

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“Criterios de diseño para desarrollo de proyectos en ingeniería eléctrica.”

T E S I S

Que para obtener el titulo de

Ingeniero Eléctrico-Electrónico

Presentan

Miguel Ángel Aguilar Ortega
Víctor Hugo Cueto Vera
Jessica Verónica Munive Flores
Rodrigo Ortega Laguna
Aley Tovar Rodríguez



ASESOR
Ing. Francisco Rodríguez Ramírez

MÉXICO D.F. 2006

Agradecimientos

Nuestros Agradecimientos a la Universidad Nacional Autónoma de México
Institución que nos brindo la oportunidad de realizar nuestros estudios de Licenciatura.

Al Ing. Francisco Rodríguez Ramirez
Por su valiosísima asesoría para el desarrollo de esta tesis y por el interés que siempre mostró en el desarrollo de este trabajo.

A nuestros sinodales por su dirección y valiosos consejos que permitieron alcanzar los objetivos de esta tesis.

A nuestros profesores por todos los conocimientos transmitidos a lo largo de nuestra formación.

A todas las instituciones, archivos, organismos y bibliotecas que de alguna manera facilitaron la recopilación de toda la información requerida para concluir este proyecto.

Un reconocimiento especial a cada uno de los participantes de esta tesis, que de alguna manera colaboraron, aportando idea, tiempo y conocimiento, para que este proyecto pudiera llegar a concretarse. Todo este esfuerzo conjunto con el único objetivo de brindar una herramienta para el aprendizaje.

Dedico esta tesis

A mi papá (†) por haberme hecho sentir siempre muy especial y por todos los momentos buenos que me diste, siempre vas a estar conmigo.

A mi mamá por el amor y apoyo que todos los días me das, por tu alegría y la forma practica en que ves lo complicado.

A mi abue por su desmedidos cuidados y cariño.

En especial a la persona que mas admiro, por todo su amor, apoyo y empatía en todos los momentos de mi vida, por enseñarme a no tomar la vida tan en serio, que siempre hay opciones, mi persona favorita mi tía Luz.

A el tipazo de mi tío Alberto porque siempre da pequeñas lecciones de vida.

A mi hermano David, mis primos Ale y Beto los quiero mucho.

A mis sobrinos Azeem Rubén, Karen y Cinthia por las risas que hemos compartido.

A todos mis amigos que me brindaron todo su apoyo incondicional, de toda la vida Olivia, Alma, Yadira, Gloria, Victor, Erika y Joaquin.

A mi compañero y amigo de tesis Victor Cueto.

A Osvaldo Fonseca por llegar justo en el momento, por tu apoyo y amor incondicional, porque estas ahí y con eso es suficiente.

A TI, mi precioso E. Ruben L. Munive por existir.

Jessica Munive

Dedicatoria

Antes que todo, quiero agradecerle ***a Dios***:
Por *otorgarme* el privilegio de ***la vida***.

Por *darme* la dicha de tener a ***mis padres***, apoyo incondicional e inspiración de mis logros y metas realizadas, guías imprescindibles de la educación y formación intelectual obtenida, a quienes debo eternamente respeto, admiración y todo lo que poseo en la vida. Los amo.

Por *contar* con el cariño, estimación, experiencia y miles de alientos de ánimo de ***mis hermanos***, los adoro.

Por *contagiarme* de las alegrías e ilusiones infantiles de ***mis sobrinos,*** transformándolas en el energético indispensable de nuestra vida familiar, los tengo siempre presentes en mi corazón.

Por *trasferirme* todo el conocimiento, sabiduría y sapiencia de ***mis profesores***, cimientos fundamentales del desarrollo de la carrera; estaré agradecido por siempre con ellos.

Por *premiarme* con el amor y la entrega de mi amiga, compañera y ***novia*** que con sus deseos de superación, motivo a dar el último paso para concluir con la meta planteada al inicio de la carrera; para mi amiga mía, para el amor de mi vida, para mi amada mía.

Por *compartir* la amistad de todos ***mis amigos y compañeros*** durante toda la etapa estudiantil, que conjuntamente con nuestros anhelos propiciaron el alcance de nuestros sueños.

Con un agradecimiento especial ya que esto es suyo:

A mis padres: "Gracias por brindarme la mejor herencia que se pude compartir, mi carrera universitaria".

Para mi hermosa familia y linda novia.
Gracias Ing. Francisco Rodriguez Ramírez por el apoyo otorgado.

Rodrigo Ortega Laguna.

DEDICATORIA.

Dedico este logro personal en mi vida a todas aquellas personas que han vertido en mi, su tiempo y su saber, con el único fin de verme día a día superarme, haciendo de mi un ser mas preparado, al mismo tiempo que mas humano. Sería larga la lista de aquellas personas involucradas que me han brindado su apoyo, solo espero que recuerden en todo momento, que encontrarán en mi, la gratitud y el respeto sincero.

A mis Padres, Hermanos, Familia, Amigos y Seres Queridos.

Atte. Miguel Ángel Aguilar Ortega.

Dedicatoria:

Este es el principio de muchas metas que se han presentado en mi vida y por tal motivo agradezco infinitamente a Dios por todo lo que me ha otorgado a lo largo de este camino.

Agradezco a mi madre por su amor y enseñanza la cual me forjo como persona y como profesionista, de igual manera a mi esposa que es parte fundamental en mi vida, por su amor y comprensión para lograr esta meta.

Infinita gratitud a mi hija que día a día mas que enseñarle, aprendo con ella y saber que es el motor que me impulsa ha seguir superándome, ya que es el regalo mas grande que Dios me ha dado.

A mis compañeros de tesis por compartir las adversidades y dichas que esta meta compartida a llegado a su fin, a mi asesor por el apoyo que ha logrado volver una realidad de la cual hoy agradezco.

Atte.
Aley Tovar Rodríguez

DEDICATORIA

Hoy, haciendo una pausa en este incansable devenir de la vida, deseo manifestar mi asombro y contento, por los logros alcanzados; sería injusto pensar que lo he logrado solo, por ello quiero agradecer a cada una de las personas que han estado a mi lado, compartiendo su tiempo y espacio, pero sobretodo su gesto humano e idea.

Cada conocimiento experimentado, ha contribuido en la elaboración de un proyecto de vida consolidado.

Gracias a mis padres **Arturo** y **Guadalupe** por depositar en mi su confianza en el inicio de una carrera.

A mis **hermanos** y **sobrinos**, que con su apoyo incondicional he sorteado infortunios.

Un agradecimiento especial a un pequeñin y a su familia que me han adoptado como un miembro más, con quienes paso momentos inolvidables, lo mismo estudiando o charlando que pateando un balón; gracias **Emilio** por demostrarme que lo mas importante de la vida esta en asombrarse día con día descubriendo cosas nuevas y que el alma jamás envejece.

No menos importantes han sido tus consejos, tu manera de ver la vida y la sonrisa que se dibuja en tu rostro, elementos importantes para no claudicar, gracias **Midi.**

A cada una de las personas que han dejado huella en mi mente y corazón, templando mi carácter.

Gracias a ti **Yeya** por permitirme conocer parte de tu mundo.

A ti **Jaz** por levantar mi ánimo cuando parece que el mundo se me viene encima.

A mi gran amiga **Yadira** por mostrarme el lado humano de las personas, y hacerme entender que la cáscara no lo es todo, pero no hay que descuidarla, **GRACIAS MIL.**

Gracias **Jessica** por mostrar paciencia y comprensión a lo largo de esta tesis.

Necesitaría mucho más espacio y más líneas para mencionar a cada amigo, familiar y profesor que han hecho de mi persona lo que soy. **GRACIAS A TODOS**.

Víctor Hugo Cueto Vera

INDICE

1.1 ILUMINACION DE INTERIORES 1

1.1.1 Magnitudes y unidades de medida 4

1.1.2 Iluminación de interiores 24

1.1.3 La iluminación hace la diferencia 72

1.1.4 Cálculo de instalaciones de alumbrado 100

1.1.5 Ejercicios de alumbrado de interiores 111

1.2 ILUMINACION DE EXTERIORES 125

1.2.1 Alumbrado de vías públicas 126

1.2.2 Cálculo de instalaciones de vías públicas 159

1.2.3 Ejercicios de alumbrado de vías públicas 172

1.2.4 Alumbrado de áreas residenciales y peatonales 186

1.2.5 Alumbrado de túneles 188

1.2.6 Alumbrado con proyectores 196

1.2.7 Alumbrado con proyectores (aplicaciones) 200

2.1 MÉTODOS DE INSTALACIONES Y MATERIALES 205

2.1.1 Conceptos básicos 205

2.1.2 Definiciones 207

2.1.3 Objetivo de una instalación eléctrica 220

2.1.4 Clasificación de las instalaciones eléctricas 220

2.2 COMPONENTES DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS 223

2.2.1 Introducción 223

2.2.2 Materiales usados n las instalaciones eléctricas 224

2.3 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE 267

2.3.1 Introducción 267

2.3.2 Fusibles 267

2.3.3 La función de la limitación de corriente 273

2.3.4 Clasificación de los fusibles 274

2.3.5 Interruptores 282

3 SISTEMAS DE TIERRAS 297

Introducción 297

Definiciones 299

3.1 PROPOSITOS DE LOS SISTEMAS DE TIERRAS 302

3.1.1 Propósitos de los sistemas de puesta a tierra 302

3.1.2 Objetivo de una instalación de puesta a tierra 302

3.1.3 Requerimientos para un sistema de puesta a tierra 302

3.2 PROTECCIÓN A TIERRAS PARA SISTEMAS DE C.A. 303

3.2.1 Protección a tierra para sistemas de c.a. 303

3.2.2 Referencia a tierra para una subestación 304

3.2.3 Referencia a tierra para un sistema de bajo voltaje (acometida) 305

3.2.4 Aterrizaje del sistema de emergencia de c.a. 307

3.3 PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS ELECTRICOS 309

3.3.1 Sistemas de alambrado que requieren conexión a tierra según la NOM 001-SEDE 309

3.3.2 Sistemas de alambrados en c.a. que pueden no ser aterrizados solidamente 309

3.3.3 Conductores a aterrizarse 311

3.3.4 Lugar de puesta a tierra del sistema 311

3.4 LA TIERRA Y LA RESISTIVIDAD 315

3.4.1 Datos de resistividad de suelos típicos 317

3.4.2 Ejemplos de perfiles de resistividad 318

3.5 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO 321

3.5.1 Método de Wenner 322

3.5.2 Método de Schlumberg 324

3.6 MEDICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA 325

3.6.1 Medición de la resistencia de tierra por el método de la caída de tensión 327

3.6.2 Medición de la resistencia a tierra por el método de los dos puntos 331

3.6.3 Medición de resistencia de mallas a tierra 332

3.6.4 Método de pendiente 333

3.6.5 Medición de potencial de toque 334

3.6.6 Medición de mantenimiento de los sistemas de tierras 335

3.7 MEGGER O TELURÓMETRO 336

3.7.1 Principio de operación 336

3.7.2 Importancia de la medición de una puesta a tierras 339

3.8 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS 341

3.8.1 Descargas atmosféricas 341

3.8.2 Sistemas de pararrayos 344

3.9 PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS 345

3.9.1 Sistema Franklin 345

3.9.2 Sistema tipo jaula de Faraday 348

3.9.3 Protección de torres de comunicación 348

3.9.4 Protección de líneas aéreas 350

3.9.5 Protección de tanques 352

3.10 CÁLCULOS 353

3.10.1 Cálculo de pararrayos 353

3.10.2 Cálculos simplificados 353

3.10.3 Cálculo de resistencia a tierra de una varilla 355

3.10.4 Cálculo de la corriente de falla 361

3.11 DISEÑO DE LA RED 362

3.11.1 Cálculo del calibre mínimo del conductor 363

3.11.2 Cálculo de la longitud del conductor de malla 364

3.11.3 Cálculo de los potenciales de contacto permisibles 365

3.11.4 Cálculo de la resistencia de la red 366

3.11.5 Cálculo de red de tierras para una torre de telecomunicaciones. 367

3.11.6 Diseño de la red de tierras 369

3.11.7 Sistemas de tierra en casa habitación 372

3.11.8 Puesta a tierra de acometida eléctrica 373

3.11.9 Ejemplo “Diseño de la malla de tierra para la subestación eléctrica de un edificio inteligente” 375

FORMA DE INSTALAR ELECTRODOS 391

4 PLANTAS DE EMERGENCIA 399

4.1 Introducción 399

4.2 Generalidades de plantas de emergencia 401

4.3 Plantas con motor de combustión interna 402

4.4 Operación automática 403

4.5 Operación manual 404

4.6 Servicio continuo 404

4.7 Planta generadora de energía eléctrica de emergencia (P.G.E.E.E.) 404

4.8 Tablero de transferencia 409

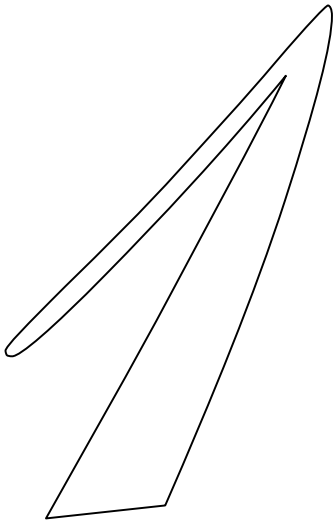
4.9 Cálculo de capacidad de una planta 410

4.10 Procedimiento para el cálculo de una planta de emergencia 411

4.11 Componentes de una planta de emergencia 417

APENDICE **i**

BIBLIOGRAFÍA



LUMINOTECNIA

ILUMINACIÓN DE INTERIORES Y EXTERIORES

INTRODUCCIÓN.

En un lapso de cien años, la energía eléctrica se ha convertido sin lugar a dudas en la base de los sistemas de iluminación artificial. Desde la lámpara incandescente hasta la luz Láser, la *Electrotecnia* y sus métodos de cuantificación y cálculo han sido, y continuarán siendo, la base del progreso en este campo. Esto ha contribuido al empleo de procedimientos afines en los estudios luminotécnicos. Pero, cuando se trata de *objetos de uso práctico* como lo son los artefactos de iluminación, los medios tecnológicos constituyen sólo *la mitad* de los factores a considerar; la otra mitad se vincula a las necesidades y aspiraciones de las personas que harán uso de dichas ventajas tecnológicas. Es en este último campo donde la evaluación *cualitativa* resulta efectiva, ya que considerar a la persona humana implica factores emocionales y condicionamientos culturales cuya cuantificación resulta –al menos en el estado actual del conocimiento- poco apropiada cuando no, totalmente imposible.

El estudio ergonómico de la iluminación se nutre de las mediciones precisas que aporta la antropometría, la fotometría y la fisiología de la visión; pero la planificación y el diseño de sistemas de iluminación ergonómicamente óptimos, debe abordar, tanto como sea posible, al ser humano en su totalidad.

La importancia de diseñar ergonómicamente los sistemas de iluminación, reside en que estos pueden alterar de manera substancial la percepción del espacio habitable. La luz puede crear una determinada atmósfera, comunicar sensaciones y suscitar la atención. El campo de alternativas es tan amplio como las posibilidades tecnológicas y las necesidades humanas lo impongan.

El diseñador que aborda la resolución de un problema de iluminación, sea este el diseño de luminarias o su correcta aplicación, debe acotar el campo de consideraciones para no divagar en un universo de infinitas soluciones o propuestas, la mayoría de las cuales probablemente no se adecuen a los resultados deseados. Por tal motivo, es importante *sistematizar* los elementos de juicio y los criterios de selección que fundamentan las decisiones de diseño. Se trata de uno de los rasgos distintivos del Diseño *profesional*.

1.1 ILUMINACIÓN DE INTERIORES

Buena parte de las actividades humanas se realizan en el interior de edificios con una iluminación natural, a menudo insuficiente. Por ello es necesaria la presencia de una iluminación artificial que garantice el desarrollo de estas actividades. La iluminación de interiores es un campo muy amplio que abarca todos los aspectos de nuestras vidas desde el ámbito doméstico al del trabajo o el comercio.

1.1.1 Magnitudes y unidades de medida.

Conceptos básicos, magnitudes y unidades de medida.

1.1.2 Iluminación de interiores.

Conceptos teóricos y prácticos sobre la iluminación en interiores.

1.1.3 La iluminación hace la diferencia.

Características y consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de diseñar una instalación.

1.1.4 Cálculo de instalaciones de alumbrado.

Explicación de los métodos de cálculo más frecuentes. El método de los lúmenes y el del punto por punto.

1.1.5 Ejercicios de alumbrado de interiores.

Ejercicios sobre el tema.

1.1.1 MAGNITUDES Y UNIDADES DE MEDIDA

Como ya sabemos, la luz es una forma de radiación electromagnética comprendida entre los 380 nm y los 770 nm de longitud de onda a la que es sensible el ojo humano. Pero esta sensibilidad no es igual en todo el intervalo y tiene su máximo para 555 nm (amarillo-verdoso) descendiendo hacia los extremos (violeta y rojo). Con la fotometría pretendemos definir unas herramientas de trabajo, magnitudes y gráficos, para la luz con las que poder realizar los cálculos de iluminación.

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía. Si la energía se mide en joules (J) en el Sistema Internacional, para qué necesitamos nuevas unidades. La razón es más simple de lo que parece. 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: el flujo luminoso, la intensidad luminosa, la iluminancia, la luminancia, el rendimiento o eficiencia luminosa y la cantidad de luz.

FLUJO LUMINOSO (Por brillo).

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 Φ 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 = 683 lm

Flujo luminoso	Símbolo: Φ
	Unidad: lumen (lm)


Flujo luminoso

INTENSIDAD LUMINOSA (Por iluminación).

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

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

La medida de la intensidad luminosa es la bujía. Una bujía es la 1/60 parte de la radiación luminosa emitida por un cm^2 de un cuerpo negro a la temperatura de fusión del platino.

La formula para calcular la intensidad luminosa es:

$$I = Er^{2}$$

Donde:

I: intensidad luminosa.

E: iluminancia.

r: distancia entre la fuente de luz y el punto de medida



Unidad Candela [cd]

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 circulo es grande y la luz débil. Esta sencilla experiencia recoge muy bien el concepto de iluminancia.



Concepto de iluminancia.

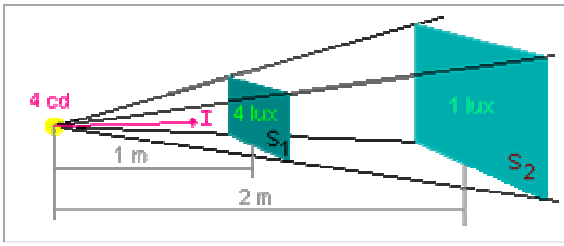
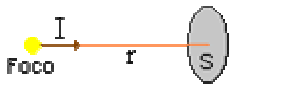
Se define **iluminancia** como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un lm/m^2.

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

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

1 fc ≅ 10 lx
1 lx ≅ 0.1 fc

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.

Ley inversa de los cuadrados $E=\frac{I}{r^2}$		$Iluminancia=\frac{Intensidad\ luminosa}{Cuadrado\ distancia}$ 

Ley de la inversa de los cuadrados

Supongamos que tenemos una fuente luminosa puntual homogénea de I candelas en cualquier dirección que ilumina una superficie (ds) situada a una distancia r. Por lo que sabemos la iluminancia sobre dicha superficie será:

$$E = \frac{d\Phi}{ds}$$

Por otra lado la expresión de la intensidad es:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad \text{de donde} \quad d\Phi = I \cdot d\omega$$



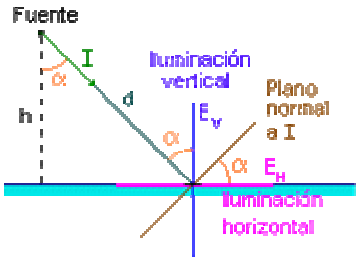
Si la fuente es puntual, la distribución de intensidad luminosa será esférica en dirección radial. Si tomamos un elemento de superficie (ds) situado sobre una esfera de radio r, con r muy grande en comparación con ds, podemos considerarlo como una superficie plana perpendicular al radio. Por la definición de ángulo sólido subtenido por ds:

$$d\omega = \frac{ds}{r^2} \quad \text{de donde} \quad ds = r^2 \cdot d\omega$$

Sustituyendo se obtiene finalmente:

$$E = \frac{d\Phi}{ds} = \frac{I \cdot d\omega}{r^2 \cdot d\omega} = \frac{I}{r^2}$$

¿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.



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

$$E_V = \frac{I \cdot \sin\alpha}{d^2} = E_H \cdot \tan\alpha$$

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:

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

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

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

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

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

Luminancia

Hasta ahora hemos hablado de magnitudes que informan sobre propiedades de las fuentes de luz (flujo luminoso o intensidad luminosa) o sobre la luz que llega a una superficie (iluminancia). Pero no hemos dicho nada de la luz que llega al ojo que a fin de cuentas es la que vemos. De esto trata la luminancia. 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.

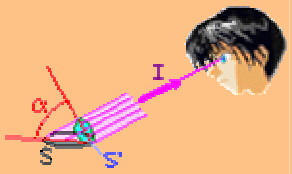
Se llama **luminancia** a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la cd/m^2. También es posible encontrar otras unidades como el stilb (1 sb = 1 cd/cm^2) o el nit (1 nt = 1 cd/m^2).

Luminancia

$$L = \frac{I}{S_{aparente}} = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}$$

Símbolo: L

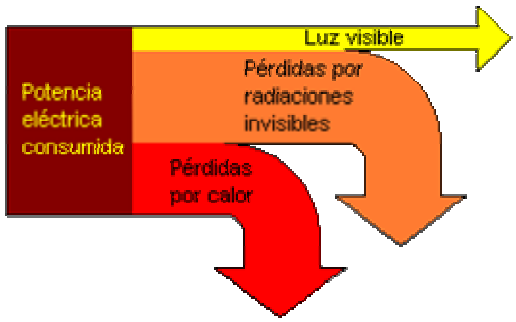
Unidad: cd/m^2



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.



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 mejor será la lámpara y menos gastará. La unidad es el lumen por watt (lm/W).

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

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 periodo de tiempo. Su símbolo es Q y su unidad es el lumen por segundo (lm·s).

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

BRILLO.

También llamado "Deslumbramiento". El brillo de un objeto se mide con la cantidad de luz que se desprende desde su superficie hacia el observador; el objeto que presenta brillo puede ser luminoso por sí mismo, como un foco o puede ser un objeto traslúcido como un globo de vidrio de blanco, o una superficie reflectora como una pared. La unidad que se emplea para medir el brillo es el "Lambert". El Lambert es el brillo de una superficie que emite o refleja un Lumen por cm^2.

Las recomendaciones del nivel de iluminación especifican sólo la cantidad de luz que debe ser suministrada. La luz difusa proveniente de muchas direcciones desde múltiples fuentes así como de superficies reflectivas produce iluminación casi uniforme con poca sombra. La luz directa de otro modo produce variaciones en la luminosidad y sombras, las cuales son necesarias para la percepción de formas y texturas. Ambos tipos de luz se complementan una a otra y puede ser conveniente su combinación dependiendo de la forma y uso del espacio.

El color percibido en un objeto es el resultado de su capacidad para modificar (reflejar ó absorber) el color de la luz que recibe.

DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL

La distribución espectral de una fuente de luz se mide con un espectrofotómetro y su función principal será refractar y difractar la distancia de longitud de onda del espectro, por medio de prismas, y se enfoca mediante lentes o prismas.

1.1.2 ILUMINACIÓN DE INTERIORES.

Las **lámparas** empleadas en iluminación de interiores abarcan casi todos los tipos existentes en el mercado (incandescentes, halógenas, fluorescentes, etc.). Las lámparas escogidas, por lo tanto, serán aquellas cuyas características (fotométricas, cromáticas, consumo energético, economía de instalación y mantenimiento, etc.) mejor se adapte a las necesidades y características de cada instalación (nivel de iluminación, dimensiones del local, ámbito de uso, potencia de la instalación...)

Ámbito de uso	Tipos de lámparas más utilizados
Doméstico	• Incandescente • Fluorescente • Halógenas de baja potencia • Fluorescentes compactas

Oficinas	• Alumbrado general: fluorescentes • Alumbrado localizado: incandescentes y halógenas de baja tensión
Comercial (Depende de las dimensiones y características del comercio)	• Incandescentes • Halógenas • Fluorescentes • Grandes superficies con techos altos: mercurio a alta presión y halogenuros metálicos
Industrial	• Todos los tipos • Luminarias situadas a baja altura (≤6 m): fluorescentes • Luminarias situadas a gran altura (>6 m): lámparas de descarga a alta presión montadas en proyectores • Alumbrado localizado: incandescentes
Deportivo	• Luminarias situadas a baja altura: fluorescentes • Luminarias situadas a gran altura: lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos y vapor de sodio a alta presión

La elección de las **luminarias** está condicionada por la lámpara utilizada y el entorno de trabajo de esta. Hay muchos tipos de luminarias y sería difícil hacer una clasificación exhaustiva. La forma y tipo de las luminarias oscilará entre las más funcionales donde lo más importante es dirigir el haz de luz de forma eficiente como pasa en el alumbrado industrial a las más formales donde lo que prima es la función decorativa como ocurre en el alumbrado doméstico.

Las luminarias para lámparas incandescentes tienen su ámbito de aplicación básico en la iluminación doméstica. Por lo tanto, predomina la estética sobre la eficiencia luminosa. Sólo en aplicaciones comerciales o en luminarias para iluminación suplementaria se buscará un compromiso entre ambas funciones. Son aparatos que necesitan apantallamiento pues el filamento de estas lámparas tiene una luminancia muy elevada y pueden producir deslumbramientos.

En segundo lugar tenemos las luminarias para lámparas fluorescentes. Se utilizan mucho en oficinas, comercios, centros educativos, almacenes, industrias con techos bajos, etc. por su economía y eficiencia luminosa. Así pues, nos encontramos con una gran variedad de modelos que van de los más simples a los más sofisticados con sistemas de orientación de

la luz y apantallamiento (modelos con rejillas cuadradas o transversales y modelos con difusores).

Por último tenemos las luminarias para lámparas de descarga a alta presión. Estas se utilizan principalmente para colgar a gran altura (industrias y grandes naves con techos altos) o en iluminación de pabellones deportivos, aunque también hay modelos para pequeñas alturas. En el primer caso se utilizan las luminarias intensivas y los proyectores y en el segundo las extensivas.

El color

Para hacernos una idea de como afecta la luz al color consideremos una habitación de paredes blancas con muebles de madera de tono claro. Si la iluminamos con lámparas incandescentes, ricas en radiaciones en la zona roja del espectro, se acentuarán los tonos marrones de los muebles y las paredes tendrán un tono amarillento. En conjunto tendrá un aspecto cálido muy agradable. Ahora bien, si iluminamos el mismo cuarto con lámparas fluorescentes normales, ricas en radiaciones en la zona azul del espectro, se acentuarán los tonos verdes y azules de muebles y paredes dándole un aspecto frío a la sala. En este sencillo ejemplo hemos podido ver cómo afecta el color de las lámparas (su apariencia en color) a la reproducción de los colores de los objetos (el rendimiento en color de las lámparas).

La **apariencia en color** de las lámparas viene determinada por su **temperatura de color** correlacionada. Se definen tres grados de apariencia según la tonalidad de la luz: luz fría para las que tienen un tono blanco azulado, luz neutra para las que dan luz blanca y luz cálida para las que tienen un tono blanco rojizo.

Temperatura de color correlacionada	Apariencia de color
Tc> 5.000 K	Fría
3.300 ⩽ Tc ⩽ 5.000 K	Intermedia
Tc< 3.300 K	Cálida

A pesar de esto, la apariencia en color no basta para determinar qué sensaciones producirá una instalación a los usuarios. Por ejemplo, es posible hacer que una instalación con fluorescentes llegue a resultar agradable y una con lámparas cálidas desagradable

aumentando el nivel de iluminación de la sala. El valor de la iluminancia determinará conjuntamente con la apariencia en color de las lámparas el aspecto final.

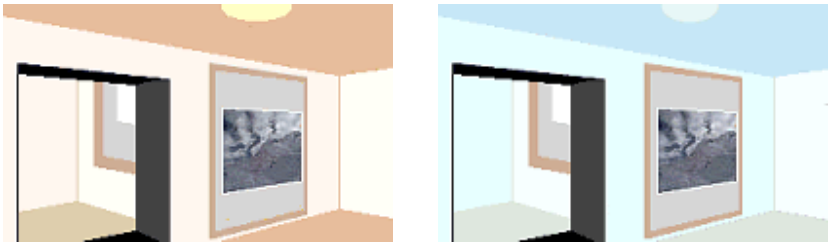
Iluminancia (lux)	Apariencia del color de la luz		
	Cálida	Intermedia	Fría
E ≤ 500	agradable	neutra	fría
500 < E < 1.000	↕	↕	↕
1.000 < E < 2.000	estimulante	agradable	neutra
2.000 < E < 3.000	↕	↕	↕
E ≥ 3.000	no natural	estimulante	agradable

El **rendimiento en color** de las lámparas es un medida de la calidad de reproducción de los colores. Se mide con el **Índice de Rendimiento del Color (IRC o Ra)** que compara la reproducción de una muestra normalizada de colores iluminada con una lámpara con la misma muestra iluminada con una fuente de luz de referencia. Mientras más alto sea este valor mejor será la reproducción del color, aunque a costa de sacrificar la eficiencia y consumo energéticos. La CIE ha propuesto un sistema de clasificación de las lámparas en cuatro grupos según el valor del IRC.

Grupo de rendimiento en color	Índice de rendimiento en color (IRC)	Apariencia de color	Aplicaciones
1	IRC ≥ 85	Fría	Industria textil, fábricas de pinturas, talleres de imprenta
		Intermedia	Escaparates, tiendas, hospitales
		Cálida	Hogares, hoteles, restaurantes
2	70 ≤ IRC < 85	Fría	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas cálidos)
		Intermedia	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas templados)
		Cálida	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, ambientes industriales críticos (en climas fríos)
3	Lámparas con IRC <70 pero con propiedades de rendimiento en color bastante aceptables para uso en locales de trabajo		Interiores donde la discriminación cromática no es de gran importancia
S (especial)	Lámparas con rendimiento en color fuera de lo normal		Aplicaciones especiales

Apariencia de color y rendimiento en color (CIE)

Ahora que ya conocemos la importancia de las lámparas en la reproducción de los colores de una instalación, nos queda ver otro aspecto no menos importante: la elección del color de suelos, paredes, techos y muebles. Aunque la elección del color de estos elementos viene condicionada por aspectos estéticos y culturales básicamente, hay que tener en cuenta la repercusión que tiene el resultado final en el estado anímico de las personas.



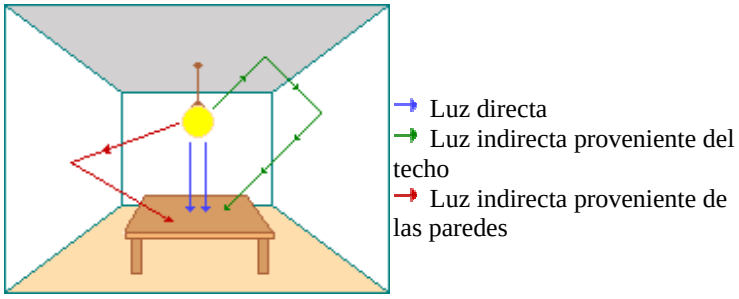
Influencia del color en el ambiente

Los tonos fríos producen una sensación de tristeza y reducción del espacio, aunque también pueden causar una impresión de frescor que los hace muy adecuados para la decoración en climas cálidos. Los tonos cálidos son todo lo contrario. Se asocian a sensaciones de exaltación, alegría y amplitud del espacio y dan un aspecto acogedor al ambiente que los convierte en los preferidos para los climas cálidos.

De todas maneras, a menudo la presencia de elementos fríos (bien sea la luz de las lámparas o el color de los objetos) en un ambiente cálido o viceversa ayudarán a hacer más agradable y/o neutro el resultado final.

Sistemas de alumbrado

Cuando una lámpara se enciende, el flujo emitido puede llegar a los objetos de la sala directamente o indirectamente por reflexión en paredes y techo. La cantidad de luz que llega directa o indirectamente determina los diferentes sistemas de iluminación con sus ventajas e inconvenientes.



La **iluminación directa** se produce cuando todo el flujo de las lámparas va dirigido hacia el suelo. Es el sistema más económico de iluminación y el que ofrece mayor rendimiento luminoso. Por contra, el riesgo de deslumbramiento directo es muy alto y produce sombras duras poco agradables para la vista. Se consigue utilizando luminarias directas.

En la **iluminación semidirecta** la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia el suelo y el resto es reflejada en techo y paredes. En este caso, las sombras son más suaves y el deslumbramiento menor que el anterior. Sólo es recomendable para techos que no sean muy altos y sin claraboyas puesto que la luz dirigida hacia el techo se perdería por ellas.

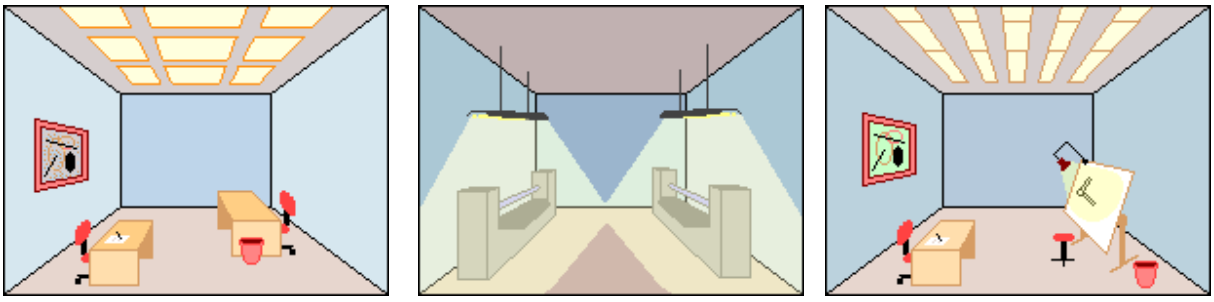
Si el flujo se reparte al cincuenta por ciento entre procedencia directa e indirecta hablamos de **iluminación difusa**. El riesgo de deslumbramiento es bajo y no hay sombras, lo que le da un aspecto monótono a la sala y sin relieve a los objetos iluminados. Para evitar las pérdidas por absorción de la luz en techo y paredes es recomendable pintarlas con colores claros o mejor blancos.

Cuando la mayor parte del flujo proviene del techo y paredes tenemos la **iluminación semiindirecta**. Debido a esto, las pérdidas de flujo por absorción son elevadas y los consumos de potencia eléctrica también, lo que hace imprescindible pintar con tonos claros o blancos. Por contra la luz es de buena calidad, produce muy pocos deslumbramientos y con sombras suaves que dan relieve a los objetos.

Por último tenemos el caso de la **iluminación indirecta** cuando casi toda la luz va al techo. Es la más parecida a la luz natural pero es una solución muy cara puesto que las pérdidas por absorción son muy elevadas. Por ello es imprescindible usar pinturas de colores blancos con reflectancias elevadas.

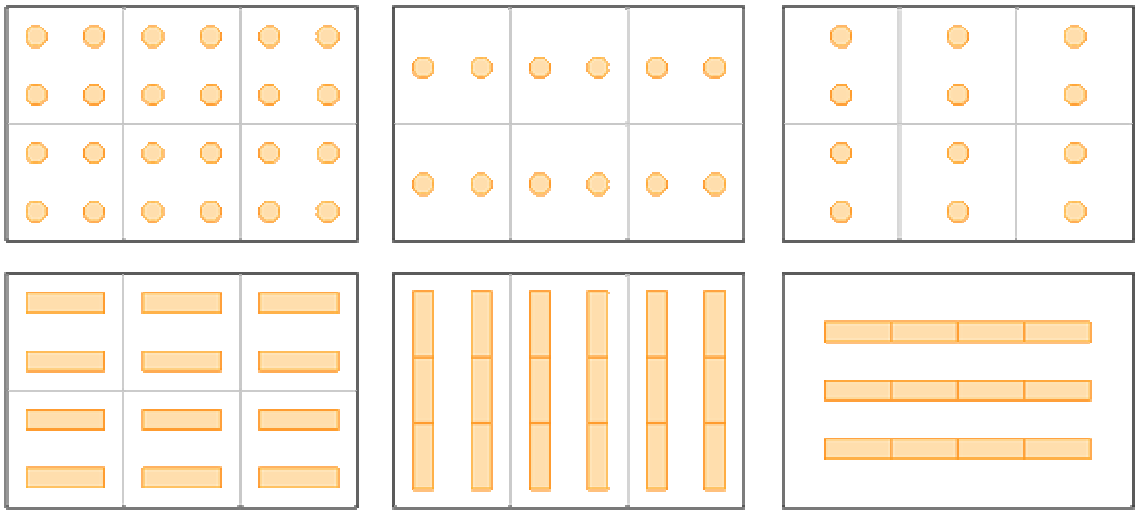
Métodos de alumbrado

Los métodos de alumbrado nos indican cómo se reparte la luz en las zonas iluminadas. Según el grado de uniformidad deseado, distinguiremos tres casos: **alumbrado general**, **alumbrado general localizado** y **alumbrado localizado**.



Alumbrado general | Alumbrado general localizado | Alumbrado localizado

El **alumbrado general** proporciona una iluminación uniforme sobre toda el área iluminada. Es un método de iluminación muy extendido y se usa habitualmente en oficinas, centros de enseñanza, fábricas, comercios, etc. Se consigue distribuyendo las luminarias de forma regular por todo el techo del local.



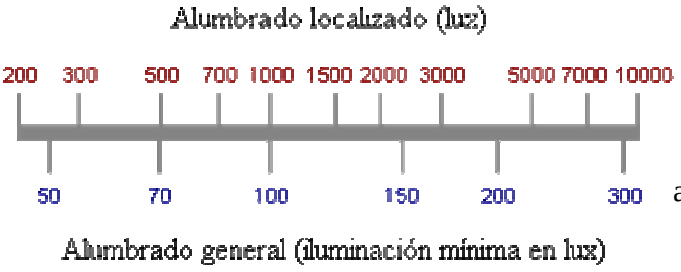
Ejemplos de distribución de luminarias en alumbrado general

El **alumbrado general localizado** proporciona una distribución no uniforme de la luz de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo. El resto del local, formado principalmente por las zonas de paso se ilumina con una luz más tenue. Se consiguen así importantes ahorros energéticos puesto que la luz se concentra allá donde hace falta. Claro que esto presenta algunos inconvenientes respecto al alumbrado general. En primer lugar, si la diferencia de luminancias entre las zonas de trabajo y las de paso es muy grande se puede producir deslumbramiento molesto. El otro inconveniente es qué pasa si se cambian

de sitio con frecuencia los puestos de trabajo; es evidente que si no podemos mover las luminarias tendremos un serio problema. Podemos conseguir este alumbrado concentrando las luminarias sobre las zonas de trabajo. Una alternativa es apagar selectivamente las luminarias en una instalación de alumbrado general.

Empleamos el **alumbrado localizado** cuando necesitamos una iluminación suplementaria cerca de la tarea visual para realizar un trabajo concreto. El ejemplo típico serían las lámparas de escritorio. Recurriremos a este método siempre que el nivel de iluminación requerido sea superior a 1000 lux., haya obstáculos que tapen la luz proveniente del alumbrado general, cuando no sea necesaria permanentemente o para personas con problemas visuales. Un aspecto que hay que cuidar cuando se emplean este método es que la relación entre las luminancias de la tarea visual y el fondo no sea muy elevada pues en caso contrario se podría producir deslumbramiento molesto.

Relación entre el alumbrado general y el localizado



Niveles de iluminación recomendados

Los niveles de iluminación recomendados para un local dependen de las actividades que se vayan a realizar en él. En general podemos distinguir entre tareas con requerimientos luminosos mínimos, normales o exigentes.

En el primer caso estraían las zonas de paso (pasillos, vestíbulos, etc.) o los locales poco utilizados (almacenes, cuartos de maquinaria...) con iluminancias entre 50 y 200 lx. En el segundo caso tenemos las zonas de trabajo y otros locales de uso frecuente con iluminancias entre 200 y 1000 lx. Por último están los lugares donde son necesarios niveles de iluminación muy elevados (más de 1000 lx) porque se realizan tareas visuales con un grado elevado de detalle que se puede conseguir con iluminación local.

Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200
Centros docentes			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencias	450	500	750
Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
Industria (en general)			
Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000
Viviendas			

Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750

Iluminancias recomendadas según la actividad y el tipo de local

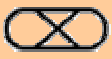
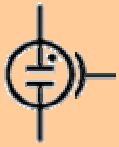
En la tabla anterior tenemos un cuadro simplificado de los niveles de iluminancia en función del tipo de tareas a realizar en el local. Existen, no obstante, tablas más completas en la **bibliografía** donde se detallan las iluminancias para todo tipo de actividades humanas.

Depreciación de la eficiencia luminosa y mantenimiento

El paso del tiempo provoca sobre las instalaciones de alumbrado una disminución progresiva en los niveles de iluminancia. Las causas de este problema se manifiestan de dos maneras. Por un lado tenemos el ensuciamiento de lámparas, luminarias y superficies donde se va depositando el polvo. Y por otro tenemos la depreciación del flujo de las lámparas.

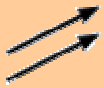
En el primer caso la solución pasa por una limpieza periódica de lámparas y luminarias. Y en el segundo por establecer un programa de sustitución de las lámparas. Aunque a menudo se recurre a esperar a que fallen para cambiarlas, es recomendable hacer la sustitución por grupos o de toda la instalación a la vez según un programa de mantenimiento. De esta manera aseguraremos que los niveles de iluminancia real se mantengan dentro de los valores de diseño de la instalación.

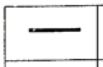
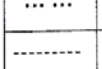
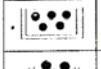
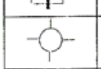
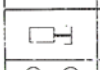
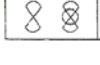
Simbología

	Lámpara incandescente Bombilla *		Lámpara incandescente
	Lámpara incandescente		Lámpara incandescente
	Lámpara fluorescente		Lámpara de carga
	Destellador		Lámpara de descarga
	Lámpara de Neón		Lámpara de luz de relámpago
	Lámpara de descarga por gas xenón **Lámparas**		Lámpara de flash de xeón
	LED Diodo emisor de luz		LED bicolor polaridad dual

Líneas y conductores

	Línea, conductor eléctrico		Dirección de la línea
	Línea de vídeo		Línea de teléfono
	Punto de unión, borne *		Punto de unión, borne
	Punto positivo		Punto negativo
	Cruce sin conexión *		Cruce sin conexión
	Cruce con conexión *		Cruce con conexión
	Cruce con conexión *		Conductores entrelazados
	Conductor blindado *		Conductor blindado
	Conductor blindado		Pantalla
	Línea subterránea		Línea submarina
	Tierra		Tierra sin ruido

	Punto de conexión para conductor de protección		Masa *
	Masa		Pasamuros
	Línea aérea con conductores desnudos		Línea aérea con conductores aislados
	Línea de separación / marco		Línea bajo enlucido
	Radiación nuclear		Bus de líneas
	Punto de referencia en un circuito		Salida de línea
	Acoplamientos de líneas		Entrada de línea
	Voltaje de referencia Ej: 5 Voltios		Zona común
	Radiación no ionizada		Radiación ionizada
	Línea de sondeo		

	Instalación interior		Cuadro general de distribución
	Línea repartidora bajo tubo		Cuadro general de mando y protección
	Línea principal de tierra		Línea de tierra en conducto de fábrica
	Derivación de alumbrado de escaleras		Línea general de alumbrado de escalera
	Centralización de contadores		Barra o pica de puesta a tierra
	Línea repartidora en conducto de fábrica		Canalización de servicios (caja de escalera, ascensores, etc.)
	Derivación individual		Línea de fuerza motriz (ascensores y otros equipos)
	Caja general de protección		Interruptor de control de potencia ICP
	Caja de derivación		Pulsador de timbre
	Zumbador		Interruptores. Unipolar y bipolar
	Conmutador		Conmutador de cruzamiento
	Base de enchufe, de 10/16 A		Base de enchufe de 25 A
	Timbre		Punto de luz
	Cerradura eléctrica		Radiador eléctrico
	Ventilador		Aparato eléctrico en general (lavadora, frigorífico, etc.)

1.1.2 DISEÑO DE ALUMBRADO INTERIOR

Las consideraciones que se tiene que tomar en cuenta para el diseño de una instalación del alumbrado deberán ser consideradas por el personal capacitado para su diseño, entiéndase el arquitecto, ingeniero eléctrico, para cubrir las necesidades y expectativas del cliente. Algunas consideraciones importantes son:

- ⇒ Los planos que muestren la localización del lugar.
- ⇒ Datos técnicos de los techos, pisos y paredes.
- ⇒ La decoración que se pretende y el tipo de mobiliario.

Los tipos de alumbrado a implementar dependerán del trabajo y el uso que se le dará a la instalación, la finalidad, las tareas visuales deberán ser el punto de partida.

TIPOS DE ALUMBRADO DEPENDIENDO DE LAS NECESIDADES:

ZONAS RESIDENCIALES INTERIORES

Son las estancias diseñadas para el uso diario, el confort visual y la estética que proporcione el mismo lugar es un punto importante para el diseño.

ZONAS DE CIRCULACIÓN

Se refiere a todos los sitios donde se pretende que exista flujo de personas como son: Escaleras, pasillos, corredores y áreas orientadas a circulación. En este tipo de superficie es más importante la iluminación horizontal que vertical.

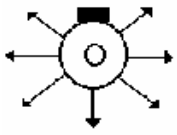
ZONAS EXTERIORES DE ALUMBRADO

Son las áreas exteriores de trabajo, tales como gasolineras y casetas, la iluminación dependerá de la circulación existente.

ZONAS COMERCIALES

Tales como tiendas, almacenes y salas de exposiciones, será importante exponer el producto u objeto tal que cumpla con las expectativas de mercado y se presente de manera a atractiva para el cliente.

Las lámparas de alumbrado por lo regular están montadas sobre pantallas que tienen sistemas de difusión y transmisión:

TIPO	FORMA DE LA ARMADURA	% DE LA LUZ QUE SE DIRIGE AL TECHO	EFECTOS EN LA ILUMINACIÓN
DIRECTO		0 a 10	Produce techos y paredes obscuras asi como deslumbramiento
SEMIDIRECTO		10 a 40	Proporciona un buen aprovechamiento de la luz. Poco deslumbramiento
UNIFORME		40 a 60	No hay deslumbramiento, hay sombras

SEMIDIRECTO		80 a 90	No hay sombras ni deslumbramiento
INDIRECTO		90 a 100	Ausencia de sombras y deslumbramientos

TIPOS DE LÁMPARAS

LÁMPARAS INCANDESCENTES

Principio de Operación

Su funcionamiento se basa en el hecho de que un conductor atravesado por una corriente eléctrica se calienta hasta alcanzar altas temperaturas, emitiendo radiaciones luminosas. Cuanto mayor es la temperatura mayor es la emisión, por lo que el material se lleva hasta una temperatura cercana a la de fusión

Para genera la luz requieren que el paso de corriente pase a través de un filamento conductor, haciend0o que la temperatura aumente provocando la termo radiación, esto provoca que gran parte de la energía eléctrica sea absorbida por la lámpara, es por eso que una de las características sea que la eficiencia luminaria no sea optima.

No requieren equipos auxiliares para encender ni para su funcionamiento. En el momento de encender tiene una sobre intensidad 10 o 15 veces la nominal, pero esto solo es instantáneo y no representa mayor problema en el circuito de alimentación.

Funcionan con cualquier tensión de red pero por lo general se conectan a la nominal. Si la tensión aumenta provocara: mayor flujo luminoso (lm), aumenta la potencia absorbida(W), la eficiencia luminosa (lm/W) también aumenta, menor tiempo útil (h)



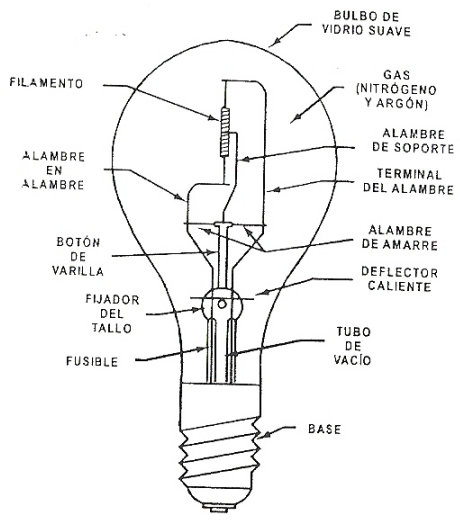
Duración

La vida media es decir el tiempo útil si es reflectoras de vidrio soplado equivale a 1000 horas y si son reflectoras PAR 2000 horas.

Componentes

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

- ⇨ Filamento
- ⇨ Ampolla
- ⇨ Gas de llenado
- ⇨ Casquillo
- ⇨ Ampolla
- ⇨ Vástago
- ⇨ Hilos conductores
- ⇨ Soporte

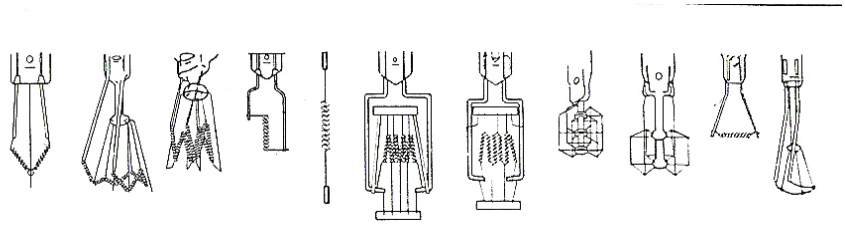


Filamento

Esta fabricado de tungsteno, su punto de fusión es DE 3.653 K aunque su temperatura a la cual funciona es 3000 K, la vida útil del filamento estará dada en función de la evaporación que será mayor si aumenta la temperatura, también hay que considerara que el tungsteno vaporizado se aloja en la pared de la ampolla reduciendo el flujo luminoso.

Para aumentar la superficie de radiación el filamento se dispone en espiral o doble espiral.

Tipos de Filamentos



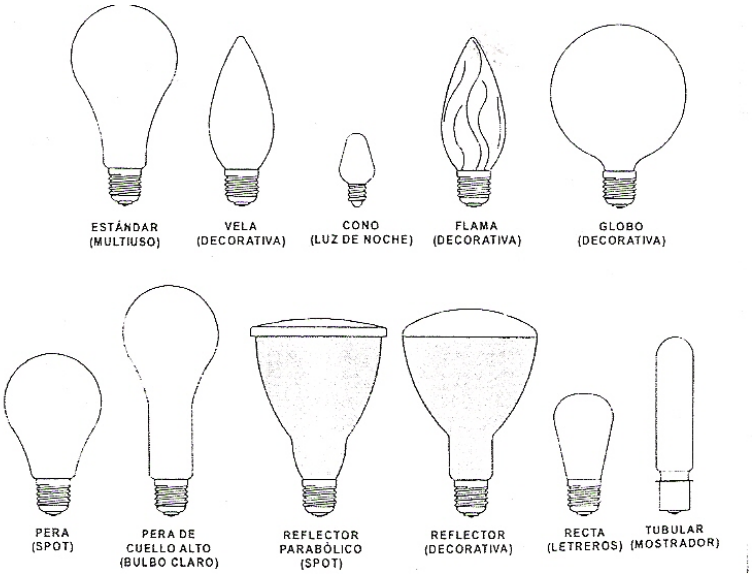
Ampolla

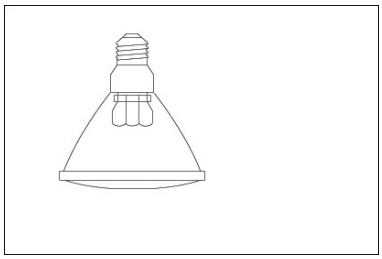
El material que por lo general es utilizado es el vidrio soplado, aunque también se fabrican de vidrio prensado (Lámpara PAR –Parabolic Aluminized Reflector- compuesta de dos piezas de vidrio prensado con recubrimiento reflector que por lo general es de aluminio y la otra compuesta por una lente cuya función es dirigir el flujo luminoso si el haz es ancho es extensiva y se es estrecho es intensivo), se utiliza para aislar el filamento del medio ambiente y evitan evacuar el calor generado.

Las formas mas fabricadas son:

- ⇨ Globo
- ⇨ Vela
- ⇨ Esférica
- ⇨ Vela
- ⇨ Estándar “Pera”
- ⇨ Elíptica
- ⇨ Cono

- ⇨ Vela
- ⇨ Tubular
- ⇨ PAR ()





Lámpara PAR

Por su tipo de transparencia pueden ser

- ⇨ Clara
- ⇨ Opalizada } Producen una disminución del flujo luminoso del 1 – 8 %
- ⇨ Mateada

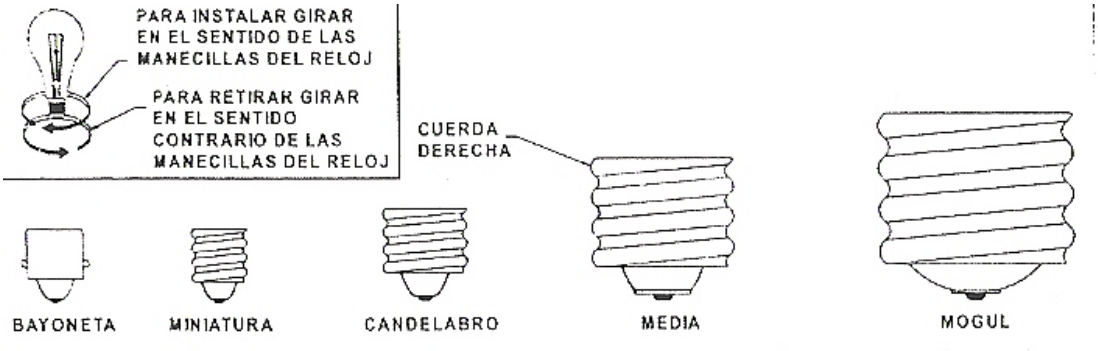
La ventaja de la Opalizada y la mateada es que evitan el deslumbramiento.

