

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA**

**ILUMINACIÓN AUTOMÁTICA DE LOS ESPACIOS VERDES Y  
ÁREAS DE CIRCULACIÓN DE LA ESFOT CONTROLADO POR  
UN PLC Y UN TABLERO DE CONTROL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO  
ELECTROMECAÁNICO**

**FABRICIO HERNÁN LÓPEZ ANDRADE**

**ROBERTO FERNANDO OLIVO OROZCO**

**DIRECTOR: ING MARCO TORRES**

**QUITO, MARZO 2006**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Fabricio Hernán López Andrade, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley, Reglamento de Propiedad intelectual y por la normatividad institucional vigente.

---

Fabricio López Andrade

## **DECLARACIÓN**

Yo, Roberto Fernando Olivo Orozco, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley, Reglamento de Propiedad intelectual y por la normatividad institucional vigente.

---

Roberto Olivo Orozco

## **AGRADECIMIENTO**

Presentamos nuestro más profundo agradecimiento al Ing. Marco Torres Director del Proyecto, cuya dirección y aporte han hecho posible cristalizar y culminar satisfactoriamente con este trabajo.

De igual manera hacemos extensible este agradecimiento a todos quienes con su colaboración permitieron el desarrollo del proyecto. Y de manera especial a la Asociación de Estudiantes de Tecnólogos, entidad que nos demostró un gran apoyo moral y económico.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, hermanas y familiares quienes siempre me ayudaron a superarme con su constante apoyo.

---

Roberto Olivo Orozco

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos quienes siempre me ayudaron a superarme con su incondicional apoyo.

---

Fabrizio López Andrade

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por los señores Fabricio López Andrade y Roberto Olivo Orozco, bajo mi supervisión.

---

**ING. MARCO TORRES**

Director de Proyecto

## RESUMEN

El control industrial es usado ampliamente en el campo laboral, ya que tiene como finalidad automatizar procesos, motivo por el cual se lo debe conocer y estudiar de manera completa para su óptima aplicación. El control industrial se puede aplicar en procesos eléctricos, mecánicos, electromecánicos, electrónicos, etc.

En el control industrial intervienen básicamente dos circuitos: circuito de control propiamente dicho y un circuito de fuerza. En el circuito de control se puede tener elementos electromecánicos y elementos electrónicos programables (PLC). En el circuito de fuerza elementos electromecánicos (relés) o elementos de estado sólido SCR's, SSR (relés de estado sólido).

Un sistema de iluminación es un proceso que puede ser automatizado gracias al control industrial. Los factores que intervienen en el sistema de iluminación dependen de forma directa con el área que se quiere iluminar. Ventajosamente estos parámetros están estandarizados; primeramente hay que tomar en cuenta si la iluminación va a ser en interiores o exteriores, luego la actividad a realizarse en cada una de ellas, proseguir con aspectos personales como estética, necesidad, sentido común, para que luego se realice una selección del tipo de luminaria que satisfaga mayormente los aspectos anteriormente mencionados.

Lo que respecta a los cálculos en sistemas de iluminación para áreas exteriores existen dos métodos; el de los lúmenes totales y el de punto por punto o también llamado el de los nueve puntos. Ambos métodos de cálculo se los aplica dependiendo del tipo de áreas a iluminarse.

Una vez que se ha determinado el método de cálculo y el tipo de luminaria, se calcula la distancia y altura de montaje para obtener un óptimo haz luminoso y la cantidad de lúmenes apropiado de acuerdo con lo establecido anteriormente.

El montaje de las luminarias se realiza haciendo énfasis en aspectos arquitectónicos y físicos del área para determinar si las lámparas irán ancladas en paredes de edificaciones que hubiere o si van montadas sobre postes.

El tendido eléctrico de los cables se lo elabora igualmente de acuerdo a la selección anterior, si van anclados sobre paredes o techos el cableado será aéreo por tuberías de pvc o conduit anclado de forma correcta; pero si van sobre postes se hará un cableado subterráneo entre poste y poste, siendo este no menos a 60cm por debajo del nivel del suelo y con tubería adecuada para evitar la humedad y corrosión en los cables.

# CAPITULO 1

## 1.1 ILUMINACIÓN DE EXTERIORES

### 1.1.1 MAGNITUDES FOTOMETRICAS

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía. La energía se mide en joules (J) en el Sistema Internacional. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa, ni toda la energía que consume, por ejemplo, una bombilla se convierte en luz. Todo esto se ha de evaluar de alguna manera y para ello definiremos nuevas magnitudes:

#### Flujo luminoso

Para hacernos una primera idea consideraremos dos bombillas, una de 25 W y otra de 60 W. Está claro que la de 60 W dará una luz más intensa. Pues bien, esta es la idea: ¿cuál luce más? O dicho de otra forma ¿cuánto luce cada bombilla?



Fig. 1.1

Cuando hablamos de 25 W ó 60 W nos referimos sólo a la potencia consumida por la bombilla de la cual solo una parte se convierte en luz visible, es lo que se llama flujo luminoso. Podríamos medirlo en watts (W), pero parece más sencillo definir una nueva unidad, el **lumen**, que tome como referencia la radiación visible.

**Se define el flujo luminoso como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible.** Su símbolo es ( $\Phi$ ) y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre watts y lúmenes se le llama **equivalente luminoso de la energía** y equivale a:

1 watt-luz a 555 nm<sup>1</sup> = 683 lm

Flujo luminoso	Símbolo: $\Phi$
	Unidad: lumen (lm)

Fig. 1.2

### Intensidad luminosa

El flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo una bombilla, en todas las direcciones del espacio. Por otro lado, si pensamos en un proyector, es fácil ver que sólo ilumina en una dirección. Parece claro que necesitamos conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio y para eso definimos la intensidad luminosa.



Fig. 1.3 Diferencia entre flujo e intensidad luminosa

Se conoce como intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido<sup>2</sup> en una dirección concreta. Su símbolo es  $I$  y su unidad la candela (cd).

$I = \frac{\Phi}{\omega}$	Símbolo: $I$	
	Unidad: candela (cd)	

Fig. 1.4 Intensidad luminosa

<sup>1</sup> nm.- Es un submúltiplo del metro  $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$  nanómetro

<sup>2</sup> Ángulo Sólido.- es una magnitud suplementaria, en el *SI* su unidad es el Estereorradián (Sr),  $[\omega]$ , se lo obtiene al dar una revolución a un ángulo plano tomando como eje uno de los lados.

## Iluminancia

Quizás haya jugado alguna vez a iluminar con una linterna objetos situados a diferentes distancias. Si se pone la mano delante de la linterna podemos ver esta fuertemente iluminada por un círculo pequeño y si se ilumina una pared lejana el círculo es grande y la luz débil. Esta sencilla experiencia recoge muy bien el concepto de iluminancia.



**Fig. 1.5** Concepto de iluminancia

**Se define iluminancia como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un  $\text{lm}/\text{m}^2$ .**

Iluminancia	Símbolo: E	$\text{lux} = \frac{\text{lumen}}{\text{m}^2}$
$E = \frac{\Phi}{S}$	Unidad: lux (lx)	

**Fig. 1.6**

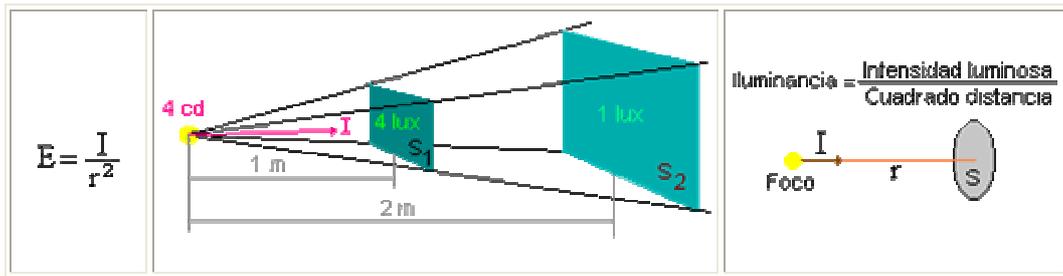
Existe también otra unidad, el *foot-candle* (fc), utilizada en países de habla inglesa cuya relación con el lux es:

$$1 \text{ fc} \approx 10 \text{ lx}^3$$

$$1 \text{ lx} \approx 0.1 \text{ fc}^3$$

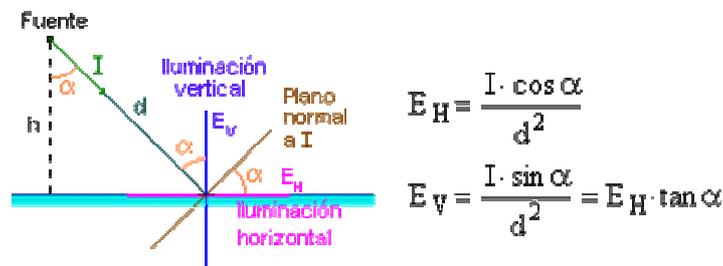
En el ejemplo de la linterna ya pudimos ver que la iluminancia depende de la distancia del foco al objeto iluminado. Es algo similar a lo que ocurre cuando oímos alejarse a un coche; al principio se oye alto y claro, pero después va disminuyendo hasta perderse. Lo que ocurre con la iluminancia se conoce por la ley inversa de los cuadrados que relaciona la intensidad luminosa (I) y la distancia a la fuente. Esta ley solo es válida si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie.

<sup>3</sup> 1 lux equivale a 0.1 foot candle según el sistema internacional S.I.



**Fig. 1.7** Ley inversa de los cuadrados

¿Qué ocurre si el rayo no es perpendicular? En este caso hay que descomponer la iluminancia recibida en una componente horizontal y en otra vertical a la superficie.



**Fig. 1.8**

En donde: **I** es la intensidad luminosa

**d** es la distancia del foco a la superficie horizontal

**h** es la altura del foco a la superficie horizontal

**Ev** es la componente vertical de la iluminancia E

**Eh** es la componente horizontal de la iluminancia E

A la componente horizontal de la iluminancia ( $E_H$ ) se le conoce como la ley del coseno. Es fácil ver que si  $\alpha = 0$  nos queda la ley inversa de los cuadrados. Si expresamos  $E_H$  y  $E_V$  en función de la distancia del foco a la superficie ( $h$ ) nos queda:

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$

$$E_V = \frac{I \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}$$

En general, si un punto está iluminado por más de una lámpara su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^3 \alpha_i}{h_i^2}$$

$$E_V = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^2 \alpha_i \sin \alpha_i}{h_i^2}$$

### Luminancia

Es la luz que llega al ojo, a fin de cuentas la que vemos. Tanto en el caso que veamos un foco luminoso como en el que veamos luz reflejada procedente de un cuerpo la definición es la misma. **Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada.** Su símbolo es L y su unidad es la lux/m<sup>2</sup>.

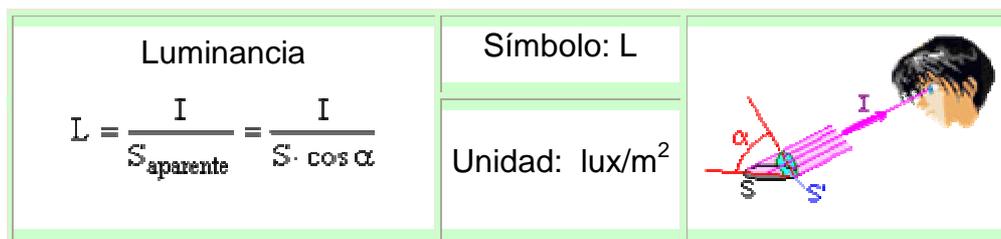


Fig. 1.9

Es importante destacar que sólo vemos luminancias, no iluminancias.

### Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa

Ya mencionamos al hablar del flujo luminoso que no toda la energía eléctrica consumida por una lámpara (bombilla, fluorescente, etc.) se transformaba en luz visible. Parte se pierde por calor, parte en forma de radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta), etc.



Fig. 1.10 Rendimiento Luminoso

Para hacernos una idea de la porción de energía útil definimos el rendimiento luminoso como el “cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, que viene con las características de las lámparas (25 W, 60 W...). Mientras mayor sea el rendimiento luminoso mejor será la lámpara en eficiencia y menos se gastará en unidades de ”. La unidad es el lumen por watt (lm/W).

$\eta = \frac{\Phi}{W}$	Símbolo: $\eta$	Rendimiento = $\frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Potencia consumida}}$
	Unidad: lm / W	

**Fig. 1.11.** Rendimiento luminoso

**Tabla 1-1** Rendimiento luminoso y vida útil para diferentes tipos de lámparas

TIPO DE LÁMPARA	POTENCIA (W)	RENDIMIENTO (LUMEN/W)	VIDA ÚTIL (H)
INCANDESCENTES	1 A 2000	8 A 20	1000
HALÓGENOS	3 A 10000	18 A 22	2000
FLUORESCENTES TUBULARES	4 A 215	40 A 93	12000 (*)
FLUORESCENTES COMPACTAS	5 A 36	50 A 82	6000 (*)
VAPOR DE MERCURIO	50 A 2000	40 A 58	16000 (*)
HALOGENUROS METÁLICOS	75 A 3500	60 A 95	1000 A 6000 (*)
VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN	50 A 1000	66 A 135	16000 (*)
VAPOR DE SODIO DE BAJA PRESIÓN	18 A 180	100 A 183	10000 (*)

(\*) Encendidos de 10 horas de duración diarias

Para cualquier tipo de fuente de luz, la eficacia luminosa aumenta con la potencia, por este motivo, es más rentable utilizar una lámpara de una potencia para un valor necesitado, en vez de dos de la mitad de la potencia.

Como por ejemplo si necesito iluminar un área determinada con 300W es más rentable usar la lámpara de 300W y no dos de 150W.

### Cantidad de luz

Esta magnitud sólo tiene importancia para conocer el flujo luminoso que es capaz de dar un flash fotográfico o para comparar diferentes lámparas según la luz que emiten durante un cierto período de tiempo. Su símbolo es Q y su unidad es el lúmen por segundo (lm·s).

Cantidad de luz	Símbolo: Q
$Q = \Phi \cdot t$	Unidad: lm·s

## GRAFICAS Y DIAGRAMAS

Cuando se habla en fotometría de magnitudes y unidades de medida se definen una serie de términos y leyes que describen el comportamiento de la luz y sirven como herramientas de cálculo. Pero no hemos de olvidar que las hipótesis utilizadas para definirlos son muy restrictivas (fuente puntual, distribución del flujo esférica y homogénea, etc.). Aunque esto no invalida los resultados y conclusiones obtenidas, nos obliga a buscar nuevas herramientas de trabajo, que describan mejor la realidad, como son las tablas, gráficos o programas informáticos. De todos los inconvenientes planteados, el más grave se encuentra en la forma de la distribución del flujo luminoso que depende de las características de las lámparas y luminarias empleadas.



**Fig. 1.12** Influencia de la luminaria en la forma del haz de luz.

A menudo no se le dará mucha importancia a este tema, como pasa en la iluminación de interiores, pero es fundamental si queremos optimizar la instalación o en temas como la iluminación de calles, decorativa, de industrias o de instalaciones deportivas.

A continuación veremos los gráficos más habituales en luminotecnia:

- Diagrama polar o curva de distribución luminosa.
- Diagramas isocandela.
  - Alumbrado por proyección.
  - Alumbrado público. Proyección azimutal de Lambert.
- Curvas isolux.

## Diagrama polar o curvas de distribución luminosa

En estos gráficos la intensidad luminosa se representa mediante un sistema de tres coordenadas ( $I, C, \gamma^4$ ). La primera de ellas  $I$  representa el valor numérico de la intensidad luminosa en lux además indica la longitud del vector mientras las otras señalan la dirección. El ángulo  $C$  nos dice en qué plano vertical estamos y  $\gamma$  mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. En este último,  $0^\circ$  señala la vertical hacia abajo,  $90^\circ$  la horizontal y  $180^\circ$  la vertical hacia arriba. Los valores de  $C$  utilizados en las gráficas no se suelen indicar salvo para el alumbrado público. En este caso, los ángulos entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  quedan en el lado de la calzada y los comprendidos entre  $180^\circ$  y  $360^\circ$  en la acera;  $90^\circ$  y  $270^\circ$  son perpendiculares al bordillo y caen respectivamente en la calzada y en la acera.

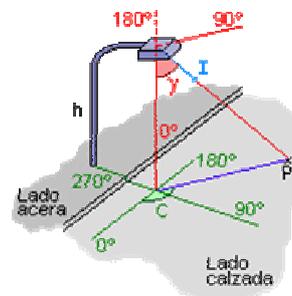


Fig. 1.13

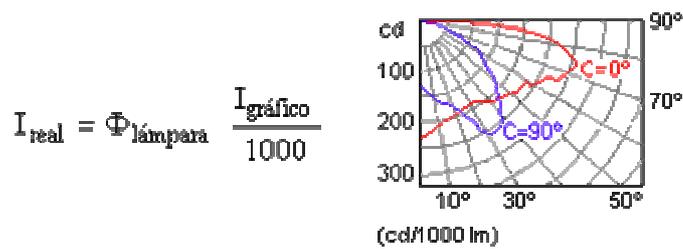
Con un sistema de tres coordenadas es fácil pensar que más que una representación plana tendríamos una tridimensional. De hecho, esto es así y si representamos en el espacio todos los vectores de la intensidad luminosa en sus respectivas direcciones y uniríamos después sus extremos, obtendríamos un cuerpo llamado **sólido fotométrico**. Pero como trabajar en tres dimensiones es muy incómodo, se corta el sólido con planos verticales para diferentes valores del ángulo  $C$  (suelen ser uno, dos, tres o más dependiendo de las simetrías de la figura) y se reduce a la representación plana de las curvas más características.

En la **curva de distribución luminosa**, los radios representan el ángulo  $\gamma$  y las circunferencias concéntricas el valor de la intensidad en candelas. De todos los planos verticales posibles identificados por el ángulo  $C$ , solo se

---

<sup>4</sup>  $\gamma$  menor ángulo entre el vector de la intensidad luminosa y la vertical

suelen representar los planos verticales correspondientes a los planos de simetría y los transversales a estos ( $C = 0^\circ$  y  $C = 90^\circ$ ) y aquel en que la lámpara tiene su máximo de intensidad. Para evitar tener que hacer un gráfico para cada lámpara cuando solo varía la potencia de esta, los gráficos se normalizan para una lámpara de referencia de 1000 lm. Para conocer los valores reales de las intensidades bastará con multiplicar el flujo luminoso real de la lámpara por la lectura en el gráfico y dividirlo por 1000 lm.

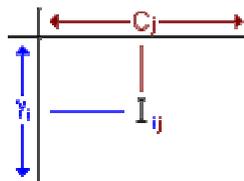


**Fig. 1.14**

Como por ejemplo si se tiene una lámpara de 100W con un flujo luminoso

### Matriz de intensidades luminosas

También es posible encontrar estos datos en unas tablas llamadas **matriz de intensidades luminosas** donde para cada pareja de valores de  $C$  y  $\gamma$  obtenemos un valor de  $I$  normalizado para una lámpara de flujo de 1000 lm.



**Fig. 1.15**

### Diagramas isocandela

A pesar de que las curvas de distribución luminosa son herramientas muy útiles y prácticas, presentan el gran inconveniente de que sólo nos dan información de lo que ocurre en unos pocos planos meridionales (para algunos valores de  $C$ ) y no sabemos a ciencia cierta qué pasa en el resto. Para evitar estos inconvenientes y conjugar una representación plana con información sobre la intensidad en cualquier dirección se definen las curvas isocandela.

En los **diagramas isocandelas** se representan en un plano, mediante curvas de nivel, los puntos de igual valor de la intensidad luminosa. Cada punto indica una dirección del espacio definida por dos coordenadas angulares. Según cómo se escojan estos ángulos, distinguiremos dos casos:

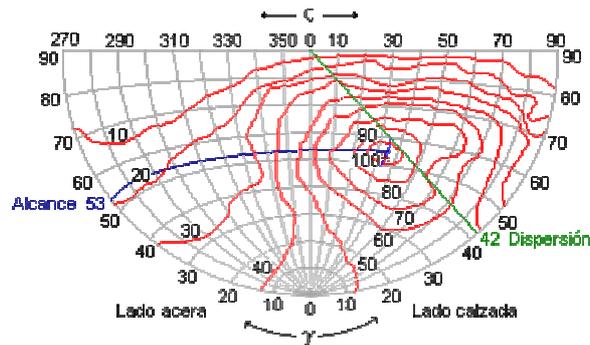
- Proyector para alumbrado por proyección.
- Luminaria para alumbrado público. Proyección azimutal de Lambert.

En los **proyector**s se utiliza un sistema de coordenadas rectangulares con ángulos en lugar de las típicas  $x$  e  $y$ . Para situar una dirección se utiliza un sistema de meridianos y paralelos similar al que se usa con la Tierra. El paralelo  $0^\circ$  se hace coincidir con el plano horizontal que contiene la dirección del haz de luz y el meridiano  $0^\circ$  con el plano perpendicular a este. Cualquier dirección, queda pues, definida por sus dos coordenadas angulares. Conocidas estas, se sitúan los puntos sobre el gráfico y se unen aquellos con igual valor de intensidad luminosa formando las **líneas isocandelas**.



**Fig. 1.16**

En las **luminarias para alumbrado público**, para definir una dirección, se utilizan los ángulos  $C$  y  $\gamma$  usados en los diagramas polares. Se supone la luminaria situada dentro de una esfera y sobre ella se dibujan las líneas isocandelas. Los puntos de las curvas se obtienen por intersección de los vectores de intensidad luminosa con la superficie de esta. Para la representación plana de la superficie se recurre a la proyección azimutal de Lambert.



**Fig. 1.17** El centro de la luminaria en este grafico está en el punto O del eje **C**

En estos gráficos, los meridianos representan el ángulo **C**, los paralelos  $\gamma$  y las intensidades, líneas rojas, se reflejan en tanto por ciento de la intensidad máxima. Como en este tipo de proyecciones las superficies son proporcionales a las originales, el flujo luminoso se calcula como el producto del área en el diagrama (en estereorradianes) por la intensidad luminosa en esta área.

Además de intensidades y flujos, este diagrama informa sobre el alcance y la dispersión de la luminaria. El alcance da una idea de la distancia longitudinal máxima que alcanza el haz de luz en la calzada mientras que la dispersión se refiere a la distancia transversal.

### Curvas Isolux

Las curvas vistas en los apartados anteriores (diagramas polares e isocandelas) se obtienen a partir de características de la fuente luminosa, flujo o intensidad luminosa, y dan información sobre la forma y magnitud de la emisión luminosa de esta. Por contra, las curvas isolux hacen referencia a las iluminancias, flujo luminoso recibido por una superficie, datos que se obtienen experimentalmente o por cálculo a partir de la matriz de intensidades usando la fórmula:

$$E_H = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cdot \cos^3 \gamma$$

En donde: **I** es la intensidad luminosa

**C** es el ángulo que indica el plano en el q se esta trabajando

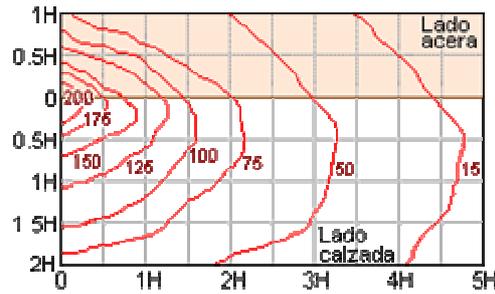
$\gamma$  el ángulo que forma la intensidad luminosa y la vertical

**E<sub>h</sub>** componente horizontal de la iluminancia **E**

**H** altura a la que esta la lámpara

Estos gráficos son muy útiles porque dan información sobre la cantidad de luz recibida en cada punto de la superficie de trabajo y son utilizadas especialmente en el alumbrado público donde de un vistazo nos podemos hacer una idea de como iluminan las luminarias la calle.

Lo más habitual es expresar las **curvas isolux en valores absolutos definidos para una lámpara de 1000 lm y una altura de montaje de 1 m.**



**Fig. 1.18** Curva Isolux

Los valores reales se obtienen a partir de las curvas usando la expresión:

$$E_{H_{real}} = E_{curva} \cdot \frac{\Phi_{L_{real}}}{1000} \cdot \frac{1^2}{H^2}$$

También puede expresarse en **valores relativos a la iluminancia máxima (100%) para cada altura de montaje.** Los valores reales de la iluminancia se calculan entonces como:

$$E_{real} = E_{curva} \cdot E_{m\acute{a}x}$$

con

$$E_{m\acute{a}x} = a \cdot \frac{\Phi_{L_{real}}}{H^2}$$

En donde: **E<sub>H<sub>real</sub></sub>** es el valor real de la componente horizontal de la iluminancia

**E<sub>curva</sub>** es la iluminancia en la curva a partir de la lámpara de 1000lm y la altura de montaje 1m

**H** la altura de montaje

**Φ<sub>L<sub>real</sub></sub>** es el flujo luminoso por la luminancia real

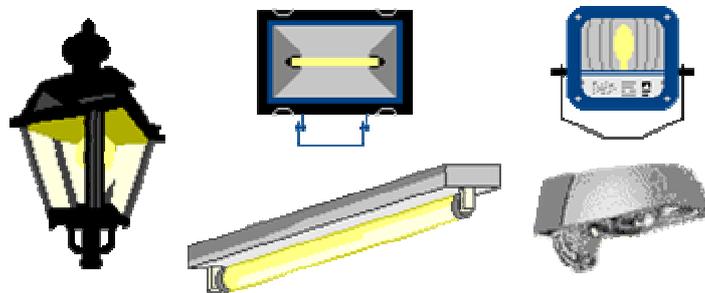
**a** es un parámetro dado en las gráficas

**E<sub>máx</sub>** la iluminancia máxima calculada a partir de **a** y de **Φ<sub>L<sub>real</sub></sub>**

## 1.1.2 LÁMPARAS Y LUMINARIAS

Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica de las lámparas. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

En el ámbito de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante, pues, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el [rendimiento](#) del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios. Otros requisitos que debe cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.



Ejemplos de luminarias

Fig. 1.19

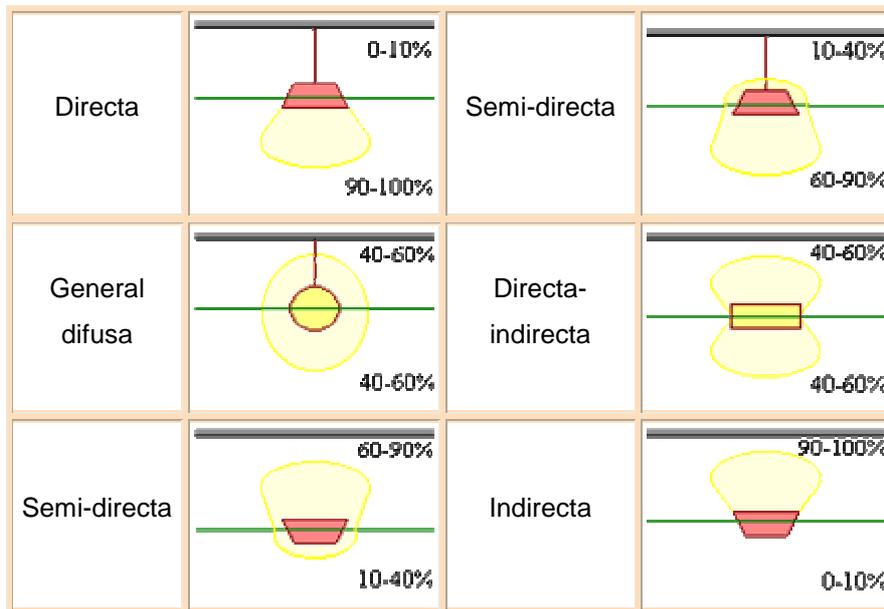
### 1.1.2.1 Clasificación

Las luminarias pueden clasificarse de muchas maneras aunque lo más común es utilizar criterios ópticos, mecánicos o eléctricos.

