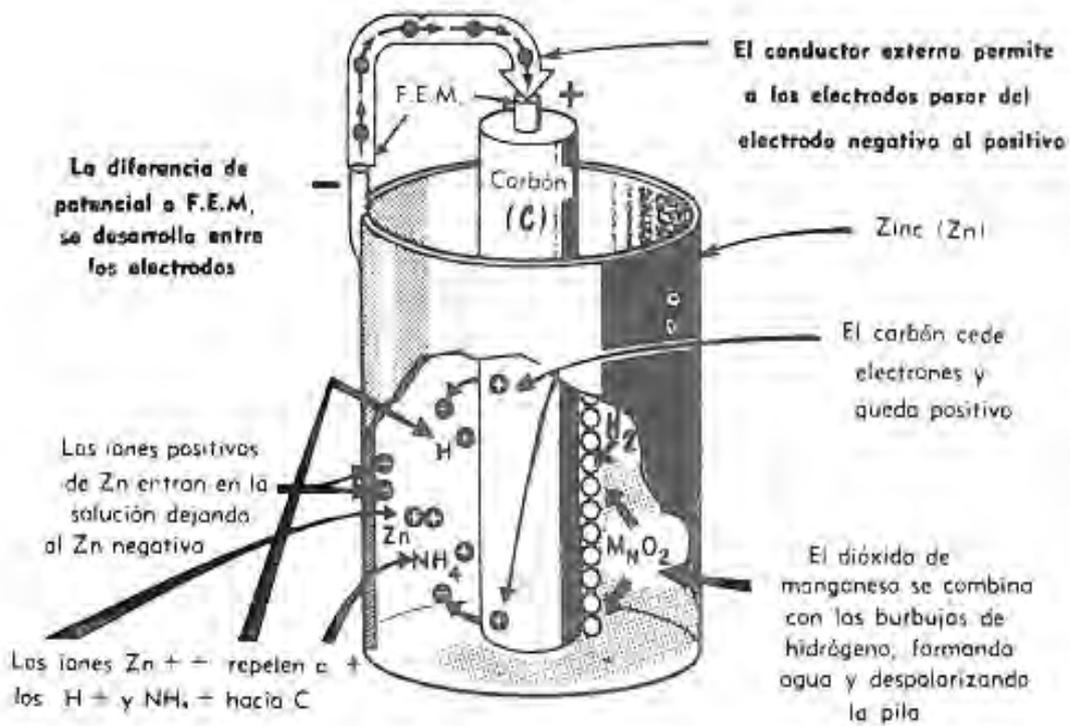


Fig. 40: Batería “húmeda” actual

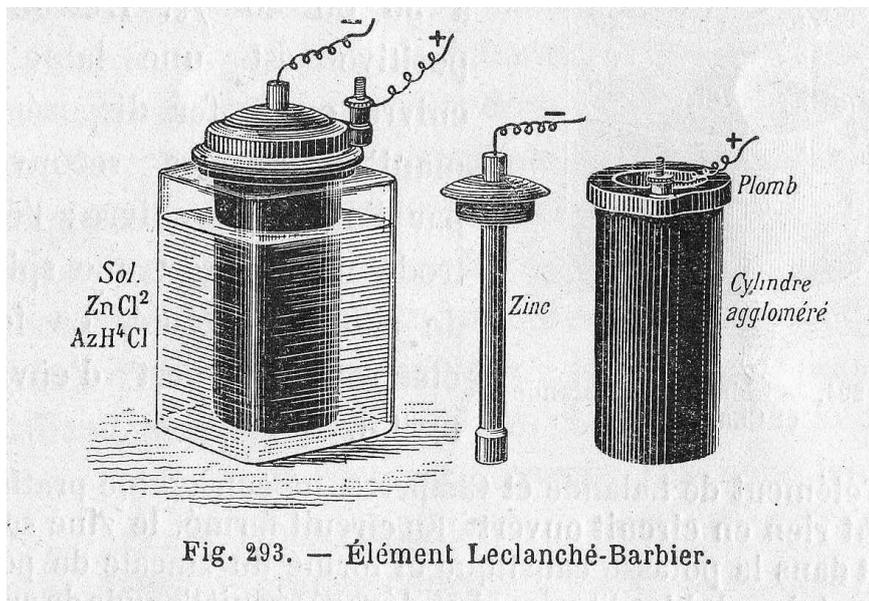


Fig. 41: Batería de George Leclanche

Aunque la idea de Leclanche era barata fue desplazada en 1880 por la célula seca y un año después J.A. Thiebaut patentó la primera batería con dos electrodos: positivos y negativos. En este mismo año inventó exitosamente la primera batería con celdas húmedas de uso comercial (celdas de zinc-carbón) quien la patentó en el año de 1887.

Casi finalizando ese mismo siglo en el año de 1899 Waldmar Jünger invento la primer batería de Níquel-Cadmio recargable.

Thomas Alva Edison invento en 1900, otro tipo de acumulador con electrodos de hierro y níquel, cuyo electrolito es la potasa caustica (KOH). Empezamos a comercializarse en 1908, y son la base de los actuales modelos alcalinos, ya sean recargables o no.

También hacia 1900, en Suecia, Jünger y Berg inventaron el acumulador Ni-Cd, que se muestra en la figura siguiente, utiliza ánodos de cadmio en vez de hierro, siendo muy parecido al de ferroníquel en las restantes características.



Fig. 42: Pila de Ni-Cd

En el año 1920 un joven científico, Samuel Rubén y un también joven empresario llamado Philip Rogers Mallory se conocieron cuando Rubén visito la fábrica de Mallory buscando un equipo que necesitaba para un experimento. Juntos vieron el futuro en sus proyectos y unieron la inventiva de uno con el poder de manufactura del otro. Esta unión que se mantuvo hasta la muerte de Mallory en 1975, fue la base de la empresa que todos conocen: Duracell International.

Las invenciones de Samuel Rubens revolucionaron la tecnología de las baterías. El creó la célula de mercurio que es la que se muestra en la figura era mucho más eficiente que la que se utiliza antes de zinc-carbón. Este invento fue especialmente útil en la segunda guerra mundial.



Fig. 43: Batería seca de mercurio

En el año 1950 Samuel Rubén mejoro la batería alcalina de magnesio haciéndola más resistente, compacta y de una gran duración. Haciendo lo que muchos decían imposible, ser capaz de acumular la energía solar en una batería. Gerald, Calvi Fuller y Daryl Chapín, que aparecen en la figura, inventaron la primera celda solar en el año 1954.

Los investigadores crearon un arreglo de varias tiras de silicón (cada una con el tamaño de una navaja), colocadas a la luz del sol, capturando los electrones libres y convirtiéndolos en corriente eléctrica, la batería lucía tal cual se muestra a continuación.



Fig. 44: Ingeniero del laboratorio Bell probando la batería solar en 1954.

Los laboratorios Bell en Nueva York, anunciaron la construcción de una nueva batería solar. Bell había financiado la investigación. El primer ensayo del servicio público de la batería solar de Bell comenzó con un sistema de portador del teléfono. (Americus, Georgia) el 4 de octubre de 1955 la figura ilustra este hecho.

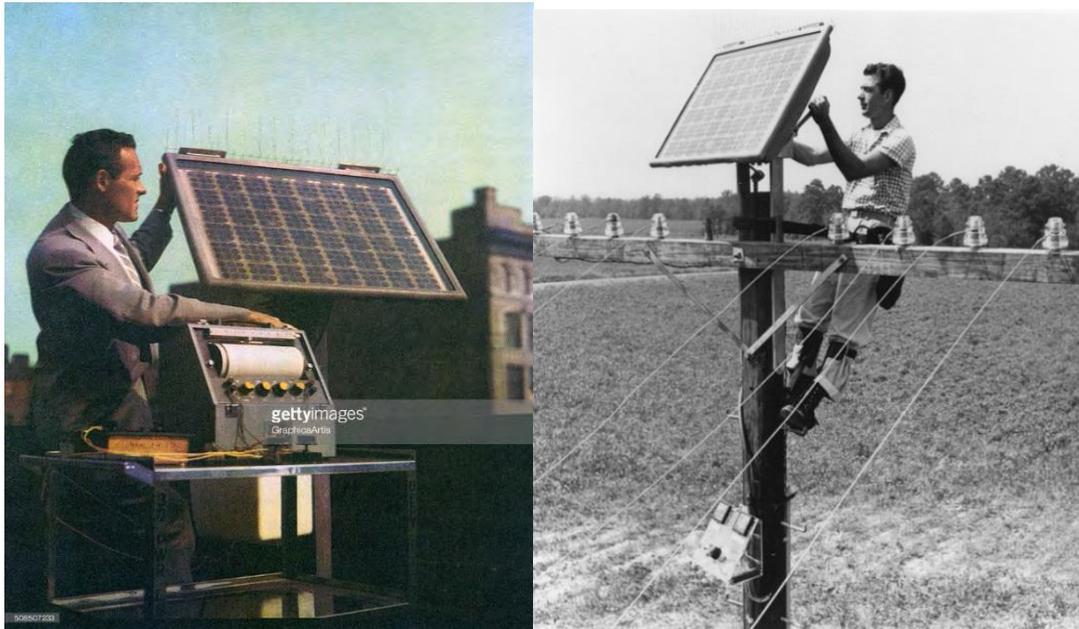


Fig. 45: la original batería solar de laboratorios Bell.

Durante los años 70, otro tipo de batería de gel fue desarrollado. En vez de usar electrolítico en gel, este tipo de batería utiliza un separador altamente absorbente único para sostener el ácido como una esponja, este separador esta hecho de microfibras de vidrio que absorben y sostienen el ácido. Estas baterías apropiadamente, fueron nombradas las baterías de esfera o AGM (Material de Gel Absorbente) de cristal absorbente para el cortocircuito.

### ***3.1 Principios de operación.***

El funcionamiento de una batería está basado esencialmente en el proceso de la energía: un proceso cuyos componentes no resultan consumidos ni se pierden, sino solamente se transforman en otros.... Que a su vez pueden retornar al estado primario en las circunstancias adecuadas. Estas circunstancias son, en el caso de las baterías, el cierre del circuito externo, durante el proceso de descarga, y la aplicación de una corriente, igualmente externa, durante la carga.

Resulta que procesos de este tipo son bastante comunes, por extraño que parezca, en las relaciones entre los elementos químicos y la electricidad durante el proceso denominado electrolisis, y en los generadores voltaicos o pilas. Los investigadores del siglo XIX dedicaron numerosos esfuerzos a observar y a esclarecer este fenómeno, que recibió el nombre de polarización.

Una batería es, así, un dispositivo en el que la polarización se lleva a sus límites alcanzables, y consta, en general, de dos electrodos, del mismo o de distinto material, sumergidos en una solución electrolítica.

### **3.2 Tipos de celdas**

Internamente de las baterías tenemos unos elementos llamados celdas. Los químicos dividen a las celdas electrolíticas en dos tipos: primario y secundario. La diferencia se centra en como la energía producida es almacenada en la celda.

Una celda primaria es una celda de una vía que crea nueva electricidad que proviene de una reacción química que transforma permanente la celda. En el proceso de descarga el ánodo, el cátodo y el electrolito de la celda pueden estar permanentemente e irreversiblemente cargados.

Una celda secundaria es recargable. Las reacciones químicas entre los elementos de la celda son invertidas fácilmente enviando electricidad dentro de la celda, en vez de hacerlo hacia afuera, algo que opera como productor de energía.

Aunque las baterías recargables pueden parecer la mejor elección esto no siempre es así, ya que los sistemas que utilizan tienen muchas desventajas cuando las comparas con las baterías primarias o no recargables.

Los sistemas químicos de las baterías no recargables son siempre menos convenientes que las baterías primarias (por ejemplo, los sistemas recargables son basados en líquidos corrosivos que pueden dañar el contenedor) y son menos estables. Ingenieros han creado baterías primarias que pueden “mantener” su integridad y habilidad de producir electricidad por una década o más tiempo sin que presente un deterioro significativo, pero todas las baterías secundarias pierden su carga relativamente rápido. Algunas baterías secundarias retienen una fracción de su carga inicial después de un año, sean o no usadas.

Las baterías secundarias también necesitan estar cargadas después del uso con el adecuado voltaje y corriente. Muchas aplicaciones las hacen incapaces de proveer la corriente de carga, particularmente cuando la idea es hacer un componente portátil de bajo costo, por ejemplo, agregar un cargador de \$ 100 por una batería recargable para un carrito de juguete o una linterna no tiene mucho sentido.

Para emergencia, las baterías no recargables son la mejor opción, y para usos frecuentes las baterías recargables son la mejor y la más barata alternativa.

### **3.3 Parámetros de una batería**

- La tensión o potencial, la cual es medida en volts (V) es el primer parámetro a considerar, pues es el que suele determinar si el acumulador (batería) conviene al uso a que se le destina. Viene fijado por el potencial utilizado; suele estar entre 1 V y 4 V por elemento.
- La corriente que puede suministrar el elemento, medida en amperes (A), es el segundo factor a considerar. Tiene especial importancia en algunos casos la corriente máxima obtenible; por ejemplo, los motores de arranque de los automóviles exigen esfuerzos brutales de la batería cuando se ponen en funcionamiento (decenas de A), por lo que deben actuar durante poco tiempo.
- La capacidad eléctrica se mide en la práctica por referencia a los tiempos de carga y de descarga en Ah. La unidad SI es el coulomb, en la ecuación se muestra la conversión entre Ah y el C.

$$1 \text{ Ah} = 1000 \text{ mAh} = 3600 \text{ C}; 1 \text{ C} = 1 \text{ Ah}/3600 = 0.278 \text{ mAh}$$

Hay que tomar en cuenta, que las indicaciones que se encuentran en el cuerpo de las baterías o sus envases, como cárguense a  $C/10$  durante 12 horas, la letra  $C$  no se refiere al coulomb, sino a la carga máxima que puede recibir el acumulador (batería), de modo que en el caso anterior, si la capacidad del acumulador fuese 1200 mAh, se le debería aplicar una corriente de carga de  $1200/10 = 120 \text{ mA}$  durante el número de horas indicado.

- La energía almacenada se mide habitualmente en Wh (watt-hora); la unidad SI es el joule (J), en la ecuación se muestra la conversión entre Wh y J.  
 $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J} = 3.6 \text{ kJ}; 1 \text{ J} = 0.278 \text{ mWh}$
- La resistencia de los acumuladores es muy inferior a la de las pilas, lo que les permite suministrar cargas mucho más intensas que las de estas, sobre todo de forma transitoria. Por ejemplo, la resistencia interna de un acumulador de plomo-acido es de 0.006 ohm, y la de otro de Ni-Cd, es de 0.009 ohm.
- Otra de las características importantes de un acumulador es la masa; es decir, lo que pesa, y la relación entre ella y la capacidad eléctrica (Ah/kg) o la energía (Wh/kg) que puede restituir. En algunos casos puede ser también importantes el volumen que ocupe en ( $\text{m}^3$  o en litros).

El rendimiento es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga. El acumulador de plomo-acido tiene un rendimiento de más del 90%.

### **3.4 Voltaje, corriente y potencia**

El potencial describe el potencial eléctrico de una batería, la fuerza con la cual la batería puede mover los electrones a través de un circuito. El término técnico es fuerza electromotriz o EMF (por sus siglas en inglés). Por otra parte, tenemos la corriente que describe el número de electrones que pueden ser empujados, es decir la cantidad de electricidad. La unidad utilizada para medir la corriente es el amperaje (nombre que se le dio por el matemático y físico francés André Marie Ampere, 1775-1836). La potencia es el producto del voltaje y la corriente al cuadrado y esta descrita en watts (en honor del inventor e ingeniero escocés James Watt, 1736-1819).

El voltaje de una celda de una batería es característico del diseño de la misma y la reacción química que toma lugar dentro de ella no cambia; pero el voltaje producido por la reacción varía con la temperatura (la mayoría de las baterías producen bajo voltaje al aumentar la temperatura), la fecha de fabricación de la batería (la mayoría de las baterías entre más tiempo tengan producen un menor voltaje) y la carga.

Estos factores dan como resultado variaciones en el voltaje real o nominal. Las baterías cuando están recién fabricadas pueden producir 1.8 V y seguirán siendo útiles hasta que su salida baje a la mitad de eso. Debido a la amplia variación del voltaje de la célula, la mayoría de los equipos

que utilizan cualquier tipo de batería, son insensibles al voltaje exacto suministrado regulan el voltaje suministrado de modo que el trazado de circuito interno del equipo mantenga un voltaje constante. Por lo tanto, las baterías típicas que utilizan el carbón-zinc (clasificado nominal de 1.5 voltios), níquel (clasificado en 1.2 voltios), y del litio (clasificado nominal en 1.6 voltios) son esencialmente permutables.

### 3.5 Las baterías y la corriente eléctrica

La corriente eléctrica es un flujo de electrones, que circulan por un cable conductor. Los electrones tienen carga negativa, y como dos imanes a los que queremos acercar parte negativa con parte negativa o parte positiva con positiva, se repelen.

Esto significa que un electro repelerá a otro electrón, debido a que estos tienen carga negativa. Pero, una carga positiva atraerá una carga negativa, como el electrón.

Las baterías, por medio de una reacción química producen, en su terminal negativo, una gran cantidad de electrones (que tienen carga negativa) y en su terminal positiva se produce una gran ausencia de electrones (lo que causa que esta terminal sea de carga positiva).

Ahora, si esta batería alimenta un circuito cualquiera, hará que por este circule una corriente de electrones que saldrán de la terminal negativa de la batería, (debido a que estos se repelen entre sí y repelen también a los electrones libres que hay en el conductor de cobre), y se dirijan a la terminal positiva donde una carencia de electrones, pasando a través del circuito al que está conectado. De esta manera se produce la corriente eléctrica.

El proceso químico no se presenta por tiempo indefinido, sino que después de algún tiempo deja de tener efecto (se nota porque su voltaje va disminuyendo). Esta es la causa de que las baterías tengan una vida finita.

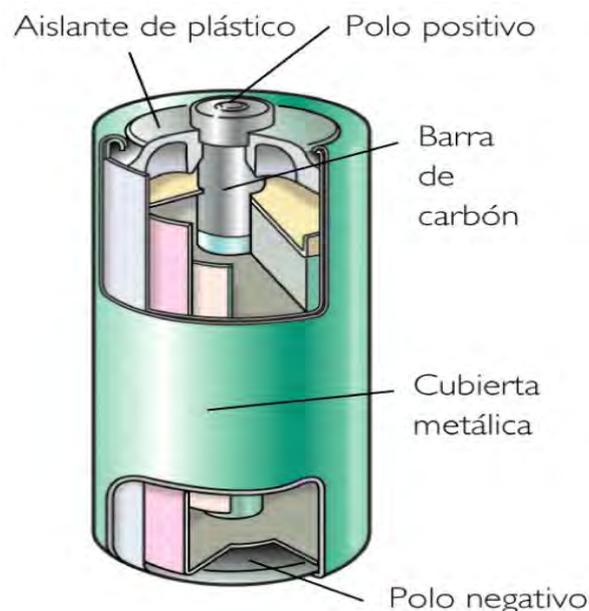


Fig. 46: Una de las pilas más conocidas es la pila seca.

Por medio de una reacción química la cubierta de zinc atrae electrones y se carga negativamente y el carbón pierde electrones y se carga positivamente. Debido a que la reacción química oxida el zinc, la pila tiene una vida limitada

Ahora ya después de haber revisado los principios básicos contamos con los siguientes tipos de baterías

- Batería alcalina.
- Baterías alcalinas de manganeso.
- Baterías Níquel-Metalhidruro (Ni-Mh)
- Baterías Níquel-Cadmio (Ni-Cd)
- Baterías Litio-Ion (Li-ion)
- Batería polímeros de Litio (Li-poli)
- Pilas de combustible
- Capacitor de alta capacidad
- Batería de plomo
- Baterías de gel

### ***3.6 Banco de batería***

Algunos sistemas de energía renovable se componen de una etapa de generación de potencia (paneles, aerogeneradores, mini híbrido, etc.), de una etapa de acumulación de energía (acumuladores químicos y mecánicos) y de una etapa final de distribución de energía.

En el caso de los sistemas de isla, el uso de baterías es necesario, y para el caso de los sistemas interconectados es tan solo una opción. En general existen una gran variedad de baterías o acumuladores electroquímicos en el mercado. Una sola compañía puede producir más de 200 tipos de baterías, y cada una de ellas tiene una aplicación específica. Eso es importante que se tome muy en cuenta cuando se diseña y determina el banco de baterías del sistema de energías renovables. Es importante considerar ¿Por qué una empresa fabricaría tantos tipos diferentes de baterías sino fuese estrictamente necesario? De hecho, dos sistemas de energías renovables que serán utilizados para exactamente la misma aplicación, por ejemplo mover una bomba de agua de 0.5 CP, pero se encuentran en dos lugares geográficos distintos o tienen distintos horarios de uso, requieren por lo general bancos de baterías distintos. Además, si se trata de un sistema fotovoltaico, hay que recordar que la función de los módulos es recargar al banco de baterías y no mover el motor. Es decir, se tiene que cambiar el banco de baterías, probablemente se tendrán que cambiar también los módulos fotovoltaicos.

Uno de los elementos esenciales en el diseño óptimo de un sistema de energías renovables depende de la correcta selección del banco de acumuladores para su aplicación específica. La tarea para elegir el tipo correcto de batería es compleja pero no imposible. Lo primero que debe saber es cuantos tipos de baterías existe y en qué se diferencia unas de otras. Lamentablemente no existe un estándar único para clasificar a las baterías o acumuladores, lo que da origen a cierto grado de confusión a la hora de la selección de la batería. Sin embargo, por lo general se suelen agrupar de acuerdo a los siguientes tipos:

-Electrodos

-Estructura

-Descarga

### ***Electrodos:***

Básicamente, para hacer una celda electroquímica lo que se requiere es introducir dos materiales en una solución conductora de electricidad. Esto produce una diferencia de potencial que es característico de ese par de electrodos. Durante décadas se han investigado que pares de electrodos producen la mayor diferencia de potencial posible, con la máxima corriente posible, para generar la mayor potencia posible con la mínima cantidad de material, Así, los materiales que sean utilizado como electrodos que poseen estas características y se utilizan más comúnmente de forma comercial son:

Ni-Cd (Níquel-Cadmio)

Pb-PbO<sub>2</sub> (Plomo-Dióxido de plomo en medio ácido)

Ni-Fe (Níquel-Hierro)

NiH<sub>2</sub> (Di hidruro de níquel)

HMNi (Níquel metal hidratado)

Ni-Zn (Níquel-zinc)

Li-ion (Iones de litio)

Li-polímeros

LiFePO<sub>4</sub> Litio- fosfato de hierro

### ***Estructura***

Según el tipo de estructura pueden ser clasificados en baterías abiertas o selladas. Todas las baterías abiertas son del tipo fluidas, es decir, el electrolito es líquido. En el caso de la batería selladas pueden ser de varios tipos: AGM, de gel o fluidas. AGM es la abreviatura de Absorbed glass Material y significa que el electrodo está recubierto por materia de fibra de vidrio en el cual se impregna el electrolito. Las baterías de gel son aquellas que en lugar de utilizar un electrolito líquido utilizan un gel como medio de transporte de descarga, Y por último las selladas fluido, es decir sellado pero con un electrolito líquido.

### ***Descarga***

Según el tipo de descarga se clasifican en:

1. Automotrices. Las baterías automotrices que son capaces de producir grandes cantidades de corriente durante breves lapsos de tiempo y ciclos, y su aplicación típica es el encendido de automóviles. Este tipo de baterías posee electrodos muy delgados para producir grandes valores de corriente, lo que además equivale a tiempos de vida muy cortos.

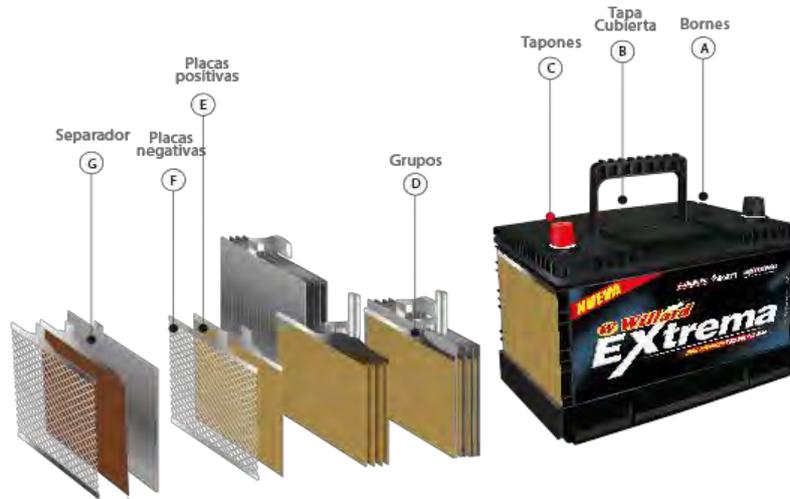


Fig. 47: Batería automotriz

2. Estacionarias. Estas pueden proveer grandes valores de corriente durante largos periodos de tiempo. Sin embargo, las baterías estacionarias no aceptan muchos ciclos de carga y descarga. Su aplicación típica es como bancos principales que se utilizan como respaldo de energía (UPS) para desconexiones momentáneas del servicio eléctrico por periodos largo, pero no frecuentes.



Fig. 48: Batería estacionaria

3. Baterías de descarga profunda. Son baterías que pueden producir valores relativamente grandes de corriente durante periodos largos, además poseen una gran cantidad de ciclos de vida. En este tipo de baterías han diseñado los electrodos para que ser cargadas y descargadas frecuentemente.

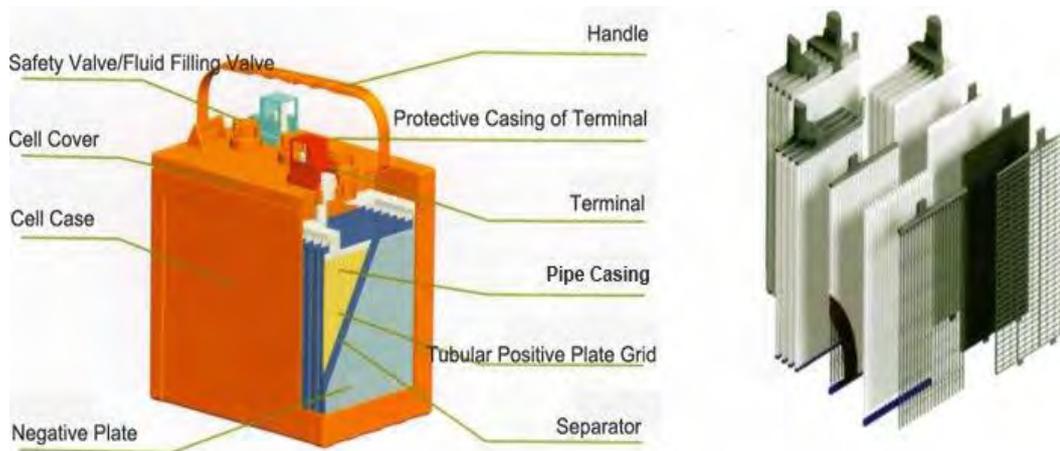


Fig. 49: Batería de descarga profunda

Las baterías de descarga profunda son de tipo de baterías que se debe utilizar en los sistemas de energía renovables fotovoltaico y eólico.

En resumen se puede encontrar en el mercado una batería o acumulador con un electrodo específico, con un tipo de estructura particular y de un tipo de descarga.

### 3.7 Batería de plomo ácido abierta

El tipo de acumulador más usado en el presente, dado su bajo costo, es la batería de Plomo y ácido sulfúrico con electrolito líquido. En ella, los dos electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. Abreviaremos algo su nombre, llamándola batería **Pb-ácido**, usando el símbolo químico para el plomo (Pb). Cuando la batería está cargada, el electrodo positivo tiene un depósito de dióxido de plomo y el negativo es plomo. Al descargarse, la reacción química que toma lugar hace que, tanto la placa positiva como la negativa, tengan un depósito de sulfato de plomo.

Fig. 50: Batería cargada

Batería descargada

### 3.8 Batería sellada de plomo AGM

Existe un tipo de batería sellada más moderna que utiliza separadores de vidrio absorbente, denominados AGM, entre las placas. Éstos son separadores muy delgados de fibra de vidrio de boro silicato. Estas baterías ofrecen todas las ventajas de las baterías de gel (consulte la información que figura a continuación), pero pueden soportar condiciones de uso mucho más duras. Las placas de las baterías AGM se encuentran colocadas de modo apretado y montadas con rigidez, y son capaces de soportar los choques y las vibraciones mucho mejor que cualquier batería convencional.

Las baterías AGM ofrecen varias ventajas en comparación con las baterías de GEL y de inmersión, y tienen un costo semejante al de las baterías de GEL.

- Dado que todo el electrolito se encuentra en los separadores de vidrio, éste no puede derramarse, ni siquiera si la batería se rompe.

Esto significa asimismo que, dado que no ofrecen peligros, sus costos de envío son menores. Además, dado que no contienen ningún líquido que pueda congelarse y expandirse, son prácticamente inmunes al riesgo de congelamiento.

- Las tensiones de carga son las mismas que para cualquier batería convencional; no hay necesidad de hacer ninguna modificación especial ni existen problemas de incompatibilidad con los cargadores.
- Las baterías AGM exhiben una auto descarga muy baja: lo habitual es que se descarguen de 1 % a 3 % por mes. Esto significa que pueden almacenarse durante períodos mucho más prolongados sin cargarse.

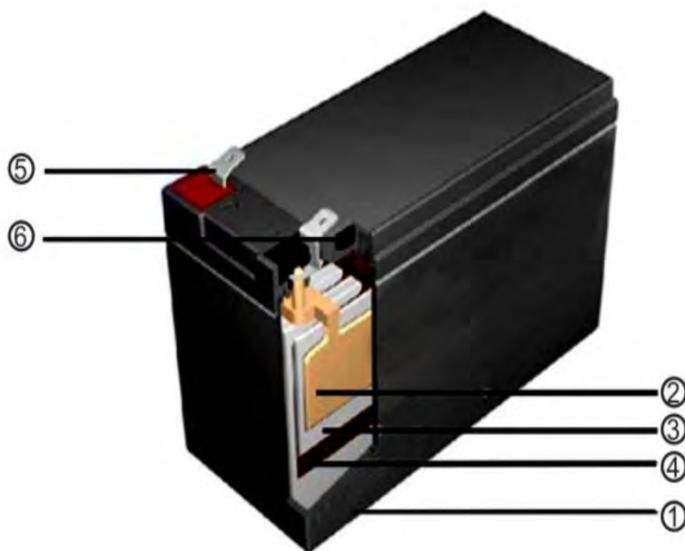


Fig. 51: 1. Container/Cover: Made of UL94HB and LU 94V-0 ABS Plastic  
 2. Negative Plates: Use the special PbCa alloy grids, optimize the recombination efficiency and less gassing.  
 3. Separator: Import high quality AGM separator.  
 4. Positive Plates: PbCa grids minimize corrosion and prolong life.  
 5. Terminal post: Cooper material with maximum conductivity, rapidly.

6. Vent Valve: Allows the release of excess gas automatically for safety

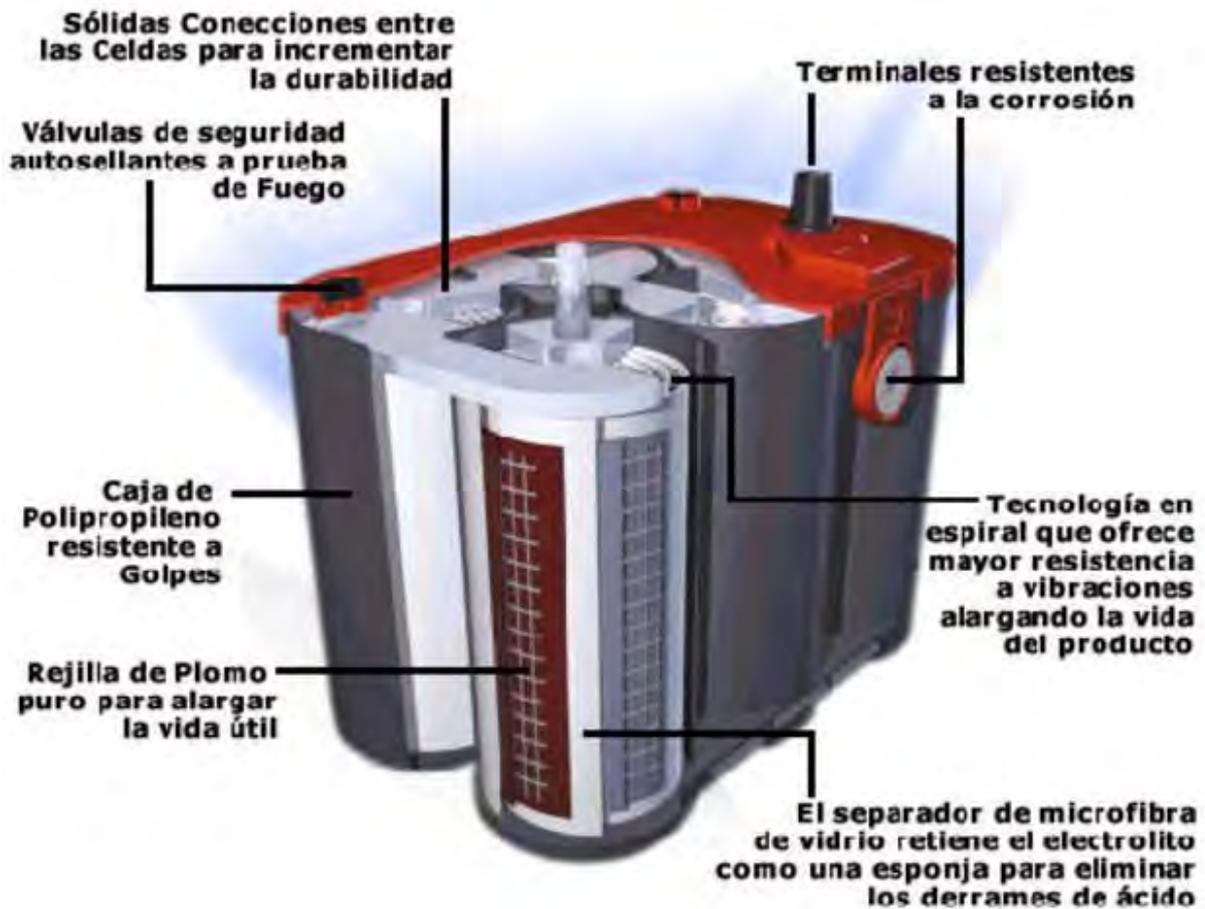
### 3.9 Batería sellada de gel de plomo

Las baterías de gel, o celdas de gel, contienen ácido que ha sido “gelificado” mediante la adición de gel de sílice, lo cual lo convierte en una masa sólida con una apariencia similar a la de una gelatina espesa. La ventaja que ofrecen estas baterías es que es imposible derramar el ácido incluso si la batería se rompe.