Gas

- ⇨ Tungsteno para potencia inferiores de 25 W
- ⇨ **A**rgón, Kriptón y Xenón para potencias superiores con mezclas de Nitrógeno.

Casquillo

Los tipos mas comunes con de Bayoneta o Swan (B) y de Rosca o Edison (E) y por norma ya vienen en tamaños.



Usos

Se usan principalmente para alumbrado interior (casas, oficinas, negocios) debido a su bajo costo, la facilidad de su instalación y a que funcionan en cualquier posición. No obstante su rendimiento es bajo debido a que una gran parte de la energía consumida se transforma en calor.

Ventajas

- ⇨ Precio accesible
- ⇨ Fácil instalación
- ⇨ No requieren de equipos auxiliares para su encendido
- ⇨ No hay efecto estroboscopio
- ⇨ Muy buen rendimiento de color
- ⇨ Gran variedad de tensiones potencias para alimentarlas.

Desventajas

- ⇨ Vida útil reducida
- ⇨ La eficacia luminosa es mínima cuando se requiere utilizar sistemas de iluminación
- ⇨ Emiten una gran cantidad de calor.

Características Técnicas

Lámparas estándar, ampolla clara a 220 V		
Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
25	250	10
40	430	10.75
60	730	12
75	960	12.8
100	1380	13.8
150	2200	14.7
200	2950	14.8
300	4750	15.8
500	8400	16.8
750	13400	17.8
1000	18800	18.8
1500	30000	20
2000	40000	20
Lámpara de vidrio soplado		
25	50	180
30	39	220
40	50-80	320
60	80	530
75	80	730
100	80	1080
150	95-125	1520
300	125	3300
Lámparas de vidrio prensado (PAR)		
60	600	75
80	800	100
120	1200	150

Medianamente contaminantes

Lámparas incandescentes: No emiten en el ultravioleta pero si en el infrarrojo cercano. Su espectro es continuo. Su luz es amarillenta con un rendimiento de color del 100%. No es recomendable para alumbrado exterior, excepto para iluminar detalles ornamentales. Son las más ineficaces del mercado.

LAMPARAS INCANDESCENTES HALOGENAS

Hacia 1950 se empezaron a necesitar lámparas muy pequeñas y potentes para las luces de los aviones a reacción, que pudieran encajar en los extremos pequeños y agudos del ala. Los investigadores de General Electric tuvieron una idea muy ingeniosa rellenaron el bulbo con yodo, un elemento muy reactivo, en vez de rellenarlo con un gas inerte como en las bombillas normales. La presencia del yodo, permite que el filamento se repare automáticamente en las zonas en las que se va quedando más delgado. Esto hace que se puedan alcanzar temperaturas más elevadas y, por tanto, la luz emitida sea más blanca e intensa.





Principio de operación

Son lámparas incandescentes que contienen halógeno que por lo general es yodo, cuyo objetivo es combinarse con el tungsteno vaporizado del filamento, en la ampolla con temperaturas de 250 (°C) se forma el yoduro de tungsteno y se desasocia al acercarse al filamento a temperaturas de 2000 (°C).

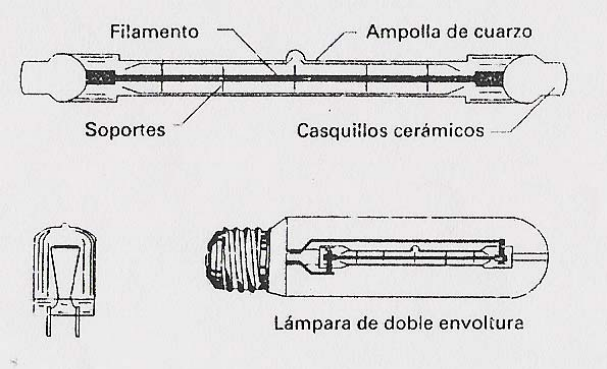


Figura 3.7 Lámparas halógenas o de cuarzo-yodo.

El filamento se encuentra a mayor temperatura que la incandescente lo que provoca que haya mayor emisión luminosa. Mejorando la eficiencia (20 lm/W) y la temperatura de color.

Componentes:

Filamento

Fabricado de tungsteno y montado en sentido longitudinal la temperatura a la cual se encuentra varia desde los 3000 (°K) en adelante.

Ampolla

La materia que se emplea es el cuarzo ya que tiene que soportar las altas temperaturas. Puede ser de: cuarzo-yodo, o de doble envoltura con otra ampolla de vidrio. Las formas que se fabrican son cilíndricas, en clara, mateada y opalizadas.

Gas de llenado

Por lo general es Kriptón, Xenón y el Argon que soportan mayores presiones. Solo en las de doble envoltura se utiliza el Nitrógeno.

Casquillo

Puede ser:

- ⇨ Edison (E) o de doble envoltura
- ⇨ Cerámicos de cuarzo o yodo
- ⇨ Espigas (G) o Bayonetas (B)

Duración

La vida aproximada para este tipo de lámparas oscila entre 2000 y 3000 horas.

Temperatura

Es de 3000ª 3200 (°K).

Índice de Rendimiento de color

100

Ventajas

- ⇨ Entregan una luz mas blanca que la incandescente normal
- ⇨ Su color de la luz se encuentra en el margen del blanco cálido.
- ⇨ La reproducción cromática es muy buena.
- ⇨ Por su tamaño es una excelente fuente de luz puntual
- ⇨ La eficiencia luminosa y vida útil es superior a la de las lámparas incandescentes normales

- ⇨ No requieren sistemas electrónicos adicionales a excepción de las de bajo voltaje que requieren transformadores para su funcionamiento.
- ⇨ Como son dirigibles a cierto punto producen brillantes.
- ⇨ Encendido y reencendido automático
- ⇨ Mayor eficacia luminosa a las incandescentes convencionales
- ⇨ Ausencia de efecto estroboscópico

Desventajas

- ⇨ Para aplicación en las cuales se requiera un alto nivel de iluminación son ineficientes ya que su luminosidad es ilimitada, con una potencia excesiva.
- ⇨ Aunque su vida útil es superior a las incandescentes normales no llega a tener todavía la de las lámpara descarga por lo cual es costosos el mantenimiento.
- ⇨ La cantidad de calor que irradia todavía es considerable sobre todo para aplicaciones en interiores.

Características Técnicas

<table>
<tr><th colspan="4">Tipos de lámparas halógenas</th></tr>
<tr><td>Tensión</td><td>V (Voltios)</td><td colspan="2">Tipo</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tensión Red</td><td rowspan="2">220 V</td><td colspan="2">Simple envoltura</td></tr>
<tr><td colspan="2">Doble envoltura</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Baja tensión</td><td rowspan="3">6V
12V
24V</td><td colspan="2">Sin Reflector</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Con Reflector</td><td>Abiertas</td></tr>
<tr><td>Cerradas</td></tr>
</table>

Lámpara de simple envoltura Cuarzo- Yodo		
Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)
100	1650	16
150	2500	16
200	3200	16
300	5100	17
500	9500	19
1000	22000	22
1500	33000	22
2000	44000	22
Lámpara de doble envoltura con ampolla clara		
75	1100	15
100	1600	16
150	2550	17
250	4500	18
500	11000	22
1000	24000	24
2000	54000	27
Lámpara sin reflector		
20	350	18 con transformador 15
50	950	19 “ 16
75	1450	19 “ 17
100	2550	25 “ 23

Lámparas con reflector incorporado

Por lo general son de tipo dicroico es decir que refleja la luz hacia la parte posterior de la lámpara, varían dependiendo del ángulo de apertura del haz los valores mas comunes del ángulo de apertura es de 6°, 10°,12°,14°,28°, 36° y 38°.

Medianamente contaminantes

Lámparas incandescentes halógenas: Son iguales que las incandescentes pero emiten algo más en el ultravioleta si no va provista de un cristal difusor (son peligrosas sin este cristal por emitir en el ultravioleta duro). Son algo más eficaces que las incandescentes.

OTRAS LAMPARAS INCANDESCENTES

Lámparas dicroicas o de haz frío.



Por lo regular se usan en quirófanos están basadas en la lámparas halógenas de baja tensión con reflector dicroico son de tipo PAR

Lámparas de proyección para cine y teatro

Son de tipo halógenas pero también pueden ser convencionales pueden ser con o sin reflector incorporado.

Lámparas de automóvil

Normalmente son de 12 V pueden ser convencionales o de halógeno.

Lámparas infrarrojos



El filamento de Tungsteno trabaja a temperaturas de 2500 (°K) y emiten una longitud de onda de 760 a 1400 (nm). Su aplicación esta dirigida a aplicaciones industriales (polimerización, vulcanización, secado rápido, etc., o también para cocinas en hogares trabajando de 250 a 375 W si son convencionales y halógenas de 500 a 3000 W. Para la avicultura convencional, trabajan de 100 a 375 W mateadas, uniformizan el flujo y reducen la radiación visible.

LÁMPARAS FLUORESCENTES.

En las lámparas fluorescentes la luz se genera por el fenómeno de fluorescencia que no es más que la conversión de la radiación ultravioleta en visible que se disipa a través de las sustancias fluorescentes que tiene la pared del tubo de descarga.



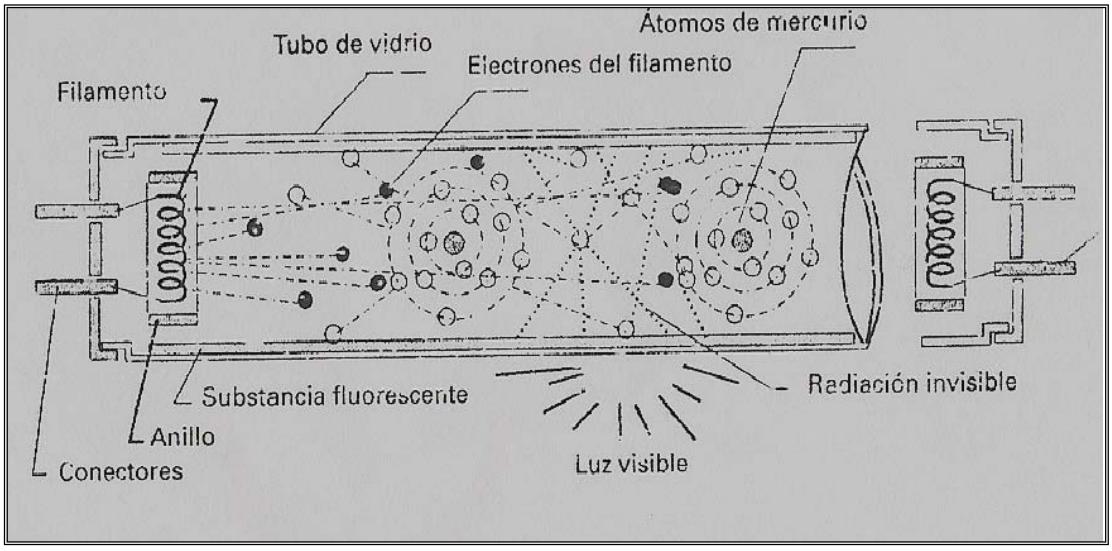


Principio de Operación:

Se componen de un tubo de vidrio que contiene una pequeña cantidad de mercurio y de gas argón. Al circular la corriente eléctrica por dos electrodos situados a ambos lados del tubo, se produce una descarga eléctrica entre ellos, que al pasar a través del vapor de mercurio produce radiación ultravioleta. Esta radiación excita una sustancia fluorescente con la que se recubre la parte interior del tubo, transformado la radiación ultravioleta en radiación

visible, que en función de la sustancia fluorescente utilizada puede tener distintos tonos y colores.

En es esquema se puede distinguir como se genera la luz visible



Para que la emisión ultravioleta se lleve a cabo a lo largo de la banda se requiere 253.7 (nm) a una presión de mercurio de 1 (Pa).

Requiere un equipo complementario que se encarga de limitar la corriente y desencadenar el proceso de generación del arco eléctrico entre los dos electrodos que da lugar a la radiación visible. Para limitar la corriente se debe colocar en serie un dispositivo que limite la corriente máxima que lo atraviesa. Para ello, se usa una impedancia inductiva (bobina) denominada balasto o reactancia. Esta bobina produce un desfase negativo de la corriente, por lo que se suele colocar un condensador en paralelo con la línea para mejorar el factor de potencia del conjunto.

El espectro de emisión dependerá de la sustancia fluorescente y de la capacidad de conversión de la radiación ultravioleta en visible. La tensión y corriente es negativa ya que la generación de electrones e iones positivos aumenta a medida que incrementa la intensidad luminosa , es por esto que se requiere un equipo complementario que se encarga de limitar la corriente y desencadenar el proceso de generación del arco eléctrico entre los

dos electrodos que da lugar a la radiación visible. Para limitar la corriente se debe colocar en serie un dispositivo que limite la corriente máxima que lo atraviesa. Para ello, se usa una impedancia inductiva (bobina) denominada balasto o reactancia. Esta bobina produce un desfase negativo de la corriente, por lo que se suele colocar un condensador en paralelo con la línea para mejorar el factor de potencia del conjunto.

Características de funcionamiento

Encendido

Hay tres formas de encendido:

Encendido por cebador

Se utiliza en los tubos fluorescentes convencionales y de trifósforo. Se conecta en paralelo con el tubo lo cual

Componentes

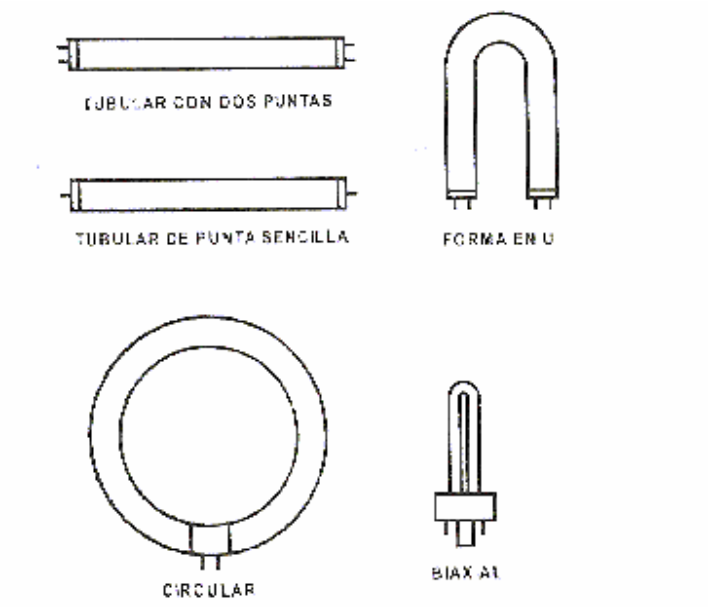
Las lámparas fluorescentes están compuestas por:

- ⇨ Tubo de descarga
- ⇨ Electrodos
- ⇨ Gas de llenado
- ⇨ Casquillos

En la figura se muestran las partes principales de la lámpara fluorescentes:

Tubo de descarga

Se fabrican de vidrio y son opalizadas por el recubrimiento fluorescente por lo general son de forma rectilínea pero también las hay en forma de U.



Dependiendo de su diámetro pueden ser:

- ⇨ 15 mm para pequeña potencia
- ⇨ 26 mm son los más convencionales, tiene frecuencia alta.
- ⇨ 38 mm para arranque rápido o instantáneo.

Dependiendo de longitud las potencias mas comunes son:

- ⇨ 0.6m → 16,18 y 20 W
- ⇨ 1.2 m → 32, 36 y 40 W
- ⇨ 1.5 m → 50, 58 y 65 W

Electrodos

El material que se emplea es el tungsteno que pueden ser de doble espiral y recubiertos por sustancias que emiten electrones como metales alcalino-térreos, dependiendo que tipo de compuesto variara la vida útil de la lámpara, ya que si los electrodos no tienen esta sustancia no enciende el equipo.

Gas de llenado

Los gases que se emplean son: Argón, Kriptón (para lámparas de trifosforo de 26 mm de diámetro, este gas aumentala tensión de encendido), también se requiere de dosificación de mercurio que ayudara a reducir el efecto que provoca estos gases en la sustancia fluorescente. La función principal del gas es facilitar el inicio de la descarga reduciendo la tensión de encendido, reduce el recorrido libre de los electrones para que no se colisionen con los átomos de mercurio, además de proteger l sustancia emisiva de los electrodos.

Sustancias fluorescentes

Por lo general se utilizan las siguientes sustancias fluorescentes

- ⇨ Halofosfato de calcio la cual se activa con antimonio, magneso y europeo se utiliza en lámparas donde es mas importante la eficacia luminoso.
- ⇨ Fluogermanato de magnesio o silicato de calcio en ellas es mayor en rendimiento de color.
- ⇨ Aluminados de magnesio o vanadato de diversos aditivos prevalece el alto rendimiento luminoso y el rendimiento de color.

Las características principales de los materiales son

- ⇒ Materiales no tóxicos que sean estables tanto físico como químicamente para soportar los procesos de fabricación.

- ⇒ Absorber los rayos ultravioleta cortos de 253.7 a 185 (nm)

⇒ Emitir el espectro visible y no ser absorbentes.

⇒ Poder ser divididos en partículas muy finas sin que el rendimiento se reduzca.

Casquillos

Los más utilizados son:

En espigas (G) su característica principal es la alta frecuencia y que tienen un arranque rápido.

De contacto (R) de arranque instantáneo.

Características principales de las lámparas fluorescentes:

Ventajas

- ⇨ Mayor duración
- ⇨ Menor consumo de energía.
- ⇨ Producen menos calor.
- ⇨ No producen deslumbramiento excesivo.
- ⇨ Variedad de colores.
- ⇨ Medidas estándar: 40, 60, 120 con un ancho de 30, 60 cm.
- ⇨ Son adaptables al alumbrado de interiores
- ⇨ Buen rendimiento de color,
- ⇨ Elevada eficacia luminosa que permite satisfacer los niveles de iluminación.
- ⇨ El encendido y reencendido rápido
- ⇨

Desventajas

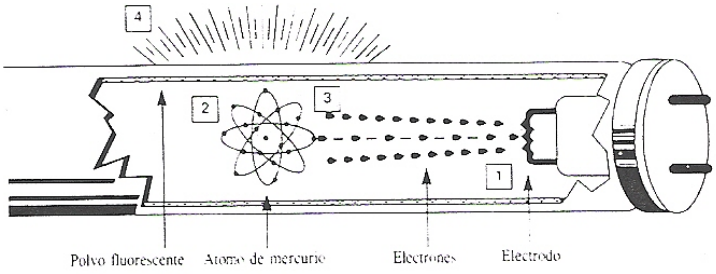
- ⇨ Son caras.
- ⇨ Requieren equipo complementario para limitar la corriente.
- ⇨ Poco adaptables al alumbrado de exteriores por la temperatura.

- ⇨ Poco utilizadas en sistemas de proyección por las dimensiones,
- ⇨ Factor de potencia bajo el cual se estabiliza con condensadores de compensación que ya viene implementados en las lámparas.
- ⇨ Producen efecto estroboscopio a excepción de las de alta frecuencia.

Formas de instalación
- Sobrepuestas.
- Empotradas.
- Colgantes.
- Montadas sobre estructuras.
- Adosadas o sobrepuestas en los muros.

Las lámparas fluorescentes requieren un voltaje y tensión adecuada así como un precalentamiento. Hay lámparas de encendido rápido aunque requieren de 5 segundos para encender.

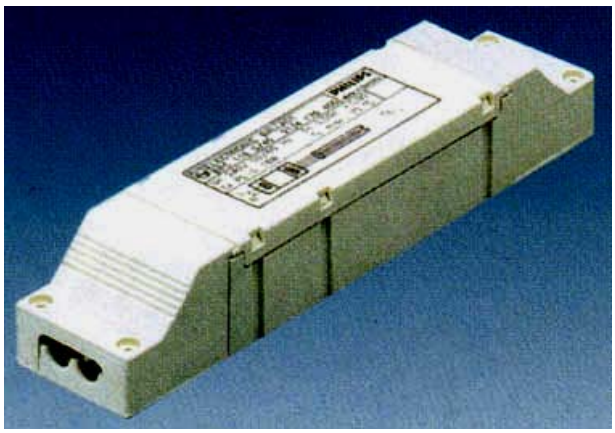
Características de funcionamiento



1. Arco eléctrico
2. Descarga en el gas
3. Luz ultravioleta
4. Luz visible

Reactancia electromagnética para fluorescencia

Además, y debido a que en un primer momento los electrodos están fríos, se recurre a un dispositivo para iniciar la descarga denominado arrancador o cebador. Consiste en una cápsula dentro de la cual hay dos electrodos y que permite, junto con el balasto, generar la alta tensión necesaria para el encendido de la lámpara.



Encendido

Hay tres formas de encendido:

Encendido por cebador

Se utiliza en los tubos fluorescentes convencionales y de trifósforo. Se conecta en paralelo con el tubo lo cual

Encendido Rápido

Se lleva a acabo por medio de el balasto o de un a banda metálica externa hace que los electrodos tengan precalentamiento. Se utiliza en los tubos de arranque rápido.

Encendido Instantáneo o arranque en frió

Se produce con la tensión que se produce por el balasto y ayuda externa.

Las lámparas fluorescentes para estabilizarse deben de conectarse en serie con el tubo así la tensión en el momento en que la lámpara este en funcionamiento se dividirá entre el balasto y la lámpara. Es por esto que el balasto puede ser inductivo si solo se coloca una bobina o inductivo capacitivo si se coloca también un balasto de tipo capacitivo.

Si la tensión aumenta esto provocara:

- ⇨ Mayor corriente (I)
- ⇨ Mayor flujo luminoso (F)
- ⇨ Mayor potencia absorbida
- ⇨ Disminución de la eficacia luminosa

Temperatura

La presión del vapor de mercurio de la lámpara variara dependiendo de la temperatura, y esto hace que el flujo luminoso disminuya y la eficiencia luminoso.

Para que la temperatura no varié considerablemente se utiliza una amalgama que puede ser de indio y mercurio para absorber o liberar el mercurio dependiendo de la temperatura, para lugares donde exista una muy baja temperatura existen lámparas especiales donde están aisladas térmicamente.

Tonalidades de las lámparas

Tono	Temperatura [°K]
Blanco Cálido	2700-3000
Blanco	4000-5000
Luz día	5300-6500

COEFICIENTE DE REFLEXIÓN APROXIMADOS (PARA COLORES DE CLARIDAD MEDIA).

COLOR	%
BLANCO	83
GRIS	70-44
GRIS FRANCÉS	40
GRIS OSCURO	19
BLANCO MARFIL	80
PIEDRA DE CAEN	78
MARFIL	71-63
GRIS PERLA	72
GAMUZA	70-40
CUERO	50-30
CASTAÑO	40-20
VERDE	55-20
VERDE OLIVA	20
AZUL ULTRAMAR	55
AZUL CELESTE	37
ROSADO	70-50
PURPURA	20
ROJO	40-15

Duración

La vida media de duración es de 10000 horas ya que cuando la sustancia emisiva de los electrodos desaparece.

Tablas de características técnicas

Potencia (W)	Flujo luminoso(lm)	Eficacia (lm/W)
20	1250	63
20	850	43
20	1250	63
20	1080	54
20	1250	63
20	950	48
20	850	63
40	3200	80
40	2000	50
40	3200	80
40	2500	63
40	3200	80
40	2500	63
40	2000	50
65	5100	79
65	3300	51
65	5100	79
65	4000	62
65	5100	79
65	3900	60
65	3000	51

Para tubos de 26 mm

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)
18	1150	64
36	3000	83
58	4800	83

Para tubos de 26 mm. y un rendimiento de color (IRC) de 85

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)
18	1450	81
36	3450	96
58	5400	93

Para tubos de 26 mm. y un rendimiento de color (IRC) de 95

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)
18	1000	56
36	2350	65
58	3750	65

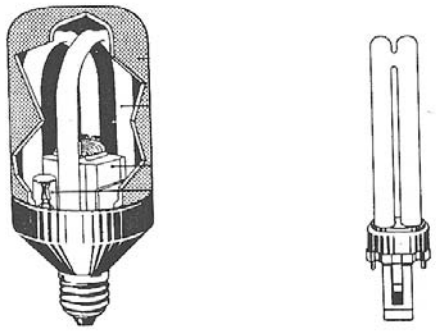
Medianamente contaminantes

Lámparas fluorescentes en tubos y compactas (vapor de mercurio a baja presión): Emiten en el Ultravioleta. Su luz es blanca con rendimientos cromáticos entre el 40% y el 90%. Es recomendable para alumbrados peatonales y de jardines. Tienen una alta eficiencia. Estas lámparas son medianamente contaminantes si no se usan en grandes instalaciones y convenientemente apantalladas evitando emisión de luz sobre el horizonte.

FLUORESCENTES COMPACTAS

Las lámparas fluorescentes compactas se caracterizan por ser de tubo estrecho entre 10 y 15 mm. en forma de u. por una sola unión o por un puente. Para su funcionamiento requieren sustancias fluorescentes como el trifósforo que son muy adaptables a las condiciones a las cuales trabaja la lámpara,

Con una potencia de 0.1 W/cm.



En la imagen se ilustra una lámpara fluorescente compacta.

Las lámparas pueden ser

- ⇒ Lámparas compactas.- tiene el balasto y cebador incorporado, su principal características es que pueden ser utilizadas en lugar de las incandescentes.
- ⇒ Lámparas miniaturizadas.- tienen el balasto el cebador incorporado
- ⇒ Lámparas miniaturizadas electrónicas con balasto y cebador incorporado,



Tipos de lámparas fluorescentes

Partes que las componen:

Ampolla

Es una ampolla que cubre al tubo de descarga solamente es utilizada en las lámparas compactas, el material que se utiliza es el vidrio las formas en las que se diseña pueden ser cilíndrica y globo ambas puedes ser opalizadas y en prisma clara.

Casquillos

Pueden ser de tipo Edison (E) solo se utiliza para las compactas o en Espiga (G) se utiliza para las miniaturizadas y sin cebador incorporado.

Principio de operación

En todos los tipos de lámparas fluorescentes compactas se encienden por cebador los electrodos se precalientan.

Para estabilizar la descarga se utiliza el balasto en serie con el tubo de descarga, en las miniaturizadas se pone por separado y en las compactas esta incorporado.

Temperatura de Color

Por lo general se encuentra a una temperatura de 2700 K pero también puede estar dispuesta a 3000 – 4000 grados Kelvin.

Rendimiento de Color

Funcionan a 85

Duración

Por lo general duran de 5000 a 6000 horas y las electrónicas el promedio de duración es 8000 horas.

Características Técnicas y Energéticas

Con ampolla clara

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Incandescencia Sustituida (W)
9	450	50	40
13	650	50	60
18	900	50	75
25	1200	48	100

Con un ahorro de energía del 70%

Para las lámparas miniaturizadas con cebador incorporado

Para dos tubos unidos			
Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Incandescencia Sustituida (W)
5	250	50	30
7	400	57	36
9	600	67	46
11	900	82	63
Con cuatro tubos			
10	600	60	42
13	900	69	52
18	1200	67	53
26	1800	69	54

Para lámparas miniaturizadas sin balasto ni cebador incorporado

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Incandescencia Sustituida (W)
18	1200	67	47
24	1800	75	55
36	2900	81	68

Ventajas

- ⇒ Su consuma de energía es de 25% para las compactas y 20% para las miniaturizadas
- ⇒ Duran 5 u 8 veces más.
- ⇒ Pueden ser utilizadas como alumbrado general sobretodo de forma comercial.
- ⇒ Existe una gran variedad de formas
- ⇒ Cuando alcanzan su color es a 2700 grados Kelvin
- ⇒ La duración es aproximada de 3000 horas

Desventajas

- ⇒ El precio es superior a las que existen en el mercado
- ⇒ El peso es .5 Kg. mas que el de las fluorescentes, aunque este inconveniente se esta solucionando al crearlas compactas.
- ⇒ El rendimiento de color es menor al 85
- ⇒ No se pueden utilizar con reguladores de flujo o temporizadores.
- ⇒ Su factor de potencia es de 0.5 o 0.6
- ⇒ Presentan problemas con los armónicos

Medianamente contaminantes

Lámparas fluorescentes en tubos y compactas (vapor de mercurio a baja presión): Emiten en el Ultravioleta. Su luz es blanca con rendimientos cromáticos entre el 40% y el 90%. Es recomendable para alumbrados peatonales y de jardines. Tienen una alta eficiencia. Estas lámparas son medianamente contaminantes si no se usan en grandes instalaciones y convenientemente apantalladas evitando emisión de luz sobre el horizonte.

Fluorescentes Especiales

Lámparas de reflector interno

Están constituidas con una capa reflectora en su interior, el material de fabricación es óxido de titanio, cubre un ángulo de 135° con una ganancia de 70%, su diseño permite tener potencias de 40 y 60 W.

Lámparas de muy alta emisión

Son lámparas que están diseñadas para trabajar a muy altas potencias alrededor de 115 a 215 W, por lo tanto hay un aumento en el flujo luminoso. Se componen por electrodos para permitir que el espacio se refrigere. También se componen de un casquillo, filamento y reflector incorporado. El uso principal que se le da en el área industrial.

Lámparas de luz negra



Emiten señales de luz ultravioleta “UV-A” en una banda de 300 a 400 nm están implementadas con un tubo Word que emite las ondas

Se fabrican en potencias de 6, 18 y 36 W y son utilizadas en diversas aplicaciones como la antropología en los fósiles, en la industria textil, en la industria alimenticia para identificar cuando los productos estén en mal estado, en medicina para dermatosis y para efectos de decoración y diseño.

Lámparas actínicas

También emiten ondas de radiación ultravioleta "UV-A" además de visible en colores violeta y azul en una banda ancha de 350 a 400 nm, son fabricadas en potencias de 20 a 85 W sus principales uso son en la fotoquímica, fototerapia, bronceado artificial y trampas a insectos.

Lámparas eritérmicas

Emiten una radiación ultravioleta "UV-B" y también visible con una banda ancha de 300 a 315 nm, se utilizan principalmente para el bronceado artificial en el que la lámpara esta diseñada para radiación parecida emitida por el sol.

Lámparas Germicidas



Emiten señales ultravioleta "UV-C" con una banda ancha de 253.7 nm, se fabrica en las potencias de 15 a 40 W sus aplicaciones principales son para desinfectar, esterilizar líquidos, eliminar pareaditos, en la informática para borrar memorias EPROM y para todo lo concerniente a eliminar microorganismos.

Lámparas para crecimiento de plantas

Emiten rayos gama con potencias que varia de los 8 a los 125 W, emiten luz visible azul y roja, están diseñadas para facilitar la fotosíntesis de las plantas y la función de la clorofila de las plantas.

LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

Las lámparas de vapor de mercurio se clasifican en:

Lámparas de vapor de mercurio
- De vapor de mercurio
- De luz de mezcla
- De halogenuros metálicos

Lámparas de vapor de mercurio

Es una lámpara que esta diseñada para trabajar a una lata intensidad y produce luz ya que se lleva a cabo una descarga eléctrica de vapor de mercurio.
La descarga se es realizada a presiones de 2 a 4 bar el gradiente de temperatura es 5000 K, las líneas espectrales a alta presión se encuentran de 313 a 365 nm con luz violeta, amarilla azul y verde.

Las figuras muestran lámparas de vapor de mercurio



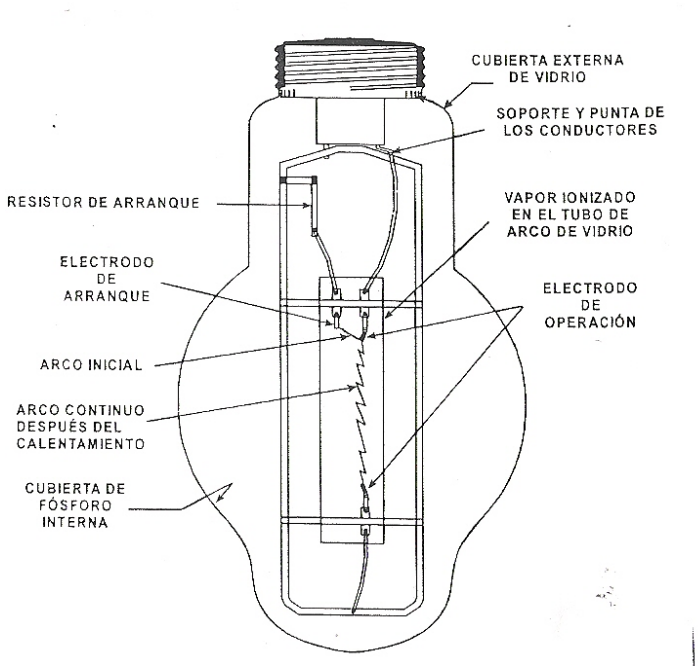


Para vapor de mercurio existen:

⇒ De ampolla clara no presenta rayas rojas ya que su IRC es menor a 25
⇒ De color corregido que tiene sustancia fluorescentes en su pared y emiten radiación ultra vilera en el tubo de descarga

Componentes

- ⇒ La componen el tubo de descarga
- ⇒ Electrodos principales
- ⇒ Electrodos auxiliares
- ⇒ Gas de llenado
- ⇒ Ampolla exterior
- ⇒ Sustancias fluorescentes
- ⇒ Casquillos



En la figura se ilustra las partes principales de la lámpara de mercurio.

Tubo de descarga

Esta fabricado de cuarzo se utiliza este material ya que soporta temperaturas de 750 °C, se fabrica en formas cilíndricas los extremos son semiesféricos y tiene dos electrodos uno de cada lado, un electrodo auxiliar además del gas de llenado.

Electrodos Principales

Tienen una base de tungsteno en forma de espiral son recubiertas por sustancias emisoras de electrones tales como óxidos y carbonatos de estroncio y bario.

Electrodo auxiliar

Es un filamento de tungsteno que se encuentra muy cerca del electrodo principal y se conecta a través de una resistencia que varia entre los 10 y 30 Ω

Gas de llenado

Esta configurado por Argón o acompañado por Neón si es que se van a utilizar en bajas temperaturas.

Ampolla Exterior

El material que se emplea para su fabricación es vidrio endurecido el cual puede soportar temperaturas que oscilan en los 350° C. Entre el tubo de descarga y la ampolla existe un gas de llenado que sirve para proteger los componentes metálicos de la oxidación.

Las formas principales de las ampollas son:

- ⇒ Globo
- ⇒ Parabólica
- ⇒ Ovoide

Sustancias fluorescentes

Se utilizan sustancias que son resistentes a altas temperaturas como vanadato de itrio, compuestos de magnesio además de que ofrecen una mayor eficiencia luminosa.

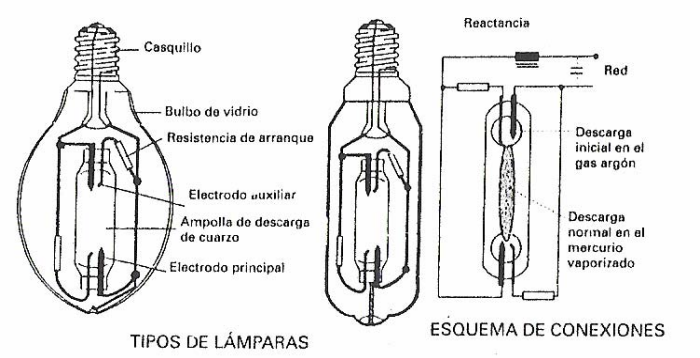
Casquillos

Son de Forma Edison (E).

Principio de Operación

Para el encendido de estas lámparas se utiliza la tensión en red esta se aplica a los electrodos principales para que se inicie la descarga. Al mismo tiempo se produce una tensión entre el electrodo principal y el auxiliar, la cual sera limitada por la residencia del electrodo, lo cual ioniza al mercurio provocando la descarga de los electrodos principales. La descarga principal se lleva a cabo a bajas presiones mientras que la segunda alcanza la presión de mercurio. El tiempo que tarde en encender es de 4 a 5 minutos. Para el reencendido el procedimiento tarda entre 3 y 6 minutos.

La estabilización de la descarga se llevara a cabo mediante un balasto inductivo el cual reducirá el exceso de la tensión. Al utilizar el balasto el factor de potencia baja y se corrige implementando a la lámpara un equipo auxiliar.



La figura muestra una lámpara de mercurio cual su principio de conexión**.**

Temperatura

Funciona a una temperatura entre los 3500 y 4500 K

Rendimiento de color

Con un IRC que varia entre los 40 y 45 aunque hay algunas con mejoras que alcanzan los 60

Duración

Su media de duración es de 24000 horas y depende de que los electrodos pierdan el material emisor.

Características Técnicas y energéticas

Lámparas de vapor de mercurio con IRC= 40 o 45 y ampolla ovoide			
Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/W)
50	2000	40	32
80	3800	48	40
125	6300	50	45
250	13500	54	51
400	23000	58	54
700	42000	60	57
1000	60000	60	57
2000	125000	63	60
Lámparas de vapor de mercurio con IRC= 60			
50	2000	40	32
80	4000	50	43
125	6500	52	46
250	14000	56	52
400	24000	60	57

Ventajas

Han sido las primeras en ser utilizadas de forma masiva por su gran cantidad de luz que emiten por lo que requieren las siguientes ventajas:

- ⇨ Requieren de un equipo auxiliar sencillo que consta de un balasto y un condensador

- ⇨ El costo es relativamente bajo
- ⇨ Crean un ambiente frío
- ⇨ Son utilizadas en lugares donde se necesita disponerlas a una altura considerable.
- ⇨ Como dan tonalidades verdes son ideales para lugares recreativos como parques y áreas verdes.

Desventajas

- ⇨ Presenta una eficacia luminosa limitada

LAMPARAS DE LUZ DE MEZCLA

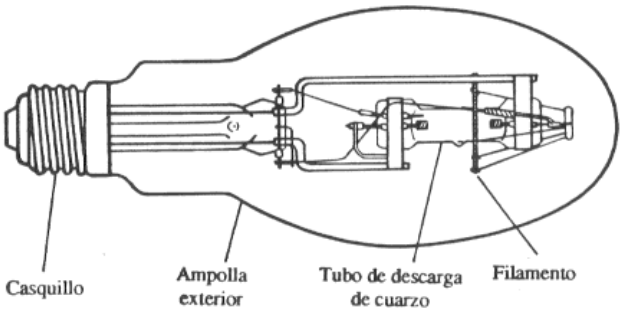
Son lámparas de vapor de mercurio con color corregido que tiene su balasto incorporado siendo la una resistencia cuya función será asegurar que la descarga se estabilice, incremento el rendimiento del color de la lámpara que (emitido por el filamento), y aumenta el factor de potencia.

Componentes

La componen al igual que la de vapor de mercurio

- ⇒ Tubo de descarga
- ⇒ Electrodos principales
- ⇒ Electrodos auxiliares
- ⇒ Gas de llenado
- ⇒ Ampolla exterior
- ⇒ Sustancias fluorescentes
- ⇒ Casquillos
- ⇒ Además de un filamento de tungsteno muy parecido al de las lámparas incandescentes que se implementará al tubo de descarga

Todos los componentes funcionan igual que la lámpara de vapor de mercurio.



En la figura se muestra los componentes de la lámpara de luz de mezcla.

Funcionamiento

Encendido

El filamento emite un flujo luminoso, soportando cierta tensión que al presentarse la descarga será absorbida por el tubo. El tiemp9o que tarda en encender la lámpara es aproximadamente de 2 minutos.

Como el filamento absorbe las variaciones de tensión hacen que la vida útil de estas lámparas se limite a la duración del filamento.

Temperatura de color

Es de 3600°K

El rendimiento de color

De 60

Duración

Dependerá de duración del filamento que es aproximadamente de 6000 horas.

Características Técnicas y Energéticas

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)
160	3000	19
250	5700	23
500	14000	28

Ventajas

- ⇨ Aumento en la eficacia luminosa de 30 a 70%
- ⇨ Incrementa la duración hasta de seis veces si las comparamos con las incandescentes
- ⇨ Se conectan directo a la red.

Desventajas

- ⇨ No requieren implementase una instalación ya que tiene baja eficacia
- ⇨ Encendido que no es instantáneo
- ⇨ El rendimiento de color es casi imperceptible.
- ⇨ La variación de tensión determinara la duración de la lámpara.

Lámparas de halogenuros metálicos.

La característica principal es que el tubo de descarga contiene aditivos metálicos, compuestos de yoduros, para que las líneas de emisión visible cubran las zonas del espectro. Los elementos que por lo general se utilizan son el disprosio, galio, litio, indio, escandio, torio, sodio entre otros, los cuales se combinan con un halógeno como el yodo, esto hace que en la descarga se produce la vaporización del halogenuro, penetrando en la región del arco, a temperaturas de 6000 °K y separa al metal del yodo. Al excitarse los átomos de los metales dan lugar a rayas de emisión que son transmitidas por el tubo de

descarga que al combinarse con los átomos libres de yodo hace que el proceso se lleve a cabo recurrentemente.

Para las lámparas de halogenuro metálicos no generan radiación ultravioleta por lo que sus ampollas no están cubiertas por sustancias fluorescentes sin embargo las ampollas que tiene cuarzo en el exterior emiten luz ultravioleta lo que hace que se les monte proyectores cerrados con filtro UV.



La figura muestra una lámpara de halogenuro metálico.

Hay dos tipos de lámparas de halogenuros

- ⇨ De ampolla exterior fabricada con vidrio y existen diversas formas
- ⇨ De ampolla exterior fabricada con cuarzo por lo general son mas reducidas y tiene implementados sistemas de protección.

Componentes

Tubo de descarga

El material que se utiliza es el cuarzo y es parecido a la lámpara de vapor de mercurio solo que en este no hay un electrodo auxiliar de encendido.

Electrodos

Se fabrica en tungsteno y solo variara la sustancia emisora del los electrones.

Gas de llenado

El gas mas común es el Argón a veces se utiliza combinado con el Neón ya que reduce la tensión en el encendido.

Ampolla Exterior

Es de vidrio y se presenta en formas tubular (clara) u ovoide (opalizada.). Si es de ampolla exterior de cuarzo la posición es horizontal con un anguila de 20 a 60°.

Casquillos

Los tipos mas requeridos son:

Edison (E) si la lámpara que se utiliza es la de ampolla exterior

Cerámicos (R) si se utiliza las lámparas de tubo de cuarzo.

Funcionamiento

Encendido

Para el encendido de las lámparas que tienen halogenuros se necesitan tensiones alrededor de los 1.5 a los 5 kV que las proporciona un arrancador.

El arrancador es un circuito electrónico con un tiristor que suministra un pico por cada ciclo. Ya que se produce la descarga el arrancador queda deshabilitado. Hay también lámparas en las que se sustituye el arrancador por un interruptor bimetalito el cual se incorpora a la lámpara.

Reencendido

El tiempo de reencendido varia unos minutos hasta que la lámpara llega a las condiciones de presión, aunque en algunas lámparas ya se han implementado arrancadores que hacen el encendido sea en caliente instantáneo.

Para estabilizar la descarga se utiliza un balasto inductivo el cual contiene un condensador. Las variaciones de la tensión causan que la lámpara tenga inestabilidad ya que se concentra el arco en el tubo de descarga, por lo que el balasto variara dependiendo de la lámpara.

Temperatura

Dependerá del fabricante y provocara que existan variaciones en la eficacia luminosa.

Rendimiento de Color

Dependiendo de los yoduros añadidos, provoca un Rendimiento de Color de entre 65 y 85.

Duración

La vida útil de la lámpara esta en función de la potencia a la que se utilice en un rango de 2000 a 6000 horas. Solo con un incremento considerable aumentara a 10000 horas.

Características técnicas y energéticas

Para una ampolla tubular (clara) en las lámparas de ampolla ovoide hay una reducción de 5-10%.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliar (lm/W)
250	19000	76	69
400	31500	79	75
1000	81000	81	77
2000	20000	93	89

Para lámparas con ampolla exterior de cuarzo

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliar (lm/W)
70	5000	71	56
150	11200	75	66
250	20000	80	73

Ventajas

- ⇨ Tiene una alta eficacia luminosa
- ⇨ Buen rendimiento de color
- ⇨ Los niveles de iluminación son adecuados para ser instaladas tanto en interiores como en exteriores
- ⇨ Su espectro luminoso es excelente para transmisiones de televisión
- ⇨ Gran diversidad de colores y ambientes cromáticos
- ⇨ Como sus dimensiones pueden ser reducidas son utilizadas en el área comercial

Desventajas

- ⇨ La vida útil de estas lampas en comparación con otras es reducido
- ⇨ Existe una variación en la descarga lo cual provoca que el color que emite no sea constante
- ⇨ El precio es considerable y solo es justificable si la instalación requiere de aplicaciones cromáticas.
- ⇨ La emisión de rayos UV la cual se debe de compensar con filtros.

Muy contaminantes

Lámparas de halogenuros metálicos: Tienen una fortísima emisión en el ultravioleta. Su luz es blanca azulada con rendimientos de color entre el 60% y el 90%. Es recomendable para eventos deportivos importantes y grandes zonas donde se requiera un elevado rendimiento cromático. Son muy eficaces, parecidas al sodio de alta presión, pero de corta vida.

Lámparas de vapor de mercurio a alta presión: Tienen una elevada emisión en el ultravioleta. Su luz es blanca con rendimientos de color inferiores al 60%. Es recomendable para zonas peatonales y de jardines. Son las menos eficientes del mercado en lámparas de descarga.

Lámparas especiales de mercurio

Lámpara de vapor de mercurio con ampolla clara

Se utiliza para potencias de 400 W, la ampolla exterior es de vidrio transparente no tiene recubrimiento de la sustancia fluorescente, se utiliza para decoración y para recrear estructuras con envejecimiento.

Lámpara de Luz Negra

Es fabricada para potencias de 125 a 160 W la ampolla que se utiliza es especial de tipo Wood.

Lámparas actínicas

Emiten radiación ultravioleta UV-A y viable con un espectro de banda de los 320 a 440 nm con potencia que van de 400 W y llegan a kW, se diseñan con halogenuros metálicos siendo los elementos mas empleados yoduro de plomo y de galio.

Lámparas de Fotoquímica

Emiten espectros ultravioletas UV-B y UV-A además de visible, se fabrican de vapor de mercurio y también con halogenuros, en ambos casos se omite la ampolla exterior, se les llega a implementar una envoltura de vidrio especial la cual filtrara radiación ultravioleta inferior a 300 nm. Las potencias dependerán del fabricante.

LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO BAJA PRESION

Las lámparas de vapor de sodio son muy parecidas a las de mercurio solo que la



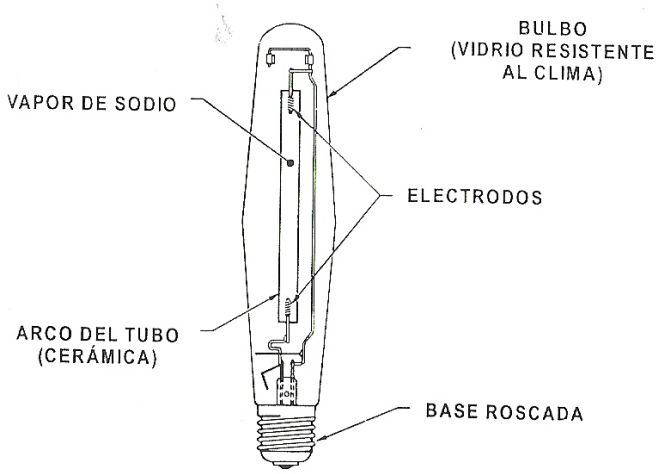
temperatura es considerablemente mayor ya que trabajan aproximadamente a 260°C para asegurar que el sodio se vaporice. El 90% de la radiación que se emite se encuentra en un rango de 589 a 589.6 nm. El pico de radiación monocromática es próximo al máximo de la curva de sensibilidad espectral del ojo colocándola en la más eficiente fuente de luz.



Alumbrado con lámparas de sodio

COMPONENTES

Partes principales de una lámpara de sodio



TUBO DE DESCARGA

Se fabrica de vidrio duro, en su capa inferior esta recubierto por una capa de vidrio con boratos resistentes al sodio, para reducir la anchura del arco se diseña en forma de circular aunque también se llega a fabricar rectilíneo, y de forma cruz o creciente. Su forma mas común es en U con salientes perimetrales, como se encuentra a menor temperatura se convierten en receptores de sodio, impidiendo que el sodio se filtre al tubo de descarga. En el tubo se encuentran los electrodos, el sodio y el gas de llenado.

ELECTRODOS

Se compone por un hilo de tungsteno en forma de doble espiral el cual esta recubierto por sustancias emisivas se suelen ocupar óxidos de metales alcalinos y térreos, los electrodos aumentan la duración de la lámpara.

GAS DE LLENADO

El gas que se utiliza es el Neón con un solo 1% de Argon para reducir la tensión de encendido.

AMPOLLA EXTERIOR

El material del que se fabrica es de vidrio en forma cilíndrica en la capa interna tiene una capa de óxido de indio, transmite radiación de sodio reflejando el 80% de la radiación infrarroja hacia el tubo. El principal objetivo es que la lámpara no aumente su temperatura de 260°C, también se hace vacío es decir no hay transmisión de calor por convección, se introducen compuestos absorbentes (getters) que absorben los gases que produce la lámpara aumentando el vacío.

CASQUILLOS

En forma de Bayoneta (B)

PRINCIPIO DE OPERACIÓN

ENCENDIDO

Los electrodos arrancan en frío por lo que cuando se enciende ola lámpara la tensión suele estar en un rango de 400 a 600 V para lo cual se requiere de balasto, una arrancador electrónico o un transformador, el cual se encargara de suministrar el impulso de la tensión necesaria, la deficiencia que presenta es tener dimensiones muy grandes además de que propicia que existan perdidas.

El circuito del arrancador consiste en un Tirirstor cuya función es desencadenar un impulso de alta tensión el cual se encuentra con serie con el indoctor, cuando se utiliza el arrancador electrónico disminuyen las dimensiones y peso de la lámpara y aumenta la eficacia hasta en un 10%.

Al iniciar el encendido de la lámpara el color que presenta es el rojo por el estado sólido del sodio y a medida que el sodio se vaporiza toma tonalidades de amarillo. La principal

ventaja que presenta sobre las otras de descarga es que no presenta sobre intensidad en el encendido. Sus condiciones de encendido las alcanzan hasta en 15 minutos.

REENCENDIDO

Para el reencendido toma alrededor de 3 minutos, aunque si tiene existen algunas que tiene un circuito de encendido automático.

ESTABILIZACIÓN DE LA DESCARGA

Los dos procedimientos que son utilizados para estabilizar la descarga son:

- ⇒ Balasto con auto transformador, el cual se presenta con una inductancia variable la cual se modificara en función de la intensidad. La desventaja es que presenta un bajo factor de potencia que es corregido por un condensador de compensación

- ⇒ Balasto híbrido, se compone por inductancias y condensadores, produce una onda de corriente con forma casi rectangular.

Al aumentar la tensión de alimentación provoca la disminución del arco y mantiene la potencia absorbida y el flujo luminoso en equilibrio. Aunque al aumentar la vida útil de la lámpara disminuye el sodio

TEMPERATURA DE COLOR Y RENDIMIENTO

Es de tipo de color cálido y no tiene reproducción cromática.

DURACION

Su duración se limita por la desactivación de los electrodos y la perdida de sodio, se estima en 15000 horas, para 3 horas de encendido es de 6000 a 8000 horas, en su funcionamiento el flujo luminoso es bueno, sin embargo la eficacia disminuye por que aumenta la potencia absorbida.

CARACTERISTICAS TECNICAS Y ENERGETICAS

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)	Eficacia (lm/W)	Eficacia con auxiliares (lm/w)
35	4800	137	84
55	8000	145	105
90	13500	150	109
135	22500	167	131
180	3200	178	145

VENTAJAS

- ⇨ La eficacia luminosa es superior en comparación con las otras lámparas
- ⇨ Presenta el mejor aprovechamiento energético
- ⇨ El precio no es elevado
- ⇨ Se utiliza en lugares sin ningún requerimiento específico como alumbrado publico, aeropuertos y autopistas.

DESVENTAJAS

- ⇨ Casi no presenta reproducción cromática por lo que no presenta color.
- ⇨ La longitud de la lámpara es considerada para su instalación.

Poco contaminantes

Vapor de sodio a baja presión: emite prácticamente sólo en una estrecha zona del espectro, dejando limpio el resto. Su luz es amarillenta y monocromática. Es recomendable para alumbrados de seguridad y carreteras fuera de núcleos urbanos. Son las más eficientes del mercado y carece de residuos tóxicos y peligrosos.

1.1.3 La iluminación hace la diferencia

El alumbrado además de ofrecer el nivel de iluminancia adecuado para la realización de tareas influye también sobre la percepción del espacio, modificando las funciones fisiológicas del organismo, el humor y el comportamiento del individuo.
La iluminación es el factor más importante de los ambientes de trabajo, una concepción inadecuada del sistema lumínico puede llevar a los trabajadores a tener stress, dolor de cabeza, deslumbramiento, vista cansada, entre otros factores indirectos causados por la luz.
Sobre el alumbrado de oficinas se han desarrollado muchos estudios, como el posicionamiento de los equipos, los valores de intensidad, las lámparas y balastros utilizados, etcétera.
Otra preocupación creciente de los investigadores se relaciona con el confort visual y sus efectos sobre la percepción del individuo. Estudios actuales sobre iluminación en el trabajo, destacan la influencia del alumbrado sobre el estado de ánimo del trabajador. Se observo que, para los oficinistas, la iluminación se encuentra entre las más importantes características que deben ser tomadas en cuenta por el diseño y los equipamientos de las oficinas.

El hogar constituye el refugio y abrigo del ser humano. En él transcurren las vidas de los integrantes de una familia, con sus alegrías y tristezas, con sus éxitos y sus frustraciones; se lo puede comparar con un gran escenario en el cual cada quién vive su historia.