#### 1.1.2.1.1 Clasificación Según Las Características Ópticas De La Lámpara

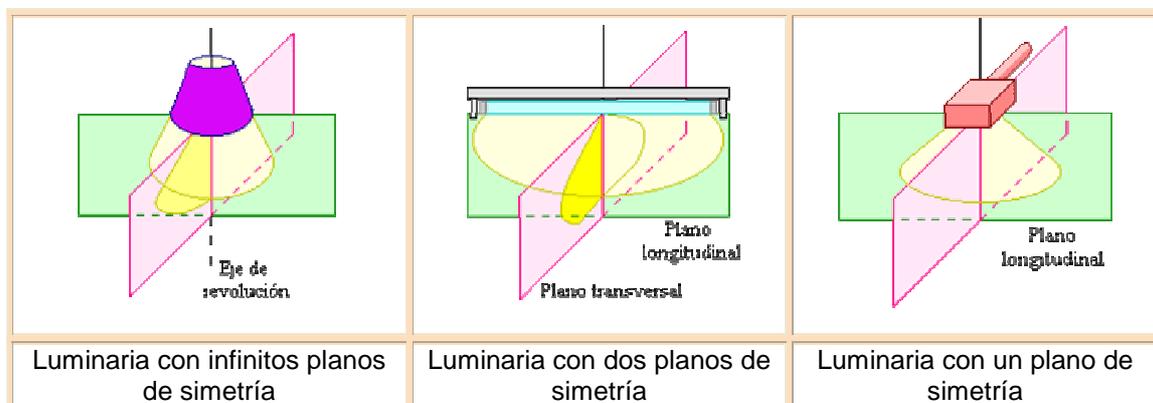
Una primera manera de clasificar las luminarias es según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal imaginario que

atraviesa la lámpara. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumine hacia el techo o al suelo. Según esta clasificación se distinguen seis clases.



**Fig. 1.20** Clasificación CIE<sup>5</sup> según la distribución de la luz

Otra clasificación posible es atendiendo al número de planos de simetría que tenga el [sólido fotométrico](#). Así, podemos tener luminarias con simetría de revolución que tienen infinitos planos de simetría y por tanto nos basta con uno de ellos para conocer lo que pasa en el resto de planos (por ejemplo un proyector o una lámpara tipo globo), con dos planos de simetría (transversal y longitudinal) como los fluorescentes y con un plano de simetría (el longitudinal) como ocurre en las luminarias de alumbrado público.



**Fig. 1.21** Clasificación según los planos de simetría

<sup>5</sup> CIE.- siglas de Código Internacional de Electrificación



### 1.1.2.2 Otras Clasificaciones

Otras clasificaciones posibles son según la aplicación a la que esté destinada la luminaria (alumbrado viario, alumbrado peatonal, proyección, industrial, comercial, oficinas, doméstico...) o según el tipo de lámparas empleado (para lámparas incandescentes o fluorescentes).

### 1.1.3 TIPOS DE LÁMPARAS

#### 1.1.3.1 Lámparas Incandescentes

Las lámparas incandescentes fueron la primera forma de generar luz a partir de la energía eléctrica. Desde que fueran inventadas, la tecnología ha cambiado mucho produciéndose sustanciosos avances en la cantidad de luz producida, el consumo y la duración de las lámparas. Su principio de funcionamiento es simple, se pasa una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano.

#### La incandescencia

Todos los cuerpos calientes emiten energía en forma de radiación electromagnética. Mientras más alta sea su temperatura mayor será la energía emitida y la porción del [espectro electromagnético](#) ocupado por las radiaciones emitidas. Si el cuerpo pasa la temperatura de incandescencia una buena parte de estas radiaciones caerán en la zona visible del espectro y obtendremos luz.

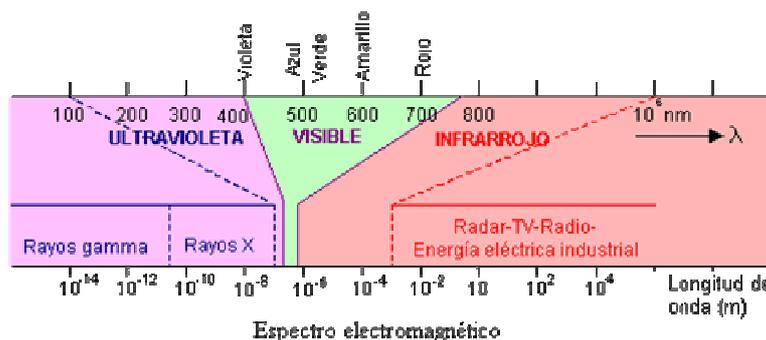


Fig. 1.22

La incandescencia se puede obtener de dos maneras. La primera es por combustión de alguna sustancia, ya sea sólida como una antorcha de madera, líquida como en una lámpara de aceite o gaseosa como en las lámparas de

gas. La segunda es pasando una corriente eléctrica a través de un hilo conductor muy delgado como ocurre en los focos corrientes. Tanto de una forma como de otra, obtenemos luz y calor (ya sea calentando las moléculas de aire o por radiaciones infrarrojas). En general los rendimientos de este tipo de lámparas son bajos debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor.



**Fig. 1.23** Rendimiento de una lámpara incandescente

La producción de luz mediante la incandescencia tiene una ventaja adicional, y es que la luz emitida contiene todas las longitudes de onda que forman la luz visible o dicho de otra manera, su espectro de emisiones es continuo. De esta manera se garantiza una buena reproducción de los [colores](#) de los objetos iluminados.

### **Características de una lámpara incandescente**

Entre los parámetros que sirven para definir una lámpara tenemos las características fotométricas: la [intensidad luminosa](#), el [flujo luminoso](#) y el [rendimiento o eficiencia](#). Además de estas, existen otros que nos informan sobre la calidad de la [reproducción de los colores](#) y los [parámetros de duración](#) de las lámparas.

### **Características cromáticas**

Los colores que vemos con nuestros ojos dependen en gran medida de las características cromáticas de las fuentes de luz. Por ejemplo, no se ve igual una calle de noche con lámparas de luz blanca (Hg. mercurio) que con lámparas de luz amarilla (Na sodio).

A la hora de describir las cualidades cromáticas de las fuentes de luz se ha de considerar dos aspectos. El primero trata sobre el color que presenta la fuente. Y el segundo describe cómo son reproducidos los colores de los objetos iluminados por esta.

Para evaluarlos se utilizan dos parámetros: la temperatura de color<sup>7</sup> y el rendimiento de color que se mide con el IRC<sup>8</sup>.

La **temperatura de color** hace referencia al color de la fuente luminosa. Su valor coincide con la temperatura a la que un cuerpo negro tiene una apariencia de color similar a la de la fuente considerada. Esto se debe a que sus espectros electromagnéticos respectivos tienen una distribución espectral similar. Conviene aclarar que los conceptos temperatura de color y temperatura de filamento son diferentes y no tienen porque coincidir sus valores.

El **rendimiento en color**, por contra, hace referencia a cómo se ven los colores de los objetos iluminados. Nuestra experiencia nos indica que los objetos iluminados por un fluorescente no se ven del mismo tono que aquellos iluminados por bombillas. En el primer caso destacan más los tonos azules mientras que en el segundo lo hacen los rojos. Esto se debe a que la luz emitida por cada una de estas lámparas tiene un alto porcentaje de radiaciones monocromáticas de color azul o rojo.



**Fig. 1.24** Efecto del color de la fuente sobre el color de los objetos

Para establecer el rendimiento en color se utiliza el **índice de rendimiento de color (IRC o  $R_a$ )** que compara la reproducción de una muestra de colores normalizada iluminada con nuestra fuente con la reproducción de la misma muestra iluminada con una fuente patrón de referencia.

### **Características de duración**

La duración de una lámpara viene determinada básicamente por la temperatura de trabajo del filamento. Mientras más alta sea esta, mayor será el flujo luminoso pero también la velocidad de evaporación del material que forma el

<sup>7</sup> Temperatura de color.- cada color tiene su temperatura

<sup>8</sup> IRC.- siglas de Índice de Rendimiento de Color

filamento. Las partículas evaporadas, cuando entren en contacto con las paredes se depositarán sobre estas, ennegreciendo la ampolla. De esta manera se verá reducido el flujo luminoso por ensuciamiento de la ampolla. Pero, además, el filamento se habrá vuelto más delgado por la evaporación del tungsteno que lo forma y se reducirá, en consecuencia, la corriente eléctrica que pasa por él, la temperatura de trabajo y el flujo luminoso. Esto seguirá ocurriendo hasta que finalmente se rompa el filamento. A este proceso se le conoce como depreciación luminosa.

Para determinar la **vida de una lámpara** disponemos de diferentes parámetros según las condiciones de uso definidas.

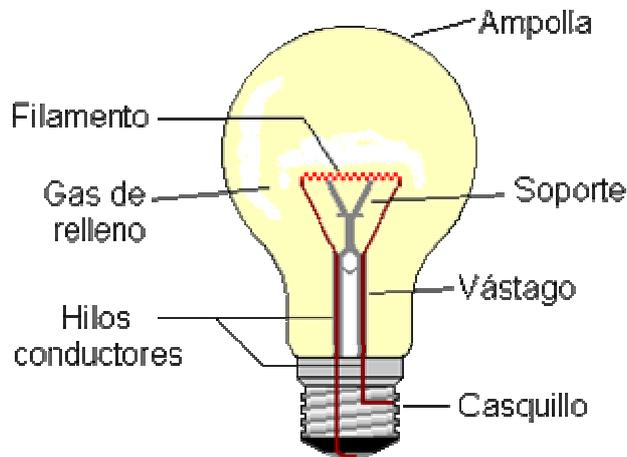
- La **vida individual** es el tiempo transcurrido en horas hasta que una lámpara se estropea, trabajando en unas condiciones determinadas.
- La **vida promedio** es el tiempo transcurrido hasta que se produce el fallo de la mitad de las lámparas de un lote representativo de una instalación, trabajando en unas condiciones determinadas.
- La **vida útil** es el tiempo estimado en horas tras el cual es preferible sustituir un conjunto de lámparas de una instalación a mantenerlas. Esto se hace por motivos económicos y para evitar una disminución excesiva en los niveles de iluminación en la instalación debido a la depreciación que sufre el flujo luminoso con el tiempo. Este valor sirve para establecer los periodos de reposición de las lámparas de una instalación.
- La **vida media** es el tiempo medio que resulta tras el análisis y ensayo de un lote de lámparas trabajando en unas condiciones determinadas.

La duración de las lámparas incandescentes está normalizada; siendo de unas 1000 horas para las normales, para las [halógenas](#) es de 2000 horas para aplicaciones generales y de 4000 horas para las especiales.

### **Partes de una lámpara**

Las lámparas incandescentes están formadas por un **hilo de wolframio** que se calienta por efecto Joule alcanzando temperaturas tan elevadas que empieza a emitir luz visible. Para evitar que el filamento se queme en contacto con el aire, se rodea con una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho el vacío o se ha

rellenado con un gas. El conjunto se completa con unos elementos con funciones de soporte y conducción de la corriente eléctrica y un casquillo normalizado que sirve para conectar la lámpara a la luminaria.



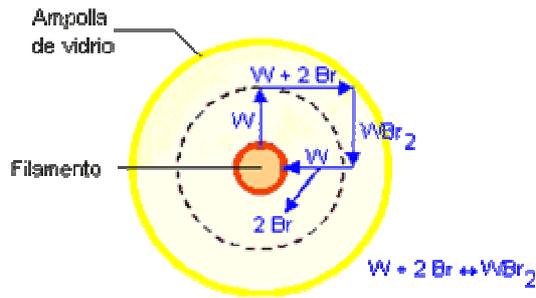
Partes de una bombilla

**Fig. 1.25**

### 1.1.3.2 Lámparas Halógenas De Alta Y Baja Tensión

En las lámparas incandescentes normales, con el paso del tiempo, se produce una disminución significativa del flujo luminoso. Esto se debe, en parte, al ennegrecimiento de la ampolla por culpa de la evaporación de partículas de wolframio del filamento y su posterior condensación sobre la ampolla.

Agregando una pequeña cantidad de un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo), normalmente se usa el  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ , al gas de relleno se consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento. Cuando el tungsteno (W) se evapora se une al bromo formando el bromuro de wolframio ( $\text{WBr}_2$ ). Como las paredes de la ampolla están muy calientes (más de  $260\text{ }^\circ\text{C}$ ) no se deposita sobre estas y permanece en estado gaseoso. Cuando el bromuro de wolframio entra en contacto con el filamento, que está muy caliente, se descompone en W que se deposita sobre el filamento y Br que pasa al gas de relleno. Y así, el ciclo vuelve a empezar.



**Fig. 1.26** Ciclo del halógeno

El funcionamiento de este tipo de lámparas requiere de temperaturas muy altas para que pueda realizarse el ciclo del halógeno. Por eso, son más pequeñas y compactas que las lámparas normales y la ampolla se fabrica con un cristal especial de cuarzo que impide manipularla con los dedos para evitar su deterioro.

Tienen una eficacia luminosa de 22 lm/W con una amplia gama de potencias de trabajo (150 a 2000W) según el uso al que estén destinadas. Las lámparas halógenas se utilizan normalmente en alumbrado por proyección y es usada cada vez más en iluminación doméstica.

Un ejemplo patético que tiene que ver con su temperatura y la proyección de su haz luminoso, es que es usada la lámpara de halógeno en locales de comida rápida para mantener calientes las papas fritas.

### 1.1.3.3 Lámparas De Descarga

Las lámparas de descarga constituyen una forma alternativa de producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. Por eso, su uso está tan extendido hoy en día. La luz emitida se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté sometido tendremos diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas con sus propias características luminosas.

## Funcionamiento

En las lámparas de descarga, la luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno con un gas que es posteriormente ionizado.

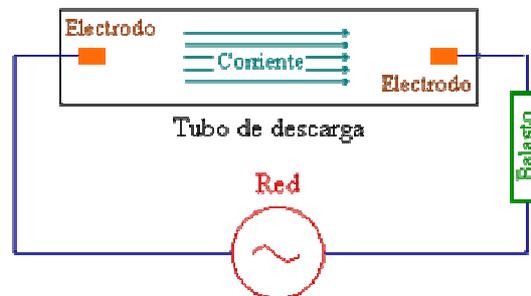
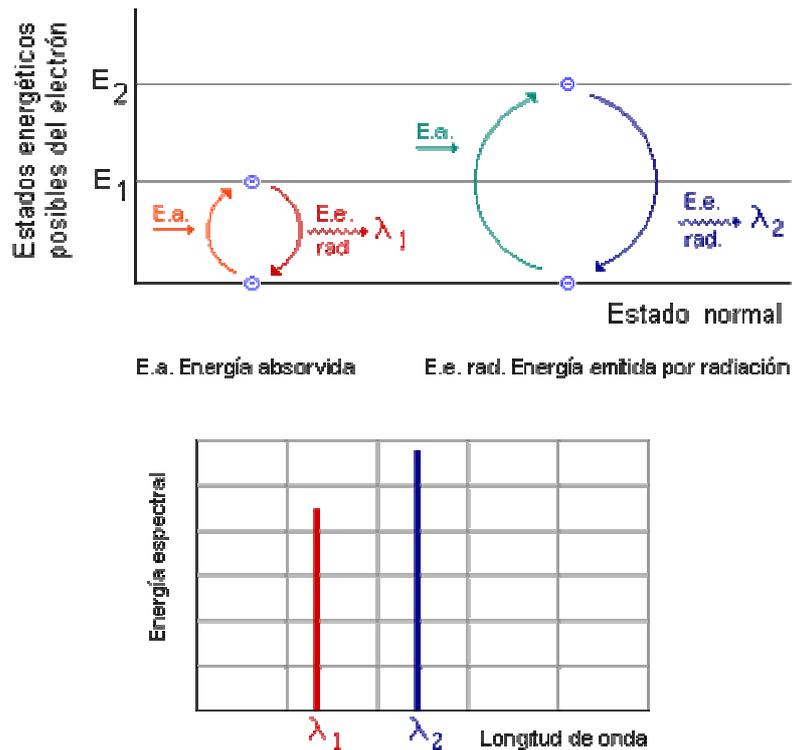


Fig. 1.27

En el interior del tubo, se producen descargas eléctricas como consecuencia de la diferencia de potencial entre los electrodos. Estas descargas provocan un flujo de electrones que atraviesa el gas. Cuando uno de ellos choca con los electrones de las capas externas de los átomos les transmite energía y pueden suceder dos cosas.

La primera posibilidad, es que la energía transmitida en el choque sea lo suficientemente elevada para poder arrancar al electrón de su órbita. Este, puede a su vez, chocar con los electrones de otros átomos repitiendo el proceso. Si este proceso no se limita, se puede provocar la destrucción de la lámpara por un exceso de corriente.

La otra posibilidad es que el electrón no reciba suficiente energía para ser arrancado. En este caso, el electrón pasa a ocupar otro orbital de mayor energía. Este nuevo estado acostumbra a ser inestable y rápidamente se vuelve a la situación inicial. Al hacerlo, el electrón libera la energía extra en forma de radiación electromagnética, principalmente ultravioleta (UV) o visible. Un electrón no puede tener un estado energético cualquiera, sino que sólo puede ocupar unos pocos estados que vienen determinados por la estructura atómica del átomo. Como la longitud de onda de la radiación emitida es proporcional a la diferencia de energía entre los estados iniciales y final del electrón y los estados posibles no son infinitos, es fácil comprender que el espectro de estas lámparas sea discontinuo.



**Fig. 1.28** Relación entre los estados energéticos de los electrones y las franjas visibles en el espectro

La consecuencia de esto es que la luz emitida por la lámpara no es blanca (por ejemplo en las lámparas de sodio a baja presión es amarillenta). Por lo tanto, la capacidad de reproducir los colores de estas fuentes de luz es, en general, peor que en el caso de las lámparas incandescentes que tienen un espectro continuo. Es posible, recubriendo el tubo con sustancias fluorescentes, mejorar la reproducción de los colores y aumentar la eficacia de las lámparas convirtiendo las nocivas emisiones ultravioletas en luz visible.

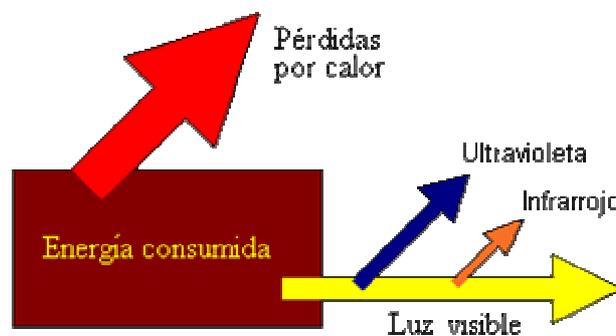
### Elementos auxiliares

Para que las lámparas de descarga funcionen correctamente es necesario, en la mayoría de los casos, la presencia de unos elementos auxiliares: cebadores y balastos. Los **cebadores** o **ignitores** son dispositivos que suministran un breve pico de tensión entre los electrodos del tubo, necesario para iniciar la descarga y vencer así la resistencia inicial del gas a la corriente eléctrica. Tras el encendido, continua un periodo transitorio durante el cual el gas se estabiliza y que se caracteriza por un consumo de potencia superior al nominal.

Los **balastos** son dispositivos que sirven para limitar la corriente que atraviesa la lámpara y evitar así un exceso de electrones circulando por el gas que aumentaría el valor de la corriente hasta producir la destrucción de la lámpara.

### Eficacia

Al establecer la eficacia de este tipo de lámparas hay que diferenciar entre la eficacia de la fuente de luz y la de los elementos auxiliares necesarios para su funcionamiento que depende del fabricante. En las lámparas, las pérdidas se centran en dos aspectos: las pérdidas por calor y las pérdidas por radiaciones no visibles (ultravioleta e infrarrojo). El porcentaje de cada tipo dependerá de la clase de lámpara con que trabajemos.



**Fig. 1.29** Balance energético de una lámpara de descarga

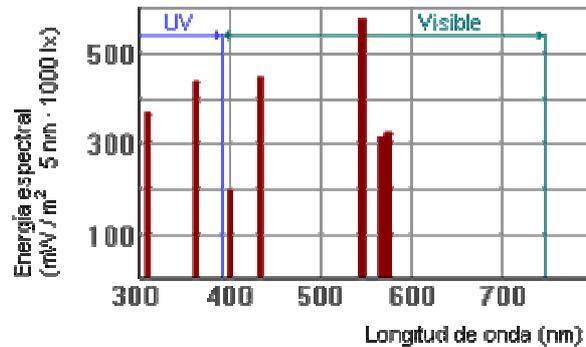
La eficacia de las lámparas de descarga oscila entre los 19-28 lm/W de las lámparas de luz de mezcla y los 100-183 lm/W de las de sodio a baja presión.

**Tabla 1-2** Eficacia sin balasto de varios tipos de lámparas

Tipo de lámpara	Eficacia sin balasto (lm/W)
Fluorescentes	38-91
Luz de mezcla	19-28
Mercurio a alta presión	40-63
Halogenuros metálicos	75-95
Sodio a baja presión	100-183
Sodio a alta presión	70-130

### Características cromáticas

Debido a la forma discontinua del espectro de estas lámparas, la luz emitida es una mezcla de unas pocas radiaciones monocromáticas; en su mayor parte en la zona ultravioleta (UV) o visible del espectro. Esto hace que la reproducción del color no sea muy buena y su rendimiento en color tampoco.



**Fig. 1.30** Ejemplo de espectro de una lámpara de descarga

Para solucionar este problema podemos tratar de completar el espectro con radiaciones de longitudes de onda distintas a las de la lámpara. La primera opción es combinar en una misma lámpara dos fuentes de luz con espectros que se complementen como ocurre en las lámparas de luz de mezcla (incandescencia y descarga). También podemos aumentar la presión del gas. De esta manera se consigue aumentar la anchura de las líneas del espectro de manera que formen bandas anchas y más próximas entre sí. Otra solución es añadir sustancias sólidas al gas, que al vaporizarse emitan radiaciones monocromáticas complementarias. Por último, podemos recubrir la pared interna del tubo con unas sustancias fluorescente que conviertan los rayos ultravioletas en radiaciones visibles.

### Características de duración

Hay dos aspectos básicos que afectan a la duración de las lámparas. El primero es la depreciación del flujo. Este se produce por ennegrecimiento de la superficie de la superficie del tubo donde se va depositando el material emisor de electrones que recubre los electrodos. En aquellas lámparas que usan sustancias fluorescentes otro factor es la pérdida gradual de la eficacia de estas sustancias.

El segundo es el deterioro de los componentes de la lámpara que se debe a la degradación de los electrodos por agotamiento del material emisor que los recubre. Otras causas son un cambio gradual de la composición del gas de relleno y las fugas de gas en lámparas a alta presión.

**Tabla 1-3 Vida promedio de varios tipos de lámparas**

<b>Tipo de lámpara</b>	<b>Vida promedio (h)</b>
Fluorescente estándar	12500
Luz de mezcla	9000
Mercurio a alta presión	25000
Halogenuros metálicos	11000
Sodio a baja presión	23000
Sodio a alta presión	23000

### **Factores externos que influyen en el funcionamiento**

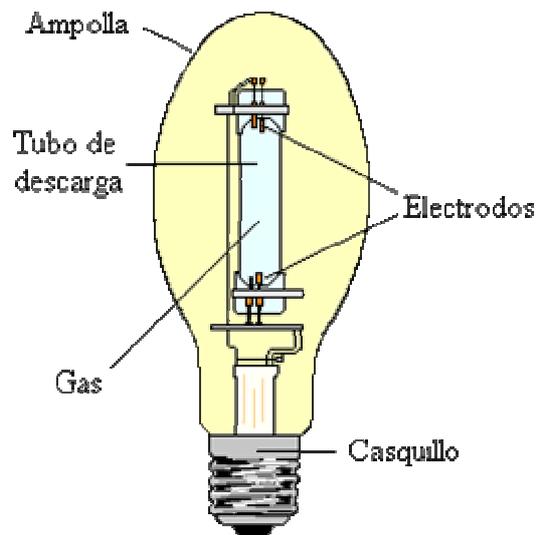
Los factores externos que más influyen en el funcionamiento de la lámpara son la temperatura ambiente y la influencia del número de encendidos.

Las lámparas de descarga son, en general, sensibles a las temperaturas exteriores. Dependiendo de sus características de construcción (tubo desnudo, ampolla exterior...) se verán más o menos afectadas en diferente medida. Las lámparas a alta presión, por ejemplo, son sensibles a las bajas temperaturas en que tienen problemas de arranque. Por contra, la temperatura de trabajo estará limitada por las características térmicas de los componentes (200° C para el casquillo y entre 350° y 520° C para la ampolla según el material y tipo de lámpara).

La influencia del número de encendidos es muy importante para establecer la duración de una lámpara de descarga ya que el deterioro de la sustancia emisora de los electrodos depende en gran medida de este factor.

## Partes de una lámpara

Las formas de las lámparas de descarga varían según la clase de lámpara con que tratemos. De todas maneras, todas tienen una serie de elementos en común como el tubo de descarga, los electrodos, la ampolla exterior o el casquillo.



**Fig. 1.31** Principales partes de una lámpara de descarga

### 1.1.3.3.1. Clases De Lámparas De Descarga

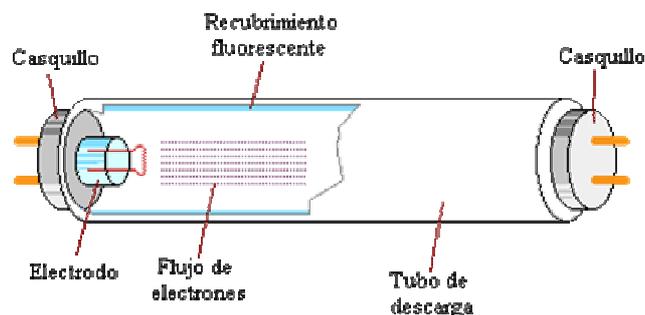
Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.

- Lámparas de vapor de mercurio:
  - Baja presión:
    - [Lámparas fluorescentes](#)
  - Alta presión:
    - [Lámparas de vapor de mercurio a alta presión](#)
    - [Lámparas de luz de mezcla](#)
    - [Lámparas con halogenuros metálicos](#)
- Lámparas de vapor de sodio:
  - Lámparas de vapor de sodio a baja presión
  - Lámparas de vapor de sodio a alta presión

### 1.1.3.4. Lámparas De Vapor De Mercurio A Baja Presión

#### 1.1.3.4.1. Lámparas Fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión ( $0.8 \text{ Pa}^9$ ). En estas condiciones, en el espectro de emisión del mercurio predominan las radiaciones ultravioletas en la banda de  $253.7 \text{ nm}^{10}$ . Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles. De la composición de estas sustancias dependerán la cantidad y calidad de la luz, y las cualidades cromáticas de la lámpara. En la actualidad se usan dos tipos de polvos; los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten un espectro de tres bandas con los colores primarios. De la combinación estos tres colores se obtiene una luz blanca que ofrece un buen rendimiento de color sin penalizar la eficiencia como ocurre en el caso del espectro continuo.



**Fig. 1.32** Lámpara fluorescente

Las lámparas fluorescentes se caracterizan por carecer de ampolla exterior. Están formadas por un tubo de diámetro normalizado, normalmente cilíndrico, cerrado en cada extremo con un casquillo de dos contactos donde se alojan los electrodos. El tubo de descarga está relleno con vapor de mercurio a baja presión y una pequeña cantidad de un gas inerte que sirve para facilitar el encendido y controlar la descarga de electrones.