Una de las desventajas de las celdas de gel es que deben cargarse a una tensión inferior en comparación con las baterías de inmersión o AGM. Si se sobrecargan, se pueden formar vacíos en el gel, los cuales nunca desaparecen y provocan pérdidas en la capacidad de la batería.

En los climas cálidos, la pérdida de agua que se produce en un período de 2 a 4 años puede ser suficiente para provocar la muerte prematura de la batería.

Fig. 52: Batería de gel de plomo



### **3.10 Batería sellada de plomo ácido válvula regulada VRLA**

La batería de Plomo-Ácido con Válvula Reguladora (VRLA) es una batería de respaldo usado en equipos portátiles y equipos de automatización de oficinas y fábricas. La batería también funciona conjuntamente con celdas solares para incorporar un sistema de fuente de energía descentralizada. La batería VRLA es de alto rendimiento haciendo que sea económico para usar. Además de estas ventajas, la construcción sellada elimina la necesidad de llenar la batería con agua. Las Baterías GEL y AGM (Absorbed Glass Mat) también son denominadas “secas” ya que la capa de fibra de vidrio solo es saturada a un 95% de ácido sulfúrico y no hay exceso de líquido.



Fig. 53: No requiere de mantenimiento ya que el gas generado por la electrolisis del agua causado por la sobrecarga, es absorbido y reducido a electrolito por el electrodo. Puede ser instalada y operada en cualquiera posición ya que la generación de gas está auto contenida y no existe fuga de electrolito.

No existe electrolito en forma líquida ya que el electrolito está firmemente retenido o contenido por una retenedora y los electrodos. Sin embargo, el gas generado por la sobrecarga es absorbido por los electrodos y no es expulsado fuera de la batería en condiciones normales.

De esta forma, la batería puede ser usada en cualquiera posición para múltiples usos en la casa o en la oficina.

Tipo (aplicación)	Costo aproximado \$/Kwh	CICLOS DE VIDA	PROFUNDIDA DE DESCARGA	AUTODESCARGA
<b>PLOMO ANTIMONIO (CARRO)</b>	853	150-250	10%	7-50 % MES
<b>PLOMO ACIDO (FOTOVOLTAICA)</b>	976	1000-2000	10-30%	3-4% MES
<b>PLOMO PURO (FOTOVOLTAICA)</b>	1708	1000-3000	30-50%	2% MES
<b>PLOMO CALCIO (FOTOVOLTAICA)</b>	2440	2000-6000	20-70%	1% MES
<b>NIQUEL CADMIO (FOTOVOLTAICA)</b>	3660-12202	3000-10000		5% MES

TABLA 4: CARACTERISTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE BATERIAS

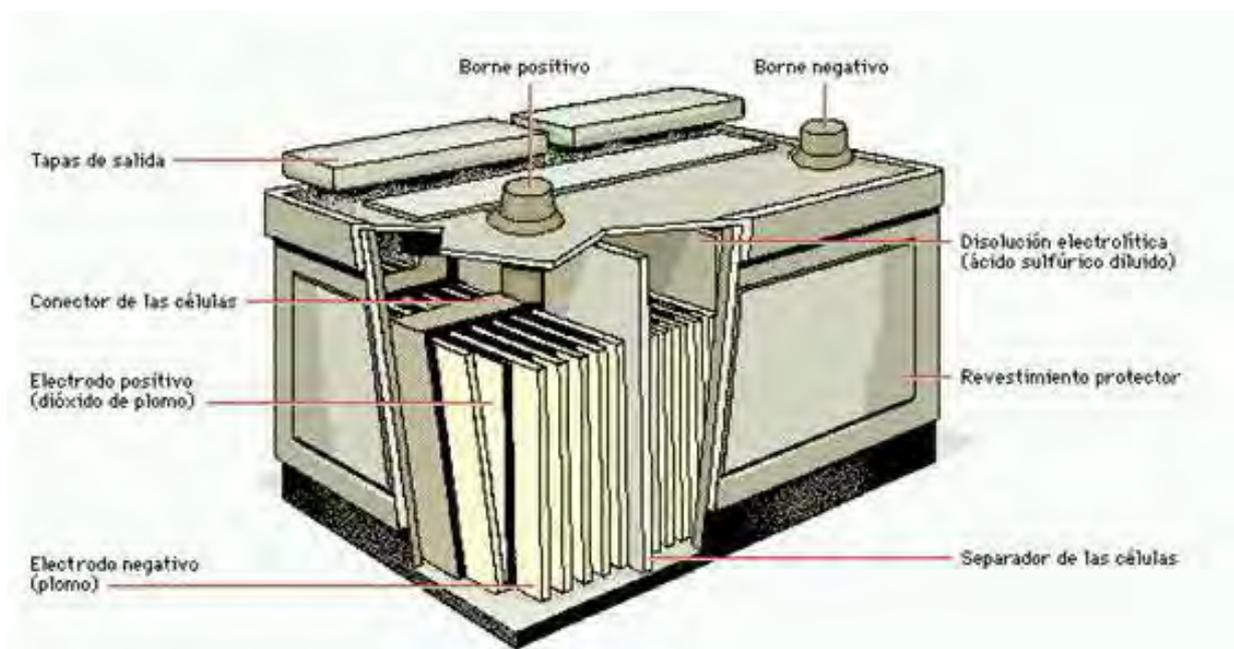
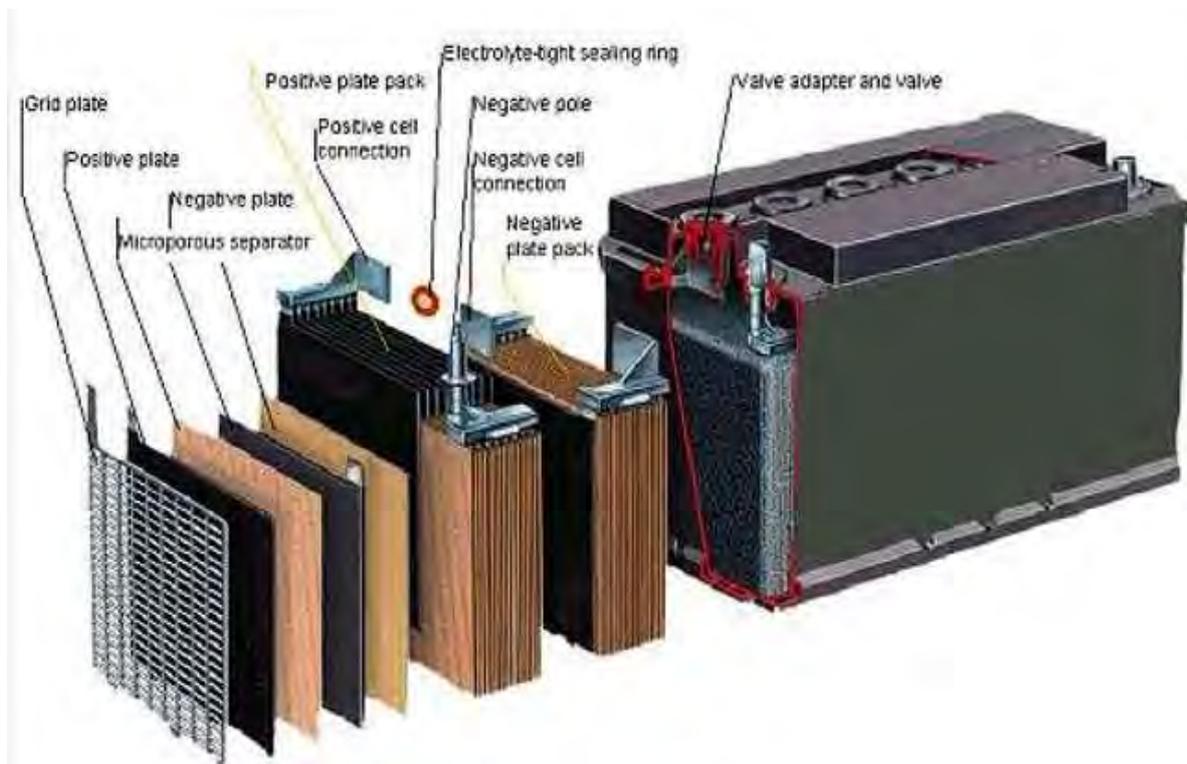


Fig. 54: Composición de una batería de ciclo profundo

### 3.11 Características de operación

El régimen de carga o descarga define la intensidad de la corriente eléctrica utilizada en el proceso. Este régimen se expresa en forma normalizada en relación a la capacidad en amperios-horas. Por, ejemplo la descarga completa de una batería de 100 Ah, con una corriente de 20 A dura 5 h lo que indica un régimen de I (C5). Los regímenes usuales en las aplicaciones

fotovoltaicas suelen estar dentro del rango de corrientes que corresponden a descargas de 10 a 100 horas, I (C10) a I (C100).

Cuanto menor es la temperatura menor es la capacidad, pues mayor es la viscosidad del ácido y más lentos los procesos de difusión iónica. La resistividad del electrolito aumenta de forma significativa al disminuir la temperatura. Para temperaturas por debajo de 0° C, dependiendo del régimen y de la profundidad de descarga, el electrolito puede llegar a congelarse. Los efectos de la temperatura son tanto más usados cuanto mayor es la intensidad de la descarga. En instalaciones situadas en zonas muy frías se utiliza ácido más concentrado, para asegurar que el electrolito no alcance el punto de congelación.

La concentración del electrolito es un factor que limita la capacidad, porque la intensidad de difusión se ve afectada tanto por la viscosidad del electrolito como por su concentración en los poros de las placas y fuera de ellos. El ácido sulfúrico solo puede emplearse en un cierto rango de concentraciones. La reacción de auto descarga establece un límite superior, en torno a 1,28 g/cm<sup>3</sup>.

Durante la carga, la corriente entra en la batería en la dirección opuesta a la descarga restableciendo los materiales activos en las placas, lo que conlleva un aumento de tensión, de la densidad del electrolito y del estado de carga. El desprendimiento de gases, usualmente llamado gaseo, depende de la tensión de sobrecarga, temperatura, tipo de aleación e impurezas. El consumo de agua resultante del gaseo da lugar a una disminución del nivel del electrolito y a un aumento de la concentración del mismo, por lo que es necesario un frecuente mantenimiento para reponer el agua consumida y evitar que las placas se queden descubiertas, ya que en este caso se producen daños irreversibles. Eléctricamente, este fenómeno se traduce en un aumento de la resistencia interna como consecuencia de la mayor dificultad del proceso. Por otro lado una cantidad adecuada de sobrecarga promueve la homogeneización del electrolito debido a la agitación que producen las burbujas del gaseo y contrarresta la tendencia a la estratificación del electrolito. La elevación de la temperatura en la carga, combinada con elevados regímenes de corriente, tiene un efecto nocivo al fomentar la corrosión de la rejilla positiva que puede llevar al desprendimiento del material activo, y el excesivo gaseo puede arrastrar partículas de las placas, contribuyendo a la disminución de la vida útil de la batería. Para contrarrestar el fenómeno de la corrosión, en las zonas cálidas se utilizan densidades de electrolito de bajas 1,2 y 1,22 g/cm<sup>3</sup> la resistencia.

Como resultado del envejecimiento, la resistencia interna aumenta, por lo que la tensión máxima de carga debería ir aumentando para mantener el mismo régimen de carga o bien para un mismo voltaje tardaría más tiempo en cargarse.

Después de una descarga, la subsiguiente carga de una batería suele caracterizarse por una elevada tensión de carga y por un gaseo más o menos pronunciado. En condiciones especiales se utilizan otros dos tipos de carga: carga de mantenimiento y carga de igualación. La carga de mantenimiento sirve para conservar las baterías completamente cargadas, incluso cuando no están en operación, compensando las pérdidas por auto descarga. Una pequeña corriente es suministrada para mantener la batería a una “tensión de flotación”, algo superior a la tensión de

circuito abierto (del orden de 2,35 V por elemento). La carga de igualación se aplica cuando hay diferencias de tensión y de densidad del electrolito entre los vasos, esto es, del estado de carga entre las células o elementos que forman una batería. Consiste en una carga prolongada en un régimen de intensidad constante y moderada, como I (C20), que debe ser mantenido hasta que el voltaje y la densidad de todas las células se mantengan iguales y constantes.

El rendimiento farádico se define como la relación entre la carga (Ah) extraída de ella durante una descarga y la energía (Wh) requerida para restablecer el estado inicial de carga.

Las baterías en los sistemas fotovoltaicos operan en ciclos de cargas y descarga, intercambiando energía con el resto del sistema. Diariamente el ciclado se caracteriza por un cierto número de ciclos cuya profundidad o cantidad de carga extraída en cada ciclo relativa a la capacidad nominal de la batería, depende de las condiciones de generación, que son función de la radiación y de la demanda de energía. Según la aplicación el ciclado puede ser superficial, profundidad de ciclado diario menor del 15 %, o profundo, mayor de 80 %. La vida útil es el periodo durante el cual la batería es capaz de operar bajo las condiciones determinadas por la aplicación, manteniendo la capacidad y el nivel de rendimiento requeridos. En general se recomienda mantener la profundidad de ciclado diaria entre el 15 % y el 20 % de la capacidad nominal, lo cual supondría más de 2000 ciclos o una vida media de 10 años.

### ***3.12 Los mecanismos del envejecimiento***

a) Degradación de las placas positivas debido a la continua sucesión de ciclos de carga y descarga que causan una continua dilatación y contracción de los materiales de las placas positivas reduciendo la adhesión del material activo a la rejilla y provocando su desprendimiento.

b) Degradación de las placas negativas o sulfatación. Cuando una batería permanece mucho tiempo descargada o se ve sometida habitualmente a recargas insuficientes pierde irreversiblemente materia activa, debido a la recristalización de los finos cristales de sulfato de plomo formados durante la descarga, convirtiéndose en grandes cristales o costras, que presentan mayor dificultad en transformarse en la siguiente carga, dando lugar a un aumento de la resistencia interna, mayor generación de calor y disminución de la capacidad. Los procesos de sulfatación involucran el crecimiento de cristales de sulfato de plomo en la placa positiva, disminuyendo el área activa y la capacidad de la batería. A mayores descargas, mayor cantidad de material activo es convertido en sulfato de plomo. Durante la recarga, el sulfato de plomo. Esta reconversión se inhibe si la batería permanece descargada durante periodos prolongados.

c) La sulfatación es un problema que suele presentarse con bastante frecuencia en las aplicaciones FV debido al dimensionado realizado para suministrar el consumo bajo condiciones promedio, donde la batería es utilizada como reserva energética en periodos de utilización excesiva de la carga o en bajos periodos de radiación. En consecuencia, la batería puede operar en algún periodo del año a estados de carga parciales, resultando en algún grado de sulfatación. Para minimizar la sulfatación, el generador FV se diseña generalmente para recargar la batería en un ciclo diario, durante el peor mes del año.

d) Estratificación. Consecuencia de la gravedad y de periodos largos de inactividad de la batería se establece un gradiente de densidad entre la parte superior e inferior de la batería aumentando la concentración de electrolito en la parte inferior.

e) Auto descarga. Es la pérdida de capacidad de una batería que ocurre normalmente cuando está en circuito abierto.

f) Variación de la capacidad y modelo teórico con el régimen de corriente y la temperatura, para una determinada batería de plomo-acido.

### ***3.13 Ciclo de la batería***

El ciclado se refiere al proceso de carga y descarga en una batería. La descarga es el proceso en el que la batería suministra una corriente durante un tiempo (régimen de descarga). En la carga la batería recibe o acepta una determinada corriente durante un tiempo determinado (régimen de carga) Se considera un ciclo como una descarga seguida de una recarga.

La descarga puede ser muy pequeña o muy profunda. Un 100 % de profundidad de descarga suministra información acerca de la capacidad de la batería a un determinado régimen de corriente. La profundidad de descarga afecta a la vida útil de la batería, el número de ciclos carga/descarga de una batería desciende con la profundidad de descarga. Normalmente se acepta que una batería ha finalizado su vida útil cuando ha perdido un 20 5 de su capacidad inicial. Además del número de ciclos, las condiciones de operación también afectan el tiempo de vida de una batería.

### ***3.14 Capacidad de la batería***

La capacidad es una medida del poder de la batería para almacenar o suministrar energía eléctrica, y se expresa comúnmente en amperios-horas (Ah).

Por ejemplo: una batería de 100 Ah de capacidad nominal puede suministrar 100 A durante una hora, 50 A durante 2 horas, o 25 A durante 4 horas.

La capacidad se especifica a un determinado régimen de descarga, depende de múltiples factores de diseño y operacionales. Entre los factores de diseño se incluyen la cantidad de material activo, el número, diseño y dimensiones de las placas, y la densidad del electrolito. Entre los factores operacionales se incluyen: el régimen de descarga, la profundidad de descarga, los voltajes de corte y rearme, la temperatura de operación, el ciclado y la “historia” de la batería.

Las bajas temperaturas disminuyen la capacidad disponibles de las baterías. A bajas temperaturas, durante la descarga, el electrolito no penetra tan profundamente en el material activo de las placas y los voltajes de corte se alcanzan antes. Por el contrario las temperaturas elevadas aumentan la capacidad, sin embargo reducen significativamente su tiempo de vida. La mayoría de los fabricantes recomiendan utilizar las baterías entre 20 y 30°C.

El régimen de descarga también afecta a la capacidad. Cuando una batería es descargada a altas corrientes, las reacciones químicas quedan confinadas a las capas de material activo en contacto inmediato con el electrolito entre los poros de las placas. Cuando se descarga una batería lentamente se obtiene una mayor capacidad que cuando se hace a elevados regímenes de corriente

no se especifican en amperios, sino en horas necesarias para plena descarga hasta un determinado voltaje de corte.

Por ejemplo, si de una batería se dice que tiene una capacidad de 180 Ah a un régimen de C10, esto se interpreta como que si la batería fuese descargada durante 10 horas a una corriente constante de C10 ( $180/10=18$  A), entonces se podría obtener 180 Ah.

El voltaje de corte por sobrecarga también depende del régimen de corriente de descarga e influye en la capacidad útil de la batería. Normalmente los fabricantes dan el valor de la capacidad relacionado con el valor del voltaje de corte. Para baterías de plomo-acido este voltaje suele ser 1,75 V/elemento, mientras que para Níquel-Cadmio 1,0 V/elemento. Si se especifica el mismo voltaje de corte para diferentes regímenes de descarga, la capacidad será mayor para regímenes menores.

La auto descarga de la batería ocurre de modo natural cuando se mantiene en circuito abierto, sin ningún tipo de consumo o carga, debido a mecanismo internos dependientes del propio diseño de la batería. Esta auto descarga también aumenta con la temperatura de operación.

Mientras que los tiempo típicos de descarga en aplicación industriales o de automoción están en torno a las 10 horas, en aplicaciones FV los tiempos de descarga se sitúan en torno a las 10-300 horas,, la descarga de una batería de un sistema Fv remoto con consumo constante diseñado con 5 días de autonomía debería tardar 5 días x 24 horas/día = 120 horas ( lo que no significa que la batería se descargue completamente, al 100% de la profundidad de descarga (DOD), sino al 80 % en baterías de ciclo profundo o al 50 % en batería de ciclo poco profundo). Por tanto el tiempo para que una batería se considere que esté totalmente descargada se puede calcular como el producto del número de días de autonomía por el tiempo de operación del consumo dividido entre la máxima profundidad de descarga.

### ***3.15 Densidad del electrolito***

Si se puede acceder al electrolito, el estado de carga puede ser determinado midiendo su densidad (típicamente valores en torno a 1,265 gr/cm<sup>3</sup> implicaría que la batería está al 100 % SOC mientras que una densidad en torno a 1 gr/cm<sup>3</sup> sería una batería completamente descargada).

En una batería de plomo-acido, el electrolito es una solución de ácido sulfúrico y agua, en una batería totalmente cargada, el electrolito es una solución de ácido sulfúrico al 36 % en peso, o al 25 % volumen. La densidad del electrolito está directamente relacionado con el estado de carga de la batería dependiendo de la concentración del electrolito en el diseño y de la temperatura. En una batería de plomo-acido completamente cargada, la densidad de ácido utilizado, a una temperatura de 27°C. Cuando una batería se descarga, los iones de hidrogeno (H<sup>+</sup>) y sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) del ácido sulfúrico se combinan con los materiales activos de las placas positiva y negativa para formar sulfato de plomo (PbSO<sub>4</sub>), disminuyendo la densidad del electrolito. En tanto que la batería se descarga, la solución de ácido se vuelve más diluida hasta que no hay iones en la solución. En este punto la batería está completamente descargada y su densidad es próxima a la del agua.

La densidad del electrolito también afecta al punto de congelación del mismo. Cuando la batería se descarga, la densidad disminuye y el punto de congelación aumenta.

Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Concentración peso (%)	Concentración volumen (%)	Punto de congelación (°C)
1,000	0,0	0,0	0
1,050	7,3	4,2	-3,3
1,100	14,3	8,5	-7,8
1,150	20,9	13,0	-15
1,200	27,2	17,1	-27
1,250	33,4	22,6	-52
1,300	39,1	27,6	-71

Tabla 5: Puntos de congelación del electrolito dependiendo de su densidad.

En climas muy fríos la densidad del electrolito se ajusta en un rango de 1,250 a 1,280 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que en climas tropicales el rango es 1,210 a 1,230 gr/cm<sup>3</sup>. Esta baja concentración de electrolito disminuye el efecto de degradación de las rejillas y los separadores, aumentando su vida útil. Sin embargo bajas densidades decrecen la capacidad de la batería.

Aunque la densidad del electrolito puede ser utilizada como una medida del estado de carga en baterías de plomo-acido, bajas densidades o valores inconsistentes pueden indicar sulfatación, estratificación o falta de ecualización entre células. En algunos casos una lectura muy baja de la densidad puede indicar un fallo interno de la célula o un cortocircuito interior.

Para determinar el SOC de la batería midiendo la densidad del electrolito podrían utilizarse los datos del fabricante, previamente hacer correcciones de la temperatura (aproximadamente 0,007 gr/cm<sup>3</sup> por °C)

- A- Batería de vehículo eléctrico de plomo-acido
- B- Batería de tracción de plomo-acido
- C- Batería automotriz de plomo-acido
- D- Batería estacionaria de plomo-acido

Estado de carga	A	B	C	D
	Densidad(gr/cm <sup>3</sup> )			
100%	1,330	1,280	1,265	1,225
75%	1,300	1,250	1,225	1,185
50%	1,270	1,220	1,190	1,150
25%	1,240	1,190	1,155	1,115
0% (descarga)	1,210	1,160	1,120	1,080

Tabla 6: Densidades típicas de electrolito para diferentes estados de carga y tipos de baterías.

### ***3.16 Tensión de batería***

El voltaje de la batería también puede ser utilizado para estimar el estado de carga previa corrección de la temperatura. No obstante es esencial conocer la historia inmediatamente anterior a la medida, ya que una carga o descarga anterior varía notablemente el valor de dicho voltaje. Cuando la batería está siendo cargada, el voltaje se eleva respecto del voltaje de circuito abierto (y cuando está en descarga el voltaje decrece) debido principalmente a la resistencia interna de la batería. En los sistemas fotovoltaicos es difícil la determinación del estado de carga de la batería midiendo el voltaje en sus terminales, ya que este se ve afectado por si la batería está en proceso de carga o de descarga. No obstante este es el método habitual de control de carga utilizado por los reguladores en instalaciones fotovoltaicas.

- 1- Variación del voltaje en la descarga de unas baterías en función del régimen de corriente de descarga y de la temperatura.
- 2- Variación del voltaje en la carga de unos baterías en función del régimen de corriente de descarga y de temperatura.

### ***3.17 Efectos de auto descarga en la capacidad.***

Con la batería en circuito abierto, sin ningún consumo o corriente de carga, la batería sufre un proceso natural de reducción del estado de carga a mecanismos internos y a pérdidas internas. La auto descarga es diferente en diferentes tipos de baterías dependiendo principalmente del tipo de aleaciones utilizadas en las rejillas y del tipo de material activo. La auto descarga aumenta con la temperatura, especialmente en las baterías de plomo-antimonio, pudiendo llegar hasta un 15 % mensual.

### ***3.18 Profundidad de descarga (DOD)***

La profundidad de descarga (DOD) de una batería se define como el porcentaje de la capacidad que ha sido “extraída” de la batería comparada con la capacidad a plena carga. Por definición el SOC y la DOC suman el 100%. Dos parámetros que se pueden utilizar comúnmente son la DOD disponible y promedio diario.

Conviene señalar que en baterías de pb-a cuanto menor sea la profundidad de descarga, mayor será la vida útil del acumulador. Una descarga completa de la batería puede ser perjudicial dado que puede afectar a su capacidad de aceptar la recarga.

La profundidad de descarga disponible es el máximo porcentaje de la capacidad a plena carga que es permitido utilizar. La DOD disponible es el límite máximo de descarga, generalmente dictada por el voltaje de corte y el régimen de descarga. En sistemas fotovoltaicos autónomos, el voltaje de desconexión de la carga indica el límite de DOD disponible a un determinado régimen de descarga. Dependiendo del tipo de batería, la DOD disponible está relacionada con la “autonomía”, en términos de capacidad necesaria para suministrar energía al consumo durante un determinado número de días sin energía del generador FV. Un sistema con poca DOD disponible resultara en un menor periodo de autonomía.

La profundidad de descarga media diaria es el porcentaje respecto de la capacidad a plena carga que se extrae de una batería con el perfil de consumo medio diario. Si el consumo varía estacionalmente, como en los sistemas de iluminación, el promedio diario DOD será mayor en

los meses de invierno debido a la utilización durante las horas nocturnas. Para sistemas con un consumo diario constante, la DOD media diaria será mayor en invierno debido a una temperatura de batería y menor capacidad nominal.

El número de días de autonomía es el principal factor que determina el tamaño de batería y por tanto la profundidad diaria de descarga. A mayor número de días de autonomía, mayor capacidad y por tanto será menor el porcentaje utilizando cada día para un ciclo diario típico. Ya que la mayoría de los sistemas FV autónomos se diseñan con al menos 4 días de autonomía los ciclos medios diarios son poco profundos, en lugar de baterías de ciclado profundo. Sin embargo es recomendable la utilización de baterías de ciclo profundo a pesar de que el ciclado diario sea del orden del 10-15 %. De este modo el sistema puede soportar caídas estacionales no previstas debido a periodos de baja irradiación. Las baterías de ciclo poco profundo tendrán un tiempo de vida menor.

### ***3.19 Efectos de la temperatura en la DOD***

Si la temperatura interna de la batería alcanza el punto de congelación del electrolito, este se puede congelar y expandir causando daños irreversibles en la batería. En una batería plenamente cargada el punto de congelación es muy bajo (~- 60°C). Cuando la batería se descarga su punto de congelación se acerca a 0°C. Esto es necesario tenerlo en cuenta especialmente en sistemas remotos profesionales (telecomunicaciones) donde se pueden alcanzar temperaturas muy bajas. Por cada 10°C de incremento en la temperatura, la vida de la batería se reduce la mitad. Es decir si la temperatura promedio de operación es 35°C, la vida de la batería se reduce en 50%. Por cada 10°C que se reduce la temperatura, la capacidad de la batería se reduce en un 10 %, es decir 1 %/ °C.

### ***3.20 Batería de ciclo profundo***

Las baterías se pueden clasificar en baterías de ciclo profundo y baterías de ciclo poco profundo, pero no es más que una clasificación general que no siempre es un indicativo real del diseño de la batería.

Las baterías de ciclo poco profundo normalmente son baterías de arranque. Estas baterías están hechas con rejillas de plomo-calcio y no deben ser descargadas diariamente más de un 15 % y nunca se deben descargar más de un 50% ya que es muy difícil volver a recargarlas después de una descarga de este tipo. Esto es especialmente cierto para baterías de bajo coste (generalmente provenientes del sector de la automoción). Estas baterías se diseñan para proporcionar grandes corrientes en periodos cortos de tiempo y no soportan descargas profundas. Proporcionan en torno a 500-1,000 ciclos al 15 % DOD antes de perder demasiada capacidad nominal y tener que ser reemplazadas.

Las baterías de ciclo profundo pueden soportar grandes descargas durante largos periodos de tiempo. A pesar de ello no se deben descargar al 100 %. La mayoría de los fabricantes recomiendan que no se descarguen más de 80 % de su capacidad nominal. Típicamente las baterías de ciclo profundo pueden suministrar 1,500-1,800 ciclos al 80 % de DOD antes de necesitar reemplazo. El número de ciclos puede aumentar a 3,000-4,000 si la descarga es más moderada, en torno al 25 %. La mayoría de los fabricantes recomiendan que una batería ha

llegado al final de su vida útil necesita ser reemplazada cuanto esta ha perdido más del 20 % de su capacidad nominal.

### **3.21 Carga de la batería**

Los métodos utilizados para la carga de la batería en sistemas fotovoltaicos varían considerablemente. Generalmente se distinguen tres tipos de carga:

- Carga normal. Es la porción de carga realizada a cualquier régimen que no causa que el voltaje sobrepase el voltaje de gaseo (generalmente ocurre entre el 80 y 90 % del estado de carga).
- Carga de flotación. Una vez que la batería está casi plenamente cargada, la mayor parte de la materia activa ha sido convertida a su forma original, y generalmente se requiere una limitación en la sobrecarga. Las cargas de flotación se suelen realizar a bajos regímenes de carga.
- Carga de equalización. Es una carga utilizada periódicamente para mantener la consistencia entre las diferentes células individuales que forman una batería. Generalmente consiste en una carga a corriente limitada hasta voltajes mayores que los voltajes normales de final de carga o flotación.

### **3.22 Gaseo y sobre carga**

Uno de los puntos críticos en el proceso de carga es el gaseo, que ocurre cuando la batería está cerca de su carga completa. En este punto casi todos los materiales activos han sido convertidos a su composición en carga y el voltaje aumenta rápidamente. En general la reacción de gaseo es irreversible dando lugar a pérdida de agua (en las baterías selladas los procesos recombinantes permiten la formación de agua a partir del hidrogeno y el oxígeno generado en operación normal). Todas las reacciones de gaseo consumen una porción de corriente de carga que no puede ser suministrada en la siguiente descarga, por tanto reduciendo el rendimiento de carga de la batería. Tanto en las baterías de plomo-acido como en las de níquel-Cadmio, el gaseo da lugar a la formación de hidrogeno en la placa negativa y oxígeno en la positiva. No obstante las baterías abiertas requieren algún gaseo con el objeto de remover el electrolito para prevenir la estratificación. Con el paso del tiempo se forma mayores concentraciones de ácido sulfúrico en la parte inferior de la batería (estratificación). Si no se mezcla el electrolito, los procesos de reacción serán diferentes en la parte superior e inferior.

El voltaje de corte por sobrecarga, en los reguladores de carga de los sistemas FV, determina el gaseo de la batería. Normalmente los reguladores de carga se utilizan en los sistemas FV para permitir la carga hasta el voltaje de gaseo y después desconectan el generador FV para evitar la sobrecarga. Para limitar el gaseo y la pérdida de agua, el voltaje de corte por sobrecarga de la batería es un parámetro crítico en los sistemas FV. Si es demasiado bajo la batería no cargara y si es demasiado elevado la batería se sobrecargara. Tanto la carga no completa como la sobrecarga darán lugar a una reducción del tiempo de vida de la batería y a una pérdida de carga.

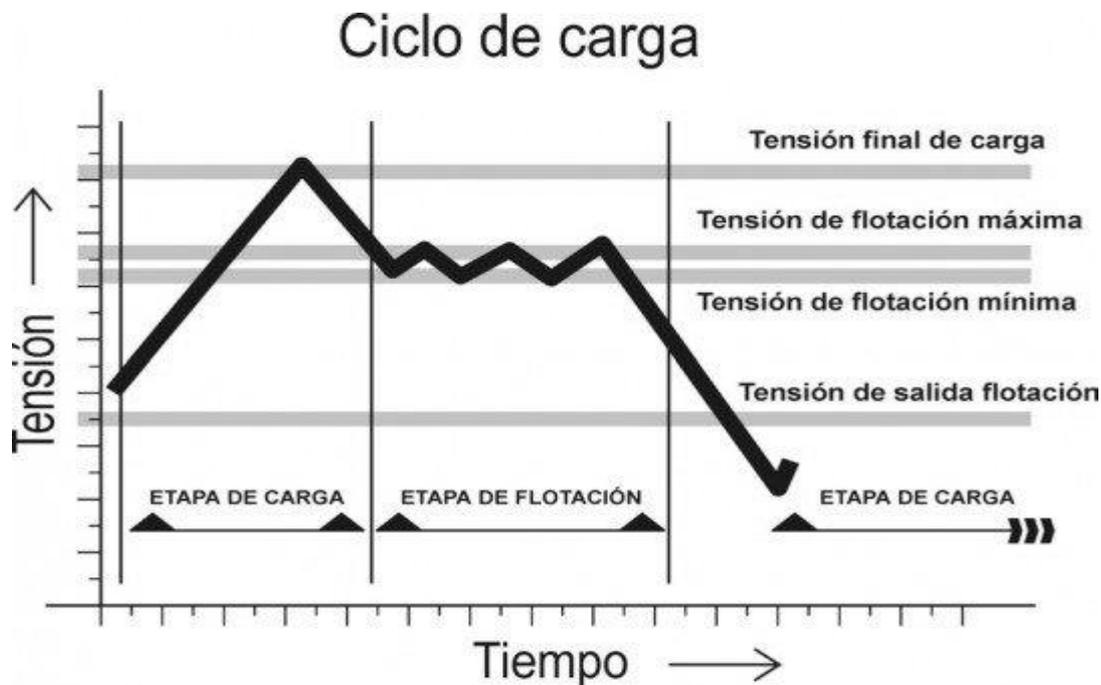


FIG 55: Curva de voltaje durante el proceso de carga y sobrecarga de una batería en función del tiempo.

También la temperatura y el régimen de carga influyen en el gaseo. Cuando la temperatura aumenta, el voltaje de gaseo disminuye. El gaseo comienza a menores estados de carga para altos regímenes de carga.

El voltaje de gaseo disminuye cuando aumenta la temperatura y aumenta con el incremento del régimen de corriente. El efecto de la temperatura en el voltaje de gaseo es la razón por la cual muchos reguladores incorporan una corriente del voltaje de corte por sobrecarga con la temperatura con el objetivo de limitar la cantidad de gaseo y pérdidas de agua.