Y tal como en una obra de teatro, donde cada escena recrea un clima acorde a la situación, de la misma forma en el hogar será importante crear un clima de confort especial para cada una de las múltiples y muy variadas actividades que en él se llevan a cabo diariamente.

Una de las herramientas fundamentales e ideales para crear el clima apropiado para cada momento lo constituye sin ninguna duda la luz. Una iluminación bien planificada y ejecutada proporcionará siempre una sensación de placer y bienestar en cada una de las actividades cotidianas.

La iluminación hace la diferencia. Desde la simple tarea de enhebrar una aguja sin dificultades hasta el placer de una buena lectura sin forzar la vista dependen de una correcta iluminación.

La luz proporciona belleza y drama a un recinto; puede transformar una habitación pequeña en un sitio espacioso y aireado como también convertir un local de grandes dimensiones en un lugar íntimo y acogedor. Puede crear una atmósfera estimulante para una noche de entretenimiento o una suave sensación de paz y relax luego de una jornada agitada.

La iluminación de una residencia debe ser planificada para complementar el estilo de vida de sus moradores. El luminotécnico deberá asesorarse sobre qué actividades, fuera de las habituales de un hogar, se realizan en esa casa. Y aún dentro de las habituales, que recaudos especiales deberá tomar (edad de sus ocupantes, algún tipo de discapacidad, etc).

El especialista deberá tener presente en todo momento que estará iluminando la residencia de SU cliente y no la propia. Nunca deberá tratar de imponer un gusto personal sino tratar de interpretar el deseo de los moradores de la casa y tratar de hacerlos técnicamente realizables.

Por último, el propietario de la vivienda deberá pensar en que la iluminación de una residencia es una inversión costosa y como tal, tratar de que se realice correctamente la primera vez; siempre es difícil mejorar un proyecto mal realizado, especialmente porque la instalación eléctrica será inamovible.

Existen tantas formas de planificar la iluminación de una residencia como luminotécnicos hay; sin embargo, una manera práctica de organizar la tarea es en base a las siguientes tres premisas:

A. QUÉ ILUMINAR
B. CÓMO ILUMINAR
C. CON QUÉ ILUMINAR

A. QUÉ ILUMINAR

Al decidir o planificar "qué iluminar" en el alumbrado residencial, a menudo suele resultar práctico pensar en la iluminación como una sucesión de "layers" o capas de diferentes características que conforman ese todo que constituye la ambientación lumínica de una vivienda.

Esos layers podrán ser utilizados todos juntos o superpuestos, individualmente o combinados, dependiendo cada una de estas alternativas del clima que se desee lograr en cada caso.

Estas "capas" de iluminación son básicamente tres y cada una de ellas cumple una función específica, a saber:

- La iluminación general
- La iluminación de trabajo
- La iluminación de destaque

Esta forma de subdividir la iluminación de una vivienda no solamente resulta de ayuda al luminotécnico para conformar su proyecto, sino también al propietario, quién generalmente no tiene muy claro como quisiera que sea la iluminación de su casa.

La iluminación general

La iluminación general de una habitación se asemeja de alguna manera al trabajo de un pintor, quien al comenzar su obra primero imprime a su tela una base, un color y una textura sobre los cuales lentamente comenzará a crear los diversos detalles que conformarán su mensaje, aquello que quiere transmitir.

De la misma forma, el luminotécnico debe crear una base, una primera capa de luz que servirá luego para ir modelando el espacio con los siguientes layers. Esta primera base de luz deberá se lo más uniforme posible y de no demasiado nivel de iluminación. 100 a 150 lux serán suficientes para permitir un cómodo desplazamiento dentro de la habitación y la circulación a las habitaciones contiguas.

Deberá ser difusa y envolvente y no producir sombras duras sobre las paredes u otras ocasionadas por los elementos propios de la decoración del local. Algunos sistemas o fuentes de luz idóneos para este propósito son las luminarias equipadas con lámparas opalinas o con difusores de vidrio esmerilado para "ablandar" la emisión de la luz con el propósito de evitar dichas sombras. Otra posibilidad la constituye la iluminación indirecta proveniente en general de gargantas, lámparas de pie o apliques de pared. El cielorraso blanco actuará como una gran pantalla reflectante y difusora proporcionando esa primera capa de luz.

La iluminación de trabajo

Es el layer destinado a proveer la iluminación específica y necesaria para realizar aquellas tareas del hogar que requieran cierta precisión (leer, escribir, coser, manualidades en general, juegos de mesa, etc). En general, cada una de estas actividades tiene asignado un valor de iluminancia en las tablas de niveles recomendados por las normas. Es conveniente respetar estas recomendaciones a los efectos de evitar esfuerzos visuales inútiles derivados habitualmente en dolores de cabeza y también físicos, a partir de posturas corporales adoptadas inconscientemente tratando de ver mejor.

Este layer del sistema de iluminación pude ser utilizado independiente del resto o combinado con otro. Es aconsejable utilizarlo junto con la iluminación general para evitar de esta manera contrastes de luminancia demasiado bruscos entre el plano de trabajo y el entorno mediato.

Iluminación de destaque

La iluminación de destaque o de acento es el último de los layers del sistema y es el que tiene la responsabilidad de crear el clima, el toque artístico dentro del diseño lumínico.

Su misión es fundamentalmente la de crear un centro de atracción dentro de una habitación. Este centro de atracción deberá ser único; deberá ser el primer elemento al cual se desea que dirija la vista el visitante y alrededor del cual se irá construyendo la

decoración de la habitación en un orden de prioridades establecido, como si el invitado estuviera presenciando una proyección de diapositivas seleccionadas por el anfitrión.

La acentuación de elementos deberá ser selectiva y permitir una tranquila recorrida por todos ellos a partir del centro de atracción. Muchos elementos destacados con la misma intensidad y efectos similares producirán una escena caótica y carente de sentido estético y cuyo resultado será el fracaso total.

Como norma general, será conveniente evitar los elementos centrales, luminarias ubicadas en el mismo centro de la habitación, normalmente colgantes, que generan una abúlica simetría al cuarto.

Este tipo de iluminación es la antítesis del efecto "centro de atención", ya que se convierte en un protagonista sin ningún atractivo que ilumina por igual los cuatro laterales de la habitación produciendo una imagen chata y sin contrastes.

Una excepción a la regla la constituye el caso del comedor, donde la mesa central de por sí se ubica como el centro de atracción.

B. CÓMO ILUMINAR

Una vez analizados cada uno de los espacios y decidido qué iluminar en cada uno de ellos, es el momento de decidir cual es la mejor forma de hacerlo. En esta instancia, será importante analizar algunos aspectos técnicos necesarios para no cometer errores difíciles de corregir luego.

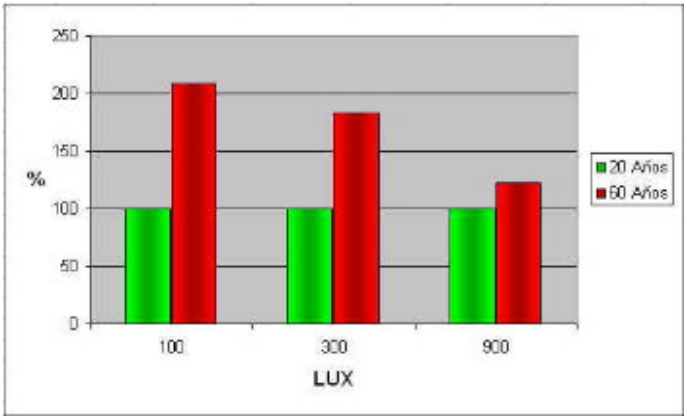
Estos aspectos son:

- ⇒ El nivel de iluminación
- ⇒ El deslumbramiento
- ⇒ El color de la luz
- ⇒ El rendimiento de color
- ⇒ El confort visual.

El nivel de iluminación o iluminancia

El nivel de iluminación necesario para una buena visión depende de tres factores fundamentales:

- La edad de los ocupante
- La velocidad y precisión en las tareas
- La reflectancia del plano de trabajo



La luz necesaria para una correcta percepción varia con la edad y no es igual para todas las personas. Desde el nacimiento y durante el período de crecimiento, el ser humano requiere de 4 a 5 veces más luz que un adulto. Esta necesidad reaparece con el paso de los años. Las personas mayores requieren mucha más luz. En efecto, una persona de 60 años necesita al menos el doble de luz que una de 20. Además su vista es mucho más sensible a las altas luminancias.

Para ellos las iluminancias deberán ser altas pero las luminarias bien apantalladas o de baja luminancia.

Algunos niveles de iluminación recomendados para tareas generales (*):

⇒ Circulaciones: 100 Lux

⇒ Iluminación general: 100/150 Lux

⇒ Conversación: 50/100 Lux

⇒ Lectura intermitente(**): 300 Lux

⇒ Lectura, escritura, estudio(**): 500 Lux

⇒ Manualidades(**): 500/1000 Lux

* Estos niveles son los mínimos sugeridos para personas de entre 20 y 35 años.

** Iluminancias obtenidas con el aporte de iluminación localizada (lámparas de pie, de mesa, etc). Nota: los niveles recomendados para tareas especificas serán analizados para cada dependencia en particular.

El deslumbramiento

Existen diversos tipos de deslumbramiento a saber:

⇒ Deslumbramiento fisiológico

⇒ Deslumbramiento psicológico

⇒ Deslumbramiento o luminancia de velo

El **deslumbramiento fisiológico** es aquel ocasionado por una fuente de luz que hiere directamente la retina. El ejemplo más claro sería el de una linterna enfocada directamente a la vista. La solución será modificar la orientación de la fuente para quitarla de la dirección de visión obligada.

El **deslumbramiento psicológico** implica que existe alguna luminaria o fuente de luz que, encontrándose dentro del campo visual de la persona posee la luminancia suficiente como para producir una molestia al cabo de algún tiempo. Se soluciona apantallando la luminaria o modificando ligeramente su orientación.

La **luminancia de velo** es aquella que deriva de la mala ubicación de las fuentes de luz con respecto al plano de trabajo produciendo un intenso brillo sobre la superficie de lectura que vela parcial o totalmente el texto haciéndolo prácticamente ilegible. Se deberá modificar la posición de las luminarias. La iluminación debe provenir de los laterales y nunca de arriba.

El color de la luz

Como se ha dicho en las definiciones técnicas, el color aparente con que emite su luz una fuente se denomina **temperatura de color** y se mide en grados Kelvin. Es el indicador de la tendencia cromática de una fuente.

En el alumbrado residencial, el color de luz que se utilice tiene una importancia fundamental, ya que será el gran protagonista del "clima" que se logre en el ambiente iluminado.

Así un trozo de carne se verá realmente fresco bajo una lámpara incandescente y de color marrón oscuro bajo un tubo luz de día. Esto es debido a que una lámpara incandescente, con una temperatura de color de 2700 K emitirá una luz cálida, con gran contenido de rojo, mientras que una de 6500 K lo hará con luz fría, con predominante contenido de azul (tubo fluorescente luz de día). Cuanto menor sea la temperatura de color más cálida será la fuente.

En términos de color, en la iluminación residencial interior la luz fría tiene poca cabida; tal vez para iluminar alguna vitrina con platería y porcelana, ya que la luz fría da mayor brillo a la plata y los cromados y más blancura a las losas blancas. La iluminación del hogar será siempre cálida por excelencia.

Temperatura de color de algunas fuentes:

- ⇒ Lámpara incandescente 2700 K
- ⇒ Tubo blanco cálido 3000 K
- ⇒ Lámpara dicroica 3100 K
- ⇒ Tubo blanco neutro 4000 K
- ⇒ Tubo luz día 6500 K
- ⇒ Mercurio halogenado 3000/4000 K

El rendimiento de color

El rendimiento de color o (IRC) Índice de Rendimiento de Color indica con que grado de precisión una determinada fuente de luz permitirá reproducir un color. Esta propiedad de las lámparas está determinada por su composición espectral, para cuya clasificación se ha instituido como patrón a la lámpara incandescente, la cual se dice que tiene un Ra de 100.

En la iluminación del hogar el Ra de las fuentes de luz deberá estar en valores de 80 a 100, salvo en dependencias secundarias en las cuales la discriminación cromática tiene poca importancia. (Cocheras, desvanes, etc. o en el alumbrado exterior).

IRC de algunas fuentes (Ra):

- ⇒ Lámpara incandescente 100
- ⇒ Lámpara dicroica 100
- ⇒ Tubo fluorescente trifósforo 85
- ⇒ Tubo fluorescente Standard 75
- ⇒ Mercurio halogenado 75

El confort visual

Este aspecto se ha dejado de exprofeso para el final, ya que en él se conjugan todos los elementos mencionados hasta el momento más algunos otros que se verán a continuación.

El confort visual o VCP, iniciales de la denominación inglesa "Visual Confort Probability" (Expectativas de Confort Visual") es, como su definición lo indica, el grado de confort visual al que aspiran los ocupantes de un recinto medido en porcentaje y cuyo valor máximo es obviamente 100.

Si bien a primera vista se dirá que una residencia deberá tener un VCP de 100, esto no siempre es accesible, ya que lograrlo implica a menudo un costo considerable. Un elemento de importantísima gravitación en lo que hace al confort visual es el correcto equilibrio de los contrastes y las luminancias.

Una de las reglas de oro de la luminotecnia establece que la relación de luminancias entre el plano inmediato (tarea) y el mediato (Infinito) no deberá ser superior a 10:1. En este contexto, "infinito" puede ser considerado como cualquier distancia superior a los cinco metros.

Hace ya tiempo se ha establecido que cuando los ojos se encuentran enfocados sobre una tarea visual, estos necesitan elevarse y enfocar al infinito con el propósito de descansar sus músculos. Este ejercicio se realiza cada 5 a 7 minutos.

Frente a este panorama, es fácil comprender que, si las luminancias no guardan al menos la relación establecida por las recomendaciones, la pupila deberá realizar un agotador trabajo de adaptación de altas a bajas luminancias y viceversa entre 10 y 12 veces por minuto. En este punto será importante hacer algunas consideraciones acerca de reflectancias, texturas, y colores.

Es sabido que lo que el ojo ve es lo que el objeto refleja y no la luz propiamente dicha. Por lo tanto al proyectar la iluminación de una habitación se deberán tener muy en cuenta las características propias de las superficies.

¿Las superficies son claras u oscuras?

Las superficies oscuras absorben más la luz, reflejan menos. La reflexión producida por las paredes y el mobiliario cumple un rol muy importante en el nivel general de iluminación así como también en el "clima" general. Esta reflexión se mide en por ciento y cada color y tono tiene su propio porcentaje de poder reflectivo.

¿Las superficies son brillantes o mate?

Las superficies brillantes reflejan en forma especular, mientras que las mate lo hacen de manera difusa.

Habrá que analizar cuidadosamente la ubicación de las fuentes de luz cuando en la decoración del ambiente haya elementos brillantes o espejados a los efectos de evitar el deslumbramiento o el desagradable reflejo de dichas fuentes en una superficie.

Poder reflectante de algunas texturas:

- ⇒ Revoque claro 35/55 %
- ⇒ Revoque oscuro 20/30 %
- ⇒ Hormigón claro 30/50 %
- ⇒ Hormigón oscuro 15/25 %
- ⇒ Ladrillo claro 30/40 %
- ⇒ Ladrillo oscuro 15/25 %
- ⇒ Madera clara 30/50 %
- ⇒ Madera oscura 10/25 %

Poder reflectante de algunos colores:

- ⇒ Blanco 70/75 %
- ⇒ Amarillo claro 50/70 %
- ⇒ Verde claro 45/70 %
- ⇒ Gris claro 45/70 %
- ⇒ Celeste claro 50/70 %
- ⇒ Negro 4/6 %
- ⇒ Gris oscuro 10/20 %
- ⇒ Amarillo oscuro 40/50 %

¿Se desea destacar los colores del objeto o tal vez modificarlos?

El color de un objeto estará determinado por la composición espectral de la fuente de luz.

Como se ha dicho anteriormente, un objeto rojo se destacará más cuanto mayor sea el contenido de rojo de la fuente. Si la fuente en cuestión contiene muy poco rojo y mucho azul, por ejemplo, el objeto de color rojo se verá como de color marrón oscuro. En contraposición, con la composición espectral de esta última lámpara, un objeto de color azul se verá espléndido.

También se dijo anteriormente que en la iluminación residencial las temperaturas de color cálidas serán en general preferentes. Esto último tiene sus excepciones como toda regla.

Es sabido que la máxima sensibilidad del ojo humano se encuentra en la longitud de onda de los 555 nm, es decir en el color amarillo verdoso. No obstante, y debido a un fenómeno llamado "efecto Purkinje", frente a bajas iluminancias, por ejemplo en el ocaso, esta máxima sensibilidad del ojo se desplaza 48 nm hacia las longitudes de onda más bajas, es decir, hacia el verde azulado.

En el alumbrado residencial, donde a menudo se utiliza el "dimming" o atenuación de los niveles de iluminación, este fenómeno cobra un significado especial, ya que en una habitación iluminada muy tenuemente se percibirán mejor los colores fríos (azul y violeta) que los cálidos (naranja y rojo) y el recinto se verá más claro iluminado con una luz amarillenta.

Resumiendo: una perfecta visión de los colores y pequeños detalles requiere de elevados niveles de iluminación producidos por fuentes dotadas de un espectro continuo, es decir, que contenga todos los colores o longitudes de onda del espectro visible.

Glosario

Lux: unidad de iluminación o iluminancia, nivel de iluminación medido sobre una determinada superficie.

Temperatura de Color: color aparente con que emite su luz una fuente. Se mide en grados Kelvin.
Indice de Rendimiento de Color (IRC): el rendimiento de color indica con qué grado de precisión una determinada fuente de luz permitirá reproducir un color.

C. CON QUE ILUMINAR

Una vez que se haya decidido qué iluminar y cómo iluminar, será el momento de decidir **con qué iluminar**. Se deberá elegir el tipo de lámpara, el tipo de luminaria y el sistema de control, si es que se optará por uno. Es recomendable que la elección de estos elementos se realice en el orden enunciado.

Elección de la lámpara

Actualmente se cuenta con un extenso rango de opciones en materia de lámparas: las tradicionales incandescentes, las incandescentes halógenas, las de bajo voltaje, las fluorescentes compactas y las fluorescentes convencionales, y cada una de ellas en una amplia gama de tipos y potencias.

Al tomar la decisión sobre la lámpara a utilizar, se deberá hacer un análisis de la situación particular para la cual será seleccionada y tener en cuenta los siguientes elementos:

- ⇒ Tipo de distribución luminosa deseada
- ⇒ Consumo de energía
- ⇒ Rendimiento de color
- ⇒ Temperatura de color

En términos generales, el tipo de distribución luminosa no depende solamente de la lámpara sino también de la luminaria que la contiene, ya que esta "modela" el flujo luminoso de la fuente de diversas formas según cada necesidad.

Sin embargo, en el caso de la iluminación de destaque, (haz concentrado) es posible utilizar fuentes que tienen ya su **ángulo de apertura de haz definido** en sí mismas. Tal el caso de las **lámparas incandescentes tipo PAR**, las **halógenas dicroicas** y las de **espejo metálico**.

En el caso de **distribución luminosa abierta**, sin duda la fuente ideal es la **fluorescente**. Si bien en iluminación residencial el tubo fluorescente convencional tiene una aplicación limitada, sí en cambio goza de mayor popularidad la versión compacta.
El consumo energético reviste una enorme importancia en estos tiempos. En este sentido, las lámparas fluorescentes compactas son sin duda las más indicadas. Lamentablemente en el aspecto decorativo de la iluminación hogareña, más precisamente en la iluminación de acento o destaque, las **lámparas halógenas** de bajo voltaje son irremplazables por su capacidad para lograr haces muy definidos y efectos de luz muy especiales.

Tanto en rendimiento de color como en temperatura de color, toda la gama de fuentes mencionada es perfectamente apta para la iluminación residencial. Las lámparas fluorescentes compactas cuentan con 4 temperaturas de color que cubren la más amplia gama de necesidades, mientras que las halógenas, en todas sus versiones, agregan el toque decorativo con su color blanco intenso de 3100 K.



ELECCIÓN DE LA LUMINARIA

La elección de la luminaria implica algunas consideraciones:

- ⇒ El tipo de distribución luminosa
- ⇒ La función que cumplirá dicha luminaria
- ⇒ El sistema de montaje (embutido, de pared, suspendida, etc.)
- ⇒ La apariencia, el estilo y el costo.

Todos estos elementos deberán ser tenidos en cuenta y discutidos profundamente con el propietario de la vivienda, ya que tal como se dijo en la introducción, será él quien habite la casa y las luminarias tienen un importante "peso" en el aspecto decorativo.

También lo tienen en el aspecto económico, razón de sobra para que el luminotécnico proponga diversas variantes antes de especificar marcas y modelos.

Los sistemas de iluminación para el hogar son variados y dependen en gran medida del estilo arquitectónico, del tipo de construcción, etc.

Un ambiente con cielorraso suspendido es muy fácilmente iluminable con **spots embutidos**. Estos spots pueden cubrir prácticamente los tres tipos de iluminación: la general, utilizando fuentes de luz "blanda" como las **lámparas incandescentes opalinas o fluorescentes compactas**, la de trabajo, con lámparas más concentradoras y por supuesto la de destaque con fuentes puntuales.

Permiten realizar un **wall washing** o **bañado de una pared** o un **scalloping** o **festoneado** sobre una superficie vertical (efecto de elipses que se obtiene con una sucesión de spots en línea ubicados cerca de la superficie). Estos recursos son muy utilizados no sólo como elemento decorativo sino también para mejorar en algunos casos la relación de luminancias. (Ver Confort visual)

Todos estos efectos podrán ser logrados con la ventaja adicional de que la luminaria se encuentra escondida o muy poco visible. Esto constituye otra de las reglas de oro de la luminotecnia: **se ve el elemento iluminado pero no la luminaria**, el elemento iluminante no es protagonista.

Otro sistema "oculto" muy difundido en la iluminación residencial es el de las **gargantas de luz**. Esta manera de iluminar en forma indirecta un ambiente se realiza generalmente con **tubos fluorescentes** colocados uno a continuación de otro y ligeramente superpuestos para evitar las sobras que se producirían entre los extremos de los tubos. Es un recurso válido para proveer al local de una iluminación general, pero es aconsejable combinarlo con algún "toque" de iluminación directa, ya que la reflejada, utilizada como sistema único

produce una sensación de monotonía a partir de la falta de sombras y contrastes, característica principal de la iluminación difusa por reflexión.

Cuando la luminaria se convierte en protagonista es cuando el aspecto estético ocupa un primer plano; y no solo el estético sino también el económico. Es obvio que un artefacto de iluminación que se encuentra expuesto se convierte automáticamente en un elemento más de la decoración del ambiente razón por la cual debe ser agradable a la vista, de muy buena construcción y lumínicamente eficiente, por supuesto.

Dentro de la categoría de luminarias "no embutidas" se encuentran los sistemas de iluminación por **rieles electrificados**. Esta modalidad ha tenido mucha aceptación y difusión debido a la gran flexibilidad que permite. Con el riel se ha podido dar solución a aquellos casos en que es necesario iluminar una habitación en la cual la instalación eléctrica ya es existente. Un ejemplo de ello son las viviendas en las que, a falta de un proyecto de iluminación previo, se ha optado por prever solamente bocas de luz en las paredes.

El sistema de rieles puede ser utilizado tanto en tensión normal de 220 V como en baja tensión de 12V.



ELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Al mencionar al sistema de control se hace alusión a los **variadores de flujo luminoso** o **dimmers**. Estos elementos cumple la función de "modificar" el nivel de iluminación pudiendo variarlo entre máximo y mínimo a voluntad o bien apagar todo el sistema.

Estos accesorios van desde el económico variador de embutir en la caja del interruptor o llave de luz convencional hasta el más sofisticado sistema programable comandado por señal infrarroja.

Esto que parece un suntuario no lo es tanto. Actualmente existen pequeñas centrales de costo accesible, que permite programar una serie de escenas, las cuales quedan memorizadas en el sistema y se activan simplemente pulsando un botón. Obviamente, los comandados por control remoto no son tan económicos.

Estos dimmers, o al menos los relativamente económicos, son los que accionan "exclusivamente" lámparas incandescentes, ya que para dimerizar lámparas fluorescentes se requiere elementos adicionales que tienen un costo mucho más elevado. Como quiera que sea, estos **sistemas de atenuación** tienen sus **ventajas** y **desventajas**. Es sabido que la vida útil de una lámpara incandescente es corta y es sumamente sensible a la tensión de aplicación. Con un 5% de sobretensión la lámpara vivirá la mitad de lo previsto (~ 500 horas) mientras que con un 5% de subtensión, la vida de la fuente se extiende al doble. Este es el aspecto positivo del uso de dimmers.

El aspecto negativo o al menos a tener en cuenta, radica en que a medida que se atenúa el nivel de iluminación la luz de la lámpara se torna cada vez más rojiza, lo cual distorsionará los colores de manera sensible.

Este efecto es sumamente desagradable especialmente en las lámparas dicroicas, en las cuales precisamente su intenso brillo y luz excepcionalmente blanca son su principal atractivo.

El otro aspecto a tener en cuenta es el referido a la distorsión de los colores causada en nuestro propio sistema óptico por el desplazamiento de la curva de sensibilidad del ojo en presencia de bajas iluminancias (Ver Confort visual)

DEPENDENCIAS DE LA VIVIENDA

Cada una de las distintas dependencias de una residencia presenta características propias de su destino dentro de la vivienda y en consecuencia requiere de soluciones lumínicas acordes a su función.

A diferencia de lo que ocurre en la iluminación de oficinas, en el alumbrado residencial no existen normas o exigencias rigurosas que cumplimentar, pero sí se deberán respetar algunas reglas básicas tendientes a lograr un óptimo confort visual y una ambientación lo más grata posible.

En las páginas que siguen se analizarán brevemente las necesidades mínimas de cada ambiente y sus posibles soluciones: niveles de iluminación, fuentes y luminarias sugeridas, datos particulares, etc.

EL LIVING ROOM O SALA

Es la habitación más representativa del hogar; es donde la familia y sus invitados se reúnen, conversan, miran televisión, practican juegos de mesa o escuchan música. Por todo ello y al cumplir con tan variadas funciones, la iluminación de esta dependencia deberá ser lo suficientemente flexible como para poder satisfacer una gran variedad de requerimientos visuales simultáneamente. Es importante tener en cuenta que, si bien se debe seguir un criterio de iluminación adecuado para cada tipo de actividad, el resultado final del conjunto deberá ser coherente y confortable. Un **nivel general de iluminación** de **entre 100 y 150 lux** será suficiente para desplazarse dentro de los distintos sectores de la habitación y para la transición con las dependencias contiguas. En esta iluminación general influirá notablemente la claridad de las superficies (paredes, cielorraso, piso) así como la del mobiliario.

Esta primer "base" de iluminación podrá estar dada por **spots embutidos de distribución muy abierta** si el cielorraso es suspendido o bien por **apliques de pared con lámparas halógenas**. Pero como se dijo al comienzo, en esta dependencia de la casa se realizan diversas actividades y cada una de ellas deberá disponer de un sistema de iluminación apropiado.



EL HOGAR O CHIMENEA ABIERTA

Es muy habitual encontrar en un living una chimenea generalmente construida o revestida en piedra. Esa es una situación ideal para crear un clima especial dentro de la habitación. Algunos **spots embutidos o montados sobre riel** ubicados sobre la misma, producirán un efecto de luz rasante sobre la piedra creando un clima dramático. Un **par de apliques de pared** en cada costado del hogar completarán la ambientación de este espacio ideal para la reunión familiar. Iluminancia sugerida sobre la superficie vertical: **100 a 200 lux**.

EL LUGAR DE LECTURA

Siempre existe en un living un lugar preferido para la lectura. Generalmente será un cómodo sillón o un sofá. Como ya se dijo anteriormente, el nivel de iluminación para la lectura deberá contemplar la edad de las personas; una iluminancia de **500 lux** será suficiente para la gran mayoría de los casos. Las fuentes de luz más indicadas serán una **lámpara de mesa o de pié**, ubicada por detrás del hombro del lector. Si la luminaria dispone de un dimmer, cosa bastante habitual en artefactos modernos, tanto mejor; ciertas superficies demasiado brillantes producen reflejos indeseados aplacables con menor nivel.

UNA MESA DE JUEGO

El lugar destinado al esparcimiento; juegos de naipes, ajedrez o damas son siempre una buena propuesta entre amigos. Este tipo de actividad requiere un buen nivel de iluminación, por el tipo de actividad y para propiciar un clima dinámico. Nuevamente **500 lux** sobre la mesa será lo más apropiado.

Lo ideal es un pequeño **colgante sobre la mesa regulable en altura** equipado con una **lámpara dicroica de haz bien abierto** (Ej: 45º). Es cierto que esta opción condiciona la ubicación de la mesa haciéndola inamovible. Otra posibilidad más elástica la constituye una **lámpara de pié de enfoque regulable** colocada al costado de la mesa.

LA ILUMINACIÓN DE DESTAQUE

En un living existen innumerables situaciones y elementos que justifican una iluminación de realce o destaque. Se verán aquí algunas de las más comunes. El elemento por excelencia a destacar es sin duda un cuadro. Un cuadro podrá ser iluminado desde el cielorraso por medio de spots embutidos orientables o montados sobre riel. Las fuentes de luz podrán ser dicroicas, lámparas PAR o también fluorescentes compactas si se desea hacer un "washing" de todo un sector de pared mediante un espejo asimétrico. En el caso de iluminación puntual, se deberá calcular cuidadosamente el ángulo de apertura necesario para cubrir la obra. También será sumamente importante definir la distancia de la luminaria a la pared; si está muy cerca la iluminación será demasiado rasante, destacando irregularidades de la pared y restando iluminación al cuadro; si en cambio se encuentra demasiado lejos, el observador proyectará su sombra sobre el objeto. El montaje correcto será dentro de un ángulo aproximado de 30º con respecto a la vertical, lo que significa, para una habitación de una altura convencional de 2,60 m una distancia a la pared de 0,55 m. El nivel de iluminación sugerido es de 150 a 200 lux mínimo para lograr el destaque. No obstante, tratándose de algún original en acuarela es aconsejable no superar los 150 lux para preservar la obra (en caso de tapices no es conveniente superar los 50 lux).

El mismo tratamiento podrán recibir objetos de arte, arreglos florales, etc. Un living también se presta para realizar **washing de paredes y cortinas** o **scalloping sobre superficies verticales**. (Ver Elección de la luminaria)

EL COMEDOR

Tal vez la dependencia más sobria y elegante de la casa. En ella los anfitriones reciben a sus invitados con sus mejores galas frente a una mesa bien servida.



En el comedor la ambientación debe ser la más cuidada de la casa. La luz debe ser cálida y la reproducción cromática óptima. Los alimentos deben lucir el más real de los colores y aún más. Un "chandelier" o **colgante central** es casi irremplazable. Es de alguna manera el elemento que jerarquiza al ambiente, y con él, a la residencia. Si la luminaria contiene caireles de cristal o vidrio, es recomendable utilizar lámparas transparentes a los efectos de producir delicados brillos en los adornos.

No obstante se deberá evitar el deslumbramiento, razón por la cual es aconsejable que el chandelier disponga de un dimmer para controlar los brillos.

En ocasiones es interesante instalar un par de **spots embutidos orientables**, uno a cada lado del colgante para proveer el verdadero nivel de iluminación sobre la mesa, dejando para el chandelier la función decorativa. Este deberá estar suspendido sobre la mesa entre 0,75 y 0,80 m.

La iluminancia sobre la mesa deberá estar entre los **100 y 200 lux** y como ya se dijo muy uniforme y regulable.

Para completar la iluminación general y brindar mayor amplitud al ambiente, será bueno disponer un par de **apliques de pared** tratando de acompañar al diseño del elemento

central. Estos apliques deberán instalarse lo suficientemente elevados (~ 1,80 m) como para que no estén a la altura de la vista de la persona sentada.

Un elemento infaltable en un comedor lo constituye la tradicional vitrina con su frente de vidrio y su contenido de cristalería. Dos pequeños spots embutidos en el techo del mueble y equipados con sendas lámparas minidicroicas de 20W c/u, otorgarán a los cristales un espectacular brillo.

Por supuesto que también en el comedor se impone la iluminación de efecto; seguramente habrá algún cuadro que destacar o algún cortinado para un washing.
Lo que el luminotécnico no deberá olvidar en ningún momento es que las personas allí reunidas lo estarán por períodos prolongados y viéndose los rostros todo el tiempo. Algunos detalles que tendrá que tener muy en cuenta son:

1) Nunca iluminar con fuentes concentradas (dicroicas, etc) en forma cenital a los comensales; este tipo de luz desfigura las facciones y acentúa las arrugas de la piel.
2) Si se va a iluminar alguna pared o el cielorraso hacerlo sólo si estos son blancos o de tonos pastel muy suaves; recordar que la superficie iluminada reflejará su propio color y si esta es verde, el cutis de las personas adoptará un tinte verdoso.
3) El diámetro del chandelier será proporcional al tamaño de la mesa y de la habitación. Como una regla práctica, considerar como diámetro máximo 0,30 m menos que el ancho de la mesa.
4) El aparador o pantry deberá coincidir con alguno de los sectores perimetrales iluminados, por ejemplo la pared que contiene los apliques, a los efectos de no proyectar la sombra del cuerpo al aproximarse.

LA COCINA

La cocina es fundamentalmente un área de trabajo destinada a la preparación de alimentos. No obstante en muchos casos, por no decir habitualmente, se la utiliza para otras actividades hogareñas: desayunos, comidas, manualidades, juegos, estudio, etc. De allí que guarde cierta analogía con el living en lo que hace a su poli funcionalidad; es decir que nuevamente habrá que pensar en planificar los 3 layers al proyectar su correcta iluminación.



ILUMINACIÓN GENERAL

Este layer podrá estar definido por **spots embutidos en el cielorraso o apliques de techo extrachatos** provistos de **lámparas incandescentes o fluorescentes compactas**. Es muy aconsejable que las luminarias estén cubiertas en su parte inferior por un **difusor de acrílico o vidrio esmerilado** para facilitar la limpieza y evitar que la grasitud típica del ambiente penetre en el compartimiento de las lámparas. Al igual que en el living, la iluminación deberá ser suave y uniforme con un nivel sólo lo suficiente para una cómoda circulación interna: **100 a 150 lux**.

ILUMINACIÓN DE TRABAJO

En la cocina, la iluminación de trabajo cobra especial importancia, ya que en algunos sectores se realizan tareas que requieren buenas condiciones visuales para evitar accidentes.

El más importante de estos sectores lo constituye la mesada. Sobre ella se lleva a cabo la preparación de los diversos ingredientes de las comidas siendo una de las principales tareas el corte a cuchillo. Este trabajo encierra cierto riesgo si no se dispone de buena luz. El nivel de iluminación recomendado para la **mesada** debe estimarse entre los **700 y 1000 lux**. Este nivel, si bien elevado, es fácilmente obtenible mediante **luminarias herméticas equipadas con tubos fluorescentes ubicadas debajo de las alacenas**. Como ya se ha dicho anteriormente, para esta función la reproducción cromática y la temperatura de color de las lámparas es fundamental. Se recomienda utilizar **tubos del tipo trifósforo con temperatura de color de 3000 K** (blanco cálido) en las potencias y tipos que resulten necesarias según las dimensiones de la mesada y el nivel de iluminación a obtener. (Ver El color de la luz)

Si la pileta estuviera separada de la mesada y fuera de la línea de las alacenas, esta requerirá de una iluminación propia que podrá estar dada por una lámpara tipo PAR 20 o 30 dependiendo de la altura de montaje.

Como regla general, y siendo la cocina un recinto donde los lugares de trabajo se encuentran ubicados contra las paredes, es fundamental que la iluminación sea del tipo localizada y nunca proveniente de espaldas a la persona, ya que de esa forma siempre estaría proyectando sombra sobre dichos lugares de trabajo. Otro sitio destinado a actividades múltiples lo constituye la **mesa de la cocina**. Considerando la versatilidad de sus funciones, será conveniente planificar que la iluminancia alcance los **500 lux** y disponga de dimmer, ya que este nivel será solo necesario en los casos de lectura o escritura.

La luminaria por excelencia para iluminar la mesa de la cocina es la **colgante con pantalla traslúcida** para evitar el efecto "caverna". Esta pantalla podrá ser de cristal satinado, esmerilado, opalina o de acrílico de buena calidad, y con la suficiente transparencia como para permitir que parte de la emisión luminosa bañe el cielorraso.

Las fuentes de luz podrán ser **lámparas incandescentes opalinas standard**, tipo "globo" de diámetro grande, **fluorescentes compactas** alojadas dentro de un globo satinado o

incandescente, **halógenas de baja tensión** tipo "bi-pin" también ocultas dentro de un pequeño globo satinado.

Las lámparas, cualquiera sea el tipo, no deberán deslumbrar a la persona sentada a la mesa, por lo que la luminaria estará suspendida a una altura tal que la pantalla cubra la visión directa de la fuente. (Generalmente 15º por encima de la línea de visión de la persona sentada).

Si la cocina posee un **breakfast con alacena**, este podrá ser iluminado con **spots embutidos** en la misma. Si no la tiene, 2 o 3 pequeños colgantes sobre su mesada serán una buena solución.

ILUMINACIÓN DE DESTAQUE

En la cocina, la iluminación de destaque se limitará a algún posible cuadro generalmente ubicado sobre la pared donde se encuentra la mesa. En ese caso, se podrá relacionar la luminaria colgante con un pequeño spot orientable por medio de un trozo de riel electrificado de no más de 1,0 m de longitud.

Cada una de las distintas dependencias de una residencia presenta características propias de su destino dentro de la vivienda y en consecuencia requiere de soluciones lumínicas acordes a su función.

EL DORMITORIO

Si bien el dormitorio es la dependencia de la casa destinada al sueño, también es cierto que en esta habitación sus ocupantes leen, ven televisión, se visten y maquillan y hasta escriben. Para un dormitorio se deberán proyectar dos de los layers de iluminación: una **iluminación general** y una **iluminación de trabajo o localizada**.



ILUMINACIÓN GENERAL

Será una iluminación **difusa** y en lo posible **indirecta** que suministre un nivel no superior a los **100 lux**. Eventualmente se podrá optar por un par de colgantes coincidentes con los bordes de la cama y equipados con **lámparas de tonos cálidos y luz blanda** controladas por dimmer. Lo importante en el dormitorio es lograr una atmósfera agradable que invite al descanso.

ILUMINACIÓN DE TRABAJO O LOCALIZADA

Por así llamarlo, este sistema deberá cumplir con la función de iluminación localizada en varios lugares de la habitación. Uno de los sistemas a prever será la iluminación de lectura. Las dos opciones tradicionales serán:

1) la **lámpara de mesa**, ubicada al costado de la cabecera y ligeramente por detrás de la cabeza del lector. Es conveniente que la luminaria sea del tipo de **luz direccional**, a los efectos de no molestar a la persona que se encuentra en el lado contiguo de la cama.
2) La segunda opción es la de los **apliques** ubicados sobre la pared de la cabecera a 1.80m del piso y enfocados directamente al punto de lectura. La lámpara idónea para esta alternativa será una dicroica de 12V/20W/36 o 38º de apertura de haz.

Otro lugar del la habitación a ser iluminado es el placard. Lo ideal será iluminarlo interiormente para que la luz no moleste a la otra persona. Esta iluminación podrá estar dada por un tubo fluorescente de 18W en una luminaria extra chata con acrílico envolvente. El encendido podrá ser local por medio de un interruptor ubicado junto a la luminaria (existen luminarias de este tipo con un pequeño interruptor incluido). Si en la habitación existe un espejo a modo de set de maquillaje, este deberá iluminarse desde los costados con un par de luminarias de luz muy difusa y buena reproducción cromática. Una eventual mesa de escritura estará muy bien iluminada si se prevé un spot embutido en el cielorraso o un aplique de pared dirigido directamente a ella.

Nuevamente la lámpara podrá ser una dicroica de haz concentrado. Por último, no habrá que olvidar la posibilidad de que exista un aparato de televisión. Es sumamente importante que cuando se vea televisión haya alguna suave luz de fondo, detrás o al costado del aparato, que equilibre un poco las luminancias entre la pantalla y el fondo del cuarto, caso contrario la vista se verá obligada a un gran trabajo de adaptación. (Ver 2.5 - El confort visual)

Como acotación al sistema de control, cabe destacar que el dormitorio, por las características propias de su función, justifica la inclusión de una pequeña central de dimming comandada por infrarrojo como un detalle de máximo confort. Esto permitiría controlar todos los sistemas de iluminación desde la posición de reposo.

EL BAÑO PRINCIPAL

El baño principal de una residencia cumple variadas funciones. No solamente es el lugar donde la gente de la casa se higieniza, sino que es también el sitio donde el hombre se afeita y la mujer se maquilla y también se depila. Esta variedad de tareas implica que se deberá pensar en más de un sistema de iluminación. Sin duda habrá que contar con una **iluminación general**, como en la mayoría de los casos uniforme y difusa.

Para esa función **100 lux** serán suficientes y podrán estar provistas por 1 o 2 plafonds o **spots herméticos con lámparas incandescentes**. A este respecto cabe acotar que en lugares donde las luces se encienden muchas veces al día como es el caso del baño, la lámpara fluorescente resulta antieconómica, ya que la vida útil de estas se acorta sustancialmente con cada encendido.

La **bañera** es un accesorio que no solamente se utiliza para ducharse sino también para el depilado en las mujeres o un poco de lectura para cualquiera. Estas dos últimas actividades requieren de una buena iluminación, al menos unos 300 lux. Como las luminarias encargadas de proveer esta iluminación deberán forzosamente estar ubicadas por encima de la bañera, deberán poseer una protección del tipo IP 24, la cual, según esta clasificación implica "hermeticidad contra la proyección de agua en todas las direcciones".

La lámpara para esta función podrá ser una incandescente halógena tipo PAR 30 de 30º de apertura de haz. Un párrafo aparte merece la **iluminación del espejo**. En realidad lo que se debe iluminar no es el espejo sino el rostro de quien se mira en el. Deberá evitarse la iluminación concentrada y cenital. Es muy frecuente encontrar en baños lámparas dicroicas ubicadas en el cielorraso sobre la cabeza de la persona. Esto es un error, ya que esa luz concentrada producirá sombras muy "duras" en los ojos, debajo del mentón y en general marcará en forma dramática cualquier prominencia del rostro. La correcta iluminación del rostro deberá realizarse desde los costados del espejo con una luminaria a cada lado del mismo y separadas entre sí al menos 0,70m para que ambos lados de la cara queden perfectamente iluminados.

La luz debe ser muy blanda y envolvente y la fuente poseer un poder de reproducción cromática óptimo. Las luminarias podrán ser apliques con opalinas, no obstante lo ideal es que sean fuentes con una extensión en altura de al menos unos 0,40m para que toda la cara y cuello queden perfectamente "bañados", especialmente en el afeitado masculino. Otras opciones son las "candilejas" compuestas de por ejemplo 3 lámparas tipo gota de 25W de cada lado o sendos listones con tubos fluorescentes de 18W del tipo trifósforo con difusor de acrílico u opalina. En esta aplicación sí se podrá pensar en utilizar tubos fluorescentes, ya que el maquillado o afeitado son actividades se realizan tan solo 1 ó 2 veces al día.

Si la única alternativa es iluminar desde la parte superior del espejo, la luz deberá provenir de una luminaria o fuente que tenga una longitud de al menos 0,60m para asegurar que ambos lados del rostro queden iluminados.



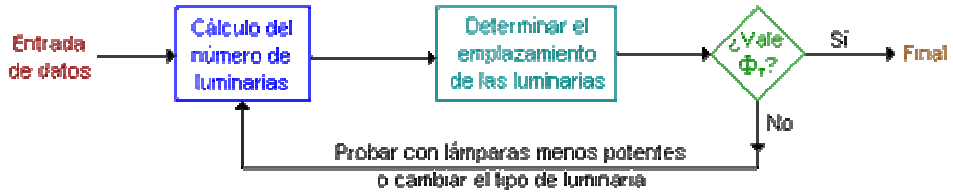
1.1.4 CÁLCULO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO

El cálculo de los niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores es bastante sencillo. A menudo nos bastará con obtener el valor medio del alumbrado general usando el método de los lúmenes. Para los casos en que requiramos una mayor precisión o necesitemos conocer los valores de las iluminancias en algunos puntos concretos como pasa en el alumbrado general localizado o el alumbrado localizado recurriremos al método del punto por punto.

MÉTODO DE LOS LÚMENES

La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos.

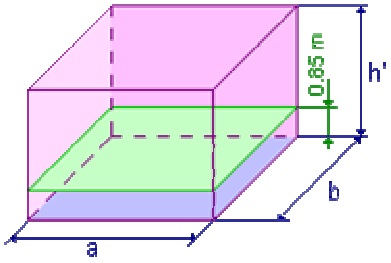
El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques:

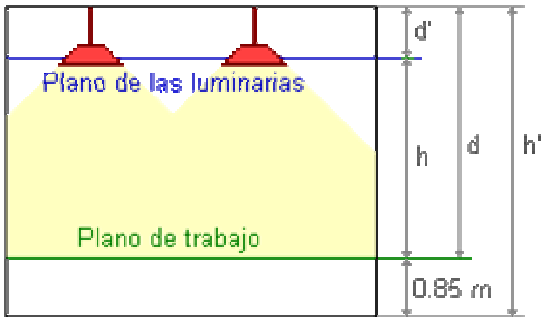


Datos de entrada

- ⇒ Dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0.85 m.
- ⇒ Determinar el nivel de iluminancia media (Em). Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrarlos tabulados en las normas y recomendaciones que aparecen en la bibliografía.
- ⇒ Escoger el tipo de lámpara (incandescente, fluorescente...) más adecuada de acuerdo con el tipo de actividad a realizar.
- ⇒ Escoger el sistema de alumbrado que mejor se adapte a nuestras necesidades y las luminarias correspondientes.

⇒ Determinar la **altura de suspensión** de las luminarias según el sistema de iluminación escogido.

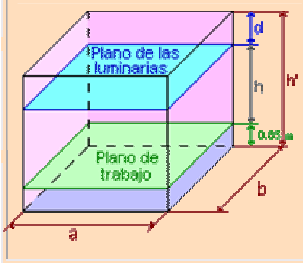




h: altura entre el plano de trabajo y las luminarias
h': altura del local
d: altura del plano de trabajo al techo
d': altura entre el plano de trabajo y las luminarias

	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} \cdot (h' - 0.85)$ Óptimo: $h = \frac{4}{5} \cdot (h' - 0.85)$
Locales con iluminación indirecta	$d' \approx \frac{1}{4} \cdot (h' - 0.85)$ $h \approx \frac{3}{4} \cdot (h' - 0.85)$

⇒ Calcular el **índice del local (k)** a partir de la geometría de este. En el caso del **método europeo** se calcula como:



Sistema de iluminación	Índice del local
Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

⇒ Donde **k** es un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula, no se consideran pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

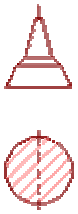
⇒ Determinar los **coeficientes de reflexión** de techo, paredes y suelo. Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Si no disponemos de ellos, podemos tomarlos de la siguiente tabla.

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

En su defecto podemos tomar 05 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo.

⇒ Determinar el **factor de utilización** (η,CU) a partir del índice del local y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En las tablas encontramos para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice

del local. Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario interpolar.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.59	.56	.52	.56	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Ejemplo de tabla del factor de utilización

- Determinar el **factor de mantenimiento (f_m) o conservación** de la instalación. Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores:

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Cálculos

- Cálculo del flujo luminoso total necesario. Para ello aplicaremos la fórmula

$$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m}$$

Donde:

⇒ Φ_T es el flujo luminoso total

⇒ E es la iluminancia media deseada

⇒ S es la superficie del plano de trabajo

⇒ η es el factor de utilización

⇒ f_m es el factor de mantenimiento

- Cálculo del número de luminarias.

$$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$ Redondeado por exceso

Donde:

⇒ N es el número de luminarias

⇒ Φ_T es el flujo luminoso total

⇒ Φ_L es el flujo luminoso de una lámpara

⇒ n es el número de lámparas por luminaria

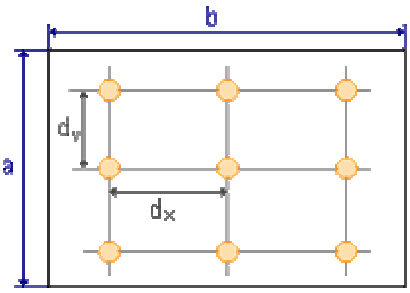
Emplazamiento de las luminarias

Una vez hemos calculado el número mínimo de lámparas y luminarias procederemos a distribuirlas sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:

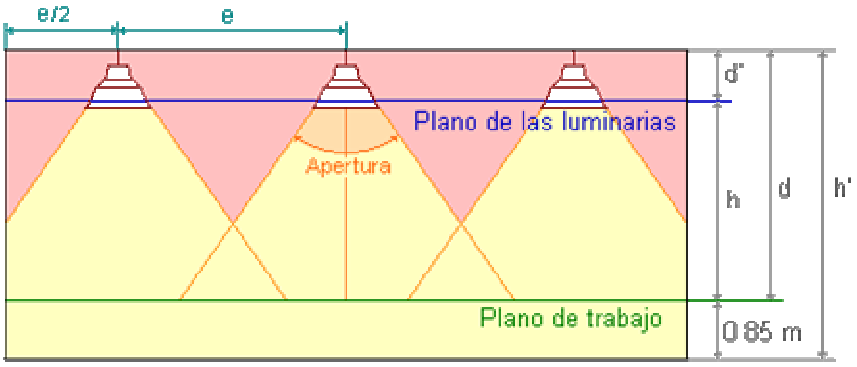
$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{Total}}{largo} \times ancho}$$

$$N_{largo} = N_{ancho} \times \left(\frac{largo}{ancho}\right)$$

donde N es el número de luminarias



La distancia máxima de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo. Veámoslo mejor con un dibujo:



Como puede verse fácilmente, mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria más superficie iluminará aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo tal y como dice la ley inversa de los cuadrados. De la misma manera, vemos que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia). Las conclusiones sobre la separación entre las luminarias las podemos resumir como sigue:

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	e ≤ 1.2 h
extensiva	6 - 10 m	e ≤ 1.5 h
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	≤4 m	e ≤ 1.6 h
distancia pared-luminaria: e/2		

Si después de calcular la posición de las luminarias nos encontramos que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida quiere decir que la distribución luminosa obtenida no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas escogida sea excesiva. En estos casos conviene rehacer los cálculos probando a usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

Comprobación de los resultados

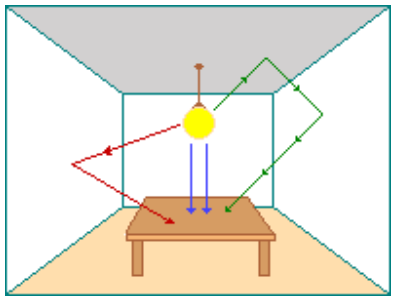
Por último, nos queda comprobar la validez de los resultados mirando si la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada es igual o superior a la recomendada en las tablas.

$$E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} \geq E_{tablas}$$

MÉTODO DEL PUNTO POR PUNTO

El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Pero, qué pasa si queremos conocer cómo es la distribución de la iluminación en instalaciones de alumbrado general localizado o individual donde la luz no se distribuye uniformemente o cómo es exactamente la distribución en el alumbrado general. En estos casos emplearemos el método del punto por punto que nos permite conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

Consideraremos que la iluminancia en un punto es la suma de la luz proveniente de dos fuentes: una componente **directa**, producida por la luz que llega al plano de trabajo directamente de las luminarias, y otra **indirecta o reflejada** procedente de la reflexión de la luz de las luminarias en el techo, paredes y demás superficies del local.

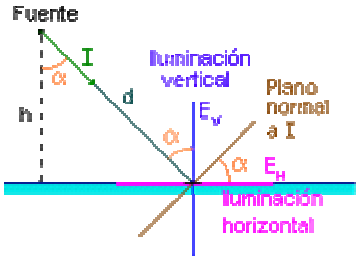


Luz directa

Luz indirecta proveniente del techo

Luz indirecta proveniente de las paredes

En el ejemplo anterior podemos ver que sólo unos pocos rayos de luz serán perpendiculares al plano de trabajo mientras que el resto serán oblicuos. Esto quiere decir que de la luz incidente sobre un punto, sólo una parte servirá para iluminar el plano de trabajo y el resto iluminará el plano vertical a la dirección incidente en dicho punto.



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

$$E_v = \frac{I \cdot \sin\alpha}{d^2} = E_H \cdot \tan\alpha$$

Componentes de la iluminancia en un punto

En general, para hacernos una idea de la distribución de la iluminancia nos bastará con conocer los valores de la iluminancia sobre el plano de trabajo; es decir, la iluminancia horizontal. Sólo nos interesará conocer la iluminancia vertical en casos en que se necesite tener un buen modelado de la forma de los objetos (deportes de competición, escaparates, estudios de televisión y cine, retransmisiones deportivas...) o iluminar objetos en posición vertical (obras de arte, cuadros, esculturas, pizarras, fachadas...)

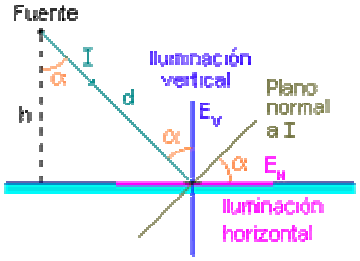
Para utilizar el método del punto por punto necesitamos conocer previamente las características fotométricas de las lámparas y luminarias empleadas, la disposición de las mismas sobre la planta del local y la altura de estas sobre el plano de trabajo. Una vez conocidos todos estos elementos podemos empezar a calcular las iluminancias. Mientras más puntos calculemos más información tendremos sobre la distribución de la luz. Esto es particularmente importante si trazamos los diagramas isolux de la instalación.