La eficacia de estas lámparas depende de muchos factores: potencia de la lámpara, tipo y presión del gas de relleno, propiedades de la sustancia

<sup>9</sup> Pa.- Es la unidad de presión en el SI  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

<sup>10</sup> nm.- Es un submúltiplo del metro  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$  nanómetro

fluorescente que recubre el tubo, temperatura ambiente... Esta última es muy importante porque determina la presión del gas y en último término el flujo de la lámpara. La eficacia oscila entre los 38 y 91 lm/W dependiendo de las características de cada lámpara.



**Fig. 1.33** Balance energético de una lámpara fluorescente

La duración de estas lámparas se sitúa entre 5000 y 7000 horas. Su vida termina cuando el desgaste sufrido por la sustancia emisora que recubre los electrodos, hecho que se incrementa con el número de encendidos, impide el encendido al necesitarse una tensión de ruptura superior a la suministrada por la red. Además de esto, hemos de considerar la depreciación del flujo provocada por la pérdida de eficacia de los polvos fluorescentes y el ennegrecimiento de las paredes del tubo donde se deposita la sustancia emisora.

El rendimiento en color de estas lámparas varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes empleadas. Para las lámparas destinadas a usos habituales que no requieran de gran precisión su valor está entre 80 y 90lm/w. De igual forma la apariencia y la temperatura de color varía según las características concretas de cada lámpara.

**Tabla 1-4** Temperatura (T) del color en grados Kelvin (K°)

Apariencia de color	T <sub>color</sub> (K°)
Blanco cálido	3000
Blanco	3500
Natural	4000
Blanco frío	4200
Luz día	6500

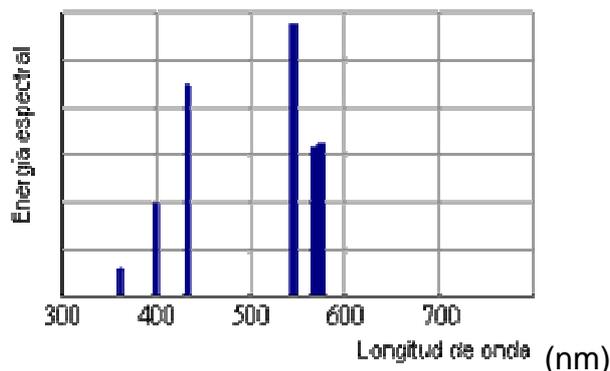
Las lámparas fluorescentes necesitan para su funcionamiento la presencia de elementos auxiliares. Para limitar la corriente que atraviesa el tubo de descarga utilizan el balasto y para el encendido existen varias posibilidades que se pueden resumir en arranque con cebador o sin él. En el primer caso, el cebador se utiliza para calentar los electrodos antes de someterlos a la tensión de arranque. En el segundo caso tenemos las lámparas de arranque rápido en las que se calientan continuamente los electrodos y las de arranque instantáneo en que la ignición se consigue aplicando una tensión elevada.

Más modernamente han aparecido las lámparas fluorescentes compactas que llevan incorporado el balasto y el cebador. Son lámparas pequeñas con casquillo de rosca o bayoneta pensadas para sustituir a las lámparas incandescentes con ahorros de hasta el 70% de energía y unas buenas prestaciones.

### 1.1.3.5 Lámparas De Vapor De Mercurio A Alta Presión

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404.7 nm, azul 435.8 nm, verde 546.1 nm y amarillo 579 nm).

(mW/m<sup>2</sup> . 5nm . 1000lx)



**Fig. 1.34** Espectro de emisión sin corregir

En estas condiciones la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra a añadir

sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara.

La temperatura de color <sup>11</sup>se mueve entre 3500 y 4500 K<sup>12</sup> con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.



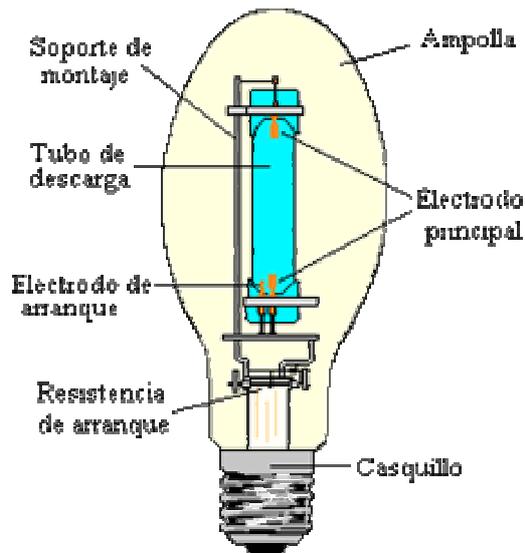
**Fig. 1.35** Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión

Los modelos más habituales de estas lámparas tienen una tensión de encendido entre 150 y 180 V que permite conectarlas a la red de 220 V sin necesidad de elementos auxiliares. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales.

A continuación se inicia un periodo transitorio de unos cuatro minutos, caracterizado porque la luz pasa de un tono violeta a blanco azulado, en el que se produce la vaporización del mercurio y un incremento progresivo de la presión del vapor y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores normales. Si en estos momentos se apagara la lámpara no sería posible su reencendido hasta que se enfriara, puesto que la alta presión del mercurio haría necesaria una tensión de ruptura muy alta.

<sup>11</sup> Temperatura del color.- es un término usado para describir el color de una fuente de luz, mediante la comparación de esta con el color del *cuerpo negro*, o sea del “radiante perfecto teórico”

<sup>12</sup> La escala de temperatura *Kelvin* tiene su punto cero a  $-273^{\circ}\text{C}$

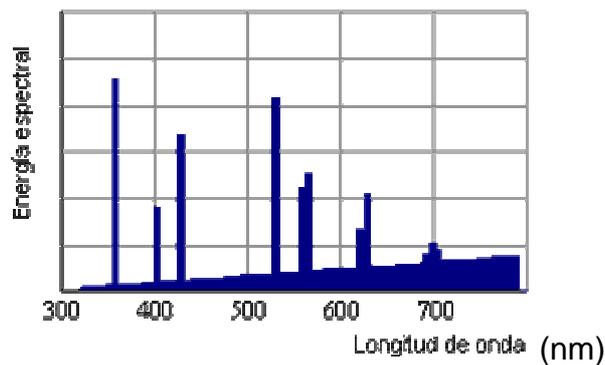


**Fig. 1.36** Lámpara de mercurio a alta presión

#### 1.1.3.5.1 Lámparas De Luz De Mezcla

Las lámparas de luz de mezcla son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y , habitualmente, un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia.

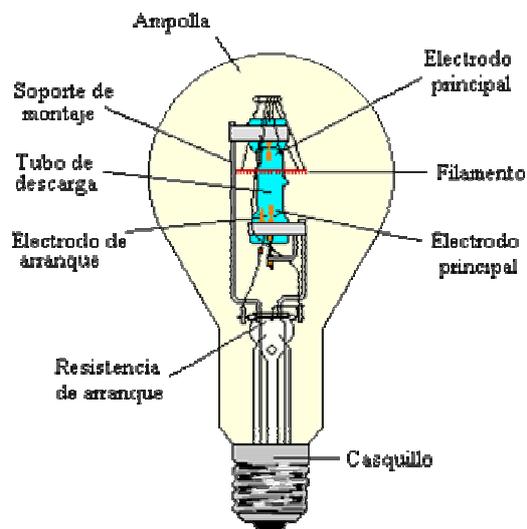
(mW/m<sup>2</sup> . 5nm . 1000lx)



**Fig. 1.37** Espectro de emisión de una lámpara de luz de mezcla

Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 lm/W y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3600 K.

La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo. Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida media se sitúa en torno a las 6000 horas.



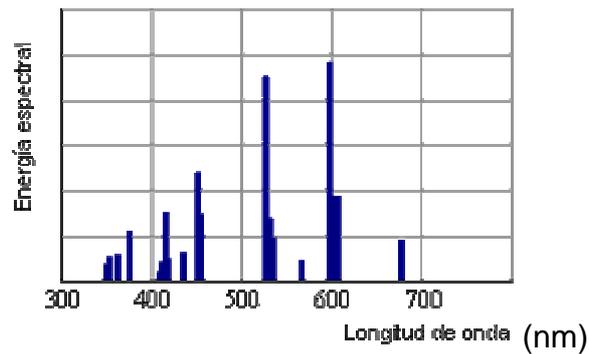
**Fig. 1.39** Lámpara de luz de mezcla

Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balasto ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente. Esto las hace adecuadas para sustituir las lámparas incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones.

#### *1.1.3.5.2 Lámparas Con Halogenuros Metálicos*

Si añadimos en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro (por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio).

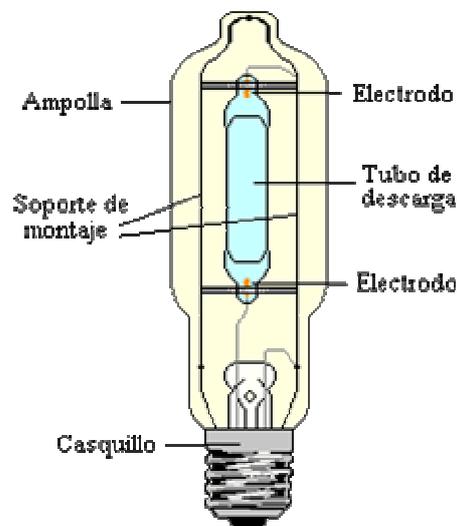
(mW/m<sup>2</sup> . 5nm . 1000lx)



**Fig. 1.40** Espectro de emisión de una lámpara con halogenuros metálicos

Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3000 a 6000 K<sup>o</sup> dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1500-5000 V).

Las excelentes prestaciones cromáticas la hacen adecuada entre otras para la iluminación de instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores, etc.



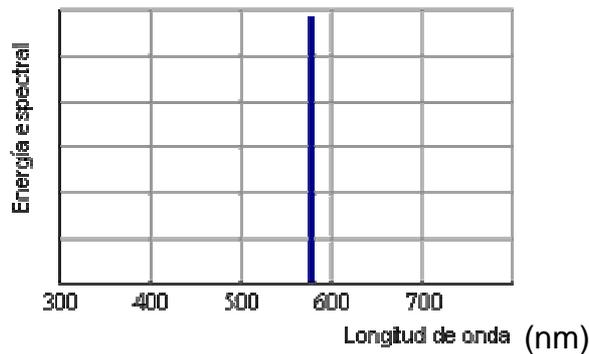
**Fig. 1.40** Lámpara con halogenuros metálicos

### 1.1.3.6 Lámparas De Vapor De Sodio

#### 1.1.3.6.1 Lámparas De Vapor De Sodio A Baja Presión

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro (589 nm y 589.6 nm) muy próximas entre sí.

(mW/m<sup>2</sup> . 5nm . 1000lx)



**Fig. 1.41** Espectro de una lámpara de vapor de sodio a baja presión

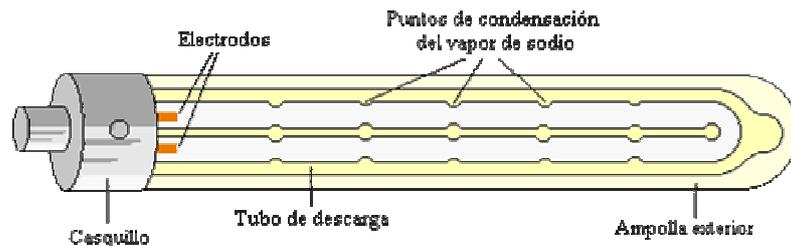
La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de [sensibilidad](#) del ojo humano (555 nm). Por ello, la eficacia de estas lámparas es muy elevada (entre 160 y 180 lm/W). Otras ventajas que ofrece es que permite una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Aunque, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos.



**Fig. 1.42** Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a baja presión

La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 15000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. Esto junto a su alta eficiencia

y las ventajas visuales que ofrece la hacen muy adecuada para usos de alumbrado público, aunque también se utiliza con finalidades decorativas. En cuanto al final de su vida útil, este se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones como ocurre en otras lámparas de descarga. Aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior.



**Fig. 1.43** Lámpara de vapor de sodio a baja presión

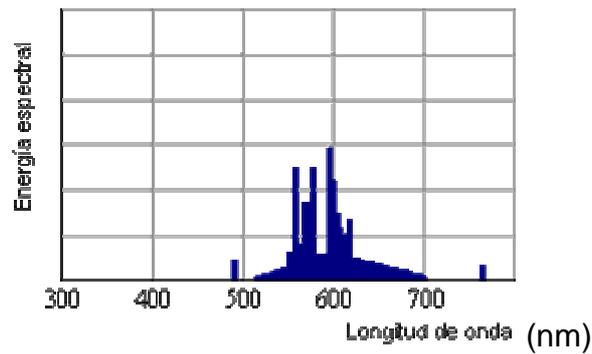
En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible. El tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo (270 °C).

El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de unos diez minutos. Es el tiempo necesario desde que se inicia la descarga en el tubo en una mezcla de gases inertes (neón y argón) hasta que se vaporiza todo el sodio y comienza a emitir luz. Físicamente esto se corresponde a pasar de una luz roja (propia del neón) a la amarilla característica del sodio. Se procede así para reducir la tensión de encendido.

#### *1.1.3.6.2 Lámparas De Vapor De Sodio A Alta Presión*

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión.

(mW/m<sup>2</sup> . 5nm . 1000lx)



**Fig. 1.44** Espectro de una lámpara de vapor de sodio a alta presión

Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color ( $T_{\text{color}}= 2100$  K<sup>0</sup>) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión (IRC=25, aunque hay modelos con un IRC de 65 y 80). No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas.

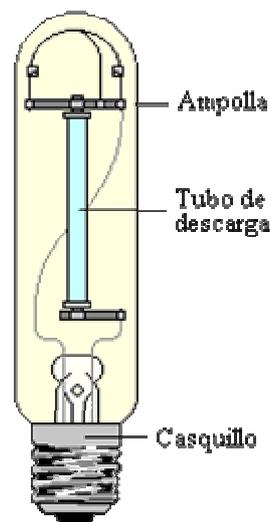


**Fig. 1.45** Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas (1000 °C), la presión y las agresiones químicas producidas por el

sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.



**Fig. 1.46** Lámpara de vapor de sodio a alta presión

Este tipo de lámparas tienen muchos usos posibles tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa.

## 1.2 ALUMBRADO EN LAS VÍAS PÚBLICAS

Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de vías públicas existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento, confort visual, etc.). Afortunadamente, hoy día estos cálculos están muy mecanizados y no es necesario tener profundos conocimientos en la materia para realizarlos. No obstante, es recomendable tener nociones de algunos de ellos para comprender mejor la mecánica de cálculo.

## 1.2.1 CRITERIOS DE CALIDAD

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como criterios de calidad. Son la luminancia media ( $L_m$ ,  $L_{AV}$ ), los coeficientes de uniformidad ( $U_0$ ,  $U_L$ ), el deslumbramiento (TI y G) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR).

### 1.2.1.1 Coeficientes De Uniformidad

Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en la vía se analizan el rendimiento visual en términos del coeficiente global de uniformidad  $U_0$  y la comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad  $U_L$  (medido a lo largo de la línea central).

$$U_0 = L_{\min} / L_m \quad U_L = L_{\min} / L_{\max}$$

### 1.2.1.2 Deslumbramiento

El deslumbramiento producido por las luminarias o los reflejos en la calzada, es un problema considerable por sus posibles repercusiones. En sí mismo, no es más que una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria. Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los usuarios.

Se llama **deslumbramiento molesto** a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa. Este fenómeno se evalúa de acuerdo a una escala numérica, obtenida de estudios estadísticos, que va del deslumbramiento insoportable al inapreciable.

Tabla 1-5 Evaluación del alumbrado según el deslumbramiento que provoca

G	Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

Donde la fórmula de G se calcula a partir de características de la luminaria y la instalación.

Actualmente no se utiliza mucho porque se considera que siempre que no se excedan los límites del deslumbramiento perturbador este está bajo control.

El **deslumbramiento perturbador** se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto. Para evaluar la pérdida de visión se utiliza el criterio del incremento de umbral (TI) expresado en tanto por ciento:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0.5}}$$

Donde:  $L_v$  es la luminancia de velo equivalente

$L_m$  es la luminancia media de la calzada.

### 1.2.1.3 Coeficiente De Iluminación En Los Alrededores

El coeficiente de iluminación en los alrededores (*Surround Ratio, SR*) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta manera se asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores. SR se obtiene calculando la iluminancia media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada.



Fig. 1.47

## 1.2.2 LÁMPARAS Y LUMINARIAS PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Las **lámparas** son los aparatos encargados de generar la luz. En la actualidad, en alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico. Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las de vapor de sodio a baja y alta presión.

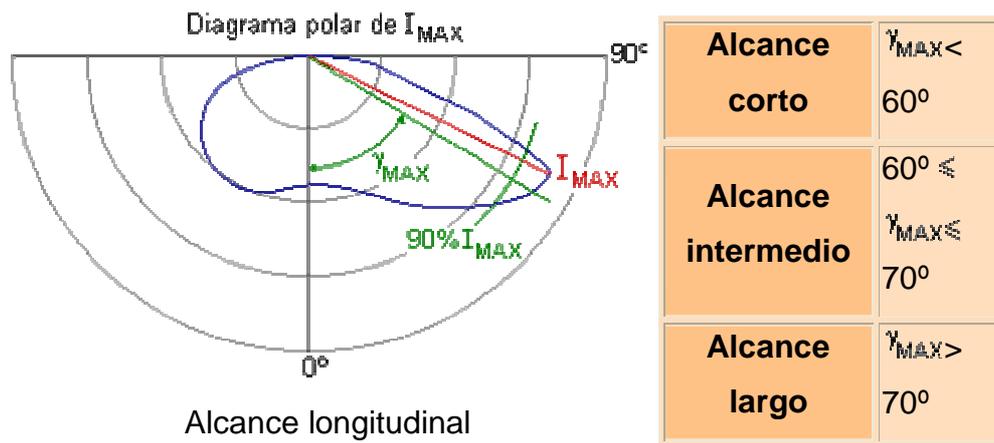
Las **luminarias**, son aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares además de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta. Para ello, adoptan diversas formas aunque en alumbrado público predominan las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada. Las podemos encontrar montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces. Antiguamente las luminarias se clasificaban según las denominaciones cut-off, semi cut-off y non cut-off.

Tabla 1-6 Clasificación para luminarias de alumbrado público (CIE 1965)

	Máximo valor permitido de la intensidad emitida para un ángulo de elevación		Dirección de la intensidad máxima
	80 °	90 °	
<b>Cut-off</b>	≤30 cd /1000 lm	≤10 cd /1000 lm	≤65 °
<b>Semi cut-off</b>	≤100 cd /1000 lm	≤50 cd /1000 lm	≤75 °
<b>Non cut-off</b>	> 100 cd /1000 lm	> 50 cd /1000 lm	≤90°

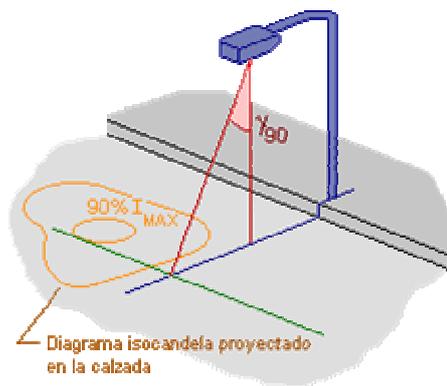
En la actualidad, las luminarias se clasifican según tres parámetros (alcance, dispersión y control) que dependen de sus características fotométricas. Los dos primeros nos informan sobre la distancia en que es capaz de iluminar la luminaria en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente. Mientras, el control nos da una idea sobre el deslumbramiento que produce la luminaria a los usuarios.

El **alcance** es la distancia, determinada por el ángulo  $\gamma_{MAX}$ , en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de  $I_{MAX}$  que corresponden al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa.



**Fig. 1.48**

La **Dispersión** es la distancia, determinada por el ángulo  $\gamma_{90}$ , en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de  $I_{MAX}$  proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria.

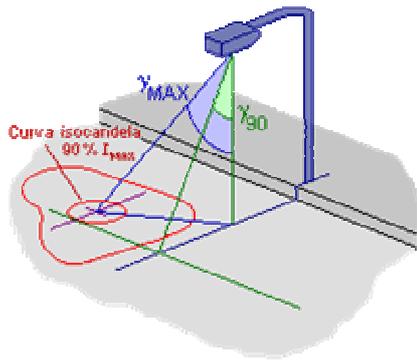


**Dispersión transversal**

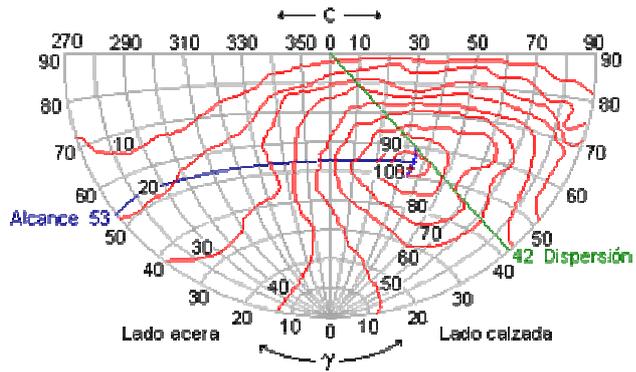
<b>Dispersión estrecha</b>	$\gamma_{90} < 45^\circ$
<b>Dispersión media</b>	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$
<b>Dispersión ancha</b>	$\gamma_{90} > 55^\circ$

**Fig. 1.49**

Tanto el alcance como la dispersión pueden calcularse gráficamente a partir del diagrama isocandela relativo en proyección azimutal.



Alcance y dispersión de una luminaria



Método gráfico para calcular el alcance y la dispersión

**Fig. 1.50**

Por último, el **control** nos da una idea de la capacidad de la luminaria para limitar el deslumbramiento que produce.

Tabla 1-7 Control de la lámpara

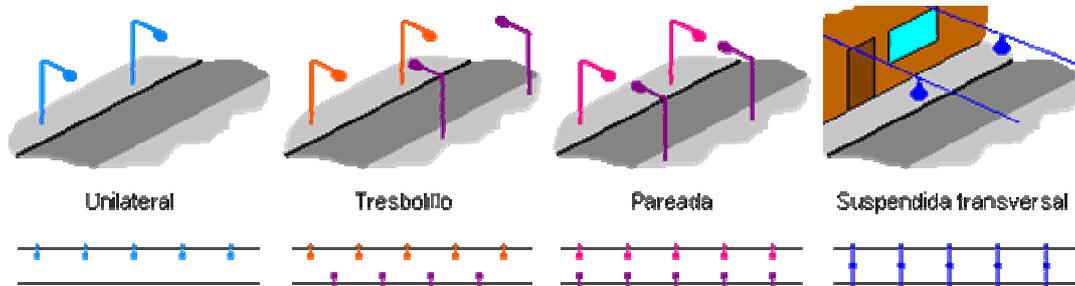
<b>Control limitado</b>	$SLI < 2$
<b>Control medio</b>	$2 \leq SLI \leq 4$
<b>Control intenso</b>	$SLI > 4$

Donde la fórmula del SLI (índice específico de la luminaria) se calcula a partir de las características de esta.

### 1.2.2.1 Disposición De Las Luminarias En La Vía

Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos, debe proporcionarse información extra que oriente y advierta al conductor con suficiente antelación de las características y trazado de la vía. Así en curvas es recomendable situar las farolas en la exterior de la misma, en autopistas de varias calzadas ponerlas en la mediana o cambiar el color de las lámparas en las salidas.

En los **tramos rectos de vías con una única calzada** existen tres disposiciones básicas: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas.



**Fig. 1.51**

La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias. La bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1.5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1.5.

**Tabla 1-8 Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje**

	<b>Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje</b>
<b>Unilateral</b>	$A/H < 1$
<b>Tresbolillo</b>	$1 \leq A/H \leq 1.5$
<b>Pareada</b>	$A/H > 1.5$
<b>Suspendida</b>	Calles muy estrechas

En el caso de **tramos rectos de vías con dos o más calzadas** separadas por una mediana se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considerar las dos calzadas de forma independiente. Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad. Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada. Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es

recomendable poner las luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha.

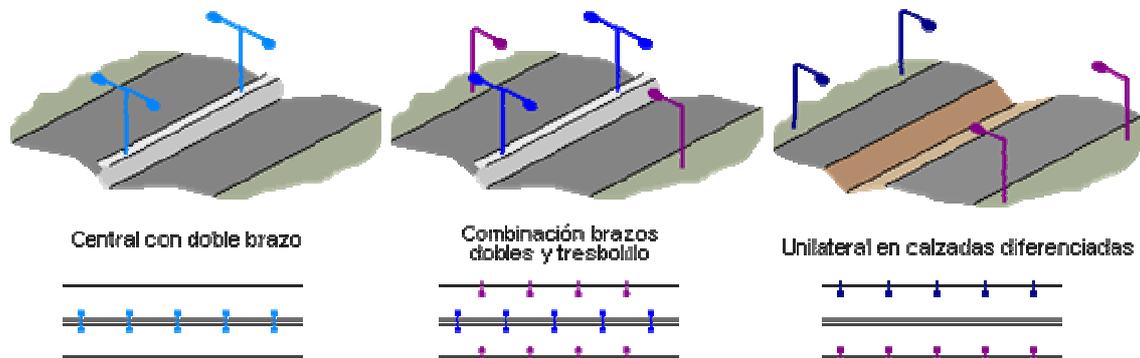


Fig. 1.52

En **tramos curvos** las reglas a seguir son proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre las luminarias cuanto menor sea el radio de la curva. Si la curvatura es grande ( $R > 300$  m) se considerará como un tramo recto. Si es pequeña y la anchura de la vía es menor de 1.5 veces la altura de las luminarias se adoptará una disposición unilateral por el lado exterior de la curva. En el caso contrario se recurrirá a una disposición bilateral pareada, nunca tresbolillo pues no informa sobre el trazado de la carretera.