Voltaje de corte del regulador	Pb-antimonio	Pb-calcio	Plomo-acido sellada	Níquel-Cadmio
Por batería 12V	14,4-14,8	14,0-14,4	14,0-14,4	14,5-15,0
Por elemento	2,40-2,47	2,33-2,40	2,33-2,40	1,45-1,50

Tabla 7: Voltajes de corte del regulador por sobrecarga recomendados para distintos tipos de baterías.

Los voltajes de corte en sistemas FV son mayores que los voltajes de flotación (entre 2,25 a 2,30 V/elemento) en las baterías se cargan lentamente en largos periodos de tiempo. Con estos voltajes de flotación las baterías nunca se verían cargadas en un sistema FV.

### 3.23 Factores que afectan a la vida de la batería.

Tiempos de vida menores que los esperados inicialmente es uno de los problemas que aparecen en los sistemas FV. La batería es el componente más caro, después del generador FV, en el sistema. Durante el periodo de vida de un sistema FV, de 20 a 30 años, los costes de reemplazar y mantener la batería pueden suponer la mayor parte de los costes del sistema. La vida de la batería depende de un gran número de factores de diseño y operaciones, entre los que se encuentran: los materiales y componentes constructivos, la temperatura de operación, la

frecuencia y la profundidad de las cargas y descargas, el estado de carga medio y los métodos de carga. En tanto que la batería no se sobrecargue, sobre descargue u opere a elevadas temperaturas, el tiempo de vida es proporcional a su estado de carga promedio. Una batería de plomo-acido que se mantenga por encima del 90% de su estado de carga puede proporcionar dos o tres veces más ciclos de carga/descarga que una batería a la que le permita un 50 % de SOC después de cada recarga. Lo que sugiere que una limitación en la máxima profundidad de descarga permitida aumentara la vida de la batería. Se suele definir que una batería no es operativa cuando no es capaz de proporcionar el 80 % de su carga nominal.

El tiempo de vida se puede expresar en términos de ciclos o de años, dependiendo del tipo de batería y de aplicación. La determinación con exactitud del tiempo de vida de una batería resulta muy difícil debido al gran número de variables involucradas. Sin embargo su vida se puede maximizar teniendo en cuenta los siguientes factores:

- a) Temperatura de operación. La temperatura de operación tiene importante efectos en el tiempo de vida de la batería. En general, cuando la temperatura aumenta 10 °C las reacciones electroquímicas se doblan dando como resultado una disminución del 30 % de su tiempo de vida. La operación a bajas temperaturas aumentan su tiempo de vida pero disminuye su capacidad, especialmente en baterías de plomo-acido. La temperatura afecta más el tiempo de vida de las baterías de plomo-calcio que a las de plomo-antimonio o níquel-cadmio.

Batería 1/ciclo profundo		Batería 2/ciclo superficial	
DOD	Ciclos	DOD	Ciclos
10 %	7200	20 %	120
50 %	3000	50 %	800
75 %	1500	80 %	500

Tabla 8: Ejemplo de número de ciclos en función de la máxima profundidad de descarga permitida de dos fabricantes de baterías de plomo-acido.

- b) Profundidad de descarga. Si una batería se descarga muy profundamente se produce una pérdida de materia activa. En los sistemas FV bien dimensionados, la profundidad de descarga diaria promedio es baja, ya que la capacidad de la batería se dimensiona para proporcionar varios días de autonomía durante los periodos de baja radiación solar, y la profundidad diaria de descarga esta normalmente entre un 10 al 20 % de capacidad total. Cuantos más días de autonomía se consideren en el dimensionamiento de la batería, menor se la profundidad de descarga diaria y mayor su tiempo de vida. Obviamente a mayor capacidad instalada, mayor coste inicial
- c) Sobre carga. La sobrecarga produce un gaseo excesivo y perdida de electrolito. El gaseo acelera la erosión de la materia activa de las placas, reduciendo la vida de la batería. El excesivo calentamiento durante la sobrecarga acelera el proceso natural de la corrosión. La corrosión es la actividad electroquímica resultante de la inmersión de dos

metales diferentes en un electrolito, o el contacto de dos metales, causando a un material una oxidación, o pérdida de electrones, y al otro una reducción, o ganancia de electrones. La sobrecarga se previene mediante la utilización de un regulador de carga adecuado. Por otro lado un cierto gaseo controlado puede resultar beneficioso para prevenir la estratificación del electrolito.

- d) Mantenimiento. Cualquier componente del sistema durara más cuanto mayor sea su mantenimiento. En la batería se debe vigilar que el nivel del electrolito sea el necesario, manteniendo su concentración y que las placas siempre se encuentren sumergidas en el electrolito. El mantenimiento de los terminales de conexión eléctricos en buen estado, limpios y sin corrosión, permitirá la ausencia de caídas de tensión o sobrecalentamientos, y una carga igualitaria.
- e) Plena carga. Si las baterías de plomo-acido se mantiene a estados de carga parciales durante mucho tiempo, se produce sulfatación y se puede perder permanentemente capacidad. Los cristales de sulfato pueden crecer y cortocircuitar las placas.
- f) Efectos de la profundidad de descarga en el tiempo de vida (número de ciclos) para las baterías de plomo-acido de ciclo profundo (línea superior) y de ciclo superficial (línea inferior)

### ***3.24 Rendimiento de la batería***

El rendimiento de las baterías depende del tipo de batería, método de carga, regímenes de carga y descarga, profundidad de descarga y temperatura. En general el rendimiento es mucho mayor cuando el estado de carga es bajo y disminuye cuando la batería alcanza su plena carga. El rendimiento total se puede considerar como la suma de un rendimiento de voltaje y un rendimiento de carga.

El rendimiento de voltaje viene determinado por los regímenes de carga y descarga y por la temperatura y se expresa como la relación entre el voltaje de la batería durante la descarga respecto del voltaje durante la carga. Así por ejemplo si se supone que en promedio la batería se carga a 14 V y se descarga a 12 V, el rendimiento promedio se sitúa en el 85 %.

El rendimiento de carga (o culombio) de una batería se define como al relación entre los amperios hora sacados de la batería durante la descarga respecto de los amperios hora durante la carga. Debido a las pérdidas en el gaseo y otros mecanismos internos, la batería no puede suministrar todos los amperios que se cargan. A bajos estados de carga, la batería acepta muy bien la corriente, hay poco gaseo y el rendimiento de carga es elevado cuando la batería llega a su pleno estado de carga, el gaseo y el calentamiento interno reducen el rendimiento de carga. Aunque el rendimiento es difícil de determinar se puede tomar un 90 % como un valor típico para la mayoría de las baterías utilizadas en los sistemas FV, aunque este será diferente dependiendo del lugar de la curva de carga en que nos encontremos. El l rendimiento de carga

se debe utilizar como un parámetro más en el dimensionado del generador FV necesario en un sistema FV.

El rendimiento energético total de la batería se define como el producto de los rendimientos de voltaje y de carga. Este rendimiento define la relación entre la energía obtenida de una batería durante la descarga respecto a la que es necesario suministrarle para poder volverla a su estado de plena carga

# **CAPITULO 4**

## **FUENTES REGULADAS**

## 4 Fuentes

Podemos definir fuente de alimentación como aparato electrónico modificador de la electricidad que convierte la tensión alterna en una tensión continua.

Remontándonos un poco en la historia describiremos que en la industria no se contaba con equipos eléctricos, luego se empezaron a introducir dispositivos eléctricos no muy sofisticados por lo que no eran muy sensibles a sobretensiones, luego llegaron los equipo más modernos que necesitaban de bajos voltajes y por lo tanto eran muy sensibles a sobretensiones, cambios bruscos o ruido en las tensiones de alimentación por lo que se ha iniciado la construcción de fuentes de alimentación que proporcionaran el voltaje suficiente de estos dispositivos y que garanticen la estabilidad de la tensión que Ingresa al equipo.

Hoy en día los equipos electrónicos, en su mayoría, funcionan con corriente continua, así, el dispositivo que convierte la corriente alterna a corriente continua, en los niveles requeridos por el circuito electrónico a alimentar, se llama **fente de alimentación**.

En resumen la función de una fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión en una tensión continua.

Existen básicamente dos tipos de fuente de alimentación:

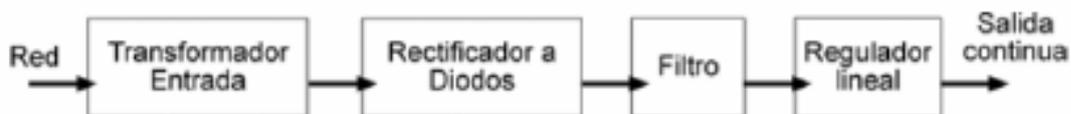
- La fuente conmutada
- La fuente regulada

Cada una con sus características, sus ventajas y desventajas. Se utiliza una de ellas de acuerdo al uso final que van a tener, es decir, según los requerimientos de estabilidad y rendimiento que tenga la carga a alimentar.

### 4.1 Conceptos básicos

#### Una fuente convencional

Este es su diagrama en bloques: para explicar el funcionamiento de una fuente convencional.



#### 4.1.2 Transformador de entrada

Modifica los niveles de tensión alterna a los requeridos por el circuito a alimentar. El transformador de entrada reduce la tensión de red (generalmente 220 o 120 V) a otra tensión más adecuada para ser tratada. Solo es capaz de trabajar con corrientes alternas, esto quiere decir que la tensión de entrada será alterna y la de salida también.

Consta de dos arroyamientos sobre un mismo núcleo de hierro, ambos arroyamientos, primario y secundario, son completamente independientes y la energía eléctrica se transmite del primario al secundario en forma de energía magnética a través del núcleo.

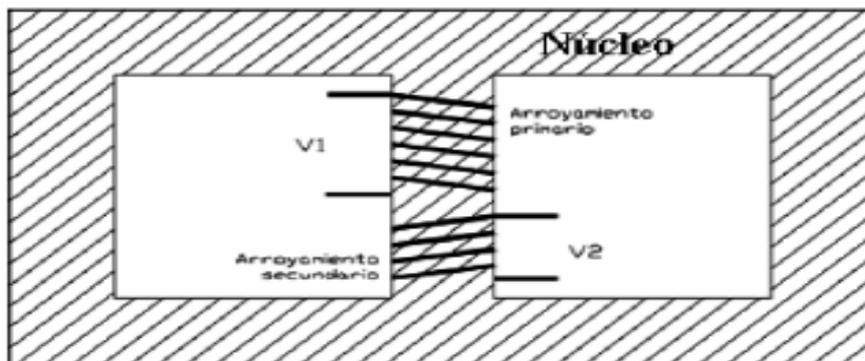


Fig. 56: El esquema de un transformador simplificado es el siguiente:

La corriente que circula por el arrollamiento primario (el cual está conectado a la red), genera una circulación de corriente magnética por el núcleo del transformador. Esta corriente magnética será más fuerte cuantas más espiras (vueltas) tenga el arroyamiento primario. Si acercas un imán a un transformador en funcionamiento notarás que el imán vibra, esto es debido a que la corriente magnética del núcleo es alterna, igual que la corriente por los arroyamientos del transformador.

En el arroyamiento secundario ocurre el proceso inverso, la corriente magnética que circula por el núcleo genera una tensión que será tanto mayor cuanto mayor sea el número de espiras del secundario y cuanto mayor sea la corriente magnética que circula por el núcleo (la cual depende del número de espiras del primario).

Por lo tanto, la tensión de salida depende de la tensión de entrada y del número de espiras de primario y secundario. Como fórmula general se dice que:

$$V1 = V2 * (N1/N2)$$

Donde N1 y N2 son el número de espiras del primario y el del secundario respectivamente.

Así por ejemplo podemos tener un transformador con una relación de transformación de 220V a 12V, no podemos saber cuántas espiras tiene el primario y cuantas el secundario pero si podemos conocer su relación de espiras:

$$N1/N2 = V1/V2$$

$$N1/N2 = 220/12 = 18,33$$

Este dato es útil si queremos saber que tensión nos dará este mismo transformador si lo conectamos a 120V en lugar de 220V, la tensión V2 que dará a 120V será:

$$120 = V2 * 18,33$$

$$V2 = 120/18,33 = 6,5 \text{ V}$$

Por el primario y el secundario pasan corrientes distintas, la relación de corrientes también depende de la relación de espiras pero al revés, de la siguiente forma:

$$I2 = I1 * (N1/N2)$$

Donde  $I_1$  e  $I_2$  son las corrientes de primario y secundario respectivamente. Esto nos sirve para saber que corriente tiene que soportar el fusible que pongamos a la entrada del transformador, por ejemplo, supongamos que el transformador anterior es de 0.4 Amperios. Esta corriente es la corriente máxima del secundario  $I_2$ , pero nosotros queremos saber que corriente habrá en el primario ( $I_1$ ) para poner allí el fusible.

Entonces aplicamos la fórmula:

$$I_2 = I_1 * (N_1/N_2)$$

$$0.4 = I_1 * 18.33$$

$$I_1 = 0.4 / 18.33 = 21,8 \text{ mA}$$

Para asegurarnos de que el fusible no saltará cuando no debe, se tomará un valor mayor que este, por lo menos un 30% mayor.

### ***Rectificador a diodos***

El rectificador es el que se encarga de convertir la tensión alterna que sale del transformador en tensión continua. Para ello se utilizan diodos. Un diodo conduce cuando la tensión de su ánodo es mayor que la de su cátodo.

Es como un interruptor que se abre y se cierra según la tensión de sus terminales:

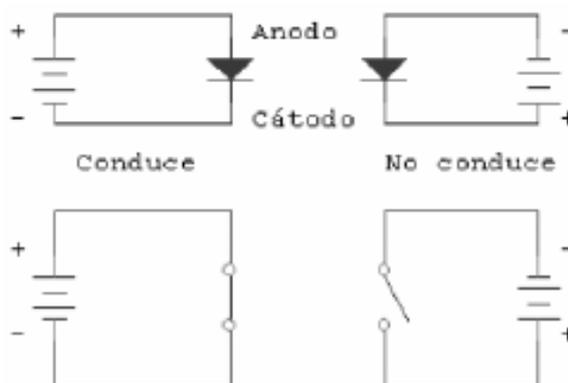


FIG 57: El rectificador se conecta después del transformador, por lo tanto le entra tensión alterna y tendrá que sacar tensión continua, es decir, un polo positivo y otro negativo:



FIG 58: La tensión  $V_i$  es alterna y senoidal, esto quiere decir que a veces es positiva y otras negativa. En un osciloscopio veríamos esto:

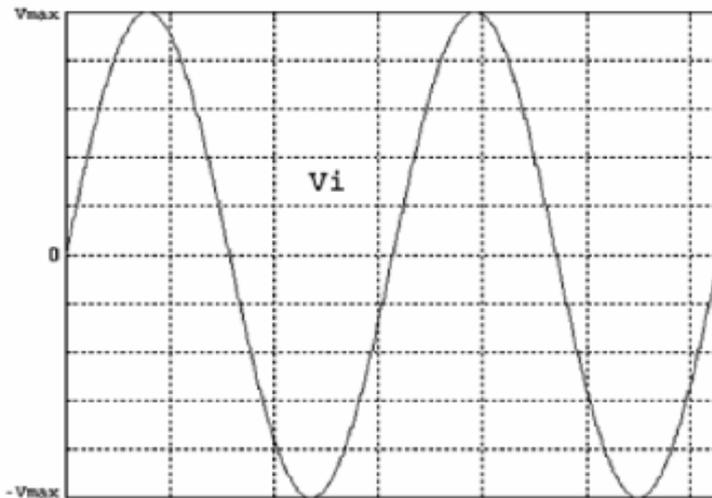


FIG 59: Grafica Vmax

La tensión máxima a la que llega Vi se le llama tensión de pico y en la gráfica figura como Vmax. La tensión de pico no es lo mismo que la tensión eficaz pero están relacionadas, Por ejemplo, si compramos un transformador de 6 voltios son 6 voltios eficaces, estamos hablando de Vi. Pero la tensión de pico Vmax vendrá dada por la ecuación:

$$V_{max} = V_i * 1,4142$$

$$V_{max} = 6 * 1,4142 = 8,48 \text{ V}$$

***Ejemplos de rectificadores:***

Rectificador a un diodo

El rectificador más sencillo es el que utiliza solamente un diodo, su esquema es este:



FIG 60: Transformador con un diodo

Cuando Vi sea positiva la tensión del ánodo será mayor que la del cátodo, por lo que el diodo conducirá: en Vo veremos lo mismo que en Vi, mientras que cuando Vi sea negativa la tensión del ánodo será menor que la del cátodo y el diodo no podrá conducir, la tensión Vo será cero. Según lo que acabamos de decir la tensión Vo tendrá esta forma:

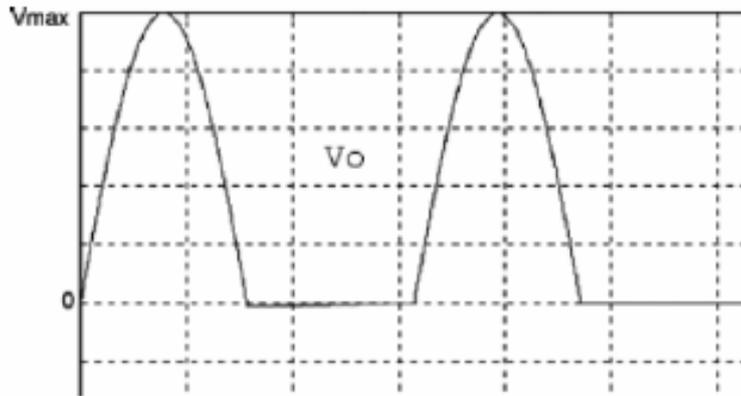


FIG 61: Rectificador con un diodo

La tensión que obtenemos con este rectificador no se parece mucho a la de una batería, pero una cosa es cierta, hemos conseguido rectificar la tensión de entrada ya que  $V_o$  es siempre positiva. Aunque posteriormente podamos filtrar esta señal y conseguir mejor calidad este esquema no se suele usar demasiado.

### Rectificador en puente

El rectificador más usado es el llamado rectificador en puente, su esquema es el siguiente:

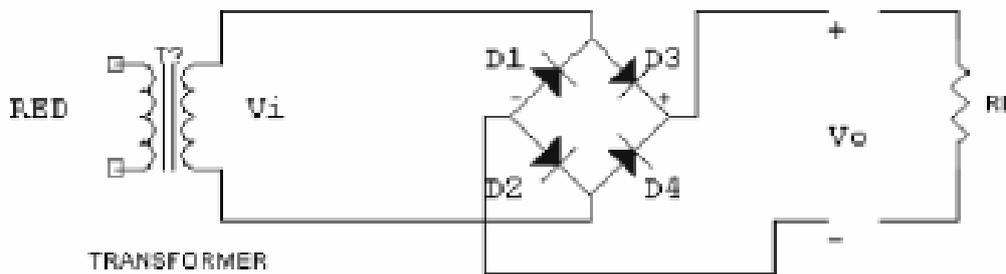


FIG 62: Rectificador en puente

Cuando  $V_i$  es positiva los diodos  $D_2$  y  $D_3$  conducen, siendo la salida  $V_o$  igual que la entrada  $V_i$ , cuando  $V_i$  es negativa los diodos  $D_1$  y  $D_4$  conducen, de tal forma que se invierte la tensión de entrada  $V_i$  haciendo que la salida vuelva a ser positiva. El resultado es el siguiente:

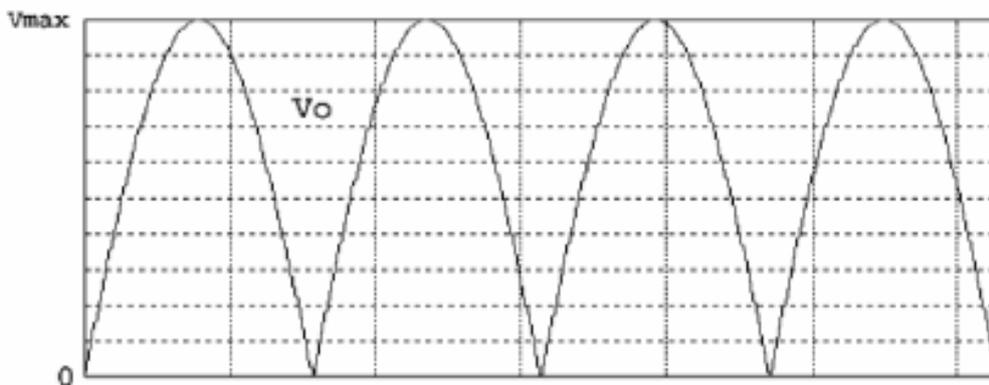


FIG 63: Grafica del rectificador en puente

Vemos en la figura que todavía no hemos conseguido una tensión de salida demasiado estable, por ello, será necesario filtrarla después.

Es tan común usar este tipo de rectificadores que se venden ya preparados los cuatro diodos en un solo componente. Suele ser recomendable usar estos puentes rectificadores, ocupan menos que poner los cuatro diodos y para corrientes grandes vienen ya preparados para ser montados en un radiador. Este es el aspecto de la mayoría de ellos:

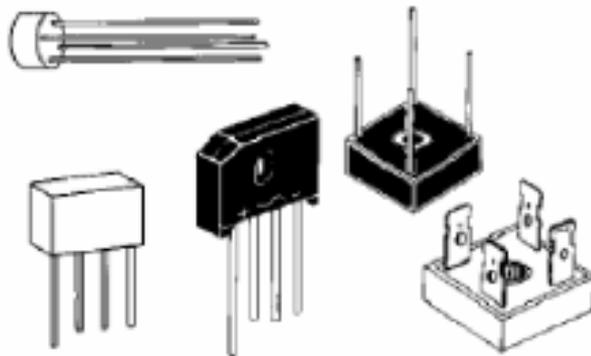


FIG 64: Diodos rectificadores de 4 patas

Tienen cuatro terminales, dos para la entrada en alterna del transformador, uno la salida positiva y otro la negativa o masa. Las marcas en el encapsulado suelen ser:

- ~ Para las entradas en alterna
- + Para la salida positiva
- Para la salida negativa o masa.

### ***El filtro***

La tensión en la carga que se obtiene de un rectificador es en forma de pulsos. En un ciclo de salida completo, la tensión en la carga aumenta de cero a un valor de pico, para caer después de nuevo a cero. Esta no es la clase de tensión continua que precisan la mayor parte de circuitos electrónicos. Lo que se necesita es una tensión constante, similar a la que produce una batería. Para obtener este tipo de tensión rectificadas en la carga es necesario emplear un filtro.

El tipo más común de filtro es el del condensador a la entrada, en la mayoría de los casos perfectamente válido. Sin embargo en algunos casos puede no ser suficiente y tendremos que echar mano de algunos componentes adicionales.

Filtro con condensador a la entrada:

Este es el filtro más común y seguro que lo conocerás, basta con añadir un condensador en paralelo con la carga (RL), de esta forma:

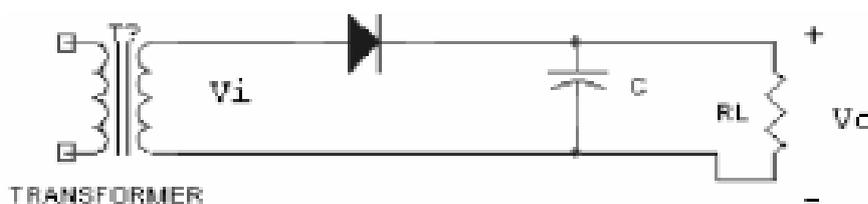


FIG 64: Transformador con un diodo y un capacitor

Todo lo que digamos en este apartado será aplicable también en el caso de usar el filtro en un rectificador en puente. Cuando el diodo conduce el condensador se carga a la tensión de pico  $V_{max}$ . Una vez rebasado el pico positivo el condensador se abre. ¿Por qué? debido a que el condensador tiene una tensión  $V_{max}$  entre sus extremos, como la tensión en el secundario del transformador es un poco menor que  $V_{max}$  el cátodo del diodo está a más tensión que el ánodo. Con el diodo ahora abierto el condensador se descarga a través de la carga.

Durante este tiempo que el diodo no conduce el condensador tiene que "mantener el tipo" y hacer que la tensión en la carga no baje de  $V_{max}$ . Esto es prácticamente imposible ya que al descargar se un condensador se reduce la tensión en sus extremos.

Cuando la tensión de la fuente alcanza de nuevo su pico el diodo conduce brevemente recargando el condensador a la tensión de pico. En otras palabras, la tensión del condensador es aproximadamente igual a la tensión de pico del secundario del transformador (hay que tener en cuenta la caída en el diodo). La tensión  $V_o$  quedará de la siguiente forma:

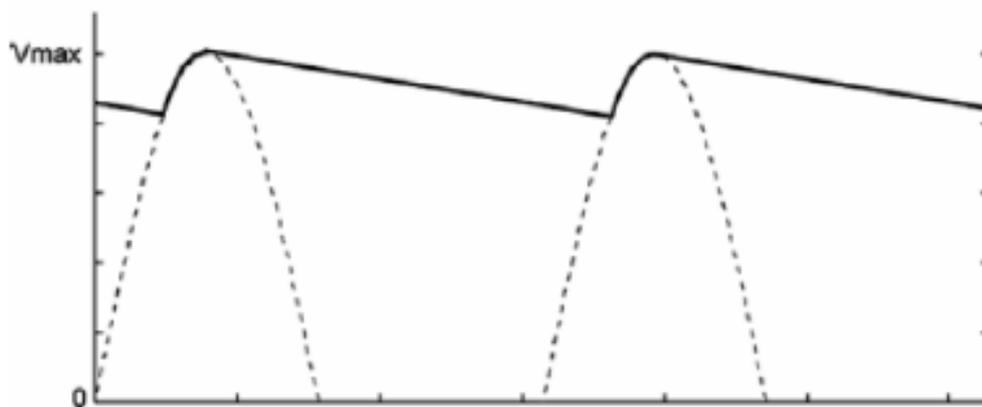


FIG 65: Grafica de un diodo con un capacitor

La tensión en la carga es ahora casi una tensión ideal. Solo nos queda un pequeño rizado originado por la carga y descarga del condensador. Para reducir este rizado podemos optar por construir un rectificador en puente: el condensador se cargaría el doble de veces en el mismo intervalo teniendo así menos tiempo para descargarse, en consecuencia el rizado es menor y la tensión de salida es más cercana a  $V_{max}$ .

Otra forma de reducir el rizado es poner un condensador mayor, pero siempre tenemos que tener cuidado en no pasarnos ya que un condensador demasiado grande origina problemas de conducción de corriente por el diodo y, por lo tanto, en el secundario del transformador (la corriente que conduce el diodo es la misma que conduce el transformador).

Efecto del condensador en la conducción del diodo:

Como venimos diciendo hasta ahora, el diodo solo conduce cuando el condensador se carga. Cuando el condensador se carga aumenta la tensión en la salida, y cuando se descarga disminuye, por ello podemos distinguir perfectamente en el gráfico cuando el diodo conduce y cuando no. En la siguiente figura se ha representado la corriente que circula por el diodo, que es la misma que circula por el transformador:

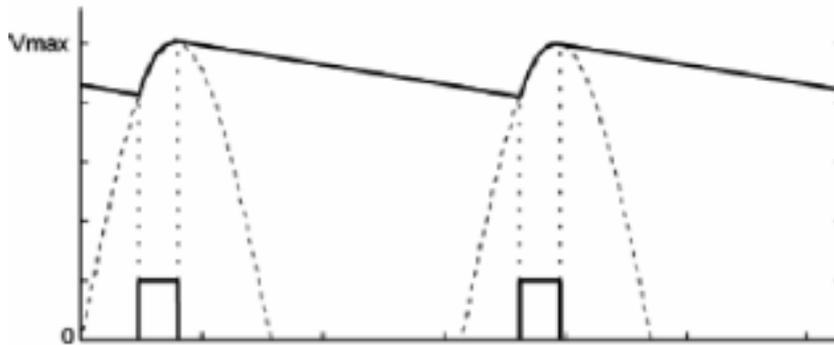


FIG 66: Grafica de un diodo con un capacitor mostrando en pulsos

La corriente por el diodo es a pulsos, aquí mostrados como rectángulos para simplificar. Los pulsos tienen que aportar suficiente carga al condensador para que pueda mantener la corriente de salida constante durante la no conducción del diodo. Esto quiere decir que el diodo tiene que conducir "de vez" todo lo que no puede conducir durante el resto del ciclo. Es muy normal, entonces, que tengamos una fuente de 1 Amperio y esos pulsos lleguen hasta 10 Amperios o más. Esto no quiere decir que tengamos que poner un diodo de 10 amperios, un 1N4001 aguanta 1 amperio de corriente media y pulsos de hasta 30 amperios.

Si ponemos un condensador mayor reducimos el rizado, pero al hacer esto también reducimos el tiempo de conducción del diodo, como la corriente media que pasa por los diodos será la misma (e igual a la corriente de carga) los pulsos de corriente se hacen mayores:

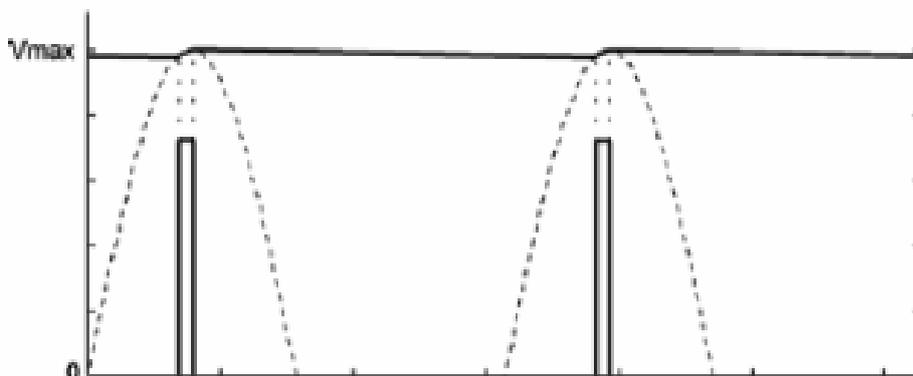


FIG 67: Grafica de un diodo con un capacitor de mayor capacidad

Y esto no solo afecta al diodo, al transformador también, ya que a medida que los pulsos de corriente se hacen más estrechos (y más altos a su vez) la corriente eficaz aumenta. Si nos pasamos con el condensador podríamos encontrarnos con que tenemos un transformador de 0,5 A y no podemos suministrar más de 0,2 A a la carga (por poner un ejemplo).

### ***Valores recomendables para el condensador en un Rectificador de puente***

Si quieres ajustar el valor del condensador al menor posible esta fórmula te dará el valor del condensador para que el rizado sea de un 10% de  $V_o$  (regla del 10%):

$$C = (5 * I) / (f * V_{max})$$

Donde:

C: Capacidad del condensador del filtro en faradios  
I: Corriente que suministrará la fuente  
f: frecuencia de la red  
V<sub>max</sub>: tensión de pico de salida del puente (aproximadamente V<sub>o</sub>)

Si se quiere conseguir un rizado del 7% puedes multiplicar el resultado anterior por 1,4, y si quieres un rizado menor resulta más recomendable que uses otro tipo de filtro o pongas un estabilizador.

### *El regulador*

Un regulador o estabilizador es un circuito que se encarga de reducir el rizado y de proporcionar una tensión de salida de la tensión exacta que queramos. En esta sección nos centraremos en los *reguladores integrados de tres terminales* que son los más sencillos y baratos que hay, en la mayoría de los casos son la mejor opción.

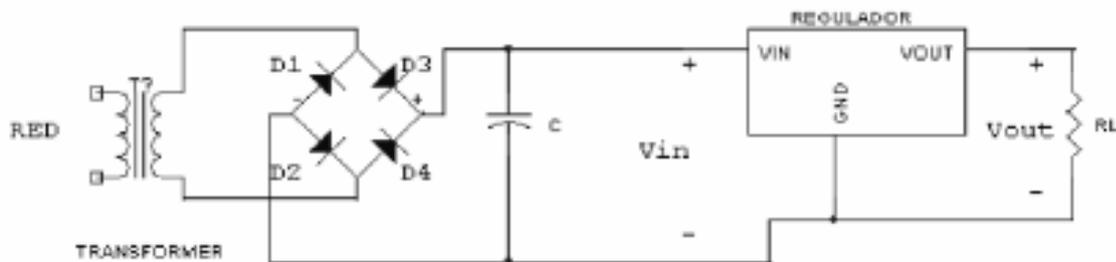


FIG 68: Este es el esquema de una fuente de alimentación regulada con uno de estos reguladores:

Si has seguido las explicaciones hasta ahora no te costará trabajo distinguir el transformador, el puente rectificador y el filtro con condensador a la entrada. Suele ser muy normal ajustar el condensador según la regla del 10%, Si no sabes cómo repasa el filtro con condensador a la entrada.

Es muy corriente encontrarse con reguladores que reducen el rizado en 10000 veces (80 dB), esto significa que si usas la regla del 10% el rizado de salida será del 0.001%, es decir, inapreciable.

Las ideas básicas de funcionamiento de un regulador de este tipo son:

1. La tensión entre los terminales Vout y GND es de un valor fijo, no variable, que dependerá del modelo de regulador que se utilice.
2. La corriente que entra o sale por el terminal GND es prácticamente nula y no se tiene en cuenta para analizar el circuito de forma aproximada. Funciona simplemente como referencia para el regulador.
3. La tensión de entrada Vin deberá ser siempre unos 2 o 3 V superior a la de Vout para asegurarnos el correcto funcionamiento.

Los tipos de reguladores que se suelen usar son:

- Reguladores de la serie **78XX**:
- Regulador ajustable LM317

## 4.2 Fuentes conmutadas

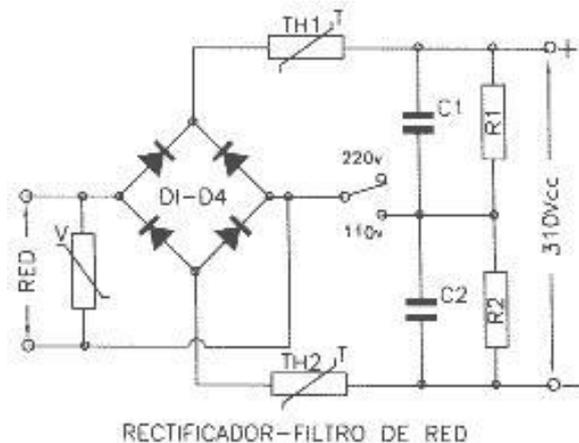
Las fuentes conmutadas fueron desarrolladas inicialmente para aplicaciones militares y aeroespaciales en los años 60, por ser inaceptable el peso y volumen de las lineales, se han desarrollado desde entonces diversas topología y circuitos de control, algunas de ellas son de uso común en fuentes conmutadas para aplicaciones industriales y comerciales

### Rectificación y filtro de entrada

Las fuentes conmutadas son convertidores cc-cc, por lo que la red debe ser previamente rectificadas y filtrada con una amplitud de rizado aceptable. La mayoría de las fuentes utilizan el circuito

De la Fig. 69. Para operar desde 90 a 132 Vac o de 180 a 260 Vac según sea la posición del conmutador.