Como ya hemos mencionado, la iluminancia horizontal en un punto se calcula como la suma de la componente de la iluminación directa más la de la iluminación indirecta. Por lo tanto:

$$E = E_{directa} + E_{indirecta}$$

Componente directa en un punto

⇒ **Fuentes de luz puntuales**. Podemos considerar fuentes de luz puntuales las lámparas incandescentes y de descarga que no sean los tubos fluorescentes. En este caso las componentes de la iluminancia se calculan usando las fórmulas.



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

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

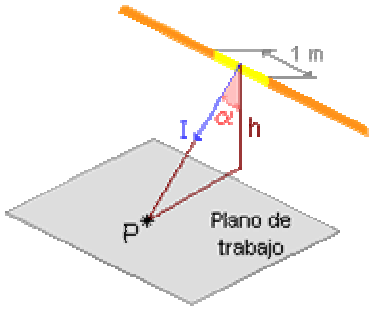
Donde I es la intensidad luminosa de la lámpara en la dirección del punto que puede obtenerse de los diagramas polares de la luminaria o de la matriz de intensidades y h la altura del plano de trabajo a la lámpara.

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

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

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

⇒ **Fuentes de luz lineales de longitud infinita**. Se considera que una fuente de luz lineal es infinita si su longitud es mucho mayor que la altura de montaje; por ejemplo una línea continua de fluorescentes. En este caso se puede demostrar por cálculo diferencial que la iluminancia en un punto para una fuente de luz difusa se puede expresar como:



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

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

En los extremos de la hilera de las luminarias el valor de la iluminancia será la mitad.

El valor de I se puede obtener del diagrama de intensidad luminosa de la luminaria referido a un metro de longitud de la fuente de luz. En el caso de un tubo fluorescente desnudo I puede calcularse a partir del flujo luminoso por metro, según la fórmula:

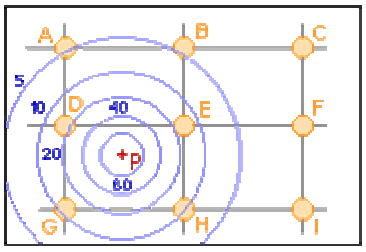
$$I = \frac{\Phi}{9.25}$$

Cálculo de las iluminancias horizontales empleando curvas isolux.

Este método gráfico permite obtener las iluminancias horizontales en cualquier punto del plano de trabajo de forma rápida y directa. Para ello necesitaremos:

1. Las curvas isolux de la luminaria suministradas por el fabricante (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias). Si no disponemos de ellas, podemos trazarlas a partir de la matriz de intensidades o de las curvas polares, aunque esta solución es poco recomendable si el número de puntos que nos interesa calcular es pequeño o no disponemos de un programa informático que lo haga por nosotros.
2. La planta del local con la disposición de las luminarias dibujada con la misma escala que la curva isolux.

El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta situamos el punto o los puntos en los que queremos calcular la iluminancia. A continuación colocamos el diagrama isolux sobre el plano, haciendo que el centro coincida con el punto, y se suman los valores relativos de las iluminancias debidos a cada una de las luminarias que hemos obtenido a partir de la intersección de las curvas isolux con las luminarias.



Luminaria	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total
Iluminancia (lux)	4	4	0	19	19	0	12	10	0	E_T= 68 lx

Finalmente, los valores reales de las iluminancias en cada punto se calculan a partir de los relativos obtenidos de las curvas aplicando la fórmula:

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

Componente indirecta o reflejada en un punto

Para calcular la componente indirecta se supone que la distribución luminosa de la luz reflejada es uniforme en todas las superficies del local incluido el plano de trabajo. De esta

manera, la componente indirecta de la iluminación de una fuente de luz para un punto cualquiera de las superficies que forman el local se calcula como:

$$E_{indirecta} = E_{ind_H} = E_{ind_V} = \frac{\Phi}{F_T} \cdot \frac{\rho_m}{1-\rho_m}$$

Donde:

- $\Rightarrow$ $F_T = \sum_n F_i$ es la suma del área de todas las superficies del local.
- $\Rightarrow$ ρ_m es la reflectancia media de las superficies del local calculada como

$$\rho_m = \frac{\sum_n \rho_i \cdot F_i}{\sum_n F_i}$$ Siendo ρ_i la reflectancia de la superficie F_i

- $\Rightarrow$ y Φ es el flujo de la lámpara.

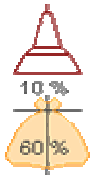
1.1.5 ILUMINACIÓN DE INTERIORES EJERCICIOS

Problema resuelto

1. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una nave industrial de 100 m de largo por 30 m de ancho y 6 m de altura. Para ello utilizaremos lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W de potencia con un flujo luminoso de 50000 lm. Respecto a las luminarias, nos planteamos escoger entre los tipos 1, 2 y 3 cuyas tablas del factor de utilización, suministradas por el fabricante, se adjuntan a continuación.

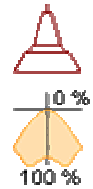
Luminarias disponibles (todas son de tipo industrial suspendido):

Luminaria 1

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37
	1.0	.53	.49	.48	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56
$D_{max} = 1.0\ H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58
f_m .70 .75 .60	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59

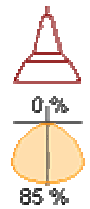
H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 2

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89
$D_{max} = 0.7\ H_m$	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92
f_m .70 .75 .80	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.97	.97	.96	.94

H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 3

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.32	.29	.28
	0.8	.47	.42	.38	.46	.42	.38	.46	.41	.38	.41	.38	.37
	1.0	.54	.48	.45	.54	.48	.45	.53	.48	.45	.48	.45	.43
	1.25	.60	.56	.52	.60	.55	.52	.60	.55	.52	.54	.52	.50
	1.5	.66	.61	.57	.65	.60	.57	.64	.60	.57	.59	.56	.55
	2.0	.72	.67	.64	.71	.67	.64	.70	.66	.63	.66	.63	.62
	2.5	.76	.71	.68	.75	.71	.68	.73	.71	.68	.70	.67	.65
	3.0	.79	.75	.72	.78	.75	.71	.77	.73	.71	.72	.71	.69
$D_{máx} = 1.1\ H_m$	4.0	.82	.79	.77	.81	.79	.76	.80	.77	.75	.76	.75	.73
f_m .55 .60 .65	5.0	.84	.82	.79	.83	.81	.78	.82	.79	.77	.78	.77	.75

H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Solución

Este es un ejemplo de problema resuelto con el método de los lúmenes. Tenemos una gran nave que queremos iluminar con una iluminación homogénea de 680 lx.

Datos de entrada:

Dimensiones del local:

- ⇒ largo: 100 m
- ⇒ ancho: 30 m
- ⇒ altura total: 6 m
- ⇒ altura del plano de trabajo: 0 (nos piden la iluminancia a nivel del suelo)

Nivel de iluminancia media. Nos piden 680 lx pero teniendo en cuenta que sólo se trabaja de día y la iluminancia de la luz solar es de 75 lux, la iluminancia proporcionada por la iluminación será:

$E_m = 680 - 75 = 605$ lx

Lámparas. Usaremos lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W y 50000 lm de flujo.

Altura de suspensión de las luminarias: 5.5 m

Índice del local. Dado el tipo de luminarias propuestas (de iluminación directa), nos encontramos con un caso de iluminación directa. Por lo tanto:

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a+b)} = \frac{100 \cdot 30}{5.5 \cdot (100+30)} = 4.2$$

Coeficientes de reflexión. Los coeficientes del techo y las paredes se suministran en el enunciado. Como no nos dicen nada del suelo tomaremos la hipótesis más pesimista vista en las tablas.

	Techo	Paredes	Suelo
Coeficiente de reflexión	0	0	0.1

Determinación del coeficiente de utilización (η). A partir de los factores de reflexión y el índice del local se leen en las tablas los factores de utipzación. En este caso particular deberíamos interpolar ya que no disponemos de valores para k = 4.2; pero como la diferencia entre el coeficiente para 4 y 5 es muy pequeña podemos aproximar con los valores de 4.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Coeficiente de utilización (η)	0.58	0.92	0.73

Factor de mantenimiento. En este caso los valores vienen incluidos en las tablas de las luminarias. Como no nos dicen nada sobre la suciedad ambiental tomaremos los valores medios.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Factor de Mantenimiento (f_m)	0.75	0.75	0.60

Cálculos:

Cálculo del flujo luminoso total.

Luminaria 1	$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} = \frac{605 \cdot 100 \cdot 30}{0.58 \cdot 0.75} = 4172414 \text{ lm}$
Luminaria 2	$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} = \frac{605 \cdot 100 \cdot 30}{0.92 \cdot 0.75} = 2630435 \text{ lm}$
Luminaria 3	$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} = \frac{605 \cdot 100 \cdot 30}{0.73 \cdot 0.60} = 4143835 \text{ lm}$

Por último se calcula el número mínimo de luminarias necesarias. Este es un valor de referencia pues es normal que al emplazar las luminarias y hacer las comprobaciones posteriores necesitemos un número mayor de ellas.

Luminaria 1	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{4172414}{1 \cdot 5 \cdot 10^4} = 83.4 \approx 84$
Luminaria 2	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{2630435}{1 \cdot 5 \cdot 10^4} = 52.6 \approx 53$
Luminaria 3	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = \frac{4143835}{1 \cdot 5 \cdot 10^4} = 82.9 \approx 83$

Emplazamiento de las luminarias:

Finalmente sólo nos queda distribuir las luminarias sobre la planta del local y comprobar que la distancia de separación entre ellas es inferior a la máxima admisible. En este caso la separación máxima viene indicada en las tablas de las luminarias.

	Luminaria 1	**Luminaria 2**	**Luminaria 3**
Ancho			
N luminarias	5	4	5
Separación (m)	30/5 = 6	30/4 = 7.5	30/5 = 6
Separación de las paredes (m)	6/2 = 3	7.5/2 = 3.75	6/2 = 3
Largo			
N luminarias	17	14	17
Separación (m)	100/17 = 5.88	100/14 = 7.14	100/17 = 5.88
Separación de las paredes (m)	5.88/2 = 2.94	7.14/2 = 3.57	5.88/2 = 2.94
Separación máxima entre luminarias (m)	$1.1 \cdot h_m$ = 6.05	$0.7 \cdot h_m$ = 3.85	$1.1 \cdot h_m$ = 6.05
Cumple los criterios	SI	NO	SI
Número total de luminarias	5·17 = 85	4·14 = 56	5·17 = 85

De todas las luminarias propuestas, la LUMINARIA 2 es la única que no cumple los criterios ya que la separación obtenida es superior a la máxima permitida. Esto quiere decir que si queremos utilizar esta luminaria tendremos que poner más unidades y reducir la separación entre ellas. Podemos calcular el nuevo número necesario tomando como distancia de separación la distancia máxima (3.85 m) y usando las fórmulas usadas para

distribuirlas. Si hacemos las operaciones necesarias podremos ver que ahora se necesitan 208 luminarias.

En este caso es indiferente utilizar la LUMINARIA 1 o la 3, pero en general nos quedaríamos con la solución que necesitara menos luminarias. Si los consumos de las lámparas de las luminarias fueran diferentes unos de otros, tendríamos que tenerlos en cuenta para optar por la solución más barata, que sería la que necesitara menos potencia total.

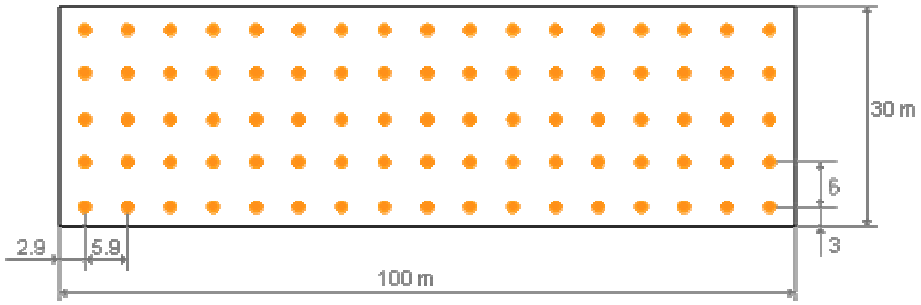
Comprobación de los resultados para la LUMINARIA 3:

$$E = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} = \frac{85 \cdot 50000 \cdot 0.73 \cdot 85}{30 \cdot 100} = 620.5 \text{ lx}$$

A nivel de suelo, la iluminancia total será: NI = 620.5 + 75 = 695.5 lx

Y la potencia consumida $P = 85 \cdot 400 = 34$ kW

Distribución final de las luminarias:



Problemas propuestos

1. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una oficina con las siguientes dimensiones: 30 m de largo por 12 m de ancho y 3.5 m de alto. La altura del plano de trabajo es de 0.76 m sobre el suelo. Para ello se utilizarán lámparas del tipo fluorescentes de 40 W y un flujo de 2520 lm. Nos planteamos escoger entre los siguientes tipos de luminarias: 4, 5 y 6; cuyas tablas nos ha suministrado el fabricante.

Otros datos:

- ⇒ A nivel del plano de trabajo, existe un nivel mínimo de iluminación natural de 0 lux.
- ⇒ El nivel de iluminación recomendado para las actividades que se desarrollarán en el local es de 500 lux en el plano de trabajo.
- ⇒ El factor de mantenimiento para las luminarias se considera 0.1.
- ⇒ El techo tiene un coeficiente de reflexión 0.5 y el de las paredes es de 0.1. El coeficiente de reflexión del suelo es de 0.1.
- ⇒ Por las características del local, de las luminarias y de las actividades que en él se desarrollan, la altura sobre el suelo de la instalación de alumbrado, debe ser de 3.5.

Determinar la solución más apropiada.

2. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una oficina con las siguientes dimensiones: 12 m de largo por 4 m de ancho y 3 m de alto. La altura del plano de trabajo es de 0.95 m sobre el suelo. Para ello se utilizarán lámparas del tipo fluorescentes de 60 W y un flujo de 4600 lm. Nos planteamos escoger entre los siguientes tipos de luminarias: 7 y 8; cuyas tablas nos ha suministrado el fabricante.

Otros datos:

- ⇒ A nivel del plano de trabajo, existe un nivel mínimo de iluminación natural de 0 lux.
- ⇒ El nivel de iluminación recomendado para las actividades que se desarrollarán en el local es de 150 lux en el plano de trabajo.
- ⇒ El factor de mantenimiento para las luminarias se considera 0.5.
- ⇒ El techo tiene un coeficiente de reflexión 0.5 y el de las paredes es de 0.3. El coeficiente de reflexión del suelo es de 0.1.
- ⇒ Por las características del local, de las luminarias y de las actividades que en él se desarrollan, la altura sobre el suelo de la instalación de alumbrado, debe ser de 2.5.

Determinar la solución más apropiada.

3. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una oficina con las siguientes dimensiones: 6 m de largo por 4 m de ancho y 3.5 m de alto. La altura del plano de trabajo es de 0.76 m sobre el suelo. Para ello se utilizarán lámparas del tipo fluorescentes de 40 W y un flujo de 2500 lm. Nos planteamos escoger entre los siguientes tipos de luminarias: 9, 10 y 11; cuyas tablas nos ha suministrado el fabricante

Otros datos:

- ⇒ A nivel del plano de trabajo, existe un nivel mínimo de iluminación natural de 0 lux.
- ⇒ El nivel de iluminación recomendado para las actividades que se desarrollarán en el local es de 100 lux en el plano de trabajo.
- ⇒ El factor de mantenimiento para las luminarias se considera 0.3.
- ⇒ El techo tiene un coeficiente de reflexión 0.5 y el de las paredes es de 0.5. El coeficiente de reflexión del suelo es de 0.1.

⇒ Por las características del local, de las luminarias y de las actividades que en él se desarrollan, la altura sobre el suelo de la instalación de alumbrado, debe ser de 2.5.

Determinar la solución más apropiada.

4. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una oficina con las siguientes dimensiones: 12 m de largo por 6 m de ancho y 3.75 m de alto. La altura del plano de trabajo es de 0.75 m sobre el suelo. Para ello se utilizarán lámparas del tipo fluorescentes de 110 W y un flujo de 9000 lm. Nos planteamos escoger entre los siguientes tipos de luminarias: 12; cuyas tablas nos ha suministrado el fabricante.

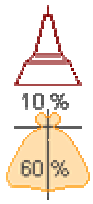
Otros datos:

⇒ A nivel del plano de trabajo, existe un nivel mínimo de iluminación natural de 0 lux.
⇒ El nivel de iluminación recomendado para las actividades que se desarrollarán en el local es de 750 lux en el plano de trabajo.
⇒ El factor de mantenimiento para las luminarias se considera 0.3.
⇒ El techo tiene un coeficiente de reflexión 0.8 y el de las paredes es de 0.5. El coeficiente de reflexión del suelo es de 0.1.
⇒ Por las características del local, de las luminarias y de las actividades que en él se desarrollan, la altura sobre el suelo de la instalación de alumbrado, debe ser de 3.15.

Determinar la solución más apropiada.

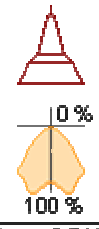
Tablas de las luminarias:

Luminaria 1 (Industrial suspendida)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56
$D_{max} = 1.0\ H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58
t_m .70 .75 .80	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59

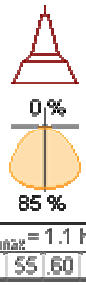
H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 2 (Industrial suspendida)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89
$D_{max} = 0.7\ H_m$	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92
t_m .70 .75 .80	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.97	.97	.96	.94

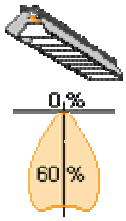
H_m altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 3 (Industrial suspendida)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.32	.29	.28
	0.8	.47	.42	.38	.46	.42	.38	.46	.41	.38	.41	.38	.37
	1.0	.54	.48	.45	.54	.48	.45	.53	.48	.45	.48	.45	.43
	1.25	.60	.56	.52	.60	.55	.52	.60	.55	.52	.54	.52	.50
	1.5	.66	.61	.57	.65	.60	.57	.64	.60	.57	.59	.56	.55
	2.0	.72	.67	.64	.71	.67	.64	.70	.66	.63	.66	.63	.62
	2.5	.76	.71	.68	.75	.71	.68	.73	.71	.68	.70	.67	.65
	3.0	.79	.75	.72	.78	.75	.71	.77	.73	.71	.72	.71	.69
$D_{max} = 1.1\ H_m$	4.0	.82	.79	.77	.81	.79	.76	.80	.77	.75	.76	.75	.73
l_m 55 .60 65	5.0	.84	.82	.79	.83	.81	.78	.82	.79	.77	.78	.77	.75

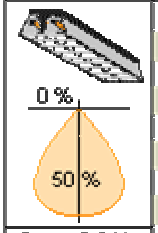
H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 4 (Fluorescente directo con rejilla)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.30	.26	.25	.29	.26	.23	.29	.26	.23	.25	.23	.22
	0.8	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.35	.31	.29	.31	.29	.27
	1.0	.43	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.39	.37	.36
	1.25	.47	.44	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41	.40
	1.5	.50	.47	.44	.50	.47	.44	.49	.46	.44	.46	.44	.43
	2.0	.53	.50	.49	.53	.50	.48	.51	.50	.48	.49	.47	.46
	2.5	.55	.53	.51	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.51	.50	.49
	3.0	.57	.54	.53	.56	.54	.52	.55	.53	.51	.52	.51	.50
$D_{max} = 0.8\ H_m$	4.0	.59	.57	.55	.58	.56	.55	.56	.55	.54	.54	.53	.52
l_m 65 .70 .75	5.0	.60	.58	.57	.59	.57	.56	.57	.56	.56	.56	.54	.53

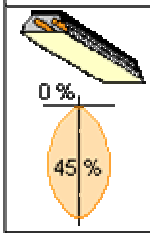
H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 5 (Fluorescente directo con rejilla)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.27	.24	.21	.27	.23	.21	.27	.23	.21	.23	.21	.20
	0.8	.33	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.28	.26	.28	.26	.25
	1.0	.36	.33	.30	.36	.33	.30	.35	.32	.30	.32	.30	.29
	1.25	.40	.36	.34	.39	.36	.34	.38	.36	.34	.36	.34	.33
	1.5	.42	.39	.37	.42	.39	.37	.41	.38	.36	.38	.36	.35
	2.0	.45	.42	.40	.44	.42	.40	.44	.42	.40	.41	.40	.39
	2.5	.47	.44	.43	.46	.44	.42	.45	.44	.42	.43	.42	.41
	3.0	.48	.46	.44	.47	.46	.44	.47	.45	.44	.44	.43	.42
$D_{máx} = 0.8\ H_m$	4.0	.50	.48	.46	.49	.48	.46	.48	.47	.46	.46	.45	.44
t_m 65 .70 .75	5.0	.50	.49	.48	.50	.49	.48	.49	.48	.47	.47	.46	.45

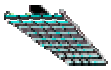
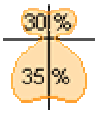
H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 6 (Fluorescente directo con rejilla)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.24	.21	.19	.24	.21	.19	.23	.21	.19	.20	.19	.18
	0.8	.29	.26	.24	.29	.26	.24	.28	.26	.24	.26	.24	.23
	1.0	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.32	.29	.27	.29	.27	.26
	1.25	.36	.32	.31	.35	.32	.31	.34	.32	.30	.32	.30	.29
	1.5	.38	.35	.33	.38	.35	.33	.37	.34	.32	.34	.32	.32
	2.0	.41	.38	.37	.40	.38	.36	.39	.38	.36	.37	.36	.35
	2.5	.43	.40	.38	.42	.40	.38	.41	.39	.38	.39	.38	.37
	3.0	.44	.42	.40	.43	.42	.40	.42	.41	.39	.40	.39	.38
$D_{máx} = 0.6\ H_m$	4.0	.45	.44	.42	.45	.43	.42	.44	.43	.42	.42	.41	.40
t_m 65 .70 .75	5.0	.47	.45	.44	.46	.45	.44	.45	.44	.43	.43	.42	.41

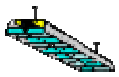
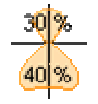
H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 7 (Suspendida general difusa y directa-indirecta)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
 	0.6	.20	.16	.13	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.15	.13	.12
	0.8	.25	.22	.18	.25	.20	.18	.23	.19	.17	.19	.17	.16
	1.0	.37	.27	.24	.30	.26	.23	.28	.24	.22	.22	.21	.18
	1.25	.35	.31	.28	.34	.30	.28	.30	.28	.26	.26	.24	.21
	1.5	.37	.33	.30	.36	.32	.29	.32	.30	.27	.27	.25	.23
	2.0	.42	.38	.35	.40	.37	.34	.37	.33	.31	.31	.29	.25
	2.5	.44	.41	.39	.42	.40	.37	.39	.36	.34	.33	.32	.27
	3.0	.47	.44	.41	.45	.42	.40	.40	.38	.36	.34	.33	.28
$D_{max} = 1.1\ H_m$	4.0	.50	.47	.45	.47	.45	.43	.42	.40	.39	.36	.35	.29
t_m .65 .70 .75	5.0	.51	.49	.47	.49	.47	.46	.43	.42	.40	.39	.36	.30

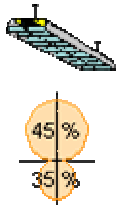
H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 8 (Suspendida general difusa y directa-indirecta)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
 	0.6	.22	.18	.16	.21	.18	.16	.20	.17	.15	.16	.15	.13
	0.8	.29	.24	.21	.27	.24	.21	.25	.23	.20	.22	.19	.18
	1.0	.33	.29	.26	.33	.29	.25	.31	.27	.24	.26	.23	.21
	1.25	.39	.34	.31	.37	.33	.31	.35	.31	.29	.29	.28	.24
	1.5	.43	.38	.35	.41	.36	.34	.38	.34	.32	.32	.30	.26
	2.0	.48	.44	.40	.46	.42	.39	.41	.39	.35	.34	.33	.28
	2.5	.51	.47	.44	.49	.45	.43	.44	.40	.39	.37	.35	.30
	3.0	.53	.50	.48	.51	.47	.45	.46	.44	.41	.40	.38	.32
$D_{max} = 1.0\ H_m$	4.0	.57	.53	.51	.53	.51	.49	.48	.46	.45	.41	.40	.34
t_m .65 .70 .75	5.0	.59	.56	.54	.55	.53	.51	.49	.47	.46	.42	.41	.35

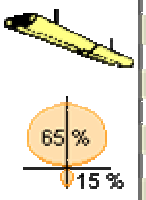
H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 9 (Suspendida general difusa y directa-indirecta)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.24	.19	.16	.23	.19	.16	.22	.18	.15	.17	.14	.13
	0.8	.31	.26	.22	.30	.25	.21	.27	.24	.20	.22	.19	.17
	1.0	.37	.30	.27	.34	.29	.26	.32	.27	.24	.25	.23	.19
	1.25	.42	.36	.32	.40	.35	.32	.36	.32	.29	.29	.26	.22
	1.5	.46	.40	.35	.44	.39	.34	.38	.35	.31	.31	.28	.23
	2.0	.53	.46	.42	.49	.44	.40	.43	.39	.36	.34	.33	.26
	2.5	.57	.51	.47	.52	.48	.45	.47	.43	.40	.37	.34	.28
	3.0	.60	.55	.50	.56	.51	.48	.49	.45	.43	.39	.37	.29
$D_{max} = 1.2\ H_m$	4.0	.63	.59	.55	.59	.56	.53	.51	.49	.45	.41	.40	.30
I_m 65 70 75	5.0	.66	.63	.60	.62	.58	.57	.53	.51	.49	.43	.42	.32

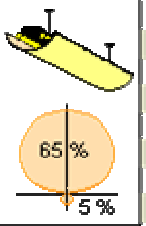
H_m: altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 10 (Semi-indirecta)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.16	.11	.07	.15	.10	.06	.12	.08	.06	.07	.06	.03
	0.8	.21	.15	.12	.19	.15	.12	.16	.12	.08	.09	.07	.04
	1.0	.26	.20	.16	.23	.19	.15	.19	.15	.12	.12	.10	.05
	1.25	.32	.25	.20	.28	.23	.19	.23	.18	.15	.14	.12	.06
	1.5	.36	.30	.24	.33	.26	.22	.25	.21	.18	.16	.13	.07
	2.0	.42	.36	.31	.38	.33	.27	.29	.25	.22	.18	.16	.08
	2.5	.46	.40	.36	.41	.36	.33	.32	.29	.25	.20	.19	.09
	3.0	.50	.44	.40	.44	.40	.36	.34	.31	.28	.22	.20	.09
$D_{max} = 1.2\ H_c$	4.0	.54	.50	.45	.48	.44	.41	.37	.34	.32	.25	.22	.10
I_m 50 60 70	5.0	.57	.53	.50	.51	.48	.44	.39	.36	.34	.25	.25	.10

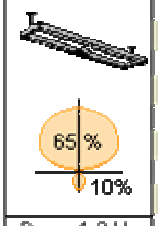
H_c: altura techo-plano de trabajo

Luminaria 11 (Suspendida indirecta)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.11	.07	.04	.10	.07	.04	.08	.06	.03	.05	.03	.01
	0.8	.14	.10	.07	.13	.09	.07	.10	.07	.06	.06	.04	.02
	1.0	.19	.14	.10	.17	.13	.09	.13	.10	.07	.08	.05	.03
	1.25	.23	.18	.15	.21	.16	.14	.15	.13	.10	.09	.07	.04
	1.5	.26	.20	.17	.24	.19	.16	.18	.14	.12	.10	.08	.05
	2.0	.31	.26	.23	.28	.24	.20	.20	.18	.16	.12	.11	.06
	2.5	.35	.30	.26	.31	.26	.24	.24	.20	.18	.13	.12	.08
	3.0	.37	.34	.29	.33	.30	.26	.25	.21	.20	.14	.13	.09
$D_{max} = 1.2\ H_c$	4.0	.39	.37	.34	.36	.33	.30	.27	.25	.23	.16	.16	.10
I_{m} 50 60 70	5.0	.44	.40	.37	.37	.35	.33	.28	.26	.25	.17	.17	.10

H_c: altura techo-plano de trabajo

Luminaria 12 (Semi-indirecta)

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
		Factor de reflexión del techo											
		0.8			0.7			0.5			0.3		0
		Factor de reflexión de las paredes											
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.16	.11	.08	.15	.10	.07	.13	.09	.06	.08	.06	.03
	0.8	.22	.16	.12	.20	.15	.11	.17	.13	.10	.10	.08	.04
	1.0	.27	.21	.17	.25	.19	.15	.20	.16	.13	.12	.10	.05
	1.25	.32	.26	.21	.29	.24	.19	.23	.19	.16	.15	.12	.06
	1.5	.37	.30	.26	.33	.28	.23	.26	.22	.19	.16	.14	.07
	2.0	.43	.37	.32	.39	.34	.29	.30	.26	.23	.19	.16	.08
	2.5	.48	.42	.36	.43	.38	.34	.33	.29	.26	.21	.19	.09
	3.0	.51	.46	.39	.46	.41	.38	.35	.32	.29	.22	.21	.09
$D_{max} = 1.2\ H_c$	4.0	.56	.51	.43	.49	.46	.43	.38	.35	.33	.25	.24	.10
I_{m} 50 60 70	5.0	.58	.55	.51	.52	.49	.46	.39	.37	.35	.26	.25	.10

H_c: altura techo-plano de trabajo

1.2 ILUMINACIÓN DE EXTERIORES

El alumbrado de exteriores abarca un amplio campo de actuaciones encaminadas a resolver los problemas que se presentan cuando se intenta dar, la adecuada iluminación, al espacio situado en el exterior de las edificaciones. El alumbrado exterior es, sin dudas, una de las aplicaciones más habituales e importantes de la iluminación. La posibilidad de realizar actividades más allá de los límites naturales ha abierto un abanico infinito de posibilidades desde iluminar calles y vías de comunicación hasta aplicaciones artísticas, de recreo, industriales, etcétera.

1.2.1 ALUMBRADO DE VÍAS PUBLICAS. Conceptos teóricos, soluciones prácticas y recomendaciones necesarias para alumbrar calles, plazas, etcétera.

1.2.2 CÁLCULO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS. Los métodos de cálculo para vías públicas con ejemplos y casos prácticos.

1.2.3 EJERCICIOS DE ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS. Ejercicios sobre el tema.

1.2.4 ALUMBRADO DE ÁREAS RESIDENCIALES Y PEATONALES. La creación de ambientes urbanos que hagan nuestra vida nocturna más agradable, es una de las grandes aplicaciones del alumbrado.

1.2.5 ALUMBRADO DE TÚNELES. Introducción al alumbrado de túneles, su problemática, orientación sobre soluciones.

1.2.6 ALUMBRADO CON PROYECTORES. Conceptos y cálculo. La iluminación por inundación se basa en el empleo de proyectores; aparatos capaces de emitir la luz en forma de haz en una dirección determinada.

1.2.7 ALUMBRADO CON PROYECTORES. Aplicaciones. Son muchas las posibilidades de la iluminación por inundación que van desde espacios urbanos hasta zonas de deporte y recreo.

1.2.1 ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS

La iluminación de las calles tiene el propósito de permitir a los usuarios de las mismas, disponer de la visibilidad necesaria para un desenvolvimiento fácil y seguro de la circulación. El alumbrado urbano es el alumbrado que se orienta hacia la iluminación de los espacios públicos descubiertos situados en el exterior de las edificaciones.

Las funciones del alumbrado exterior son las siguientes:

- ⇒ Seguridad vial de las personas (en la que se tiene en cuenta los niveles de iluminancia, luminancia, uniformidades, deslumbramiento, etc.)
- ⇒ Protección de personas y propiedades.
- ⇒ Orientación (facilitando la localización y situación dentro de los escenarios iluminados)
- ⇒ Promoción (imagen corporativa, empresarial, identidad arquitectónica y urbana)
- ⇒ Ambiente (estética del ambiente)
- ⇒ Diversión (actuaciones, espectáculos)

OBJETIVOS.
El alumbrado de exteriores esta concebido para iluminar.

- ⇒ Autopistas, autovías, carreteras, vías urbanas etc. (alumbrado vial).
- ⇒ Fachadas de edificios significativos, grupos escultóricos, puentes, obeliscos, plazas, jardines, parques, etc. (alumbrado ambiental).
- ⇒ Instalaciones deportivas (alumbrado deportivo).

⇒ Aeropuertos, puertos, terminales, estaciones, almacenes exteriores, aparcamientos etc. (alumbrado de seguridad).

El alumbrado de exteriores se encamina no solamente a resolver aspectos funcionales de la iluminación, sino también aspectos; estéticos, artísticos, etc., haciendo hincapié en la prevención del impacto ambiental, en la preservación de la calidad de vida, de la calidad del cielo nocturno y el ahorro energético.

También hay que señalar la creciente importancia que está adquiriendo en nuestras ciudades los desplazamientos peatonales frente al tráfico rodado, con la paulatina limitación e incluso supresión de este tráfico en determinadas áreas urbanas, situación que demanda un nuevo enfoque del alumbrado público.

Las ciudades se humanizan y se hacen más respetuosas con la naturaleza y el alumbrado público debe adaptarse a esas nuevas exigencias, propias de un nuevo modo de enfocar el urbanismo (urbanismo sostenible).

El alumbrado público, en el sentido de lo expuesto, está abocado a adquirir una mayor relevancia asociada a la demanda de mejores reproducciones del color, con lámparas que produzcan mayores flujos y ofrezcan mejores rendimientos.

Alumbrado de calles.

Cualquier instalación para alumbrado de calles debe garantizar una visibilidad adecuada durante las horas que se inicia el día y la noche misma, con el objeto de que se desarrolle el tráfico motorizado y la seguridad de peatones. Las curvas de la figura anterior, muestran la correlación existente entre los gastos de energía y mantenimiento por cada metro lineal de calle iluminada, para varios tipos de lámparas y cuatro grupos de calles:

Con tráfico grande.

Con tráfico medio.

Con tráfico escaso,

Con tráfico ligero,

Los usuarios de la calle deben estar en posibilidad de detectar todos los detalles del ambiente, como son: señalización, situaciones de peligro, obstáculos, etcétera. Para los propósitos del proyecto de las instalaciones eléctricas para alumbrado en calles, es conveniente tomar en consideración los siguientes elementos:

CLASE DE LA CALLE. Su ancho y tipo de pavimento. Basándose en estos elementos, se puede definir el nivel de iluminación.

LUMINARIAS Y FUENTES LUMINOSAS. Estos elementos condicionan la distribución del flujo luminoso sobre el plano de la calle y los costos de operación.

GEOMETRÍA DE LA INSTALACIÓN. Consiste en definir la disposición de los centros luminosos la altura de los postes que soportan a las luminarias y la separación entre ellos así como la inclinación del brazo respecto a la calle.

TIPO DE ALIMENTACIÓN PREVISTA. Se debe tomar en consideración el tipo de alimentación prevista para las luminarias, es decir, si es monofásica o trifásica, si es aérea o en cable, el voltaje de alimentación y el punto de alimentación.

POSIBILIDAD DE INSTALACIÓN. Las instalaciones para alumbrado normalmente forman parte de otras instalaciones como son las propias redes de distribución, la red telefónica, etcétera, por lo que es necesario obtener el permiso para la instalación, los trámites de terreno, las disposiciones normativas, etcétera.

REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO DE CALLES O ALUMBRADO PÚBLICO.

El punto de partida para un proyecto de iluminación en calles son los elementos a considerar y, además, ciertos requisitos que debe satisfacer la instalación, como son:

- ⇒ Evitar el fenómeno de deslumbramiento.
- ⇒ Ofrecer un grado aceptable de uniformidad en la iluminación.
- ⇒ Facilitar el mantenimiento.

⇒ Satisfacer las condiciones de estética.

⇒ Dar un grado satisfactorio de confiabilidad.

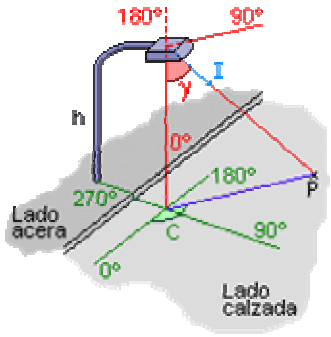
Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de vías públicas existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento confort visual, etcétera). Afortunadamente, hoy día estos cálculos están muy mecanizados y no 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 del cálculo. Así tras estudiar algunos conceptos previos de iluminación, veremos soluciones prácticas de alumbrado viario y los niveles de iluminación recomendados.

Iluminancia

La iluminancia indica la cantidad de luz que llega a una superficie y se define como el **flujo luminoso** recibido por unidad de superficie:

$$E = \frac{d\Phi}{ds}$$

Si la expresamos en función de la **intensidad luminosa** nos queda como:



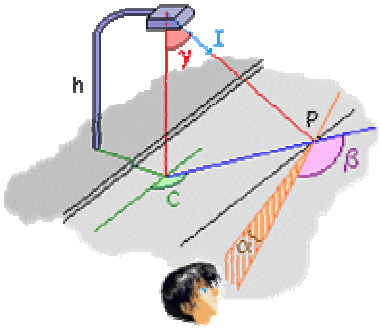
$$E_H = \frac{I(C,\gamma)}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma$$

Donde I es la intensidad recibida por el punto P en la dirección definida por el par de ángulos (C,γ) y h la altura del foco luminoso. Si el punto está iluminado por más de una lámpara, la iluminancia total recibida es entonces:

$$E_H = \sum_{i=1}^{n} \frac{I(C_i, \gamma_i)}{h_i^2} \cdot \cos^3 \gamma_i$$

Luminancia

La luminancia, por contra, es una medida de la luz que llega a los ojos procedente de los objetos y es la responsable de excitar la retina provocando la visión. Esta luz proviene de la reflexión que sufre la iluminancia cuando incide sobre los cuerpos. Se puede definir, pues, como la porción de intensidad luminosa por unidad de superficie que es reflejada por la calzada en dirección al ojo.



$$L = q(\beta, \gamma) \cdot E_H$$

Donde q es el coeficiente de luminancia en el punto P que depende básicamente del ángulo de incidencia γ y del ángulo entre el plano de incidencia y el de observación β. El efecto del ángulo de observación α es despreciable para la mayoría de conductores (automovilistas con campo visual entre 60 y 160 m por delante y una altura de 1,5 m sobre el suelo) y no se tiene en cuenta. Así pues, nos queda:

$$L = \frac{I(C, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} \cdot q(\beta, \gamma)$$

Por comodidad de cálculo, se define el término:

$$r(\beta, \gamma) = q(\beta, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma$$

Quedando finalmente:

$$L = \frac{I(C, \gamma) \cdot r(\beta, \gamma)}{h^2}$$

Y si el punto está iluminado por más de una lámpara, resulta:

$$L = \sum_{i=1}^{n} \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot r(\beta_i, \gamma_i)}{h_i^2}$$

Los valores de $r(\beta, \gamma)$ se encuentran tabulados o incorporados a programas de cálculo y dependen de las características de los **pavimentos** utilizados en la vía.

PAVIMENTOS

De las características reflectoras de los pavimentos depende en buena medida la uniformidad del alumbrado tan importante para tener unas buenas condiciones de visibilidad en la vía.

Estas propiedades están en tablas, llamadas matrices de reflexión del pavimento o r-tablas, donde encontramos los valores de R ($R=q \cdot \cos^3 \gamma$) en una matriz de doble entrada (β,tg γ) para diferentes tipos de pavimentos secos. La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) ha dividido los pavimentos en dos series (R y N), distinguiendo 4 tipos en cada una según sus características reflectantes.

Clase	Tipo de reflexión	Límite de S_1	Valor normalizado Q_0
RI	Difusa	$S_1 < 0.42$	0.10
RII	Aproximadamente difusa	$0.42 \leqslant S_1 < 0.85$	0.07
RIII	Ligeramente brillante	$0.85 \leqslant S_1 < 1.35$	0.07
RIV	Brillante	$1.35 \leqslant S_1$	0.08

Serie R (CIE 1976)

Clase	Tipo de reflexión	Límite de S_1	Valor normalizado Q_0
NI	Difusa	$S_1 < 0.28$	0.10
NII	Aproximadamente difusa	$0.28 \leqslant S_1 < 0.60$	0.07
NIII	Ligeramente brillante	$0.60 \leqslant S_1 < 1.30$	0.07
NIV	Brillante	$1.30 \leqslant S_1$	0.08

Serie N (CIE 1976)

Más modernamente (1984) se ha definido la serie C que se divide en dos; CI que corresponde a RI y CII que agrupa los tipos RII, RIII y RIV.

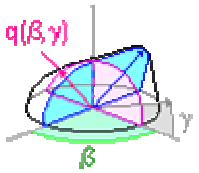
Clase	Tipo de reflexión	Límite de S_1	Valor normalizado Q_0
CI	Difusa	$S_1 < 0.4$	0.10
CII	Especular	$S_1 \geq 0.4$	0.07

Serie C (CIE 1984)

Los valores Q0 (coeficiente medio luminancia), S1 y S2 (factores especulares 1 y 2), términos que se definen a partir de la **indicatriz de reflexión,** se pueden obtener experimentalmente mediante aparatos de medida adecuados. Si no podemos acceder a estos ni conocer a qué clase corresponde el pavimento podemos recurrir a la r-tabla de la clase RIII.

INDICATRIZ DE REFLEXIÓN

La indicatriz de reflexión de un punto de la calzada es una figura que se obtiene representando los radio vectores de módulo el coeficiente de luminancia $q(\beta, \gamma)$ en cada dirección de incidencia definida por los ángulos beta y gamma.



Se definen, a partir de esta, los parámetros Q_0, S_1 y S_2 como:

$$Q_0 = \frac{\int q \, d\omega}{\int d\omega} \qquad S_1 = \frac{R(0,2)}{R(0,0)} \qquad S_2 = \frac{Q_0}{R(0,0)}$$

con $\quad R(\beta, tg\gamma) = q \cdot \cos^3 \gamma$

El factor Q_0 define el volumen de la indicatriz y se refiere a la claridad o nivel de reflectancia total de la superficie. Por contra S_1 y S_2 se refieren a la forma de la indicatriz o grado de especularidad.

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).

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).

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

Deslumbramiento

El deslumbramiento producido por las farolas 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.

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.

Fórmula del deslumbramiento molesto

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)^{0.5} - 0.08 \log \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1.29 \log F + 0.97 \log L_m + 4.41 \log h' - 1.46 \log p + c$$

Donde:

- ⇒ I_{80} es la intensidad luminosa emitida por la luminaria con un ángulo de elevación γ=80º en el plano C=0.
- ⇒ I_{88} es la intensidad luminosa en el caso de γ=88º.
- ⇒ F es la **superficie aparente** de la luminaria vista bajo un ángulo de 76º.
- ⇒ c es un factor de corrección del color que vale:

Tipo de lámparas	c
Sodio a baja presión	0.4
Sodio a alta presión	0.1
Mercurio a alta presión	0.1
Otras	0.0

- ⇒ L_m es la luminancia media de la superficie de la calzada.
- ⇒ h' es la altura entre el nivel de los ojos y la luminaria.
- ⇒ p es el número de luminarias por kilómetro.

Esta fórmula sólo es válida en el intervalo:

$5 \leqslant h' \leqslant 20$ m
$20 \leqslant p \leqslant 100$
$50 \leqslant I_{80} \leqslant 7000$ cd
$1 \leqslant I_{80}/I_{88} \leqslant 50$
$0.007 \leqslant F \leqslant 0.4$ m^2
$0.37 \leqslant L_m \leqslant$ cd/m^2

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 y L_m es la luminancia media de la calzada.

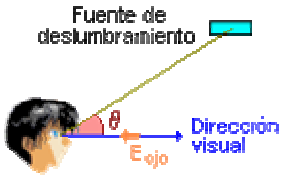
Fórmula del incremento de umbral

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

Donde L_v es la luminancia de velo equivalente y L_m es la luminancia media de la calzada.

Luminancia de velo equivalente

$$L_v = k\sum_{i=1}^{n}\frac{E_{ojo}}{\theta_i^2}$$



Donde:

⇒ K es una constante que depende de la edad del individuo cuyo valor usual es 10 grados o $3 \cdot 10^{-3}$ rad.

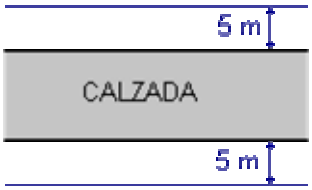
⇒ E_{ojo} es la iluminancia sobre el ojo en el plano perpendicular a la dirección visual.

⇒ θ es el ángulo formado por la dirección visual y el rayo de luz procedente de la fuente de luz deslumbrante.

Sólo se tendrán en cuenta las fuentes deslumbradoras cuyo ángulo θ sea mayor que 20º.

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 iluminacia media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada.



La distribución de la intensidad luminosa de una luminaria se representa por un diagrama polar en el que pueden aparecer una, dos o 3 curvas para diferentes planos verticales para la intensidad en cd / 1.000 lm.

En las distribuciones de luz rotatóriamente simétricas, solo es necesaria una curva para representar la distribución en todos los planos.

Cuando la distribución ofrece los máximos valores de la intensidad en el plano perpendicular al eje longitudinal de la luminaria, se hace preciso utilizar 2 curvas.

Una curva se da para el plano vertical que pasa por el eje (plano C90-C270), esta curva se representa con trazos discontinuos.

Otra curva se da para el plano vertical perpendicular a dicho eje (plano C0-C180), esta curva se representa con trazo continuo.

Cuando la distribución tiene su máximo de intensidad en el plano vertical que se encuentra entre los dos planos reseñados, se recurre al empleo, aparte de las curvas mencionadas, de una tercera curva que se representa a puntos y que nos permite determinar la intensidad máxima en el plano Cm.

El eje longitudinal de la luminaria se supone siempre perpendicular al eje de la calzada, cuando la luminaria no tiene este eje, hay que tomar el de la lámpara.

El diagrama polar mencionado se desarrolla para una inclinación de 0º de la luminaria.

FACTOR DE UTILIZACIÓN (f_u ó ηE).

El factor de utilización determina la cantidad de flujo luminoso emitido por una lámpara que alcanza la superficie de la calzada. El diagrama del factor de utilización se da en función de la anchura de la calzada y se expresa como múltiplo de la altura del punto de luz. El diagrama del factor de utilización se corresponde con una determinada inclinación de la luminaria por lo general de 0º.

El Factor de Utilización debe tener los siguientes valores mínimos en vías de tránsito rodado:

- ⇒ Para calzadas de hasta 6 m.: 0,25.
- ⇒ Para calzadas entre 6 y 12 m: 0,35.
- ⇒ Para calzadas de más de 12 m.: 0,45.

FACTOR DE CONSERVACIÓN.

El factor de conservación señala la cantidad de flujo que pierde una lámpara por envejecimiento y ensuciamiento.

El factor de conservación depende del tipo de lámpara y del tipo de luminaria seleccionado

Para calcular el factor de conservación hay que efectuar el producto entre el factor de envejecimiento (que depende de la lámpara seleccionada) y el factor de ensuciamiento (que depende de tipo de luminaria elegido).

Según el tipo de lámparas podremos tener los siguientes factores de envejecimiento

- ⇒ Lámparas incandescentes: 0,8.
- ⇒ Lámparas de Luz de Mezcla: 0,75.
- ⇒ Lámparas de VMAP: 0,8.
- ⇒ Lámparas de VSAP: 0,8.
- ⇒ Lámparas de VSBP: 0,9

Según el tipo de luminarias se pueden obtener los siguientes factores por ensuciamiento:

- ⇒ Luminarias herméticas: 0,87 a 0,8.
- ⇒ Luminarias ventiladas: 0,8 a 0,7.

⇒ Luminarias abiertas: 0,75 a 0,65.

Se recomienda siempre seleccionar lámparas y luminarias que den factores de conservación superiores a 0,7.

ILUMINANCIA HORIZONTAL MEDIA (E_m o E_H).

La Iluminancia Horizontal Media, es la relación entre el flujo luminoso total que incide sobre un área de la calzada y la superficie de dicha área. La iluminancia se da en Lux (lúmenes/m^2)

La Iluminancia Horizontal Media se determina teniendo en cuenta:

⇒ El número de vehículos a la hora que circulan por la red viaria.

⇒ La velocidad media del tránsito rodado.

El tiempo de respuesta que podemos tener cuando estamos conduciendo cualquier vehículo ante la presencia de objetos sobre las calzadas depende, ante todo, del contraste entre la luminancia que tiene cada uno de esos objetos situados dentro de nuestro campo visual y la calzada por donde circulamos con nuestro vehículo. Por ello, nos interesa determinar cuando afrontamos el cálculo del alumbrado público, las luminancias de las calzadas sobre las que se destacan por contraste, las siluetas oscuras de los posibles objetos que en un instante determinado se encuentran sobre ellas.

Intentar establecer las luminancias de las calzadas a través de un proceso de cálculo resulta una operación muy laboriosa, sobre todo, si se tiene en cuenta que los pavimentos de las calzadas poseen superficies irregulares y como consecuencia de ello van a presentarse reflexiones diferentes y por lo tanto, distintas mediciones de luminancias

No nos queda entonces otro remedio que utilizar métodos de cálculo que en vez de determinar los valores de las luminancias sobre las calzadas, nos ofrezcan los valores de las iluminancias.

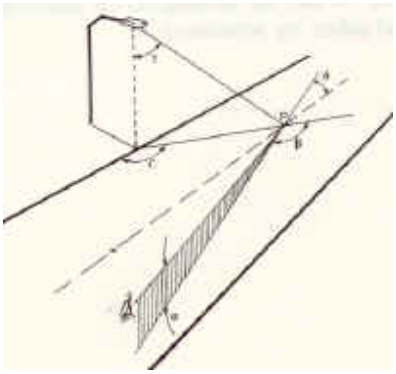
Con ello estamos simplificando el cálculo del alumbrado viario, puesto que para determinarlo solo precisaríamos señalar cuales son los niveles de iluminancia y los factores de uniformidad más adecuados según las exigencias mínimas establecidas por la C.I.E.

En los procedimientos de cálculo mencionados, evidentemente tenemos la necesidad de recurrir al uso de tablas que a los efectos se encuentran en los Manuales de Luminotecnia. Los valores que aparecen en estas tablas son los indicados por las Recomendaciones Internacionales para unas determinadas intensidades y velocidades medias del tráfico rodado

Se sobreentiende que los valores que figuran en estas tablas, son los mínimos aceptables para mantener un prudente equilibrio entre las necesidades visuales de los usuarios y la capacidad económica para atenderlas.

Sucede, que no siempre es posible tener datos sobre la intensidad y velocidad media del tráfico rodado, en estas circunstancias también hay tablas en los mencionados Manuales de Luminotecnia que nos ofrecen valores mínimos y normales de la intensidad y de los factores de uniformidad según la categoría de la vía, en la que se intenta resolver el alumbrado.

A los efectos, conviene siempre prever el incremento que puede producirse con el tiempo (año horizonte del proyecto) del tráfico rodado. Evidentemente todo esto se hace para que el proyecto de alumbrado público no quede prematuramente obsoleto.



LUMINANCIA MEDIA (L_M o L).

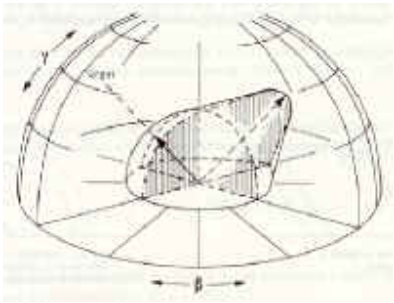
La luminancia en un punto P de una calzada en una dirección determinada, es la relación que existe entre la intensidad luminosa en la dirección señalada y la superficie del área en la que se refleja el rayo luminoso, proyectada en el plano perpendicular a dicha reflexión. La luminancia se da en Nit (candelas/m^2) o en Stilb (cd/cm^2).

La Luminancia media es la relación que existe entre la sumatoria de las luminancias que se registran en n puntos de la calzada y el número n total de puntos considerados.

FACTOR DE RENDIMIENTO (L) DE LUMINANCIA.

El factor de rendimiento de la luminancia nos indica la eficiencia en la creación de luminancia en la superficie de la calzada, según lo determinado por la distribución de la luz de la luminaria, las propiedades de reflexión del pavimento de la calzada y la posición que ocupa el observador. Por lo general se suelen utilizar con propiedades de reflexión correspondientes a la clase R3 (consultar publicación C.I.E. nº 66).
La posición del observador se puede corresponder a la derecha de la fila de luminarias (lado de la calle), a una distancia de esta fila igual a la altura de montajes de las luminarias.
En el diagrama de rendimiento del factor de luminancia, el factor se da en función de la anchura de la calzada, expresado como un múltiplo de la altura del punto de luz.

COEFICIENTE MEDIO DE REFLEXIÓN (Q_0).



En la determinación de la luminancia de la superficie de las calzadas es fundamental conocer cuales son las características reflexivas de esa superficie.
Las características reflexivas mencionadas vienen indicadas por los siguientes factores y coeficientes:

- ⇒ Coeficiente de luminancia.
- ⇒ Indicatríz de reflexión.
- ⇒ Coeficiente medio de reflexión o de luminancia.
- ⇒ Factor especular.

El Coeficiente de Luminancia es la relación entre la luminancia en un punto P determinado y la iluminancia horizontal en ese mismo punto.
La luminancia de un punto varia en función de:

- ⇒ La posición del conductor sobre la calzada.
- ⇒ La ubicación de los puntos de luz.

La ubicación del punto de luz y la posición del conductor se pueden determinar mediante 3 ángulos.

El ángulo que se forma entre el plano de la calzada y la posición del observador tomado desde el punto P tiene muy poca variación si se tiene en cuenta que al conductor siempre se le supone a una distancia entre 60 y 160 m del punto P, la C.I.E. por esta razón le asigna el valor de 1.