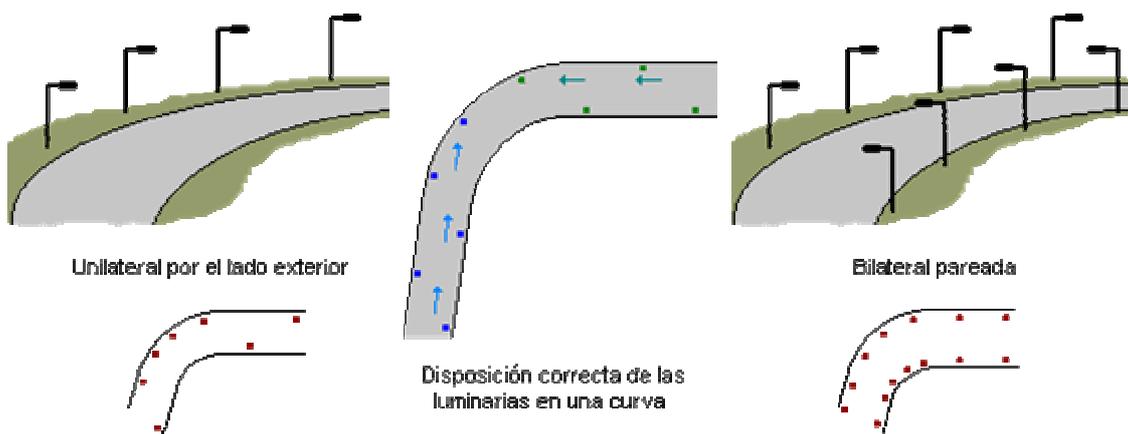
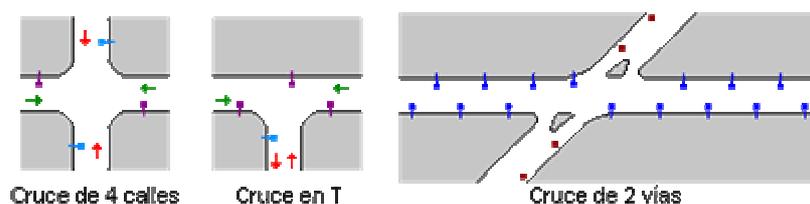


Fig. 1.53

**Tabla 1-9 Relación anchura/altura para una curva de radio R**

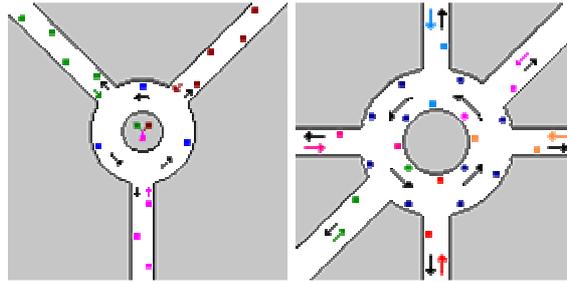
<b>R &gt; 300 m</b>	Asimilar a un tramo recto	
<b>R &lt; 300 m</b>	<b>A/H &lt; 1.5</b>	Unilateral exterior
	<b>A/H &gt; 1.5</b>	Bilateral pareada

En **cruces** conviene que el nivel de iluminación sea superior al de las vías que confluyen en él para mejorar la visibilidad. Asimismo, es recomendable situar las farolas en el lado derecho de la calzada y después del cruce. Si tiene forma de T hay que poner una luminaria al final de la calle que termina. En las salidas de autopistas conviene colocar luces de distinto color al de la vía principal para destacarlas. En cruces y bifurcaciones complicados es mejor recurrir a iluminación con proyectores situados en postes altos, más de 20 m, pues desorienta menos al conductor y proporciona una iluminación agradable y uniforme.



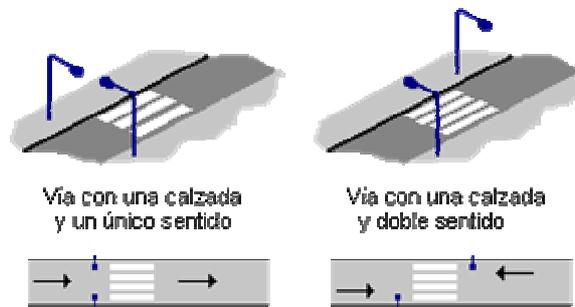
**Fig. 1.54**

En las **plazas y glorietas** se instalarán luminarias en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas. La altura de los postes y el nivel de iluminación serán por lo menos igual al de la calle más importante que desemboque en ella. Además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza. Si son pequeñas y el terraplén central no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un poste alto multibrazo. En otros casos es mejor situar las luminarias en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desembocan en esta.



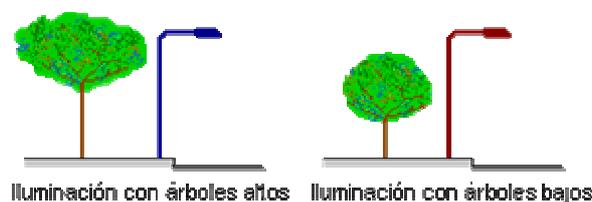
**Fig. 1.55**

En los **pasos de peatones** las luminarias se colocarán antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea bien visible tanto por los peatones como por los conductores.



**Fig. 1.56**

Por último, hay que considerar la **presencia de árboles en la vía**. Si estos son altos, de unos 8 a 10 metros, las luminarias se situarán a su misma altura. Pero si son pequeñas las farolas usadas serán más altas que estos, de 12 a 15 m de altura. En ambos casos es recomendable una poda periódica de los árboles.



**Fig. 1.57**

### 1.2.3 NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS

Los niveles de iluminación recomendados dependen de las normativas en vigor en cada territorio, aunque muchas de ellas toman como referencia los valores

aconsejados por la CIE. Según esta, las vías se dividen en cinco tipos de acuerdo con las características del tráfico, de la vía y de los alrededores.

Tabla 1-10 Valores recomendados por la CIE (1977)

Tipo de vía	Entorno	Categoría	Luminancia media Lm (cd/m <sup>2</sup> )	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento	
				Global U <sub>0</sub>	Longitudinal UL	Molesto G	Perturbador TI
A		A	≥2	≥0.4	≥0.7	≥6	≤10 %
B	Claro	B1	≥2			≥5	
	Oscuro	B2	≥1		≥6		
C	Claro	C1	≥2		≥0.5	≥5	≤20 %
	Oscuro	C2	≥1			≥6	≤10 %
D	Claro	D	≥2		≥0.5	≥4	≤20 %
E	Claro	E1	≥1			≥4	
	Oscuro	E2	≥0.5			≥5	

Los valores indicados en la tabla son luminancias, no iluminancias, pues recordemos que son estas las responsables de provocar la sensación de visión.

A partir de 1995 la CIE ha establecido unas nuevas recomendaciones más acordes con las últimas investigaciones sobre el tema.

Tabla 1-11 Valores recomendados por la CIE (1995)

Categoría	Luminancia media Lm (cd/m <sup>2</sup> )	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento TI	Alrededores SR
		Global U <sub>0</sub>	Perturbador TI		
M1	≥2.00	≥0.4	≥0.7	≤10	≥0.5
M2	≥1.50		≥0.5		
M3	≥1.00				
M4	≥0.75		---	≤15	---
M5	≥0.50				

Además de estas recomendaciones que se aplican en los tramos normales de las vías hay que considerar que en las zonas conflictivas (cruces, intersecciones, estrechamiento de la vía o del número de carriles, zonas con circulación de peatones o vehículos lentos que dificulten la circulación, rotondas, pasos a nivel, rampas, etc.) suele ser necesario un incremento de los requerimientos luminosos.

Si trabajamos con luminancias hay que aumentar en una unidad la categoría de la vía de valor de Mx más alta que converja en la zona. Cuando sea del tipo M1 a dicha zona también se aplicará este criterio.

En distancias cortas, menos de 60 m, no se pueden aplicar los métodos de cálculos de las luminancias y se utiliza el criterio de las iluminancias.

**Tabla 1-12 Valores recomendados por la CIE (1995)**

<b>Categoría</b>	<b>Nivel medio iluminancia <math>E_m</math> (lux)</b>	<b>Coef global uniformidad <math>U_0</math></b>
C0	$\geq 50$	$\geq 0.4$
C1	$\geq 30$	
C2	$\geq 20$	
C3	$\geq 15$	
C4	$\geq 10$	
C5	$\geq 7.5$	

El número de la categoría de la zona de conflicto ( $C_x$ )<sup>13</sup> no será menor que el de la vía de mayor categoría ( $M_x$ )<sup>14</sup> que confluya en la zona.

### **1.3 AREAS RESIDENCIALES Y PEATONALES**

Al contrario que en el alumbrado viario donde prima ofrecer unas buenas condiciones de iluminación y seguridad vial, en el alumbrado de áreas residenciales y peatonales existe un gran abanico de posibilidades que van desde iluminar zonas comerciales al simple guiado visual. Todo esto hace que el trabajo en este tipo de vías adquiera un carácter multidisciplinar donde intervienen diseñadores, urbanistas, arquitectos e ingenieros. Es por ello

<sup>13</sup>  $C_x$ .- Categoría de las zonas conflictivas, sea esta cruces, intersecciones, estrechamiento de la vía.

<sup>14</sup>  $M_x$ .- Característica de la vía normal, determinada por el tráfico, flujo de peatones.

conveniente analizar los usos y requerimientos de la vía para determinar los niveles de alumbrado, más adecuados y las lámparas y luminarias a utilizar.

### **1.3.1 REQUISITOS DEL ALUMBRADO**

Cuando se pretenden iluminar áreas residenciales y peatonales se busca conjugar la orientación y seguridad de movimientos con la seguridad personal de peatones y vecinos. En esta línea es importante que el alumbrado permita ver con anticipación los obstáculos del camino, reconocer el entorno y orientarse adecuadamente por las calles, el reconocimiento mutuo de los transeúntes a una distancia mínima de cuatro metros que permita reaccionar en caso de peligro, disuadir a ladrones e intrusos y en caso que esto no ocurra revelar su presencia a los vecinos y peatones. Además de todo esto, es conveniente una integración visual de estas zonas con el entorno en que se encuentren igualándolas al resto o dándoles un carácter propio. Si por las zonas peatonales existe tráfico de vehículos se iluminará como si se tratara de una vía pública normal y corriente.

El tratamiento del **deslumbramiento** en este tipo de vías, es mucho más sencillo que en el caso de tráfico motorizado debido a la gran diferencia de velocidad entre estos y los transeúntes. Los peatones debido a su baja velocidad se adaptan bien a los cambios de luminancia. Habrá, no obstante, que evitar colocar luminarias sin apantallar al nivel de los ojos y vigilar la luminancia de las lámparas en ángulos críticos que provoquen molestias a los transeúntes. Así mismo, conviene evitar que las luces molesten a los vecinos en su descanso nocturno.

### **1.3.2 NIVELES DE ALUMBRADO**

Los niveles de iluminación recomendados varían según el uso al que esté destinado la zona. Así, encontramos desde valores mínimos de iluminancia de 0.2 lux que permiten orientarse y ver los obstáculos del camino hasta los 20 lux que proporcionan un ambiente atractivo para las zonas de gran actividad nocturna. No obstante, en la mayoría de casos, un nivel de 5 lux bastará para

ofrecer unas buenas condiciones de alumbrado que permitan la orientación y ofrezcan sensación de seguridad a los transeúntes.

Tabla 1-13 CIE (1995)

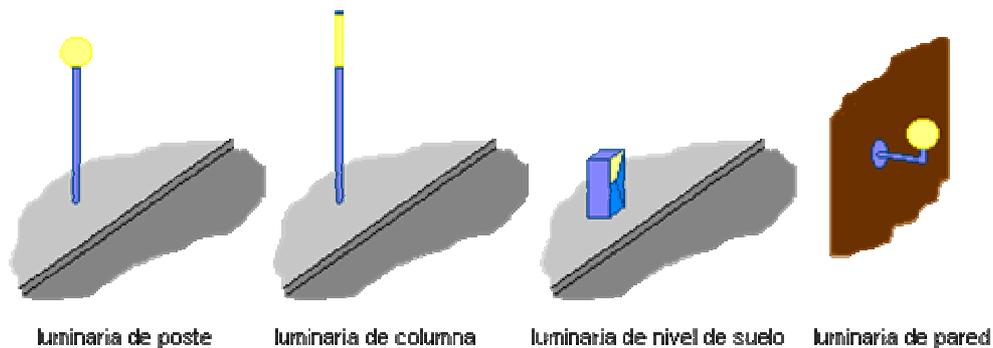
Clasificación según el uso nocturno echo por los peatones	Categoría	Nivel medio iluminancia Em (lux)	Nivel mínimo iluminancia Emin (lux)
Calles en zonas privilegiadas (áreas comerciales, de ocio...)	P1	20	7.5
Calles de uso alto	P2	10	3.0
Calles de uso moderado	P3	7.5	1.5
Calles de uso menor. Solamente asociado a propiedades adyacentes	P4	5.0	1.0
Calles de uso menor donde sea importante preservar el carácter de ambiente rural o la arquitectura	P5	3.0	0.6
Calles de uso muy bajo donde sea importante preservar el carácter de ambiente rural o la arquitectura	P6	1.5	0.2
Calles donde sólo es necesario el guiado visual	P7	-	-

### 3.3. LÁMPARAS Y LUMINARIAS

Para el alumbrado en zonas peatonales se prefieren **lámparas** de temperatura de color próximas a la de las lámparas incandescentes (2750 K) que usamos en nuestras casas. En concreto se usarán principalmente lámparas entre 2000 y 3000 K, aunque se puede ampliar el intervalo a 1800-3300 K. Se podrán usar, por lo tanto, una gran diversidad de lámparas como las de vapor de sodio, mercurio, o fluorescentes dependiendo del efecto que busquemos, las condiciones de la zona a iluminar y los aspectos económicos.

Las **luminarias** adoptan multitud de formas desde las más funcionales hasta las de diseño más vanguardista y artístico. Como la forma y el control del haz de luz pierden importancia en favor del ambiente, existe una gran libertad de elección; desde las luminarias de haz general-difuso de globo hasta las de haz controlado. Entre las posibilidades de montaje es normal encontrarlas sobre postes o columnas, adosadas a las fachadas, colgadas sobre cables o al nivel del suelo cuando sólo buscamos ambiente y orientación visual. No obstante,

cuando el tráfico motorizado sea significativo recurriremos a las típicas farolas de báculo tan habituales en el alumbrado viario.



**Fig. 1.58**

La altura de montaje dependerá del flujo de las lámparas a emplear y en todo caso se evitará colocarlas al nivel de los ojos sin apantallar. Otra posibilidad es colocar luminarias de menos de un metro como se hace en algunas plazas y jardines para crear una atmósfera especial.

**Tabla 1-14 Valores recomendados de altura de montaje según el flujo luminoso deseado**

Flujo luminoso lámpara (lm)	Altura de montaje recomendada (m)
<7000	3
7000-14000	3.5-4
14000-25000	4-6
>25000	>6

## 1.4 AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Vivimos en un mundo extraordinariamente influenciado por los sistemas automáticos. Desde el vehículo espacial más sofisticado, hasta los aparatos domésticos más comunes como el tostador, el refrigerador, el televisor, o incluso, nuestras sociedades, como sistema viviente, deben buena parte de todo esto, a la "automatización".

La automatización es un sistema diseñado con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas arduas o peligrosas

anteriormente efectuadas por seres humanos, además para controlar la secuencia de las operaciones sin la intervención del hombre.

Estos sistemas automáticos han estado al servicio del hombre para mejorarle su calidad de vida y han llegado a implantarse lo más cerca posible de él. Ya, no sólo se ven sistemas de control en las grandes fábricas, o en las películas de ciencia-ficción, sino en nuestra propia casa. Podemos observar desde pequeños artefactos que controlan la intensidad lumínica de las luces, hasta sistemas computarizados que controlan toda la casa.

Esta implementación automática en la vivienda es lo que se denomina domótica,

pero que con un grado más avanzado de concepción, diseño y conocimiento de la tecnología es lo que se llama Automatización en la Arquitectura.

También vemos el caso del alumbrado público, en donde por medio de foto sensores se controla automáticamente el encendido y el apagado de las luminarias.

Sí esto se hiciera manualmente se necesitarían muchos empleados que estuvieran a cargo de este trabajo, elevando los costos y aumentando el tiempo de desempeño. Así mismo, no podríamos pensar en un sistema de transporte masivo como lo es el metro, si no tuviéramos sistemas de control automático, y no podríamos tener bajo control todos sus componentes.

#### **1.4.1 SENSORES DE ILUMINACIÓN**

La iluminación, tanto en el hogar como en oficinas y demás lugares, juega un papel fundamental en cuanto a funcionamiento y gastos. Existen diversos dispositivos que ayudan a mantener una correcta iluminación, regulando las intensidades lumínicas y el gasto energético

##### **1.4.1.1 Controladores de iluminación:**

Controladores de iluminación: estos aprovechan las fuentes de iluminación natural para apagar las luces automáticamente cuando la luz natural este disponible y para encenderlas cuando hacen falta.

- Bancos de Ascensores.
- Escaleras, etc.

Los artefactos automáticos nos ofrecen gran confort y máximo ahorro, y aunque poseen un gran costo inicial, nos permiten un ahorro grande al paso del tiempo. Nos permiten ajustar las luces y sistemas de ventilación a nuestro gusto, disminuyen costos de mantenimiento, alargan la vida útil de las luminarias, etc.

Existen tecnologías de vanguardia que permiten sensor áreas determinadas, encendiendo automáticamente la luz y apagándola una vez desocupada dicha área. Entre ellas encontramos:

#### 1.4.2 Sensores infrarrojos- PIR

Reaccionan solo ante la energía calorífica producida por el cuerpo humano, utilizando un lente que distribuye rayos infrarrojos sobre la zona de acción. Estos sensores deben tener vista directa, es decir, que no admiten obstáculos entre ellos y el área a detectar. La máxima cobertura bajo condiciones ideales y para movimiento es de 93 metros cuadrados.

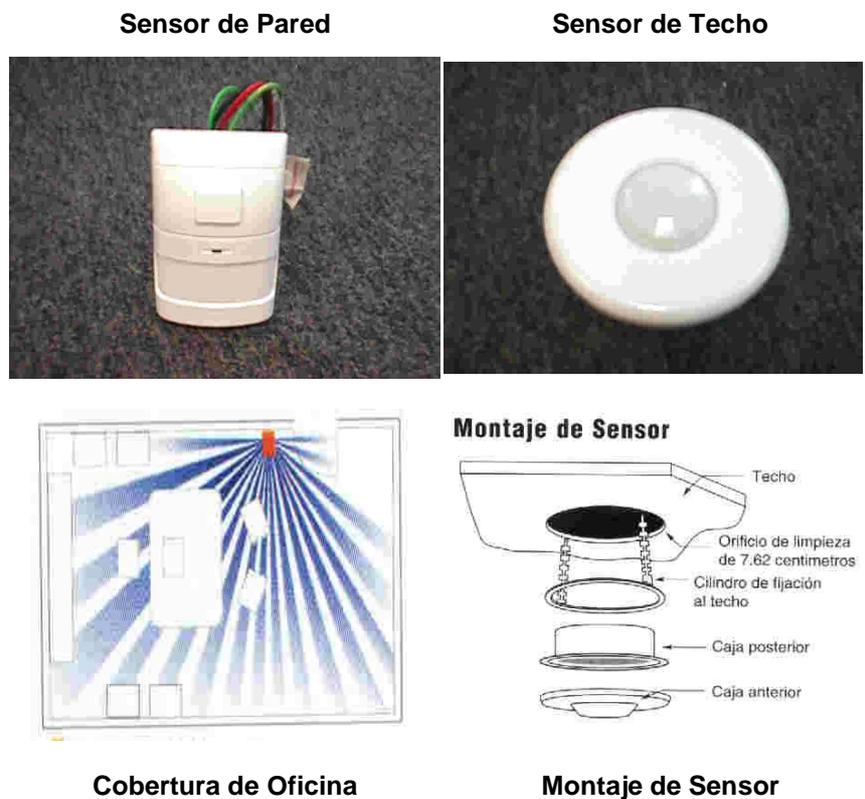


Fig. 1.59

### 1.4.3 Sensores Ultrasónicos

Son detectores de movimiento volumétrico que funcionan a través de la emisión de ondas ultrasónicas que rebotan en los objetos y regresan al receptor del sensor. El movimiento de una persona en el área, provoca que las ondas regresen con una frecuencia diferente, lo cual se interpreta como una presencia en el área. En áreas cerradas de edificios los sensores deben ser colocados de tal manera que no vean fuera de la puerta y así reducir falsas activaciones.

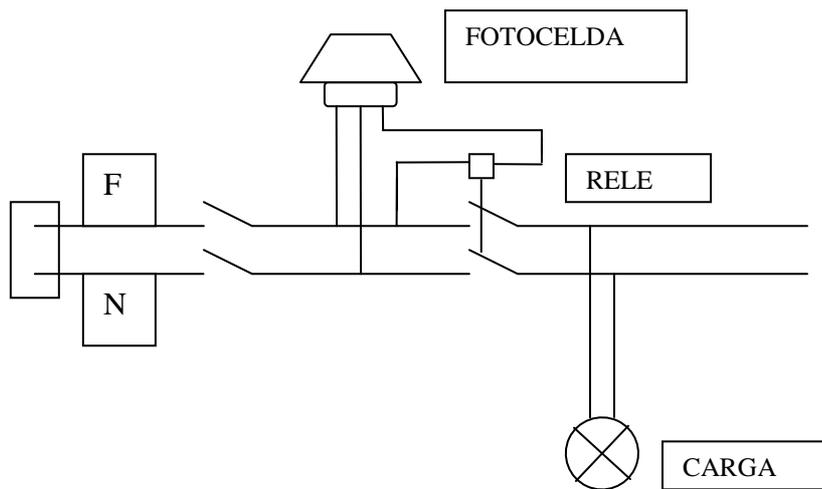
### 1.4.4 Fococelda

Este dispositivo permite controlar el encendido y apagado del alumbrado exterior, bien sea para iluminación perimetral y/o pública. Una vez, que la iluminación natural decaiga a niveles de 1 fc (10.76 Lux) el fotocontrol encenderá inmediatamente el alumbrado exterior. Al amanecer, diez segundos después que la iluminación natural ascienda a 3 fc (32.28 Lux) el fotocontrol apagará el alumbrado exterior. Este modelo trabaja indistintamente en 120, 220, 240, 277 VAC 50/60Hz.

Producto de fácil instalación. Requiere de conocimientos básicos de electricidad.

Es un dispositivo de interrupción automático de la electricidad, ya que este funciona con el nivel de variación luminosa del sitio de donde se encuentre instalado abriendo el circuito cuando este nivel es adecuado y cerrando el circuito cuando este nivel es inadecuado o bajo. El componente principal de una fotocelda es una fotorresistencia la cual está expuesta a la luz en el dispositivo, a través de una pantalla o cámara; que permite el acceso del flujo luminoso con lo cual este fotoresistor abre o cierra el circuito de acuerdo a las circunstancias. **Una fotocelda siempre debe ser instalada con su pantalla dirigida hacia el sitio donde sale el sol.**

La fotocelda es el único interruptor que además de entrar la fase también entra el neutro; y su mayor aplicación es en el alumbrado público.



**Fig. 1.60**

#### **1.4.5 TIMERS Y RELOJES PROGRAMABLES**

#### **1.4.6 LOS PLC (CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES)**

##### **PLC**

Los controladores lógicos programables o PLC son dispositivos electrónicos ampliamente utilizados en automatización industrial.

La historia de los PLC se remonta a finales de la década de 1960, cuando la industria buscó una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relevadores, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinatorial.

Un PLC está compuesto por una serie de módulos con una función determinada:

**CPU:** Ejecuta de modo continuo el programa en función de los datos contenidos en la memoria, con velocidades que actualmente alcanzan varios cientos de miles de instrucciones por segundo.

**Memoria:** La memoria, se encuentra dividida en dos partes: una memoria de programa, en la que están almacenadas las instrucciones del programa a

ejecutar y una memoria de datos, en la que están almacenados los resultados intermediarios de cálculos y los diversos estados.

Relevadores: Existen físicamente y son externos al controlador; se conectan al mundo real y reciben señales de sensores, switches, etc.

Relevadores internos: Se encuentran simulados vía software, son completamente internos al PLC, por lo que los externos pueden eliminarse o remplazarse.

Contadores: También son simulados por software y se les programa para contar pulsos de señal.

*Su historia se remonta a finales de la década de 1960, cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinatorial.*

***Hoy en día, los PLC's no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores PID (Proporcional Integral y Derivativo).***

Los PLC's actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

## **CAPITULO 2**

### **2.1 ASPECTOS ACUALES DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA ESFOT.**

La Escuela de Formación Tecnológica de la ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, tiene actualmente una infraestructura que no satisface las necesidades y normas de confort para un establecimiento educativo de nivel superior y más aun con el renombre que tiene la universidad; siendo objeto de estudio la iluminación exterior, sus parques, y corredores de circulación peatonal (estudiantes, profesores etc.) no tienen el adecuado sistema, haciendo el ambiente triste, deprimente para las actividades académicas, aparte también de ser peligroso ya que muchos estudiantes tienen horarios por la noche y sin un óptimo aprovechamiento de la luz podría ocurrir un accidente, si es que no ha ocurrido ya.

Por esta razón instalar un sistema de iluminación que aproveche todas las ventajas actuales de la tecnología con la que se cuenta actualmente es imperativo. El mencionado sistema, tendrá que ser eficiente en cuanto, a ahorro de energía, aprovechamiento de los lúmenes de las lámparas, automatización y que además discrimine el momento y el lugar para iluminar ciertas áreas específicas.

En la instalación se tomará en cuenta todos los parámetros y normas especificadas por el fabricante para iluminación exterior, aplicándolos de la mejor manera; también se controlará el sistema para que funcione de acuerdo a las necesidades requeridas.

Ahora el sistema de iluminación será óptimo siempre y cuando otorgue aspectos tan puntuales como son:

a) La calidad de luz, es decir que los lúmenes, sean capaces de iluminar el área más grande posible.

b) Economía, el sistema de iluminación genere un ahorro del consumo eléctrico y sus dispositivos y componentes sean baratos, sin decir con esto que se de baja calidad sino que cumplan con los requerimientos con el menor equipamiento posible.

c) Aprovechamiento del sistema es decir que con un buen control industrial se tenga automatización, protección y selectividad de iluminación.

La ESFOT tiene ya instalado un sistema de iluminación en una parte de los espacios verdes con los que cuenta, pero no es suficiente ya que el espacio físico ocupado por la ESFOT es bastante extenso y complejo, queriendo decir con esto que hay corredores y pasajes sin iluminación alguna, entonces el proyecto investigativo estará orientado a solucionar estos inconvenientes.

### **2.1.1 PLANOS ESTRUCTURALES ARQUITECTONICOS**

(VER ANEXO A)

### **2.1.2 NIVELES DE IUMINACION NOCTURNA DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA ESFOT (CORREDORES EXTERIORES)**

Como se muestra en las fotografías siguientes, la infraestructura de la ESFOT no cuenta con un sistema de iluminación que proporcione una iluminación nocturna en los corredores exteriores, llegando a determinarse un deslumbramiento de un 98%, dando lugar a un requerimiento de iluminación adecuado, sin dejar a un lado el cierto grado de inseguridad.

(VER ANEXO B)

Con el presente proyecto investigativo se otorgará regímenes de iluminación que servirán para dar “confort” a quienes circula por la ESFOT a ciertas horas de la noche, además servirá para dar iluminación remota si lo requiriese alguna actividad para enaltecer y aportar con el evento, también sin dejar de lado al sistema de seguridad del guardia haciéndola más fácil menos peligroso.

### **2.1.3 ESTADO ACTUAL DEL TENDIDO ELECTRICO Y DE LA ILUMINACION DE LOS CORREDORES EXTERIORES DE LA ESFOT.**

Una vez inspeccionado el tramado eléctrico se pudo evidenciar que existió una instalación eléctrica en el área de las oficinas de los profesores, que no poseía ni las luminarias, ni el cable de instalación, únicamente existía tubería conduit empotrada en el techo de la cubierta exterior; dicha tubería fue reparada y reinstalada habilitando dicho sector para el cableado de la iluminación.

En los sectores constituyentes a las aulas periféricas de: Mantenimiento Industrial, Análisis de Sistemas Informáticos, Electrónica y Telecomunicaciones, Administración de Proyectos de la Construcción, Electromecánica, sectores adyacentes al Laboratorio de Software, no poseen instalaciones eléctricas para el alumbrado peatonal exterior.

Se hace imperativo un montaje de manguera de caucho, para proporcionar un adecuado aislamiento y protección al cable, tanto para el tendido aéreo como subterráneo.