En la posición de abierto se configura como rectificador de onda completa obteniéndose aproximadamente 310 Vcc desde la red de 220 Vac. En la posición de cerrado el circuito funciona como rectificador doblador de tensión, obteniéndose también 310 Vcc a partir de 110 Vac.



Para evitar sobrecalentamientos los condensadores electrolitos de filtro (C1 y C2) deben ser de bajo ESR (baja resistencia interna) y de la tensión adecuada. Es conveniente conectar en paralelo con estos otros condensadores tipo MKP para mejor desacoplo de alta frecuencia de conmutación. Los rectificadores deben soportar una tensión inversa de 600v.

### Pico de arranque

Al arrancar una fuente conmutada, la impedancia presentada a la red es muy baja al encontrarse los condensadores descargados, sin una resistencia en serie adicional la corriente inicial sería excesivamente alta. En la Fig.1, TH1 y TH2 son resistencias NTC (coeficiente negativo de temperatura), que limitan esta corriente a un valor aceptable. Las fuentes de media y gran potencia disponen de circuitos activos con resistencia limitadora que se cortocircuita por medio de relés o de conmutadores estáticos cuando ya están los condensadores cargados. En el caso de las fuentes de AMV se utiliza un transistor MOS-FET de potencia.

### Protección contra transitorios

Además del filtrado de ruidos reinyectados a la red que incorporan las fuentes conmutadas, es aconsejable la utilización de un varistor conectado a la entrada para proteger contra picos de tensión generados por la conmutación en circuitos inductivos de las proximidades o por tormentas eléctricas.

## 4.3 Configuraciones básicas

Las fuentes conmutadas son de circuitos relativamente complejos, pero podemos siempre diferenciar cuatro bloques constructivos básicos:

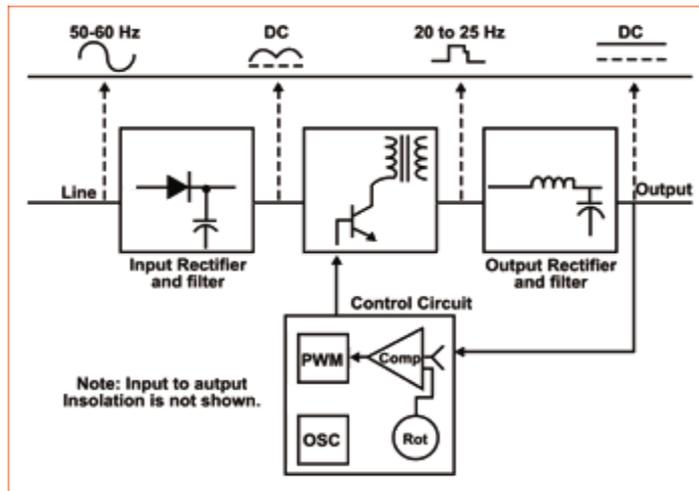


FIG 70: Fuente conmutada

- 1) En el primer bloque rectificamos y filtramos la tensión alterna de entrada convirtiéndola en una continua pulsante.
- 2) El segundo bloque se encarga de convertir esa continua en una onda cuadrada de alta frecuencia (10 a 200 kHz.), la cual es aplicada a una bobina o al primario de un transformador.
- 3) El tercer bloque rectifica y filtra la salida de alta frecuencia del bloque anterior, entregando así una corriente continua pura.
- 4) El cuarto bloque se encarga de comandar la oscilación del segundo bloque. Este bloque consiste de un oscilador de frecuencia fija, una tensión de referencia, un comparador de tensión y un modulador de ancho de pulso (PWM). El modulador recibe el pulso del oscilador y modifica su ciclo de trabajo según la señal del comparador, el cual coteja la tensión continua de salida del tercer bloque con la tensión de referencia.

. Aclaración: ciclo de trabajo es la relación entre el estado de encendido y el estado de apagado de una onda cuadrada.

En la mayoría de los circuitos de fuentes conmutadas encontraremos el primer y el tercer bloque como elementos invariables, en cambio el cuarto y el segundo tendrán diferentes tipos de configuraciones. A veces el cuarto bloque será hecho con integrados y otras veces nos encontraremos con circuitos totalmente transistorizados.

El segundo bloque es realmente el alma de la fuente y tendrá configuraciones básicas: BUCK, BOOST, BUCK-BOOST.

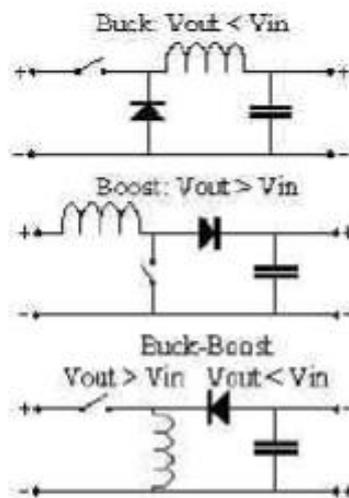


FIG 71: Configuraciones BUCK , BOOST, BUCK-BOOST.

- Buck:** el circuito interrumpe la alimentación y provee una onda cuadrada de ancho de pulso variable a un simple filtro LC. La tensión aproximada es  $V_{out} = V_{in} \cdot \text{ciclo de trabajo}$  y la regulación se ejecuta mediante la simple variación del ciclo de trabajo. En la mayoría de los casos esta regulación es suficiente y sólo se deberá ajustar levemente la relación de vueltas en el transformador para compensar las pérdidas por acción resistiva, la caída en los diodos y la tensión de saturación de los transistores de conmutación.
- Boost:** el funcionamiento es más complejo. Mientras el Buck almacena la energía en una bobina y éste entrega la energía almacenada más la tensión de alimentación a la carga.
- Buck-Boost:** los sistemas conocidos como Flyback son una evolución de los sistemas anteriores y la diferencia fundamental es que éste entrada a la carga sólo la energía almacenada en la inductancia. El verdadero Sistema Boost sólo puede regular siendo  $V_{out}$  mayor que  $V_{in}$ , mientras que el Flyback puede regular siendo menor o mayor la tensión de salida que la de entrada.

#### 4.4 Configuraciones básicas recomendada

Las configuraciones más recomendadas por los fabricantes se diferencian en potencia, modo, precio, utilidad y calidad. Son muy comunes las siguientes configuraciones:

CIRCUITO DE POTENCIA:

- Convertidores DC (Buck) - 5 Watts
- Fly back - 50 Watts
- Forward (Boost) - 100 Watts
- Half-Bridge - 200 Watts
- Full-Bridge - 500 Watts

#### FLYBACK

- Rango desde 50 hasta 100 vatios.

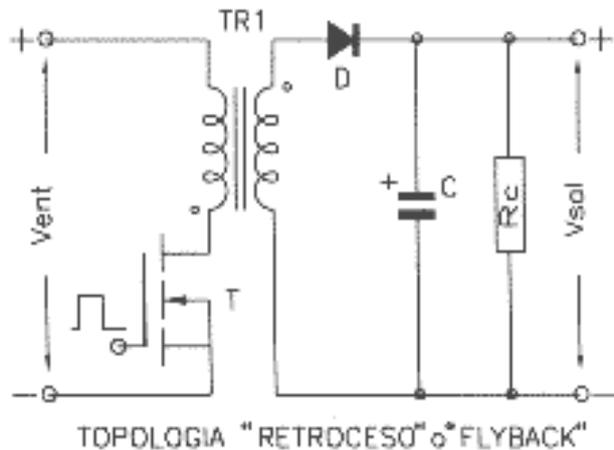
- Variación del voltaje de entrada:  $V_{in} +10\%$ ,  $-20\%$
- Eficiencia del convertidor:  $\eta = 80\%$
- Regulación por variación del ciclo de trabajo:  $d(\max) = 0.4$
- Máx. corriente de trabajo en el transistor:

$$I_W = 2 P_{out} / (\eta d(\max) V_{IN}(\min) 1.41) = 5.5 P_{out} / V_{in}$$

Dada su sencillez y bajo costo, es la topología preferida en la mayoría de los convertidores de baja potencia (hasta 100 w).

fig. 72: se muestran los principios de esta topología de fuente conmutada:

Cuando «T» conduce, la corriente crece linealmente en el primario del transformador, diseñado con alta inductancia para almacenar energía a medida que el flujo magnético aumenta.



La disposición del devanado asegura que el diodo «D» está polarizado en sentido inverso durante este período, por lo que no circula corriente en el secundario. Cuando «T» se bloquea, el flujo en el transformador cesa generando una corriente inversa en el secundario que carga el condensador a través diodo alimentando la carga. Es decir, en el campo magnético del transformador se almacena la energía durante el período «ON» del transistor y se transfiere a la carga durante el período «OFF» (FLYBACK). El condensador mantiene la tensión en la carga durante el período «ON».

La regulación de tensión en la salida se obtiene mediante comparación con una referencia fija, actuando sobre el tiempo «ON» del transistor, por tanto la energía transferida a la salida mantiene la tensión constante independientemente del valor de la carga o del valor de la tensión de entrada. La variación del período «ON» se controla por modulación de ancho de pulso (PWM) a frecuencia fija, o en algunos sistemas más sencillos por auto oscilación variando la frecuencia en función de la carga.

**NOTA** □ En el regulador flyback se puede variar sutilmente el modo de trabajo, continuo o discontinuo:

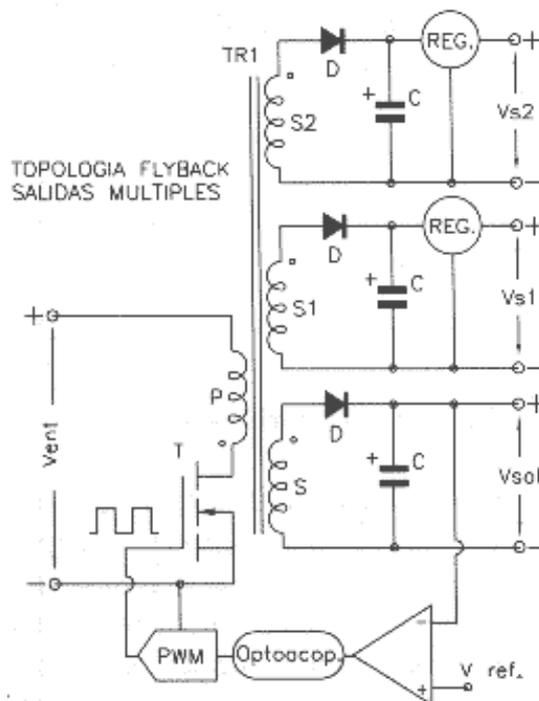
**Modo Discontinuo:** es el modo Boost estrictamente, donde la energía se vacía completamente del inductor antes de que el transistor vuelva a encenderse.

**Modo Continuo:** antes que la bobina se vacíe enciende nuevamente el transistor. La ventaja de este modo radica en que el transistor sólo necesita conmutar la mitad de un gran pico de corriente para entregar la misma potencia a la carga.

### FLYBACK de salidas múltiples

Figura 73: muestra la simplicidad con que pueden añadirse salidas aisladas a un convertidor Flyback.

Los requisitos para cada salida adicional son un secundario auxiliar, un diodo rápido y un condensador. Para la regulación de las salidas auxiliares suele utilizarse un estabilizador lineal de tres terminales a costa de una pérdida en el rendimiento.



### FORWARD (DIRECTO)

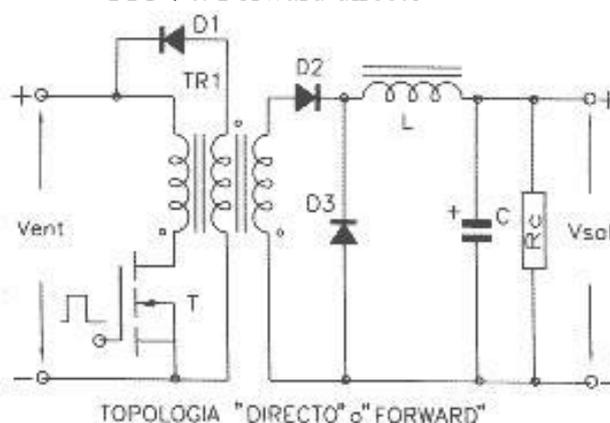
- Rango desde 50 hasta 250 vatios.
- Variación del voltaje de entrada:  $V_{in} +10\%$ ,  $-20\%$
- Eficiencia del convertidor:  $\eta = 80\%$
- Regulación por variación del ciclo de trabajo:  $d(\max) = 0.4$
- Máx. corriente de trabajo en el transistor:

$$I_w = P_{out} / (\eta d(\max) V_{in}(\min) 1.41) = 2.25 P_{out} / V_{in}$$

Es algo más complejo que el sistema Flyback aunque razonablemente sencillo y rentable en cuanto a costes para potencias de 100 a 250w.

FIG 74: Forward directo

Cuando el transistor conmutador «T» está conduciendo «ON», la corriente crece en el primario del transformador transfiriendo energía al secundario. Como quiera que el sentido de los devanados el diodo D2 está polarizado directamente, la corriente pasa a través de la inductancia L a la carga, acumulándose energía magnética en L. Cuando «T» se apaga «OFF», la corriente en el primario cesa invirtiendo la tensión en el secundario. En este momento D2 queda polarizado inversamente bloqueando la corriente de secundario, pero D3 conduce permitiendo que la energía almacenada en L se descargue alimentando a la carga. El tercer devanado, llamado de recuperación, permite aprovechar la energía que queda en el transformador durante el ciclo «OFF» devolviéndola a la entrada, vía D1.



Contrariamente al método Flyback, la inductancia cede energía a la carga durante los períodos «ON» y «OFF», esto hace que los diodos soporten la mitad de la corriente y los niveles de rizado de salida sean más bajos.

**FORWARD de salidas múltiples:**

Por cada salida adicional es necesario un secundario auxiliar, dos diodos rápidos, una inductancia y un condensador de filtro. Esto hace que sea más costoso que el Flyback.

Para mejorar la regulación en las salidas auxiliares se utilizan estabilizadores lineales.

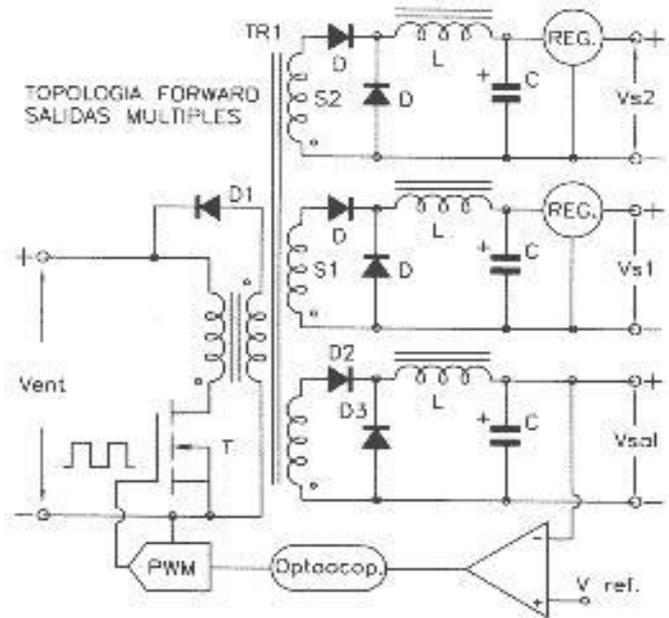


FIG 75: Forward salidas múltiples

**PUSH-PULL (Contrafase):**

- Rango desde 100 hasta 500 vatios.
- Variación del voltaje de entrada:  $V_{in} +10\%, -20\%$
- Eficiencia del convertidor:  $\eta = 80\%$
- Regulación por variación del ciclo de trabajo:  $d(\max) = 0.8$
- Máx. corriente de trabajo en el transistor

$$I_w = P_{out} / (\eta d(\max) V_{in}(\min) 1.41) = 1.4 P_{out} / V_{in} \text{ (FORWARD)}$$

- Máx. tensión de trabajo del transistor:  $V_w = 2 V_{in}(\max) 1.41 + \text{tensión de protección}$

Esta topología se desarrolló para aprovechar mejor los núcleos magnéticos.

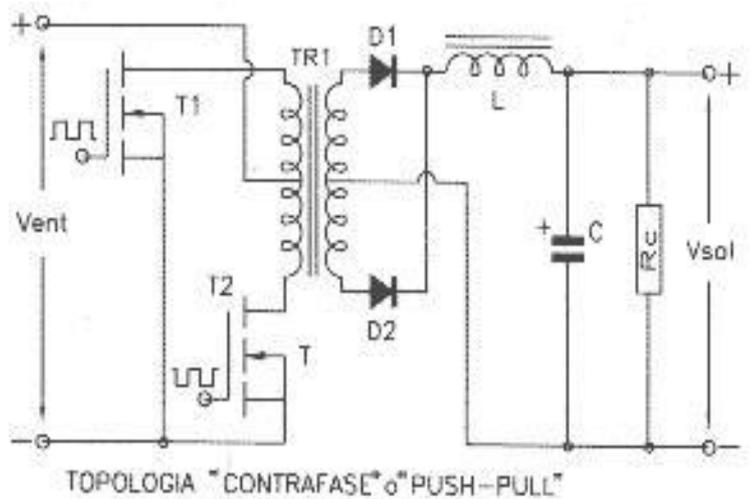


FIG 76: PUSH-PULL (Contrafase)

En esencia consisten en dos convertidores Forward controlados por dos entradas en contrafase. Los diodos D1 y D2 en el secundario, actúan como dos diodos de recuperación. Idealmente los períodos de conducción de los transistores deben ser iguales, el transformador se excita simétricamente y al contrario de la topología Forward no es preciso prever entrehierro en el

circuito magnético, ya que no existe asimetría en el flujo magnético y por tanto componente continua. Ello se traduce en una reducción del volumen del núcleo del orden del 50% para una misma potencia.

Una precaución que debe tenerse en cuenta en este tipo de circuitos es que las características de conmutación de los transistores deben ser muy similares, y los devanados tanto en primario como en secundario han de ser perfectamente simétricos, incluso en su disposición física en el núcleo. También se ha de tener en cuenta, que los transistores conmutadores soportan en estado «OFF» una tensión doble de la tensión de entrada.

**HALL-BRIDGE (Semipunte):**

- Rango desde 100 hasta 500 vatios.
- Variación del voltaje de entrada:  $V_{in} +10\%, -20\%$
- Eficiencia del convertidor:  $\eta = 80\%$
- Regulación por variación del ciclo de trabajo:  $d$  (máx) = 0.8 Máx. corriente de trabajo en el transistor:

$$I_w = 2 P_{out} / (h d (\max) V_{in} (\min) 1.41) = 2.8 P_{out} / V_{in} (\text{FORWARD})$$

- Máx. tensión de trabajo del transistor:  $V_w = V_{in} (\max) 1.41 + \text{tensión de protección}$

Es la topología más utilizada para tensiones de entrada altas (de 200 a 400v) y para potencias de hasta 2000w.

En la figura se aprecia que el primario del transformador está conectado entre la unión central de los condensadores del desacoplo de entrada y la unión de la fuente de T1 y el drenador de T2. Si se dispara alternativamente los transistores T1 y T2 conecta el extremo del primario a +300v y a 0v según corresponda, generando una onda cuadrada de 155v de valor máximo, la cual con una adecuada relación de espiras, rectificada y filtrada se obtiene la tensión de salida deseada.

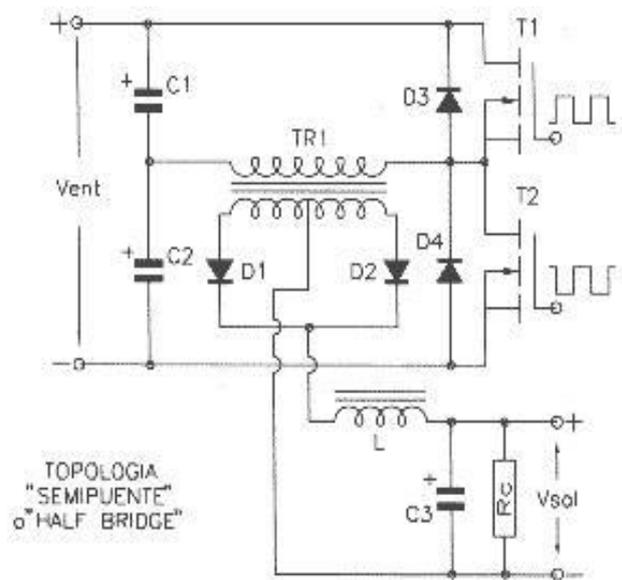


FIG 77: HALL-BRIDGE (Semipunte)

Una ventaja de este sistema es que los transistores soportan como máximo la tensión de entrada cuando están en «OFF», mientras que en los sistemas Flyback, Push-Pull y Forward, esta tensión es cuando menos el doble. Ello permite, cuando la tensión de entrada es la red rectificada, la utilización de transistores de 400 a 500v, mientras que en las otras configuraciones se requerirían transistores de 800 a 1000v. La regulación se logra comparando una muestra de la salida con una tensión de referencia para controlar el ancho del estado de conducción de los transistores.

Algunas de las ventajas del semipunte son:

- Núcleos más pequeños.
- Baja dispersión de flujo magnético.

- La frecuencia en los filtros de salida es el doble de la frecuencia de conmutación.
- Filtro de reducidas dimensiones.
- Bajo ruido y rizado de salida.
- Fácil configuración como salidas múltiples.
- Ruido radiado relativamente bajo.

La mayor desventaja consiste en que el primario del transformador trabaja a la mitad de la tensión de entrada y por tanto circula el doble de corriente por los transistores que en el caso de topología puente que se verá a continuación.

### **BRIDGE (Puente):**

- Rango desde 500 hasta 1000 vatios
- Variación del voltaje de entrada:  $V_{in} +10\%, -20\%$
- Eficiencia del convertidor:  $\eta = 80\%$
- Regulación por variación del ciclo de trabajo:  $d(\max) = 0.8$
- Máx. corriente de trabajo en el transistor:

$$I_w = P_{out} / (\eta d(\max) V_{in}(\min) 1.41) = 1.4 P_{out} / V_{in}(\text{FORWARD})$$

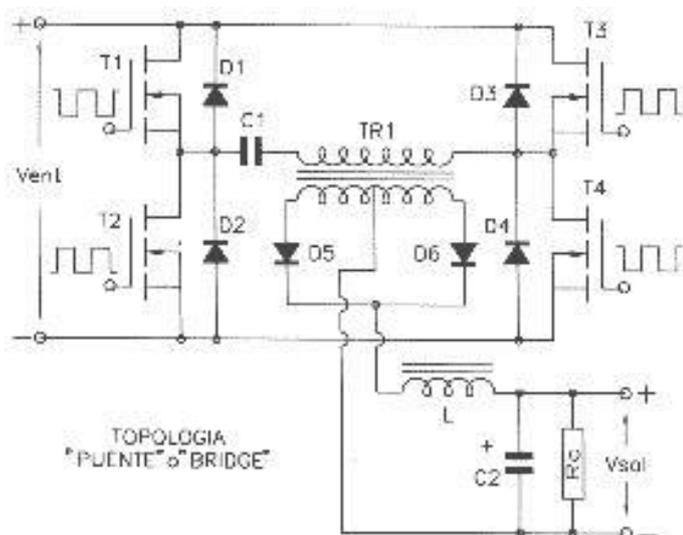
- Máx. tensión de trabajo del transistor:  $V_w = V_{in}(\max) 1.41 + \text{tensión de protección}$

Para potencias superiores a 2000w, las corrientes en los transistores de conmutación son excesivas.

La Fig. 78: muestra la topología básica de un convertidor puente, donde los transistores en ramas opuestas del puente T1 y T4 son disparados en fase y T2 y T4 en contrafase.

La amplitud de la onda cuadrada en el primario del transformador es por

tanto de 310v, doble que en la topología semipuente y por tanto mitad de corriente para una misma potencia. El empleo de cuatro transistores que deben ser excitados por separado, hace que el circuito de disparo sea más complejo. Si la conmutación en ambas ramas está algo desbalanceada hace que aparezca una componente continua en el transformador produciendo la saturación del núcleo magnético, se evita con la introducción del condensador C1 en serie con el primario del transformador.



### **4.5 Reguladores con conmutación en el primario.**

En la figura muestra el circuito básico de un regulador con conmutación en el primario. La tensión de la red es rectificada directamente por medio de un puente de diodos. Los condensadores alisadores conectados en serie C1, C2, tienen entonces cada uno una tensión de 150 V. Con los transistores conmutadores, T1 y T2, las tensiones

\*  $U_1 +150 V$ , si T1 conduce \*  $-150 V$ , si T2 conduce pueden ser aplicadas alternativamente al arrollamiento primario del transformador de alta frecuencia. El primario está conectado al rectificador de red de tal manera que por el no circula corriente continua. Esto evita que el transformador se sature si los tiempos de conducción de T1 y T2 no son iguales.

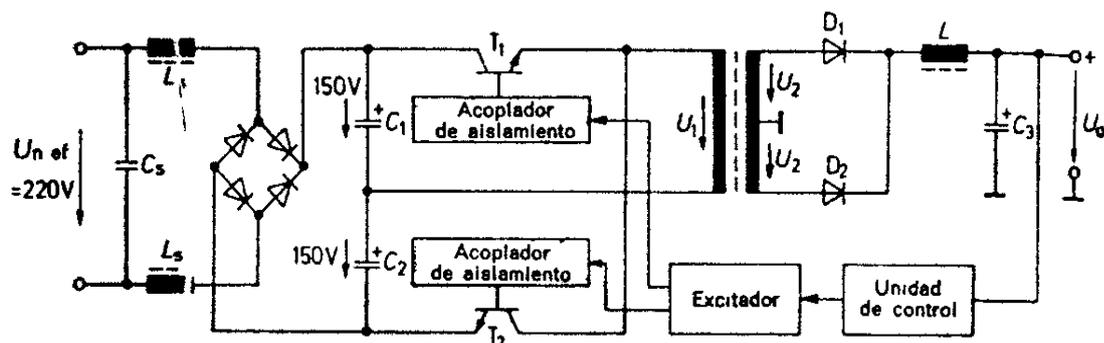


FIG 79: Reguladores con conmutación en el primario

La tensión alterna del secundario del transformador es rectificadora por un circuito puente. Esta conexión particular es preferible para este tipo de regulador ya que en un instante cualquiera sólo hay un diodo que produce pérdidas. El arrollamiento secundario adicional normalmente evitado en funcionamiento a 50 Hz no representa dificultades en la operación de alta frecuencia. Estos aspectos son particularmente importantes para generar pequeñas tensiones de salida, ya que los diodos D1 y D2 son la principal causa de pérdida. Para mantener en el mínimo las pérdidas estática y dinámica se recomienda utilizar diodos de potencia Schottky, por ejemplo los tipos MBR3520....MBR7545 de Motorola.

De la misma manera que para el regulador con conmutación en el secundario, el aislamiento de la tensión de salida se obtiene por medio de un elemento LC. La unidad de control es en principio idéntica a la del regulador con conmutación en el secundario. Sin embargo, se requiere un circuito excitador adicional para distribuir la señal de conducción al transistor conmutador apropiado. Como los transistores están conectados al primario del transformador y el circuito excitador tiene una unidad de control para el secundario, los transistores deben estar aislados del circuito excitador. Para la transmisión de impulsos de u opto acopladores.

Con el fin de que la disipación de potencia de los transistores conmutadores pueda ser pequeña, deben ser conmutados en conexión y desconexión tan rápidamente como sea posible y nunca deben estar conduciendo simultáneamente. Con el diseño óptimo se pueden obtener rendimientos de más del 80%. La unidad de control se puede adquirir como circuito integrado.

La disipación descrita también puede ser directamente alimentada por una tensión de c.c, en lugar de por una tensión de c.a, rectificada. Funciona como transformador de tensión de c.c, altamente eficiente (convertidor c.a. /c.c.).

#### 4.6 Reguladores con conmutación en el secundario.

En la primera figura muestra el circuito básico de un regulador con conmutación en el secundario (el regulador reductor). El transistor T1 es periódicamente puesto en estado de corte y en estado de saturación con una frecuencia de 20 KHz aproximadamente. El diodo D evita que sean inducidas altas tensiones en la reactancia durante la puesta en el corte del transistor ya que mantiene el flujo de corriente en la reactancia. Así, durante el tiempo de corte, no solo el condensador sino también la reactancia contribuyen a la corriente de salida, y de esta manera se obtiene una tensión de salida bien aislada sin pérdida de potencia.

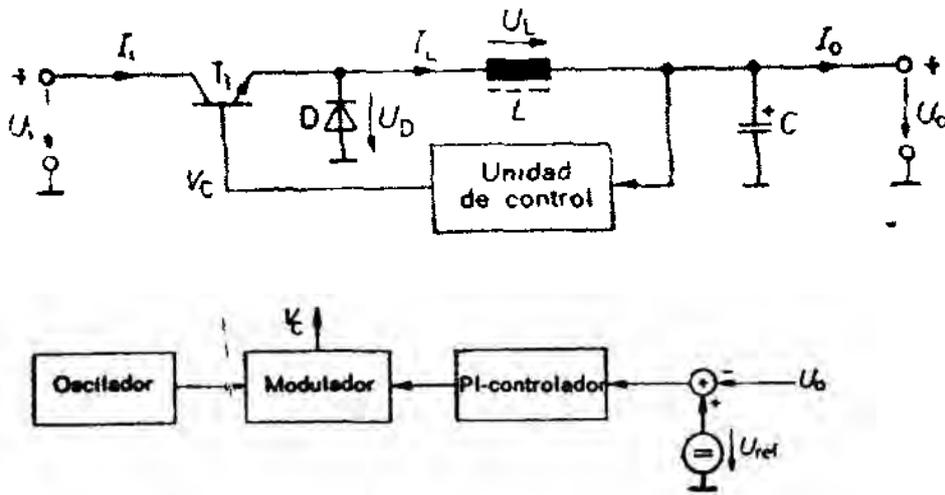


FIG 80: Está representado el diagrama de bloques de la unidad de control. El controlador compara la tensión de salida con la tensión de referencia. Si la tensión de salida es demasiado pequeña el ciclo de servicio ton/T de la tensión de control Vc es aumentado por el modulador. La frecuencia,  $f = 1 / T$ , de la tensión de control permanece constante en este proceso. Está determinada por el oscilador.

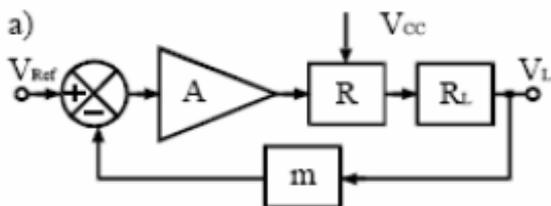
Para el diseño del regulador de conmutación debemos determinar inicialmente la dependencia de la corriente de la bobina de reactancia con respecto al tiempo. Para empezar suponemos que el condensador es infinitamente grande para que la ondulación de la tensión de salida sea cero.

La ley de Farad ay de la inducción de la expresión

$$U_L = L \cdot dI/dt$$

#### 4.7 Fuentes reguladas

FIG 81: *Reguladores lineales*



Operan con c.c. a la entrada: VCC

Equivalen a una resistencia con valor de ajuste automático.

Basan su funcionamiento en la caída de tensión en elementos disipativos.

Tienen bajo rendimiento.

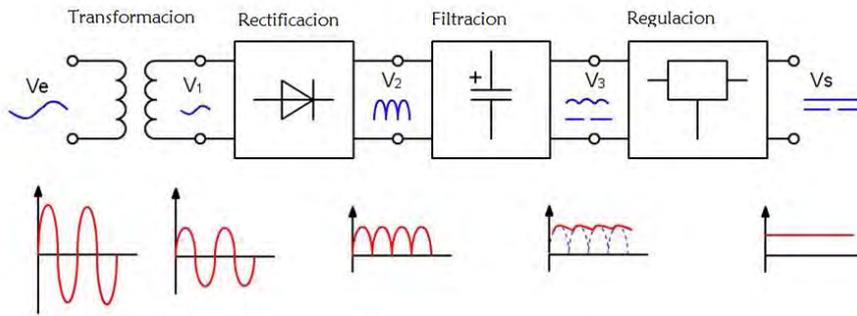


FIG 82: *Fuente regulada*

#### 4.8 Tipos de reguladores lineales

##### *Regulador en serie*

Esta configuración suele utilizarse cuando la carga es grande.

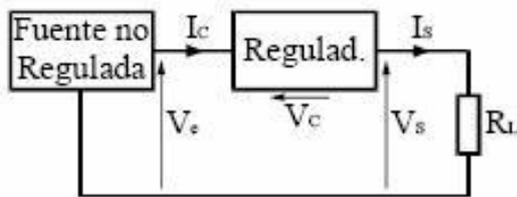


FIG 83: vemos el diagrama de bloques de un regulador en serie. Del diagrama deducimos que la potencia disipada será:

$$\begin{aligned}
 & - V_{\text{CONTROL}} = V_C = V_e - V_S \\
 & - I_{\text{CONTROL}} = I_C = I_S
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow
 \begin{aligned}
 & *V_S = \text{cte}; \quad 0 \leq I_S \leq I_{S\text{máx}} \quad \Rightarrow \quad P_D = P_C = (V_e - V_S) \cdot I_{S\text{máx}} \\
 & *V_S = \text{cte}; \quad I_S = \text{cte} \quad \Rightarrow \quad P_D = P_C = (V_e - V_S) \cdot I_S \\
 & *V_S = 0 \text{ (cortocircuito)} \quad \Rightarrow \quad P_D = P_C = V_S \cdot I_{S\text{máx}} \text{ (muy grande)}
 \end{aligned}$$

##### *Regulador en paralelo*

Esta configuración suele utilizarse cuando la carga es pequeña. El circuito está auto protegido frente a cortocircuitos. En la figura vemos el diagrama de bloques de un regulador en serie.

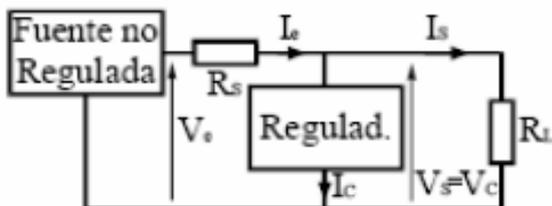


FIG 84: Regulador en paralelo

Del diagrama deducimos que la potencia disipada será:

$$\begin{aligned}
 - V_{\text{CONTROL}} = V_C = V_S \\
 - I_{\text{CONTROL}} = I_C = I_e - I_S
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} - V_{\text{CONTROL}} = V_C = V_S \\ - I_{\text{CONTROL}} = I_C = I_e - I_S \end{aligned}} \right\} \Rightarrow P_C = V_C \cdot I_C \Rightarrow \boxed{P_C = V_S \cdot (I_e - I_S)}$$

$$\begin{aligned}
 *V_S = \text{cte}; \quad 0 \leq I_S \leq I_{S\text{máx}} &\Rightarrow P_D = V_S \cdot I_{S\text{máx}} \\
 *V_S = \text{cte}; \quad I_S = \text{cte} &\Rightarrow P_D = V_S \cdot (I_e - I_S) \\
 *V_S = 0; \quad I_e = I_S &\Rightarrow P_D = 0 \text{ (no disipa potencia)}
 \end{aligned}$$

### Diferencias esenciales

El regulador paralelo impide que las variaciones de la corriente de carga aparezcan en la fuente 1ª aislándose la carga de la fuente 1ª, que es bueno para frecuencias elevadas.