Por lo expuesto se concluye que el coeficiente de luminancia o de reflexión de una vía se puede determinar en función de dos ángulos (γ, β)

El ángulo γ es el ángulo de incidencia de la luz medido desde la vertical del punto de luz a la calzada al rayo de luz que pasa por el punto P.

El ángulo β, es el ángulo se forma entre el plano de incidencia del rayo luminoso y el plano vertical en el que se sitúa el ojo del conductor y que pasa por el punto P de la calzada.

El coeficiente de reflexión se puede dar mediante una Indicatríz de Reflexión que es el lugar geométrico definido por los extremos del vector $Q(\gamma, \beta)$, para las diferentes posiciones que este vector puede ocupar en un semiesfera.

El valor de la Luminancia en un punto P de la calzada se da en función de:

- $\Rightarrow$ $Q(\gamma, \beta)$ = Valor del coeficiente de luminancia en el punto P.
- $\Rightarrow$ $E(\gamma, \beta)$ = Valor de la iluminancia en el punto P.
- $\Rightarrow$ H = Altura del punto de luz.
- $\Rightarrow$ $I(C\gamma)$= Intensidad de luz del rayo luminoso que pasa por el punto P.
- $\Rightarrow$ (γ, β) = Ángulos de posición.

C es el ángulo que forma el plano vertical que contiene el rayo de luz que pasa por el punto P y el punto de luz con el plano vertical que pasa por el punto de luz y que es perpendicular al eje de la calzada.

El establecimiento de la Indicatríz requiere el empleo de un procedimiento de laboratorio luminotécnico muy laborioso, por ello se recurre al uso de los siguientes parámetros para facilitar el cálculo:

⇒ Coeficiente medio de luminancia o reflexión Q_0 (coeficiente que se corresponde al volumen de la Indicatríz): Uno de los valores de Q_0 , que más interesa obtener es el correspondiente a direcciones de observación propias de los conductores de vehículos que se encuentren a la derecha de la fila de luminarias (lado de la calle) a una distancia igual a la de la altura de montaje de las luminarias.

⇒ Factor especular X_P (factor que se corresponde a la forma de la Indicatríz).

Al coeficiente Q_0, en algunos supuestos, con el objeto de simplificar cálculos se le asigna un valor constante 1, por lo cual el valor que interesa determinar es el del factor especular que depende del tipo de pavimento de la calzada.

En la publicación nº 66 de la C.I.E., cuando se trata sobre las propiedades de reflexión de las superficies de las calzadas se establece una clasificación de superficies donde cada tipo tiene diferentes propiedades de reflexión.

PORCENTAJE DE SALIDA DE LUZ (L.Q.R.).

El porcentaje de salida de luz es la relación entre el flujo luminoso emitido por la luminaria y el flujo luminoso emitido por si sola por la lámparas o lámparas integradas en una luminaria.

UNIFORMIDAD GLOBAL (U_0) DE ILUMINANCIAS.

Uniformidad Global es la relación que existe entre la iluminancia mínima y la iluminancia media obtenida sobre la calzada.

RELACIÓN DE ENTORNO (SR).

Relación de entorno es la relación entre iluminancias medias medidas en zonas de 5 m de ancho, a partir del bordillo hacia la calzada y del bordillo hacia la acera.

Cuando el ancho de la calzada es inferior a los 10 metros, el ancho seleccionado es la mitad de la calzada.

UNIFORMIDAD MEDIA (U_M) DE LUMINANCIAS.

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia media sobre la calzada. La Uniformidad Global siempre tiene que ser superior a 0,4.

UNIFORMIDAD LONGITUDINAL (U_L).

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima en la línea central de un carril de la calzada.

Cuando existen varios carriles, siempre se toma el valor más bajo. La uniformidad longitudinal debe ser siempre superior a 0,5 para situaciones simples y de 0,7 situaciones complejas.

INCREMENTO DE UMBRAL (TI).

El Incremento de Umbral es un indicador que nos permite establecer en porcentaje el nivel de deslumbramiento perturbador (o fisiológico) que puede sufrir un conductor.

El Incremento de Umbral se da en % en función de:

- ⇒ L_V = Luminancia de velo (luminancia de deslumbramiento).
- ⇒ L_m = Luminancia media.

El TI no puede ser nunca inferior al 10% para los casos críticos, pudiendo incrementarse hasta el 20% para las situaciones normales.

TEMPERATURA DE COLOR.

La temperatura que tiene el cuerpo negro en grados Kelvin (º K) cuando emite una luz idéntica a luz que se analiza.

RENDIMIENTO EN COLOR.

Para poder establecer con mediciones como se reproduce el color de los cuerpos cuando son iluminados por diferentes tipos de lámparas, la C.I.E. ha introducido el concepto de Rendimiento en Color para una determinada lámpara.

El método recomendado por la C.I.E. consiste en:

- ⇒ Determinar las características de la reflexión espectral de los colores de prueba (se eligen 8 colores con un nivel de saturación media según la escala de Munsell), bajo la luz de la fuente patrón a la temperatura de color de la lámpara que se estudia.

⇒ Obtener la distribución espectral del cuerpo negro para la temperatura de color de la lámpara que se estudia.

⇒ Comparar ambas distribuciones. Si el nivel de identidad es el máximo, el Indice del Rendimiento de Color (I.R.C.) de la lámpara analizada es de 100 y por lo tanto la reproducción de los 8 colores de prueba será óptima.

El sistema Munsell para la comparación de colores se fundamenta en el planteamiento de que el color puede ser determinado por tres parámetros:

⇒ Tono: con 5 colores básicos (rojo, amarillo, verde, azul y púrpura) y colores secundarios mezcla de los anteriores.

⇒ Valor: correspondencia de los colores reseñados con una escala de grises de 10 tonos, de blanco a negro.

⇒ Cromaticidad: nivel de mezcla de cada color con el blanco. La ausencia de blanco establece el máximo nivel de saturación de un color. Una saturación media se corresponde con un nivel de mezcla intermedio.

Con el sistema Munsell, cada color puede ser representado por unos dígitos.

Lámparas y luminarias

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, por contra, 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.

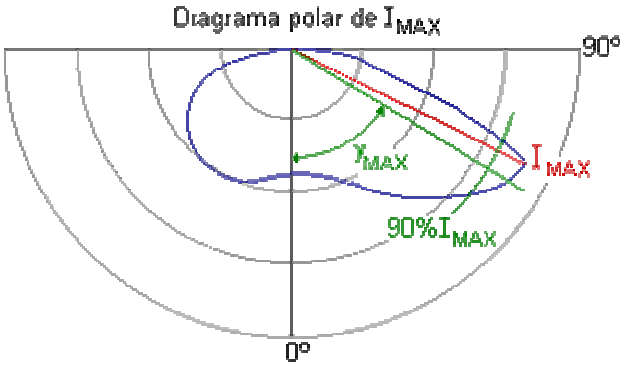
Antiguamente las luminarias se clasificaban según las denominaciones cut-off, semi cut-off y non cut-off.

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

Clasificación para luminarias de alumbrado público (CIE 1965)

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 γ_{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.

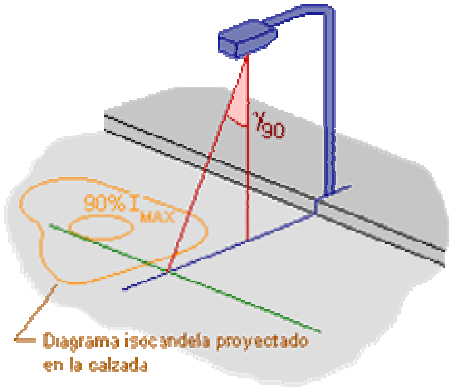


Alcance corto	γ_{MAX}< 60º
Alcance intermedio	60º ≤ γ_{MAX} ≤ 70º
Alcance largo	γ_{MAX}> 70º

Alcance longitudinal

La dispersión es la distancia, determinada por el ángulo γ_{90}, en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva

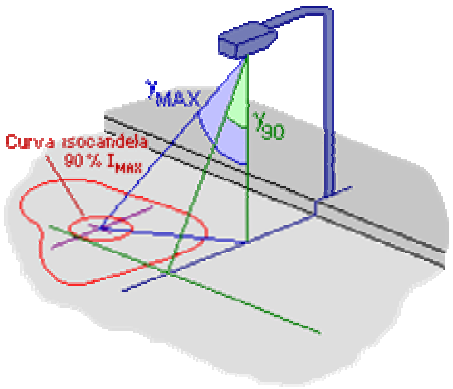
isocandela del 90% de I_{MAX} proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria.



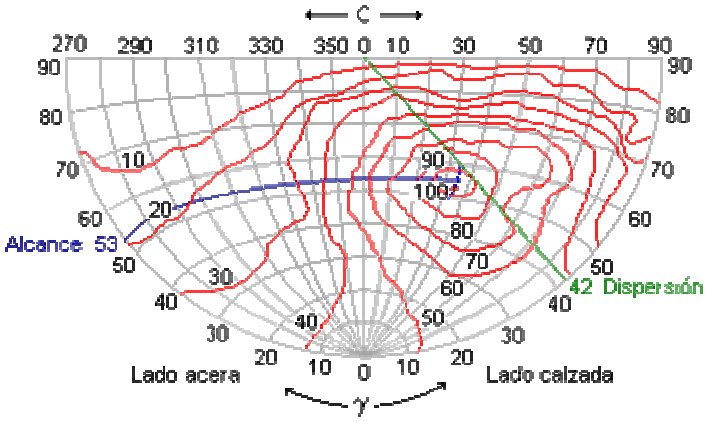
Dispersión transversal

Dispersión estrecha	$\gamma_{90} < 45º$
Dispersión media	$45º \leqslant \gamma_{90} \leqslant 55º$
Dispersión ancha	$\gamma_{90} > 55º$

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

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

Control limitado	SLI < 2
Control medio	$2 \leqslant SLI \leqslant 4$
Control intenso	SLI > 4

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

Fórmula del SLI

$$SLI = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)^{0.5} - 0.08 \log \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1.29 \log F + c$$

Donde:

⇒ I_{80} es la intensidad luminosa emitida por la luminaria con un ángulo de elevación γ =80º en el plano C=0.

⇒ I_{88} es la intensidad luminosa en el caso de γ=88º.

⇒ F es la superficie aparente de la luminaria vista bajo un ángulo de 76º.

⇒ c es un factor de corrección del color que vale:

Tipo de lámpara	c
Sodio a baja presión	0.4
Otras	0

Disposición de las luminarias en la vía

Cuando nos enfrentamos al problema de ubicar los puntos de luz en un alumbrado público tenemos que resolver cuestiones como las que a continuación se reseñan.

- La sustentación de los puntos de luz.
- La altura de los puntos de luz: La altura de los puntos de luz tiene una gran importancia sobre la calidad de la iluminación y sobre el coste de esta.

Sustentación.

La sustentación de los puntos de luz, en alumbrado público, la podemos resolver de los siguientes modos:

⇒ Sustentación por cables: Es un sistema poco utilizado, ya que tiene dificultades de fijación de las luminarias (el viento las mueve con facilidad), propicia la circulación por el medio de la calzada y el deslumbramiento.

⇒ Fijación sobre báculos o postes con brazo: Es el sistema más utilizado, sobre todo en calzadas y aceras muy anchas, edificación baja (donde no es posible el uso de brazos murales)

⇒ Fijación de brazos murales: Es un sistema muy económico, que es utilizado en calles de tipo medio, muy buena para el tráfico, solo se puede emplear cuando los edificios tienen alturas superiores a los 7m, no entorpece la circulación de peatones.

Altura.

Cuando situamos los puntos de luz a gran altura se nos presentan las siguientes ventajas:

⇒ Mejor distribución de luminancias sobre la calzada.

⇒ Menor deslumbramiento, esto nos permite instalar lámparas de mayor potencia luminosa por puntos de luz.

⇒ Mayor separación entre puntos de luz, con lo cual conseguiremos reducir el número de unidades luminosas y por lo tanto también reduciremos los costes totales de la instalación.

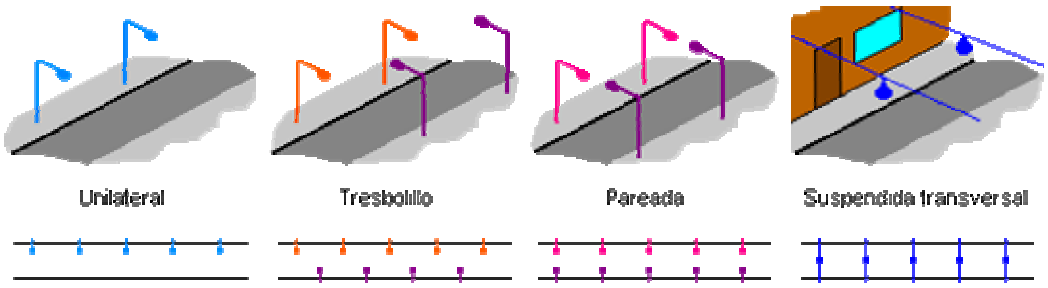
Asimismo este hecho (el de elevar los puntos de luz), causa los siguientes problemas:

⇒ Notoria dificultad en el mantenimiento y por lo tanto apreciable incremento en los costes de mantenimiento.

⇒ Disminución del factor de utilización (gran parte de flujo luminoso emitido incide fuera de las calzadas, produciendo luz intrusa)

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.

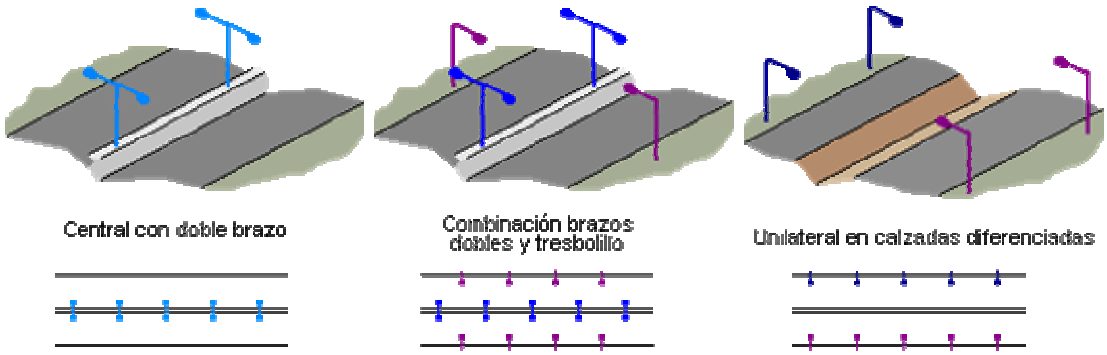
En los **tramos rectos de vías con una única calzada** existen tres disposiciones básicas: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas.



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.

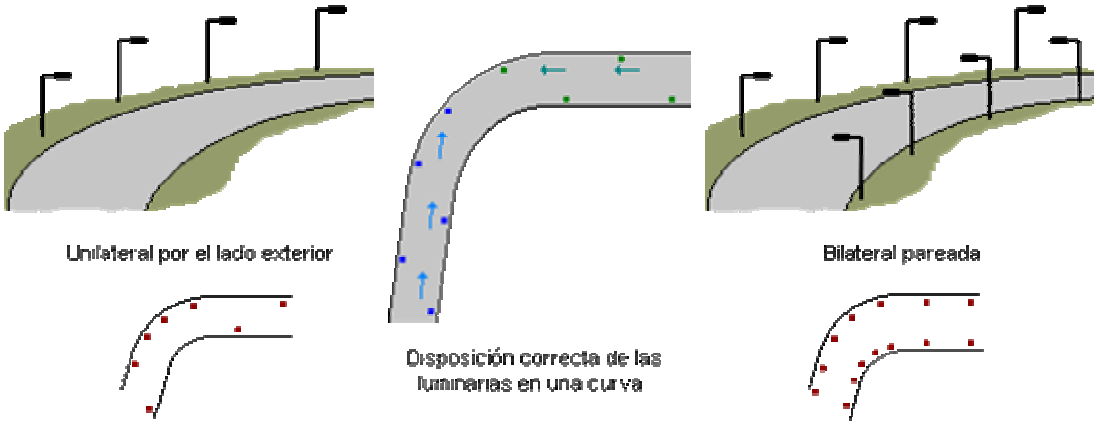
	Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje
Unilateral	A/H < 1
Tresbolillo	1 ≤ A/H ≤ 1.5
Pareada	A/H > 1.5
Suspendida	Calles muy estrechas

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.



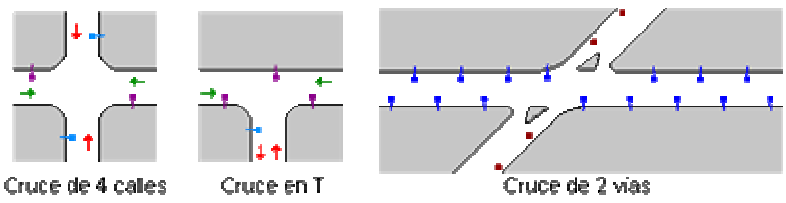
En **tramos curvos** las reglas a seguir son proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre las luminarias cuanto menor sea el radio de la curva. Si la

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.



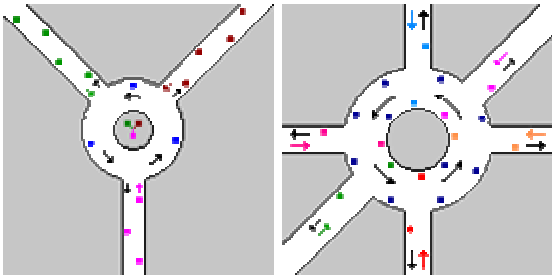
R > 300 m	Asimilar a un tramo recto	
R < 300 m	**A/H < 1.5**	Unilateral exterior
	A/H > 1.5	Bilateral pareada

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 la 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.

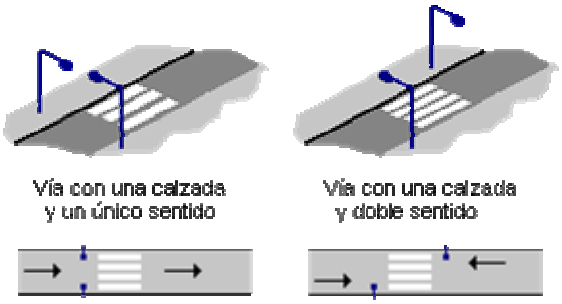


En las **plazas y glorietas** se instalarán luminarias en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas. La altura de los postes y el nivel de iluminación serán por lo

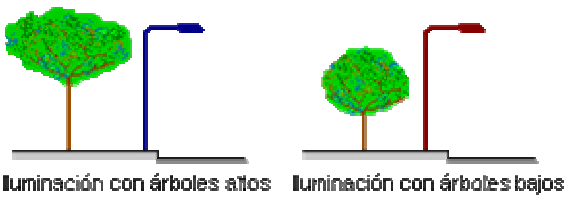
menos igual al de la calle más importante que desemboque en ella. Además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza. Si son pequeñas y el terraplén central no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un poste alto multibrazo. En otros casos es mejor situar las luminarias en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desemboca en esta.



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.



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.



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.

Tipo de vía	Entorno	Categoría	Luminancia media Lm (cd/m^2)	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento	
				Global U_0	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			≥4	≤20 %
E	Claro	E1	≥1			≥4	
	Oscuro	E2	≥0.5			≥5	

Valores recomendados por la CIE (1977)

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.

Categoría	Luminancia media Lm (cd/m^2)	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento TI	Alrededores SR
		Global U_0	Perturbador TI		
M1	≥2.00	≥0.4	≥0.7	≤10	≥0.5
M2	≥1.50				
M3	≥1.00		≥0.5		
M4	≥0.75		---	≤15	---
M5	≥0.50				

Valores recomendados por la CIE (1995)

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.

Categoría	Nivel medio iluminancia E_m (lux)	Coef global uniformidad U_0
C0	≥50	≥0.4
C1	≥30	
C2	≥20	
C3	≥15	
C4	≥10	
C5	≥7.5	

El número de la categoría de la zona de conflicto (Cx) no será menor que el de la la vía de mayor categoría (Mx) que confluya en la zona.

CALIDAD DEL ALUMBRADO.

La calidad del alumbrado público se establece en función de su:

⇒ Capacidad para lograr un reparto adecuado de luminancias sobre la calzada.

⇒ Capacidad para evitar el deslumbramiento en ciertos puntos.

Estas circunstancias aconsejan instalar los puntos de luz a la mayor altura posible, pero todo ello supone un incremento en los costes de mantenimiento.

DISPOSICIONES.

Se deben situar los puntos de luz de forma estratégica, a modo de faros, en las curvas, en las plazoletas, etc. también es preciso observar con carácter general disposiciones como:

⇒ la axial

⇒ la unilateral

⇒ la bilateral, etc.

PREVENCIÓN DEL VANDALISMO.

Las instalaciones de alumbrado suelen sufrir con cierta frecuencia, robos, roturas, etc., por lo que se hace preciso tomar medidas como las que a continuación se reseñan:

- ⇒ La altura mínima de los puntos de luz debe de ser de 5 m. En las zonas problemáticas hay que considerar alturas superiores.
- ⇒ En puntos apartados, o problemáticos del tendido eléctrico las arquetas deben ser rematadas del siguiente modo:

  - ✓ Sellado de los tubos plásticos con yeso.
  - ✓ Llenado de la arqueta con material granular.
  - ✓ Remate de la arqueta con material granular y capa de mortero de cemento y arena.
  - ✓ Las tapas de las arquetas deben de ser de fundición.

Si preguntamos a los responsables de la seguridad vial cual es su principal preocupación para conseguir una alta seguridad, en las carreteras, es muy posible que diesen como prioridad al alumbrado artificial como primera solución al problema, supuesto un trazado adecuado y unas condiciones de mantenimiento aceptable de sus calzadas.

Es un hecho conocido en muchos países, por las estadísticas que sobre ello se han realizado, que un buen alumbrado viario reduce en un 30% los accidentes mortales al tiempo que aumenta el confort y la fluidez del tráfico.

Cada accidente, tiene unos costes económicos y sociales importantes, dejando, en muchas ocasiones, secuelas familiares que son irreparables.

PARÁMETROS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DE LA ILUMINACIÓN EN LAS CARRETERAS.

Dos son los parámetros que determinan esta calidad: la fiabilidad visual y la comodidad visual. Podemos definir la "fiabilidad visual" como la capacidad que un usuario conductor tiene que procesar y elegir continuamente, más o menos subconscientemente, que parte de la información visual presentada ante él es necesaria para un control seguro de su vehículo. Conformes con esta definición, es fácil pensar, que el alumbrado viario contribuiría a la seguridad del tráfico y aumentará el flujo del mismo, si este alumbrado asegura una fiabilidad visual buena para el usuario.

El campo visual de un conductor lo podemos referir especialmente a la superficie de la calzada y a los posibles obstáculos sobre ella, así como a los a los alrededores inmediatos a la misma. Normalmente la fiabilidad visual ó de percepción se trata por separado de la comodidad visual pero en la práctica están íntimamente relacionados.

Sería deseable que todos los cálculos de alumbrado se pudieran evaluar por criterios de LUMINANCIA, pero la gran variedad de superficies reflectantes que pueden intervenir en algunos de estos cálculos los hacen inviables por su complejidad.

En una carretera iluminada, para el ambiente visual de un conductor nocturno, es fundamental todo cuanto ocurra en la calzada. Las propiedades reflectoras de los pavimentos pueden medirse con una precisión suficiente que permite el cálculo por luminancias. Por cuanto antecede y puesto que la sensación visual recibida por la retina del ojo humano depende de la distribución de luminancias en su campo de visión, los parámetros da calidad de la iluminación de carreteras ha de darse por luminancias.

PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA FIABILIDAD DE VISIÓN O DE PERCEPCIÓN

Un objeto sólo podemos percibirlo cuando exista una diferencia de luminancias ó color (contraste) entre sus superficies y el fondo, y siempre que este contraste alcance un valor mínimo. El valor de contraste que se necesita para poder percibir el objeto depende del ángulo de visión y de la distribución de las luminancias en el campo de visión del observador, por ser ésta quien determina la condición de adaptación del ojo observador.
Cuanto mayor sea la luminancia de fondo y mayor el ángulo de visión, mejor será la sensibilidad de contraste del ojo en cuestión. Esto será cierto hasta tanto la luminancia de fondo no produzca ningún deslumbramiento. La sensibilidad al contraste que la representamos por (SC) se define como la inversa del contraste justamente perceptible (contraste de umbral, Cth), en tanto que el contraste es el cociente entre las diferencias de luminancias del objeto y el fondo, partido por la de fondo.

$$SC = {}^{1}\!/_{Cth} \qquad\qquad Cth = \frac{(Lo - Lf)}{Lf}$$

CRITERIOS DE CALIDAD EN EL ALUMBRADO DE CARRETERAS

Las características fotométricas de las instalaciones de alumbrado, consideradas por orden de mayor a menor importancia se dan a continuación:

Parámetros de fiabilidad:

- ⇒ Nivel de luminancia media sobre la calzada.
- ⇒ Uniformidad de la distribución de luminancias sobre la calzada. Uniformidad media Uo.
- ⇒ La limitación del deslumbramiento causada por la instalación. Deslumbramiento perturbador o de incremento de umbral TI.
- ⇒ Condiciones de luminancia de los alrededores a la calzada.

Parámetros de confort:

- ⇒ Nivel de luminancia media sobre la calzada. Lmed.

⇒ Uniformidad longitudinal extrema UI.

⇒ Deslumbramiento de molestia G.

⇒ Guía visual

Se debe tener en cuenta que una vez obtenido la disposición de luminarias, altura mínima, con una distancia máxima entre ellos y con la fuente de luz más eficaz, se debe cumplir con los siguientes requisitos:

⇒ Vida de servicio.

⇒ Depreciación.

⇒ Temperatura de color.

⇒ Reproducción cromática, etc.

Los valores mínimos deseables en cualquier vía principal, calzada o autopista serán:

$$Uo = \frac{L\min}{Lmed} \geq [0.4] \qquad TI \leq [7\%]$$

1.2.2 CÁLCULO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS

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:

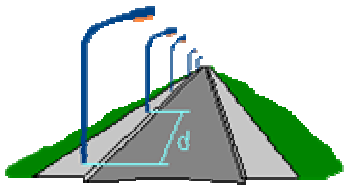
⇒ Cálculo de iluminancias

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

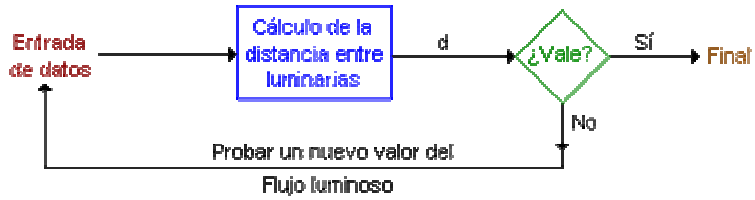
⇒ Cálculo de luminancias

MÉTODO DE LOS LÚMENES O DEL 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.



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



Datos de entrada

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

Tipo de vía	Iluminancia media (lx)	Luminancia media (cd/m2)
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.

Flujo de la lámpara (lm)	Altura (m)
$3000 \leqslant \Phi_t < 10000$	$6 \leqslant H < 8$
$10000 \leqslant \Phi_t < 20000$	$8 \leqslant H < 10$
$20000 \leqslant \Phi_t < 40000$	$10 \leqslant H < 12$
$\geqslant 40000$	$\geqslant 12$

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

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

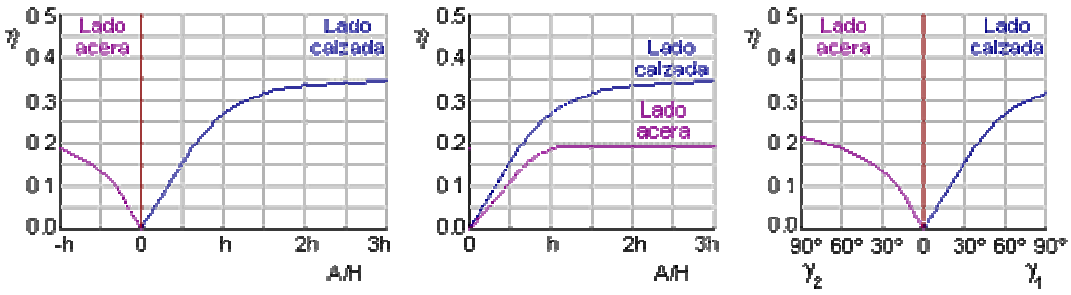
⇒ Determinar el factor de mantenimiento (f_m) dependiendo de las características de la zona (contaminación, tráfico, mantenimiento...). Normalmente esto es difícil de evaluar y se recomienda tomar un valor no superior a 0.8 (habitualmente 0.7).

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 (η)

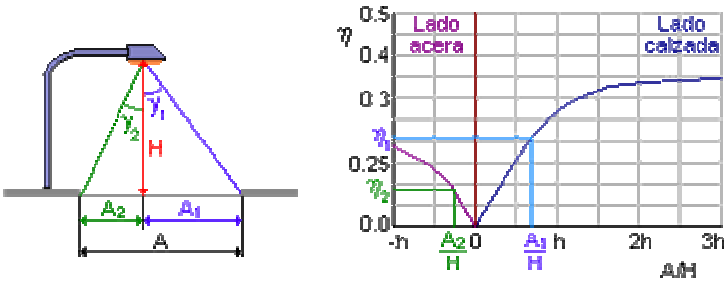
El **factor de utilización** es una medida del rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y se define como el cociente entre el flujo útil, el que llega a la calzada, y el emitido por la lámpara. $\eta = \frac{\Phi_{útil}}{\Phi_L}$

Normalmente se representa mediante curvas que suministran los fabricantes con las luminarias. Estas curvas podemos encontrarlas en función del cociente anchura de la calle/altura (A/H), la más habitual, o de los ángulos γ_1, γ_2 en el lado calzada y acera respectivamente.



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.



$$A = A_1 + A_2$$
$$\eta = \eta_1 + \eta_2$$

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.

Cálculo de la separación entre luminarias

Una vez fijados los datos de entrada, podemos 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 queremos conseguir.

⇒ η es el factor de utilización de la instalación.

⇒ F_m es el factor de mantenimiento.

⇒ Φ_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.

son datos conocidos y

Unilateral o tresbolillo	A
Bilateral	A/2

$\Rightarrow$ 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 habremos acabado y si no variaremos los datos de entrada y volveremos a empezar. Si la divergencia es grande es recomendable cambiar el flujo de la lámpara.

A modo orientativo podemos usar la siguiente tabla que da la relación entre la separación y la altura para algunos valores de la iluminancia media.

E_m (lux)	separación / altura
$2 \leqslant E_m < 7$	$5 \leqslant d/h < 4$
$7 \leqslant E_m < 15$	$4 \leqslant d/h < 3.5$
$15 \leqslant E_m \leqslant 30$	$3.5 \leqslant d/h < 2$

MÉTODOS NUMÉRICOS

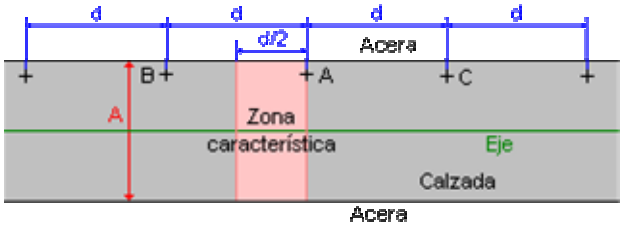
Los métodos numéricos se basan en la idea de que no es preciso calcular la iluminancia en todos los puntos de la calzada para tener una idea exacta de la distribución luminosa, sino que basta con hacerlo en unos cuantos puntos representativos llamados nodos. Para ello, dividiremos la zona a estudiar en pequeñas parcelas llamadas dominios, cada una con su correspondiente nodo, en las cuales supondremos 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 hagamos dependerá de la precisión que queramos obtener. En nuestro caso trabajaremos 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 tengamos.

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.

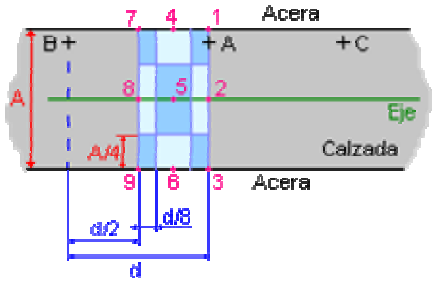
MÉTODO DE LOS NUEVE PUNTOS

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



Debido a las simetrías existentes en la figura, 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

El valor medio de las iluminancias será para este caso:

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

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

Con:

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

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

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

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

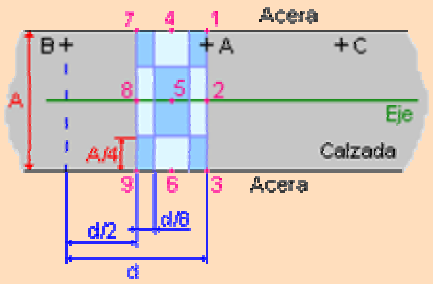
Se puede demostrar fácilmente que la expresión anterior de Em es también válida para las disposiciones tresbolillo y bilateral pareada.

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

La iluminancia en cada punto vale entonces:

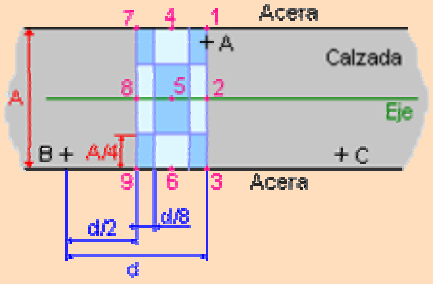
$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{Ic}$

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



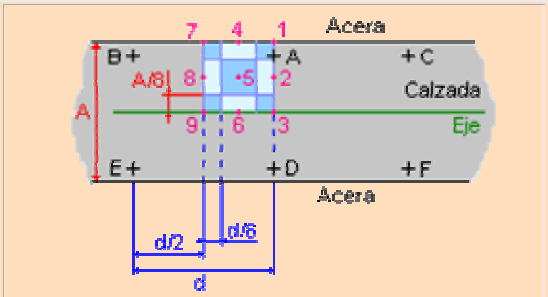
Distribución de puntos en una disposición unilateral

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



Distribución de puntos en una disposición tresbolillo

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



Distribución de puntos en una disposición bilateral

$E_i = E_{iA} + E_{iB} + EiC + E_{iD} + E_{iE} + E_{iF}$

Además de E_m podemos calcular los coeficientes de uniformidad media y extrema de las iluminancias

Uniformidad media = E_{min} / E_m

Uniformidad extrema = E_{min} / E_{max}

Para calcular las iluminancias podemos proceder de dos maneras:

En primer lugar podemos calcularlas 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.

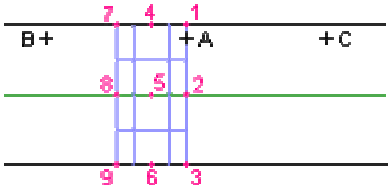
La otra posibilidad es recurrir a un método gráfico. En él, los valores de las iluminancias se obtienen por lectura directa de las curvas isolux. Para ello necesitaremos:

⇒ Las curvas isolux de la luminaria (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias)

⇒ La planta de la calle dibujada en la misma escala que la curva isolux.

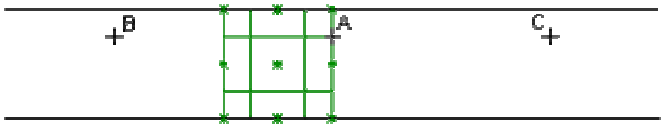
⇒ Una tabla para apuntar los valores leídos.

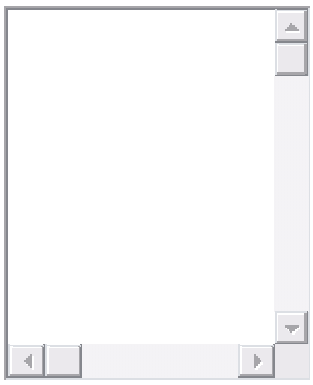
El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta situamos los nueve puntos y las proyecciones de los centros fotométricos de las luminarias sobre la calzada.



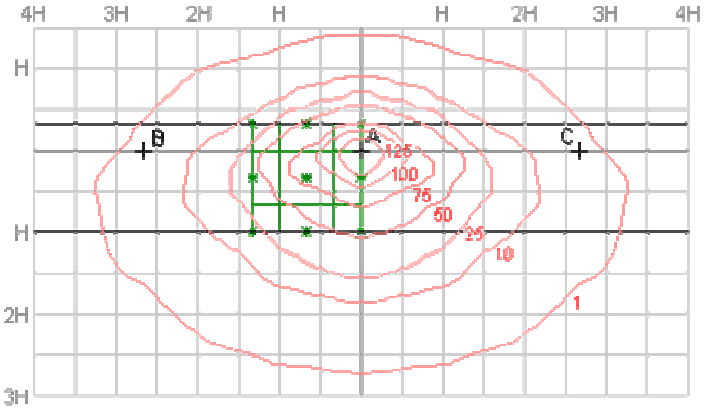
A continuación se superpone sucesivamente la curva isolux sobre el plano de manera que su orígen quede situado sobre la luminaria y los ejes estén correctamente orientados (0-180º paralelo al eje de la calzada y 90º-270º perpendicular al mismo). Se leen los valores de la luminancia en cada punto y se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

Veámoslo mejor con un ejemplo sencillo. Supongamos una calle con luminarias de 20000 lm situadas a una altura de 8 m.



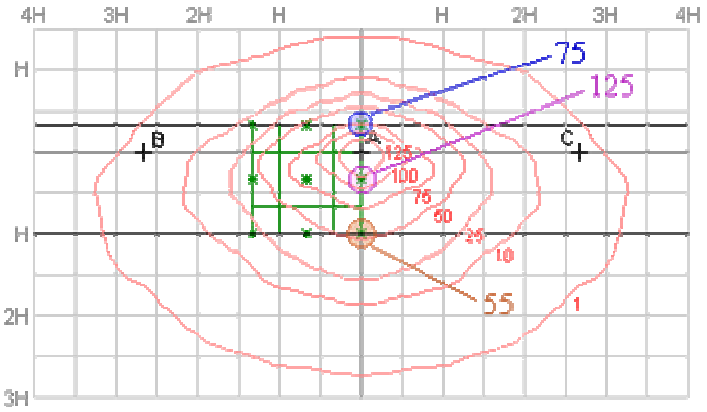


	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A									
B									
C									
$\sum E_{i\,curva}$									
$E_{i\,real}$									



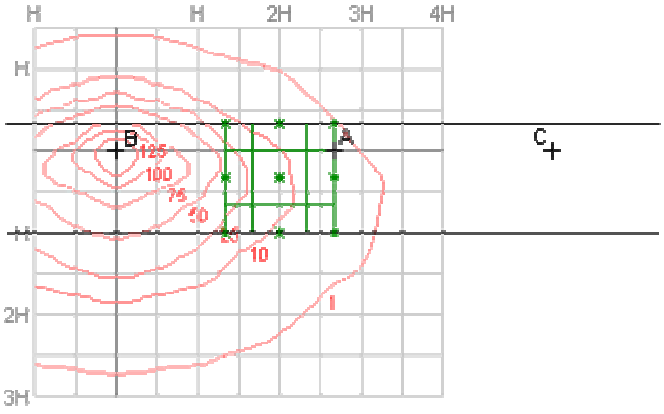
Sobre el plano de la calle superponemos la curva isolux sobre una de las luminarias.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A									
B									
C									
$\sum E_{i\ curva}$									
$E_{i\ real}$									



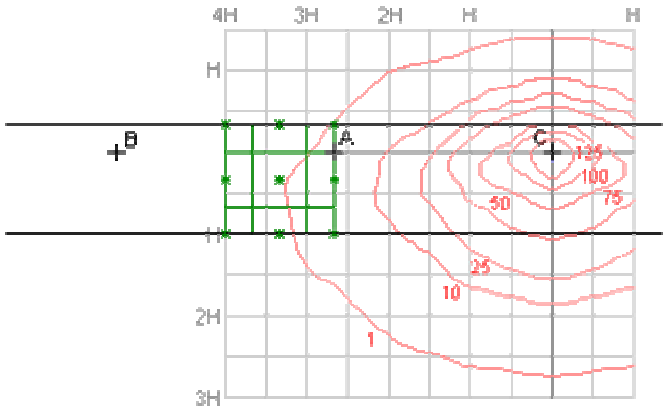
A continuación leemos los valores relativos de la iluminancia en cada punto y los anotamos en la tabla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	75	125	55	50	80	45	15	45	20
B									
C									
$\sum E_{i\ curva}$									
$E_{i\ real}$									



Una vez terminado esto, trasladamos la curva isolux a otra luminaria y repetimos el proceso.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	75	125	55	50	80	45	15	45	20
B	1	5	4	7	15	8	18	45	20
C									
$\sum E_{i\,curva}$									
$E_{i\,real}$									



Finalmente sumamos las contribuciones individuales de cada luminaria sobre cada uno de los puntos y obtenemos sus iluminancias relativas. Por último, sólo queda calcular los valores reales aplicando la fórmula.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	75	125	55	50	80	45	15	45	20
B	1	5	4	7	15	8	18	45	20
C	1	5	4	0	1	0	0	0	0
$\sum E_{i\,curva}$	77	135	63	57	96	53	33	90	40
$E_{i\,real}$	24.1	42.2	19.7	17.8	30	16.6	10.3	28.1	12.5

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, calculamos la iluminancia media y los factores de uniformidad:

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

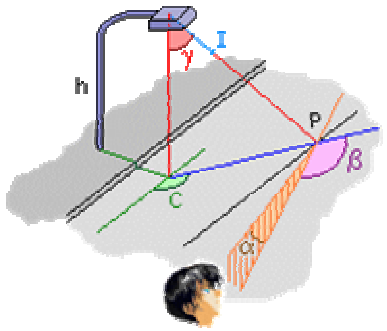
$$U_m = \frac{E_{min}}{E_m} = \frac{10.3}{24.75} = 0.42 \qquad U_{ext} = \frac{E_{min}}{E_{max}} = \frac{10.3}{42.2} = 0.24$$

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.

CÁLCULO 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:



$$L = \sum_{i=1}^{n} \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot r(\beta_i, \gamma_i)}{h_i^2}$$

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 podremos 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 iluminancia 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.

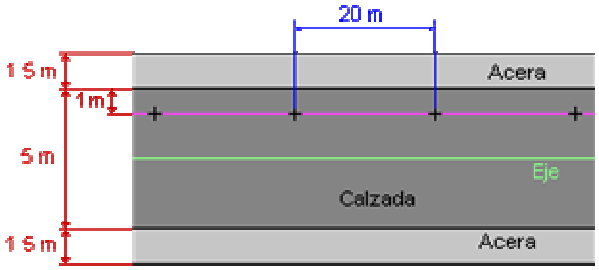
1.2.3 EJERCICIOS DE ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS

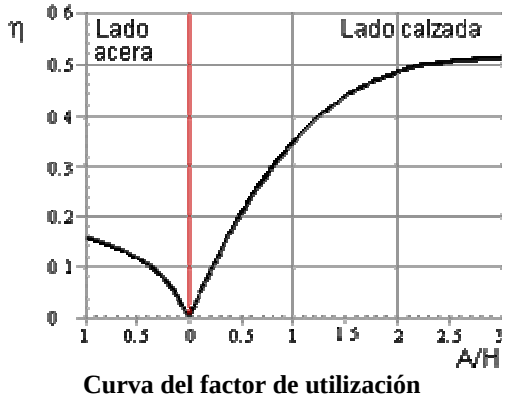
Problemas resueltos

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

Datos: altura de las luminarias 10 m

a. La vía.
b. La calzada.
c. La acera opuesta a la fila de luminarias.
d. La acera más próxima a las luminarias**.**





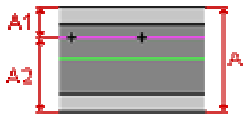
Curva del factor de utilización

Solución

En este problema se nos pide que calculemos el factor de utilización para diferentes partes de la vía. Para ello tendremos 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 que usaremos en los cálculos.

a.- Factor de utilización de la vía:

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



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

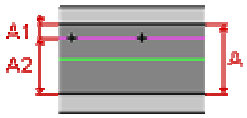
$$\frac{A_2}{h} = \frac{5.5}{10} = 0.55 \Rightarrow \eta_2 = 0.22$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.32$$

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 hemos tenido 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 podemos tener casos en que hay que restar como veremos después.

b.- Factor de utilización de la calzada:

Ahora nos piden el factor de utilización de la calzada. Es decir de la vía sin las aceras.

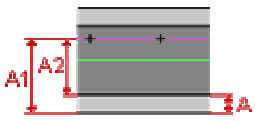


$$\frac{A_1}{h} = \frac{1}{10} = 0.1 \Rightarrow \eta_1 = 0.04$$

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

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.20$$

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

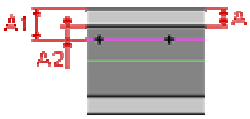


$$\frac{A_1}{h} = \frac{5.5}{10} = 0.55 \Rightarrow \eta_1 = 0.22$$

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

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

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



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

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

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

Así pues, los resultados finales son:

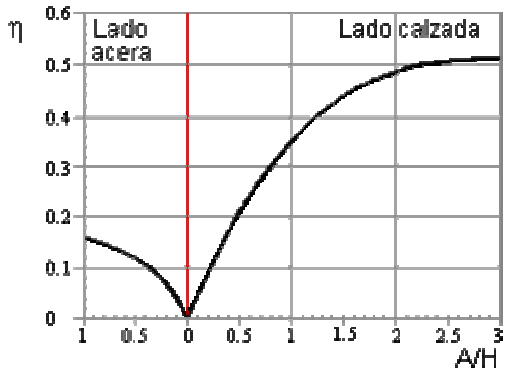
a	0.32
b	0.20
c	0.36
d	0.08

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.

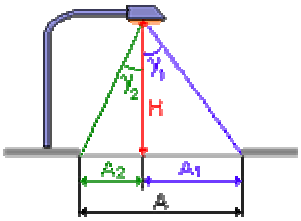
Se considera que el factor de mantenimiento de la instalación es de 0.7 y se suministran las curvas del factor de utilización de la luminaria.



Solución

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

Cálculo del factor de utilización:



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

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

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

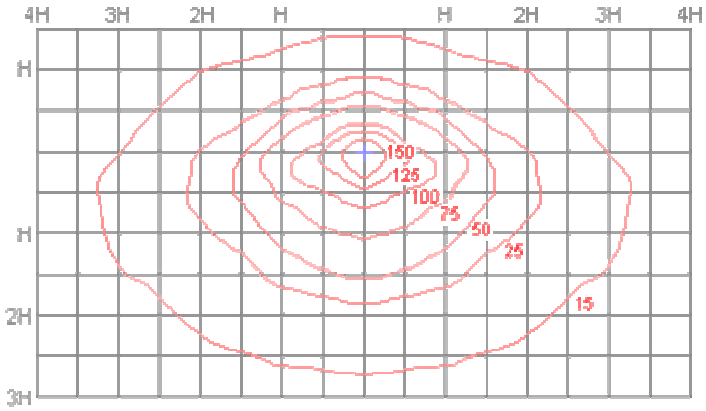
Conocidos todos los datos sólo queda sustituirlos en la fórmula y calcular el valor de d.

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

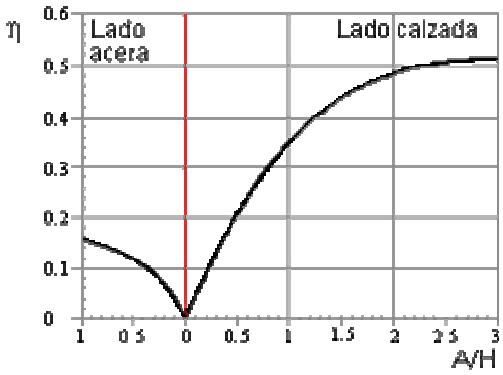
de donde:

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

3. Queremos dimensionar una instalación de alumbrado público de para una calle de una zona rural poco transitada. Cada acera mide 1.5 m y la calzada cinco metros midiendo la calle en total 8 m de anchura. Se ha pensado instalar luminarias abiertas con lámparas de vapor de sodio a alta presión de 250 W y flujo luminoso de 15000 lm. Disponemos asimismo de las curvas isolux de la luminaria y las gráficas del factor de utilización suministradas por el fabricante.



Curva isolux de la luminaria



Curva del factor de utilización

Otros datos: Se considerará que la proyección del centro óptico de la luminaria sobre la calzada estará a 1 m del bordillo.

Determinar:

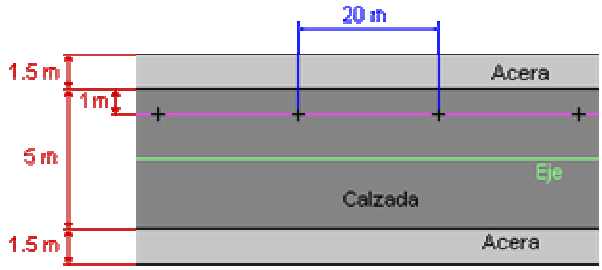
a. La altura de montaje.
b. La disposición más adecuada de las luminarias.
c. El valor de la iluminancia media.
d. La distancia de separación de las luminarias.
e. La iluminancia media en la calzada en el momento de puesta en marcha de la instalación y una vez se produce la depreciación.
f. La iluminancia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

Solución

Este problema podría ser el típico planteamiento de una instalación real. Aquí la información disponible es muy escasa y debemos determinar todos los parámetros de la instalación. Para resolverlo aplicaremos el algoritmo descrito en el método de los lúmenes que nos permitirá conocer todos los datos requeridos excepto los factores de uniformidad. Para estos últimos emplearemos el método de los nueve puntos.

Datos:

Lámpara de vapor de sodio a alta presión de 25000 lm de flujo luminoso



a.- Altura de montaje

Según la tabla que nos da la relación entre el flujo luminoso de la lámpara y la altura de la luminaria para un flujo de 15000 corresponde una altura entre 8 y 10 metros. Por motivos económicos cogeremos postes de 8 m de altura que son más baratos. Por tanto **h = 8 m**.

b.- Disposición de las luminarias

Para conocer la disposición debemos calcular primero el valor de la relación entre el ancho de la calzada y la altura de las luminarias. En nuestro caso es 5/8 = 0.625 que según la correspondiente tabla aconseja una disposición **unilateral**.

c.- El valor de la iluminancia media

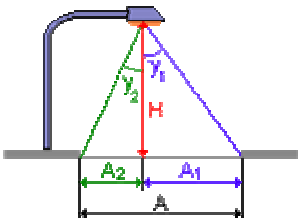
Sabemos que la instalación está situada en una calle de tráfico escaso en una zona rural. Es lógico pensar que las necesidades luminosas serán mínimas y la asimilaremos a una vía del tipo E. Por tanto, le corresponderá una iluminancia media de **25 lx**.

d.- La distancia de separación entre las luminarias

Ya tenemos 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 sabemos que se instalará una luminaria de tipo abierto. Nos queda por decidir si el grado de suciedad del entorno. Como la calle está en una zona rural con poco tráfico podemos 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 le asignaremos el valor de una luminaria abierta en un ambiente medio. Así pues, le asignaremos un valor de **0.68**.

Calculo del factor de utilización:



$$\frac{A_1}{h} = \frac{4}{8} = 0.5 \Rightarrow \eta_1 = 0.2$$

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

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.24$$

Finalmente sólo queda calcular el valor de d.

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

de donde:

$$d = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{E_m \cdot A} = \frac{0.24 \cdot 0.68 \cdot 15000}{25 \cdot 9} = 19.6m$$

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:

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d} = \frac{0.24 \cdot 1 \cdot 15000}{5 \cdot 19.6} = 36.73lx$$

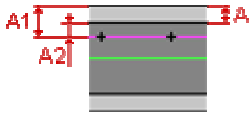
Transcurrido el tiempo el flujo luminoso de la lámpara descenderá por efecto de la suciedad y la depreciación de esta. El nuevo valor de la luminancia será:

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d} = \frac{0.24 \cdot 0.68 \cdot 15000}{5 \cdot 19.6} = 24.98 \text{ lx}$$

f.- La iluminancia media sobre la cada acera.

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

Acera más próxima a las luminarias



$$\frac{A_1}{h} = \frac{2.5}{8} = 0.3125 \Rightarrow \eta_1 = 0.08$$

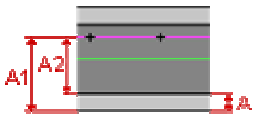
$$\frac{A_2}{h} = \frac{1}{8} = 0.125 \Rightarrow \eta_2 = 0.04$$

$$\eta = \eta_1 - \eta_2 = 0.04$$

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



$$\frac{A_1}{h} = \frac{5.5}{8} = 0.7 \Rightarrow \eta_1 = 0.27$$

$$\frac{A_2}{h} = \frac{4}{8} = 0.5 \Rightarrow \eta_2 = 0.2$$

$$\eta = \eta_1 - \eta_2 = 0.07$$

de donde:

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

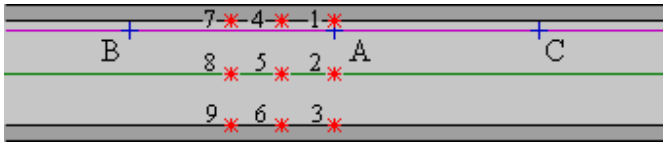
g.- Los factores de uniformidad media y extrema de la calzada.