## **2.2 CALCULO ADECUADO PARA EL SISTEMA DE ILMINACION**

### **2.2.1 CALCULO DEL ALUMBRADO**

Debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la iluminación de vías públicas (deslumbramiento, características de los pavimentos, condiciones meteorológicas, etc.) y en la percepción de estas, el cálculo del alumbrado público ha sido siempre una tarea muy compleja. Por ello, en un principio los cálculos se enfocaron a determinar unas condiciones de [iluminancia](#) sobre la calzada que proporcionaran una buena visibilidad dentro de los márgenes establecidos por los organismos competentes. A medida que se fue desarrollando la informática y aumentaron las capacidades de procesamiento de datos, los cálculos se fueron orientando hacia la determinación de

luminancias. Esto no hubiera sido posible sin la existencia de ordenadores que permiten ejecutar y aplicar los métodos de cálculo numérico en un tiempo razonable. Así pues, podemos agrupar los métodos en:

- Cálculo de iluminancias
  - Método de los lúmenes o del factor de utilización
  - Métodos numéricos. El método de los nueve puntos

## 2.2.2 CALCULO DE LUMINANCIAS

### 2.2.2.1 Método De Los Lúmenes O Factor De Utilización

La finalidad de este método es calcular la distancia de separación adecuada entre las luminarias que garantice un nivel de iluminancia medio determinado. Mediante un proceso iterativo, sencillo y práctico, se consiguen unos valores que aunque no son muy precisos, sí sirven de referencia para empezar a aplicar otros métodos.

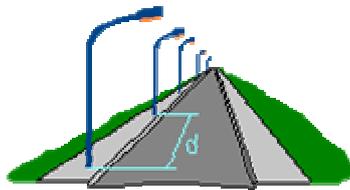


Fig. 2.1

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques:

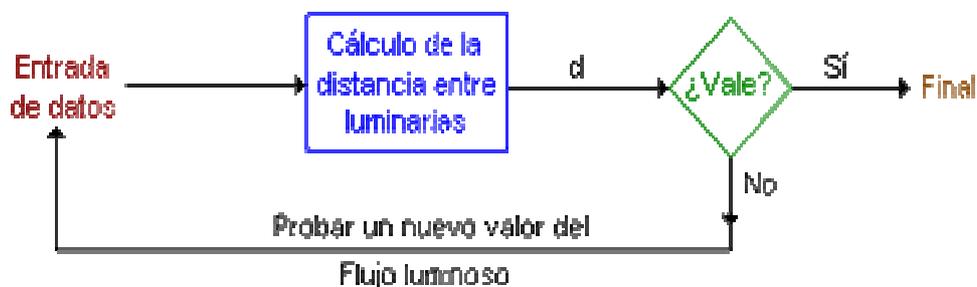


Fig. 2.2

## Datos de entrada

- Determinar el nivel de iluminancia media ( $E_m$ ). Este valor depende de las características y clase de pavimento, clase de vía, intensidad del tráfico, etc. Como valores orientativos podemos usar:

Tabla 2-1 Valores de Iluminancia y Luminancia media recomendados

<b>Tipo de vía</b>	<b>Iluminancia media (lx)</b>	<b>Luminancia media (lux/m<sup>2</sup>)</b>
A	35	2
B	35	2
C	30	1.9
D	28	1.7
E	25	1.4

- Escoger el tipo de lámpara (vapor de mercurio, sodio...) y la altura de montaje necesarias sin exceder el flujo máximo recomendado en cada intervalo.

Tabla 2-2 Flujo de lámpara según altura de montaje

<b>Flujo de la lámpara (lm)</b>	<b>Altura (m)</b>
$3000 \leq \Phi < 10000$	$6 \leq H < 8$
$10000 \leq \Phi < 20000$	$8 \leq H < 10$
$20000 \leq \Phi < 40000$	$10 \leq H < 12$
$\geq 40000$	$\geq 12$

- Elegir la disposición de luminarias más adecuada según la relación entre la anchura de la calzada y la altura de las luminarias

Tabla 2-3 Relación anchura/altura en función de su disposición

<b>Disposición</b>	<b>Relación anchura/altura</b>
Unilateral	$\leq 1$
Tresbolillo	$1 < A/H \leq 1.5$
Pareada	$> 1.5$

- Determinar el factor de mantenimiento ( $f_m$ ) dependiendo de las características de la zona (contaminación, tráfico, mantenimiento...). Normalmente esto es difícil de evaluar y se recomienda tomar un valor no superior a 0.8 (habitualmente 0.7).

Tabla 2-4 Valores del Factor de mantenimiento

Características de la vía	Luminaria abierta	Luminaria cerrada
Limpia	0.75	0.80
Media	0.68	0.70
Sucia	0.65	0.68

- Calcular el factor de utilización ( $\eta$ )

El **factor de utilización** es una medida del rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y se define como el cociente entre el flujo útil, el que llega a la calzada, y el emitido por la lámpara.

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\Phi_L}$$

Normalmente se representa mediante curvas que suministran los fabricantes con las luminarias. Estas curvas se pueden encontrar en función del cociente anchura de la calle/altura ( $A/H$ ), la más habitual, o de los ángulos  $\gamma_1, \gamma_2$  en el lado calzada y acera respectivamente.

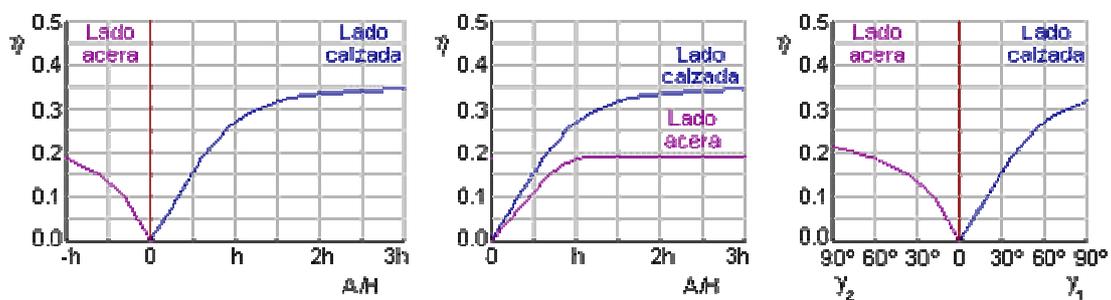


Fig. 2.3 Curvas del factor de utilización

De los gráficos se puede observar que hay dos valores posibles, uno para el lado acera y otro para el lado calzada, que se obtienen de las curvas.

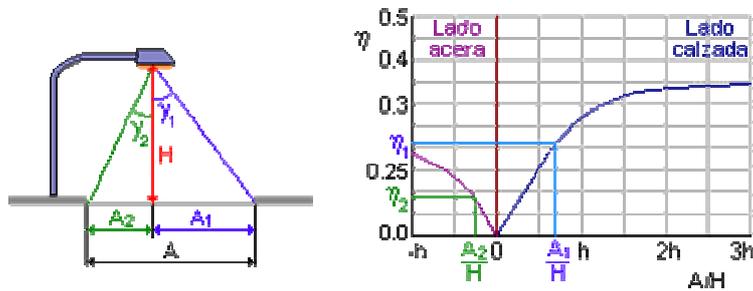


Fig. 2.4

$$A = A_1 + A_2$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2$$

Por tanto, para obtener el factor de utilización total de la sección transversal de la calle habrá que sumar los coeficientes del lado acera y del lado calzada, aunque en [otros casos](#) la cosa puede ser diferente.

#### 2.2.2.1.1 Cálculo de la separación entre luminarias

Una vez fijados los datos de entrada, se puede proceder al cálculo de la separación (d) entre las luminarias utilizando la expresión de la iluminancia media.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

donde:

- **Em** es la iluminancia media sobre la calzada que se quiere conseguir.
- $\eta$  es el factor de utilización de la instalación.
- $f_m$  es el factor de mantenimiento.
- $\Phi_L$  es el flujo luminoso de la lámpara.
- **A** es la anchura a iluminar de la calzada que en disposición bilateral pareada es la mitad (A/2) y toda (A) en disposiciones unilateral y tresbolillo.

Tabla 2-5 Valor de la anchura en función de la disposición

<b>Unilateral o tresbolillo</b>	A
<b>Bilateral</b>	A/2

- **d** es la separación entre las luminarias.

**y la incógnita a resolver.**

### Comprobación

Finalmente, tras las fases anteriores, entrada de datos y cálculo, solo queda comprobar si el resultado está dentro de los límites. Si es así se ha finalizado y si no se variará los datos de entrada y se ha de volver a empezar. Si la divergencia es grande es recomendable cambiar el flujo de la lámpara. A modo orientativo se puede usar la siguiente tabla que da la relación entre la separación y la altura para algunos valores de la iluminancia media.

Tabla 2-6 Separación-altura para valores de Iluminancia media

<b><math>E_m</math> (lux)</b>	<b>separación / altura</b>
$2 \leq E_m < 7$	$5 \leq d/h < 4$
$7 \leq E_m < 15$	$4 \leq d/h < 3.5$
$15 \leq E_m \leq 30$	$3.5 \leq d/h < 2$

#### 2.2.2.2 Método Numérico

Los métodos numéricos se basan en la idea de que no es preciso calcular la iluminancia en todos los puntos de la calzada para tener una idea exacta de la distribución luminosa, sino que basta con hacerlo en unos cuantos puntos representativos llamados nodos. Para ello, se dividirá la zona a estudiar en pequeñas parcelas llamadas dominios, cada una con su correspondiente nodo, en las cuales se supondrá la iluminancia uniforme. La iluminancia total de la calzada se calculará como una media ponderada de las iluminancias de cada dominio

El número de particiones que se haga dependerá de la precisión que se quiera obtener. Para el caso se trabajara con el criterio de los nueve puntos que es el

más sencillo, aunque la mecánica de trabajo es la misma siempre independientemente del número de dominios que se tenga.

Los métodos numéricos son herramientas de cálculo muy potentes pero que requieren mucho tiempo para su ejecución. Por ello es imprescindible el concurso de ordenadores para aplicarlos.

### 2.2.2.3 Método De Los Nueve Puntos

Suponiendo un tramo de vía recta con disposición unilateral de las luminarias y separadas una distancia  $d$ .

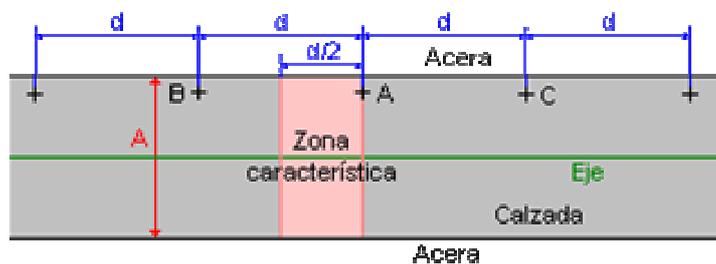
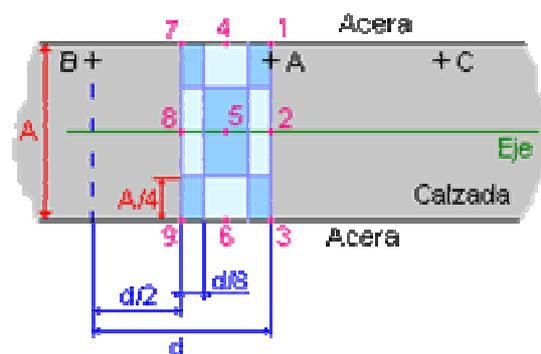


Fig. 2.5

Debido a las simetrías existentes en la figura 2.3 bastará con calcular las iluminancias en la zona señalada. En el resto de la calzada estos valores se irán repitiendo periódicamente.

Para hacer los cálculos, la zona se divide en nueve dominios con otros tantos puntos.



Distribución de puntos en una disposición unilateral

Fig. 2.6

El valor medio de las iluminancias será para este caso:

$$E_m = \frac{E_1 \cdot S_1 + E_2 \cdot S_2 + \dots + E_9 \cdot S_9}{S_1 + S_2 + \dots + S_9} = \frac{\sum_{i=1}^9 E_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^9 S_i}$$

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

con:

$$S_1 = S_3 = S_7 = S_9 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{32} = S_1$$

$$S_2 = S_8 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1$$

$$S_4 = S_6 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1$$

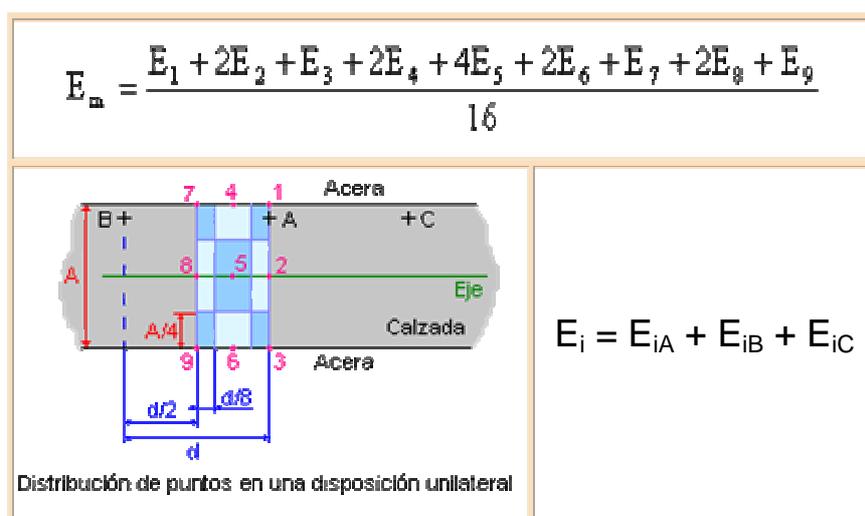
$$S_5 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{8} = 4S_1$$

Se puede demostrar fácilmente que la expresión anterior de  $E_m$  es también válida para las disposiciones tresbolillo y bilateral pareada.

Para calcular las iluminancias sobre cada nodo sólo se considerará la contribución de las luminarias más próximas despreciándose el resto por tener una influencia pequeña.

La iluminancia en cada punto vale entonces:

$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$$



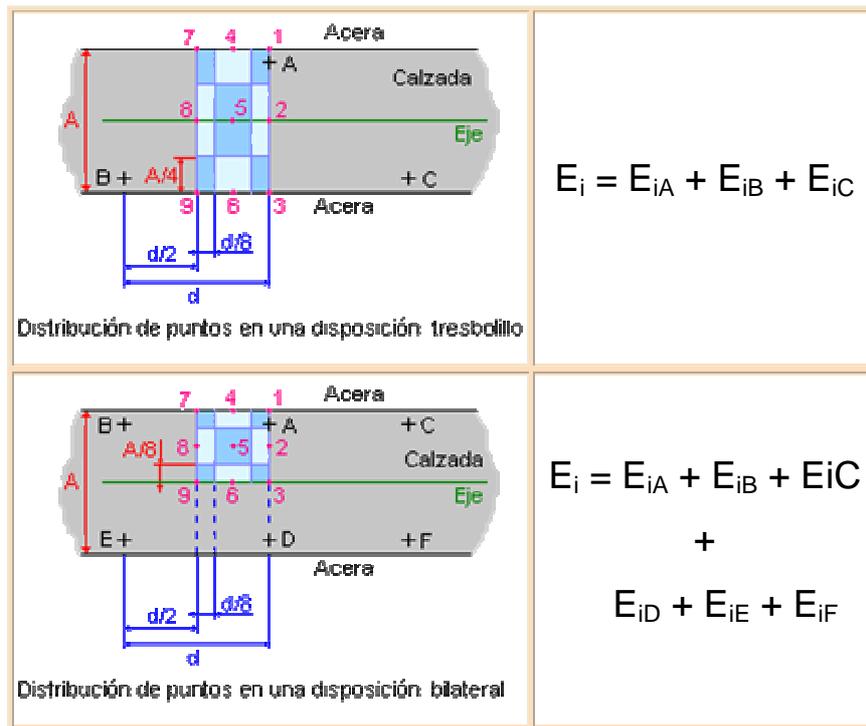


Fig. 2.7

Además de  $E_m$  se puede calcular los coeficientes de uniformidad media y extrema de las iluminancias

$$\text{Uniformidad media} = E_{\min} / E_m$$

$$\text{Uniformidad extrema} = E_{\min} / E_{\max}$$

Para calcular las iluminancias se procede de dos maneras:

En primer lugar calcular usando la fórmula:

$$E_i = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cdot \cos^3 \gamma_i$$

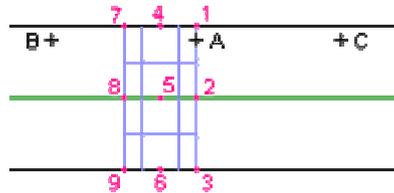
Donde  $I$  se puede obtener de los gráficos polares o de la matriz de intensidades.

La otra posibilidad es recurrir a un método gráfico. En él, los valores de las iluminancias se obtienen por lectura directa de las curvas isolux. Para ello se necesita:

1. Las curvas isolux de la luminaria (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias)
2. La planta de la calle dibujada en la misma escala que la curva isolux.

3. Una tabla para apuntar los valores leídos.

El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta se sitúan los nueve puntos y las proyecciones de los centros fotométricos de las luminarias sobre la calzada.



**Fig. 2.8**

A continuación se superpone sucesivamente la curva isolux sobre el plano de manera que su origen quede situado sobre la luminaria y los ejes estén correctamente orientados (0-180° paralelo al eje de la calzada y 90°-270° perpendicular al mismo). Se leen los valores de la luminancia en cada punto y se apuntan en la tabla. A continuación se suman los valores relativos para cada punto y se calculan los valores reales. Finalmente se calcula la iluminancia media y los factores de uniformidad media y extrema.

Un ejemplo sencillo. Suponiendo una calle con luminarias de 20000 lm situadas a una altura de 8 m.

Los valores reales de las iluminancias en cada punto se calculan a partir de los relativos aplicando la fórmula:

$$E_r = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{\Phi_c} \cdot \left(\frac{h_c}{h_r}\right)^2 = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{h_r^2} \cdot \frac{1}{1000} = E_c \cdot \frac{20000}{8^2} \cdot \frac{1}{1000} = 0.3125 \cdot E_c$$

Finalmente, se calcula la iluminancia media y los factores de uniformidad:

$$E_m = \frac{24.1 + 2 \cdot 42.2 + 19.7 + 2 \cdot 17.8 + 4 \cdot 30 + 2 \cdot 16.6 + 10.3 + 2 \cdot 28.1 + 12.5}{16} = 24.75 \text{ lx}$$

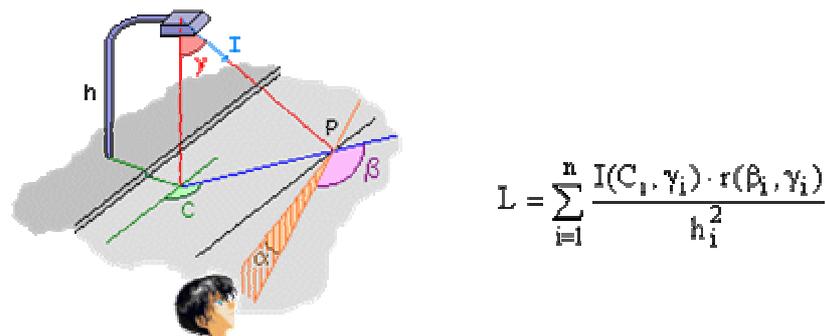
$$U_{\text{m}} = \frac{E_{\text{mín}}}{E_{\text{m}}} = \frac{10.3}{24.75} = 0.42 \quad U_{\text{v}} = \frac{E_{\text{mín}}}{E_{\text{máx}}} = \frac{10.3}{42.2} = 0.24$$

Existen otros métodos de cálculo más potentes y fiables orientados a su empleo en aplicaciones informáticas, pero los principios en que se basa su funcionamiento son los que acabamos de exponer.

### 2.2.3 CALCULO DE LUMINANCIAS

La luminancia de un punto de la calzada que percibe un observador depende básicamente de la iluminancia recibida en dicho punto proveniente de las luminarias de la calle, de las características reflectantes del pavimento y de la posición del observador. Visto esto, y en especial teniendo en cuenta que los observadores, los usuarios de la vía, van variando su posición, resulta fácil comprender la dificultad de determinar las luminancias. Por ello, en la actualidad, el cálculo de luminancias está orientado al empleo de métodos numéricos ejecutados por ordenador.

Como ya sabemos, la luminancia de un punto de la calzada vista por un observador e iluminado por más de una luminaria se puede expresar como:



**Fig. 2.9** Luminancia de un punto de la calzada

Donde  $r(\beta, \gamma)$  es un factor que depende de las características reflectivas del pavimento.

Para efectuar los cálculos, el observador se sitúa 60 metros, en el sentido de la marcha, por delante de la primera fila de puntos que forman la partición que se ha realizado en la vía y a una altura de 1.5 m sobre el suelo.

Los métodos consisten en determinar las luminancias de los puntos de la calzada previamente escogidos. Una vez determinadas se podrá calcular la luminancia media y los factores de uniformidad de la calzada. Así comprobaremos si se cumplen los criterios especificados en las recomendaciones.

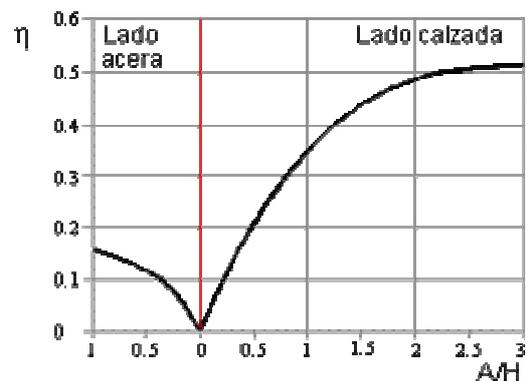
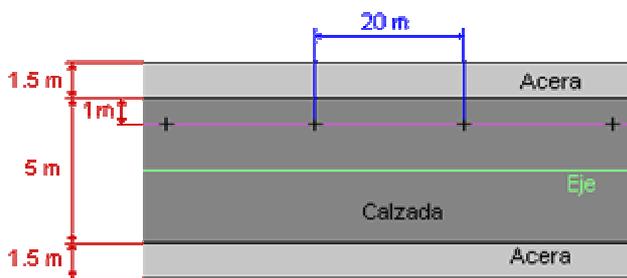
Existen métodos manuales para el cálculo de la iluminación por el método del punto por punto aplicando gráficos (con diagramas iso-r e isocandela o con diagramas iso-q e isolux) pero están en desuso por ser métodos lentos, tediosos y poco fiables debido a que es fácil equivocarse durante su empleo.

## 2.2.4 PROBLEMAS RESUELTOS

1. Para la calle de la figura, calcular el factor de utilización de:

Datos: altura de las luminarias 10 m

- La vía.
- La calzada.
- La acera opuesta a la fila de luminarias.
- La acera más próxima a las luminarias.



Curva del factor de utilización

Fig. 2.10

### Solución

En este problema se pide calcular el factor de utilización para diferentes partes de la vía. Para hay que tomar en cuenta la geometría de la vía. Una vez determinados los coeficientes  $A/h$  y con ayuda de los gráficos suministrados por el fabricante obtendremos los valores del factor de utilización a usarse en los cálculos.

#### a.- Factor de utilización de la vía:

La vía comprende la calzada y las dos aceras. Por tanto:



El diagrama muestra un plano de una vía con una línea rosa horizontal que representa el eje óptico de una luminaria. Hay una línea superior y una inferior que representan los bordes de la vía. Las dimensiones A1 y A2 están indicadas con líneas rojas y flechas, representando las distancias desde la línea rosa hasta los bordes superior e inferior, respectivamente. La dimensión total A también está indicada con una línea roja y flechas, representando la anchura total de la vía.

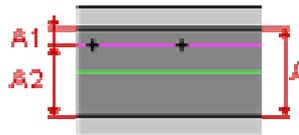
$$\frac{A_1}{h} = \frac{2.5}{10} = 0.25 \Rightarrow \eta_1 = 0.12$$
$$\frac{A_2}{h} = \frac{5.5}{10} = 0.55 \Rightarrow \eta_2 = 0.22$$
$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.32$$

Fig. 2.11

Los gráficos del factor de utilización no dan valores puntuales de dicho factor, sino que dan el valor de este para el tramo comprendido entre la perpendicular del eje óptico de la luminaria y el punto situado a una distancia  $A$ . Por eso, para calcular el factor de toda la vía hay que sumar los valores parciales a un lado y a otro de la línea rosa. Las cosas pueden variar según la geometría del problema y se puede tener casos en que hay que restar.

#### b.- Factor de utilización de la calzada:

Ahora se pide el factor de utilización de la calzada. Es decir de la vía sin las aceras.

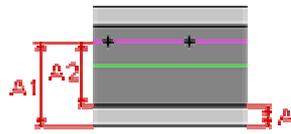


El diagrama muestra un plano de una vía similar al anterior, pero con una línea rosa horizontal que representa el eje óptico de una luminaria. Las dimensiones A1 y A2 están indicadas con líneas rojas y flechas, representando las distancias desde la línea rosa hasta los bordes superior e inferior, respectivamente. La dimensión total A también está indicada con una línea roja y flechas, representando la anchura total de la vía.

$$\frac{A_1}{h} = \frac{1}{10} = 0.1 \Rightarrow \eta_1 = 0.04$$
$$\frac{A_2}{h} = \frac{4}{10} = 0.4 \Rightarrow \eta_2 = 0.16$$
$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.20$$

Fig. 2.12

c.- Factor de utilización de la acera opuesta a las luminarias:



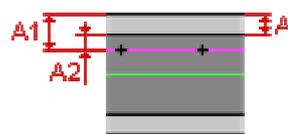
$$\frac{A_1}{h} = \frac{5.5}{10} = 0.55 \Rightarrow \eta_1 = 0.22$$

$$\frac{A_2}{h} = \frac{4}{10} = 0.4 \Rightarrow \eta_2 = 0.16$$

$$\eta = \eta_1 - \eta_2 = 0.06$$

Fig. 2.13

d.- Factor de utilización de la acera más próxima a las luminarias:



$$\frac{A_1}{h} = \frac{2.5}{10} = 0.25 \Rightarrow \eta_1 = 0.12$$

$$\frac{A_2}{h} = \frac{1}{10} = 0.1 \Rightarrow \eta_2 = 0.04$$

$$\eta = \eta_1 - \eta_2 = 0.08$$

Fig. 2.14

Así pues, los resultados finales son:

Tabla 2-7 Resultados

<b>a</b>	0.32
<b>b</b>	0.20
<b>c</b>	0.36
<b>d</b>	0.08

Una vez determinados los factores de utilización de cada zona (calzadas, aceras, etc.) es posible determinar su iluminancia media aplicando la fórmula:

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

2. Queremos iluminar una calzada de 9 metros de anchura con una iluminancia media de 30 lux utilizando lámparas de vapor de sodio de alta

presión de 200 W de potencia y un flujo de luminoso de 30000 lm. Las luminarias se instalarán a una altura de 8 m en disposición tresbolillo y la distancia de la vertical del centro óptico de la luminaria al borde de la acera es de 1 m. Hallar la distancia entre luminarias.

Se considera que el factor de mantenimiento de la instalación es de 0.7 y se suministran las curvas del factor de utilización de la luminaria.

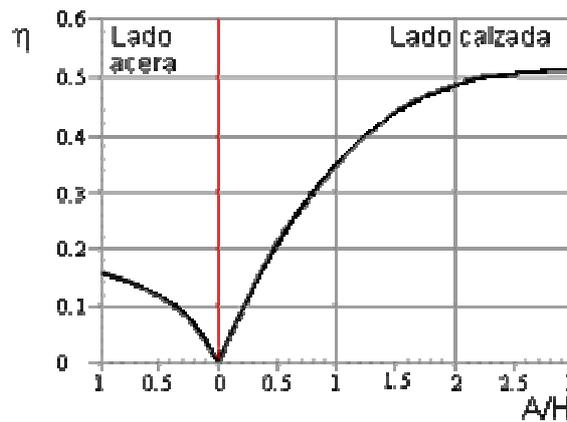
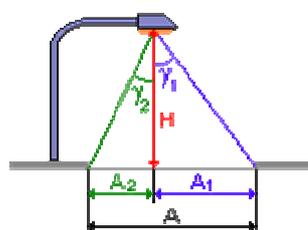


Fig. 2.15

### Solución

Este problema se resuelve aplicando el método del factor de utilización del que se conocen todos los datos menos el factor de utilización y la ínter distancia que es la incógnita.