La energía disipada, en forma de calor, en el regulador serie aumenta en proporción directa con la carga, mientras que en el regulador paralelo disminuye al aumentarla.

El regulador paralelo tiene un elemento más, R, que evita la rotura del regulador si falta la carga. R también disipa calor para una entrada, una salida determinada y una carga idéntica, la potencia entregada por la fuente 1ª de un regulador paralelo es mayor que la entregada por un regulador en serie.

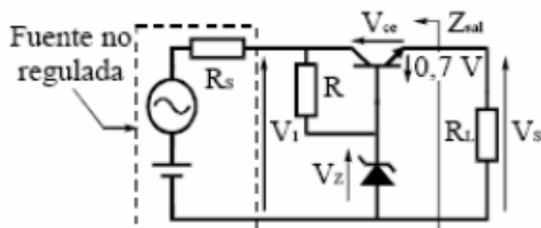
El regulador paralelo tiene un rendimiento inferior al regulador en serie.

### 4.9 Fuentes reguladas de tensión

#### Regulador de tensión serie: Por Seguidor de Emisor.

Una fuente con una regulación deficiente tiene una impedancia interna alta. Solución: usar un seguidor de emisor transformando la impedancia interna de alta a baja.

Este tipo de reguladores son los más usados.



$$\begin{aligned}
 V_S &= V_Z - 0,7 \\
 V_Z &= V_{\text{referencia}}
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{sal}} = \frac{R_Z + h_{ie}}{1 + h_{fe}}$$

$$\left. \begin{aligned}
 \bullet h_{fe} &= \beta & \bullet h_{ie} &= \beta \cdot r_e \\
 \bullet r_e &= 25\text{mV} / I_e & \bullet R_Z &= V_Z / I_Z
 \end{aligned} \right\}$$

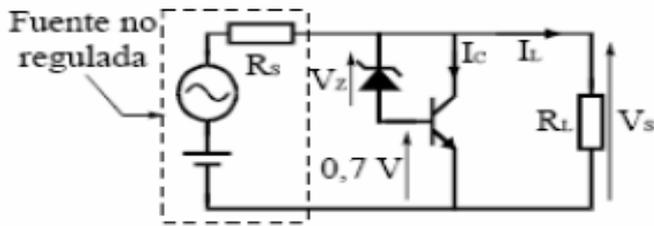
FIG 85: Regulador de tensión serie

#### Regulador de tensión paralelo: Con derivación

Está constituido por un circuito de estabilización por diodo Zener y un transistor que observe los cambios de corriente necesarios para compensar las variaciones de la V de salida.

Ventaja: constituye una protección contra cortocircuitos.

Inconveniente: puede malgastarse mucha potencia en comparación con el seguidor de emisor.



$$V_s = V_Z - 0,7$$

FIG 86: Regulador de tensión paralelo

### Elementos del regulador en serie

Una fuente de tensión regulada usa, normalmente, un circuito automático de control que detecta las variaciones de la tensión de salida y los corrige automáticamente. Los elementos de un sistema de control son:

- 1.- Elemento de referencia
- 2.- Elemento de muestra
- 3.- Elemento comparador
- 4.- Amplificación de la señal de error.
- 5.- Elemento de Control.

### Elemento de referencia

Da una tensión de referencia lo más estable posible, bajo un amplio margen de corriente de funcionamiento. Generalmente está constituido por un diodo Zener y su resistencia de polarización.

Se suele conectar a la salida, aunque puede hacerse a la alimentación de entrada.

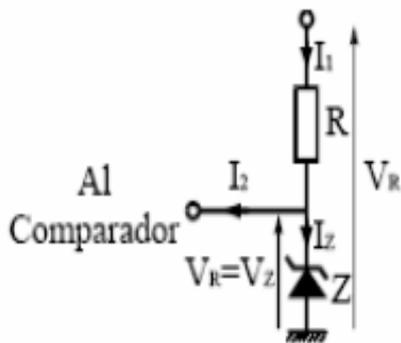


FIG 87: Elemento de referencia

De la figura obtenemos que:

$$V_S = I_1 \cdot R + V_Z \Rightarrow I_2 \ll I_1 \Rightarrow V_S = I_z \cdot R + V_Z = \frac{V_Z}{R_Z} \cdot R + V_Z \Rightarrow V_S = V_Z \cdot \left( \frac{R}{R_Z} + 1 \right) \Rightarrow$$

$$\Delta V_S = \Delta V_Z \cdot \left( \frac{R}{R_Z} + 1 \right) \Rightarrow \frac{\Delta V_Z}{\Delta V_S} = \left( \frac{R_Z}{R + R_Z} \right) \Rightarrow R_Z \ll R \Rightarrow \boxed{\frac{\Delta V_Z}{\Delta V_S} = \frac{R_Z}{R} \approx 0}$$

Por tanto, VZ varía poco con respecto a VS

### Elemento de muestra

Da una señal proporcional a la de la salida.

Suele ser un divisor de tensión resistivo, con un pequeño ajuste, situado a la salida de la fuente

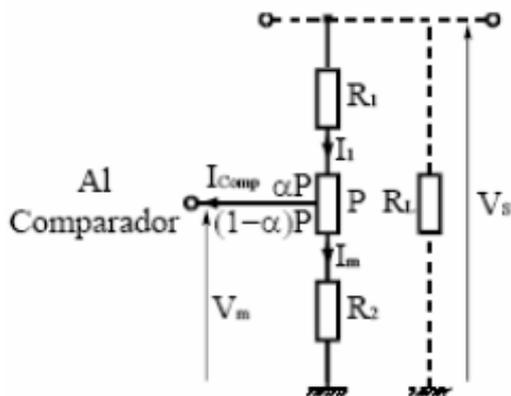


FIG 88: Elemento de muestra

Los valores de R1, R2, P deben ser  $\gg RL$  para evitar una posible fuga de corriente.

De la figura obtenemos que:

$$I_1 = I_{comp} + I_m \Rightarrow I_m \gg I_{comp} \text{ (despreciable)} \Rightarrow I_1 = I_m$$

$$V_m = I_m [(1-\alpha) \cdot P + R_2] = \frac{(1-\alpha) \cdot P + R_2}{R_1 + R_2 + P} \cdot V_S \Rightarrow m = \frac{(1-\alpha) \cdot P + R_2}{R_1 + R_2 + P} \Rightarrow \boxed{V_m = m \cdot V_S}$$

Para que el consumo del sistema de regulación sea bajo:

$$\boxed{I_m \ll I_{Smax}}$$

### Elemento comparador

Analiza en cada instante la señal proveniente del elemento de muestra con la fija de referencia de forma que intenta equilibrar las variaciones producidas a la salida.

Generalmente deberá ser un transistor o un amplificador operacional.

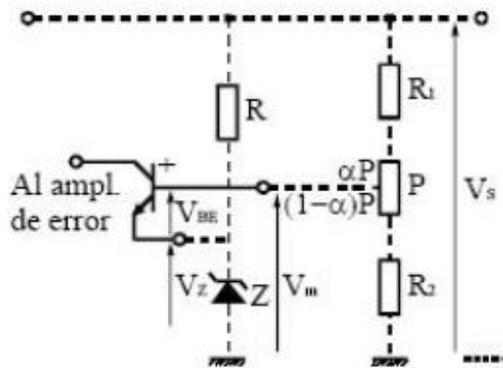
Existen 2 circuitos típicos para tensión de salida alta o baja.

#### A) COMPARADOR DE BAJA TENSIÓN (VS BAJA)

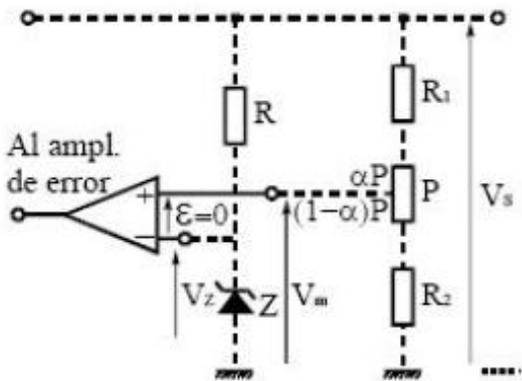
**Con transistor:** Si VS aumenta  $\square$  VBE aumenta  $\square$  IC del transistor es mayor

$$V_m = V_{BE} + V_R \Rightarrow \left. \begin{matrix} V_m = mV_s \\ V_R = V_Z \end{matrix} \right\} \Rightarrow V_{BE} = m \cdot V_s - V_Z \Rightarrow V_s = \frac{(V_{BE} + V_Z)}{m} \Rightarrow$$

$$V_s = (V_{BE} + V_Z) \cdot \frac{R_1 + R_2 + P}{(1-\alpha) \cdot P + R_2}$$

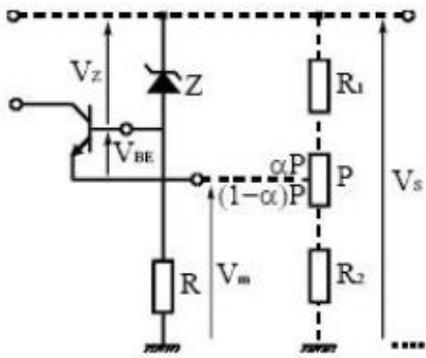


Con amplificador operacional



## B) COMPARADOR DE ALTA TENSIÓN (VS ALTA)

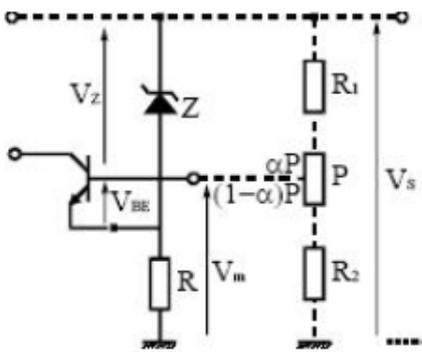
Transistor con base en el elemento de referencia



$$V_{BE} = (V_s - V_R) - V_m \Rightarrow \left[ \begin{matrix} V_m = mV_s \\ V_R = V_Z \end{matrix} \right] \Rightarrow V_{BE} = (1-m) \cdot V_s - V_Z \Rightarrow V_s = \frac{V_{BE} + V_Z}{(1-m)} \Rightarrow$$

$$V_s = (V_{BE} + V_Z) \cdot \frac{R_1 + R_2 + P}{R_1 + \alpha P}$$

Transistor con base en el elemento de muestra



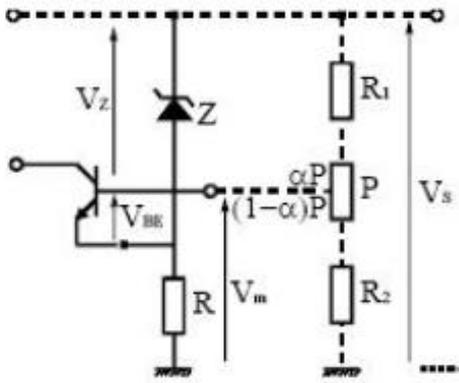
$$V_{BE} = V_m - (V_s - V_R) = mV_s - (V_s - V_Z) \Rightarrow V_{BE} - V_Z = (m-1)V_s \Rightarrow V_s = \frac{V_Z - V_{BE}}{(1-m)} \Rightarrow$$

$$V_s = (V_Z + V_{BE}) \cdot \frac{R_1 + R_2 + P}{R_1 + \alpha P}$$

### C) COMPARADOR CON AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

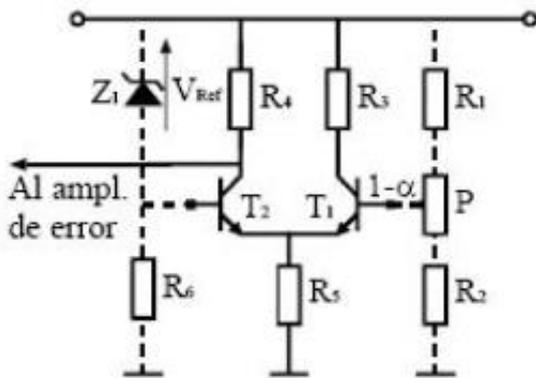
En los casos en que es necesaria una alta compensación térmica, se usa un amplificador diferencial, con dos transistores idénticos.

Para VS baja



$$V_s = V_R \cdot \frac{R_1 + R_2 + P}{(1 - \alpha) \cdot P + R_2}$$

Para VS alta



$$V_s = V_R \cdot \frac{R_1 + R_2 + P}{R_1 + \alpha P}$$

### *Amplificador de la señal de error*

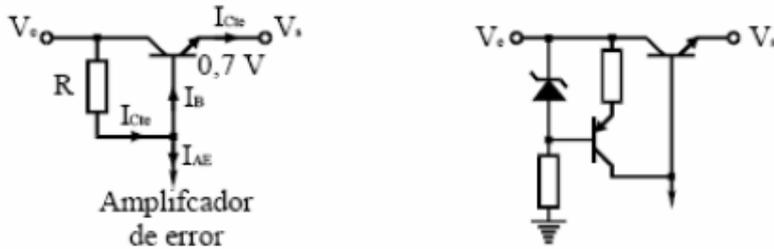
Está formado por un amplificador de acople directo, en muchos casos constituidos por un solo transistor



Este elemento amplifica las variaciones producidas en el comparador y las eleva a un nivel tal que puedan excitar al bloque de control.

### Elemento de control

Su misión es la de controlar las variaciones de la tensión de salida, aumentando o disminuyendo su caída de tensión colector-emisor, así como la de permitir la circulación de la corriente necesaria a la salida. Su diseño puede ser una conexión Darlington con una resistencia  $R$  que se comporta como una fuente de corriente constante ( $I$ ) denominada Pre regulador



Una mejor solución es usar un transistor con salida por colector como muestra la figura de la derecha.

### 4.10 Regulador serie completo

En la figura se muestra el montaje de un regulador serie.

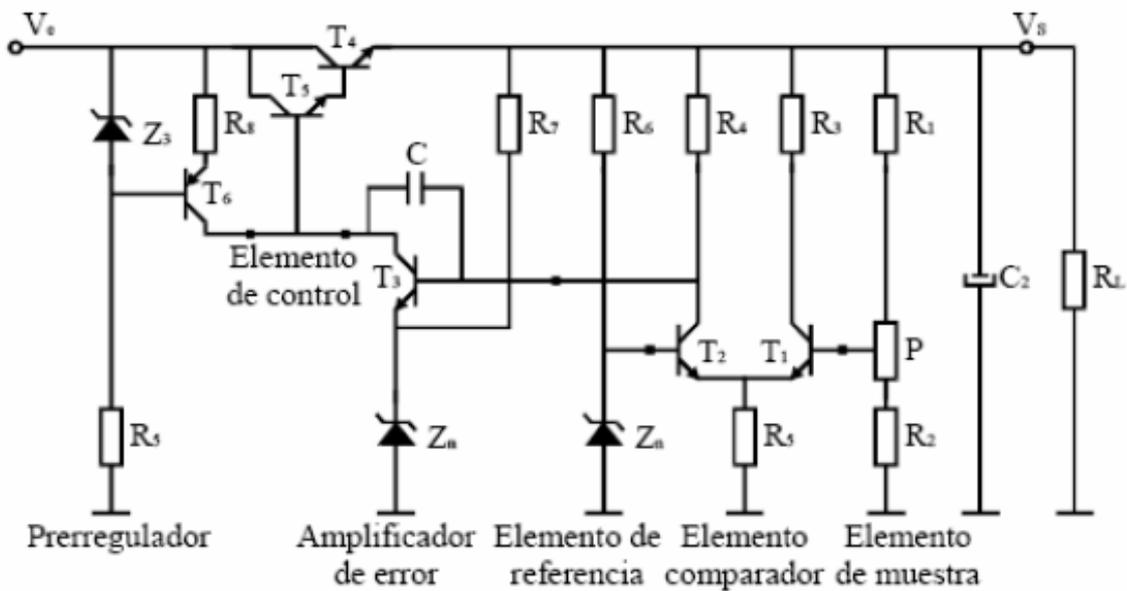


FIG 89: Regulador serie -paralelo

**CAPITULO 5**

**LED'S APLICACIÓN EN  
LAMPARAS**

## 5 Leds

El primer led comercialmente utilizable fue desarrollado en el año de 1962, combinando Galio, Arsenico y Fosforo (GaAsP) con lo cual se consiguio un led rojo con una frecuencia de emision de unos 650 nm con una intensidadrelativamente baja,aproximadamente de 10mcd a 20mA, (mcd= milicandela), posteriormente explicaremos las unidades fotometricas y radiometricas utilizadas para determinar la intensidad luminica de los leds. El siguiente desarrollo se baso enel uso del Galio en combinacion con el Fosforo (GaP) con lo cual consiguio una frecuencia de emision del orden de los 700nm. A pesar de que se conseguia una eficiencia de conversion electron-foton o corriente-luz mas elevada que con el GaAsP, esta se producia a relativamente baja corrientes, un incremento en la corriente no generaba un aumento lineal en la luz emitida, sumando a esto se tenia que la frecuencia de emision estaba muy cerca del infrarrojo una zona donde el ojo no es muy sensible por lo que el led parecia tener bajo brillo a pesar de su superior desempeño de conversion.

Los siguientes desarrollos, ya entrada la decada de los 70, introdujeron nuevos colores al espectro. Distinta proporcion de materiales produjo distintos colores. Asi se consiguieron colores verde y rojo utilizando GaP y ambar, naranja y rojo de 630nm (el cual es muy visible) utilizando GaAsP. Tambien se desarrollaron leds infrarrojos, los cuuales se hicieron rapidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar.

En la decada de los 80 un nuevo material entro en escena el GaAlAs Galio, Aluminio y Arsenico. Con la introduccion de este material el mercado de los leds empezo a despegar ya que proveia una mayor performance sobre los leds desarrollados previamente. Su brillo era aproximadamente 10 veces superior y ademas se podia utilizar en display y letreros de mensaje variable. Sin embargo este material se caracteriza por tener un par de limitaciones, la primera y mas evidente es que se conseguian solamente frecuencias del orden de los 660 nm (rojo) y segundo que se degradan mas rapidamente en el tiempo que los otros materiales, efecto que se hace mas notorio ante elevadas temperaturas y humedades. Hay que hacer notar que la calidad del encapsulado es un factor fundamental en la ecuacion temporal. Los primeros desarrollos de resina epoxi para el encapsulado poseian una no muy buena impermeabilidad ante la humedad, ademas los primeros leds se fabricaban manualmente, el posicionamiento del sustrato y vertido de la resina era realizado por operarios y no por maquinas automaticas como hoy en dia, por lo que la calidad del led era bastante variable y la vida util mucho menor que la esperada. Hoy en dia esos problemas fueron superados y cada vez son mas las fabricas que certifican la norma ISO 9000 de calidad de proceso. Ademas ultimamente en aquellos leds destinado al uso en el exterior.

En los 90 aparecio en el mercado tal vez el mas exitoso material para producir leds hasta la fecha el AlInGaP (Aluminio, Indio, Galio y Fosforo). Las principales virtudes de este tetar compuesto son que se puede conseguir una gama de colores desde el rojo al amarillo cambiando la proporcion de los materiales que lo componen y segundo, su vida util es sensiblemente mayor, a la de sus predecesores, mientras que los primeros leds tenia una vida promedio efectiva de 40000 horas, los leds de AlInGaP podian mas de 100000 horas.

Es de notar que muy dificilmente un led se quemara, si puede ocurrir que se ponga en cortocircuito o que se abra como un fusible e incluso que explote si se le hace circular una elevada corriente, pero en condiciones normales de uso un led se degrada o sea que pierde luminosidad a una tasa del 5 % anual. Cuando el led ha perdido el 50% de su brillo inicial, se dice que ha llegado al fin de su vida util y eso es lo que en un año hay 8760 hras por lo que podemos considerar que un led de AlInGaP tiene una vida util de mas de 10 años.

Como dijimos uno de los factores fundamentales que atenta contra este número es la temperatura, tanto la temperatura ambiente como la interna, por lo tanto luego nos referiremos a técnicas de diseño de circuito impreso para bajar la temperatura.

Explicaremos un detalle de mucha importancia respecto a los LEDs y su construcción. Cuando se fabrica el LED, se hace depositando por capas a modo de vapores, los distintos materiales que componen el LED, estos materiales se depositan sobre una base o sustrato que influye en la dispersión de la luz. Los primeros LEDs de AlInGaP se depositaban sobre sustratos de GaAs el cual absorbe la luz innecesariamente. Un adelanto en este campo fue reemplazar en un segundo paso el sustrato de GaAs por uno de GaP el cual es transparente, ayudando de esta forma a que más luz sea emitida fuera del encapsulado. Por lo tanto este nuevo proceso dio origen al TS AlInGaP (transparent substrate) y los AlInGaP originales pasaron a denominarse AS AlInGaP (Absorbent Substrate). Luego este mismo proceso se utilizó para los LEDs de GaAlAs dando origen al TS GaAlAs y al AS GaAlAs. En ambos casos la eficiencia luminosa se incrementaba típicamente en un factor de 2 pudiendo llegar en algunos casos a incrementarse en un factor de 10.

A final de los 90 se cerró el círculo sobre los colores del arcoíris, cuando gracias a las tareas de investigación del Shuji Nakamura, investigador de Nichia, una pequeña empresa fabricante de LEDs de origen japonés, se llegó al desarrollo del LED azul, este LED siempre había sido difícil de conseguir debido a su elevada energía de funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esa frecuencia (del origen de los 460 nm). Hoy en día coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul, una basada en el SiC Silicio-Carbono otra basada en el GaN Galio-Nitrogeno, otra basada en InGaN Indio-Galio-Nitrogeno sobre sustrato de Zafiro y otra GaN sobre sustrato SiC. El compuesto GaN, inventado por Nakamura, es actualmente el más utilizado. Otras técnicas como la de ZnSe Zinc-Selenio ha sido dejadas de lado y al parecer el SiC seguirá con la temperatura.

Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, tenemos hoy en día la posibilidad de formar el blanco con la combinación de los tres y toda la gama de colores del espectro, esto permite que los displays gigantes y carteles de mensaje variable fullcolor se hagan cada día más habituales en nuestra vida cotidiana.

Es también posible lograr otros colores con el mismo material GaN, como por ejemplo el verde azulado o turquesa, de una frecuencia del orden de los 505 nm. Su tono azulado lo hace visible para las personas daltónicas. El daltonismo es una enfermedad congénita que hace a quien lo padece ser parcialmente ciego a determinadas frecuencias de color, generalmente dentro de ellas está la correspondiente al verde puro que tiene una frecuencia del orden de los 525 nm.

Otros colores también son posibles de conseguir como por ejemplo el púrpura, violeta o ultravioleta. Este último es muy importante para la creación de una forma más eficiente de producir luz blanca que la mera combinación de los colores primarios, ya que añadiendo fósforo blanco dentro del encapsulado, este absorbe la radiación ultravioleta y emite frecuencia dentro de todo el espectro visible, logrando luz blanca en un proceso similar al que se produce en el interior de los tubos fluorescentes. A veces el fósforo posee una leve tonalidad amarillenta para contrarrestar el tono azulado de la luz del semiconductor.

Luego de tantos materiales y frecuencias de ondas sería bueno resumir todo esto en una forma más clara, es por ello en la tabla se detalla los distintos frecuencias de emisión típica de los LEDs comercialmente disponibles y sus materiales correspondientes. Los datos técnicos fueron

obtenidos de distintos fabricantes. Es de notar que la resolución del ojo es del orden de los 3 a 5 nm según el color de que se trate.

Frecuencia	Color	Material
940	Infrarrojo	GaAs
890	Infrarrojo	GaAlAs
700	Rojo profundo	GaP
660	Rojo profundo	GaAlAs
640	Rojo	AlInGaP
630	Rojo	GaAsP/GaP
626	Rojo	AlInGaP
615	Rojo-naranja	AlInGaP
610	Naranja	GaAsP/GaP
590	Amarillo	GaAsP/GaP
590	Amarillo	AlInGaP
565	Verde	GaP
555	Verde	GaP
525	Verde	InGaN
525	Verde	GaN
505	Verde turquesa	InGaN/Zafiro
498	Verde turquesa	InGaN/Zafiro
480	Azul	SiC
450	Azul	InGaN/Zafiro
430	Azul	GaN
425	Azul	InGaN/Zafiro
370	Ultravioleta	GaN

Tabla 9: Materiales y frecuencias de emisión típicas de un led

Los leds son componentes eléctricos semiconductores (diodo) que son capaces de emitir luz al ser atravesados por una corriente pequeña. Las siglas “led” proviene de acrónimo en inglés “Light Emitting Diode” o lo que traducido al español sería “Diodo Emisor de Luz”.

Estos están conformados básicamente por un chip de material semiconductor dopado con impurezas, las cuales crean uniones del tipo P-N. Los leds a diferencia de los emisores de luz tradicionales, poseen polaridad (siendo el ánodo el terminal positivo y el cátodo) por lo que funcionan únicamente al ser polarizados en directo.

La electroluminiscencia se da cuando, estimulados por un diferencial de voltaje en directo sobre sus terminales, las cargas eléctricas negativas (electrones) y las cargas eléctricas positivas (huecos) son atraídas a la zona de unión donde se combinan entre sí, dando como resultado la liberación de energía en forma de fotones como se ilustra en la figura de la derecha.

Esto da como resultado una generación de luz mucho más eficiente ya que la conversión energética se da con mucho menos pérdidas en forma de calor como ocurre con bombillas regulares con resistencia.

### **5.1 Ventajas de los leds**

Son muchas las ventajas que poseen los leds ante los dispositivos tradicionales de iluminación como bombillas incandescentes, halógenos, tubos de neon, etc. A continuación enumeramos alguna de ellas.

-Reducen significativamente el consumo energético en comparación a las de luminarias tradicionales tales como las bombillos incandescentes, halógenos, entre otros.

-Tiempo estimado de vida muy elevado, por lo que se reducen costos de mantenimiento.

-Trabajan a muy baja corriente y tensión lo que los hace más seguros y confiables en su implementación.

-Virtualmente no generan calor (cuando son implementados a baja potencia)

-Por ser de estado sólido pueden ser adaptados a aplicaciones con ciertos grados de vibración o impactos.

Son excelentes para ser implementados en sistemas micro controlados o con niveles de tensión TTL por trabajar a bajo voltaje.

-Tiempo de respuesta ON/OFF-OFF/ON virtualmente instantáneo.

-Puede ajustarse su intensidad en el brillo por medio de modulación en frecuencia.

-Son ideales para el diseño de dispositivos de iluminación multicolor.

Estos leds de potencia (llamados normalmente power leds) sustituirán en corto plazo cualquier bombilla incandescentes de las que conocemos hoy en día.

De hecho ya hay países como Francia o Suiza en los que en poco tiempo, por ley, todas las bombillas incandescentes deberán ser sustituidas por led. Y es que la eficiencia energética de las lámparas de led, así como la durabilidad no tienen comparación.

Los leds de potencia se alimentan con una corriente constante, y la tensión varía dependiendo del color del led, de la temperatura y de la tolerancia de fabricación del propio led. Básicamente el papel del alimentador es proporcionar y controlar con precisión la corriente en el circuito, pues una corriente demasiado elevada puede destruir los led mientras que una corriente demasiado baja produce un rendimiento luminoso muy pobre. Utilizar una corriente adecuada (es decir, la fuente de alimentación adecuada) asegura la máxima luminosidad y máxima longevidad de los leds de potencia. Como comentábamos antes, se utilizan fuentes de corriente, por lo que todos los led deben conectarse en serie.

La duración de vida de dos factores importantes: la temperatura de funcionamiento y la corriente de alimentación. Los power leds también se calientan, no son como los leds convencionales que estamos acostumbrados a ver en nuestros circuitos. Por ello la pequeña cantidad de calor generado por los led (o lámparas de led) se disipa por medio de un radiador de aluminio al que están soldados. Si no se usa un disipador y tenemos un funcionamiento en condiciones límite o falta una circulación de aire que impida una disipación suficiente de calor, puede provocar una elevación nociva de la temperatura. Que como comentábamos en el párrafo anterior, recortaría fuertemente la vida de los led. Los límites de temperatura de los led de potencia son relativamente bajos, entre 85% y 100% medidos sobre el cuerpo del led.

Depende del modelo, pero los power led duran del orden de unas 50,000 horas.

Los alimentadores de leds de potencia, como se comentaba anteriormente, deben tener una salida de corriente constante pues de esta manera se asegura una larga vida a estos componentes. Por otro lado los power led tienen un umbral fijo de operación (tensión de conducción de la unión pn del diodo) y por ello la regulación tiene que hacerse por PWM (ulse width modulation. Modulación de anchura de pulsos).

Debido a la estructura del led-chip, la emisión es omnidireccional, por ello para concentrar la luz del haz se coloca durante la fase de fabricación una lente de plástico que proporciona un ángulo de  $120^\circ$ . De todas maneras esto también es posible regularlo, pues hay además lentes suplementarios que permiten una mayor concentración del haz: haz estrecho ( $8^\circ$ - $12^\circ$ ), haz intermedio ( $25^\circ$ - $30^\circ$ ), haz amplio ( $40^\circ$ - $45^\circ$ ).

Para responder esta pregunta correctamente tendremos que empezar diciendo que el led es un diodo que emite luz (Light emitting diode) y que un diodo es un semiconductor y que los semiconductores están hechos fundamentalmente de silicio.

Como veremos más adelante los led están hechos de una gran gama de elementos de tabla periódica, pero nos ocuparemos ahora de explicar el funcionamiento del diodo a través del comportamiento del silicio, ya que este es el material fundamental y más popular de la electrónica moderna.

El silicio es un elemento muy común en la naturaleza, tal es así que se encuentra en la arena de las playas y en los cristales de cuarzo, si miramos donde se encuentra el Silicio (SI) en la tabla periódica de los elementos lo encontraremos con el número atómico 14 y sus vecinos inmediatos son el Galio (Ga), Aluminio (Al), Boro (B), Carbono (C), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Arsénico (As) y Germanio (Ge). Recuerden estos elementos porque forman parte de los distintos tipos de tecnología de leds y son los que determinan el color de emisión.

El carbono, el silicio y el galio poseen una propiedad única en su estructura electrónica, cada uno posee 4 electrones en su órbita externa lo que les permite combinar o compartir estos electrones con 4 átomos vecinos, formando así una malla cuadrada o estructura cristalina, de esta forma no quedan electrones libres como en el caso de los conductores que poseen electrones libres en su última órbita que pueden moverse a través de los átomos formando así una corriente eléctrica.

Por lo dicho, el silicio en su forma pura es básicamente un aislante. Podemos hacerlo conductor al mezclarlo con pequeñas cantidades de otros elementos, a este proceso se lo denomina “dopaje”. Hay 2 tipos de dopaje.

Dopaje N: En este caso el silicio se dopa con fósforo o arsénico en pequeñas cantidades. El fósforo y el arsénico tienen 5 electrones en su órbita externa que termina sobrando cuando se combina en una red de átomos de silicio. Este quinto electrón se encuentra libre para moverse, lo que permite que una corriente eléctrica fluya a través del silicio. Se necesita solo una pequeña cantidad de dopaje o impurezas para lograr esta corriente, por ejemplo al agregar un átomo de impurezas por cada  $10^8$  ( $1000$  millones) átomos de silicio se incrementa la conductividad en un factor de 10. Los electrones tienen una carga negativa, o eso se llama dopaje tipo N.

Dopaje P: En este caso el silicio se dopa con Boro o Galio en pequeñas cantidades. El Boro y el Galio tienen 3 electrones en su órbita externa por lo que termina faltando un electrón cuando se combina en una red de átomos de silicio. Este electrón faltante ocasiona que se formen huecos en la red. Estos huecos permiten que se circule una corriente a través del silicio ya que ellos aceptan de muy buena gana ser “tapados” por un electrón de un átomo vecino, claro que esto provoca que se forme un hueco en el átomo que desprendió dicho electrón, este proceso se

repite por lo que se forma una corriente de huecos a través de la red. Es de notar que en todos los casos lo único que se mueve fuera del átomo son los electrones, pero en este caso dicho movimiento provoca un efecto similar o equivalente al movimiento de huecos. Se necesita solo una pequeña cantidad de dopaje o impureza para lograr esta corriente. Los agujeros tienen una carga positiva, por eso se llama dopaje tipo P.

Tanto el silicio dopado N como el silicio dopado P tiene propiedades conductoras pero a decir verdad no son muy buenos conductores de ahí el nombre de semiconductor.

Por separado ambos semiconductores no dicen mucho, pero cuando se unen producen efectos interesantes, especialmente en la unión de ambos. Veremos que sucede cuando se combinan ambos materiales.

### ***5.2 Creando el diodo***

Cuando unimos Silicio N y Silicio P, tenemos una junta semiconductor P-N este es el dispositivo semiconductor más simple y es conocido con el nombre de diodo y es la base de toda la electrónica moderna.

El diodo permite la circulación de corriente en un sentido pero no en el sentido contrario tal como sucede en los molinetes de subte con las personas.

Cuando conectamos el diodo a una batería con el terminal P al borne negativo y el terminal N al borne positivo (lo conectamos en inversa) vemos que en el primer caso los huecos son atraídos por los electrones que provienen del terminal negativo de la batería y ese es el fin de la historia. Lo mismo sucede del lado N, los electrones libres son atraídos hacia el terminal positivo.

Por lo tanto no circula corriente por la unión ya que los electrones y agujeros se movieron en sentido contrario (hacia los terminales del diodo)

Si damos vuelta el diodo (lo conectamos en directa), vemos que los electrones libres del terminal N se repelerán con los electrones libres del terminal negativo de la batería por lo que los primeros se dirigirán a la zona de unión. En el terminal positivo tenemos que los huecos del terminal P se repelerán con los huecos del terminal positivo de la batería por lo tanto los huecos del semiconductor se dirigirán a la unión.

En la unión los electrones y los huecos se recombinan formando así una corriente que fluye en forma permanente.