Para calcular los factores de uniformidad hemos de emplear el método de los nueve puntos. En primer lugar tendremos que elaborar 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 hemos de dividir los parámetros de la calle por este valor. Cuando dispongamos de estos valores relativos, los multiplicaremos por el número de

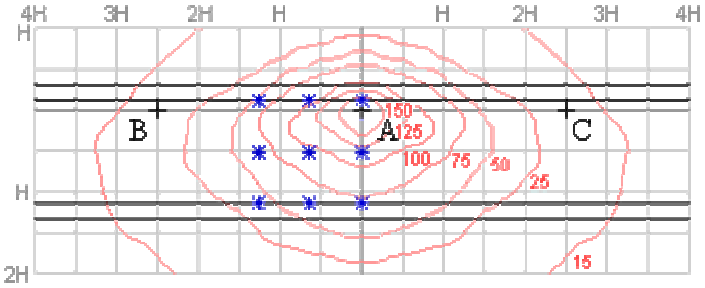
pixeles (milímetros sobre el papel) que corresponden a una unidad de H en el gráfico; en nuestro caso son 42 pixel por unidad de longitud. Resumiendo:

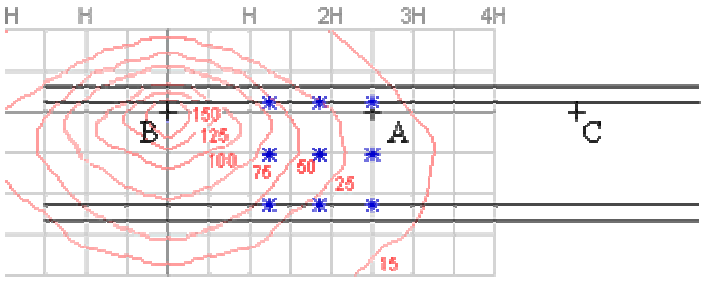
$$y = \frac{x}{h} \cdot r = \frac{x}{8} \cdot 42 \text{ píxel/m}$$

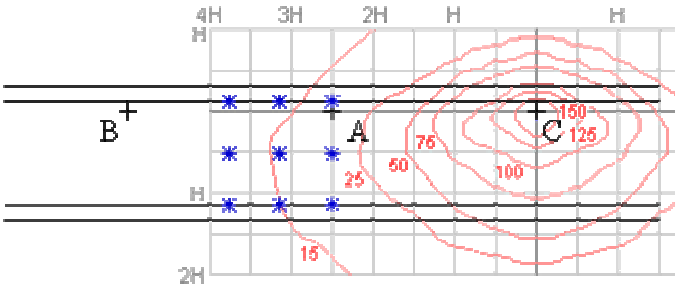
A continuación podemos ver el dibujo de la calle a escala con los nueve puntos ya colocados sobre ella.



Una vez realizado esto podemos pasar a superponer la gráfica sobre las diferentes luminarias y leer los valores de la curva isolux sobre los puntos tal y como hicimos 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

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

$$E_r = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{\Phi_c} \cdot \left(\frac{h_c}{h_r}\right)^2 = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{h_r^2} \cdot \frac{1}{1000} = E_c \cdot \frac{15000}{8^2} \cdot \frac{1}{1000} = 023 \cdot E_c$$

Finalmente, calculamos la iluminancia media y los factores de uniformidad:

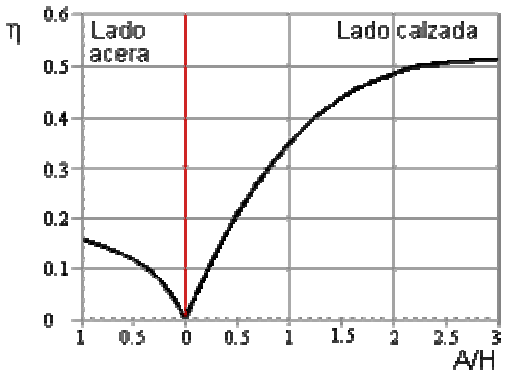
$$U_m = \frac{E_{min}}{E_m} = \frac{21.8}{34} = 0.64 \qquad U_{ext} = \frac{E_{min}}{E_{max}} = \frac{21.8}{44.6} = 0.49$$

$E_m = 34$ 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 hemos de multiplicarlo por el factor de mantenimiento (0.68). Obtenemos entonces un valor de 23.12 lx. La pequeña discrepancia existente con el otro método (24.29) se puede deber a inexactitudes al elaborar los gráficos y a errores de apreciación en la lectura de los mismos.

Problemas propuestos

1. Queremos iluminar una calzada de 7 metros de anchura con aceras de 2 metros con una iluminancia media de 25 lux utilizando lámparas de halogenuros metálicos de 250 W de potencia y un flujo de luminoso de 20000 lm. Las luminarias se instalarán a una altura de 10 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. 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.



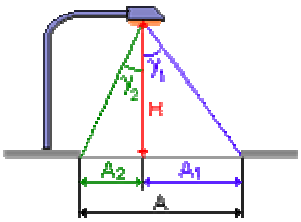
Hallar:

a. La distancia entre las luminarias
b. La iluminancia media de la calzada en el momento de puesta en servicio y después de producirse la depreciación
c. La iluminancia media del carril más próximo a la fila de luminarias
d. La iluminancia media de la acera más alejada de las luminarias

Ver resultados

E_m (sin depreciación)	27.5 lx
E_m (con depreciación)	19.25 lx
U_m	0.69
U_{ext}	0.56

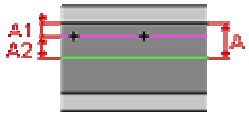
Ver solución



$$\frac{A_1}{h} = \frac{6}{10} = 0.6 \Rightarrow \eta_1 = 0.24$$

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

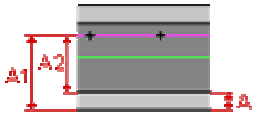
$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.28$$



$$\frac{A_1}{h} = \frac{1}{10} = 0.1 \Rightarrow \eta_1 = 0.04$$

$$\frac{A_2}{h} = \frac{2.5}{10} = 0.25 \Rightarrow \eta_2 = 0.12$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.16$$



$$\frac{A_1}{h} = \frac{8}{10} = 0.8 \Rightarrow \eta_1 = 0.3$$

$$\frac{A_2}{h} = \frac{6}{10} = 0.6 \Rightarrow \eta_2 = 0.24$$

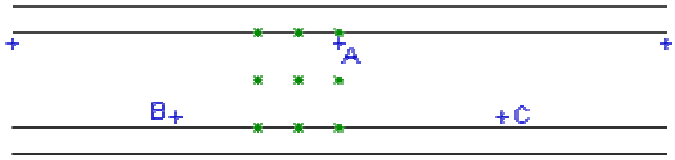
$$\eta = \eta_1 - \eta_2 = 0.06$$

2. Calcular la iluminancia media y los coeficientes de uniformidad media y extrema para la calle de la figura usando el método de los nueve puntos.

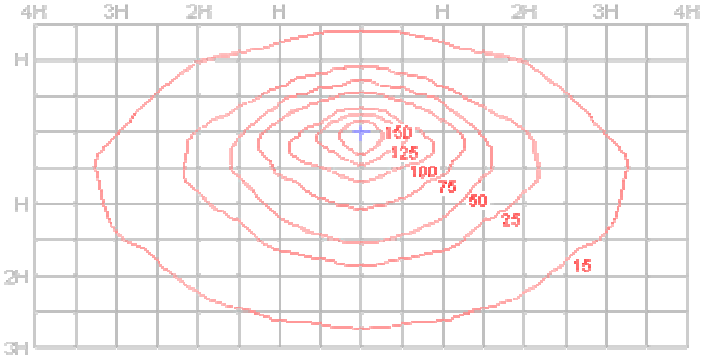
Datos:

- **factor de mantenimiento: 0.7**
- **tipo de lámpara: halogenuros metálicos de 250 W de potencia**
- **flujo de la lámpara: 20000 lm**
- **altura de las luminarias: 10 m**
- **disposición de las lámparas: tresbolillo**

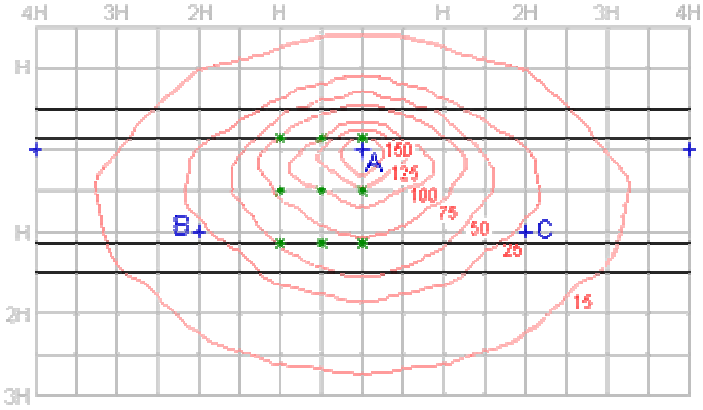
Se proporcionan asímismo el plano a escala de la calle y el gráfico isolux de la luminaria



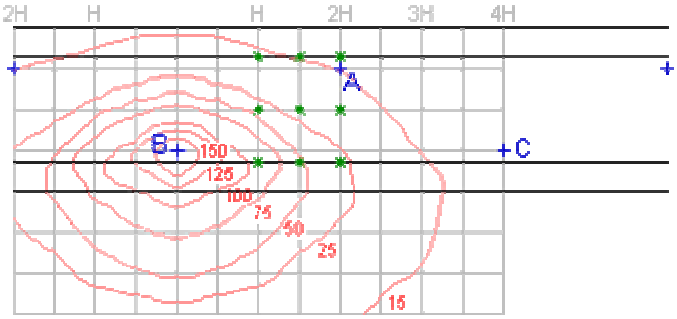
Plano de la calle



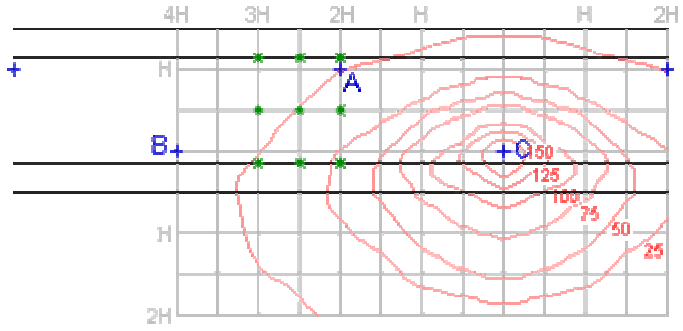
Curva isolux



Curva isolux superpuesta sobre la luminaria A



Curva isolux superpuesta sobre la luminaria B



Curva isolux superpuesta sobre la luminaria C

Ver resultados

a	d = 22 m
b	E_m = 36.4 lx (sin depreciación) E_m = 25.5 lx (con depreciación)
c	E_m = 29.1 lx
d	E_m = 19.1 lx

Solución

Para resolver este problema hemos de aplicar el método de los nueve puntos. Para ello iremos superponiendo las curvas sucesivamente sobre las luminarias A, B y C y anotaremos los resultados en una tabla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	150	125	70	100	100	65	75	80	50
B	10	20	30	15	20	50	17	45	90
C	10	20	30	5	15	20	3	10	15
$\sum E_{i\ curva}$	170	165	130	120	135	135	95	135	155
$E_{i\ real}$	34	33	26	24	27	27	19	27	31

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

$$E_r = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{\Phi_c} \cdot \left(\frac{h_c}{h_r}\right)^2 = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{h_r^2} \cdot \frac{1}{1000} = E_c \cdot \frac{20000}{10^2} \cdot \frac{1}{1000} = 0.2 \cdot E_c$$

Finalmente, calculamos la iluminancia media y los factores de uniformidad:

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_m} = \frac{19}{27.5} = 0.69 \qquad U_{ext} = \frac{E_{min}}{E_{max}} = \frac{19}{34} = 0.56$$

E_m = 27.5 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 hemos de multiplicarlo por el factor de mantenimiento (0.7). Obtenemos entonces un valor de 19.25 lx.

1.2.4 ALUMBRADO DE ÁREAS 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 conveniente analizar los usos y requerimientos de la vía para determinar los niveles de alumbrado más adecuado y las lámparas y luminarias a utilizar.

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.

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.

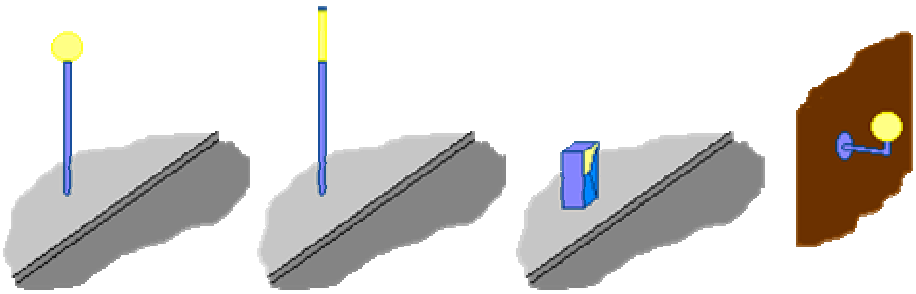
Clasificación según el uso nocturno hecho por los peatones	Categoría	Nivel medio iluminancia Em (lux)	Nivel mínimo iluminancia Emin (lux)
Calles en zonas privilegiadas (áreas comerciales, de ocio...)	P1	20	7.5
Calles de uso alto	P2	10	3.0
Calles de uso moderado	P3	7.5	1.5
Calles de uso menor. Solamente 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	-	-

CIE (1995)

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.



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.

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

1.2.5 ALUMBRADO DE TÚNELES

En la iluminación de túneles, y en general de cualquier tramo de vía cubierta, se busca proporcionar unas condiciones de seguridad, visibilidad, economía y fluidez adecuadas para el tráfico rodado. En túneles cortos, menos de 100 m, no será necesario iluminar salvo de noche o en circunstancias de poca visibilidad. En los largos, será necesario un estudio individualizado de cada caso. Para ello es necesario analizar los problemas que representan los túneles para los vehículos en condiciones de día o de noche, el mantenimiento necesario y las características de los equipos de alumbrado a instalar.

ILUMINACIÓN DIURNA

Cuando nos aproximamos a un túnel de día, la primera dificultad que encontramos es el llamado **efecto del agujero negro**. En él, la entrada se nos presenta como una mancha oscura en cuyo interior no podemos distinguir nada. Este problema, que se presenta cuando

estamos a una distancia considerable del túnel, se debe a que la luminancia ambiental en el exterior es mucho mayor que la de la entrada. Es el fenómeno de la inducción.

INDUCCIÓN

La inducción se produce cuando no es posible distinguir un objeto de otros a su alrededor por mucho tiempo que se mire. Esto se debe a que su luminancia es muy inferior a la del campo de distribución de luminancias del resto de objetos del campo visual. Dicho de forma sencilla, es un problema de contrastes de luminancias entre un cuerpo y el resto del campo visual.



Figura 1

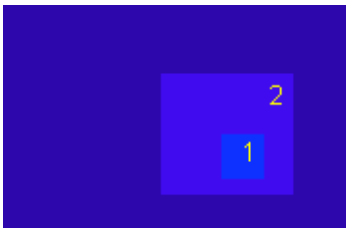


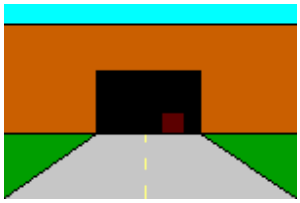
Figura 2



Figura 3

Observemos la figura 1, en ella vemos un cuadrado azul con el número 1 sobre un fondo blanco. Podemos distinguirlo fácilmente porque el contraste es muy grande. En la figura 2, nuestro cuadrado se halla dentro de otro, el número 2, sobre un fondo azul oscuro y si nos fijamos podemos distinguirlos aunque sean de colores similares. Pero en la figura 3, uno y dos están sobre un fondo blanco. A simple vista, cuesta distinguir un poco a uno porque el contraste entre dos y el fondo blanco predomina sobre el que hay entre los cuadrados 1 y 2.

Esto es lo que pasa en los túneles. Cualquier objeto situado en su interior tiene una luminancia muy baja comparada con la de otros objetos que ocupan el campo visual (el cielo, las montañas, la carretera, etc.) pero similar a la de la entrada. Esto hace que si nos encontramos cerca, y por tanto veamos grande la entrada, los podamos diferenciar; pero si estamos lejos, y vemos la entrada pequeña, nos sea imposible distinguirlos.



Efecto del agujero negro

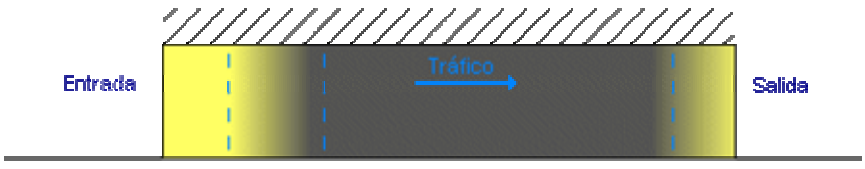
A medida que nos acercamos a la entrada, esta va ocupando una mayor porción del campo visual y nuestros ojos se van adaptando progresivamente al nivel de iluminación de su interior. Pero si la transición es muy rápida comparada con la diferencia entre las luminancias exterior e interior, sufriremos una ceguera momentánea con visión borrosa hasta llegar a un nuevo estado de adaptación visual. Es lo mismo que ocurre cuando, en un día soleado, entramos en un portal oscuro y durante unos instantes no vemos con claridad. Es el fenómeno de la adaptación.

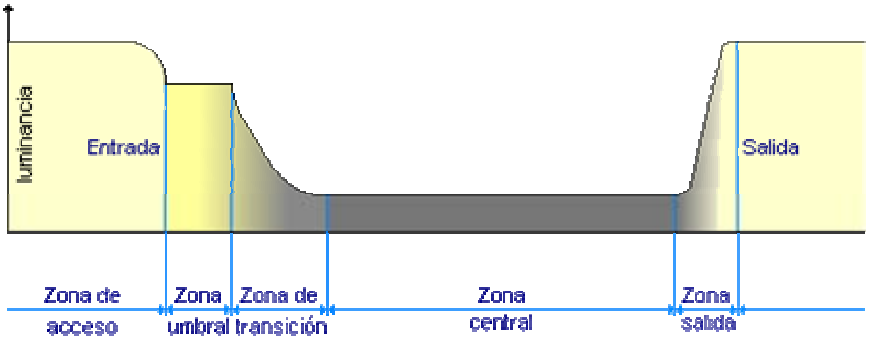
ADAPTACIÓN

La adaptación es la capacidad del ojo para ajustarse a los cambios en los niveles de iluminación. No es un proceso inmediato, ya que depende del tiempo de reacción del ojo, que es muy rápido al pasar de ambientes oscuros a luminosos pero apreciablemente más lento en caso contrario.

Cuando el cambio es brusco, por ejemplo el flash de una cámara, se produce una ceguera temporal durante la cual no vemos con claridad los objetos a nuestro alrededor.

Se trata, por lo tanto, de un problema de diferencia de niveles de luminancia entre el exterior (3000-8000 cd/m^2) y el interior del túnel (5-10 cd/m^2). Podríamos pensar que manteniendo un valor de luminancia próximo al exterior en toda su longitud habríamos resuelto el problema, pero esta solución es antieconómica. Lo que se hace en túneles largos, con densidad de tráfico elevada o cualquier otra circunstancia que dificulte la visión, es reducir progresivamente el nivel de luminancia desde la entrada hasta la zona central. En la salida no hay que preocuparse de esto pues al pasar de niveles bajos a altos esta es muy rápida. Así pues, podemos dividir los túneles en varias zonas según los requerimientos luminosos:





Niveles de luminancia requeridos en un túnel de tráfico unidireccional

- Zona de acceso
- Zona de entrada
    - Zona de umbral.
    - Zona de transición.
- Zona central.
- Zona de salida.

Zona de acceso

Antes de establecer la iluminación necesaria en la entrada del túnel, debemos determinar el nivel medio de luminancia en la zona de acceso o luminancia externa de adaptación. Este magnitud se calcula a partir de las luminancias de los elementos del campo visual del observador como puedan ser el cielo, los edificios, las montañas, los árboles, la carretera, etc. y su valor oscila entre 3000 y 10000 cd/m^2.



Zona llana y descubierta



Zona montañosa



Zona edificada

En zonas llanas y descubiertas donde el cielo ocupa la mayor parte del campo visual podemos tomar un valor máximo de 8000 cd/m^2. Mientras en las zonas montañosas o edificadas donde cobran mayor importancia las luminancias de los edificios, las montañas, la carretera o los árboles se adopta un valor de 10000 cd/m^2.

Región	**Luminancia máxima (cd/m^2)**
Llana y descubierta	8000
Montañosa o edificada	10000

Sin embargo, estos valores orientativos no excluyen de un cálculo más riguroso de la luminancia de la zona de acceso siguiendo las recomendaciones y normas vigentes.

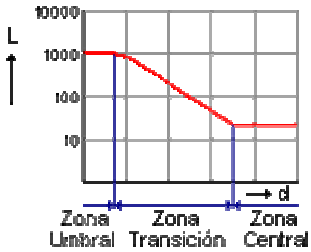
Zona de umbral

Para proporcionar al conductor una información visual adecuada (Un conductor tiene una información visual adecuada cuando puede distinguir en el 75% de los casos un objeto crítico de 20 por 20 cm con un contraste del 20% sobre el fondo a una distancia de 100 m.) en la entrada del túnel, la iluminación debe ser por lo menos un 10% de la luminancia de la zona de acceso en un tramo de longitud aproximadamente igual a la distancia de frenado del vehículo (entre 40 y 80 m para velocidades comprendidas entre 50 y 100 km/h). Como aún así la luminancia necesaria es muy alta y supone un consumo importante de energía, se pueden intentar rebajar aplicando medidas especiales.

La primera de ellas es rebajar el límite de velocidad en el túnel y hacer que los vehículos usen sus propias luces. De esta manera se facilita el proceso de adaptación y se reduce la distancia de frenado y por tanto la longitud de la zona de umbral. Asimismo, conviene emplear materiales no reflectantes oscuros en calzada y fachadas en la zona de acceso para rebajar la luminosidad y otros claros con propiedades reflectantes de la zona de umbral para maximizarla. También es conveniente evitar que la luz directa del Sol actúe como fondo de la entrada del túnel. A tal efecto conviene cuidar la orientación geográfica, maximizar el tamaño de la entrada, plantar árboles y arbustos que den sombra sobre la calzada, usar paralúmenes, etc. En estos últimos casos hay que tener cuidado en regiones frías porque en invierno pueden favorecer la aparición de hielo en la calzada además de otros problemas. Por último, es posible crear una zona iluminada con farolas antes de la entrada para favorecer la orientación visual y atraer la mirada del conductor hacia el túnel.

Zona de transición

Como al llegar al final de la zona de umbral el nivel de luminancia es todavía demasiado alto, se impone la necesidad de reducirlo hasta los niveles de la zona central . Para evitar los problemas de adaptación, esta disminución se efectúa de forma gradual según un gradiente de reducción o en su defecto una curva escalonada con relaciones de 3 a 1 entre luminancias. Estas curvas, obtenidas empíricamente, dependen de la velocidad de los vehículos y la diferencia entre las luminancias de las zonas umbral e interior.



Curva de reducción de la luminancia

Zona central

En la sección central de los túneles el nivel de luminancia se mantiene constante en valores bajos que rondan entre 5 y 20 cd/m^2 según la velocidad máxima permitida y la densidad de tráfico existente. Es conveniente, además, que las paredes tengan una luminancia por lo menos igual a la de la calzada para mejorar la iluminación en el interior del túnel.

Zona de salida

En la salida las condiciones de iluminación son menos críticas pues la visión se adapta muy deprisa al pasar de ambientes oscuros a claros. Los vehículos u otros obstáculos se distinguen con facilidad porque sus siluetas se recortan claramente sobre el fondo luminoso que forma la salida. Esto se acentúa, además, si las paredes tienen una reflectancia alta. En estas condiciones, la iluminación sirve más como referencia y basta en la mayoría de los casos con unas 20 cd/m^2 para obtener buenos resultados.

ILUMINACIÓN NOCTURNA

En ausencia de luz diurna, iluminar un túnel resulta mucho más sencillo. Basta con reducir el nivel de luminancia en el interior del túnel hasta el valor de la iluminación de la carretera donde se encuentra o si esta no está iluminada que la relación entre las luminancias interior y exterior no pase de 3 a 1 para evitar problemas de adaptación. En este último caso se recomienda un valor aproximado entre 2 y 5 cd/m^2. Hay que tener en cuenta que aunque no se presente el efecto del agujero negro en la entrada sí se puede dar en la salida. Por ello es recomendable iluminar la carretera a partir de la salida durante un mínimo de 200 m para ayudar a la adaptación visual.

Equipos de alumbrado

Las **lámparas** utilizadas en los túneles se caracterizan por una elevada eficiencia luminosa y larga vida útil. Por ello se utilizan lámpara fluorescentes o de vapor de sodio a baja presión dispuestas en filas continuas en paredes o techos. En la entrada, donde los requerimientos luminosos son mayores se instalan lámparas de halogenuros metálicos o de vapor de sodio a alta presión.

En el caso de las **luminarias**, estas deben ser robustas, herméticas, resistentes a las agresiones de los gases de escape y los productos de limpieza. Además de ser de fácil instalación, acceso y mantenimiento. Debido a los gases de escape y partículas en suspensión es conveniente una limpieza periódica. Momento que se puede aprovechar para sustituir las lámparas fundidas aunque conviene también establecer un plan de sustitución periódica de todas las lámparas a la vez según el ciclo de vida de las mismas para garantizar un nivel de iluminación óptimo.

La distribución de las luminarias es muy importante; ha de garantizar una distribución uniforme de la luz sobre la calzada, el control del deslumbramiento, el nivel de luminancia, etc. Pero además, los túneles presentan dos dificultades añadidas: el efecto cebra y el efecto del parpadeo o *flicker*. El **efecto cebra** se produce por la aparición sucesiva de zonas claras y oscuras ante el conductor que puede llegar a sentir una sensación de molestia e incluso mareo debido a una baja uniformidad de las luminancias en el túnel. El **efecto de parpadeo o *flicker*** se produce por cambios periódicos de los niveles de luminancia (unos reflejos, unas lámparas...) en el campo visual según unas frecuencias críticas (entre 2.5 y

15 ciclos/segundo) que provocan incomodidad y mareos y se evita colocando los aparatos en filas continuas o con una separación adecuada.

Como las condiciones de iluminación en el exterior varían con la climatología y con las horas del día es conveniente instalar un **sistema de regulación** automática de la iluminación interior. Esta se hace gradualmente, con variaciones entre los estados inicial y final inferiores a 3 a 1. Para simplificar, se distingue entre tres niveles de iluminación: diurno, nocturno y crepuscular para los días nublados.

Es necesario disponer, además, de un **sistema de alumbrado de emergencia** que garantice unos niveles mínimos de iluminación en caso de apagón. En este sentido hay que garantizar por lo menos el funcionamiento de una de cada tres luminarias.

Mantenimiento

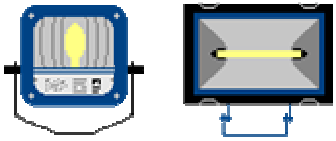
Para mantener en buenas condiciones el sistema de iluminación del túnel y conservar unos niveles óptimos es necesario realizar una serie de operaciones periódicamente como la sustitución de las lámparas o la limpieza de las luminarias, paredes y calzada. Además de contar con un sistema de ventilación eficaz que evacue los humos, gases de escape y partículas en suspensión que dispersan la luz. Asímismo, para maximizar la iluminación en el interior del túnel conviene que el techo, las paredes y la calzada sean de materiales con alta reflectancia pero sin brillos, fáciles de limpiar y resistentes a las agresiones.

1.2.6 PROYECTORES: CONCEPTOS Y CÁLCULOS

Los ámbitos de aplicación de la iluminación con proyectores o por inundación son diversos y abarcan campos como la iluminación de áreas de trabajo o industriales, de fachadas y monumentos, de instalaciones deportivas y algunas aplicaciones en alumbrado viario (plazas, túneles, etc.). A continuación veremos los proyectores, las herramientas de cálculo y las aplicaciones.

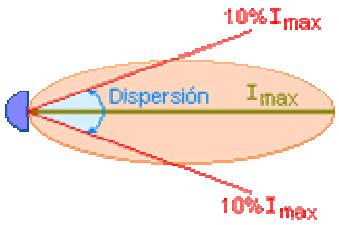
Proyectores

Un **proyector** es una luminaria que concentra la luz en un determinado ángulo sólido mediante un sistema óptico (espejos o lentes), para conseguir una intensidad luminosa elevada en dicha zona. Las lámparas empleadas son muy variadas dependiendo del uso al que este destinado el aparato.



Ejemplos de proyectores

Los proyectores se clasifican según la **apertura o dispersión** del haz de luz que se define como el ángulo comprendido entre las dos direcciones en que la intensidad luminosa cae un determinado porcentaje (usualmente el 10% o el 50%) del valor máximo que hay en el centro del haz donde la intensidad es máxima.



Dispersión o apertura del haz

Clasificación de las luminarias según la apertura del haz de luz

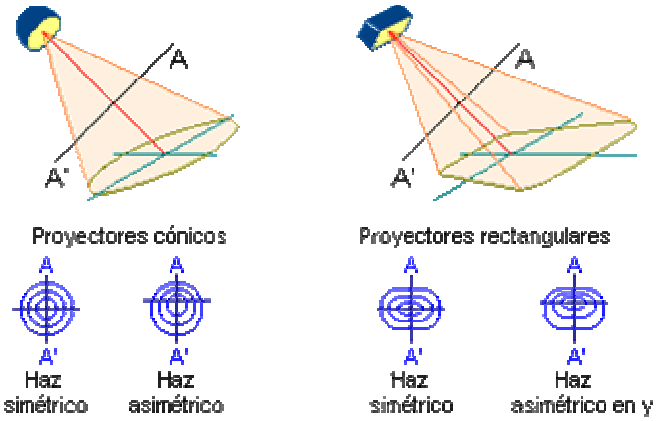
Tipo abertura	Apertura del haz en grados (50% I_{max})
Pequeña	<20

Clase	Apertura del haz en grados (10% I_{max})
1	10-18

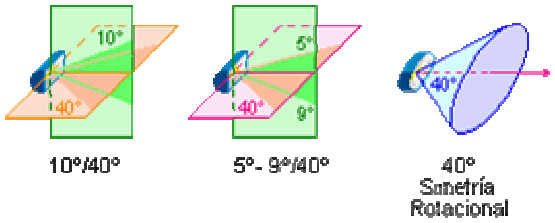
Mediana	entre 20 y 40
Grande	>40

2	18-29
3	29-46
4	46-70
5	70-100
6	100-130
7	>130

La **forma de la distribución del haz** de luz depende del tipo de proyector. Así, en los proyectores circulares puede ser cónico o cónico ligeramente asimétrico, obteniendose una proyección elíptica sobre las superfícies iluminadas. Mientras, en los rectangulares suele ser simétrica en los planos horizontal y vertical; aunque en este último plano también puede ser asimétrica y la proyección obtenida tiene entonces forma trapezoidal.



Para la **denominación** de un proyector basta indicar los ángulos de abertura en sus planos de simetría (vertical y horizontal normalmente). Por ejemplo, 10º/40º indica un proyector que tiene en el plano vertical 5º a cada lado del eje central y 20º en cada lado en el plano horizontal.



Finalmente, la **eficacia del haz** es la relación entre los lúmenes contenidos dentro de la abertura del haz (lúmenes del haz) y los lúmenes de la lámpara en tanto por ciento.

$$\text{Eficacia del haz}(\%) = \frac{\text{lúmenes del haz}}{\text{lúmenes de la lámpara}}$$

Cálculo de instalaciones con proyectores

A la hora de plantearse un proyecto de iluminación por inundación, hay que empezar estudiando el **ámbito de aplicación** de nuestra instalación. Los más habituales son:

- ⇒ Iluminación de áreas de trabajo o industriales
- ⇒ Iluminación de edificios y monumentos
- ⇒ Iluminación de instalaciones deportivas
- ⇒ Aplicaciones en alumbrado viario

En cada una de estas aplicaciones, podremos encontrar los **niveles de iluminación** más adecuados para garantizar una correcta iluminación.

Una vez realizados los pasos anteriores seguiremos con la **elección de los proyectores**. Una regla a tener en cuenta es que mientras más lejos los coloquemos de la zona a iluminar, más estrecha será la apertura del haz necesaria. Por otro lado, para conseguir una buena uniformidad conviene solapar los bordes de los haces de los proyectores que iluminan la superficie a tratar. El **emplazamiento** de los proyectores depende de la aplicación a que destinemos la instalación y del entorno circundante. En zonas pequeñas puede bastar con un único poste donde estén todos los proyectores; mientras que en otras recurriremos a varios postes.

El **cálculo** del número de proyectores necesarios es muy sencillo y se realiza con el método de los lúmenes. Si se requiere más precisión, como en retransmisiones deportivas por TV, recurriremos al método del punto por punto. Para grandes instalaciones como estadios deportivos u otras análogas conviene realizar los cálculos por ordenador debido a su enorme complejidad.

Método del flujo luminoso o de los lúmenes

$$N = \frac{E_m \cdot S}{\Phi \cdot CBU \cdot f_m}$$

Donde:

- ⇒ **N** es el número de proyectores necesarios.
- ⇒ $\mathbf{E_m}$ es la iluminancia media recomendada para cada aplicación.
- ⇒ **S** es la superficie a iluminar en m^2.
- ⇒ Φ es el flujo luminoso de un proyector.
- ⇒ **CBU** es el coeficiente de utilización del haz (*Coefficient of Beam Utilization*) que se define como la relación entre los lúmenes que llegan a la superficie iluminada y los lúmenes del haz. Su valor que oscila entre 0.6 y 0.9.
- ⇒ $\mathbf{f_m}$ es el factor de mantenimiento cuyo valor está entre 0.65 y 0.80. Sirve para cuantificar la disminución del flujo luminoso por el envejecimiento de las lámparas y por la suciedad acumulada en estas y el proyector.

Una vez realizados los cálculos, conviene hacer una **comprobación** de los resultados para verificar la bondad de los resultados. Los parámetros de calidad que se acostumbran a utilizar son la **iluminancia media** (E_m) de la instalación y la **uniformidad media** (E_{min} / E_m).

1.2.7 ALUMBRADO CON PROYECTORES APLICACIONES

Los principales campos de aplicación de la iluminación con proyectores o por inundación son la iluminación de áreas de trabajo o industriales, de edificios y monumentos, de instalaciones deportivas y algunos usos en alumbrado viario.

ILUMINACIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO O INDUSTRIALES

Las áreas de trabajo o industriales son grandes zonas situadas al aire libre, como zonas en construcción, aparcamientos, muelles de carga, puertos, estacionamientos, etc... Los proyectores se suelen instalar agrupados en postes altos (de 20 a 30 metros), separados entre sí de 1.5 a 3 o incluso más veces la altura de montaje, facilitando así los movimientos en la zona de trabajo. De esta manera, también se consigue disminuir el problema del deslumbramiento al quedar las luminarias fuera del ángulo de visión. En estas instalaciones se suelen usar lámparas de sodio a alta presión y las de halogenuros metálicos.

Actividad (Orientativo)	**Iluminación media horizontal en servicio (lux)**	**Uniformidad E_{min} / E_m**
Vigilancia	5	0.15
Almacenamiento	10	0.15
Trabajo muy basto	20	0.20
Trabajo básico	50	0.25
Trabajo normal	100	0.30
Trabajo gran nivel detalle	200	0.50

ILUMINACIÓN DE EDIFICIOS Y MONUMENTOS

Aunque los edificios han sido diseñados para verse de día con la luz solar, se pueden conseguir de noche y con una iluminación adecuada interesantes efectos que atraigan la atención de los transeúntes sobre los mismos. Es cuestión de aplicar imaginación, creatividad, estética y técnica a cada caso particular.

A la hora de iluminar edificios hay que distinguir dos casos. En primer lugar los edificios funcionales, con fachadas simples sin elementos decorativos destacables, como los típicos edificios de fachadas de cristal, donde se aplica una **iluminación uniforme**, de aspecto

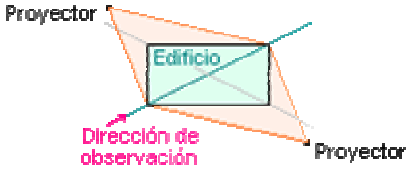
plano y sin relieve. Tienen la ventaja de que se necesitan pocos puntos de luz aunque la situación de los proyectores, lejos del edificio, puede ser un inconveniente.

En segundo lugar tenemos los edificios con elementos arquitectónicos destacables como cornisas, frisos, relieves, etc... que necesitan un tratamiento especial, una **iluminación no uniforme**, que realce estos elementos y cree una impresión de relieve mediante juegos de luces y sombras, contrastes de color y/o brillo, etc. Para ello, se usan proyectores colocados estratégicamente en la fachada procurando minimizar los daños en la misma.

Unos **consejos** útiles antes de empezar son estudiar las direcciones y distancia de observación que servirán para determinar dónde colocar los proyectores. Analizar la luminancia ambiental teniendo en cuenta que mientras mayor sea esta, mayor será la luminancia necesaria para que el edificio destaque. Ver qué obstáculos hay presentes en la dirección de observación como árboles, vallas, setos, etc.; en estos casos es recomendable poner los focos entre el edificio y los obstáculos para que sólo se vean sus siluetas. Aumentar la luminancia de la parte alta del edificio para aumentar su altura aparente, eliminar sombras no deseadas con proyectores situados sobre la fachada o aumentando la distancia de estos a la fachada, aprovechar el efecto de espejo sobre el agua, etc.







Disposición de los proyectores en un edificio de planta rectangular

Los **niveles de luminancia** dependen de las características de los materiales empleados (reflectancia, textura y color) y de la luminancia de los alrededores. A modo de ejemplo podemos citar la piedra calcárea (40-320 lux), el granito (50-500 lux) o el ladrillo (30-500

lux). Como podemos ver, son intervalos muy amplios cuyos valores dependen de cada caso particular.

Las **lámparas** a utilizar son muy variadas y dependen de los efectos que queramos conseguir. Lo más normal es emplear lámparas de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos (cuando se requiera una buena reproducción del color) o vapor de sodio (materiales pétreos de tonos cálidos).

APLICACIONES EN ALUMBRADO VIARIO

En este campo los proyectores se reservan para la iluminación de nudos de comunicaciones, plazas, estacionamientos y en general de cualquier otra situación donde la instalación de luminarias tradicionales suponga complicaciones para la orientación, dificultades técnicas, etc. Presentan la ventaja de que simplifican la instalación al haber menos puntos de luz y producen una iluminación más uniforme y agradable.

ILUMINACIÓN DE INSTALACIONES DEPORTIVAS

El objetivo de iluminar instalaciones deportivas ya sean interiores o exteriores es ofrecer un ambiente adecuado para la práctica y disfrute de actividades deportivas por parte de jugadores y público. Lógicamente, las exigencias variarán según el tipo de instalación (recreo, entrenamiento o competición) y el nivel de actividad (amateur, profesional o retransmisión por televisión).

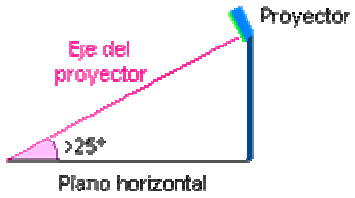
Iluminar este tipo de instalaciones no es fácil, pues hay que asegurarse de que los jugadores y demás objetos en movimiento sean perfectamente visibles independientemente de su tamaño, posición en el campo, velocidad y trayectoria. Por ello es importante tanto el valor de la iluminancia horizontal como la vertical, aunque en la práctica esta última sólo se tiene en cuenta en las retransmisiones televisivas donde es necesario un buen modelado que destaque las formas de los cuerpos.

Los **niveles de iluminación** recomendados varían con la actividad y el grado de profesionalidad, pero sin entrar en detalles podemos recurrir a la siguiente tabla.

Actividad	$E_{Horizontal}$ (lux)	Uniformidad E_{min}/E_{med}
Entrenamiento, recreo	200-300	1:2

Competición	500-700	1:1.5

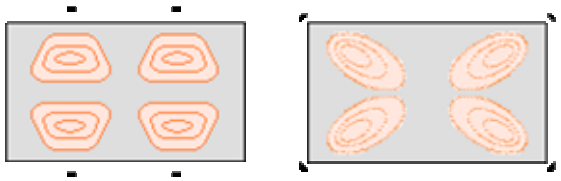
Para evitar problemas de **deslumbramiento** que dificulten el normal desarrollo del juego, especialmente en deportes donde hay que mirar hacia arriba, conviene tomar medidas como instalar luminarias apantalladas, reducir el número de puntos de luz agrupando los proyectores o evitar colocarlos perpendicularmente a la línea de visión principal. Es conveniente montar las fuentes de luz a una altura adecuada; para el caso de instalaciones exteriores y visto desde el centro del campo, el ángulo formado por el plano horizontal y el eje de cualquier proyector de la batería debe ser superior a 25º.



Altura de montaje de las luminarias

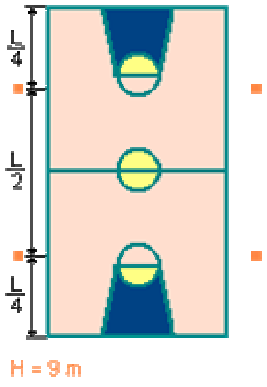
Las **lámparas** a utilizar dependerán de la finalidad de la instalación. En instalaciones de competición, se usan lámparas de halogenuros metálicos por sus altas prestaciones. Pero en otros casos puede bastar con lámparas halógenas o de mercurio y sodio a alta presión; más baratas.

Las **luminarias**, en instalaciones exteriores, se disponen normalmente en torres colocadas en los laterales, en las esquinas del campo o en una combinación de ambas. En el primer caso se emplean proyectores rectangulares cuya proyección sobre el terreno tiene forma trapezoidal obteniendo como valor añadido un buen modelado de los cuerpos. En el segundo caso se emplean los circulares que dan una proyección en forma elíptica.

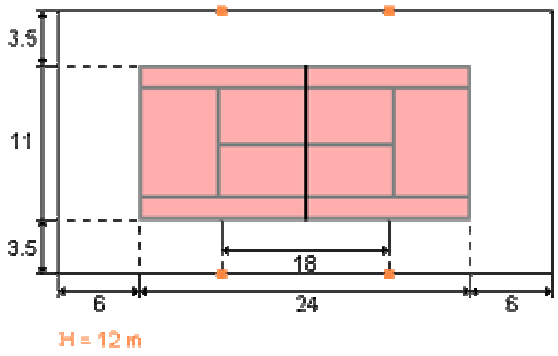


Proyector rectangular Proyector circular

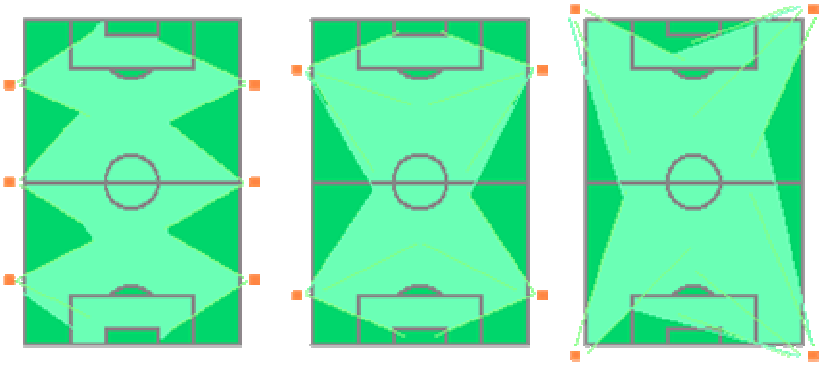
A continuación se ofrecen algunos ejemplos de **disposiciones típicas** de proyectores en instalaciones de entrenamiento de exteriores.



Baloncesto



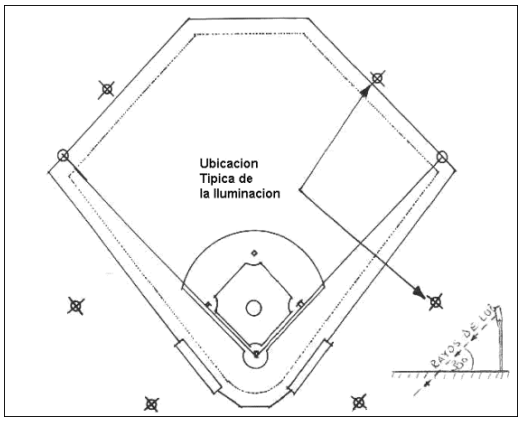
Tenis

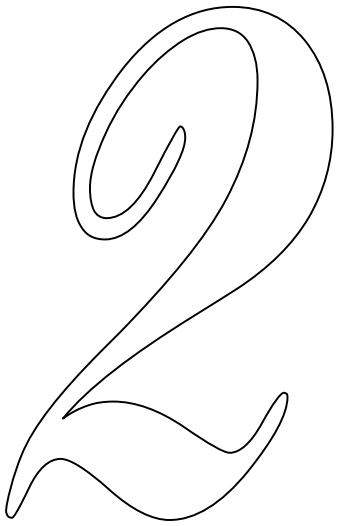


Futbol

La iluminación de un campo debe ser cuidadosamente diseñada para entregar una completa distribución de luces a la cancha sin perjudicar la habilidad de los jugadores para ver una bola tirada o bateada. El diagrama indica la ubicación preferida de seis torres de iluminación alrededor del campo de juego. Estos deben estar de manera que el centro de cada rayo de luz no esté a menos de 30 grados sobre el plano del terreno. Proporcionar un nivel de iluminación mínima de cien pie-bujía en le infield y 70 pie-bujía en el outfield medidos horizontalmente a una altura de 3 pies (un metro). Para partidos televisados, se requieren niveles de 150 ó 100 pie-bujía. Entregar luz adicional al bullpen y a los espacios públicos y estacionamientos

Nota: Pie-Bujía = 10.764 Lux





INSTALACIONES ELÉCTRICAS

2.1 MÉTODOS DE INSTALACIONES Y MATERIALES.

2.1.1 Conceptos básicos

El cálculo de las instalaciones eléctricas requiere de algunos conceptos elementales, tales como el de: Sistema Internacional de Medidas y Electricidad. Lo anterior, especialmente para aquellos orientados al nivel de técnicos, en donde debe prevalecer la parte práctica, pero sin descuidar los conceptos fundamentales que permitan comprender mejor las cosas y tomar mejores decisiones.

Sistema internacional de unidades (si).

El "*SI*" es el primer sistema de unidades de medición compatible, esencialmente completo y armonizado internacionalmente, está fundamentado en 7 unidades de base, cuya materialización y reproducción objetiva de los patrones correspondientes, facilita a todas las naciones que lo adopten para la estructuración de sus sistemas metrológicos a los más altos niveles de exactitud. Además, al compararlo con otros sistemas de unidades, se manifiestan otras ventajas entre las que se encuentran la facilidad de su aprendizaje y la simplificación en la formación de las unidades derivadas.

El SI es un sistema coherente de unidades adoptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

Este sistema está compuesto por:

- ⇨ *unidades SI de base*
- ⇨ *unidades SI derivadas*

Unidades "si" de base.

Unidades de medida de las magnitudes de base del Sistema Internacional de Unidades.

Las unidades de base del SI son 7, correspondiendo a las siguientes magnitudes: longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica, intensidad luminosa y cantidad de sustancia. Los nombres de las unidades son respectivamente: metro, kilogramo, segundo, ampere, kelvin, candela y mol. Las magnitudes, unidades, símbolos y definiciones se describen en la tabla 1.

Unidades "si" derivadas.

Son unidades que se forman combinando entre sí las unidades de base, o bien, combinando éstas con las unidades derivadas, según expresiones algebraicas que relacionan las magnitudes correspondientes de acuerdo a leyes simples de la física.

Estas unidades se obtienen a partir de las unidades de base, se expresan utilizando los símbolos matemáticos de multiplicación y división. Se pueden distinguir tres clases de unidades: la primera, la forman aquellas unidades SI derivadas expresadas a partir de unidades de base de las cuales se indican algunos ejemplos en las tablas 2 y 3.

La segunda la forman las unidades SI derivadas que reciben un nombre especial y símbolo particular, la relación completa se cita en la tabla 4.

La tercera la forman las unidades SI derivadas expresadas con nombres especiales, algunos ejemplos de ellas se indican en la tabla 5.

Pero existen gran cantidad de unidades derivadas que se emplean en las áreas científicas, correspondiendo a un número equivalente de campos de las más importantes de la física.

2.1.2 Definiciones

Corriente eléctrica.

Siempre que cargas eléctricas del mismo signo están en movimiento, se dice que existe una corriente. La corriente (I) es la rapidez con la cual fluye la carga (movimiento perpendicular) a través de una superficie. La unidad de corriente en el SI es el ampere (A). Cuando las cargas fluyen a través de la superficie, pueden ser positivas, negativas o ambas. Por convención se escoge la dirección de la corriente como la dirección en la cual fluyen las cargas positivas. En un conductor como el cobre, la corriente se debe al movimiento de los electrones cargados negativamente. Por lo tanto, cuando hablamos de corriente en un conductor ordinario, como el alambre de cobre, la dirección de la corriente será opuesta a la dirección del flujo de electrones.

$$I = \frac{Q}{t}$$

Donde:

I es la corriente eléctrica en amperes (A)

Q es la carga eléctrica en coulombs (C)

t es el tiempo en segundos (s)

La corriente expresada en ampere es:

$$Ampere = \frac{Coulomb}{Segundo}$$

$$1Ampere = \frac{1Coulomb}{Segundo}$$

Es decir, $1A$ de corriente equivale a que 1Coulomb de carga que pase a través de una superficie en $1s$.

Voltaje.

Una batería o cualquier dispositivo que produzca energía eléctrica se llama fuerza electromotriz, por lo general referida como fem (ε). (La frase fuerza electromotriz no es muy afortunada, ya que en realidad no describe una fuerza sino, de hecho, se refiere a una diferencia de potencial en Volts.)

Una fuente de fem es cualquier dispositivo (como una batería o generador) que aumenta la energía potencial de las cargas que circulan en el circuito. Una fuente de fem fuerza a los electrones a moverse en dirección opuesta al campo electrostático interno de la fuente. El voltaje (V) es la diferencia de potencial entre dos terminales de una fem y por lo tanto la unidad en el SI de la fem (tensión eléctrica, potencial eléctrico, diferencia de potencial o fuerza electromotriz) es el volt (V).

La diferencia de potencial entre dos puntos se define como el cambio de energía potencial dividido entre la carga de prueba.

$$V_B - V_A = \frac{\left(U_B \cdot U_A\right)}{q} = \frac{\Delta U}{q}$$

Donde:

ΔU es el cambio de energía potencial

q es la carga de prueba

ΔV es la diferencia de potencial.)

Como la diferencia de potencial es una medida de la energía por la unidad de carga, las unidades de potencial en el SI son joules por Coulomb, la cual se define como una unidad llamada Volt (V):

$$1V = \frac{1J}{C}$$

Es decir, se debe realizar 1J de trabajo para llevar una carga de 1C a través de una diferencia de potencial de 1V.

El voltaje expresado en Volts es:

$$Volt = \frac{Joul}{Coulomb}$$

Resistencia eléctrica.

Resistencia es la propiedad de un objeto o sustancia que hace que se resista u oponga al paso de una corriente eléctrica. La resistencia de un circuito eléctrico determina —según la llamada ley de Ohm— cuánta corriente fluye en el circuito cuando se le aplica un voltaje determinado. La unidad de resistencia eléctrica en el SI es el ohmio (Ω), que es la resistencia de un conductor si es recorrido por una corriente de un amperio cuando se le aplica una tensión de 1 voltio. La abreviatura habitual para la resistencia eléctrica es *R,* y el símbolo del ohmio es la letra griega omega.

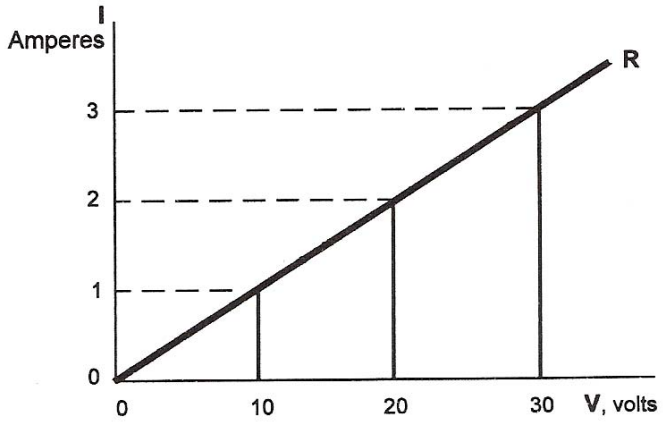
La resistencia de un conductor viene determinada por una propiedad de la sustancia que lo compone, conocida como conductividad, por la longitud por la superficie transversal del objeto, así como por la temperatura. A una temperatura dada, la resistencia es proporcional a la longitud del conductor e inversamente proporcional a su conductividad y a su superficie transversal. Generalmente, la resistencia de un material aumenta cuando crece la temperatura.

La ley de ohm.

En el año de 1827, George Simon Ohm observó la relación entre el voltaje aplicado V, la corriente I y la resistencia R. Encontró que para un valor fijo de resistencia, circula una corriente para un voltaje aplicado.

Si el voltaje se duplica también se duplica la corriente, si se triplica el voltaje se triplica la corriente. Es decir, "si se mantiene el valor de la resistencia constante, la corriente es directamente proporcional al voltaje".

Esta relación se puede expresar gráficamente dibujando a I contra el valor de V, como se muestra en la figura siguiente:



LA LEY DE OHM EN SU FORMA GRAFICA

La Ley de Ohm. Originalmente, esta relación la expresó Ohm en la siguiente forma:

$$R = \frac{V}{I} = K$$

Donde:

R es la resistencia en ohms (Ω)

V es la diferencia de potencial en volts (V)

I es la corriente en amperes *(A)*

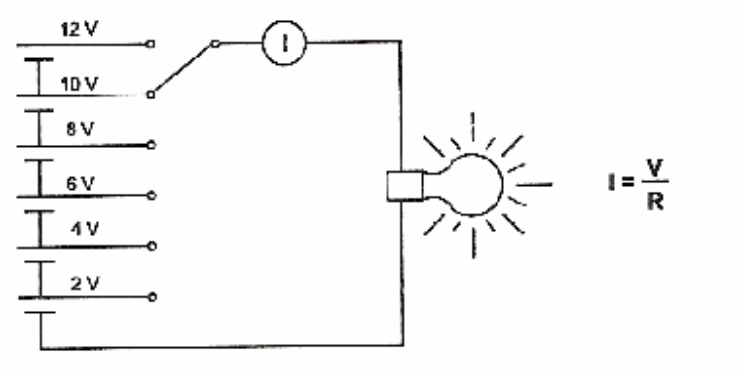
K es la constante de proporcionalidad.