Cálculo del factor de utilización:



$$\frac{A_1}{h} = \frac{8}{8} = 1 \Rightarrow \eta_1 = 0.34$$

$$\frac{A_2}{h} = \frac{1}{8} = 0.125 \Rightarrow \eta_2 = 0.04$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.38$$

Fig. 2.16

Conocidos todos los datos sólo queda sustituirlos en la fórmula y calcular el valor de d.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

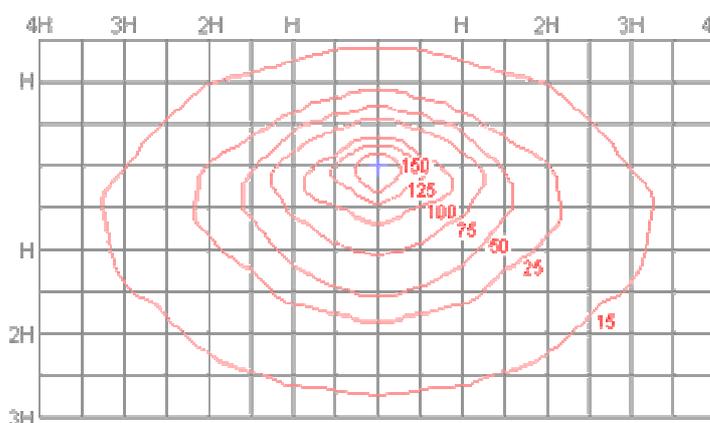
de donde:

$$d = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{E_m \cdot A} = \frac{0.38 \cdot 0.7 \cdot 30000}{30 \cdot 9} = 29.5m$$

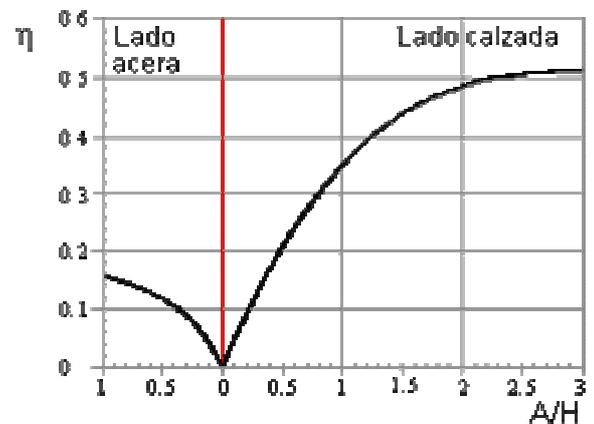
## 2.2.5. CALCULO DE LA ILUMINACION DE LOS CORREDORES EXTERIORES DE LA E.S.F.O.T

Tomando en cuenta los datos disponibles para el cálculo se plantea el problema:

*\* Se necesita dimensionar la instalación de alumbrado público para los corredores exteriores de la E.S.F.O.T. de una zona de tránsito moderada. No posee acera, y la anchura de la calzada mide 5m - 6.5m (ciertas áreas poseen una anchura mayor como en las zonas verdes de ASI, APC). Se plantea instalar luminarias tipo reflector con lámparas halógenas de cuarzo de 150w y flujo luminoso de 1300 lm. Se dispone de las curvas isolux de la luminaria y las graficas del factor de utilización suministrados por el fabricante.*



Curva isolux de la luminaria



Curva del factor de utilización

Fig. 2.17

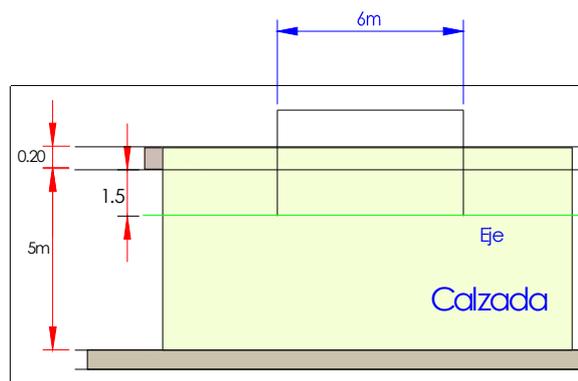
**Otros datos:** Se considera que la proyección del centro óptico de la luminaria sobre la calzada estará a 1.50m de la pared.

**Determinar:**

- a. La altura de montaje.
- b. La disposición más adecuada de las luminarias.
- c. El valor de la iluminancia media.
- d. La distancia de separación de las luminarias.
- e. La iluminancia media en la calzada en el momento de puesta en marcha de la instalación y una vez se produce la depreciación.
- f. La iluminancia media sobre cada acera.
- g. Los factores de uniformidad media y extrema de la calzada.

**Datos:**

Lámpara de luminaria tipo reflector con lámparas halógenas de 1300 lm.



**Fig. 2.18**

#### **a.- Altura de montaje**

Según la tabla da la relación entre el flujo luminoso de la lámpara y la altura de la luminaria para un flujo de 1300 corresponde una altura entre 3.5 y 4.5 metros. Por motivos arquitectónicos se elige anclajes de 3.5m de altura que es la altura de la cubierta exterior de la edificación. Por tanto  **$h = 3.5 \text{ m}$** .

### b.- Disposición de las luminarias

Para conocer la disposición se calcula primero el valor de la relación entre el ancho de la calzada y la altura de las luminarias. En el caso es  $5/3.5 = 1.428$  que según la correspondiente tabla aconseja una disposición **unilateral**.

### c.- El valor de la iluminancia media ( $E_m$ )

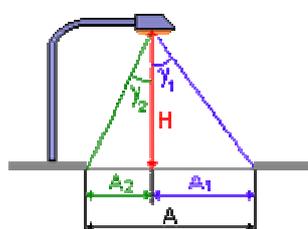
Se sabe que la instalación está situada en un pasaje de tráfico moderado en una zona peatonal. Es lógico pensar que las necesidades luminosas serán moderadas y asimila a una vía del tipo. Por tanto, le corresponderá una iluminancia media de **30 lx**.

### d.- La distancia de separación entre las luminarias

Ya hay casi todos los datos necesarios para poder aplicar la fórmula de la iluminancia media excepto el factor de mantenimiento y el de utilización.

Para conocer el valor del *factor de mantenimiento* se sabe que se instalará una luminaria de tipo reflector con lámparas halógenas de cuarzo para exteriores. Queda por decidir sí el grado de suciedad del entorno. Como los corredores están en una zona peatonal con moderado tráfico se puede pensar que la instalación no se ensuciará demasiado pero también podemos suponer que las lámparas no se limpiarán con mucha frecuencia. Por tanto y adoptando una posición conservadora se asigna el valor de una luminaria abierta en un ambiente medio. Así pues, se asigna un valor de **0.68**.

### Calculo del factor de utilización ( $\eta$ ):



$$\frac{A1}{h} = \frac{3.5}{3.5} = 1 \Rightarrow \eta1 = 0.35$$
$$\frac{A2}{h} = \frac{1.5}{3.5} = 0.428 \Rightarrow \eta2 = 0.232$$
$$\eta = \eta1 + \eta2 = 0.58$$

Fig. 2.19

Finalmente sólo queda calcular el valor de **d**.

$$Em = \frac{\eta \cdot fm \cdot \phi L}{A \cdot d}$$

donde :

$$d = \frac{\eta \cdot fm \cdot \phi L}{Em \cdot A} = \frac{0.58 \times 0.68 \times 1300}{30 \times 4} = 4.27 \text{ m}$$

La separación entre una y otra luminaria es de **4.27m.**, según las características de iluminación descritas anteriormente.

**e.- La iluminancia media en la calzada en el momento de puesta en marcha de la instalación y una vez se produce la depreciación**

En el momento de la puesta en marcha el valor del factor de mantenimiento es 1. Por tanto:

$$Em = \frac{\eta \cdot fm \cdot \phi L}{A \cdot d}$$

donde :

$$Em = \frac{\eta \cdot fm \cdot \phi L}{d \cdot A} = \frac{0.58 \times 1 \times 1300}{4.27 \times 4} = 44.15 \text{ lx}$$

Transcurrido el tiempo el flujo luminoso de la lámpara descenderá por efecto de la suciedad y la depreciación de esta. El nuevo valor de la luminancia será:

$$Em = \frac{\eta \cdot fm \cdot \phi L}{A \cdot d}$$

donde :

$$Em = \frac{\eta \cdot fm \cdot \phi L}{d \cdot A} = \frac{0.58 \times 0.68 \times 1300}{4.27 \times 4} = 30.01 \text{ lx}$$

**f.- La iluminancia media sobre cada acera.**

Para calcular las iluminancias lo primeros que se debe determinar son los factores de utilización de cada una de las aceras.

Acera más próxima a las luminarias

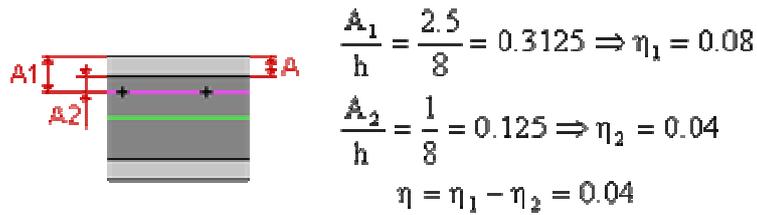


Fig. 2.20

De donde:

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d} = \frac{0.04 \cdot 0.68 \cdot 15000}{1.5 \cdot 19.6} = 13.88 \text{ lx}$$

Acera opuesta a las luminarias

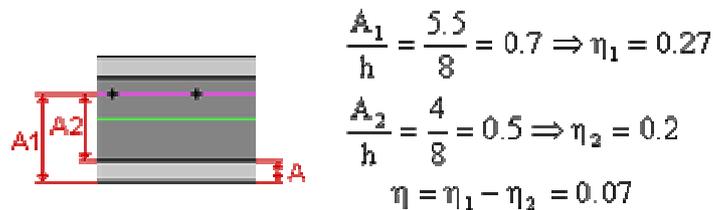


Fig. 2.21

de donde:

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d} = \frac{0.07 \cdot 0.68 \cdot 15000}{1.5 \cdot 19.6} = 24.29 \text{ lx}$$

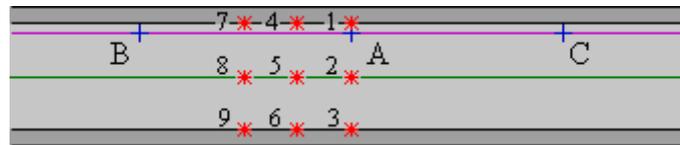
### g.- Los factores de uniformidad media y extrema de la calzada.

Para calcular los factores de uniformidad se ha empleado el método de los nueve puntos.

En primer lugar se elabora un plano de la calle a la misma escala que las curvas isolux del fabricante. Las curvas están referidas a distancias divididas por la altura de la luminaria. Por tanto se dividirá los parámetros de la calle por este valor. Cuando se disponga de estos valores relativos, se multiplicara por el número de píxeles (milímetros sobre el papel) que corresponden a una unidad de H en el gráfico; en el caso son 42 píxel por unidad de longitud. Resumiendo:

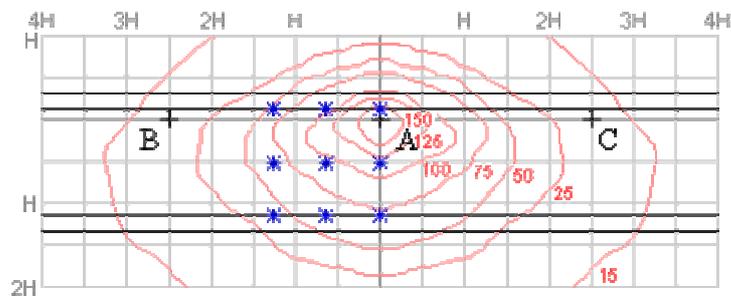
$$y = \frac{x}{h} \cdot r = \frac{x}{8} \cdot 42 \text{ píxel/m}$$

A continuación se puede ver el dibujo de la calle a escala con los nueve puntos ya colocados sobre ella.



**Fig. 2.22**

Una vez realizado esto se podrá pasar a superponer la gráfica sobre las diferentes luminarias y leer los valores de la curva isolux sobre los puntos tal y como se hizo al hablar del método de los nueve puntos.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	150	123	75	100	97	66	64	73	42
B	20	23	18	25	38	42	63	72	42
C	20	23	22	13	17	15	9	10	9
$\sum E_i$ curva	190	169	115	138	152	123	136	155	93
$E_i$ real	44.6	40.0	27.0	32.4	35.6	28.9	31.9	36.4	21.8

**Fig. 2.23**

Los valores reales de las iluminancias en cada punto se calculan a partir de los relativos aplicando la fórmula:

$$E_r = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{\Phi_c} \left( \frac{h_c}{h_r} \right)^2 = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{h_r^2} \frac{1}{1000} = E_c \cdot \frac{15000}{8^2} \cdot \frac{1}{1000} = 0.23 \cdot E_c$$

Finalmente, se calcula la iluminancia media y los factores de uniformidad:

$$U_m = \frac{E_{\min}}{E_m} = \frac{21.8}{34} = 0.64 \qquad U_{\text{est}} = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \frac{21.8}{44.6} = 0.49$$

$E_m = 30 \text{ lx}$

El valor de  $E_m$  obtenido es el del momento de puesta en marcha de la instalación. Para obtener el valor una vez producida la depreciación se ha de multiplicar por el factor de mantenimiento (0.68). Se obtiene entonces un valor de 30.012 lx.

## 2.3 CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO

### 2.3.1 POTENCIA, CORRIENTE Y CONSUMO ENERGETICO

Las dos exigencias principales de una instalación eléctrica satisfactoria deben cumplir son:

- a) Que sea adecuada.
- b) Que sea segura.

Al proyectar una instalación, se deberán dejar las puertas abiertas para las futuras ampliaciones razonables del sistema y para la flexibilidad respecto a su uso. No solo eso, sino que además todo sistema deberán tener una sección de conductores suficiente para evitar las pérdidas indebidas de energía, resultantes de la caída excesiva de tensión, existente entre el punto de suministro de energía y el punto de uso.

### 2.3.2 EXIGENCIAS PARA LA SEGURIDAD

Un conductor solo puede transportar una cierta cantidad de corriente eléctrica, sin calentarse demasiado. Esa cantidad variará en función del área de la sección del hilo, de la composición del material aislante que lo recubre y del

número de hilos existentes en el tubo o conducción. Los tipos principales de aislamiento que se ofrecen en el mercado para instalaciones vienen dados, así como sus limitaciones, en la **tabla siguiente**:

Tabla 2-8

<b>CLASIFICACIÓN Y UTILIZACIÓN DE LOS DISTINTOS CONDUCTORES®</b>			
<b>Características</b>	<b>Designación</b>	<b>Temperatura máxima de funcionamiento</b>	<b>Aplicación</b>
Cubierta de goma Cable armado Hilo único o cable de 7 venas	RF-1 (1) RF-2 (1)	60C 140F 60C 140F	Cables armados. Uso limitado hasta 300 voltios. Cables armados.
Cubierta de goma Cable armado Trenzado flexible	FF-1 (1) FF-2 (1)	60C 140F 60C 140F	Cables armados. Uso limitado hasta 300 voltios. Cables armados.
Resistencia al calor Cubierta de goma Cable armado Hilo único o cable de 7 venas	RFH-1 (1) RFH-2 (1)	75C 167F 75C 167F	Cables armados. Uso limitado hasta 300 voltios. Cables armados.
Resistencia al calor Cubierta de goma Cable armado Trenzado flexible	FFH-1 (1) FFH-2 (1)	75C 167F 75C 167F	Cables armados. Uso limitado hasta 300 voltios. Cables armados.
Cubierta termoplástico Cable armado Hilo o trenzado	TF (1)	60C 140F	Cables armados.
Cubierta termoplástico Cable armado Trenzado flexible	TFF (1)	60C 140F	Cables armados.
Cubierta de algodón Resistencia al calor Cable armado	CF (1)	90C 194F	Cables armados. Uso limitado hasta 300 voltios.
Cubierta de amianto Resistencia al calor Cable armado	AF (1)	150C 302F	Cables armados. Uso limitado hasta 300 voltios e interiores secos.

® Revisión de 1959 de la "National Electrical Code"

(1) Los cables armados no son adecuados para los circuitos de distribución o los de conexión a la utilización móvil o fija.

Aislamiento de goma siliconada Cable armado Hilo único o cable de 7 venas	SF-1 (1) SF-2 (1)	200C 392F 200C 392F	Cables armados. Uso limitado hasta 300 voltios. Cables armados.
Aislamiento de goma siliconada Cable armado Trenzado flexible	SFF-1 (1) SFF-2 (1)	150C 302F 150C 302F	Cables armados. Uso limitado hasta 300 voltios. Cables armados.
Vaina de goma	R	60C 140F	Lugares secos.
Resistente al calor Goma	RH	75C 167F	Lugares secos.
Resistente al calor Goma	RHH	90C 194F	Lugares secos.
Resistente a la humedad Goma	RW (2)	60C 140F	Lugares secos y húmedos.
Resistente al calor y a la humedad Goma	RH-RW (2)	60C 140F 75C 167F	Lugares secos y húmedos. Lugares secos.
Resistente al calor y a la humedad Goma	RHW (1)	75C 167F	Lugares secos y húmedos.
Goma "Látex"	RU	60C 140F	Lugares secos.
Resistente al calor Goma "Látex"	RUH	75C 167F	Lugares secos.
Resistente a la humedad Goma "Látex"	RUW	60C 140F	Lugares secos y húmedos.
Termoplástico	T	60C 140F	Lugares secos.
Resistente a la humedad Termoplástico	TW	60C 140F	Lugares secos y húmedos.
Resistente al calor y a la humedad Termoplástico	THW	75C 167F	Lugares secos y húmedos.

(1) Los cables armados no son adecuados para los circuitos de distribución o los de conexión a la utilización móvil o fija.

(2) Para más de 2000 voltios, el aislamiento deberá ser resistente al ozono.

Aislamiento mineral (Vaina Metálica)	MI	85C 185F	Lugares secos y húmedos con terminales tipo O. Temperatura máxima de trabajo para aplicaciones especiales: 250C.
Termoplástico y amianto	TA	90C 194F	Solamente para cableado de tableros.
Amianto siliconado	SA	90C 194F	Lugares secos. Temperatura máxima de trabajo para aplicaciones especiales: 125C.
Termoplástico y trenzado ext. de fibra	TBS	90C 194F	Solamente para cableado de tableros.
Batista barnizada	V	85C 185F	Solamente para lugares secos con sección inferior a los 16mm <sup>2</sup> para casos especiales
Amianto y batista barnizada	AVA	110C 230F	Solamente para lugares secos.
Amianto y batista barnizada	AVL	110C 230F	Lugares secos y húmedos
Amianto y batista barnizada	AVB	90C 194F	Solamente para lugares secos.
Amianto	A	90C 194F	Solamente para lugares secos. En canalización solo para conductores que van a o están dentro de aparatos. Límite de 300 voltios
Amianto	AA	200C 392F	Solamente para lugares secos. Conductores aéreos. En canalización solo para conductores que van a o están dentro de aparatos. Límite de 300 voltios
Amianto	AI	125C 257F	Solamente para lugares secos. En canalización solo para conductores que van a o están dentro de aparatos. Límite de 300 voltios
Amianto	AIA	125C 257F	Solamente para lugares secos. Conductores aéreos. En canalización solo para conductores que van a o están dentro de aparatos. Límite de 300 voltios
Papel		85C 185F	Para línea de tierra o casos especiales

Combustión lenta	SB	90C 194F	Solamente para lugares secos. Conductores aéreos y en canalizaciones donde la temperatura excede de la permitida a los conductores con cubierta de goma o de batista barnizada.
------------------	----	-------------	---

Tabla 2-9

<b>CORRIENTE ADMISIBLE, EN AMPERES, PARA CONDUCTORES AISLADOS</b>							
<b>No más de tres conductores por canalización, cable o empotramiento</b> (basado en una temperatura del local de 30°C., 86°F)							
Sección del conductor en mm <sup>2</sup>	Nomenclatura americana AWG	Goma Tipo R Tipo RW Tipo RU Tipo RUW (de 2,5 a 35mm <sup>2</sup> ) Tipo RH-RW (1) Termo-plástico Tipo T Tipo TW	Goma Tipo RH Tipo RUH (de 2,5 a 35mm <sup>2</sup> ) Tipo RH-RW (2) Tipo RHW Termo-plástico Tipo THW	Papel Termo-plástico Amianto Tipo TA Tipo SA Batista barnizada Tipo V Tipo AVB Cable MI Tipo RHH	Amianto Batista barnizada Tipo AVA Tipo AVL	Amianto impregnado Tipo AI (de 2,5 a 10 mm <sup>2</sup> ) Tipo AIA	Amianto Tipo A (de 2,5 a 10 mm <sup>2</sup> ) Tipo AA
<b>CONDUCTORES DE COBRE</b>							
2,5	14	15	15	25 (3)	30	30	30
4	12	20	20	30 (3)	35	40	40
6	10	30	30	40 (3)	45	50	55
10	8	40	45	50	60	65	70
16	6	55	65	70	80	85	95
25	4	70	85	90	105	115	120
	3	80	100	105	120	130	145
35	2	95	115	120	135	145	165
50	1	110	130	140	160	170	190
	0	125	150	155	190	200	225
70	00	145	175	185	215	230	250
95	000	165	200	210	245	265	285
120	0000	195	230	235	275	310	340
<b>CONDUCTORES DE ALUMINIO</b>							
4	12	15	15	25 (3)	25	30	30

(1) Emplazamientos húmedos

(2) Emplazamientos secos

(3) La capacidad de los conductores del tipo RHH es la misma que la de los del tipo RH

(4) Para los circuitos y derivaciones con tres hilos y una sola fase, la capacidad admisible de los conductores de aluminio tipo RH, RH-RW, RHH, RHW y THW es la siguiente: Núm 2, 100A; núm 1, 110A; núm 00, 150A; núm 000, 170<sup>a</sup>, núm 0000, 200A

6	10	25	25	30 (3)	35	40	45
10	8	30	40	40 (3)	45	50	55
16	6	40	50	55	60	65	75
25	4	55	65	70	80	90	95
	3	65	75	80	95	100	115
35	2 (4)	75	90	95	105	115	130
50	1 (4)	85	100	110	125	135	150
	0(4)	100	120	125	150	160	180
70	00(4)	115	135	145	170	180	200
95	000(4)	130	155	165	195	210	225
120	0000(4)	155	180	185	215	245	270
°C	°F	Factores de corrección para locales con temperaturas superior a 30°C., F.					
40	104	0,82	0,88	0,90	0,95		
45	113	0,71	0,82	0,85	0,92		
50	122	0,58	0,75	0,80	0,89		
55	131	0,41	0,67	0,74	0,86		
60	140		0,58	0,67	0,83	0,91	
70	158		0,35	0,52	0,76	0,87	
75	167			0,43	0,72	0,86	
80	176			0,30	0,69	0,84	
90	194				0,61	0,80	
100	212				0,51	0,77	

Tabla 2-10

<b>NUMERO MÁXIMO DE CONDUCTORES POR CONDUCTO O TUBO, EN FUNCIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL CONDUCTOR®</b>													
<b>Cubierta de goma tipo RF-2, RFH2, R, RW, RH-RW, RHW, RHH, RU, RUW, SF y SFF</b>													
<b>Termoplásticos tipo TF, T, TW y THW</b>													
Sección del conductor en mm <sup>2</sup>	Nomenclatura americana AWG	Diámetro del conducto o tubo en mm.											
		13	19	25	32	38	50	63	76	89	102	127	152
	18	7	12	20	35	49	80	115	176				
	16	6	10	17	30	41	68	98	150				
2,5	14	4	6	10	18	25	41	58	90	121	155		
4	12	3	5	8	15	21	34	50	76	103	132	208	
6	10	1	4	7	13	17	29	41	64	86	110	173	
10	8	1	3	4	7	10	17	25	38	52	67	105	152

(4) Para los circuitos y derivaciones con tres hilos y una sola fase, la capacidad admisible de los conductores de aluminio tipo RH, RH-RW, RHH, RHW y THW es la siguiente: Núm 2 , 100A; núm 1, 110A; núm 00, 150A; núm 000, 170<sup>a</sup>, núm 0000, 200A

® Según la revisión de 1959 de la "National Electrical Code"

16	6	1	1	3	4	6	10	15	23	32	41	64	93
25	4	1	1	1	3	5	8	12	18	24	31	49	72
	3		1	1	3	4	7	10	16	21	28	44	63
35	2		1	1	3	3	6	9	14	19	24	38	55
50	1		1	1	1	3	4	7	10	14	18	29	42
	0			1	1	2	4	6	9	12	16	25	37
70	00			1	1	1	3	5	8	11	14	22	32
95	000			1	1	1	3	4	7	9	12	19	27
120	0000				1	1	2	3	6	8	10	16	23

Tabla 2-11

Carga en Volti-amperios a tensión de 120V	Carga en Amperios	Longitud del recorrido en metros																	
		9	12	15	18	21	24	27	30	36	43	49	55	61	73	85	97	110	122
600	5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	4	6	6	6	6	10	10	10	16	16
720	6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	4	6	6	6	10	10	10	10	16	16	16
840	7	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	4	6	6	6	10	10	10	16	16	16	16	25
960	8	2,5	2,5	2,5	4	4	4	6	6	6	10	10	10	10	16	16	16	25	25
1080	9	2,5	2,5	4	4	4	6	6	6	10	10	10	10	16	16	16	25	25	25
1200	10	2,5	2,5	4	4	6	6	6	6	10	10	10	16	16	16	25	25	25	25
1440	12	2,5	4	4	6	6	6	10	10	10	10	16	16	16	25	25	25	25	35
1680	14	2,5	4	6	6	6	10	10	10	16	16	16	16	25	25	25	35	35	35
1920	16	4	4	6	6	10	10	10	10	16	16	16	25	25	25	35	35	35	35
2160	18	4	6	6	10	10	10	10	16	16	16	25	25	25	25	35	35	35	50
2400	20	4	6	6	10	10	10	16	16	16	25	25	25	25	35	35	35	50	50
3000	25	6	6	10	10	16	16	16	16	25	25	25	35	35	35	50	50	50	50
3600	30	10	10	10	16	16	16	16	25	25	25	35	35	35	50	50	50	50	70
4200	35	10	10	16	16	16	25	25	25	25	35	35	35	50	50	50	70	70	95
4800	40	16	16	16	16	25	25	25	25	35	35	35	50	50	50	70	70	95	95
5400	45	16	16	16	16	25	25	25	35	35	35	50	50	50	70	70	95	95	120
6000	50	16	16	16	25	25	25	35	35	35	50	50	50	50	70	95	95	120	120
7200	60	25	25	25	25	25	35	35	35	50	50	50	50	70	95	95	120	120	
8400	70	25	25	25	25	35	35	35	50	50	50	70	70	95	95	120	120		
9600	80	35	35	35	35	35	35	50	50	50	70	70	95	95	120	120			
10800	90	35	35	35	35	35	50	50	50	70	70	95	95	120	120				
12000	100	50	50	50	50	50	50	50	50	70	95	95	120	120					
14400	120	50	50	50	50	50	50	50	70	70	95	120	120						

### 2.3.3 FACTOR DE POTENCIA Y CORRIENTE DE LINEA

La potencia total en cualquier circuito de corriente continua o alterna con solo carga de resistencia pura como las lámparas de filamento, puede ser expresada por la ecuación fundamental:

**Potencia** (vatios) = **Tensión** (Voltios) x **Intensidad** (Amperios).

En tales circuitos, la potencia total es “activa” en la producción de trabajo útil, esto es, en calentar el filamento hasta la incandescencia.