Un diodo real cuando se conecta en reversa tiene una pequeña corriente de pérdida del orden de los 10 microamperes que se mantiene aproximadamente constante mientras la tensión de la batería no supere un determinado nivel, luego del cual la corriente crece abruptamente, esta zona se llama de ruptura o avalancha. Generalmente esta zona queda fuera de las condiciones normales de funcionamiento. Hay que mencionar que dicha corriente inversa es casi linealmente dependiente de la temperatura.

Cuando el diodo se conecta en directa veremos que sobre sus extremos se produce una caída de tensión del orden de los 0,6 volts para los diodos de silicio normales, esta caída de tensión es un reflejo de la energía necesaria para que los electrones salten la unión y es característica de cada material. Este valor conocido como potencial de salto de banda (band gap).

Tenemos entonces que para sacar un electrón de su órbita necesitamos energía y que esta se pierde en el transcurso de su recorrido dentro del diodo, esta energía se transforma en radiación básicamente calor u ondas infrarrojas en un diodo normal.

### 5.3 De diodos a Led.

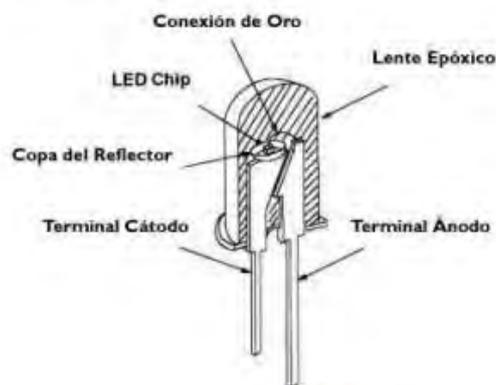
Como dijimos, si la energía que se necesita es pequeña, se tendrá que dicha energía se emitirá en ondas infrarrojas de relativamente baja frecuencia, si el material necesitara más energía para que se produzca el paso de la corriente, las ondas que emitirá el diodo tendrían más energía y se pasaría de emitir luz infrarroja a roja, naranja, amarilla, verde, azul, violeta y ultravioleta.

Por supuesto a más alta frecuencia mayor será la caída de tensión por lo que pasaremos de 0,6 v de caída de tensión para un diodo normal a 1,3 v para un led infrarrojo, 1,8 v para un led rojo, 2,5 v para uno verde, y 4,3 v para un led azul y más de 5 v para un led ultravioleta. Estas distintas longitudes de ondas se forman combinando distintas proporciones de materiales, los mismos que se enumeraron al inicio.

### 5.4 Leds de potencia.

Los leds de potencia son la opción más versátil si se busca mayor intensidad por watt de consumo. Permiten diseñar luminarias de alto brillo con una menor cantidad de leds.

Led de Baja Potencia del tipo 5mm



Led de Mediz y Alta Potencia



FIG 90: Led de baja y alta potencia.

Los leds de alta potencia más utilizados son los de 1w, aunque actualmente existen avanzados diseños en potencias de 3, 5, 10, 20, 30 y de más potencia.

Parametros	Simbolo	Valor Absoluto Maxima	Unidad
Corriente Directa (DC)	IF	500	mA
Valor de Corriente pico	IFP	1000	mA
Voltaje en Reserva	VR	5	V
Temperatura de Operacion	Topr	-40 ~ +95	°C
Temperatura de Almacenaje	Tstg	-40 ~ +100	°C
Temperatura de Soldadura	Tsol	Max. 260°C por 5 seg Max. ( 3mm desde la base epoxy)	

Tabla 10: Valores Absolutos Maximos (Ta = 25 °C)

Codigo	Color que emite	Material	Color de lente	Voltaje	Longitud de onda Dominante	Corriente en Reserva	Angulo al 50% de potencia	Flujo Luminoso
				IF=350mA	IF=350mA	VR=5V	IF=350mA	IF=350mA
LIHP1R	Rojo	AlGaInP	Transparente	1.7- 2.8 V	620-630nm	<5uA	120°	30 Lm
LIHP1Y	Amarillo	AlGaInP	Transparente	1.7- 2.8 V	580-595nm	<5uA	120°	30 Lm
LIHP1G	Verde	INGaN	Transparente	2.8- 4.0 V	515-530nm	<5uA	120°	50 Lm
LIHP1B	Azul	InGaN	Transparente	2.8- 4.0 V	465-475nm	<5uA	120°	15 Lm
LIHP1W-A	Blanco	InGaN	Transparente	2.8- 4.0 V	X:0.30 Y:0.29	<5uA	120°	60 Lm
LIHP1W-B	Blanco	InGaN	Transparente	2.8- 4.0 V	X:0.30 Y:0.29	<5uA	120°	90 Lm

Tabla 11: Características optoelectricas (Ta=25°C)

Los leds de alta potencia son diseñados mas copletos que incluyen diversas alternativas de opticas de control del flujo luminoso y so de potencias de 1w; este tipo de leds se utilizan principalmente para iluminacion concentrada en aplicaciones exteriores arquitectnicas, permitiendo generaa amplias posibilidades creativas de diseño y efectos de color.



FIG 91: LED de alta potencia de 1w sin optica secundaria.

Un diodo emisor de luz de alta potencia de 1w se intengra de los siguientes componenes:

- Semiconductor emisor del flujo luminoso con terminales exteriores para alimentacion del catodo(+) y anodo(-).
- Encapsulado de silicon que cubre al semiconductor emisor.
- Base con superficie inferior disipadora de temperatura. Optica primaria integrada por lente semiesferica envolente de resina termoplastica transparente.
- Optica secundaria integrada por diversa opciones en cuanto a tipo de lentes concentradoras del fluo luminoso.



FIG 92: Opticas secundarias integradas por lentes concentradoras para LEDs de alta potencia de 1w.

Los diodos emisires de luz (leds) de alta potencia de 1w tienen las siguientes características:

- Vida promedio de 50, 000 horas.

- Flujo luminoso de 55 lumenes.
- Eficiencia de 55 lm/W.
- Mantenimiento del flujo luminoso de 75%.
- Voltaje de operación de 3-4 volts de corriente directa.
- Corriente de operación de 350 mA.
- Angulo de apertura del haz luminoso de 5-15° cerrados, 20-40° medios y de 40-60° abiertos con opticas secundarias.
- Control preciso y direcciones infrarojas y ultravioletas.
- Colores blanco, azul y verde fabricados de nitrato de Galio e Indio (InGaN), colores ambar y rojo fabricados de Fosforo de Galio, Indio y Aluminio (AlGaP).

### ***5.5 Beneficios de la luz led de alta potencia.***

Son muchos los beneficios de la luz led de alta potencia, pueden tener una duración de hasta 100,000 horas, ya que no tienen filamentos, este hecho hace que no se fundan como lo hacen las tradicionales bombillas. Estos dispositivos de estado sólido son muy resistentes a los golpes, todo son ventajas.

Día a día, estos emisores de luz o diodo ganan terreno a la iluminación tradicional que todos conocemos, sobre todo porque las ventajas que nos resientan son muchas y entre una de esas, su rendimiento luminoso, que es muy notable.

Como curiosidad sobre esta nueva forma de iluminación, es comentamos que acaba de salir al mercado una nueva serie de estas especiales bombillas con una capacidad de 140 lumenes por watt, realmente una gran iluminación.

Estos nuevos leds no emiten ultravioletas, ni tampoco infrarrojos y además no calientan la superficie a la que iluminan. Pero para nosotros la mejor ventaja es su reducido consumo y su alta eficiencia. Una bombilla emplea solo un 10% de cada watt para iluminar, mientras que el resto es calor pero en los leds, es totalmente lo contrario, un 90% de iluminación y un 10% de calor.

Además otra cualidad es que no tiene pérdidas por la reflexión, los sistemas como los dióicos necesitan de reflectores para concentrar la luz al lugar donde queremos iluminar, lo que supone perder un 60% de efectividad, mientras que el led no precisa estos sistemas y la luz puede ser dirigida a la zona que queremos iluminar con una eficiencia del 90%.

Esta nueva iluminación empieza a aplicarse en varios lugares, como aeropuertos, hoteles, vías públicas primarias y secundarias, etc.

Configuración o Tipología de leds.

Existen diferentes configuraciones o tipologias de led aplicables en iluminacion:



FIG 93: LED Discreto



FIG 94: Modulos LED; Varios led individuales sobre un circuito impreso. Pueden incluir otros componentes como disipadoras de calor, sistemas opticos, control electronico, etc.



FIG 95: LED retrofit; Lamparas led para la sustitucion directa de otras fuentes de luz (lamparas incandescentes o halogenas).

Otro parametro a tener en cuenta muy en cuenta en las caracteristicas de los led es la temperatura de color en Kelvin. Aunque este parametro no tiene relacion directa con la temperatura, la vida o la depreciacion, si tiene relacion con el flujo emitido por los led y sobre todo con el efecto final que se obtendra en una instalacion en exterior.

Normalmente, los led de color blanco se generan a partir de led de color azul, o incluso ultravioleta, a los que se añaden una serie de fosforo en el encapsulado que absorben la radiacion ultravioleta y emiten luz blanca en frecuencia visibles, en un proceso muy similar al que se produce en las lampara de fluorescencia.

En funcion de la cantidad de fosforo u el tipo de estos, se consiguen que la luz blanca sea mas o menos fria, o lo que es lo mismo, con mas o menos temperatura de color. De esta manera se pueden conseguir led de luz blanca con temperatura de 6.000 K (luz fria), 5.000K, 4.000K, 3.500K incluso de 2.700K (luz calidad).

Ademas, por regla general, cuando mas calidad sea luz blanca conseguida ( y por tanto mas fosforo se hayan empleado), el indice de reproduccion cromatica IRC tambien mejora en proporcion directa. Y por el contrario, sila luz blanca generada es muy fria (con pocos fosforos y luz cercana al azul), el IRC sera bastante mas pobre.

La eficiencia del led tambien se ve afectada por este parametro de tal modo que, en general y con la tecnologia actual, los led blancos mas frios tienen mayor eficiencia (ya que tiene menos fosforo en su encapsulado) y los led blancos mas calidos ven reducida su eficiencia al disponer de mayores capas de fosforo en su encapsulado.

LED blancos frios	Temperatura de color altas	Mayores eficiencias	Menor Indice de Reproduccion Cromatica
LED blancos calidos	Temperaturas de colorbajas	Menores eficiencias	Mayor Indice de Reproduccion Cromatica

Tabla 12: Comparacion de leds blancos frios y calidos.

Por ejemplo, una alta eficiencia de los led podria dar lugar a una instalacion con una temperatura de color demasiado fria para una aplicaci3n de exterior con un IRC bajo. En definitiva, la eleccion del tipo de led blanco influira decisivamente en el IRC, en la eficiencia y en la temperatura de color final de la instalacion, por lo que se trata de un parametro mas a tener en cuenta.

### **5.6 Colorimetria**

Se define el color como una percepcion visual que se genera en el cerebro al interpretar las se1ales nerviosas que le envian los foto receptores de la retina del ooy que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que captan de la parte visible del espectro electromagnetico.

El espectro electromagnetico abarca las longitudes de ondas que la luz puede tener.

De todo el espectro, la porcion que el ser humano es capaz de ercibir es muy pequena en comparacion con las existentes. Esta region, denominada espectro visible, comprende longitudes de onda desde los 380nm hasta los 780nm. La luz de cada una de estas longitudes de onda es percibida en el cerebro humano como un color diferente.

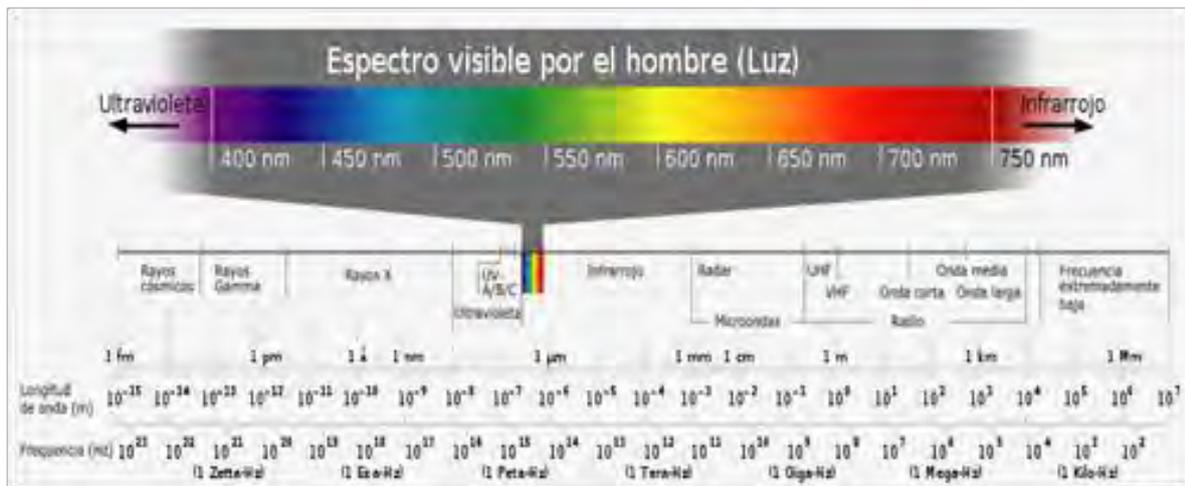


TABLA 13: Espectro visible por el ojo humano

### 5.7 Espectro Electromagnético.

Todo cuerpo iluminado absorbe una parte de las ondas electromagnéticas y refleja las restantes. Las ondas reflejadas son captadas por el ojo humano e interpretadas en el cerebro como colores según las longitudes de ondas, correspondientes. Debe notarse que el color es una característica subjetiva, pues solo existe en el ojo y en el cerebro del observador humano, no siendo una característica propia de un objeto.

La colorimetría es la ciencia que estudia la medida de los colores y que desarrolla métodos para la cuantificación del color, es decir la obtención de valores numéricos que lo identifican. Existe una necesidad de estandarizar el color para poderlo reproducir. El procedimiento utilizado en la medida del color consiste sustancialmente en sumar la respuesta de estímulos de colores y su normalización a la curva espectral de respuesta de la foto receptor sensible al color. Las fotos receptoras del ojo humano son los conos de la retina, de los que existe diferentes tipos, con sensibilidades diferentes a las distintas partes del espectro luminoso.

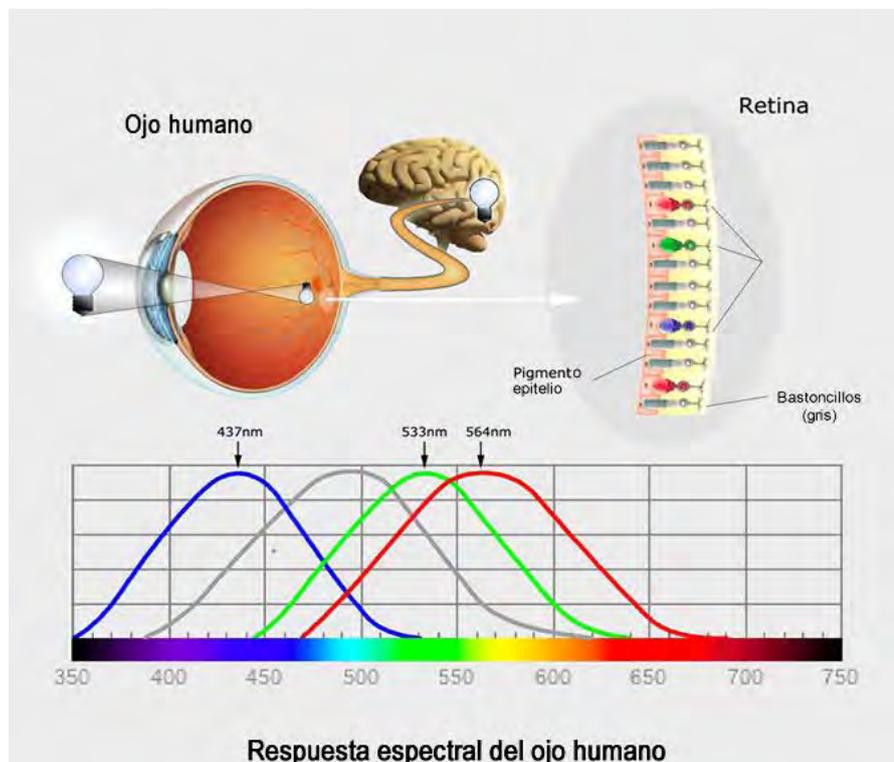


FIG 96: Gráfica Curva espectral del ojo humano.

Los leds emiten en una banda de luz relativamente estrecha. El color (longitud de onda), depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo y puede variar desde el ultravioleta, pasando por el visible, hasta el infrarrojo.

Compuesto	Color	Longitud de Onda.
Arseniuro de Galio (GaAs)	Infrarrojo	940nm
Arseniuro de Galio y Aluminio	Rojo e infrarrojo	890nm
Arseniuro Fosfuro de Galio	Rojo, Naranja y Amarillo	630nm
Fosfuro de Galio (GaP)	Verde	555nm
Nitrato de Galio (GaN)	Verde	525nm
Nitrato de Galio e Indio (InGaN)	Azul	450nm
Carburo de silicio (SiC)	Azul	480nm
Diamante (C)	Ultravioleta	400nm

Tabla 14 : Se muestra la siguiente tabla de algunas de los materiales empleados en la fabricación de los leds y la longitud de onda emitida.

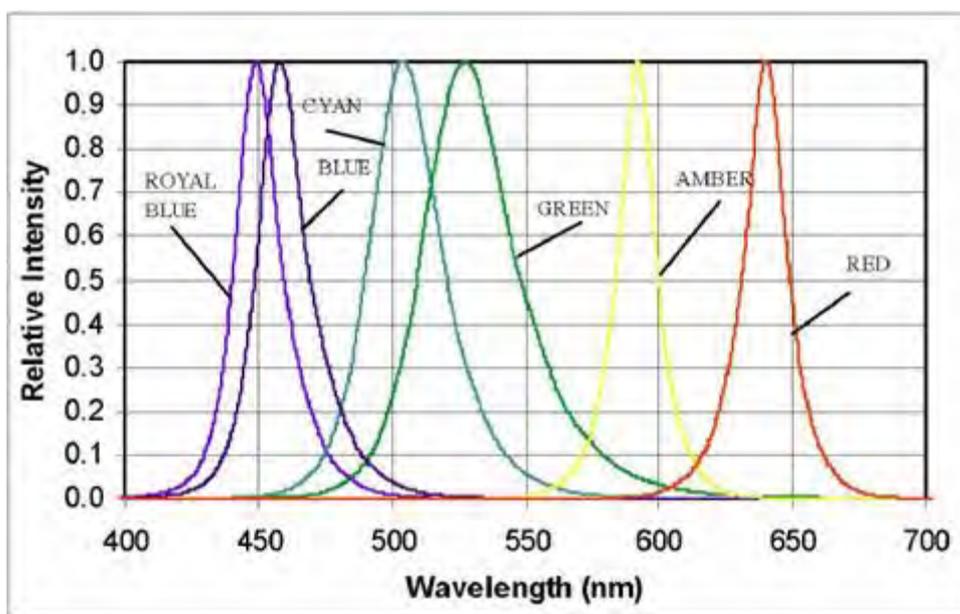


FIG 97: Se muestra el espectro de leds de diferentes colores, azul, verde y amarillo. Como se puede observar el espectro de cada uno de estos leds es de estrecho al contrario que las lamparas incandescentes o luz solar que emiten en un amplio rango de longitudes de onda.

El funcionamiento físico consiste en que, en los materiales semiconductores, un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. El que esa energía perdida cuando pasa un electrón de la banda de conducción a la valencia se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor por ejemplo) va a depender principalmente del tipo de material semiconductor. Cuando un diodo semiconductor se polariza diferente, los huecos de la zona p se mueven hacia la zona n y los electrones de la zona n hacia la zona p; ambos desplazamiento de cargas constituyen la corriente que circula por el

diodo. Si los electrones y huecos estan en la misma region, puede recombinarse, es decir, los electrones pueden asar a “ocupar” los huecos, “cayendo” desde un nivel energetico superior a otro inferior mas estable.

Este proceso emite con frecuencia un foton en semiconductores de banda prohibida directa o “direct bandgap” con la energia correspondiente a su banda prohibida. Esto no quier decir que en los demas semiconductores(semiconductores de banda prohibida indirecta o “indirect bandgap”) no se produzcan emisiones en forma de fotones; sin embargo, estas emisionesson mucho mas probables en los semiconductores de banda prohibida directa ( como el nitruto de galio) que en los semiconductores de banda prohibida indirecta (como el silicio).

La emision espontanea, por tanto , no se produce de forma notable en todos los diodos y solo vale en diodos como los LEDs de luz visible, que tienen una disposicion constractiva especial con el proposito de evitar que la radiacion sea reabsorbida por el material circundante, y una energia de la banda prohibida coincidente con la correspondiente al espectro visible. En otros diodos, la energia se libera principalmente en forma de calor, radiacion ultravioleta, se puede conseguir aprovechar esta radiacion para producir radiacion visible, mediante sustancias fluorecentes o fosforecentes que absorba la radiacion ultravioleta emitida por el diodo y posteriormente emitan luz visible.

El dispositivo semiconductor esta comunmente encapsulado en una cubierta de plastico de mayor resistencia que las de vidrio que usualmente se emplean en las lamparas incandescente. Aunque el plastico puede estar coloreado, es solo por razones esteticas, ya que ello no influye en el color de la luz emitida.

Para obtener una buena intesidad luminosa debe escogerse bien la corriente que atravieza el LED, para ello, hay que tener en cuenta que el voltaje de operación va desde 1.8 hasta 3.8 volts aproximadamente( lo que esta relacionado con el material de fabricacion y el color de la luz que emite) y la gama de intensidades que debe circular por el varia según su aplicación. Valores tipicos de corrrinte directa de polarizacion de un led estan comprendidos entre los 10 y los 40 mA. Existen tambien leds de alta potencia que trabajan a corriente de 150 mA, 350 mA, 750 mA o incluso a 1000mA que producen una gran intensidad luminoso.

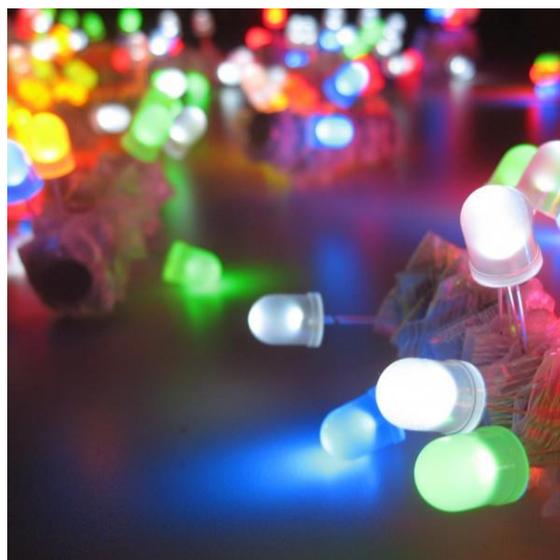


FIG 98: Leds de colores

### ***5.8 Eficiencia.***

La eficiencia de los leds actualmente varía entre los 75 lúmenes por watt hasta los 100 lúmenes por watt, se espera que en los próximos años alcancen más de 200 lúmenes por watt convirtiéndolos en la tecnología de iluminación más eficiente a nivel mundial.

### ***Voltaje de operación.***

Su voltaje de operación es en corriente directa, la mayoría de los luminarios con leds actualmente cuentan con circuitos integrados para control de corriente y una fuente de poder interna que nos permite conectarlos directamente a 110 VAC.

Los luminarios que no cuentan con esta fuente de poder interna, generalmente son conectados a 24 VDC o a 12 VDC dependiendo del arreglo en el circuito de leds diseñado por el fabricante.

### ***Angulo de apertura de luz del led.***

Los leds tienen la limitante de un grado de apertura de luz bajo, de entre los 25° - 170°

### ***5.9 Vida útil de leds.***

De acuerdo a pruebas de laboratorio la vida promedio de los leds de alta calidad puede ser de más de 80000 horas que es el promedio en el cual el 50% de los leds fallan en condiciones de laboratorio. Condiciones como sobre voltaje, vibración, calor y otros ambientes agresivos afectan negativamente la vida promedio de los leds.

### ***Vida útil del luminario completo.***

La vida útil del luminario completo, es menor, generalmente componentes como fuentes de poder, transformadores, reguladores de voltaje, o circuitos integrados, llegan a fallar antes que los leds.

### ***Depreciación de lúmenes.***

De acuerdo a pruebas de laboratorio los lúmenes de los leds se reduce en un 3 % después de 10000 horas de uso en promedio y hasta un 15 % después de las 80000 horas de uso en promedio.

### ***5.10 Longitud de onda y temperatura de color.***

La tecnología leds está cambiando rápidamente, los leds a pesar de que son del mismo color, se clasifican en diferentes lotes de acuerdo a pequeñas diferencias en su longitud de onda de luz visible y temperatura de color. Los luminarios solicitados con una amplia diferencia de color y longitud de onda.

A diferencia de otras fuentes de luz, en la tecnología led los parámetros de funcionamiento están relacionados entre sí.

La principal causa de depreciación del flujo luminoso de un led es el calor generado en el interfaz de unión del led. Al no emitir radiación infrarroja (IR), el calor producido en el proceso de generación de luz, debe ser disipado por conducción o convección. Un aumento continuo de la temperatura de funcionamiento provocara dos efectos:

Una depreciación del flujo luminoso emitido.

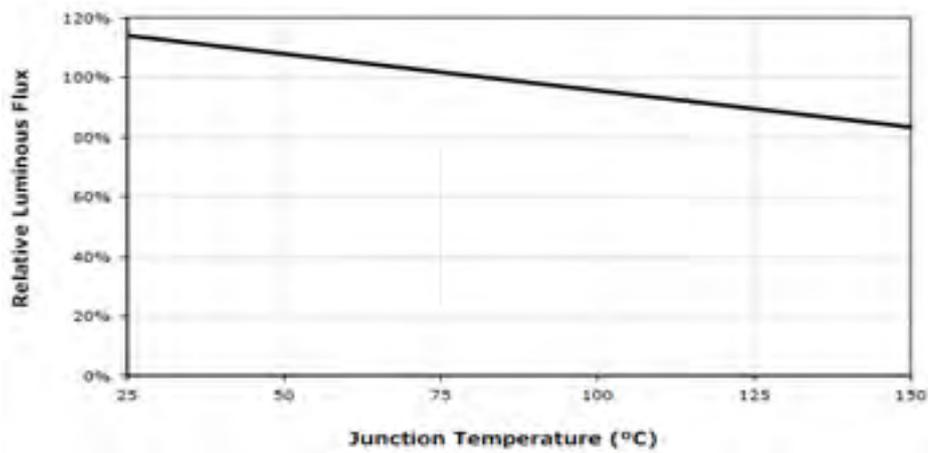


FIG 99: Ejemplo de depreciación del flujo luminoso emitido en función de la temperatura alcanzada por el led.

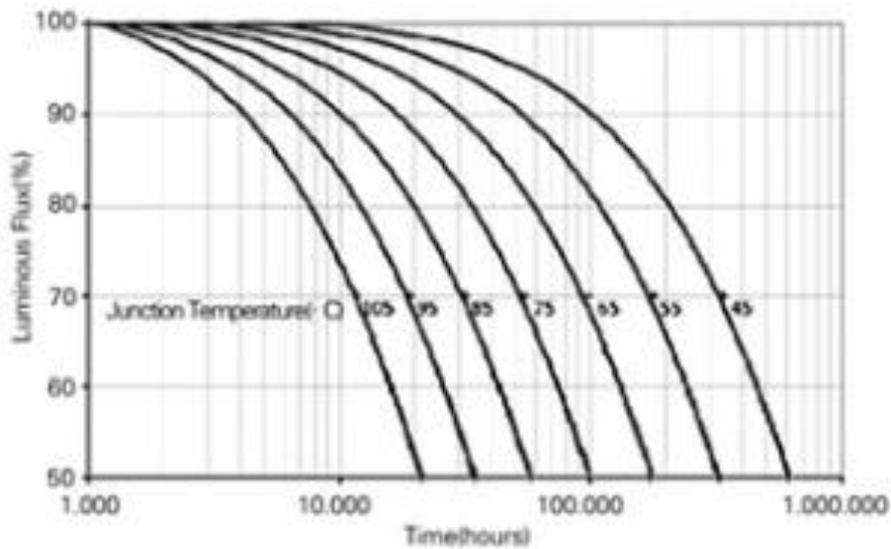


FIG 101: El grafico muestra la depreciación del flujo de los leds en función de las horas de uso.

Todo esto teniendo en cuenta que no sobre pase la temperatura máxima indicada por el fabricante para la intensidad a la que se está haciendo funcionar, ya que se reduciría la vida del led, por una mayor depreciación del flujo emitido, o generar un colapso del mismo. Es decir, la vida del led (tiempo en el que el led emite el flujo luminoso indicado en la especificación) depende de su temperatura de funcionamiento y de la corriente a la que este alimentado. Cuanto mejor sea la disipación de calor, más larga será la vida del led y mayor será el flujo luminoso emitido.

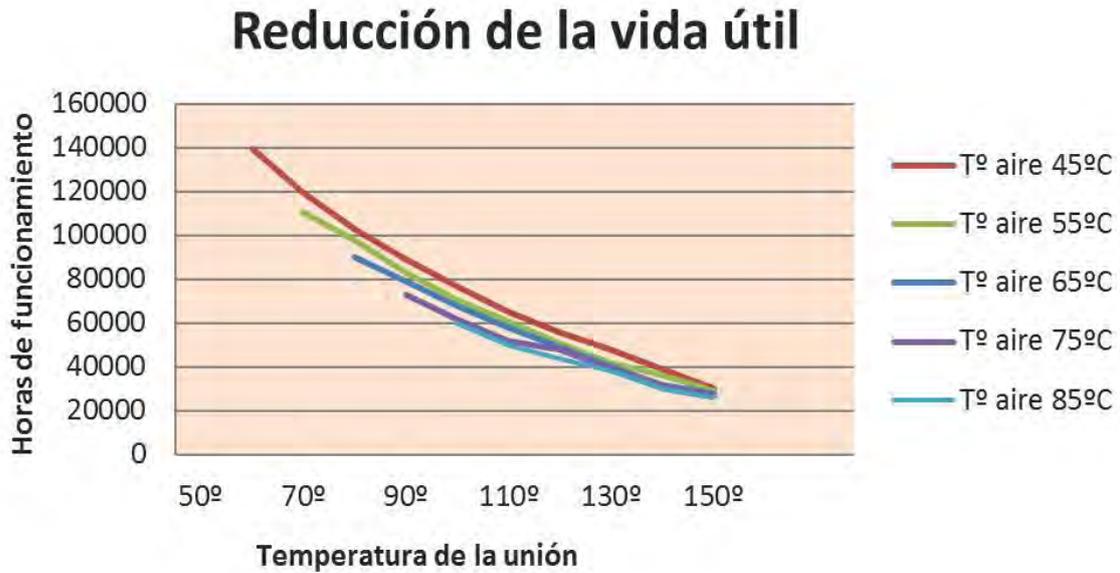


FIG 102: Curva de vida de un led en función de la temperatura de la unión y la corriente de circulación. Este tipo de información no es mostrada por los fabricantes de forma tan clara.

Otro parámetro fundamental de los leds que requiere una explicación es la relación entre el consumo (corriente de alimentación) y el flujo emitido. Por otra parte, a un mismo led se le puede hacer funcionar con diferentes intensidades y por lo tanto con distintos consumos, la relación entre el flujo emitido y el consumo, despreciándose los efectos de temperatura no es actualmente lineal, al realizarse un ensayo pulsado.

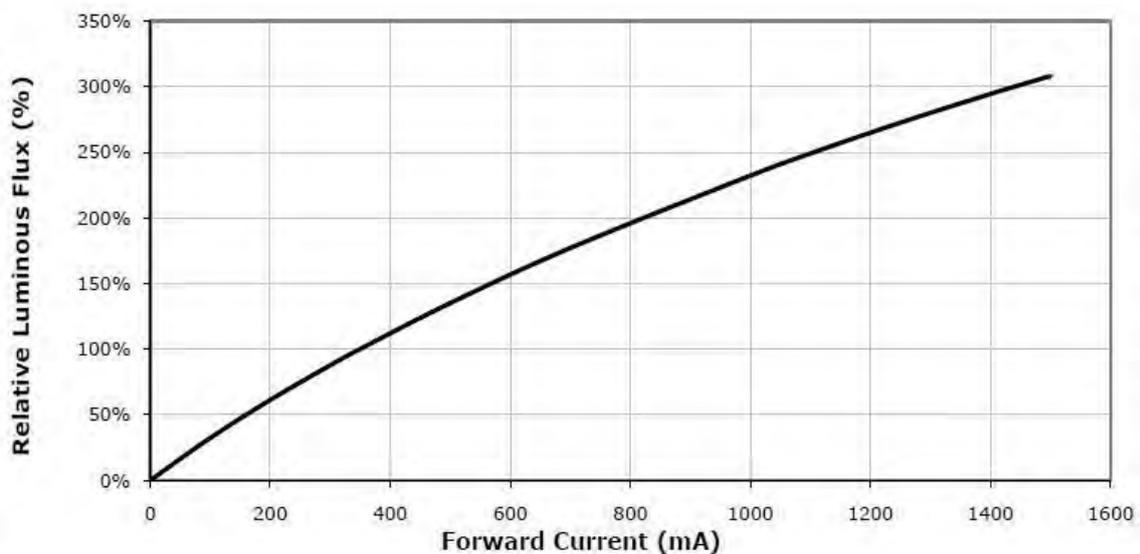


FIG 103: Ejemplo de la variación del flujo luminoso en función de la corriente de ensayo. Al aumentar la corriente, la eficiencia de transformación de corriente en luz se ve reducida de tal manera que, en promedio, aumentar al doble la corriente de ensayo (700 mA) solo produce un aumento del flujo luminoso del 1.7. Es decir, un led que a 350mA emite 100

lúmenes a una temperatura ambiente de 25 °C, emitiría del orden de 170 lúmenes alimentado a 700 mA y a la misma temperatura ambiente.

De esta manera, la eficacia pasa de ser 82 lum/W a 69 lum/W. en esta pérdida de eficacia no se ha tenido en cuenta, como se ha indicado anteriormente, la depreciación por el efecto de la temperatura.

El último parámetro que se ha de analizar es la vida de los leds indicada por los fabricantes. Si nos atenemos a la información aportada en su documentación podemos ver que la vida se garantiza en función de la corriente a la que se alimenta, la temperatura de la unión (T) y, en algunos casos, con respecto a la temperatura ambiente en las proximidades del led. La forma de garantizar la vida se hace en función del parámetro L170 B50 o únicamente L70.