La resistencia eléctrica expresada en ohm es:

$$Ohms = \frac{Volts}{Amperes}$$

Otras formas de la ley de ohm.

La corriente se puede calcular de la expresión: $I = \frac{V}{R}$ si se mantiene la misma resistencia en un circuito, pero si varía el voltaje la corriente varía también. El circuito siguiente permite ilustrar esta idea:



Al aumentar el voltaje se incrementa la corriente lo cual se manifiesta como una mayor intensidad luminosa de la lámpara.

La corriente expresada en amperes es: $Amperes = \frac{Volts}{Ohms}$

Potencia eléctrica.

La unidad de potencia eléctrica es el Watt (W) en honor de James Watt (1736-1819). Un Watt .de potencia es igual al trabajo desarrollado en un segundo por una diferencia de potencial de 1 Volt para mover un Coulomb de carga.

De acuerdo con la definición de corriente, 1 $\frac{Coulomb}{Segundo}$ es igual a 1 ampere, por lo tanto, la potencia en Watts es igual al producto de los Volts por los amperes.

Potencia en $Watts = Volts \cdot Amperes$

$$P = V \cdot I$$

Disipación de potencia en una resistencia.

Cuando circula la corriente eléctrica por una resistencia se produce calor, debido a la fricción entre los electrones libres en movimiento y los átomos que obstruyen el flujo de los electrones. El calor es una evidencia de que la potencia se usa para producir la corriente eléctrica. Este es el principio usado en los fusibles para protección de las instalaciones eléctricas, en donde el calor resultante de las altas corrientes funde al elemento fusible.

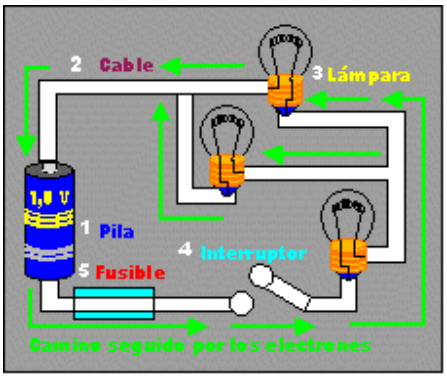
Dado que la potencia es disipada en la resistencia de un circuito, es conveniente entonces, expresar también la potencia en términos de la resistencia R, de manera que la fórmula:

$P = V \cdot I$ se puede modificar sustituyendo $V = R \cdot I$ como:

$P = R \cdot I_2$

Circuito en serie.

Siempre que las partes o componentes de un circuito estén conectadas, de manera que se constituya una trayectoria única para el paso de la corriente, se dice que las partes están "conectadas en serie"; cuando todas las partes están conectadas en serie, incluyendo la fuente, se tiene un circuito serie.



Conexión de resistencias en serie.

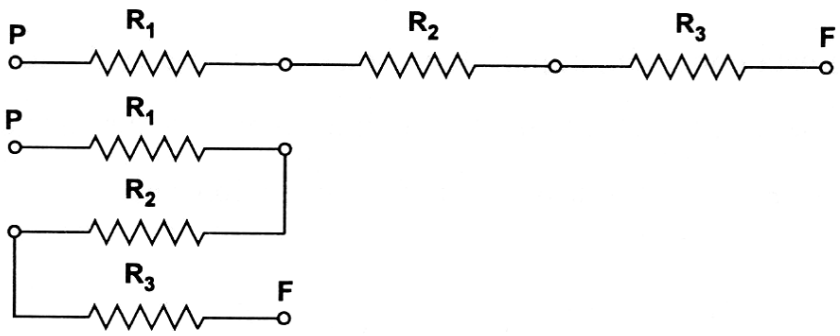
Las resistencias o los elementos usados como resistencias, denominados resistores, se conectan en serie simplemente conectando el principio y el final de cada uno; la geometría no importa, ya que lo importante es que se tenga solo una trayectoria para la corriente.

Del concepto de que la resistencia es la oposición al flujo de corriente, cuando los resistores se conectan en serie, cada uno suma al otro su oposición. Este concepto se establece en una de las propiedades fundamentales de los circuitos en serie:
"La resistencia total de un circuito en serie es la suma de las resistencias individuales".

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_N$$

Donde:

R_n es el parámetro que representa el número de resistores en el circuito.



ALGUNAS GEOMETRIAS DE CONEXION EN SERIE DE RESISTORES

Circuito paralelo.

En un circuito paralelo, las resistencias se conectan en forma separada a la fuente. La instalación eléctrica de una casa habitación es un ejemplo típico un circuito paralelo. Son tres las reglas básicas para los circuitos en paralelo:

El voltaje en cada rama es el mismo. Dado que las ramas están conectadas todas a la misma fuente de voltaje (o al mismo par de nodos del circuito), no es posible para la rama tener un voltaje diferente.

La corriente total que demanda un circuito paralelo es la suma de las corrientes en cada rama. Cada rama demanda una corriente de carga separada de la fuente, de manera que la corriente total de carga proporcionada o suministrada por la fuente debe ser igual a la suma de las corrientes que demandan las ramas.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_N$$

La resistencia total de un circuito en paralelo es menor que la resistencia de cualquiera de las ramas.

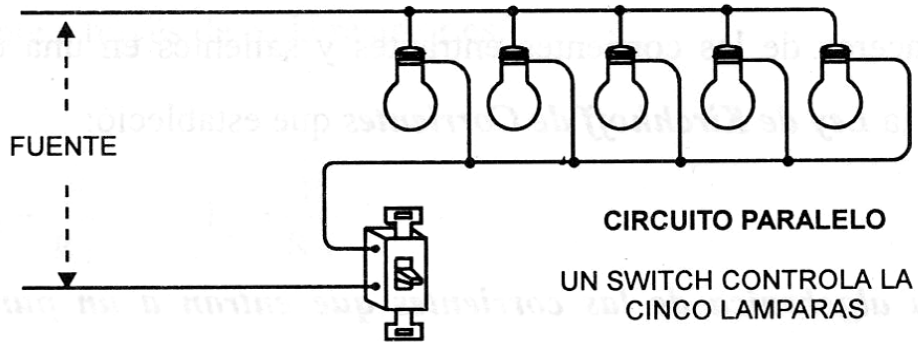
La conexión más común en las instalaciones eléctricas es la denominada paralelo, en ésta, cuando una lámpara se funde o es removida, la corriente a cada una de las otras lámparas puede ser conservada en forma independiente del número de lámparas que sean. En forma clásica, para el estudio de los circuitos eléctricos se consideran a los circuitos resistivos, y entonces se dice que los resistores están conectados en paralelo cuando aparece el mismo voltaje a través de cada componente. Cuando se tienen distintos valores de resistencias, circulan diferentes valores de corriente a través de cada resistor. La corriente total que se demanda de la alimentación es la suma de las corrientes en los resistores individuales.

El valor de la resistencia equivalente de un circuito de resistores en paralelo se calcula más fácilmente usando la inversa del valor de cada resistencia (es decir, usando valores de conductancia)

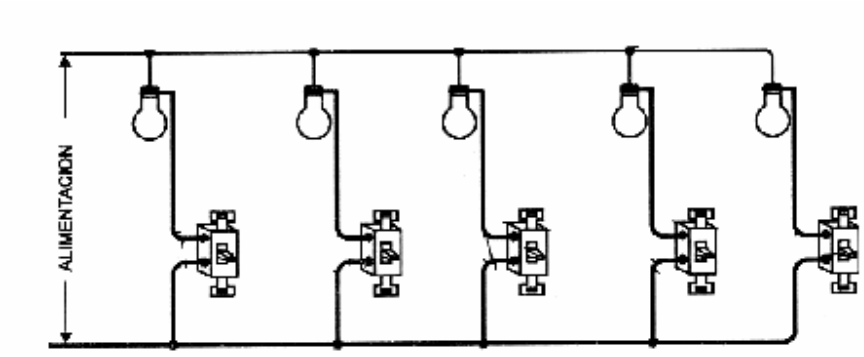
Conductancia eléctrica.

En algunos cálculos eléctricos se emplea el inverso de la resistencia, 1/R, que se denomina conductancia eléctrica y se representa por G. La unidad de conductancia eléctrica en el SI es el siemens, cuyo símbolo es S. Aún puede encontrarse en ciertas obras la denominación antigua de esta unidad, mho.

La conexión paralelo representa la forma más común de conexión de elementos en las instalaciones eléctricas. Algunos ejemplos típicos son los siguientes:



Un circuito en donde varias lámparas en paralelo son controladas por un sólo apagador, puede tener aplicación para controlar el alumbrado de grandes áreas o en granjas, pero en una casa habitación nunca se controlan todas las lámparas por un sólo apagador. En la práctica, es igual de sencillo alambrar o instalar cualquier número de bases (sockets) con apagadores separados. En la



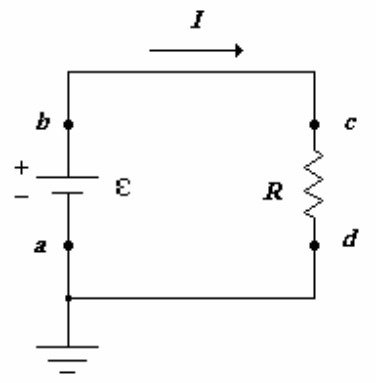
La figura siguiente se muestra esta conexión con un apagador por lámpara.

En forma semejante a la conexión anterior, si en lugar de cada lámpara se tiene un grupo de lámparas, entonces cada apagador puede controlar un grupo de lámparas, como se muestra en la figura siguiente:

Energía eléctrica y potencia eléctrica.

Si una batería se utiliza para establecer una corriente eléctrica en un conductor, existe una trasformación continua de energía química almacenada en la batería a energía cinética de los portadores de carga. Esta energía cinética se pierde rápido como resultado de las colisiones de los portadores de carga con el arreglo de iones, ocasionando un aumento en la temperatura del conductor. Por lo tanto, se ve que la energía química almacenada en la batería es continuamente trasformada en energía térmica.

Considérese un circuito simple que consista de una batería cuyas terminales estén conectadas a una resistencia R, como se muestra en la siguiente figura:



La terminal positiva de la batería (la placa más larga) está al mayor potencial, mientras que la terminal negativa (la placa más corta) está en el potencial más bajo. Ahora imagínese que se sigue una cantidad de carga positiva ΔQ moviéndose alrededor del circuito desde el punto *a* a través de la batería y de la resistencia, y de regreso hasta el punto a. El punto a es el punto de referencia que está aterrizado y su potencial se ha tomado como cero. Como la carga se mueve desde a hasta *b* a través de la batería, su energía potencial eléctrica aumenta en una cantidad $V\,\Delta Q$ (donde V es el potencial en b) mientras que la energía potencial

química en la batería disminuye por la misma cantidad. (Recuérdese que $\Delta U = q \cdot \Delta V$) Sin embargo, como la carga se mueve desde *c* hasta *d* a través de la resistencia, pierde esta energía potencial eléctrica por las colisiones con los átomos en la resistencia, lo que produce energía térmica. Obsérvese que si se desprecia la resistencia de los alambres interconectores no existe pérdida en la energía en las trayectorias *bc* y *da*. Cuando la carga regresa al punto a, debe tener la misma energía potencial (cero) que tenía al empezar."

La rapidez con la cual la carga ΔQ pierde energía potencial cuando pasa a través de la resistencia esta dada por

$$\Delta Q = \frac{\Delta U}{\Delta T} = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta t} \right) \cdot V = I \cdot V$$

donde I es la corriente en el circuito. Es cierto que la carga vuelve a ganar esta energía cuando pasa a través de la batería. Como la rapidez con la cual la carga pierde la energía es igual a la potencia perdida en la resistencia, tenemos

$P = I \cdot V$

En este caso, la potencia se suministra a la resistencia por la batería. Sin embargo, la ecuación puede ser utilizada para determinar la potencia trasferida a cualquier dispositivo que lleve una corriente I, y tenga una diferencia de potencial V entre sus terminales.

Utilizando la ecuación y el hecho de que V = IR para una resistencia, se puede expresar la potencia disipada en las formas alternativas:

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

Cuando I esta en amperes, V en Volts, y R en ohms, la unidad de potencia en el SI es el Watt (W). Un Watt de potencia es igual al trabajo desarrollado en un segundo por la diferencia de potencial de 1 Volt para mover un Coulomb de carga.

Cuando circula la corriente eléctrica por una resistencia se produce calor, debido a la fricción entre los electrones libres en movimiento y los átomos que obstruyen el flujo de los electrones. El calor generado se utiliza en muchos dispositivos comunes (plancha, estufa, secadora, etc.). El calor es una evidencia de que la potencia se usa para producir la corriente eléctrica. Este es el principio usado en los fusibles para protección de las instalaciones eléctricas, en donde el calor resultante de las altas corrientes funde al elemento fusible. La potencia perdida como calor en un conductor de resistencia R se llama calor joule; sin embargo, es frecuentemente referido como una perdida I^2R.

Despreciando la resistencia interna de la batería, la diferencia de potencial entre los puntos a y b es igual a la fem ε de la batería. Es decir, $V = V_b - V_a = \varepsilon$, y la corriente en el circuito está dada por $I = \frac{V}{R} = \frac{\varepsilon}{R}$. Como $V = \varepsilon$, la potencia suministrada por la fem se puede expresar como $P = I \cdot \varepsilon$, lo cual por supuesto es igual a la potencia perdida $I^2 \cdot R$

La unidad de energía que utiliza la compañía eléctrica para calcular el consumo de energía, el kilowatt-hora, esta definida en términos de la unidad de potencia. Un kilowatt-hora (kWh) es la energía convertida o consumida en l h a una rapidez constante de l kW. El valor numérico de lkWh es

$1KWh = 10.3W \cdot 3600s = 3.6 \cdot 106J$

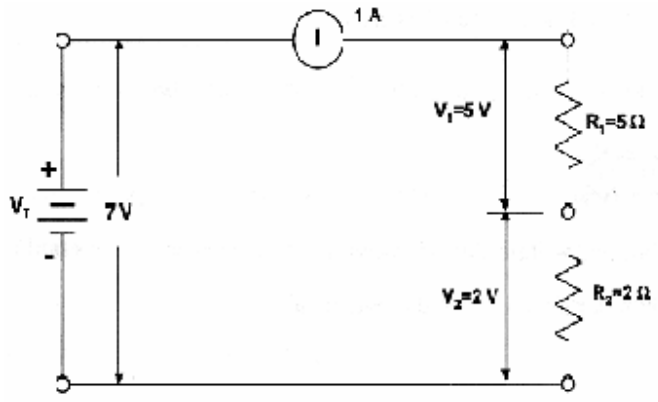
En su recibo eléctrico, la cantidad de electricidad utilizada es comúnmente establecida en múltiplos de kWh.

Caídas de voltaje.

Cuando circula una corriente I a través de una resistencia, se sabe por la Ley de Ohm, que el voltaje a través de la resistencia es igual a $R \cdot I$. Este voltaje $R \cdot I$ a través de cada

resistencia, se conoce como "La caída de voltaje", debido a que reduce la diferencia de potencial disponible para las resistencias restantes en el circuito serie.

Existen varias formula aplicables a la Caída de Voltaje en función del tipo de voltaje eléctrico aplicado y a la alimentación eléctrica.



El circuito muestra un ejemplo de caída de potencial V_1 y V_2.

También la suma de las caídas de voltaje $R \cdot I$, es igual al voltaje aplicado V_T en el circuito serie, es decir se cumple en general que:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + ... + V_N$$

Definición de instalación eléctrica.

Se entiende por instalación eléctrica al conjunto integrado por canalizaciones, estructuras, conductores, accesorios y dispositivos que permiten el suministro de energía eléctrica desde las centrales generadoras hasta el centro de consumo, para alimentar a las máquinas y aparatos que la demanden para su funcionamiento.

Para que una instalación eléctrica sea considerada como segura y eficiente se requiere que los productos empleados en ella estén aprobados por las autoridades competentes, que esté diseñada para las tensiones nominales de operación, que los conductores y sus aislamientos cumplan con lo especificado, que se considere el uso que se dará a la instalación y el tipo de ambiente en que se encontrará.

2.1.3 Objetivo de una instalación eléctrica.

Puede decirse que el objetivo fundamental de una instalación eléctrica es el cumplir con los requerimientos planteados durante el proyecto de la misma, tendientes a proporcionar el servicio eficiente que satisfaga la demanda de los aparatos que deberán ser alimentados con energía eléctrica.

Para dar apoyo a lo anteriormente citado tendrán que con juntarse los factores siguientes:

Seguridad contra accidentes e incendios.

Ya que la presencia de la energía eléctrica significa un riesgo para el humano, se requiere suministrar la máxima seguridad posible para salvaguardar su integridad así como la de los bienes materiales.

Eficiencia y economía.

En este rubro deberá procurarse conciliar lo técnico con lo económico y es donde el proyectista deberá mostrar su ética profesional para no perjudicar al cliente.

Accesibilidad y distribución.

Es necesario ubicar adecuadamente cada parte integrante de la instalación eléctrica, sin perder de vista la funcionabilidad y la estética.

Mantenimiento.

Con el fin de que una instalación eléctrica aproveche al máximo su vida útil, resulta indispensable considerar una labor de mantenimiento preventivo adecuada.

2.1.4 Clasificación de las instalaciones eléctricas.

Las instalaciones eléctricas pueden clasificarse tomando como base varios criterios. Si se consideran las etapas de generación, transformación, transmisión y distribución tendríamos que hablar de las centrales eléctricas, de los transformadores elevadores, de las líneas de transmisión, de las subestaciones reductoras y de las redes de distribución.

Si clasificamos a las instalaciones eléctricas en función de sus voltajes de operación, necesariamente habría que mencionarse: alta tensión, extra alta tensión, mediana tensión y baja tensión.

Para efectos de nuestra guía clasificaremos a las instalaciones eléctricas como residenciales, comerciales e industriales, las cuales se explican por sí mismas.

Tomando en cuenta la anterior clasificación y considerando las características de los locales o de las áreas donde se desarrollarán las instalaciones, estas pueden denominarse como a continuación se cita:

- ⇨ Totalmente visibles
- ⇨ Visibles entubadas
- ⇨ Temporales
- ⇨ De emergencia
- ⇨ Parcialmente ocultas
- ⇨ Ocultas
- ⇨ A prueba de explosión

Totalmente visibles.

En este caso, todas las partes componentes de la instalación eléctrica se encuentran a la vista y sin ningún elemento que le sirva como protección contra esfuerzos mecánicos, ni como protección en contra del medio ambiente.

Visibles entubadas.

Las instalaciones eléctricas son así realizadas, ya que las estructuras de la construcción y el material de los muros impiden el ahogar las canalizaciones, en este caso si existe protección mecánica y contra los factores ambientales.

Temporales.

Este tipo de instalaciones se construyen para abastecer de energía eléctrica por períodos de tiempo cortos, como es en el caso de ferias, carnavales, exposiciones, juegos mecánicos, servicios en obras en proceso, etcétera.

De emergencia.

Cuando se requiere contar con suministro continuo de energía eléctrica, se coloca una planta de emergencia que generalmente se pone en operación automáticamente al faltar la energía que proporciona la compañía suministradora. Es muy usual encontrar este tipo de instalaciones en grandes centros comerciales, hospitales, teatros, cines y en industrias que cuentan con un proceso de fabricación continuo.

Parcialmente ocultas.

Se localiza este tipo de instalación en naves industriales donde parte de la canalización va por pisos y muros y la restante por armaduras; en edificios de bancos, oficinas y centros comerciales que cuentan con falso plafón.

Totalmente ocultas.

En este caso la instalación eléctrica presenta un muy buen acabado, ya que quedan visibles solamente las tapas de los tomacorrientes, de los interruptores y de los centros de carga o tableros. Poseen el grado más alto de estética cuando los accesorios son de buena calidad y presentación.

A prueba de explosión.

Las instalaciones eléctricas a prueba de explosión se construyen en los locales y ambientes donde existen polvos o gases explosivos, así como partículas en suspensión factibles de incendiarse. Las canalizaciones deberán cerrar herméticamente. Por ejemplo, se desarrollan este tipo de instalaciones en molinos de trigo, minas de tiro, gaseras, plantas petroquímicas, etc.

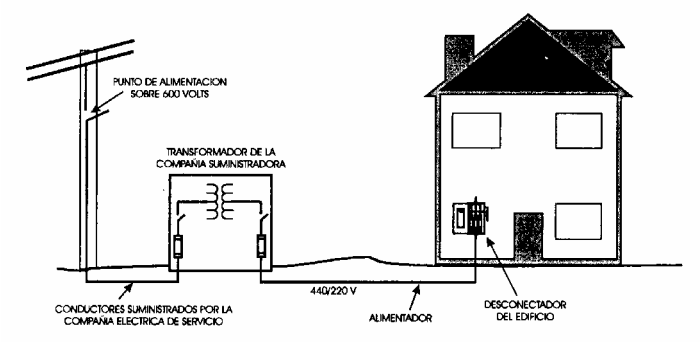
2.2 COMPONENETES DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

GENERALIDADES SOBRE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

2.2.1 Introducción,

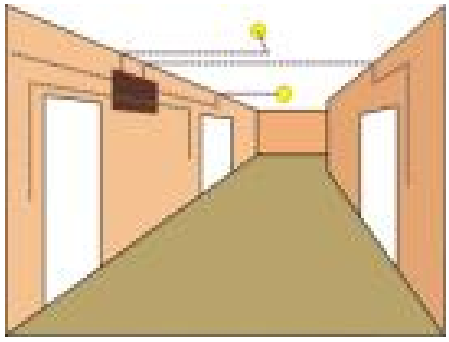
En el diseño de cualquier instalación eléctrica, ya sea residencial, comercial o industrial, es fundamental el conocimiento de las distintas componentes que intervienen en las mismas. De hecho, en la construcción de una instalación eléctrica se puede decir que intervienen cientos de componentes que están diseñadas y ensambladas en una forma segura, para entregar la potencia eléctrica al sistema de que se trate. Parte del estudio de las componentes es su selección y la forma en cómo están interconectadas o relacionadas.

Quizás, la mejor forma de iniciar el estudio de las componentes de una instalación eléctrica es mostrando la forma en cómo intervienen en las instalaciones eléctricas, desde el punto de vista de sus características y de su cálculo para aplicaciones específicas, según se trate de instalaciones eléctricas residenciales, industriales o comerciales.



En la norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999, Instalaciones eléctricas, se hace referencia sólo a los tipos de conductores, materiales y sistemas de canalización que más comúnmente se usan en el país, donde, como se sabe, el material más utilizado como conductor es el cobre, de manera que a lo largo de la norma y también de este texto, a menos que se indique lo contrario, el material empleado como conductor es el cobre.

Por norma, todos los equipos y materiales que se usen en las instalaciones eléctricas deben tener la indicación del nombre del fabricante, o bien alguna marca que permita su fácil identificación (110-2). Por otro lado, debe haber también una identificación de sus características eléctricas, de tal forma que sea posible determinar su correcta aplicación.



2.2.2 Materiales usados en las instalaciones eléctricas.

Una instalación eléctrica correctamente diseñada emplea normalmente materiales aprobados o certificados por las normas nacionales o internacionales en algunos casos. Estos materiales incluyen varios tipos de canalizaciones: tubos conduit, copIes, niples, buses-ducto, cables y conductores, cajas de conexión, dispositivos de protección (fusibles, interruptores, etc.).

Calibres de conductores.

En la NOM se han designado los tamaños o calibres de conductores usando el sistema americano para calibres denominado American Wire Gage (AWG); sin embargo, se puede indicar su equivalencia en mm^2, siempre que sea necesario.

Tipos de canalizaciones.

Una canalización es un conducto cerrado, diseñado para contener alambres, cables o buses-ducto, pueden ser metálicas o no metálicas.

Tubos conduit metálicos.

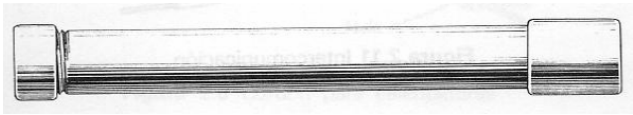
Los tubos conduit metálicos, dependiendo del tipo usado, se pueden instalar en exteriores e interiores, en áreas secas o húmedas, dan una excelente protección a los conductores. Los tubos conduit rígidos constituyen, de hecho, el sistema de canalización más comúnmente usado, porque prácticamente se pueden utilizar en todo tipo de atmósferas y para todas las aplicaciones.

En los ambientes corrosivos, adicionalmente, se debe tener cuidado de proteger los tubos con pintura anticorrosiva, ya que la presentación normal de estos tubos es galvanizada.
Los tipos más usados son:

- ⇨ De pared gruesa (tipo rígido).
- ⇨ De pared delgada.
- ⇨ Tipo metálico flexible (greenfield).

Tubo conduit metálico rígido (pared gruesa).

Este tipo de tubo conduit se suministra en tramos de 3.05 (10 pies) de longitud, en acero o aluminio, y se encuentra disponible en diámetros desde 1/2 pulg. (13 *mm*.) hasta 6 pulg. (152.4 *mm*), cada extremo del tubo se proporciona con rosca y uno de ellos tiene un copIe.

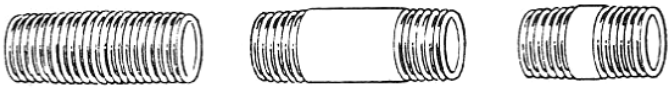


El tubo metálico de acero normalmente es galvanizado y, como se indicó antes, tiene un recubrimiento especial cuando se usa en áreas corrosivas.

Conduit de pared gruesa longitud = 3.05 por tramo

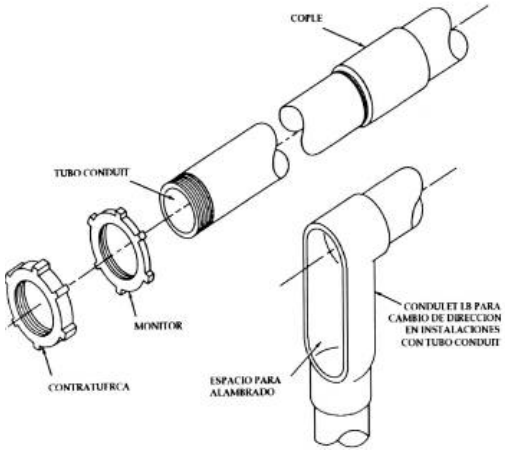
El tubo conduit rígido puede quedar embebido en las construcciones de concreto (muros o losas), o bien puede ir montado superficialmente con soportes especiales. También puede ir apoyado en bandas de tuberías. Algunas recomendaciones generales para su aplicación son las siguientes:

- ⇨ El número de dobleces en la trayectoria total de un conduit no debe exceder a 360°.
- ⇨ Siempre que sea posible y para evitar el efecto de la acción galvánica, las cajas y conectores usados con los tubos metálicos deben ser del mismo material.
- ⇨ Los tubos se deben soportar cada 3.05 m y dentro de 90 *cm* entre cada salida.
- ⇨ Tubo conduit de pared gruesa



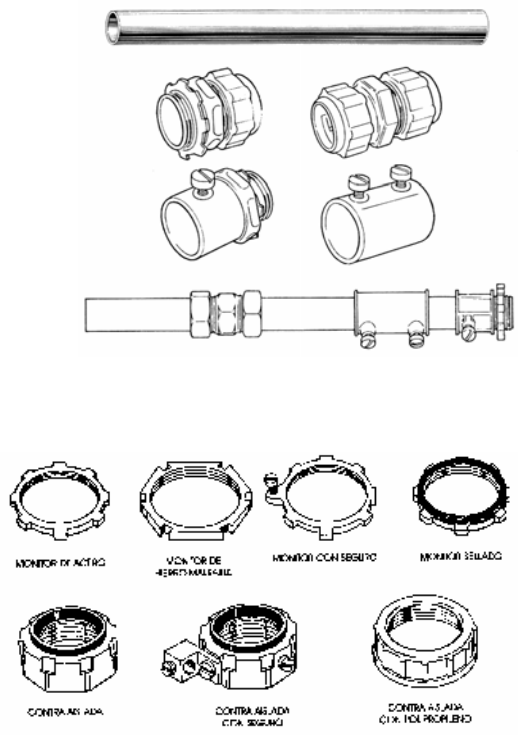
a) Corrido *b) Largo* *c) Corto*

Niples





En la figura se muestran diversos diametros en tubos conduit.



En la figura se muestran conectores para tubos conduit rigidos de pared gruesa e intermedia.

Tubo conduit metálico intermedio o semipesado.

Se fabrica en diámetros de hasta 4 *plg*. (102 *mm*), su constitución es similar al tubo conduit rígido de pared gruesa, pero sus paredes son más delgadas, por lo que tiene mayor espacio interior disponible. Se debe tener mayor cuidado con el doblado de estos tubos, ya que tienden a deformarse. Tienen roscados los extremos igual que el de pared gruesa y, de hecho, sus aplicaciones son similares.

Tubo metálico de pared delgada (rígido ligero).

A este tubo se le conoce también como tubo metálico rígido ligero, su uso es permitido en instalaciones ocultas o visibles ya sea embebido en concreto o embutido en mampostería, en lugares de ambiente seco no expuesto a humedad o ambiente corrosivo.

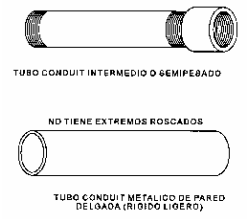
No se recomienda en lugares que durante su instalación o después de ésta se exponga a daño mecánico. El diámetro máximo recomendable para estos tubos es de 51 *mm* (2 pulgadas) y debido a que son de pared delgada, en estos tubos no se debe hacer roscado para atornillarse a cajas de conexión u otros accesorios, de modo que los tramos se deben unir por medio de accesorios de unión especiales.

No deben usarse:

- ⇨ A la intemperie.
- ⇨ En lugares expuestos a condiciones corrosivas severas.
- ⇨ En lugares mojados donde la canalización esté expuesta a la entrada de agua.

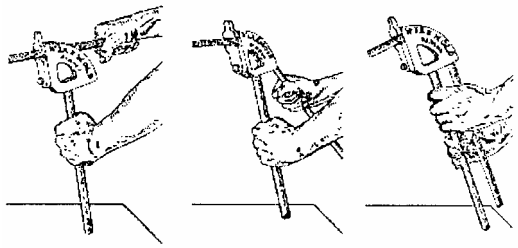
No se aplica:

- ⇨ Cuando la instalación está expuesta a daño mecánico.
- ⇨ Embebido en concreto o embutido en mampostería cuando esté expuesto a humedad.
- ⇨ Directamente enterrado.
- ⇨ En lugares húmedos o clasificados como de ambiente corrosivo o peligroso.



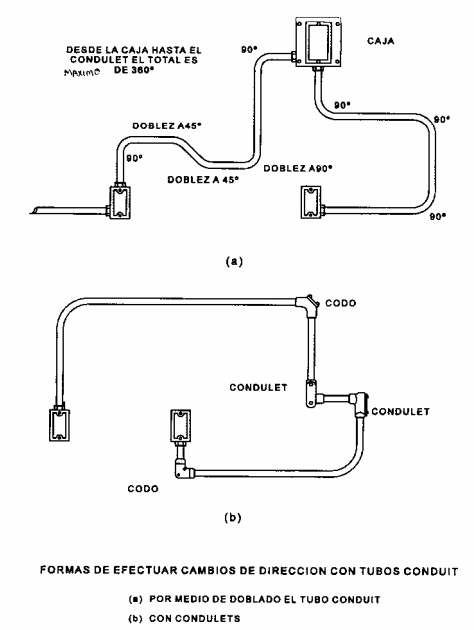
Se fabrican en diámetros hasta de 102 *mm* (4 *plg*.)

La forma de efectuar cambios de dirección en tubería coduit es por medio del doblado de la propia tubería, o bien, atizando registros caja condulet.



USO DE UN DOBLADOR DE TUBO CONDUIT SOBRE SUPERFICIE METALICA

Cabe mencionar que el radio máximo permisible entre cajas registro es máximo de 360 grados.



FORMAS DE EFECTUAR CAMBIOS DE DIRECCION CON TUBOS CONDUIT

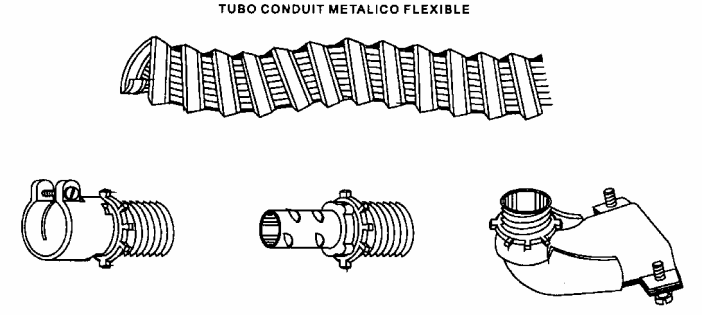
(a) POR MEDIO DE DOBLADO EL TUBO CONDUIT

(b) CON CONDULETS

Tubo conduit metálico flexible.

Este es un tubo hecho de cinta metálica engargolada (en forma helicoidal), sin ningún recubrimiento. Hay otro tubo metálico que tiene una cubierta exterior, de un material no metálico para que sea hermético a los líquidos. Este tipo de tubo conduit es útil cuando se hacen instalaciones en áreas donde se dificultan los dobleces con tubo conduit metálico, o bien en lugares en donde existen vibraciones mecánicas que puedan afectar las uniones rígidas de las instalaciones. Este tubo se fabrica con un diámetro mínimo de 13 mm. (1/2 plg) Y un diámetro máximo de 102 mm. (4 plg).

TUBO CONDUIT METALICO FLEXIBLE



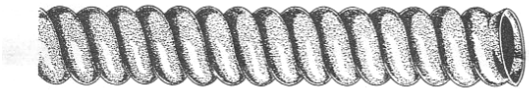
TUBO CONDUIT FLEXIBLE Y CONECTORES



Para su aplicación se recomienda su uso en lugares secos donde no está expuesto a corrosión o daño mecánico, o sea que se puede instalar embutido en muro o ladrillo o bloques similares, así como en ranuras en concreto.

No se recomienda su uso en lugares en donde se encuentre directamente enterrado o embebido en concreto; tampoco se debe usar en lugares expuestos a ambiente corrosivo. Su uso se acentúa en las instalaciones de tipo industrial como último tramo para conexión de motores eléctricos.

En el uso de tubo flexible el acoplamiento a cajas, ductos y gabinetes se debe hacer usando los accesorios apropiados para tal fin; además, cuando se use este tubo como canalización fija a un muro o estructura se deben usar para su montaje o fijación abrazadera, grapas o accesorios similares que no dañen al tubo, debiendo colocarse a intervalos no mayores de 1.50m y a 30cm como máximo, con respecto a cada caja o accesorio.



Tubo conduit flexible

Tubo conduit no metalico.

En la actualidad, hay muchos tipos de tubos conduit no metálicos que tienen una gran variedad de aplicaciones y están construidos de distintos materiales, tales como el cloruro de polivinilo (PVC), la fibra de vidrio, el polietileno y otros. El más usado en instalaciones

residenciales es el PVC, que es un material autoextinguible, resistente al colapso, a la humedad y a los agentes químicos específicos. Se puede usar en:

- ⇨ Instalaciones ocultas.
- ⇨ Instalaciones visibles, cuando no se expone el tubo a daño mecánico.
- ⇨ En lugares expuestos a los agentes químicos específicos, en donde el material es resistente.

No se debe usar en áreas y locales considerados como peligrosos:

- ⇨ Para soportar luminarias o equipos.
- ⇨ Cuando las temperaturas sean; mayores de ,70°C.

Estos tubos se pueden doblar mediante la aplicación de aire caliente o líquido caliente.
Las instalaciones con tubo rígido PVC, se deben soportar a intervalos no mayores que los indicados:

Tubo de 13 y 19 *mm*	1.20 *m*
Tubo de 25 a 51 *mm*	1.50 *m*
Tubo de 63 y 76 *mm*	1.80 *m*
Tubo de 89 o 102 *mm*	2.10 *m*

Tubo de polietileno.

El tubo conduit de polietileno debe ser resistente a la humedad y a ciertos agentes químicos específicos. Su resistencia mecánica debe ser adecuada para proporcionar protección a los conductores y soportar el trato rudo a que se ve sometido durante su instalación. Por lo general, se le identifica por el color anaranjado. Puede operar con voltajes hasta 150 V a tierra, embebido en concreto o embutido en muros, pisos y techos. También se puede

enterrar a una profundidad no menor de 0.50 m. No se recomienda su utilización oculto en techos y plafones, en cubos de edificios o en instalaciones visibles.

Cajas y accesorios para canalización con tubo.

Cajas eléctricas. Son la terminación que permite acomodar las llegadas de los distintos tipos de tubos conduit, cables armados, o tubos no metálicos; con el propósito de empalmar cables y proporcionar salidas para contactos, apagadores, salidas para lámparas y luminarias en general. Estas cajas se han diseñado en distintos tipos y dimensiones, así como también los accesorios para su montaje, con el objeto de dar la versatilidad que requieren las construcciones eléctricas.

Las cajas se identifican por sus nombres, pero en general son funcionalmente intercambiables, con algunas pocas excepciones. Esto significa que si se aplican en forma conveniente, prácticamente cualquier tipo de caja se puede usar para distintos propósitos. Se fabrican metálicas y no metálicas, básicamente la selección de una caja depende de lo siguiente:

- ⇨ El número de conductores que entran.
- ⇨ El tipo y número de dispositivos que se conectan a la caja.
- ⇨ El método de alambrado usado.

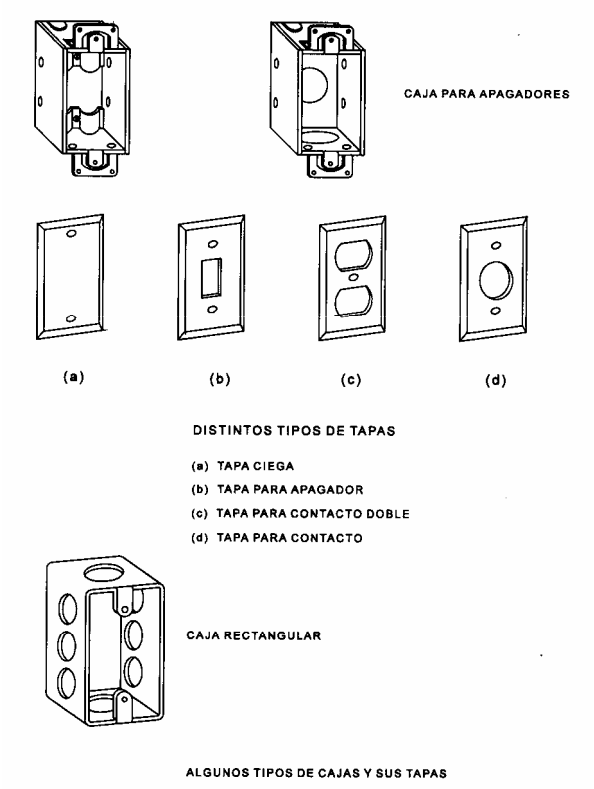
Cajas metálicas de propósitos generales. Estas cajas de propósitos generales, se clasifican de cualquiera de los tres tipos de categorías siguientes:

- ⇨ Cajas para apagadores.
- ⇨ Cajas octagonales.
- ⇨ Cajas cuadradas.

Estas cajas (y sus accesorios), se fabrican con material metálico, aún cuando en forma reciente se tienen algunas formas de materiales no metálicos.

Cajas tipo apagador. se usan para alojar apagadores o contactos, algunas se usan para alojar más de un apagador o dispositivo.

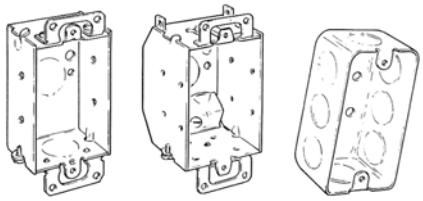
Cajas octagonales o cuadradas. se utilizan principalmente para salidas de la instalación eléctrica, ya sea para lámparas o luminarias, o para montar otros dispositivos (usando la cubierta apropiada).

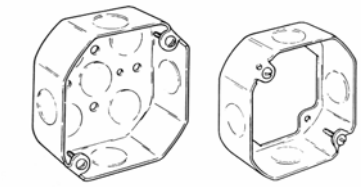




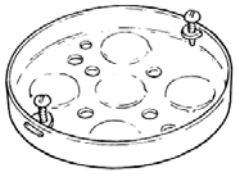


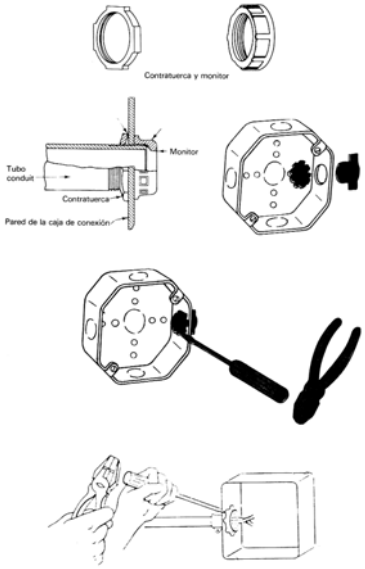
ALGUNOS TIPOS DE CAJAS Y SUS TAPAS





Cajas de conexión. Rectangulares Octagonal





Circular o redonda Técnica de montaje de contratuercas y monitores**.**

LAS NORMAS TÉCNICAS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN SU. ARTICULO 307, FRACCIONES: 307.9, 307.10, 307.13, 307.15 y 307.16 MENCIONAN LO SIGUIENTE:

Espacio ocupado por los conductores en una caja.

Todos los conductores que se alojen en una caja., incluyendo los aislamientos, empalmes y vueltas que se hagan en su interior, no deben ocupar más del 60% del espacio interior de la caja o del espacio libre que den los dispositivos o accesorios que se instalen en ella.

Entrada de los conductores a cajas o accesorios.

En general, los conductores que entren a cajas o accesorios deben quedar protegidos contra la abrasión.

a) Cajas y accesorios metálicos. Cuando se utilicen cajas o accesorios metálicos en instalaciones visibles sobre aisladores, los conductores deben entrar en ellos a través de boquillas aislantes o en alguna otra forma que proporcione una protección equivalente. En instalaciones con tubos rígidos o flexibles o con cable con cubierta metálica, las cajas o accesorios metálicos deben estar unidos a ellos por medio de accesorios aprobados para tal objeto.

b) Cajas no metálicas. Cuando se utilicen cajas no metálicas en instalaciones visibles sobre aisladores, los conductores deben entrar a las cajas a través de orificios individuales. En caso de usarse cajas no metálicas en instalación con cable visible, éste debe penetrar con todo y cubierta exterior hasta dentro de las cajas por uno de sus orificios.

Colocación en paredes o techos.

En paredes o techos de madera u otro material combustible, las cajas y accesorios deben quedar al ras de la superficie acabada o sobresalir de ella.

En paredes o techos de concreto, ladrillos u otro material incombustible, las cajas y accesorios pueden quedar embutidos a una distancia pequeña con respecto a la superficie de la pared o techo terminado.

Fijación.

Las cajas deben fijarse rígidamente sobre la superficie en la cual se instalen o estar empotradas en concreto, mampostería u otro material de construcción de manera rígida y segura.

Profundidad de las cajas de salida en instalaciones ocultas.

Las cajas de salida utilizadas en instalaciones ocultas, deben tener una profundidad 'interior de por lo menos 35 milímetros, excepto en los casos en que esto resulte perjudicial para la resistencia del edificio o que la instalación de dichas cajas sea impracticable, en cuyos casos pueden utilizarse cajas de profundidad menor, pero, en todo caso, no menor de 13 milímetros de profundidad interior.

Cajas de salida en el piso.

Las cajas de salida para contactos en el piso deben estar especialmente diseñadas para este propósito.

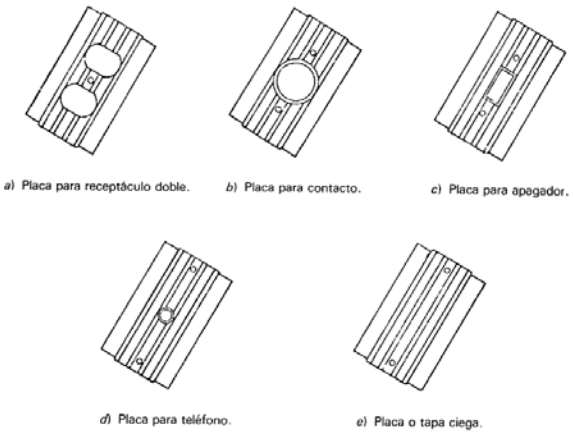
Tapas y cubiertas ornamentales.

Todas las cajas de salida deben estar provistas de una tapa, a menos que los aparatos instalados tengan una cubierta ornamental que provea una protección equivalente.

a) En cajas de salida no metálicas deben usarse tapas no metálicas.

b) Si se usan cubiertas ornamentales en paredes o techos de material combustible, debe intercalarse una capa de material no combustible entre dichas cubiertas y las paredes o techos.

c) Las tapas de cajas de salida con orificios a través de los cuales pasen cordones flexibles colgantes, deben estar provistas de boquillas protectoras, o bien los orificios



a) Placa para receptáculo doble. *b*) Placa para contacto. *c*) Placa para apagador.

d) Placa para teléfono. *e*) Placa o tapa ciega.

deben tener sus aristas bien redondeadas, de manera que los conductores no se maltraten.

Algunas formas de tapas para cajas de algunas aplicaciones en instalaciones eléctricas de casa habitación.

Tapas.

Las tapas metálicas deben ser de un espesor no menor que el de las paredes de las cajas o accesorios correspondientes del mismo material, pudiendo estar recubiertas de un material aislante sólidamente adherido, de un espesor no menor de 0.8 milímetros.

Se pueden utilizar tapas de porcelana u otro material aislante, siempre que sean de forma y espesor tales que ofrezcan la protección y solidez requeridas.

Ductos metálicos con tapa.

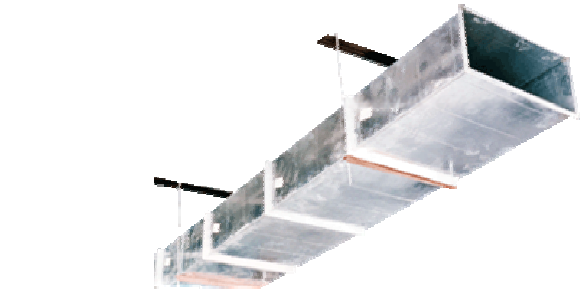
Este tipo de ductos pueden tener la tapa embisagrada o de tipo desmontable, sirve para contener y a la vez proteger a los conductores que se colocan o alojan en el ducto, cuando éste ha sido ya totalmente instalado.

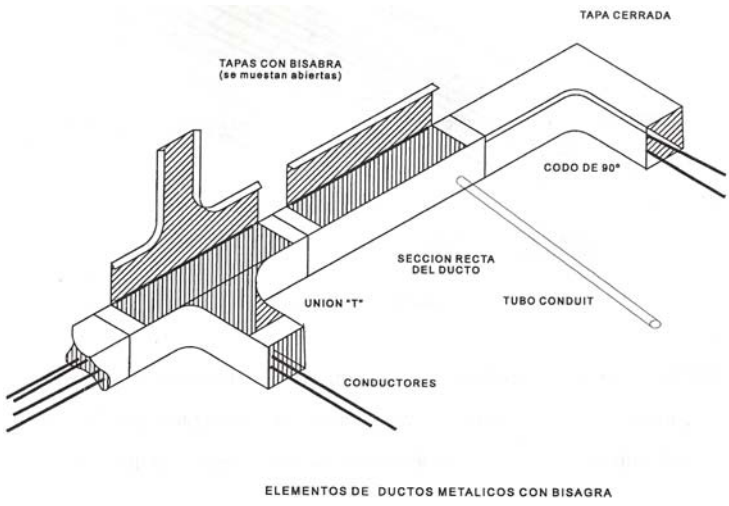
Se usan como canalizaciones visibles en lugares secos, cuando se instalan a la intemperie se deben especificar a prueba de agua. Estos ductos no se deben aplicar en los casos siguientes:

- ⇨ Cuando puedan estar sujetos a daño mecánico severo.
- ⇨ Cuando estén expuestos a vapores o gases corrosivos.
- ⇨ Cuando se instalen en lugares clasificados como peligrosos.

Para los fines de espacio de ventilación, todos los conductores alojados en un ducto, lleven o no corriente, no deben ocupar más del 40% de la sección transversal interior del ducto y no deben alojar más de 30 conductores que lleven corriente. Los conductores para circuitos de control y señalización, como los usados en estaciones de botones, lámparas de señalización y los de puesta a tierra, no se consideran como portadores de corriente.

Debido a problemas mecánicos, los ductos metálicos se diseñan de acuerdo al peso máximo de los conductores que puedan contener, por lo que no deben instalarse conductores de un calibre mayor al calibre para el cual se ha diseñado el ducto. Los ductos metálicos tienen como accesorios de acoplamiento uniones rectas, ángulos y tees *("T"*), Y se deben soportar a intervalos que no excedan entre soporte 1.50 m. Los ductos se fabrican en dimensiones estándar de: 10 x 10 *cm*, 15 x 15 *cm*, 20 x 20 *cm* y longitudes de 150 *cm*, 60 *cm* y 30 *cm*.





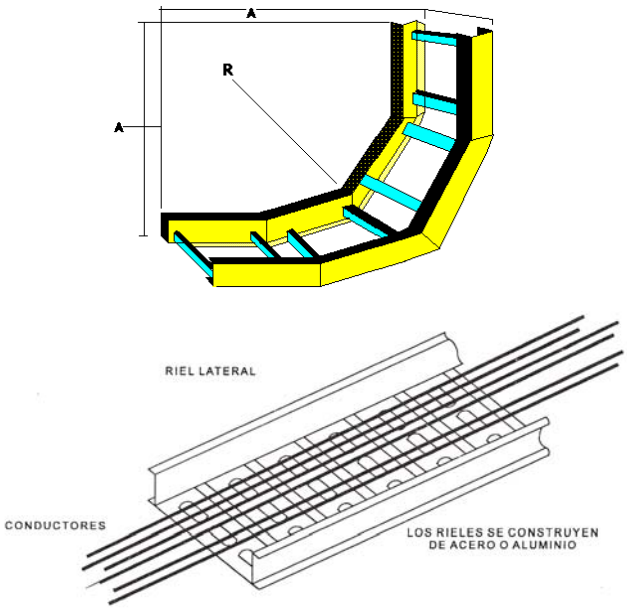
ELEMENTOS DE DUCTOS METALICOS CON BISAGRA

Charolas para cables.

Las charolas o pasos de cable son conjuntos prefabricados en secciones rectas con herrajes que se pueden unir para formar sistemas de canalizaciones. En general se tienen disponibles tres tipos de charolas para cables:

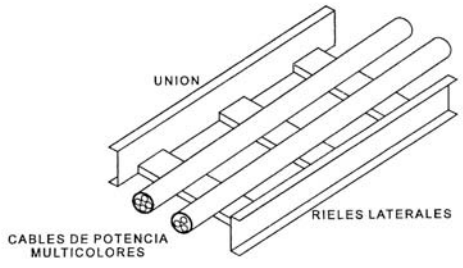
a) Las charolas de paso. Tienen un fondo continuo, ya sea ventilado o no ventilado y

con anchos estándar de: 15 *cm*, 22 *cm*, 30 *cm* y 60 *cm*. Este tipo se usa cuando los conductores son pequeños y requieren de un soporte completo.



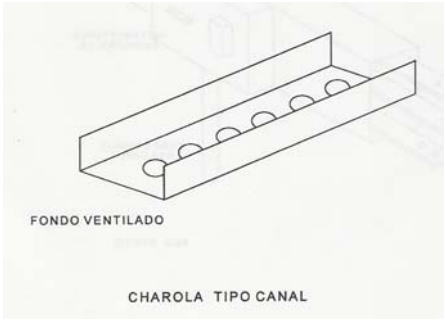
CHAROLA DE PASO TIPO VENTILACION

b) Charolas tipo escalera. Estas son de construcción muy sencilla, consisten de dos rieles laterales unidos o conectados por "barrotes" individuales. Por lo general se usan como soporte de los cables de potencia. Se fabrican en anchos están dar de: 15 *cm*, 22 *cm*, 30 *cm*, 45 *cm*, 60 *cm* y 75 *cm*. Se fabrican ya sea de acero o de aluminio.



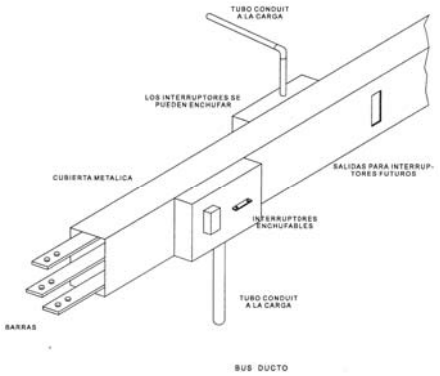
CHAROLA TIPO ESCALERA

Charolas tipo canal. Están constituidas de una sección de canal ventilada. Se usan por lo general para soportar cables de potencia sencillos, múltiples o bien varios cables de control (multiconductores). Se fabrican de acero o aluminio con anchos estándar de: 7.5 *cm* ó 10 *cm*.



Bus-ducto.