Las lámparas de descarga eléctrica, como las fluorescentes y de vapor de mercurio, requieren reactancias para limitar la corriente y proporcionar la tensión de arranque necesaria. Como estas reactancias no son cargas de resistencia pura, parte de la corriente que pasa por circuito no es “efectiva” en el funcionamiento de la reactancia o de producción de luz. En estos circuitos, el producto de la tensión por la intensidad no es igual a la potencia activa utilizada. Por ello es necesario utilizar una ecuación diferente para expresar la potencia activa en estos circuitos.

**Potencia Activa total** (vatios) = **Tensión** (Voltios) x **Intensidad** (Amperios) x **Factor de Potencia**.

O:

$$\text{Intensidad (Amperios)} = \frac{\text{Potencia Total Activa (Vatios)}}{\text{Tension (Voltios)} \times \text{Factor de Potencia}}$$

El Factor de Potencia es, pues, la relación entre la potencia Activa (leída por vatímetro) y el producto de la Tensión por la Intensidad (leídos en los aparatos colocados en el circuito). Esta relación se expresa generalmente en porcentaje.

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{\text{Potencia Total Activa (Vatios)}}{\text{Intensidad (Amp)} \times \text{Tensión (Voltios)}}$$

De la ecuación de la Intensidad de corriente se deduce que el factor de potencia afecta a la corriente total del circuito. Cuando el factor de potencia es del 100%, la corriente es mínima y el producto de la intensidad por la tensión

es igual a la potencia activa medida por el vatímetro. Si el factor de potencia es el 50%, la corriente del circuito se duplica; si es del 80%, la corriente aumentará un 25%, etc. Los inconvenientes debidos a la influencia del factor de potencia sobre la corriente, se advierten especialmente cuando los circuitos están muy cargados y se traduce en hilos conductores calentados en exceso, caída de tensión excesiva o interrupciones causadas por funcionamiento del equipo de protección (interruptores automáticos).

#### **2.3.4 SELECCIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS CIRCUITOS DE ALIMENTACION Y DE DISTRIBUCION.**

El tamaño necesario del conductor para evitar la caída excesiva de tensión en el sistema es a menudo mayor del que es necesario desde el punto de vista de seguridad únicamente. La tensión baja no es deseable por varias razones, entre ellas, las condiciones de funcionamiento no económicas para lámparas de filamento (emisión de luz y eficacia aminoradas), y para las lámparas de descarga la posibilidad de una vida corta y dificultades de arranque.

#### **SECCION EN mm<sup>2</sup> DE LOS CONDUCTORES DE LOS CIRCUITOS DE ALIMENTACION Y DE DISTRIBUCION PARA VARIAS LONGITUDES DE RECORRIDO**

**En los recorridos cortos en los que la caída de tensión no es afectada por la dimensión del conductor, la Tabla 2.11 muestra la mínima dimensión comercial admisible de hilo de cobre, calibrado y forrado de goma de BROS G Sharpe de acuerdo con lo prescrito por el “National Electrical Code<sup>15</sup>”.**

- Basado en: - 2% de pérdidas de tensión en circuitos de 2 hilos, 120V.**
- 1% de pérdidas de tensión en circuitos de 2 hilos, 240V.**
  - 1% de pérdidas de tensión en circuitos de 3 hilos, 120/240V.**

---

<sup>15</sup> National Electrical Code.- Código Eléctrico Nacional “NEC” de los Estados Unidos de América

La caída de tensión admisible compatible con el funcionamiento económico de un sistema varía algo según el equipo a alimentar y las condiciones físicas, pero una regla practica general para instalaciones de alumbrado es un máximo del 3% en los circuitos de instalación (acometida al circuito de distribución hasta la utilización) **a plena carga**; 1% para el circuito de alimentación (cuadro de distribución a empalme con el circuito de instalación).

La caída tensión de un circuito viene determinada por la ley de Ohm:

$$E=IR$$

En la cual:

**E**= Caída de tensión en Voltios.

**I**=Corriente en Amperios.

**R**= resistencia, en ohms, de la longitud total del conductor, es decir, el hilo de ida y el de vuelta.

### 2.3.5 CALCULO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO DE LA E.S.F.OT.

#### POTENCIA:

$$P = V * I$$

Potencia de la lámpara 150W

Circuito 1. -

Seis lámparas halógenas de 150W → 900W

Una lámpara halógena de 300W → 300W

Total → 1200W

Circuito 2. -

Seis lámparas halógenas de 150W → 900W

Circuito 3. -

Siete lámparas halógenas de 150W → 1050W

Circuito 4-

Nueve lámparas halógenas de 150W → 1350W

Circuito 5. -

Siete lámparas halógenas de 150W → 1050W

Dos lámparas halógenas de 300W → 600W

Total → 1650W

### **POTENCIA TOTAL**

$$\sum P = (1200 + 900 + 1050 + 1350 + 1650)W = 6150W$$

$$P_{TOTAL} = 6.15kW$$

### **CORRIENTE:**

$$I = \frac{P}{V}$$

Circuito 1-

$$I_1 = \frac{1200W}{110V} = 11A$$

Circuito 2. -

$$I_2 = \frac{900W}{110V} = 8.18A$$

Circuito 3. -

$$I_3 = \frac{1050W}{110V} = 9.54A$$

Circuito 4. -

$$I_4 = \frac{1350W}{110V} = 12.27A$$

Circuito 5. -

$$I_5 = \frac{1650W}{110V} = 15A$$

### **CORRIENTE TOTAL**

$$\sum I = (11 + 8.18 + 9.54 + 12.27) = 41A$$

## CORRIENTE POR LUMINARIA

$$I_{C/L} = \frac{P}{V} = \frac{150W}{110V} = 1.36A$$

## CORRIENTE POR LAMPARA DE 300W

$$I_{C/L} = \frac{P}{V} = \frac{300W}{110V} = 2.72A$$

## CONSUMO ENERGÉTICO

$$E = P * h = 6.15kW * 1h = 6.15kW / h$$

$$E_{DIARIO} = 6.15kW * 5 = 30.75kW / día$$

$$E_{SEMANAL} = 30.75kW * 7 = 215.25kW / semana$$

$$E_{MES} = 215.25kW * 4 = 861.0kW / mes$$

## Selección de la galga del conductor

Para la galga del conductor en forma adecuada se procede a revisar la siguiente tabla donde se explica la capacidad de conducción de cada cable:

## ALAMBRES Y CABLES DE COBRE TIPO TN Y TFN 600V – 90°C

**Tabla 2-12 Cablec – Phelps Dodge del Ecuador**

CODIGO CABLE	CONDUCTOR					ESPESOR DE AISLAM	ESPESOR CHAQUETA NYLON	DIÁMETRO EXT. APROX.	PESO TOTAL APROX.	CAPACIDAD CONDUCCION		TIPO
	CALIBRE	#	SECCION APROX.	DIÁMETRO APROX.	PESO APROX.					*	**	
	AWG o MCM	HILOS	Mm <sup>2</sup>	mm	Kg/Km					Amp.	Amp.	
-	18	1	0.82	1.02	7.3	0.38	0.10	1.98	10.3	<b>14</b>	<b>18</b>	TFN
-	16	1	1.31	1.29	11.7	0.38	0.10	2.25	15.2	<b>18</b>	<b>24</b>	TFN
MC 94	14	1	2.08	1.63	18.5	0.38	0.10	2.59	22.7	<b>25</b>	<b>35</b>	THHN
MC 92	12	1	3.31	2.05	29.4	0.38	0.10	3.01	34.5	<b>30</b>	<b>40</b>	THHN
MC 90	10	1	5.26	2.59	46.8	0.51	0.10	3.81	54.9	<b>40</b>	<b>55</b>	THHN
MC 89	8	1	8.37	3.26	74.4	0.76	0.13	5.03	89.9	<b>55</b>	<b>80</b>	THHN
MC 74	14	7	2.08	1.88	19.0	0.38	0.10	2.84	24.4	<b>25</b>	<b>35</b>	THHN
MC 72	12	7	3.31	2.36	30.3	0.38	0.10	3.32	36.8	<b>30</b>	<b>40</b>	THHN

MC 70	10	7	5.26	2.97	48.2	0.51	0.10	4.19	58.8	<b>40</b>	<b>55</b>	THHN
MC 69	8	7	8.37	3.70	75.9	0.76	0.13	5.47	95.8	<b>55</b>	<b>80</b>	THHN
-	6	7	13.3	4.65	120.6	0.76	0.13	6.42	144.6	<b>75</b>	<b>105</b>	THHN
-	4	7	21.12	5.88	191.5	1.02	0.15	8.21	231.9	<b>95</b>	<b>140</b>	THHN
-	2	7	33.54	7.41	304.1	1.02	0.15	9.74	353.3	<b>130</b>	<b>190</b>	THHN
-	1/0	19	53.52	9.45	485.3	1.27	0.18	12.35	559.5	<b>170</b>	<b>260</b>	THHN
-	2/0	19	67.35	10.65	610.7	1.27	0.18	13.55	693.1	<b>195</b>	<b>300</b>	THHN
-	3/0	19	84.91	11.95	770.0	1.27	0.18	14.85	891.3	<b>225</b>	<b>350</b>	THHN
-	4/0	19	107.4	13.40	974.0	1.27	0.18	16.30	1075.2	<b>260</b>	<b>405</b>	THHN
-	250	37	126.4	14.55	1157.1	1.52	0.20	18.01	1287.2	<b>290</b>	<b>455</b>	THHN
-	300	37	151.9	15.95	1390.4	1.52	0.20	19.41	1531.7	<b>320</b>	<b>505</b>	THHN
-	350	37	177.3	17.23	1623.3	1.52	0.20	20.69	1774.8	<b>350</b>	<b>570</b>	THHN
-	400	37	203.2	18.45	1860.6	1.52	0.20	21.91	2021.9	<b>380</b>	<b>615</b>	THHN
-	500	37	252.9	20.65	2315.6	1.52	0.20	24.11	2494.6	<b>430</b>	<b>700</b>	THHN
-	600	61	303.2	22.68	2776.1	1.78	0.23	26.70	3003.4	<b>475</b>	<b>180</b>	THHN
-	700	61	354.0	24.43	3241.0	1.78	0.23	28.45	3484.4	<b>520</b>	<b>855</b>	THHN
-	750	61	380.8	25.34	3453.1	1.78	0.23	29.36	3704.9	<b>535</b>	<b>885</b>	THHN
-	800	61	404.3	26.11	3666.2	1.78	0.23	30.13	3925.1	<b>555</b>	<b>920</b>	THHN
-	1000	61	507.7	29.26	4604.1	1.78	0.23	33.28	4892.0	<b>615</b>	<b>1055</b>	THHN

\* Capacidad de conducción no más de 3 conductores en Conduit, bandeja o cable directamente enterrado, basado en una temperatura ambiente 30°C (86°F).

\*\*Capacidad de conducción para un conductor en aire libre, a temperatura ambiente de 30°C (86°F).

Como se pudo observar para el caso de la acometida principal se tiene una conducción de 41A, tomando en cuenta la tabla Cablec indica un valor de galga #6AWG (con una capacidad de conducción máxima para no más de 3 conductores en Conduit, bandeja o cable directamente enterrado, basado en una temperatura ambiente de 30°C de 75A y una capacidad de conducción para un conductor en aire libre a temperatura ambiente de 30°C de 105<sup>a</sup>). Se mencionó anteriormente la caída de tensión admisible según la tabla de *longitud del recorrido en metros* para el caso de la iluminación de la ESFOT es:

Un circuito de 110V, con dos hilos a 12m de largo a 40 luminarias, siendo cada una lámpara halógena de cuarzo 8 pulgadas, y de factor de potencia unitario debido a que son lámparas de incandescencia por lo tanto la carga es cien por cien resistiva, los vatios por luminaria son 150W, con un total para 40 luminarias es 6150W; que da un valor de corriente de 41A se añade la corriente que consume el tablero de control 6 a 7A, y se obtiene un valor de 48A. la dimensión de hilo mostrado en la tabla para un circuito de 12m con una carga de 48A es 16mm<sup>2</sup> que en valores americanos da un cable de galga #6AWG

De esta manera, si el circuito tiene hilo de cobre concéntrico #6AWG, la caída de tensión entre el tablero y la carga no excederá del 2%.

## CAPITULO 3

### 3.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) ZELIO-TELEMECHANIQUE.

#### 3.1.1 ASPECTOS GENERALES

##### PLC

Los controladores lógicos programables o PLC son dispositivos electrónicos ampliamente utilizados en automatización industrial.

La historia de los PLC se remonta a finales de la década de **1960**, cuando la industria buscó una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relevadores, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional.

Un **PLC** está compuesto por una serie de módulos con una función determinada.

**CPU:** Ejecuta de modo continuo el programa en función de los datos contenidos en la memoria, con velocidades que actualmente alcanzan varios cientos de miles de instrucciones por segundo.

**Memoria:** La memoria, se encuentra dividida en dos partes: una memoria de programa, en la que están almacenadas las instrucciones del programa a ejecutar y una memoria de datos, en la que están almacenados los resultados intermedios de cálculos y los diversos estados.

**Relevadores:** Existen físicamente y son externos al controlador; se conectan al mundo real y reciben señales de sensores, switches, etc.

**Relevadores internos:** Se encuentran simulados vía software, son completamente internos al PLC, por lo que los externos pueden eliminarse o remplazarse.

**Contadores:** También son simulados por software y se les programa para contar pulsos de señal.

*Su historia se remonta a finales de la década de 1960, cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional.*

***Hoy en día, los PLC's no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores PID (Proporcional Integral y Derivativo).***

Los PLC's actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

### **3.1.2 INSTRUCTIVO DE MANEJO**

#### **3.1.2.1 Bloques de función**

- 8 temporizadores, con posibilidad de selección entre 8 tipos distintos y con un control de tipo permanente o de flanco ascendente (impulso). Una amplia gama horaria, desde  $1/10^a$  de segundo hasta 100 horas,
- 8 contadores/descontadores de 4 dígitos ( de 0 a 9999),
- 8 comparadores analógicos con 7 tipos de comparaciones,
- 4 relojes, cada uno con 4 rangos horarios. Los relojes ofrecen un resumen de la configuración de los 4 rangos horarios en cada programación o modificación,
- 15 relés auxiliares,
- Diversidad de las funciones de bobina: con memoria (set/reset), telerruptor, normal.



Fig. 3.1

### 3.1.2.2 Modo de programación

- Este modo permite al usuario, o encargado de efectuar los ajustes, ver y modificar los valores de preselección de los distintos bloques de función. Ej.: número de piezas que se van a contar.
- Esta función es posible incluso en modo de funcionamiento (modo RUN). Zelio Logic permite ver cuatro reselecciones en una sola pantalla.



Fig. 3.2

### 3.1.2.3 Función de diagnóstico

- Es posible acceder a esta función cuando el relé programable Zelio Logic está en funcionamiento (modo RUN).
- Desde la pantalla de presentación se visualiza de forma resaltada el estado de las entradas y las salidas. En la pantalla de programación se visualizan todos los elementos activos o inactivos del esquema de control.



Fig. 3.3

#### **3.1.2.4 Una fijación sin accesorios**

- Una instalación todo terreno con patas retractiles o enganche en carril omega.
- Una gran compacidad para una integración perfecta
  - Reducción del volumen de armarios.
  - Fácil integración en una máquina.
- El respeto de los pasos modulares y una culata de 45 le permiten integrarse perfectamente en un cuadro o en un fondo de armario.

#### **3.1.2.5 Una programación intuitiva**

- La sencillez de la programación reduce al mínimo la utilización de la documentación.
- Diagramas de funcionamiento sencillos y claros, por ej., la temporización.
- Ahorro de tiempo gracias al trazado automático de los enlaces entre contactos y bobina.

#### **3.1.2.6 Un Relé Zelio Logic personalizado**

- Posibilidad de insertar una etiqueta de identificación.
- Visualización del valor seleccionado directamente en la pantalla de presentación.  
(Temporización del contador, valor analógico, etc.)
- Utilización de la pantalla como visualizador alfanumérico en miniatura configurable con Zelio-Soft

#### **3.1.2.7 Una programación sin herramientas**

- La utilización del lenguaje de contactos, el que más se aproxima a la representación de los esquemas eléctricos, responde a las expectativas y a los requisitos de los especialistas en automatismos.
- Se puede acceder directamente a todas las funciones desde el producto.
- Sin riesgo de error: la tecla verde, fácilmente reconocible, permite acceder directamente a la mayor parte de las operaciones. El resto de las teclas tiene asignada 1 única función.

### 3.1.3 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

#### 3.1.3.1 Modos de introducción de los esquemas de control

- El modo de "introducción Zelio" permite al usuario, que ha realizado la programación directamente en el producto Zelio-Logic, encontrar la misma ergonomía en la primera utilización del software.
- El modo de "introducción libre", más sencillo e intuitivo, proporciona al usuario una comodidad de utilización inigualable y multitud de funciones adicionales. En efecto, Zelio-Soft, utilizado en el modo de "introducción libre", permite adaptarse al lenguaje del usuario ofreciendo 3 tipos de utilización:

- símbolos Zelio
- símbolos de Contactos
- símbolos Eléctricos.

La "introducción libre" permite asimismo crear mnemónicos y comentarios asociados a cada línea de programa.

- Es posible pasar de un tipo o modo de introducción a otro en cualquier momento, simplemente haciendo clic con el ratón.



Fig. 3.4

#### 3.1.3.2 Prueba de coherencia e idiomas de aplicación

- Zelio-Soft supervisa de forma visible la aplicación gracias a la prueba de coherencia. Supone un ahorro de tiempo considerable, ya que desde el momento en el que se produce el mínimo error de introducción, pasa al color rojo. Basta con hacer clic sobre para localizar exactamente el problema.
- Zelio-Soft es un producto internacional. No sólo permite pasar en cualquier momento a cualquiera de los 6 idiomas de aplicación (inglés, francés, alemán, español, italiano y portugués), sino que además permite editar el informe de

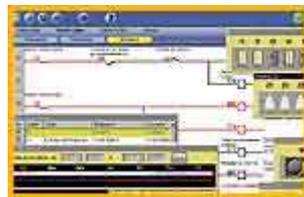
aplicación en dicho idioma. Zelio-Soft permite escoger el modo de representación (Zelio, Contactos o Eléctrico) para editar el informe.



**Fig. 3.5**

### **3.1.3.3 Introducción de los mensajes visualizados en Zelio Logic**

- Zelio-Soft permite configurar 4 bloques de funciones Texto, correspondientes a 4 pantallas de 4 líneas.12 caracteres, visualizables sobre todos los módulos lógicos. Estas pantallas también se activan simplemente con una bobina en un esquema de mando. En tal caso, es posible visualizar solamente mensajes en texto o asociarlos a 1 o 2 variables. Estas últimas son valores normales y/o de ajuste de bloques de funciones utilizadas en el programa.



**Fig. 3.6**

### **3.1.3.4 Reducir los costes de puesta a punto**

- Es posible con Zelio-Soft. Gracias al simulador, se puede probar el conjunto del programa, es decir:
  - Activar las entradas Todo o Nada (TON) y sus modos de contactos, normalmente abierto o cerrado, fugitivo o permanente.
  - Visualizar el estado de las salidas.
  - Variar la tensión de alimentación de las entradas analógicas.
  - Activar las teclas de pulsadores "Zi".
  - Simular el programa de aplicación en tiempo real o acelerado.
  - Visualizar de forma dinámica y en rojo los distintos elementos activos del programa.

### 3.1.4 CONEXINADO DEL PLC

El cable a utilizarse es el #18AWG para control cuya capacidad de conducción esta dentro de los limites necesarios para el funcionamiento adecuado del PLC.

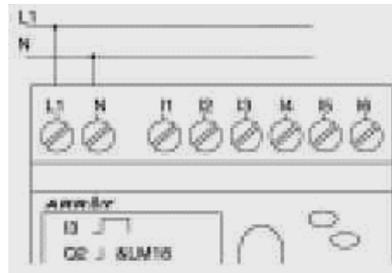


Fig. 3.7 Alimentación del PLC.

#### 3.1.4.1 Conexión de las entradas del [MiniPLC](#)

Las entradas al MiniPLC pueden ser digitales provenientes de switches, celdas fotoeléctricas, etc... O analógicas como ser de sensores de presión, sensores de nivel, temperatura, humedad, etc. Los requerimientos son:

Las entradas analógicas requerirán de señales de 0V ~ +10V con una precisión de 0.1V. Durante la programación, todos los parámetros correspondientes a sistemas analógicos tendrán una precisión de clase 0.1.

Puede ser reconocida como una entrada digital cuando la entrada supere los 10.0v, y no podrá ser reconocida como analógica.

Cuando la entrada es utilizada como digital, cuando la entrada cambia de 0 a 1, el tiempo en estado 1 debe ser mayor a 50ms, y cuando cambia de 1 a 0, el tiempo en 0 debe ser mayor a 50ms.

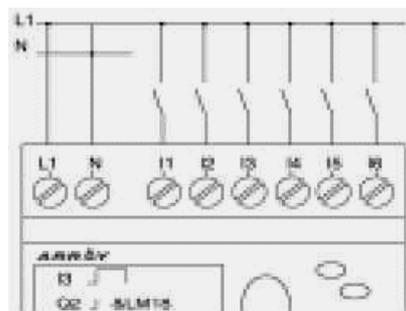
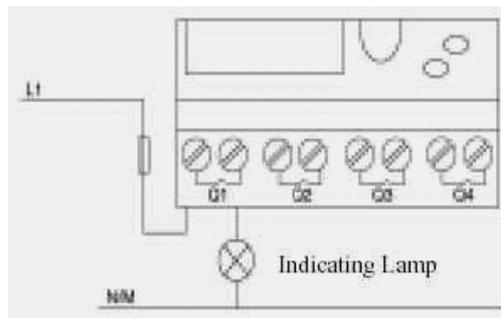


Fig. 3.8 Conexión de las entradas del PLC

### 3.1.4.2 Conexión de las salidas de un [MiniPLC](#)

#### 3.1.4.2.1 *Requerimientos para los relés de salida*

Pueden conectarse una gran variedad de cargas como ser lámparas, tubos fluorescentes, motores, contactores, etc... Para cargas resistivas la corriente máxima podrá ser de 10A y para inductivas de 2A. El conexionado debe ser como el de la figura:



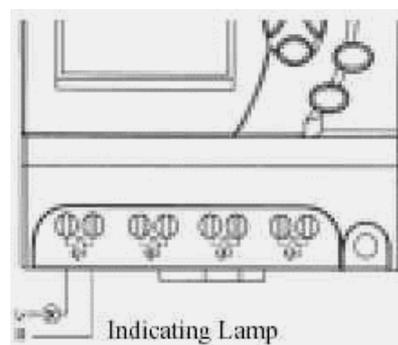
**Fig. 3.9** Salida a relé

#### 3.1.4.2.2 *Requerimientos para las salidas a transistor*

Las cargas a conectarse deberán cumplir con las siguientes características:

La corriente de conmutación no podrá superar los 2A; cuando la salida está en ON (Q=1), la corriente máxima es 2A. El conexionado debe realizarse como se muestra en la figura:

La tensión entre L+ 1 y M debe ser menor que 80VDC.



**Fig. 3.10** Salida a transistor

### **3.2 SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN Y CONTROL**

Evitar someter a tensiones el tendido de la manguera y del tubo conduit, ya que podría causar corto circuitos y roturas del cable.

Procurar dar mantenimiento (limpiar los reflectores) cada seis meses para aprovechar de esta manera toda la intensidad luminosa que posee.

Evitar la toma de voltaje efectuando empalmes improvisados para tomacorrientes ya que pueden causar mal funcionamiento del sistema y sobrecarga en las protecciones y el cable instalado.

Para el funcionamiento de todo el sistema de iluminación se procederá a activar el selector principal de tres posiciones “*AUTOMÁTICO-APAGADO-MANUAL*” en la posición deseada.

Cuando se requiera que el sistema sea *MANUAL* se debe accionar el selector del circuito o los circuitos que se deseen encender, previo el accionamiento en el selector principal.

Si por algún motivo se produjera corto circuito actuarán los elementos de protección, discriminando el lugar de la falla. Para reanudar la marcha del sistema se tendrá que cerciorarse de cual es el problema, dar solución al mismo y por último poner a trabajar el circuito donde se produjo la falla.

## CAPITULO 4

### 4.1 COMPONENTES DE UN AUTOMATISMO

En este capítulo se tratará de explicar de la manera más clara cada uno de los componentes más importantes que forman parte del automatismo, explicando su funcionamiento paso a paso.

#### 4.1.1 ESQUEMA DE MANDO

Los esquemas de mando representan el circuito auxiliar, esto, es la parte de control de un automatismo. En él se representan los elementos destinados a mando, medida, señalización y regulación. Los elementos que forman parte del esquema de mando se denominan *auxiliares de mando de baja tensión*.

Se puede dividir los auxiliares de mando en tres grandes grupos: los actuadores, los receptores y los elementos mixtos. Si bien esta división no es muy académica, va a servir para dejar claros algunos conceptos.

- **ACTUADORES**

Son elementos que transforman una acción externa al automatismo en una señal eléctrica. Por ejemplo, un pulsador transforma la presión que se ejerce sobre él abriendo o cerrando sus contactos asociados.

- **RECEPTORES**

Son elementos que consumen energía eléctrica para realizar algún trabajo o señalar alguna acción. El automatismo se encarga de activarlos o desactivarlos según el proceso a realizar. Un ejemplo de receptor de cada tipo son las electroválvulas y las lámparas.

- **MIXTOS**

Son una combinación de los dos tipos de elementos anteriores. Por una parte son elementos receptores, puesto que los actuadores del automatismo los

pueden activar y desactivar. Por otra parte, el tener contactos asociados que conmutan al ser activados, también cumple la función de actuadores, activando y desactivando otros receptores del automatismo. Un ejemplo claro de este tipo de elementos son los contactores. Al activar su bobina, todos sus contactos asociados conmutan.

#### **4.1.1.1 Interruptor**

Iniciando por el interruptor, aunque su nombre más correcto, según la norma, sería el de pulsador con enclavamiento. Es un elemento de conexión y desconexión mecánica, al que hay que accionar para activarlo. Un ejemplo podrían ser los interruptores de la luz domésticos.

#### **4.1.1.2 Pulsador**

El pulsador es otro elemento de conexión y desconexión mecánico. Para activarlo hay que actuar sobre el pero, al eliminar la acción que lo ha activado, este vuelve de forma automática a su posición de reposo. Este retroceso es debido a que el pulsador posee una energía de reposición acumulada producida, generalmente, por un resorte. Un ejemplo de pulsador pueden ser botones de llamada del ascensor de un edificio.



**Fig. 4.1**

#### **4.1.1.3. Conmutador**

Un conmutador es un dispositivo de conexión y desconexión mecánica que tiene una posición de reposo, o de máxima desconexión, y varias posiciones de accionamiento. Cada posición de accionamiento se puede comportar como un interruptor o como un pulsador, dependiendo del modelo de conmutador.