FIG 104: Lampara led montada en un poste a 5 metros de altura

## **CAPITULO 6**

# **ESTUDIO DE APLICACIÓN DEL CAMBIO DE LUMINARIAS EN UNA ZONA URBANA**

## 6 Planteamiento del estudio

Para este estudio tenemos que tener en cuenta las variables principales para lograr una transición del sistema de alumbrado público convencional, a un sistema de alumbrado autosustentable con tecnología led. Tomando las características actuales de una colonial de la delegación Iztapalapa. Estas variables serian:

- Qué tipo de luminaria es utilizada actualmente
- Características de operación y rendimiento
- Tipo de poste
- Distancia interpostal
- Altura de operación
- Tipo de curva
- Delimitación de las calles de la colonia
- Número total de luminarias
- Estudio con luminarios de vapor de sodio a alta presión con el software dialux
- Estudio con luminarios de aditivos metálicos con el software dialux
- Luminaria led
- Características de operación y rendimiento de luminario led
- Mapa de irradiación solar en México
- Inclinación de paneles
- Estudio con luminarios led con el software dialux

### 6.1 Sistema de alumbrado público actual

El sistema actual de alumbrado público está conformado con luminarias de vapor de sodio a alta presión en el cual su características de operación se basa en estar conectado a sistema eléctrico de baja potencia en un voltaje nominal de 220 volts a 60 Hertz, donde la potencia consumida de este luminario es de 250 watts más 50 watts en consumo en el balastro. El índice reproducción cromática (IRC) de esta luminaria es bajo, tiene una vida útil de aproximada de 15 mil a 20 mil horas con una depreciación paulatina, en la siguiente tabla se muestra los rendimientos de algunas luminarias de VPSA en condiciones de fábrica.

PÓTENCIA LAMPARAS W	INTENSIDAD DE SERVICIO A	POTENCIA BALASTRO		FLUJO LUMINOSO	DIMENSIONES		CASQUILLO
		W	TOTAL W		L Mm	D Mm	
70	1	13	83	5800	156	70	e-27
150	1.2	15	115	9500	186	75	e-40
150	1.8	20	170	14000	226	90	e-40
250	3	25	275	25000	226	90	e-40
400	4.4	50	450	47000	290	120	e-40
1000	10.3	90	1090	120000	400	165	e-40

TABLA 15: Lámparas de sodio a alta presión

El promedio de encendido es de 5 min minuto por cuestiones químicas, en donde se debe alcanzar un nivel de voltaje alto para lograr el cambio físico de sodio a vapor de sodio y de esta forma se obtiene la iluminación artificial, cabe mencionar que si se pierde la energía eléctrica no enciende de inmediato, tarda en promedio 3 minutos en volver a encender, una desventaja con relación contra un luminario led que enciende instantáneamente.

Estas lámparas se encuentra instaladas sobre postes de hormigo con un alma de varilla de 12 mts y postes estructurales, sobre la cual se mantiene sobre un brazo de metal galvanizado a una

altura de 9 mts en vialidades primarias, secundarias y terciarias. Como se observa en las imágenes:



FIG 105: fotos de altura de montaje y operación incorrecta de luminaria

Como podemos ver en la tabla antes mencionada los valores de fábrica no se mantienen con el paso del tiempo, donde la temperatura de color es francamente buena, del orden de 90 Lm/W. y la temperatura de color resulta ser de 2.200 °K , pero los lumen descienden muy rápido por cuestiones de operación. Esto nos afecta directamente en los usuarios, ya que con el tiempo ya no se pueden distinguir los objetos. En las Fotos se distingue este proceso de desgaste en una luminaria



FIG 105: fotos de las luminarias y su depreciación de color

Durante el recorrido de levantamiento de campo de las diferentes calles de la colonia las observaciones del sistema de alumbrado fueron estas

- Un total de 450 luminarias
- Del cual el 3% aun son de aditivos metalicos

- El 10 % de luminarias no operan o están fundidas
- El 5 % de luminarias opera en un horario diurno
- La distribución interpostal no es constante en vialidades secundaria y terciarias, va de los 25 a 35 mts y en algunos casos menos de 5 mts
- Se observó que la pesada distribución de las luminarias crea huecos de pobre iluminación o exceso de iluminación en zonas poco transitadas
- En vialidades primarias es la única zona donde se mantiene constante la distancia interpostal de 30 mts y la altura de montaje de la luminaria de 9 mts
- Las luminarias llevan en promedio 8 mil horas de operación, su temperatura de color así lo determina ( la tonalidad cada vez más anaranjada)
- Se observa un nulo mantenimiento en el sistema de alumbrado público por las crecientes pruebas físicas de luminarios fundidos o mala operación debido a la avería del sensor fotovoltaico que permite su funcionamiento en horario donde no hay iluminación natural

En la siguiente foto satelital se observa la colonia, área donde se realizó el levantamiento de campo.



FIG 106: Foto satelital de la colonia sacada de google maps.

De la foto satelital se delimitó el área del estudio y se realizó un plano con Autocad, para determinar la posición de las luminarias de vapor de sodio de acuerdo al levantamiento de campo y así sembrarlas en el plano.

Se observa en el plano siguiente el resultado de este levantamiento.

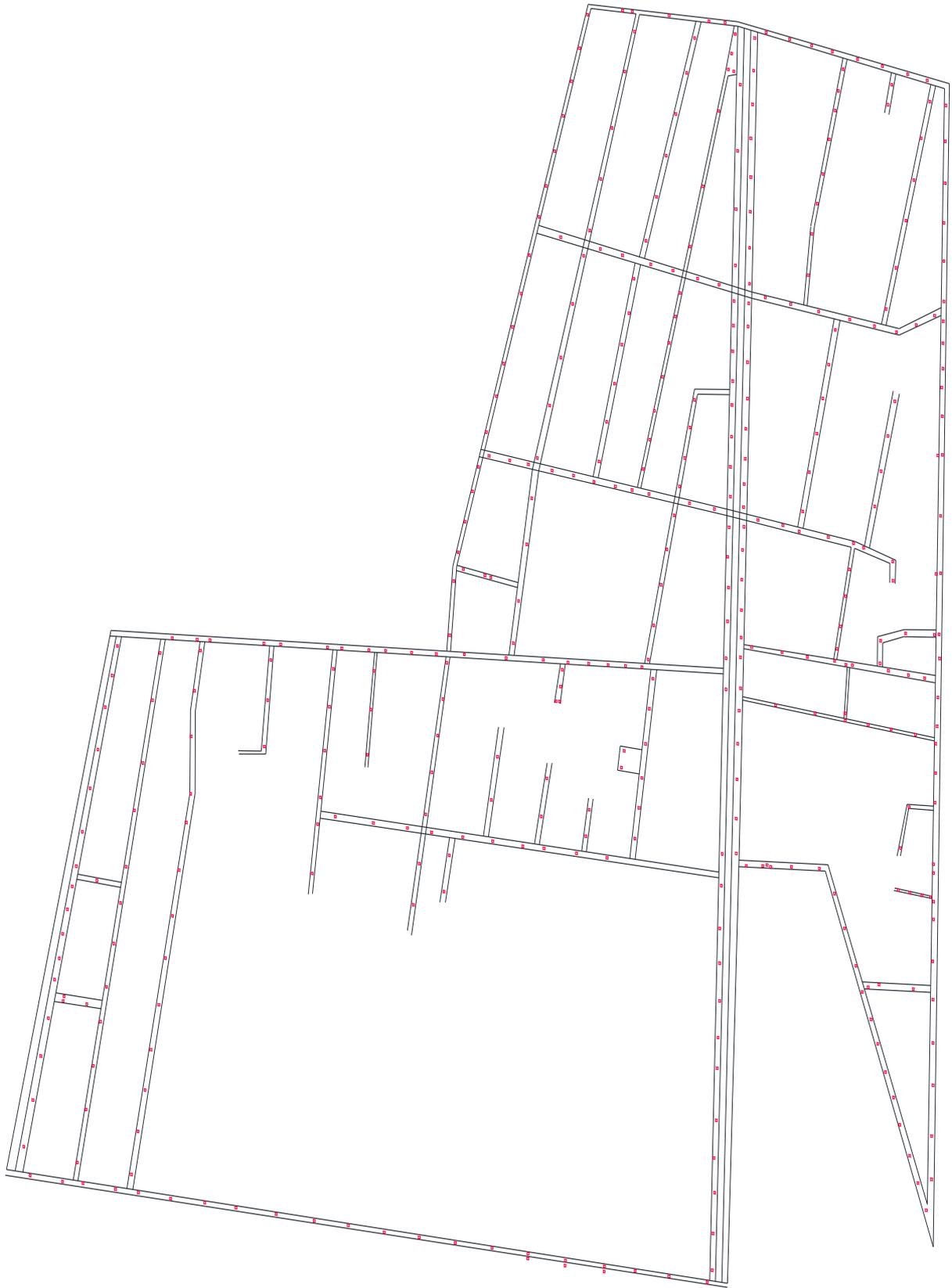


FIG 107: Trazado de las calles por medio de autocad y el sembrado de luminarias existentes

## 6.2 Sistema propuesto

El sistema propuesto se desarrolla en medida de las carencias de operación de las luminarias de vapor de sodio del cual ya se habló de sus condiciones actuales, por la cual es viable esta evolución del sistema de alumbrado público a un sistema autosustentable por medio de paneles solares, baterías de descarga profunda y por supuesto la base de luminarios de led de alto rendimiento.

Para la implementación de este nuevo sistema debemos tener como base las normas actuales que se publican en el DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION en el cual tenemos estas

- NORMA Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-031-ENER-2012, Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

Debemos tener bien presente que estos sistemas de iluminación led son utilizados en museos o centros de recreación pero de manera interconectado al sistema eléctrico de baja tensión y en algunos casos como el segundo piso de periférico se utiliza paneles solares y bancos de baterías controlados por medio de inversores y bypass e interconectado al sistema eléctrico.

Al contrario en este estudio se propone recaer absolutamente en proceso de generación, acumulación y utilización de la energía solar en energía eléctrica sin tener que vincularse con un sistema de baja tensión.

Para este estudio utilizamos el software Dialux en el cual se recrea de manera eficiente las condiciones del área de estudio. Se simula en un entorno 3D las variantes recopiladas por el levantamiento de campo, de esta forma podemos determinamos el rendimiento de los luminarios de vapor de sodio a alta presión de 250 w contra un luminario a base de leds de 133 w.

Lo primero que se hizo fue seleccionar una luminaria de VSAP de 250 w que tuviera características de operación similar a las actualmente dispuestas.

La luminaria de VSAP

Luminaria VSAP-T 250 W / Hoja de datos de luminarias

Luminaria de tipo vial para instalar en columnas de 7 a 14 m de altura. Está fabricada en inyección de aluminio, y acabada en color RAL9007.

Instalación en horizontal o vertical a diámetro 60 mm. Grado de protección IP66 e IK09. Incorpora reflector de aluminio anodizado y difusor de cristal templado lenticular.

Flujo luminoso (Luminaria): 25498 lm

Flujo luminoso (Lámparas): 33200 lm

Potencia de las luminarias: 267.0 W

La luminaria led

SUPRA DESARROLLOS TECNOLÓGICOS S.A. DE

Dispone de una imagen de C.V. EVERFINE GO-R5000 TIPO C

Flujo luminoso (Luminaria): 12899 lm

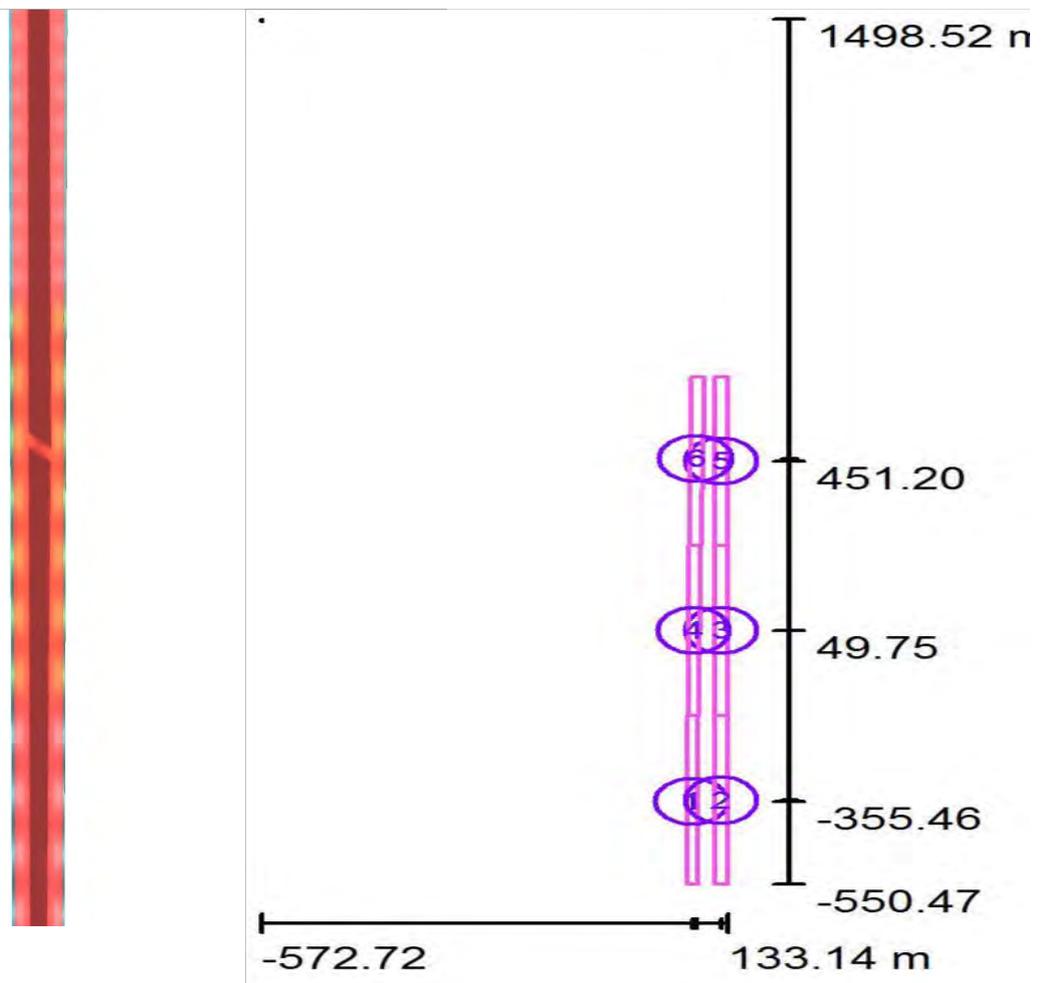
Flujo luminoso (Lámparas): 12897 lm

Potencia de las luminarias: 133.4 W

### 6.3 estudio de avenidas primarias, secundarias y terciarias

El siguiente paso fue recrear la colonia ya descrita en el plano, de esta forma se separó en 4 zonas para poder describir las diferentes tipos de avenidas con sus necesidades lumínicas de acuerdo con la norma. La primera vialidad es primaria donde realizamos el estudio comparativo entre las luminarias seleccionadas

FIG 108: Recreación de la avenida primaria



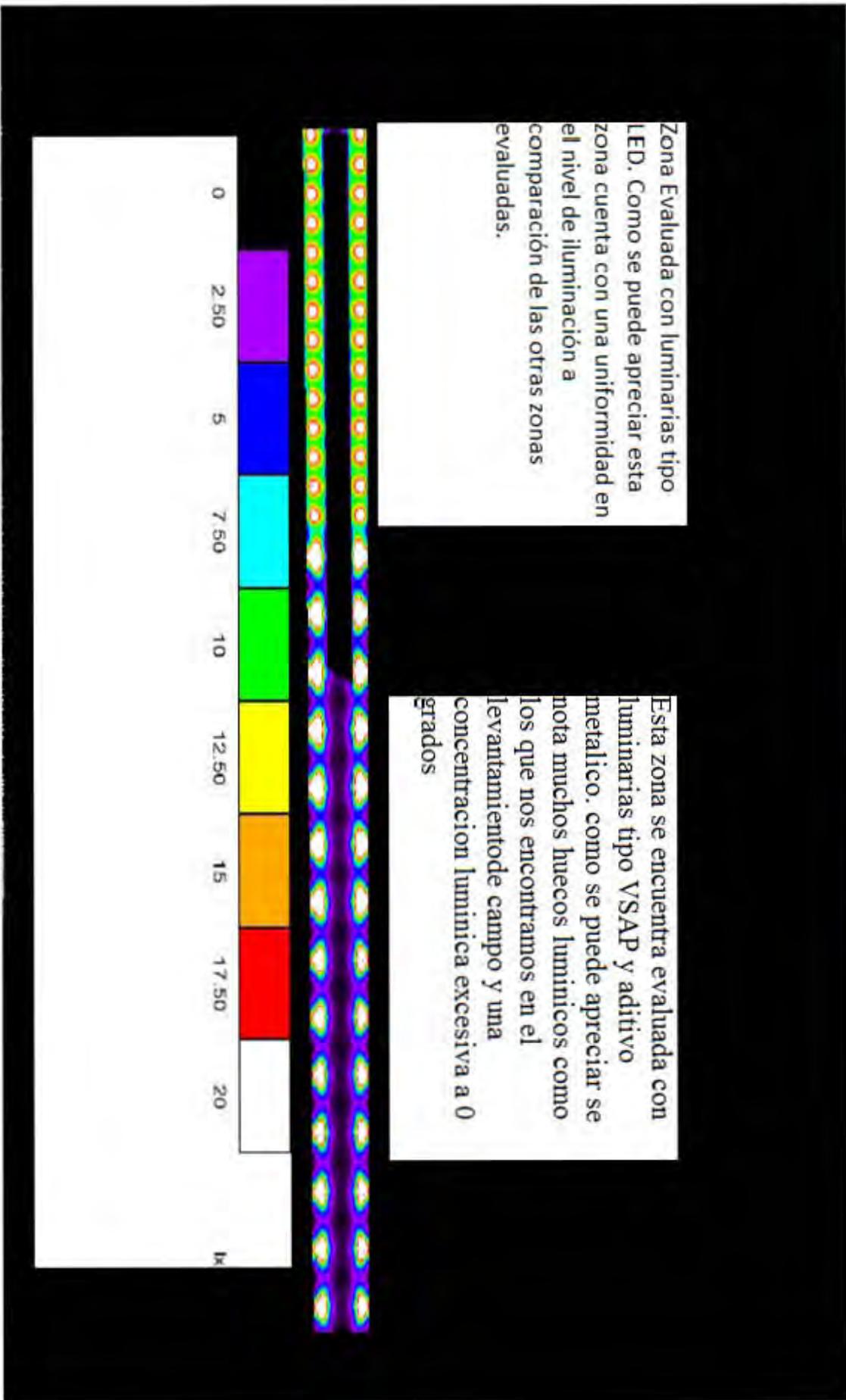


FIG 109: Vista de colores falsos en cual vemos los índices de luxes por área y luminaria utilizadas

En la primera imagen se plasma la longitud de la avenida primaria con una distancia de aproximadamente de 1 kilómetro de largo donde se separó en tres zonas de evaluación. Se puede ver claramente la zona de estudio con luminarias led mantienen una constante lumínica de por arriba de los 14 luxes sin tener huecos o sobre iluminación.

Las dos siguientes zonas se ve claramente una constante en la deficiencia de rendimiento con respecto a la de luminaria led, donde los luxes promedio son entre 11 promedio a un máximo de 71 de luxes en VSAP y de 11 luxes promedio a un máximo de 48 en aditivo metálico.

Luminarias	Potencia consumida con balastro	Lúmenes emitidos por luminaria	Voltaje de operación	Luxes promedio
Led	133.5 w	12899 lm	12 v	14 a 28 lx
VSAP	300 w	25498 lm	220 v	11 a 71 lx
MH	305 w	17281 lm	220 v	11 a 48 lx

Tabla 16: comparativa de valores nominales de las luminarias

A continuación se presentara el estudio en avenidas secundarias

**Escena exterior 1 / Superficie de cálculo 4 /**

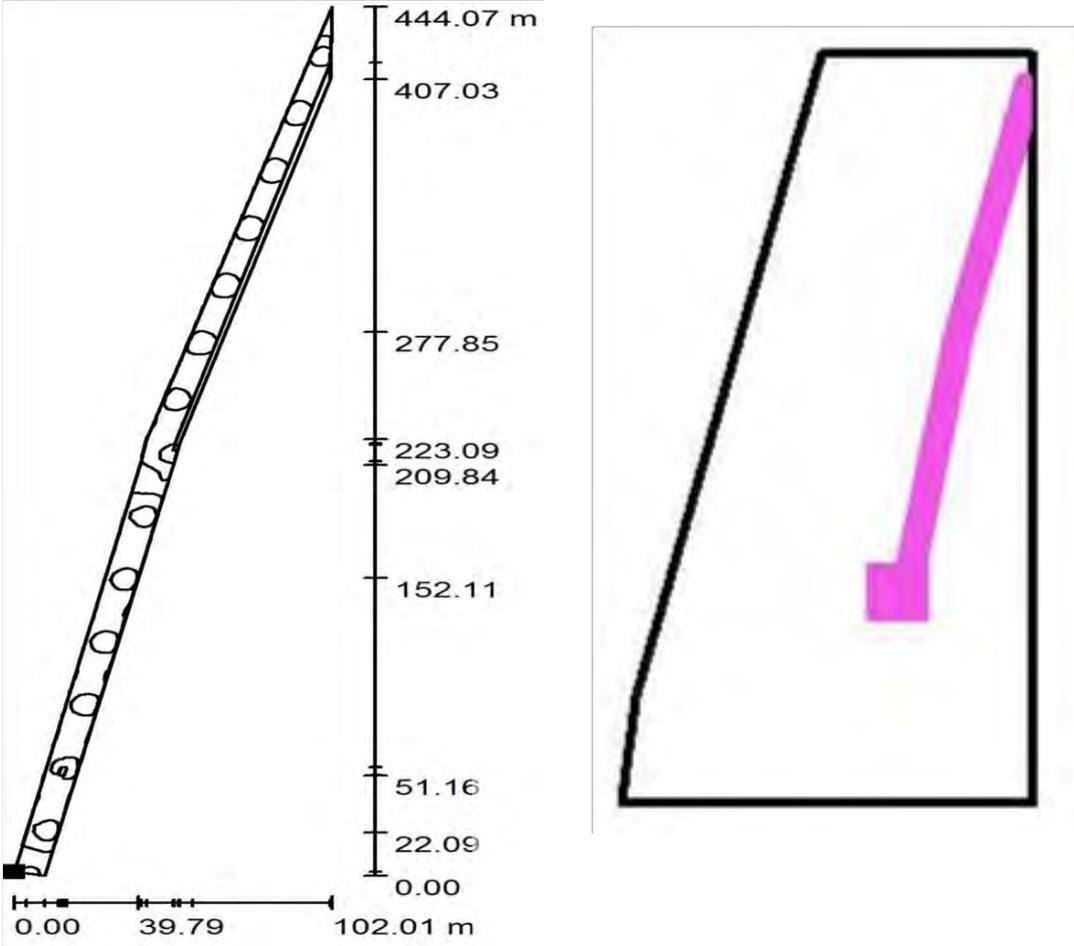


Fig. 110: Imagen de un zona de cálculo de una avenida secundaria

Representación de calle secundaria tomada de la zona 1 de estudio luminotécnico en dialux. En esta imagen se muestra como es una calle secundaria junto las longitudes de cálculo su valores fueron estos con luminaria led.

Trama: 128 x 128

Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
14	4.47	29	0.311	0.152

Estos valores se interpretan de esta manera.  $E_m$  son los luxes promedio de nuestra vía.  $E_{min}$  son los luxes mínimos de nuestra vía y  $E_{max}$  son los luxes máximos en nuestra vía.

$E_{min}/E_m$  es la relación de luxes mínimos entre luxes promedio

$E_{min}/E_{max}$  es la relación de luxes mínimos entre luxes máximos

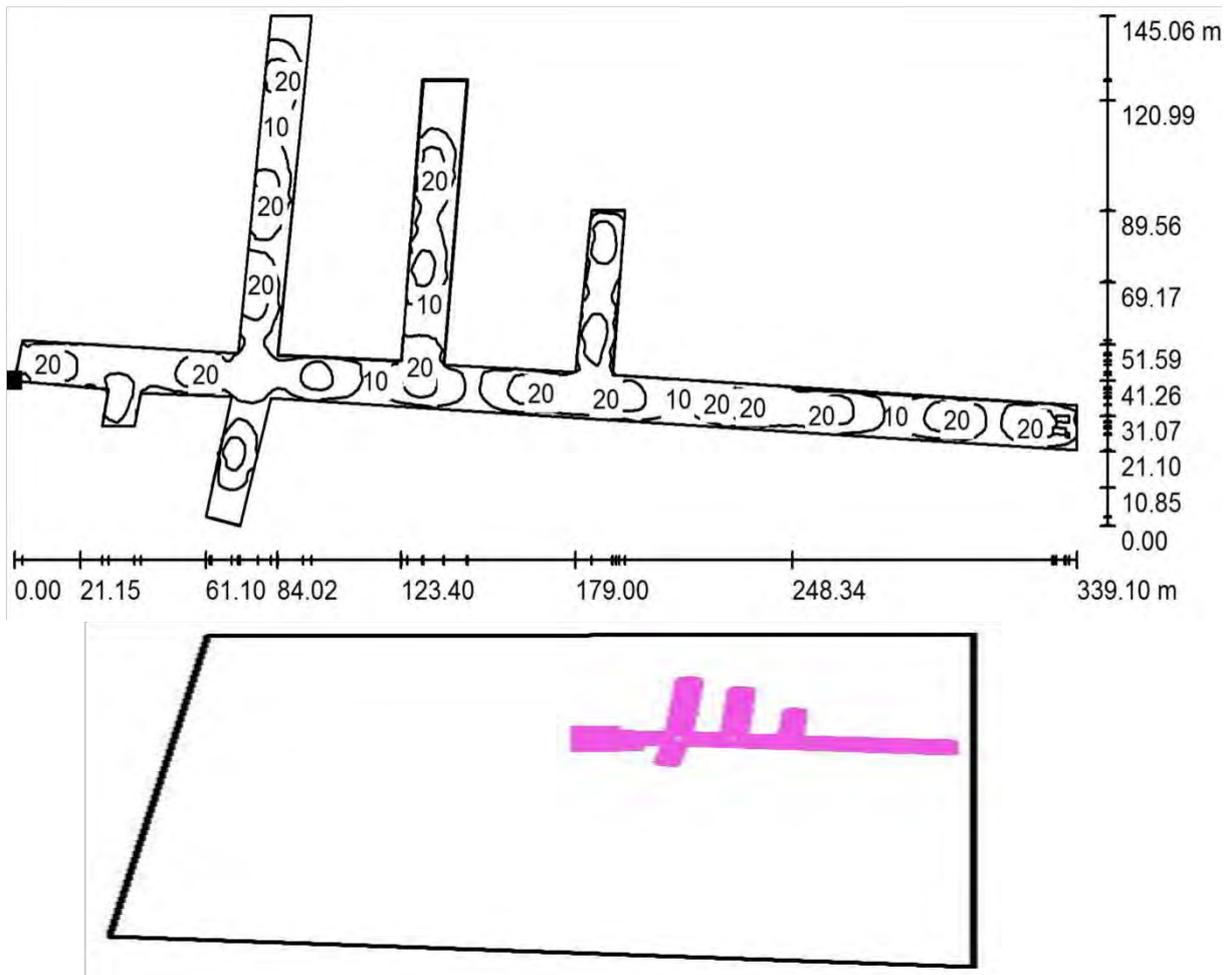
	<i>promedio</i> [lx]	<i>máxima</i> $E_{prom}/$ $E_{min}$	< 9,0	$\geq 9,0$ y < 10,5	$\geq 10,5$ y < 12,0	$\geq 12,0$
<i>Autopistas y carreteras</i>	4	3 a 1	0,32	0,28	0,26	0,23
<i>Vías de acceso controlado y vías rápidas</i>	10	3 a 1	0,71	0,66	0,61	0,56
<i>Vías principales y ejes viales</i>	12	3 a 1	0,86	0,81	0,74	0,69
<i>Vías primarias y colectoras</i>	8	4 a 1	0,56	0,52	0,48	0,44
<i>Vías secundarias residencial Tipo A</i>	6	6 a 1	0,41	0,38	0,35	0,31
<i>Vías secundarias residencial Tipo B</i>	5	6 a 1	0,35	0,33	0,30	0,28
<i>Vías secundarias industrial Tipo C</i>	3	6 a 1	0,26	0,23	0,19	0,17

TABLA 17: De acuerdo a la tabla de DPAE de la norma NOM-ENER-2013 los valores obtenidos del estudio están dentro de los valores recomendados para un excelente rendimiento operacional en una avenida secundaria.

El siguiente estudio se centra en distinguir una avenida terciaria que consiste en callejones y cerradas dentro de nuestro estudio

Representación gráfica del estudio de una vía terciaria que consiste en callejones y cerradas donde los valores del estudio son estos

FIG 111: Imagen del estudio de una avenida terciaria



$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
14	2.17	30	0.150	0.072

Los resultados obtenidos en el estudio en dialux nos muestran una vez más que los valores obtenidos cumple en alta eficiencia con la norma vigente.

Con esto podemos demostrar que el proyecto es viable y obtendremos beneficios energéticos y eliminaríamos un consumo constante en el sistema eléctrico de baja tensión aunado con una reducción de 21 luminarios en el sistema total de esta colonia. En potencia tendríamos una reducción de 300w a 133w por luminaria con un ahorro total anual de 202.3 MW en relación de luminarios. Pero tenemos que recordar que nuestro sistema será auto sustentable con ello el ahorro en potencia será de 100% estamos hablando de 410.6 MW anuales que ya no serán generados por hidroeléctricas.

El apoyo auxiliar para lograr esta transición es la utilización de paneles solares y bancos de baterías en la siguiente imagen se mostrara como quedaran instalados.

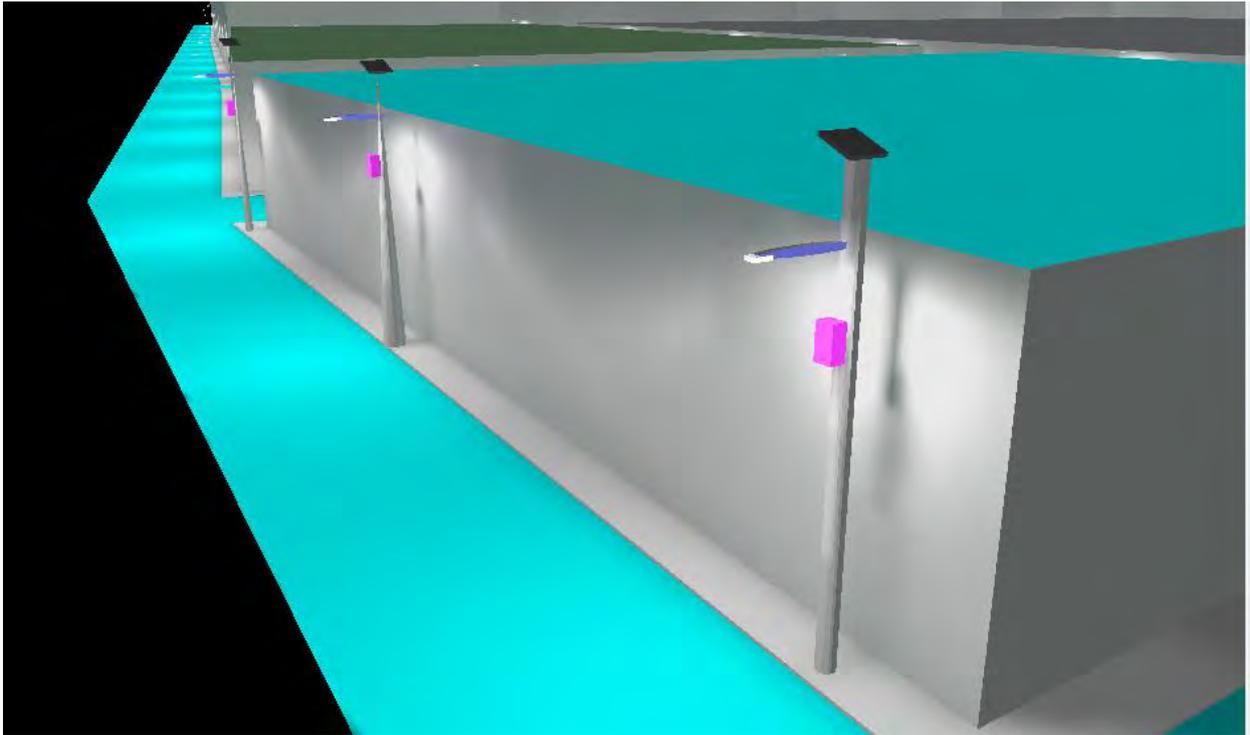


FIG 112: Vista 3d de una de las calles, como deben quedar los paneles y bancos de baterías

La altura recomendada para instalar el banco de baterías es de 7 mts para evitar vandalismo y por cuestiones ambientales, si llegara a inundarse esta zona estaría protegido contra averías de corto circuito. Esta batería está calculada en un valor de 36 h/A para lograr un máximo desempeño en la descarga profunda.

La fotocelda se instala a una altura de 12mts con una inclinación de 18 a 24 grados con inclinación con una dirección de 192 grados suroeste.

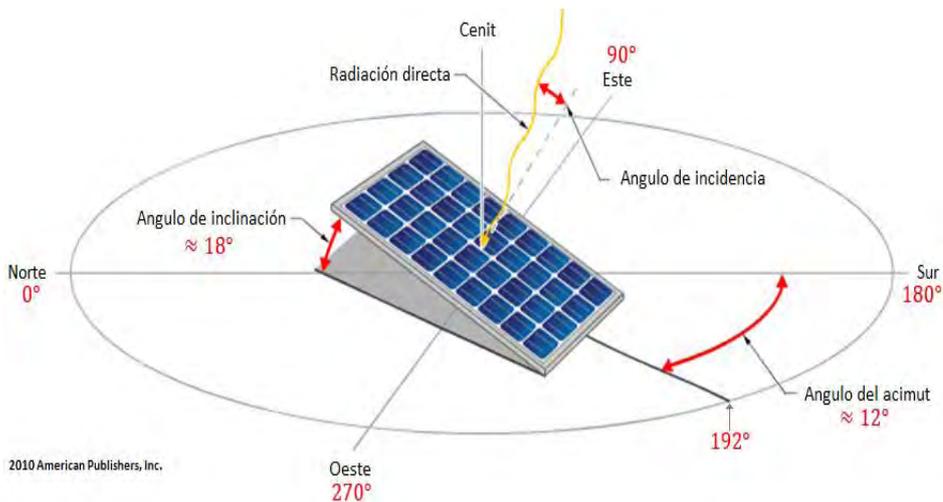


FIG 113: Imagen de la correcta instalación del panel solar

## CONCLUSIONES

Al día de hoy se tiene en la colonia un total de 450 luminarias entre VSAP y HM, Un 10% de luminarias no operan o están fundidas y otro 5% de luminarias operan mal (fuera del horario nocturno). Sumado a esto el rendimiento de los diferentes tipos de luminarias no son aprovechados, de esto resulta una mala operación dando como resultado sombras entre luminarias o sobre iluminando zonas poco transitadas.

La zona más estable fue la avenida donde se encontró la distribución y altura de las luminarias constantes de 9 mts de altura y una distancia entre luminarias de 30 mts, sin embargo tiene huecos lumínicos debido a luminarias fundidas por el poco mantenimiento de estas.

Bajo estas condiciones se trabajó en el dialux, para estudiar las diferentes luminarias dando como resultado que las luminarias de HM (aditivos metálicos) tienen un rendimiento de 11 lux en el punto mínimo y un punto máximo de 48 lux por metro cuadrado, mientras que las de VSAP (vapor de sodio a alta presión) daba datos de 16 a 18 lux en el punto mínimo y de 71 lux en el punto máximo. Lo que respecta con la luminaria led estos fueron los resultados, en el punto medio dio 14 a 15 lux en el máximo 28 lux por metro cuadrado y en el mínimo de 6.2 lux por metro cuadrado, cumpliendo lo establecido en la norma correspondiente a alumbrado público.

Estos datos solo demuestran el rendimiento lumínico de cada luminario, donde claramente los rendimientos de los led son increíbles, sumado a esto se utilizaron 21 luminarias menos de las que están instaladas actualmente, en el consumo energético se nota más sus generosidades de los leds. Pues en VSAP y HM se utilizaron en consumo de 250 W en 450 luminarias, mientras que en led fueron 429 luminarias de 133 W .

Esto nos da como resultado 112.5 KW por el total de luminarias de 250W, mientras que con las de leds nos da 57 KW de consumo en las 429 luminarias.

De esto tenemos un ahorro anual de 202.3 MW operando 10 horas diarias los 365 días al año. Esto sería el ahorro en un año en esta colonia, pero debemos recordar que este estudio se hizo para modernizar el sistema actual a uno autosustentable donde podremos decir que se ahorraría un promedio de 410.6 MW anuales. Tan solo en la modernización de una sola colonia de la Ciudad de México.

Después de lo observado en el levantamiento de campo y estudio luminotécnico realizado con el programa dialux. Concluyo que la modernización del alumbrado público, en muchas maneras es una solución viable que resolvería problemas ecológicos, de rendimiento de operación y claramente de costos que se verían a mediano tiempo.

Como sugerencia a este estudio todavía le faltan huecos que optimizarían en mayor medida el rendimiento como por ejemplo la utilización de sensores de movimiento que monitoricen el tránsito de las zonas y de ese modo tener un ahorro energético mayor al que estamos obteniendo en este estudio.

## BIBLIOGRAFIA

FUENTES REGULAS

(FEDERICO MIYARA) 2009

ALUMBRADO DE VIALIDADES

(JUAN FRANCISCO ESPINO DEL POZO) 2007

ANÁLISIS DE DESEMPEÑO ENTRE UNA BATERÍA AGM Y PLOMO ACIDO

(KARLANN RODRIGUEZ LOPEZ) 2011

QUE ES UNA BATERÍA DE CICLO PROFUNDA

(JOSE LUIS CAVASASSI) CAVADEVICES.COM

ANALISIS COMPARATIVO SOBRE LUMINARIAS DE LEDS CONTRA VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION Y ADITIVOS METÁLICOS EN ALUMBRADO PÚBLICO

(CARACHURE CASTAÑEDA JUAN LUIS) 2001

LÁMPARAS Y SUS COMPONENTES

([WWW.LAMPCOMP.COM](http://WWW.LAMPCOMP.COM))

LEDS

([WWW.GREENPEACE.TO](http://WWW.GREENPEACE.TO))

MANUAL DE ILUMINACIÓN VIAL

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE ILUMINACIÓN CONVENSIONAL ILUMINACIÓN LED UTILIZANDO EL MÉTODO DE LOS LÚMENES

(DAVID GARCIA SALAZAR) 2013

FUENTES DE ALIMENTACIÓN

([HTTP://WWW.INFO-](http://WWW.INFO-AB.UCLM.ES/LABELEC/SOLAR/ELEMENTOS_DEL_PC/FUENTES_DE_ALIMENTACION/F/F_PDF.PDF)

[AB.UCLM.ES/LABELEC/SOLAR/ELEMENTOS\\_DEL\\_PC/FUENTES\\_DE\\_ALIMENTACION/F/F\\_PDF.PDF](http://WWW.INFO-AB.UCLM.ES/LABELEC/SOLAR/ELEMENTOS_DEL_PC/FUENTES_DE_ALIMENTACION/F/F_PDF.PDF))

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-013-ENER-2013, EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA SISTEMAS DE ALUMBRADO EN VIALIDADES.

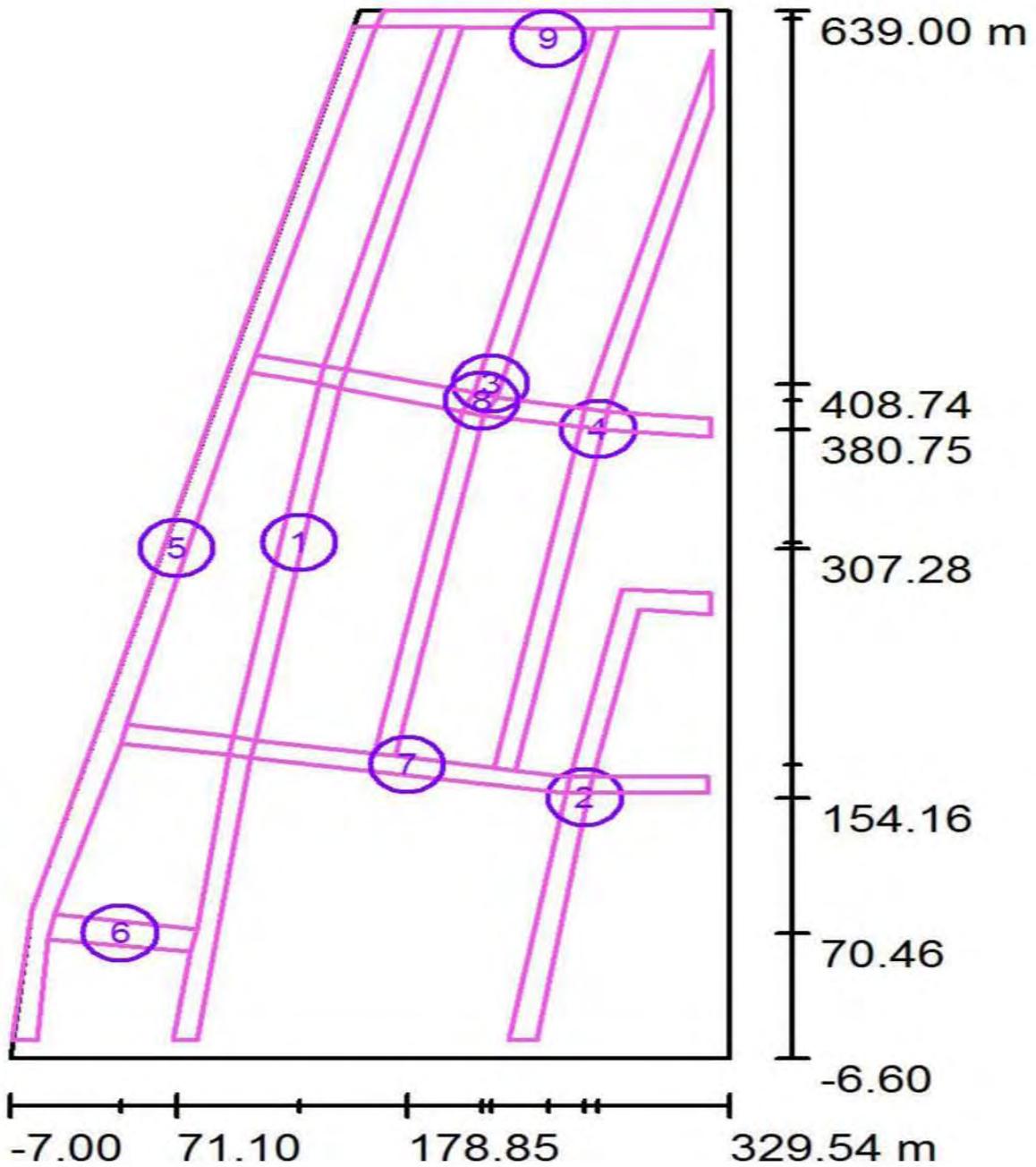
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-031-ENER-2012, EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LUMINARIOS CON DIODOS EMISORES DE LUZ (LEDS) DESTINADOS A VIALIDADES Y ÁREAS EXTERIORES PÚBLICAS. ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-025-STPS-2008, CONDICIONES DE ILUMINACIÓN EN LOS CENTROS DE TRABAJO.

([WWW.DOF.GOB.MX](http://WWW.DOF.GOB.MX))

# ANEXOS

Escena exterior 1 / Superficie de cálculo (sumario de resultados)

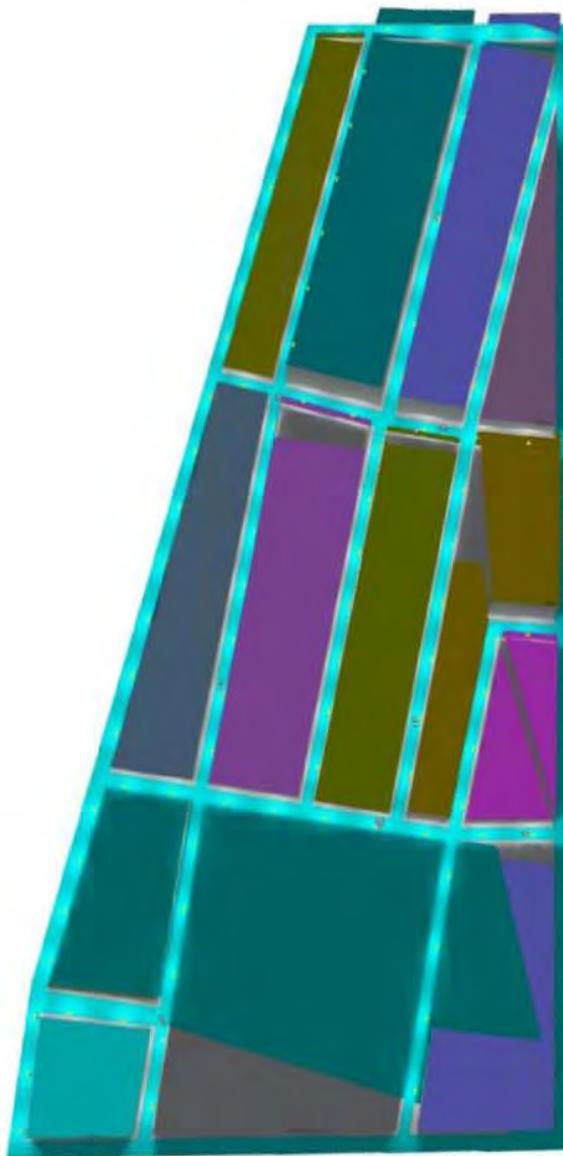


<b>Lista de superficies de cálculo</b>		Tipo	Trama	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
N°	Designación	perpendicular	x 128	15	3.23	28	0.217	0.114
1	Superficie de cálculo 1	perpendicular	x 128	15	3.13	30	0.215	0.103
2	Superficie de cálculo 2	perpendicular	x 128	16	4.85	28	0.305	0.171
3	Superficie de cálculo 3	perpendicular	x 128	16	2.87	28	0.181	0.101
4	Superficie de cálculo 4	perpendicular	x 128	14	4.47	29	0.311	0.152
5	Superficie de cálculo 5	perpendicular	x 128	14	6.28	27	0.452	0.235
6	Superficie de cálculo 6	perpendicular	x 128	17	6.96	28	0.419	0.246
7	Superficie de cálculo 7	perpendicular	x 128	14	1.44	28	0.103	0.052
8	Superficie de cálculo 8		x 128	15	4.64	28	0.313	0.168
9	Superficie de cálculo 9							
9	Superficie de cálculo 10							

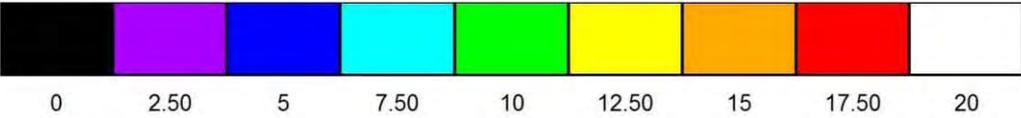
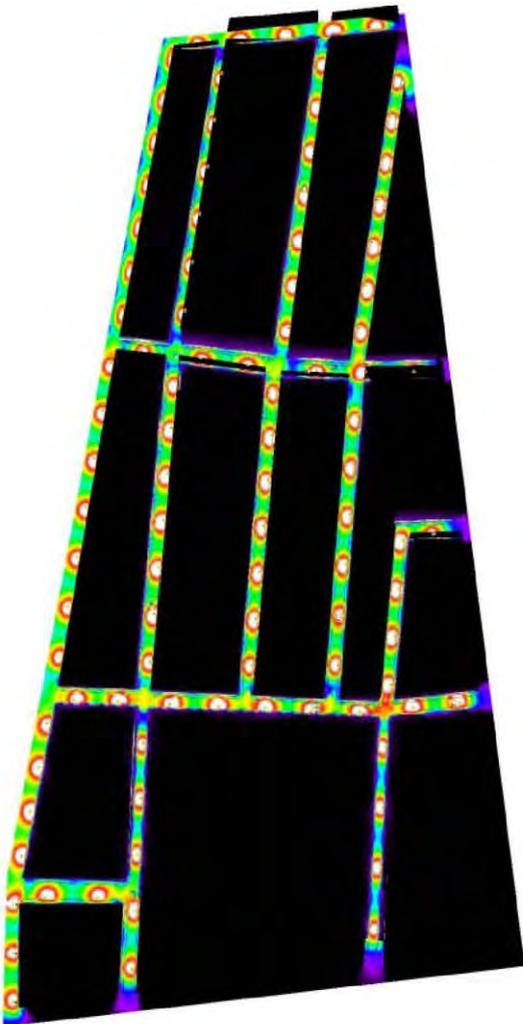
#### Resumen de los resultados

Tipo	Cantidad	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
perpendicular	9	15	1.44	30	0.10	0.05

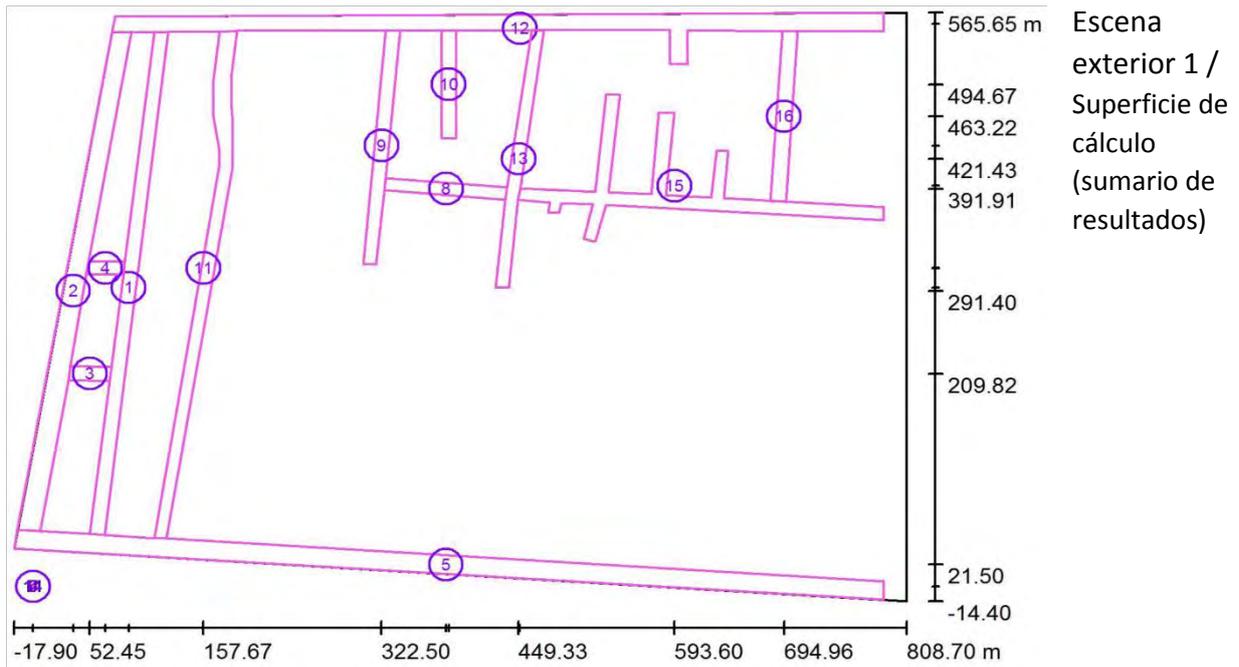
**Escena exterior 1 / Rende ring 3d de la iluminación desde un vista aérea**



Rende ring (procesado) de colores falsos donde se ve el rendimiento de luxes por todas las áreas recreadas en 3D, el color refleja la cantidad de luxes.



lx



**Lista de superficies de cálculo**

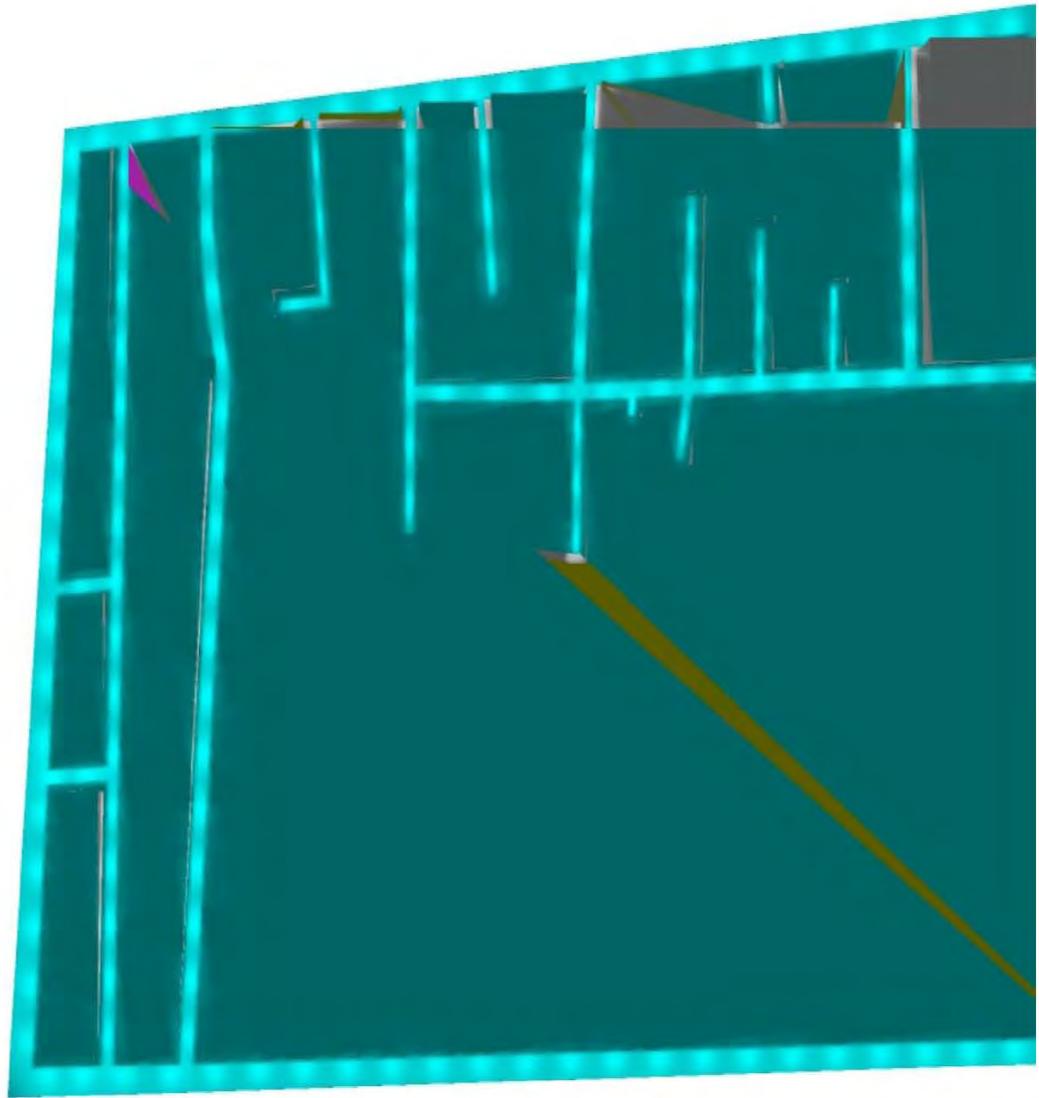
N°	Designación	Tipo	Trama	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
1	Superficie de cálculo 1	perpendicular	x 128	15	6.56	28	0.433	0.231
2	Superficie de cálculo 2	perpendicular	x 128	13	3.49	30	0.275	0.117
3	Superficie de cálculo 3	perpendicular	x 128	18	8.05	32	0.454	0.251
4	Superficie de cálculo 4	perpendicular	x 16	15	5.46	27	0.376	0.205
5	Superficie de cálculo 5	perpendicular	x 32	12	1.45	28	0.121	0.053
6	Superficie de cálculo 6	perpendicular	x 1	0.04	0.04	0.04	1.000	1.000
7	Superficie de cálculo 7	perpendicular	x 1	0.04	0.04	0.04	1.000	1.000
8	Superficie de cálculo 8	perpendicular	x 128	13	6.89	27	0.520	0.255
9	Superficie de cálculo 9	perpendicular	x 128	13	2.90	29	0.218	0.099

**Lista de superficies de cálculo**

N°	Designación	Tipo	Trama	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
10	Superficie de cálculo 10	perpendicular	x 128	13	4.70	28	0.356	0.170
11	Superficie de cálculo 11	perpendicular	x 128	15	4.41	28	0.297	0.159
12	Superficie de cálculo 12	perpendicular	x 128	13	3.17	28	0.244	0.113
13	Superficie de cálculo 13	perpendicular	x 128	15	6.50	29	0.427	0.227
14	Superficie de cálculo 14	perpendicular	x 1	0.04	0.04	0.04	1.000	1.000
15	Superficie de cálculo 15	perpendicular	x 128	14	2.17	30	0.150	0.072
16	Superficie de cálculo 16	perpendicular	x 16	13	4.96	27	0.370	0.183

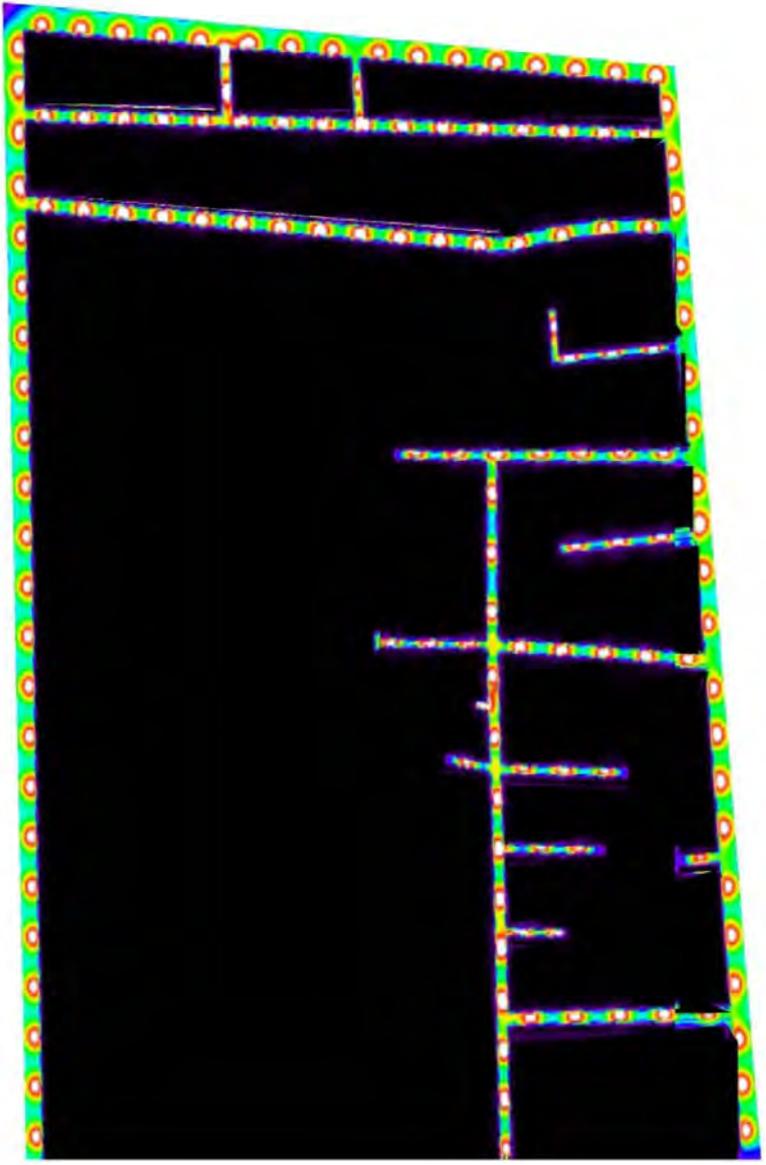
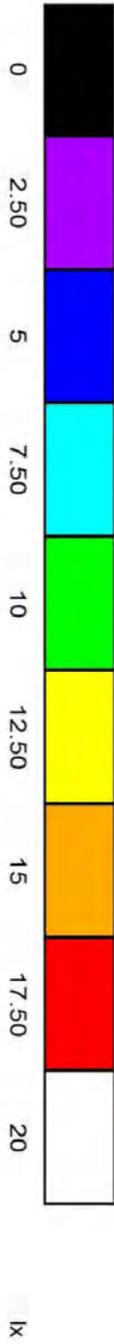
**Resumen de los resultados**

Tipo	Cantidad	Media [lx]	Min [lx]	Max [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
perpendicular	16	13	0.04	32	0.00	0.00

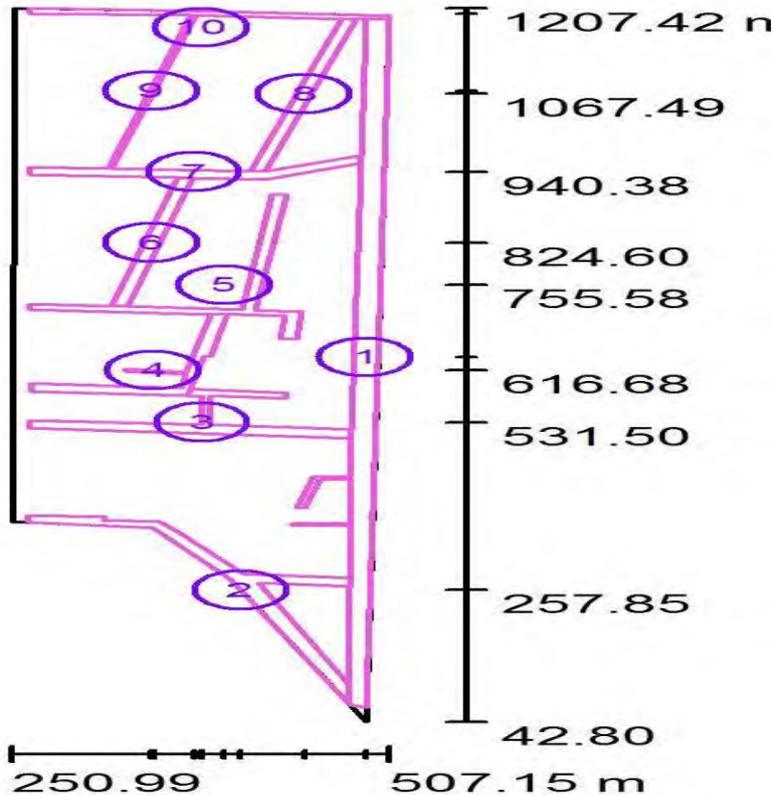


Escena exterior 1 / Rende ring (procesado) en 3D

Rende ring (procesado) de colores falsos donde se ve el rendimiento de luxes por todas las áreas recreadas en 3D, el color refleja la cantidad de luxes.



### Escena exterior 1 / Superficie de cálculo (sumario de resultados)



#### Lista de superficies de cálculo

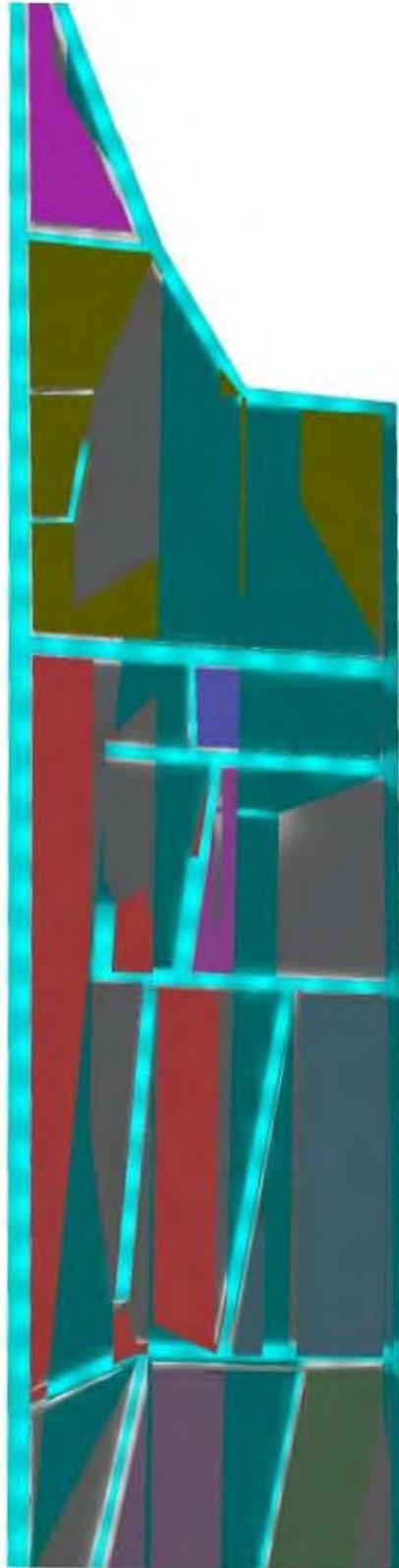
Nº	Designación	Tipo	Trama	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
1	Superficie de cálculo 1	perpendicular	128 x 128	14	2.40	29	0.170	0.083
2	Superficie de cálculo 2	perpendicular	128 x 128	15	1.73	30	0.113	0.057
3	Superficie de cálculo 3	perpendicular	128 x 128	16	6.24	30	0.396	0.206
4	Superficie de cálculo 4	perpendicular	128 x 128	17	2.64	31	0.152	0.084
5	Superficie de cálculo 5	perpendicular	128 x 128	17	4.55	31	0.271	0.147
6	Superficie de cálculo 6	perpendicular	128 x 128	15	4.86	27	0.324	0.177
7	Superficie de cálculo 7	perpendicular	128 x 128	15	5.69	28	0.369	0.207
8	Superficie de cálculo 8	perpendicular	128 x 128	17	8.78	28	0.519	0.319
9	Superficie de cálculo 9	perpendicular	128 x 128	17	9.43	29	0.541	0.329

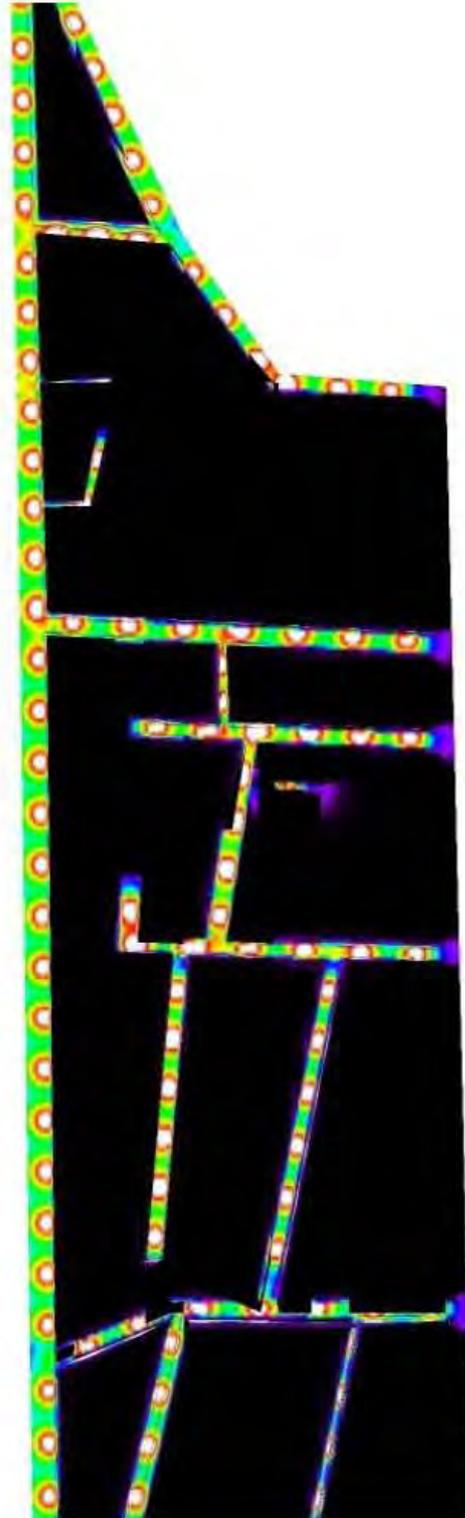
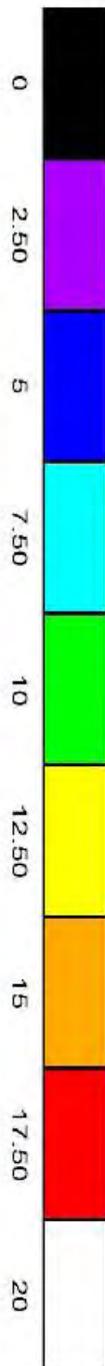
#### Lista de superficies de cálculo

Nº	Designación	Tipo	Trama	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}/E_m$	$E_{min}/E_{max}$
1C	Superficie de cálculo 10	perpendicular	128x128	16	7.39	27	0.454	0.275

#### Resumen de los resultados

**Rende ring (procesado) en 3D vista aérea con la iluminación encendida**





lx

**Rende ring (procesado) de colores falsos donde se ve el rendimiento de luxes por todas las áreas recreadas en 3D, el color refleja la cantidad de luxes.**