Un ejemplo de conmutador puede ser la puesta en marcha de su coche inicialmente esta desconectado, la primera posición desbloquee el volante se comporta como un interruptor y la segunda posición pone el motor de arranque en marcha, desconectándole al soltar la llave (se comporta como un pulsador). Otro ejemplo típico podría ser el árbol de levas del programador de su lavadora.

#### **4.1.1.4. Contactor**

El contactor es el elemento más importante del automatismo. Es un aparato mecánico de conexión con una sola posición de reposo, accionado generalmente de forma eléctrica, que es capaz de establecer, soportar e interrumpir la corriente que circula por el circuito en condiciones normales, incluidas determinadas condiciones de sobrecarga en servicio. Su función en el circuito consiste en conectar y desconectar los elementos en el circuito de potencia y, además interviene también en la lógica del circuito de mando. Hay que diferenciar dos tipos de contactores, los principales y los auxiliares.

Los contactores principales tienen tres contactos de potencia o principales, que son capaces de conectar, mantener y desconectar la intensidad del circuito de potencia, así como un contacto auxiliar, de poca potencia, utilizado en el circuito de mando.



**Fig. 4.2**

Los contactores auxiliares únicamente tienen contactos auxiliares, generalmente cuatro, que pueden soportar poca intensidad. Estos contactos se utilizan en los esquemas de mando activando receptores y otros contactores o

alimentando receptores de poca potencia. Para tener una idea, la intensidad máxima que puede soportar esta en torno a los 6 amperios.

*El contactor esta compuesto por una bobina y unos contactos asociados a ella. Al activar la bobina, los contactos conmutan instantáneamente. Al desactivarla, sus contactos vuelven al estado de reposo también de forma instantánea.*

#### **4.1.1.5. Relé Temporizador**

Hasta ahora todos los contactos asociados a los elementos conmutaban inmediatamente al activar su mecanismo de mando. En los automatismos es necesario incluir un retardo en la mayor parte de los procesos esta es la función de los temporizadores. Los temporizadores también tienen dos partes, la parte receptora, que tendremos que alimentar para que funcione el temporizador, y los contactos asociados, que conmutaran de forma distinta según el tipo de temporizador que tengamos. Los temporizadores se fabrican para distintos rangos de tiempos, que van desde segundos hasta horas. Cada temporizador lleva un regulador que permite fijar su tiempo de accionamiento dentro del rango para el que esta previsto.



**Fig. 4.3**

#### **4.1.1.6 Tipos De Contactos Auxiliares**

Sería ilógico finalizar el apartado de componentes del esquema de mando, sin comentar la relación que hay entre los contactos abiertos y cerrados, asociados a un mismo elemento, en el momento en que cambian de estado.

Generalmente, los contactos asociados a un mismo elemento son asociados por un vástago que recorre una cierta distancia. Los contactos no conmutan de

forma instantánea al mismo tiempo, sino que van cambiando a medida que el vástago avanza o retrocede.

Al activar unos contactos auxiliares normales, primero se abren los contactos normalmente abiertos. Al desactivarlos, primero se abren los contactos normalmente abiertos y después se cierran los normalmente cerrados. De esta manera, cuando se abre un elemento con contactos abiertos y cerrados normales, se sabe que al conmutar hay un instante en que todos los contactos están abiertos.

#### **4.1.2 ELABORACION DEL TABLERO DE CONTROL**

La potencia total de la instalación es de 7200W, es necesario subdividir esta potencia en 5 circuitos, y la corriente en cada circuito es de igual manera reducida a 13A, con ello se maneja potencias de 1440W para cada circuito y a la vez el diámetro del conductor se reduce favoreciendo el control y costos de cableado.

Si se toma en cuenta el valor de la corriente para cada circuito que es de 13A, como en la consideración de diseño se dividió la carga en 5 circuitos es decir 1440 W, siendo cada lámpara de 150W.

Al dimensionar los elementos de fuerza que estar en relación con la carga que se aplica o soporta el circuito, y con respecto a los elementos de control de la complejidad de ejecución, es decir de las condiciones de funcionamiento del circuito.

Todo sistema automático debe requerir, de un control y una fuerza que interactúen entre si, la iluminación que en el caso se desea comandar esta conectada a cinco contactores y estos a su vez controlados por cinco relés (cuya función en el circuito de control es la proteger a los contactos de salida del PLC), y estos relés actúan con una señal que proporciona el PLC según la programación realizada en el mismo.

Normalmente se debe suministrar un máximo de 2100W para cada circuito, en instalaciones eléctricas.

Si bien es cierto la iluminación controlada por un PLC estaría siendo subvalorada, pero dicho control esta basado a nivel referencial para posibles aplicaciones mayores pues el campo de control del PLC es muy amplio y en esta investigación se a tratado de aplicar el control automático a un sistema practico y real en donde los requerimientos se hacían evidentes en la falta de iluminación exterior de la ESFOT.

El sistema de control aquí propuesto tiene la capacidad para comandar, tanto el sistema de iluminación del parque de la ESFOT, como otros sistemas que podrían ser integrados, pero dicha implicación representaría un mantenimiento y si es necesario reposición del sistema interno de iluminación (aulas), después de haber realizado la inspección visual durante el tiempo de montaje e instalación se pudo evidenciar el mal estado del sistema de iluminación ya existente que presentan las aulas de la ESFOT

El rango investigativo que se pretende conocer esta orientado o delimitado a la iluminación de los espacios verdes y corredores exteriores de la ESFOT, con esto se dará un tratamiento de iluminación y de control para áreas peatonales donde los requerimientos de iluminación están estandarizados en tablas.

Antes de proceder a adquirir los elementos debemos saber lo que vamos a controlar y con que; de esta manera en el caso se tiene que la carga se subdividió en 5 circuitos cada uno con una corriente promedio de 13A, es necesario adquirir cinco contactores con una capacidad mayor a la calculada de un 20%.

Las debidas protecciones para cada circuito son disyuntores de 16A cada uno, y el cable que según la tabla de *CABLEC* en la página #90 del capitulo dos, muestra que para una capacidad de conducción de 13A se podría utilizar un cable #14-16AWG, pero por razones de seguridad y por posibles ampliaciones se utilizará en la instalación cable con diámetro de conductor #12AWG.

Con los valores de conductor a utilizarse tanto para la acometida principal #6AWG hacia y dentro del tablero para la etapa de distribución son las mismas, de igual manera el cable #10AWG para circuitos de fuerza, protección, contactor, bornera dentro del tablero.

Para el cableado de todo lo que corresponde control se utiliza primeramente una protección individual para el PLC y relés, protegiendo e independizando de esta manera a los circuitos de fuerza y control, además como se dijo anteriormente la aplicación de un PLC en este sistema y la estructura del tablero de control tiene como finalidades; aplicar los conocimientos obtenidos en las aulas y en la práctica bajo requerimientos reales (falta de iluminación), proporcionar un control automático, seguro y eficiente, facilitar la comprensión del estudiante acerca de la forma de instalar y programar un PLC, conocer las limitaciones y utilidades que nos brinda un control programado lógicamente, adiestrar al estudiante acerca del manejo y mantenimiento de sistemas de control.

De esta manera se procede a dimensionar los relés que serán ubicados posteriormente al PLC para proteger los contactos del mismo, el voltaje de la bobina de los relés será dimensionado según la disponibilidad de voltaje que se tenga (24V AC- 24V DC, 110V AC-125V DC, 220V AC)

#### **4.1.3 LISTADO DE LOS ELEMENTOS A UTILIZARSE**

**Tabla 4-1**

<b>Cantidad</b>	<b>Elementos</b>
1	Tablero de 40x60 cm
5	Contactores tripulares 220V AC/30A
7	Relés 3 contactos abiertos, 3 contactos cerrados 220V/8 <sup>a</sup>
6	Disyuntores 16A
1	Disyuntor 50A (acometida principal)
1	Disyuntor 16A (protección del PLC)
20	Borneras para cable #18AWG

8	Borneras para cable #10AWG
1	Voltímetro 300V
5	Selectores tres posiciones
2	Luces piloto
1	Fotocelda 110V AC / 240V AC
--	Canaleta, riel DIN

#### **4.1.4 DISTRIBUCIÓN Y MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DE SOPORTE, CONTROL, FUERZA Y PROTECCIÓN**

Cuando se realizan diseños de tableros de control, en lo posible se debe procurar independizar la ubicación, tanto para elementos de control y fuerza, es decir un tablero para lo que respecta todo lo de control y otro para fuerza.

En el caso el sistema no es de mucha dimensión y capacidad, por lo que los elementos están dispuestos en el mismo tablero, pero guardando la debida uniformidad y coherencia dentro del tablero.

Entonces el tablero estaría con sus elementos distribuidos de la siguiente manera:



**Fig. 4.4**

Ahora con la ubicación física ya delimitada se procederá a montar los elementos de soporte (riel DIN) y sujeción (tornillos cadmiados o niquelados para evitar la oxidación y el fácil desmontaje del tablero).

El riel DIN será ubicado detrás de los elementos tratando de sujetar lo más firme posible, de esta manera el montaje de cada uno de los elementos se los realizará con las precauciones necesarias y con el mayor cuidado posible evitando maltratarlos.

#### **4.1.5 DIAGRAMAS DE CONTROL Y FUERZA**

(Ver anexo D)

#### **4.1.6 CABLEADO Y MARQUILLADO**

En el circuito eléctrico instalado, los conductores van alijados en canaletas o atados en mazos. Por esta razón los cables no suelen ser visibles a lo largo de su recorrido, haciendo difícil la comprensión de un circuito, especialmente si no se dispone del plano correspondiente.

Para facilitar el montaje, comprobación y mantenimiento de un circuito es imprescindible marcar los conductores de una forma rápida de realizar y fácil de interpretar.

La primera forma de marcar los conductores es por medio del color de su aislante. Debido al número limitado de colores, esta forma de marcaje se aplica únicamente a los conductores principales del circuito.

La norma distingue los siguientes casos.

**Tabla 4-2**

<b>Colores del aislante del conductor</b>	<b>Características del circuito</b>	<b>Condiciones de utilización</b>
Verde/Amarrillo	Si el circuito tiene conductor de protección	El conductor verde/amarrillo se utiliza siempre como conductor de protección
	Si no tiene conductor de protección	El conductor verde/amarrillo no debe utilizarse si no es como conductor de protección
Azul claro	Si el circuito tiene conductor neutro	Se utiliza el conductor azul claro para el neutro

	Si no tiene conductor neutro	El conductor azul claro se puede utilizar para cualquier propósito excepto como conductor de protección
Negro, marrón	Todo tipo de circuito	Se puede utilizar para cualquier propósito excepto como conductores de protección y como neutro
Otros colores		
Negro	Circuitos de Automatismos	Circuitos de potencia en corriente alterna o continua
Rojo		Circuito de mando de corriente alterna
Azul		Circuito de mando de corriente continua
Naranja		Circuitos de enclavamiento en corriente alterna o continua

Para identificar el resto de los conductores del circuito, se le asigna a cada uno de ellos un número. Este número se refleja en el esquema y se añade, a los dos extremos del cable, utilizando etiquetas numeradas. De esta forma, puesto que los dos extremos del cable tienen el mismo número es muy sencillo seguir el inter-conexión de los elementos.

#### **4.1.7 PRUEBAS PRELIMINARES DEL SISTEMA DE CONTROL**

Una vez realizado el montaje del tablero se procede hacer las pruebas en vacío, simulando circuitos abiertos o cerrados en el PLC para de esta manera observar el comportamiento lógico del programa.

Además se comprueba el funcionamiento adecuado de los contactores y de los relés evaluando de esta manera la llegada de la señal por parte del PLC hacia los elementos mencionados. Si existiera alguna anomalía o error en el conexionado se realizará las correcciones debidas y nuevamente se hará las mencionadas pruebas.

Luego de comprobar el funcionamiento óptimo del sistema de control, el paso a seguir es el montaje físico del sistema de fuerza es decir los dispositivos de iluminación.

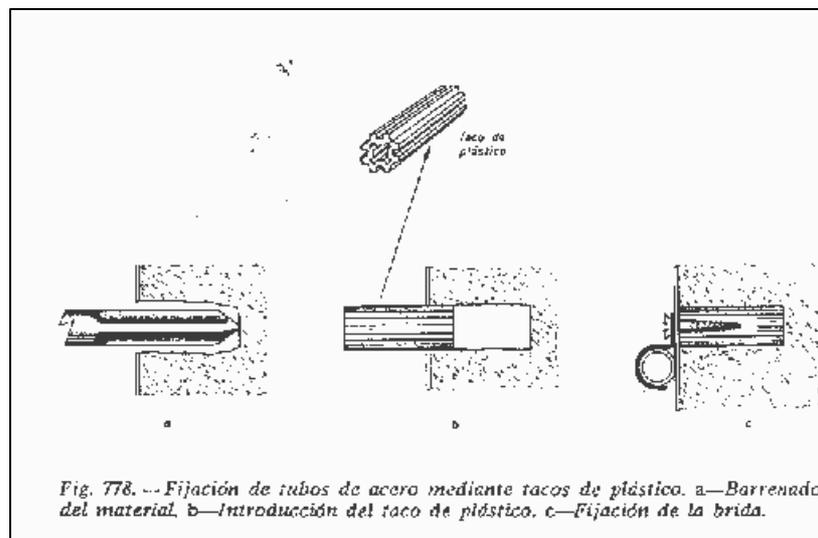
## 4.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

A continuación se describe detalladamente cada etapa que forma parte de la instalación física de los dispositivos de alumbrado.

### 4.2.1 MONTAJE DE LA MANGUERA

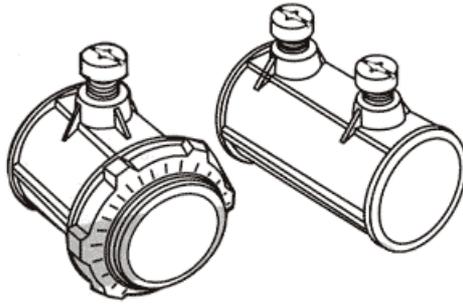
Para la instalación de los tubos por los cuales se guiarán los conductores se eligen el tipo, ya sea empotrado o saliente, para el presente caso se opta por el sistema saliente ya que la construcción arquitectónica está realizada. Por lo tanto se procede a detallar la fijación de los tubos a las paredes y techos de madera.

Fijación de los tubos mediante tacos de plástico. a) Barrenado del material.- b) Introducción del taco de plástico. c) Fijación de la brida.



**Fig. 4.5**

En materiales de poca resistencia, en los que se necesita una mayor penetración para obtener un buen anclaje, se emplean pernos separadores como se muestra en la figura a continuación, terminados en punta por el extremo a empotrar y roscados por el extremo de fijación de la brida



**Fig.4.6** Conectores

También se instaló el tubo con la brida anclada solo con tornillo de madera directamente haciendo previo un taladrado con una broca de 3mm de espesor para el tornillo de 4mm.



**Fig. 4.7** Abrazaderas y amarras

#### **4.2.1.1 Propiedades de los tubos plásticos**

Los tubos plásticos de resinas sintéticas se utilizan por la facilidad de montaje con respecto a otros tubos como por ejemplo los de acero o los llamados tubos “Bergman”, aunque sus propiedades mecánicas son inferiores a los citados pero son ampliamente superiores en sus características aislantes.

Por lo general su constitución es a partir de policloruro de vinilo o de polietileno, materiales que poseen propiedades mecánicas, químicas y eléctricas. Normalmente los tubos de policloruro de vinilo son corrugados, se manejan fácilmente y se emplean tanto para montaje saliente como para empotrado, mientras que los de polietileno son lisos y flexibles y se usan sobre todo en montaje empotrado, sin embargo no hay ninguna restricción en el uso de los mismos.

Los tubos plásticos en el mercado se encuentran en dimensiones que se citan en la tabla 4.3:

**Tabla 4-3 Diámetros interior y exterior de conductos plásticos**

Diámetro interior en mm	9	11	13	16	21	23	29	36	48
Diámetro exterior en mm	11	13	15.5	18.5	23.5	26	32	39	52

Entre las ventajas que tienen estos tubos sobre los tubos metálicos protectores, pueden citarse:

- a) Son inertes e inalterables.- es decir, prácticamente insensibles a los agentes químicos, atmosféricos, etc. En obras de nueva construcción pueden empotrarse en las paredes sin temor a la acción del yeso o de las sales de cemento.
- b) Tienen bajo peso específico.- a igualdad de condiciones, resultan más livianos que cualquier otro tubo aislante o protector, con lo que resulta un trabajo más fácil al instalador, sobre todo si se han de montar tubos de los diámetros mayores. Para tener una idea del peso del tubo de plástico se puede mencionar que son cinco veces más livianos que los tubos metálicos de igual diámetro.
- c) Son auto extingüibles.- los efectos de las llamas sobre todo estos tubos son negativos, ya que no las propaga y se extinguen de forma espontánea.
- d) Tienen buenas propiedades eléctricas.- la firma Resar, constructora de tubos aislantes plásticos, certifica que los tubos fabricados por ella, tienen las siguientes propiedades eléctricas:

Rigidez dieléctrica a 50Hz.....17.7 kV/mm  
 Resistencia de aislamiento a 300V..... $6.09 \times 10^{10}$  cm<sup>2</sup>/cm  
 Factor de potencia a 50Hz.....0.374  
 Constante dieléctrica respecto al aire.....4.568

- e) De fácil mecanizado.- pueden realizarse todas las operaciones de corte, empalme, curvado y colocación de los conductores sin necesidad de herramientas complicadas.
- f) Para la fijación.- pueden emplearse las bridas o grapas metálicas o bien se pueden utilizar del mismo material que el tubo.

#### **4.2.2 TENDIDO DE LA ACOMETIDA PRINCIPAL**

Una vez elegido la galga del cable de acometida se procede a la respectiva instalación, la misma que se realizó, desde la entrada de energía eléctrica a la ESFOT, hacia el tablero que aloja la protección principal del sistema de iluminación. Dicha acometida está embebida en el tumbado de la Asociación de Estudiantes.

#### **4.2.3 TENDIDO DEL CABLE DE LOS CIRCUITOS**

Igualmente una vez dimensionado la galga del conductor e instalada la manguera se realiza el tendido del cable por dicho conducto, aplicando la técnica más común que es pasar un hilo de alambre galvanizado #18AWG que es lo bastante reforzado y flexible a la vez para que pueda viajar a través del conducto y girar en las curvas, luego se realiza un amarre con el cable conductor reforzándolo con cinta adhesiva TAIPE para asegurar una buena resistencia mecánica al momento de tirar el alambre galvanizado y dejar en su lugar el o los conductores. Específicamente se pasan mínimo dos cables #12AWG siendo uno la FASE y el otro el NEUTRO formando así la red a la que serán conectadas las lámparas.

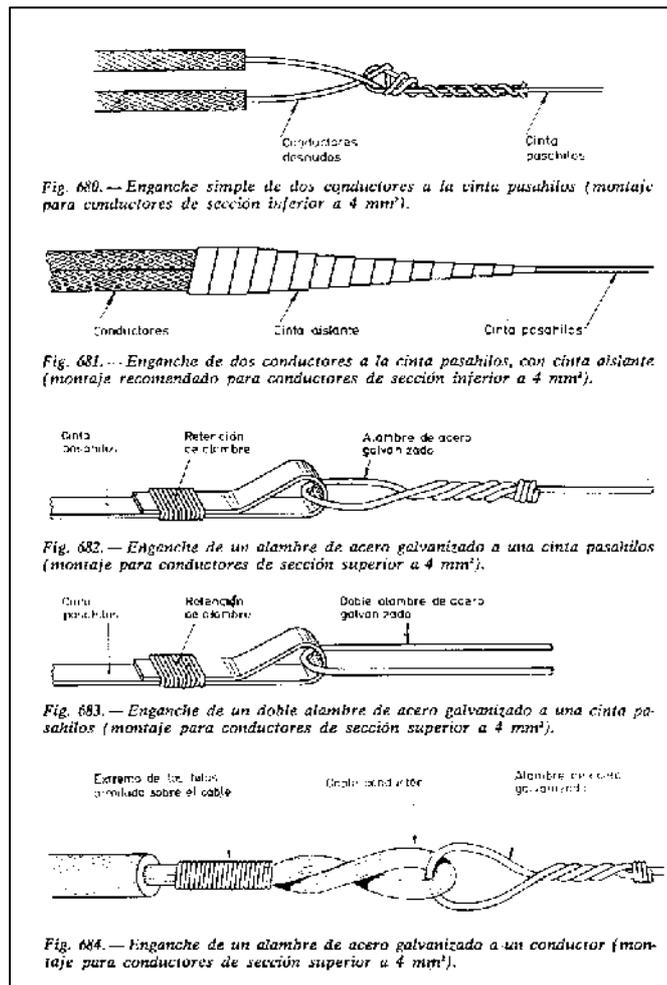


Fig. 4.8

#### 4.2.4 CONECTADO DE LAS LÁMPARAS A LA RED ELÉCTRICA

El conexionado implica un previo anclaje de las lámparas en los distintos puntos anteriormente calculados (ver Anexo A) y establecidos, luego de lo cual se conecta la lámpara a la red mediante un empalme adecuado y bien realizado asegurando una buena conducción eléctrica, es decir que dicho empalme no genere resistencia eléctrica y físicamente sea proporcionado al diámetro de los cables empalmados.

#### 4.2.4.1. Tipos de Empalmes

##### 4.2.4.1.1 Empalmes

Se denomina empalme a la unión de dos o más conductores que asegura su continuidad eléctrica y mecánica.

Es decir que se efectúa un empalme cuando el conductor de línea esté sometido a tensión mecánica y se han de conservar las propiedades mecánicas de los conductores y como es obvio un empalme no debe aumentar la resistencia eléctrica del conductor.

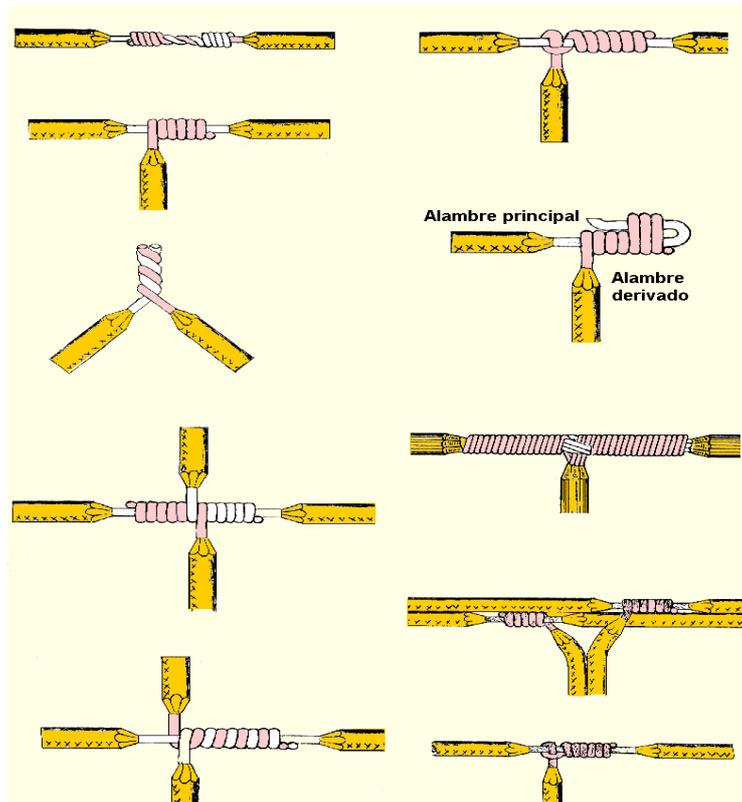


Fig. 4.9

El Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión establece, además, que tanto en los empalmes directos como en los que se empleen piezas especiales de empalme, la elevación de la temperatura no debe ser superior a la de los conductores empalmados.

Las prescripciones reglamentarias establecen que, para conductores de hasta 6mm de diámetro (4AWG siete hilos), se pueden realizar empalmes y conexiones sencillos, por simple retorcimiento de los conductores; para diámetros superiores, los empalmes deben realizarse mediante piezas adecuadas a la naturaleza, composición y sección de los conductores empalmados. En estas piezas deben evitarse efectos electrolíticos si los hubiere y, además, deberán tomarse las precauciones necesarias para que no sufran oxidación las superficies de contacto.

#### **4.2.4.2 Empalmes aplicados en el sistema**

Como se vio en acápite anterior para el actual sistema de iluminación y la forma de la red eléctrica tendida se observa fácilmente que el empalme más adecuado para los fines pertinentes es el Derivación de cable flexible, ya que se tendió la red con cable flexible gemelo #12AWG.

# CAPITULO 5

## 5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con el presente trabajo investigativo se concluye que el control de iluminación es necesario para un óptimo y eficiente funcionamiento del sistema, además de aportar un ahorro de energía al discriminar las horas de uso.
- Se recomienda que para realizar un sistema de iluminación se ponga énfasis en detallar todos los aspectos arquitectónicos, físicos y parámetros de utilización para que se puedan realizar con una exactitud aceptable y satisfacer las necesidades del área a iluminar.
- El montaje de las luminarias para exteriores se debe realizar en lo posible cuidando de las condiciones ambientales para alargar la vida útil de la misma.
- Se debe tener especial atención en la construcción del tablero de control. Tener presente normas y reglas para organizar el trabajo y siempre contar con planos que nos provean la información necesaria.
- Para el óptimo funcionamiento del sistema de control es necesario que todo el sistema este correctamente conectado es decir las señales que proporcionan un pulso al PLC no tengan interferencia y que sus contactos estén bien apretados.
- El zumbido que se produce en los contactores es causado por un mal contacto de la bobina (A1-A2) o un voltaje que no es el suficiente para enclavar al contactor.
- Si ocurriera una mala operación el PLC nos informa cual es el error en el momento de la maniobra.

- Los relés que se ubican en la parte posterior del PLC tienen la función de proteger los contactos del PLC pues estos tienen una capacidad limitada de circulación; los contactos de los relés servirán para activar las bobinas de los contactos de fuerza.
- Es recomendable una revisión paulatina del tablero de control; asegurándonos que los contactos sean de excitación de las bobinas como contactos de fuerza estén bien fijados (ajustados). Si por alguna situación algún cable se safó, tendremos que desconectar el sistema y ubicarnos o guiarnos con el número de la marquilla y los planos de control para volver a conectar, siempre con el cuidado y realizando pruebas en vacío antes de renovar el funcionamiento del sistema.
- La protección contra sobre corrientes para conductores y equipos tiene por objetivo abrir el circuito eléctrico cuando la corriente alcanza un valor que puede producir temperaturas excesivas o peligrosas en los conductores o en un aislante.

# **ANEXOS**

**ANEXO A**

**PLANOS**

**(VER ARCHIVOS DE AUTOCAD)**

**ANEXO B**

**FOTOGRAFÍAS DE LA ESFOT SIN ILUMINACIÓN**

**(VER ARCHIVO DE WORD)**

## BIBLIOGRAFÍA

- Martín B. Ricardo A, *Guía Práctica de Electricidad y Electrónica 2da. Ed.* Cultural S.A. Madrid 2004
- Blatt J. Frank, *Fundamentos de Física 3ra. Ed.* Pentice Hall. Naulcalpan de Juárez 1991
- Manual de Luminotécnia, *Westinghouse Electrical Corporation 7ma. Ed.* Edigraf S.A., Buenos Aires 1983.
- Martín B. Ricardo A, *Guía Práctica de Electricidad y Electrónica 2da. Ed.* Cultural S.A. Madrid 2004
- Blatt J. Frank, *Fundamentos de Física 3ra. Ed.* Pentice Hall. Naulcalpan de Juárez 1991
- Manual de Luminotécnia, *Westinghouse Electrical Corporation 7ma. Ed.* Edigraf S.A., Buenos Aires 1983