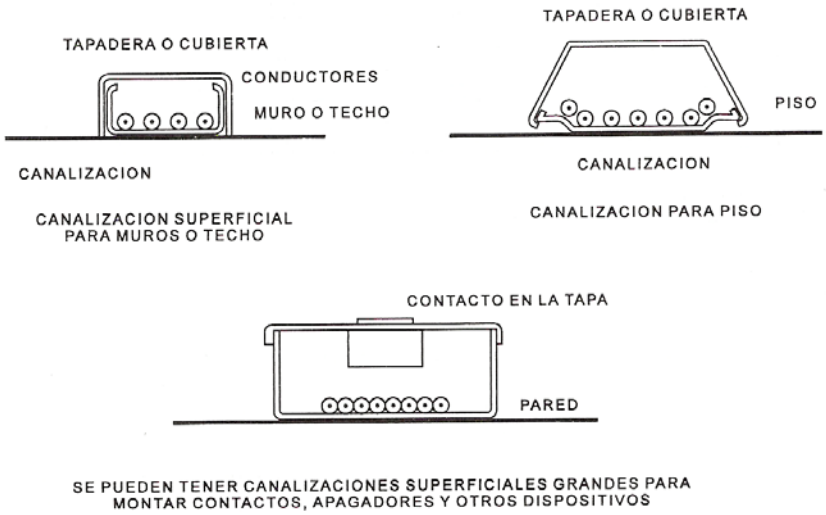
El bus-dueto es un ensamble prefabricado de barras, aisladores y una canalización metálica, que se usan en diferentes formas para la distribución de potencia. Se tienen disponibles en distintas formas y capacidades, y la longitud estándar es de: 3.05 *m*. También se encuentran disponibles en el mercado distintos tipos de arreglos.



Canalizaciones superficiales.

Las canalizaciones superficiales se fabrican en distintas formas en el tipo metálico y no metálico. Se usan generalmente en lugares secos, no expuestos a la humedad, y tienen conectores y herrajes de distintos tipos para dar prácticamente todas las formas deseables en las instalaciones eléctricas.

Su aplicación se recomienda en aquellos casos en que los tubos conduit embebidos no se justifiquen por costo o por ser imprácticos. I montar en pared, techo o piso, según sea la necesidad.



Conductores eléctricos.

En general 'la palabra "Conductor" se usa con un sentido distinto al de alambre, ya que por lo general un alambre es de sección circular, mientras que un conductor puede tener otras formas (por ejemplo, barras rectangulares o circulares); sin embargo, es común que a los alambres se les designe como conductores, por lo que en caso de mencionar algún conductor de forma o características distintas a los alambres, se designará específicamente con el nombre que se le conozca.

El fenómeno conocido como superconductividad se produce cuando al enfriar ciertas sustancias a un temperatura cercana al cero absoluto su conductividad se vuelve

prácticamente infinita. En los conductores sólidos la corriente eléctrica es transportada por el movimiento de los electrones; y en disoluciones y gases, lo hace por los iones.

La mayor parte de los conductores usados en las instalaciones eléctricas son de cobre (Cu) o aluminio (Al), debido a su buena conductividad y a que comercialmente no tienen un costo alto, ya que hay otros que> tienen un costo elevado que hacen antieconómica su utilización en instalaciones eléctricas, aún cuando tienen mejor conductividad.

Comparativamente, el aluminio es aproximadamente un 16% menos conductor que el cobre, pero al ser mucho más "liviano que éste, resulta un poco más económico cuando se hacen estudios comparativos, ya que a igualdad de peso se tiene hasta cuatro veces más cantidad de conductor que el cobre.

Como se mencionó antes, las instalaciones eléctricas se fabrican de sección circular de material sólido o como cables, dependiendo la cantidad de corriente por conducir (ampacidad) y su utilización, aunque en algunos casos se fabrican en secciones rectangulares o tubulares para altas corrientes.

Desde el punto de vista de las normas, los conductores se han identificado por un número, que corresponden a lo que comúnmente se conoce como el calibre y que normalmente se sigue el sistema americano de designación AWG (American Wire Gage), siendo el más grueso el número 4/0, siguiendo en orden descendente del área del conductor los números 3:0, 2-0, 1-0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 Y 20 que es el más delgado usado en instalaciones eléctricas. Para conductores con un área mayor del designado como 4/0, se hace una designación que está en función de su área en pulgadas, para lo cual se emplea una unidad denominada el Circular Mil, siendo así como un conductor de 250 corresponderá a aquel cuya sección sea de 250,000 CM. y así sucesivamente.

Se denomina Circular Mil a la sección de un círculo que tiene un diámetro de un milésimo de pulgada (0.001 *plg*).

Se denomina ***Circular Mil*** a la sección de un círculo que tiene un diámetro de un milésimo de pulgada (0.001 plg.).



La relación entre el Circular Mil y el área en mm^2 para un conductor se obtiene como sigue:

$$1PLG = 25.4mm$$

$$\frac{1}{100}PLG = 0.0254mm$$

Siendo el Circular Mil un área:

$$1cm = \frac{D^2}{4} = \frac{3.1416 \cdot 0.0254^2}{4} = 5.064506 \cdot 10^{-4} mm^2$$

De donde:

$$1mm^2 = \frac{10^4}{5.064506} = 1974cm$$

o en forma aproximada:

$$1mm^2 = 2000cm$$

Es práctica común en nuestro país, emplear el sistema de calibración de conductores denominado American Wire Gage (AWG), sin embargo deberán manejarse las dimensiones en milímetros cuadrados (mm^2) para estar de acuerdo a lo estipulado por la NOM.

Conductores.

En las instalaciones eléctricas residenciales los elementos que proveen las trayectorias de circulación de la corriente eléctrica son conductores o alambres forrados con un material aislante, desde luego que el material aislante es no conductor, con esto se garantiza que el flujo de corriente sea a través del conductor. El material que normalmente se usa en los conductores para instalaciones eléctricas es el cobre y se aplican en el caso específico de las instalaciones eléctricas residenciales dentro de la categoría de las instalaciones de "Baja tensión" que son aquellas cuyos voltajes de operación no exceden a 1000 Volts entre conductores o hasta 600 Volts a tierra.

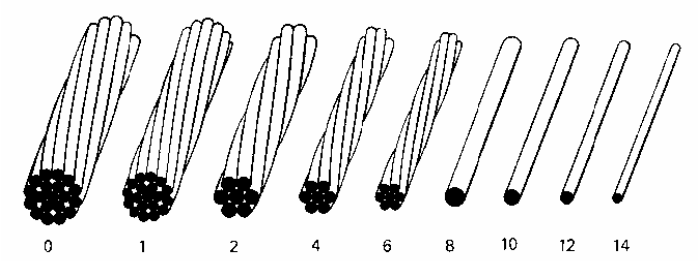


Calibre de conductores.

Los calibres de conductores dan una idea de la sección o diámetro de los mismos y se designan usando el sistema norteamericano de calibres (AWG) por medio de un número al cual se hace referencia, sus otras características como son diámetro área, resistencia, etc., la equivalencia en mm^2 del área se debe hacer en forma independiente de la designación usada por la America Wire Gage (AWG). En nuestro caso, siempre se hará referencia a los conductores de cobre.

Es conveniente notar que en el sistema de designación de los calibres de conductores usado por la AWG, a medida que el número de designación es mas grande la sección es menor.

La siguiente figura se da una idea de los tamaños de los conductores sin aislamiento.

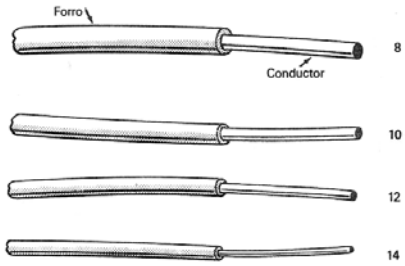


Calibres de conductores desnudos designación AWG.

Para la mayoría de las aplicaciones de conductores en instalaciones eléctricas residenciales, los calibres de conductores de cobre que normalmente se usan son los designados por No. 12 y No. 14. Los calibres 6 y 8 que se pueden encontrar, ya sea como conductores sólidos o cable, se aplican para instalaciones industriales o para manejar alimentaciones a grupos de casas-habitación (departamentos).

La siguiente figura da una idea de la presentación de los conductores de un solo alambrado forrados como los usados en las instalaciones residenciales:

Calibrador o galga para conductores eléctricos. Mientras mayor es el número, menor es el diámetro del conductor.



Conductores de un solo alambre forrados.

Por lo general, los aislamientos de los conductores son a base de hule o termoplásticos y se les da designaciones comerciales con letras. La recomendación para su uso se da en la tabla 302.3 de las normas técnicas para instalaciones eléctricas de SEPAFIN y se reproducen en la siguiente tabla.

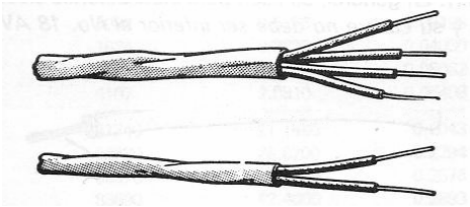


El conductor se calibra en su parte interior, no en su parte exterior

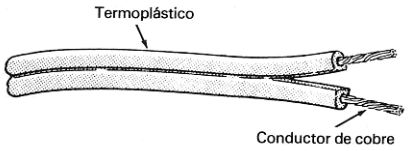
Cordones y cables flexibles.

Los cordones y cables flexibles de dos o más conductores son aquellos cuya característica de flexibilidad los hace indicados para aplicaciones en áreas y locales no peligrosos para alimentación de aparatos domésticos fijos, lámparas colgantes o portátiles, equipo portátil o sistemas de aire acondicionado. En general, se usan para instalaciones eléctricas visibles en lugares secos .

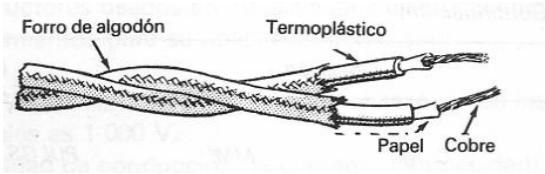




calibre no debe ser inferior al No. 18 AWG.

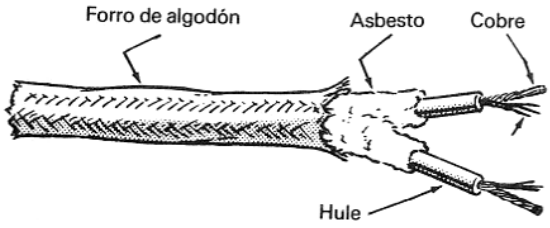


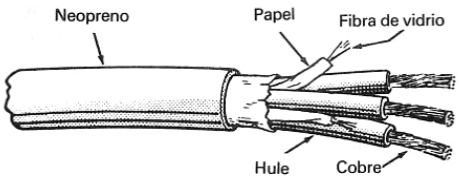
Cordón termoplástico



Cordón de lámpara trenzado

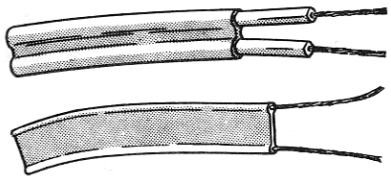
Cordón para calentadores





Cordón de potencia

Para antena de T.V.



Intercomunicación

Aislamiento de los conductores.

Existe una amplia variedad de aislamientos para conductores para satisfacer los requerimientos de las distintas aplicaciones. Estos tipos de aislamientos están diseñados sobre una forma estándar y todos los cables están marcados con información sobre su tamaño, ya sea expresado en A WG ó KCMIL, su voltaje y su tipo de aislamiento.

El aislamiento de los cables se designa como:

A es el aislamientos de asbesto

M_i es el aislamiento mineral.

R es el aislamiento de hule.

SA es el aislamientos de silicio-asbesto.

T es el aislamiento termoplástico.

v es el aislamiento de cambray barnizado.

X es el aislamiento de polímero sintético barnizado.

Los cables también se designan por su medio de operación como:

H es el resistente al calor hasta 75°C.

HH es el resistente al calor hasta 90°C.

Si no hay designación, significa 60°C.

W es el resistente a la humedad.

U_F es para uso subterráneo.

Muchos cables están diseñados y certificados para ser usados en varias condiciones ambientales, tales cables son de multiuso y están marcados. Por ejemplo, un cable marcado TW indicaría 60°C, con aislamiento termoplástico capaz de ser usado en ambientes húmedos.

El tipo THW indica 75°C, con aislamiento termoplástico para uso en ambientes húmedos. El tipo XHHW representa un cable con aislamiento sintético de polímero trenzado para operar hasta 90°C.

Para mayor información consulte la Tabla 310-13 de la NOM, la cual muestra el nombre genérico, el tipo, la temperatura máxima de operación, el tamaño nominal, el espesor del aislamiento, etc., de los diversos conductores.
El artículo 100 de la NOM-001-SEDE-1999 define los diferentes tipos de conductores que se mencionan en ella. A continuación se citan:

Conductor aislado: Conductor rodeado de un material de composición y espesor reconocidos por esta NOM como aislamiento eléctrico.

Conductor cubierto: Conductor rodeado de un material de composición o espesor no reconocidos por esta NOM como aislamiento eléctrico.
Conductores de acometida: Conductores comprendidos desde el punto de acometida hasta el medio de desconexión de la acometida.

Conductores de entrada de acometida, sistema aéreo: Conductores de acometida comprendidos entre las terminales del equipo de la acometida y un punto comúnmente fuera del edificio, y separado de sus paredes, donde se unen por derivación o empalme a la bajada de la acometida aérea.

Conductores de entrada de acometida, sistema subterráneo: (lateral) Conductores de acometida comprendidos entre las terminales del equipo de la acometida y el punto de conexión con la acometida lateral.

Conductor del electrodo de puesta a tierra: Conductor utilizado para conectar el electrodo de puesta a tierra al conductor de puesta a tierra del equipo, al conductor puesto a tierra o a ambos, del circuito en el equipo de acometida o en la fuente de un sistema derivado separado.

Conductor desnudo: Conductor que no tiene ningún tipo de cubierta o aislamiento eléctrico.

Conductor de puesta a tierra: Conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de alambrado al electrodo o electrodos de puesta a tierra.

Conductor de puesta a tierra de los equipos: Conductor utilizado para conectar las partes metálicas no-conductoras de corriente eléctrica de los equipos, canalizaciones y otras envolventes al conductor del sistema puesto a tierra, al conductor del electrodo de puesta a tierra o ambos, en los equipos de acometida o en el punto de origen de un sistema derivado separado.

Conductor puesto a tierra: Conductor de un sistema o circuito intencionadamente puesto tierra.

Ampacidad estandar y degradación por temperatura.

La Ampacidad de un cable es su capacidad de conducción continua de corriente bajo condiciones específicas. Estos datos sobre ampacidad o capacidad de conducción de corriente se dan más adelante en las Tablas 2.8 y 2.9. Estos datos se basan en una temperatura ambiente de 30°C, por lo que se dan factores de corrección para temperaturas diferentes a 30°C.. Para instalaciones eléctricas prácticas, el menor calibre de conductor recomendado es el No. 14 A WG y la máxima protección contra sobrecorriente para los calibres No. 14, No. 12 y No. 10 A WG, es: 15A, 20A Y 30A respectivamente.
Verificar tablas del libro de Harper Pág. 97,98 y99 con la norma Nom 98.

Selección del calibre de conductores para instalaciones eléctricas de baja tensión.

Los conductores usados en las instalaciones eléctricas deben cumplir con ciertos requisitos para su aplicación, como son:

Límite de tensión de aplicación. En el caso de las instalaciones residenciales es: 1000 V.

Capacidad de conducción de corriente (Ampacidad), que representa la máxima corriente que puede conducir un conductor para un calibre dado y que está afectada principalmente por los factores siguientes:

a) Temperatura

b) Capacidad de disipación del calor producido por las pérdidas en función del medio en que se encuentre el conductor, es decir, aire o en tubo conduit.

Máxima caída de voltaje permisible, de acuerdo con el calibre del conductor y la corriente que conducirá. Se debe respetar la máxima caída de voltaje permisible recomendada por el reglamento de obras e instalaciones eléctricas, y que es del 3% del punto de alimentación al punto más distante de la instalación.

Número de conductores en un tubo conduit.

Normalmente, los conductores en las instalaciones eléctricas se encuentran alojados ya sea en tubos conduit o en otros tipos de canalizaciones. Como se ha mencionado, los conductores están limitados en su capacidad de conducción de corriente por el calentamiento, debido a las limitaciones que se tienen en la disipación de calor y a que el aislamiento mismo presenta también limitaciones de tipo térmico.

Debido a estas restricciones térmicas, el número de conductores dentro de un tubo conduit se, limita de manera tal que permita un arreglo físico de conductores, de acuerdo a la sección del tubo conduit o de la canalización, facilitando su alojamiento de aire necesario para disipar el calor. Se debe establecer la relación adecuada entre la sección del tubo y la de los conductores, para esto se puede proceder en la forma siguiente:

Si A es el área interior del tubo en mm^2 o $p\lg^2$ y Ac el área total de los conductores, el factor de relleno es: $F = \frac{Ac}{A}$.

Este factor de relleno tiene los siguientes valores establecidos para instalaciones en tubos conduit.

- ⇨ 53% Para un conductor
- ⇨ 31 % Para dos conductores
- ⇨ 43% Para tres conductores
- ⇨ 40% Para cuatro o más conductores

Cálculo de conductores eléctricos

Para la correcta selección de un conductor eléctrico deben considerarse varios factores, a saber:

El valor máximo del voltaje que se aplicará.
La capacidad de conducción de corriente eléctrica.
El valor máximo de la caída de tensión.

El cálculo del conductor debe efectuarse de dos maneras: por corriente y por caída de tensión. El resultado del cálculo que arroje el conductor de mayor sección transversal será el que se seleccione.

Formulas a emplearse:

Cálculo por corriente	**Sistema**	**Cálculo por caída de tensión**
$I = \frac{V_A}{E_n}$	1F – 2H	$S = \frac{L_l}{E_n}$
$I = \frac{V_A}{2E_n}$	1F – 3H	$S = \frac{2L_l}{E_n} e\%$
$I = \frac{V_A}{1.732E_f}$	3F – 3H	$S = \frac{2 \cdot 1.732 L_l}{E_n} e\%$

Donde:

I es la corriente eléctrica en Amperes

V_A es la potencia aparente en Voltamperes de la carga

E_n es el voltaje de fase a neutro en Voltios

S es la sección transversal del conductor en mm2

L es la longitud del circuito considerado en metros

E_f es el voltaje entre fases en Voltios

$e\%$ es la caída de tensión en por ciento

NOTA: Las expresiones para cálculo por caída de tensión solo incluyen el efecto resistivo y no consideran los efectos de la reactancia. Los resultados para conductores de secciones hasta de 107.2 mm2 son aceptables.

Para cálculos en los que se involucren conductores de secciones transversales grandes será necesario consultar las tablas de los fabricantes para incluir el valor de la reactancia inductiva.

A continuación se muestra una tabla generada con la conversión al SI de la tabla 9 del NEC, que puede ser útil si desea incluir a la reactancia inductiva en sus cálculos.

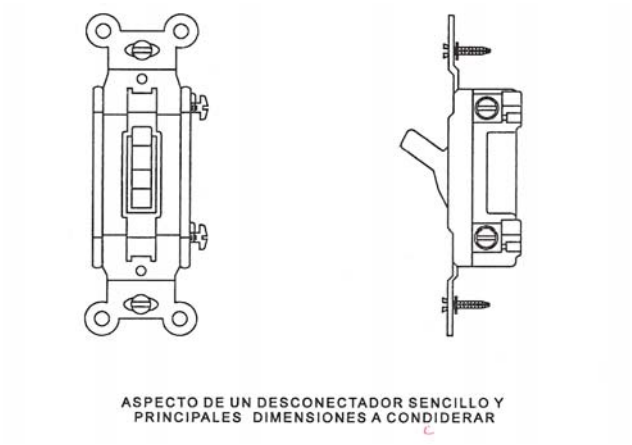
Los desconectadores o switches.

Existe un gran número de componentes eléctricos, como son: las tapas, los contactos, los conductores que se fabrican en variedad de tipos. Los desconectadores no son la excepción, algunos tienen su pequeña palanca de accionamiento, otros son de contacto y están diseñados para cumplir funciones específicas, como por ejemplo: si van sobre muro o embebidos en las paredes, si son tipo sencillo o para funciones de dos o tres vías, etc.

Hay dos tipos de desconectadores básicamente, unos para ser usados en corriente alterna exclusivamente y otros para ser usados en corriente alterna o en directa; debido a que la corriente directa no es tan común, aproximadamente el 95% de la producción de los switches es en corriente alterna.

El tamaño de los switches está en función de su aplicación (accionan motores, lámparas, etc.) o de su capacidad de corriente en amperes, aún cuando para los propósitos de especificación se requiere indicar la corriente y el voltaje, por ejemplo, para aplicaciones en instalaciones residenciales o comerciales en baja tensión.





ASPECTO DE UN DESCONECTADOR SENCILLO Y PRINCIPALES DIMENSIONES A CONDIDERAR

El principio de operación de los desconectadores (switches).

Un desconectador no es una carga y, por lo mismo, no requiere de corriente o potencia eléctrica. Siempre se conecta en serie con la línea de alimentación y nunca en paralelo.
Una carga requiere de potencia eléctrica y siempre se conecta en paralelo con la línea de alimentación, de aquí que con frecuencia las cargas y los desconectadores se consideren elementos opuestos. Los desconectadores son esencialmente elementos de control que determinan el tiempo dentro o fuera de una carga o de un elemento.

El desconectador de un polo, tiro sencillo, es el más simple y posiblemente el más usado de la familia de desconectadores.

Apagadores.

Un apagador se define como un interruptor pequeño de acción rápida, operación manual y baja capacidad que se usa, por lo general, para controlar aparatos pequeños domésticos y comerciales así como unidades de alumbrado pequeñas. Debido a que la operación de los apagadores es manual, los voltajes nominales no deben exceder de 600 Volts.
Debe tenerse especial cuidado de no usar los apagadores para interrumpir corrientes que exceden a su valor nominal, a su valor nominal de voltaje, por lo que se debe observar que los datos de voltaje y corriente estén impresos en las características del apagador, como un dato del fabricante.

Existen diferentes tipos de apagadores; el más simple es el de una vía o monopolar con dos terminales que se usa para "encender" o "apagar" una lámpara u otro aparato desde un punto sencillo de localización. En la siguiente figura se muestra este tipo de apagador y su principio de operación.

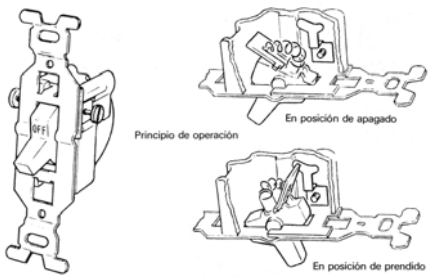


Apagador de 1 polo.

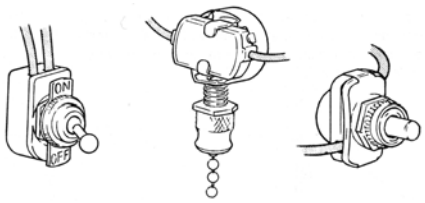
Una variante del apagador de 1 polo es el llamado tipo silencioso y el de contacto que muestran en las siguientes figuras. Los apagadores sencillos para instalaciones residenciales se fabrican para 127 Volts y corrientes de 15 amperes.

En los apagadores llamados de contacto se enciende y apaga simplemente presionando el botón.

Existen otros tipos de apagadores simples para aplicaciones más bien de tipo local, como es el caso de control de lámparas de buró o mesa, apagadores de cadena para closets o cuartos pequeños, o bien apagadores de paso del tipo portátil para control remoto a distancia de objetos y aparatos eléctricos.



Apagador silencio



Apagadores sencillos de palanca, cadena y botón.

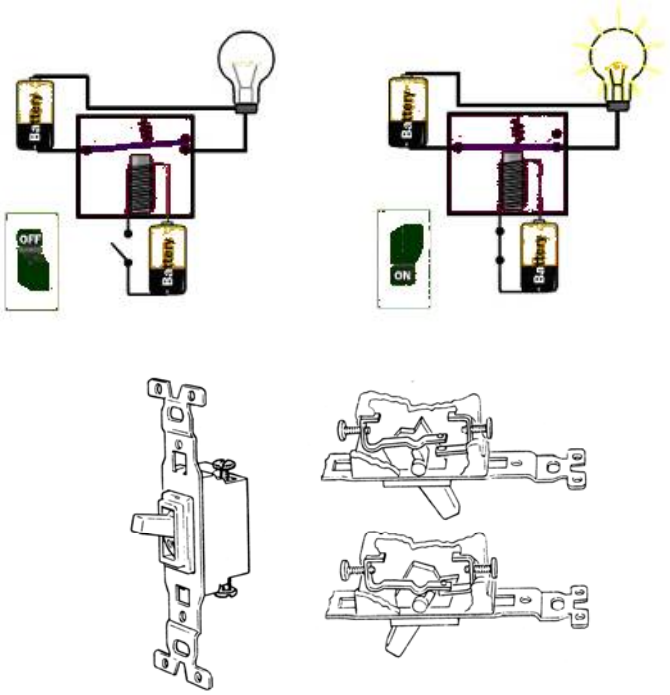


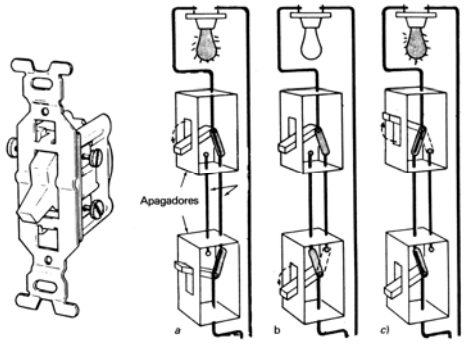
Apagador de paso.

Apagador de tres vías.

Los llamados apagadores de tres vías se usan principalmente para controlar lámparas desde dos puntos distintos, por lo que se requieren dos apagadores de tres vías por cada instalación o parte de instalación en donde se requiere este tipo de control. Por lo general este tipo de apagadores tienen tres terminales. En la siguiente figura se muestra el principio de operación de estos apagadores. Su instalación es común en áreas grandes como entrada de casa y pasillo, en donde por comodidad no se requiera regresar a apagar una lámpara, o bien en escaleras en donde se encienda un foco en la parte inferior (o superior) y se apaga en la parte superior (o inferior) para no tener que egresar a apagar la lámpara.

a) y c) Lámparas encendida b) Lámpara apagada





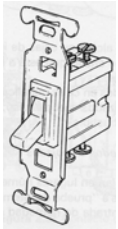
Ejemplos de aplicación de apagadores de 3 vias

Apagador de cuatro vías.

En el caso de que se desee controlar un circuito de alumbrado desde tres puntos distintos, entonces se usan los llamados apagadores de cuatro vías que tienen 4 terminales como se muestra en la siguiente figura.

Cuando se usan apagadores de cuatro vías es necesario usar también dos apagadores de tres vías en el mismo circuito, de manera que el apagador de cuatro vías quede en medio de los dos de tres vías.

En los apagadores de tres y cuatro vías las conexiones se deben hacer de manera tal que las operaciones de interrupción se hagan sólo en el conductor activo del circuito.



Apagador de 4 vías.

Accesibilidad.

Invariablemente en cualquier instalación eléctrica; todos los apagadores se deben instalar de manera tal que se puedan operar manualmente y desde un lugar fácilmente accesible. El centro de la palanca de operación de los apagadores no debe quedar a más de 2.0 metros sobre el nivel del piso en ningún caso. En el caso particular de apagadores para alumbrado en casas habitación, oficinas y centres comerciales se instalan entre 1.20 y 1.35 *m* sobre el nivel del piso.

Montaje de apagadores

Existen dos tipos de montaje de apagadores:

a) Tipo sobrepuesto o superficie.

Los apagadores que se usen en instalaciones visibles con conductores aislados sobre aisladores, se deben colocar sobre bases de material aislante que separen a los conductores por lo menos 12 *mm* de la superficie sobre la cual se apoya la instalación,

b) Tipo embutido

Los apagadores que se alojan en cajas de instalaciones ocultas se deben montar sobre una placa o chasis que este a ras con la superficie de empotramiento y sujeto a la caja.

Los apagadores instalados en cajas metálicas embutidas y no puestas a tierra y que puedan ser alcanzados desde el piso, se deben proveer de tapas de material aislante e incombustible.

Apagadores en lugares húmedos o mojados

Los apagadores que se instalan en lugares húmedos, mojados o a la intemperie, se deben alojar en cajas a "prueba de intemperie" o bien estar ubicados de manera que se evite la entrada de humedad o agua.

Contactos.

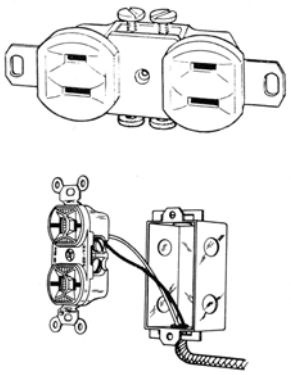
Los contactos se usan para enchufar (conectar) por medio de clavijas, dispositivos portátiles tales como lámparas, taladros portátiles, radios, televisores, tostadores, licuadoras, lavadoras, batidoras, secadoras de pelo, rasuradoras eléctricas, etc.

Estos contactos deben ser para una capacidad nominal no menor de 15 amperes para 125 Volts y no menor de 10 amperes para 250 Volts. Los contactos deben ser de tal tipo que no se puedan usar como portalámparas.

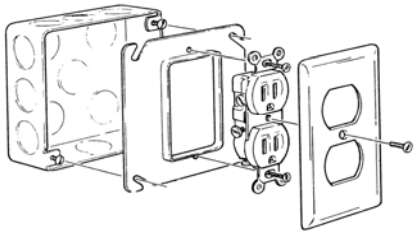
Los contactos pueden ser sencillos o dobles, del tipo polarizado (para conexión a tierra) y a prueba de agua. En los casos más comunes son más sencillos, pero se pueden instalar en cajas combinados con apagadores.

Los contactos se localizan aproximadamente de 70 a 80 *cm* con respecto al nivel del piso (considerado como piso terminado). En el caso de cocinas de casas habitación así como en baños, es común instalar los contactos en la misma caja que los apagadores, por lo que la altura de instalación queda determinada por los apagadores, es decir entre 1.20 y 1.35 *m* sobre el nivel del piso.

En las siguientes figuras se muestran algunos ejemplos típicos de contactos usados en instalaciones eléctricas.

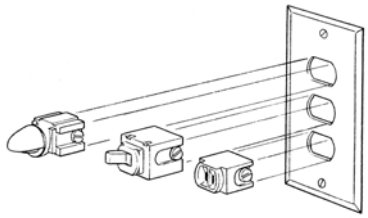


Contacto doble.



Contacto doble y montaje en caja cuadrada.

Combinación apagador, contacto y lámpara piloto (dispositivos intercambiables).



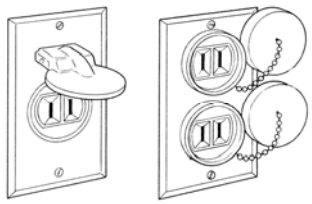
Contactos en piso.

Los contactos que se instalen en pisos deben estar contenidos en cajas especialmente construidas para cumplir con este propósito, excepto los contactos que estén en pisos elevados de aparadores o sitios similares que no estén expuestos a daño mecánico, humedad o polvo, en cuyo caso se pueden usar contactos con caja de instalación normal.

Contactos en lugares húmedos o mojados

a) Los contactos que se instalen en lugares húmedos deben ser del tipo adecuado dependiendo de las condiciones de cada caso.

b) Lugares mojados. Estos contactos se denominan a prueba de intemperie. En siguiente figura se muestran los contactos a prueba de agua.



Contactos a prueba de agua**.**

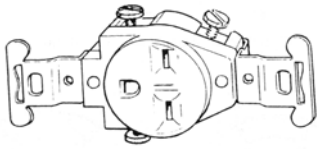
Uso de dispositivos intercambiables.

Los dispositivos intercambiables permiten flexibilidad en las instalaciones eléctricas. Se pueden instalar dos o tres dispositivos en una caja de salida estándar y montados en la placa

de pared. El dispositivo puede contener un contacto, apagador y una lámpara piloto, pero en realidad se puede tener cualquier combinación u orden de estos dispositivos.

Contactos, clavijas y adaptadores del tipo de puesta a tierra

En los contactos o clavijas, así como los adaptadores denominados de puesta a tierra (siguiente figura), se recomienda que la terminal de conexión a tierra se identifique por medio del color verde y que en ningún caso se use para otro propósito que no sea el de conexión a tierra.

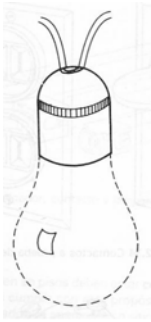


Contacto con puesta a tierra**.**

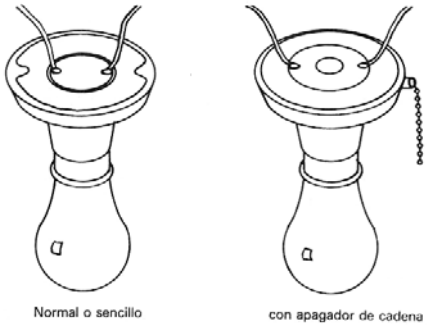
Portalámparas.



Quizá el tipo más común de portalámpara usada en las instalaciones eléctricas de casas habitación sea el conocido como "socket" construido de casquillo de lamina delgada de bronce en forma roscada para alojar al casquillo de los focos o lámparas. La forma roscada se encuentra contenida en un elemento aislante de baquelita o porcelana y el conjunto es lo que constituye el portalámpara.



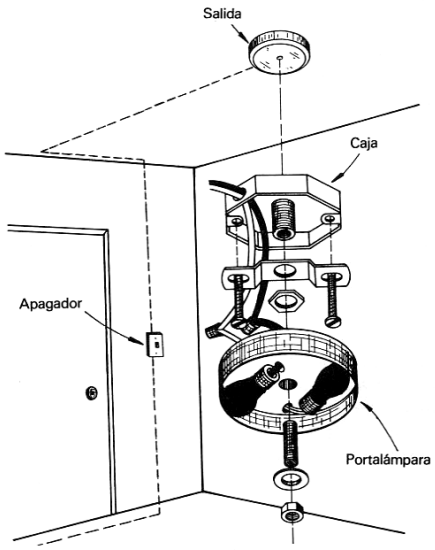
Portalámpara de baquelita.



Portalámpara de porcelana**.**

Existen diferentes tipos de portalámparas dependiendo de las aplicaciones que se tengan, incluyendo a los denominados portalámparas ornamentales usados en casas habitación, oficinas, o centros comerciales decorativos.

En la siguiente figura se muestran los principales elementos que intervienen en una



instalación de lámparas con portalámparas ornamental.

Salida con portalámparas.

2.3 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE

2.3.1 Introducción.

Dispositivos para protección contra sobrecorrientes

El alma de cualquier instalación eléctrica la constituyen los conductores; por tanto, deben existir en cualquier instalación eléctrica dispositivos de seguridad que garanticen que la capacidad de conducción de corriente de los conductores no se exceda. Una corriente excesiva, también conocida como sobrecorriente (algunas veces también corriente de falla), puede alcanzar valores desde una pequeña sobrecarga hasta valores de corriente de cortocircuito dependiendo de la localización de la falla en el circuito.

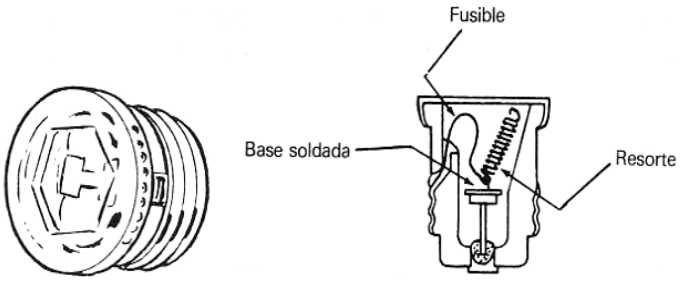
Cuando ocurre un cortocircuito las pérdidas RI2 se incrementan notablemente de manera que en pocos segundos se pueden alcanzar temperaturas elevadas tales que puedan alcanzar el punto de ignición de los aislamientos de los conductores o materiales cercanos que no sean a prueba de fuego, pudiendo ser esto peligroso hasta el punto de producir incendios en las instalaciones eléctricas.

La protección contra sobrecorrientes asegura que la corriente se interrumpirá antes de que un valor excesivo pueda causar daño al conductor mismo o a la carga que se alimenta.

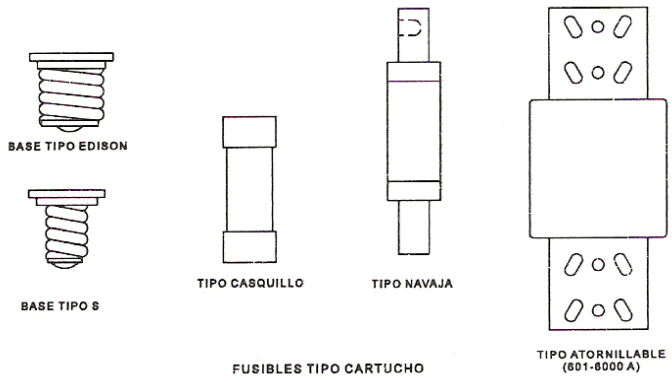
En las instalaciones residenciales hay básicamente dos tipos de dispositivos de protección contra sobrecorrientes: Los fusibles y los interruptores termomagnéticos.

2.3.2 Fusibles.

En las instalaciones eléctricas se pueden presentar corrientes que sean mayores que los valores nominales o máximos de operación de los cables o conductores, o bien de los equipos. Estas sobrecorrientes pueden ocurrir básicamente por dos causas: sobrecargas y corto circuito. Para proteger a los equipos y a las instalaciones contra estas sobrecorrientes, se usan dispositivos que las detectan y puedan operar en un ciérto tiempo, tal es el caso de los fusibles o los interruptores termomagnéticos usados en 'instalaciones residenciales, industriales o comerciales.

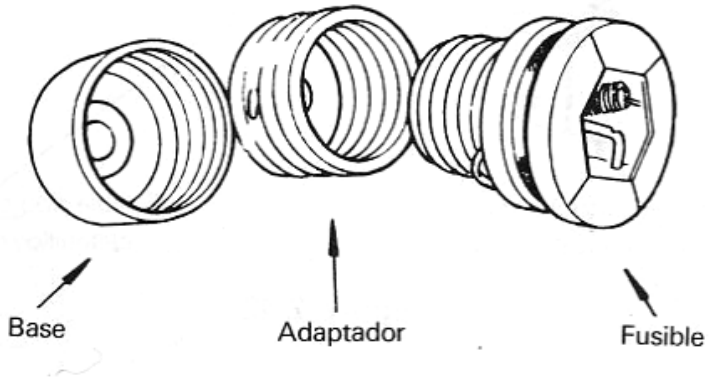


Los fusibles son, de hecho, los más viejos dispositivos de protección contra sobrecorrientes y su desarrollo original se debe a Edison, por la misma época en que inventó otras componentes eléctricas, cuando se inicio el desarrollo de la industria eléctrica hacia finales de los 1800s. Todo esto, como resultado dé! descubrimiento de la lámpara eléctrica, que fue el principio formal de la utilización de la energía eléctrica y con esto de todo tipo de instalaciones eléctricas.

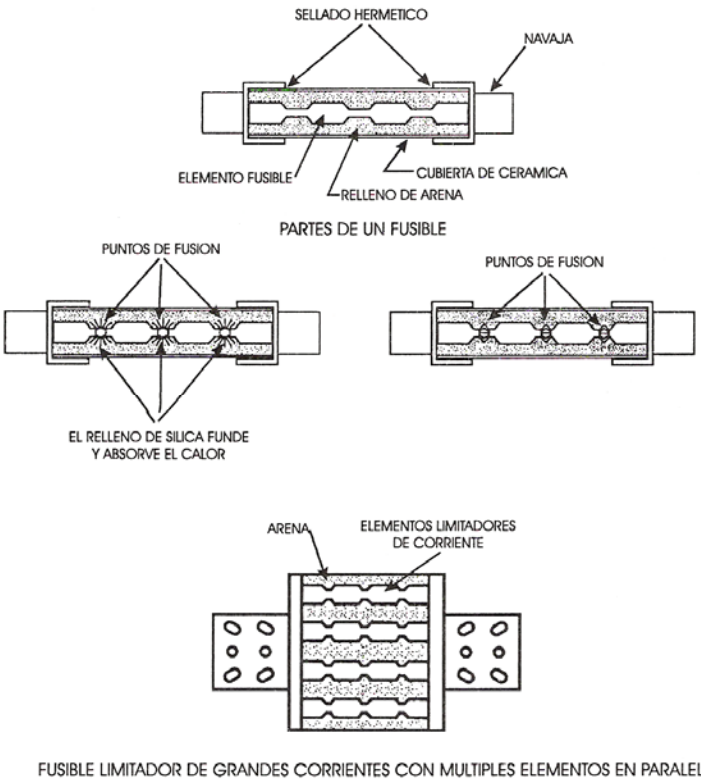


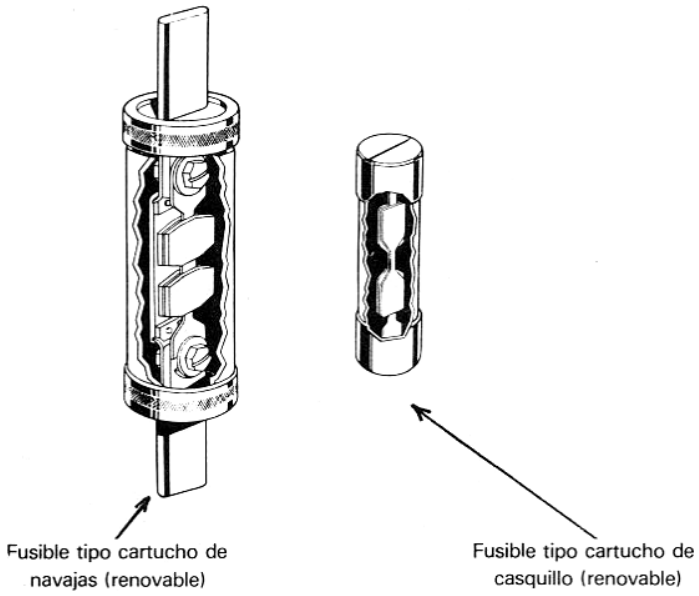
Vista de un fusible de tapón Partes del fusible de tapón

Base, adaptador y fusible de tapón.



El principio de operación de los fusibles se podría decir que es el mismo con algunas pequeñas variantes, también existen diferencias desde el punto de vista constructivo. Estas diferencias se presentan, principalmente, dependiendo de si se trata de fusibles en baja tensión (menores de 1000 *Volts*) o en alta tensión, para aplicaciones residenciales o industriales, para ser coordinados con otros elementos de protección que no son fusibles, o con fusibles.

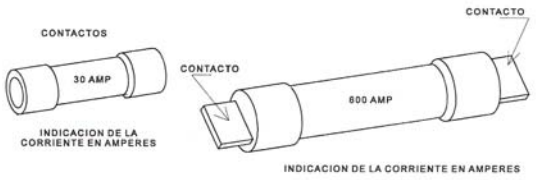


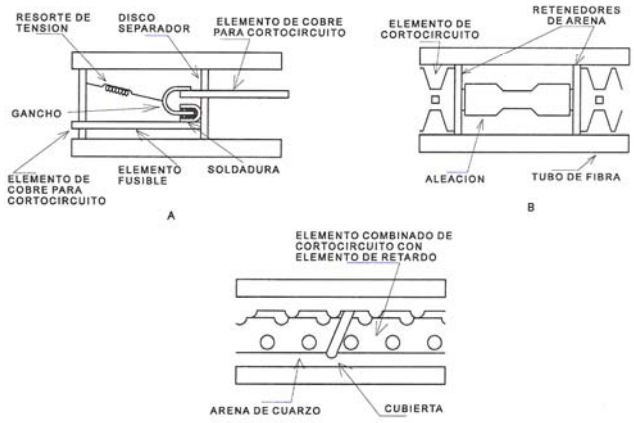


Fusibles de tipo cartucho.

Actualmente, los fusibles se siguen usando para proporcionar protección a lámparas y circuitos de alumbrado, pero también para proteger motores con altas corrientes, o bien dispositivos electrónicos de estado sólido que manejan valores de corrientes muy bajas.

Como se ha mencionado antes, los fusibles se pueden encontrar en una gran variedad, como por ejemplo, los tipo: rosca enchufables de uso en casas habitación, los tipo cartucho con base de casquillo para aplicaciones diversas hasta 60 A., los tipo casquillo con terminales de navaja para corrientes de 70 A. a 600 A. o los tipo cartucho con bases atornillables para corrientes hasta 6000 A. Los fusibles como los interruptores, operan con una curva inversa de tiempo corriente diseñada para interrumpir rápidamente los corto circuitos, permitiendo por tiempos más largos las sobrecargas temporales, o bien las corrientes de arranques de motores.





La curva característica de un fusible, como la de un interruptor, se traza en papel log-log y tiene una banda de operación en lugar de una curva sencilla, la curva inferior de esta banda indica el tiempo mínimo de fusión; en tanta que la curva superior,. indica el tiempo máximo de libramiento o interrupción.

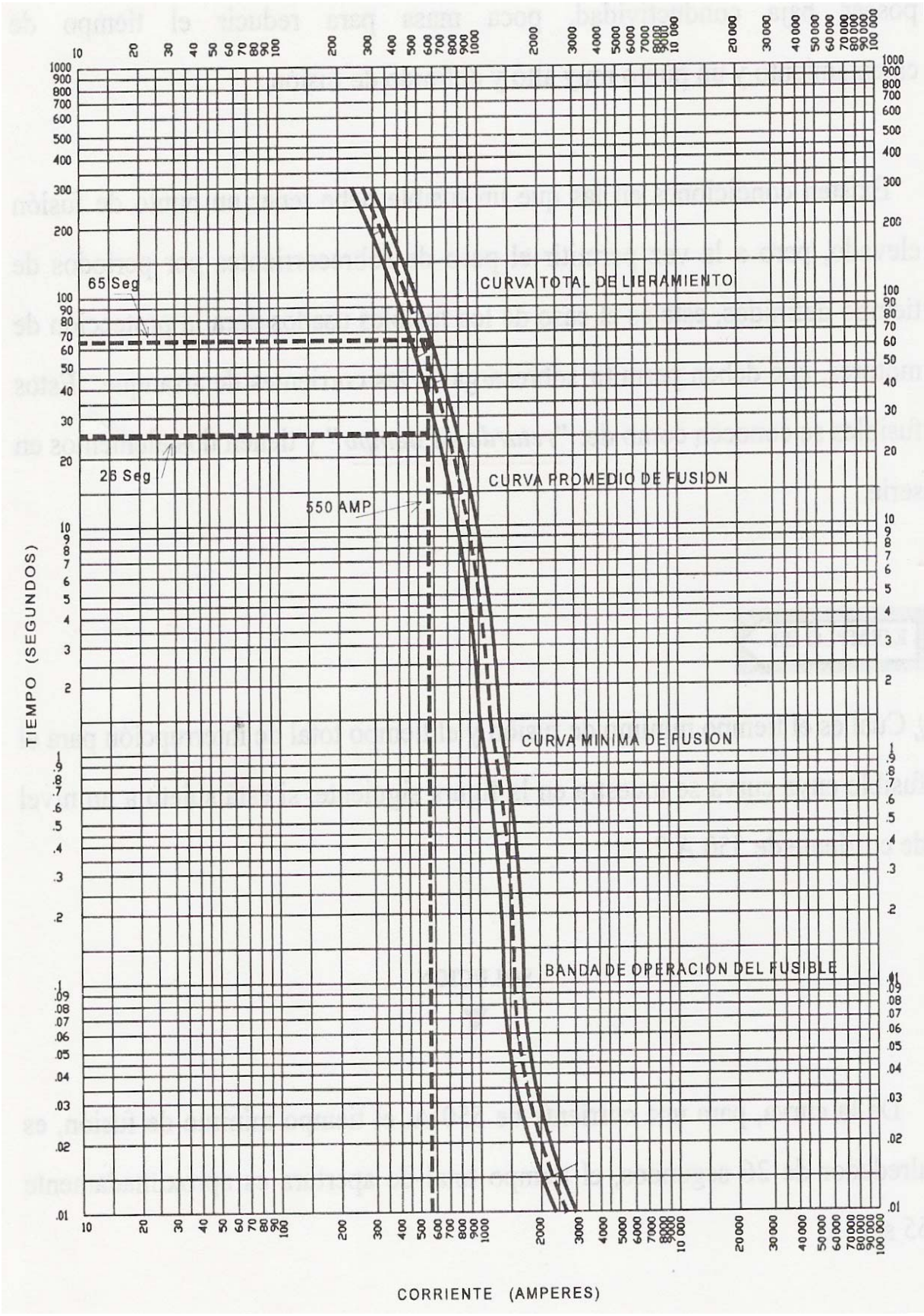
El tiempo total de interrupción es la suma del tiempo requerido por el elemento fusible para fundirse, más el subsecuente tiempo de arqueo.

Ejemplo

¿Cuál es tiempo mínimo de fusión y el tiempo total de interrupción para el fusible cuya curva se muestra en la figura siguiente, si esta sujeto a un nivel de corriente de 550 A?

Solución:

De la curva , para una corriente de 550 A, el tiempo mínimo de fusión, es alrededor de 26 segundos, el tiempo total de apertura es de aproximadamente de 65 seg.


65 Seg
CURVA TOTAL DE LIBRAMIENTO
26 Seg
CURVA PROMEDIO DE FUSION
550 AMP
CURVA MINIMA DE FUSION
BANDA DE OPERACION DEL FUSIBLE
TIEMPO (SEGUNDOS)
CORRIENTE (AMPERES)

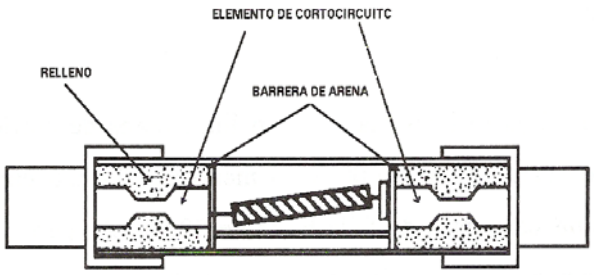
El elemento fusible ideal para la limitación máxima de corriente debe poseer baja conductividad, poca masa para reducir el tiempo de calentamiento y un punto muy alto y definido de fusión.

Existen condiciones en las que un fusible debe tener un punto de fusión elevado, pero a la vez permitir el paso de sobrecorrientes por períodos de tiempo definidos, este es el caso de los fusibles usados para la protección de motores, que deben permitir sobrecargas. y las corrientes de arranque. Estos fusibles se conocen como de: "retardo de tiempo'" y tienen dos elementos en serie.

2.3.3 La función de la limitación de corriente.

Una de las grandes ventajas de los fusibles, es que ciertos tipos tienen la capacidad de limitar el flujo de la corriente de falla a un nivel bastante abajo del valor pico teórico. Esto reduce sensiblemente los esfuerzos térmicos y dinámicos asociados con los grandes valores de falla.

En la siguiente figura, se muestra la forma de onda durante la falla. La corriente de falla rápidamente asciende hasta el valor pico instantáneo del potencial, pero previo a alcanzar este valor el elemento fusible se funde y se presenta inicio del arco. La corriente se forza a cero antes de alcanzar el primer medio ciclo. La corriente nunca alcanza su valor pico instantáneo, pero sí un valor menor llamado "Pico a través de la corriente". El tiempo total de interrupción del fusible, es la suma del tiempo de fusión más el tiempo de arqueo o del arco eléctrico.



2.3.4 Clasificación de fusibles.

Existen distintos tipos de clasificación de los fusibles, la mayoría está en función de su aplicación y se han basado generalmente en aspectos normativos, de aquí que, una 'Clasificación muy conocida es la que se hace por parte de la UL (Under Writers Laboratories) en los Estados Unidos. Esta clasificación agrupa a los fusibles en dos categorías básicas:

a) Fusibles no limitadores de corriente. Que son aquellos tipo tapón (con rosca) o de tipo cartucho, denominados clase H ye que tienen capacidad para interrumpir corrientes de falla en forma segura hasta unos 10,000 A., pero no son limitadores de corriente. Generalmente, su aplicación se encuentra entre los 250 V. y 600 V con corrientes hasta 600 A.

b) Fusibles limitado res de corriente. Los fusibles limitadores de corriente se clasifican de acuerdo a una letra de identificación como: Clase J, K, L, R Y T.

Clase: J. Los fusibles clase J. son limitadores de corriente y están diseñados para operar a 600 V. o menores. Tienen capacidad para interrumpir corrientes de falla hasta de 20,000 Amperes. Su valor de corriente nominal puede llegar a ser hasta 600 A.

Clase: K. Estos son fusibles limitadores de corriente con tres designaciones; K-1 ,K-5 y K-9, cada clasificación tiene límites específicos de corrientes pico que circulan por ellos y de valores 1^{2t} . Las capacidades interruptivas para los: K-1, K-5 y K-9 son 50,000 A., 100,000 A. y 200,000 A., respectivamente.
Estos fusibles se designan como: "con retardo de tiempo", sí son capaces de conducir hasta cinco veces sus corrientes nominales por al menos 10 segundos.

Clase: L. Este tipo de fusibles son ampliamente usados y se encuentran disponibles en capacidades de 601 Amperes hasta 6,000 Amperes, con voltajes de 600 Volts o menores. Tienen capacidad de interrupción de corrientes de falla de hasta 200,000 Amperes y generalmente son del tipo atornillable.

Clase: R. Estos fusibles se encuentran disponibles en los rangos de voltaje de 250 V. y 600 V., y hay dos subclasificaciones basadas en el nivel de las corrientes de pico y el valor térmico (1^{2t}). Estas dos subclasificaciones son: RK-I y RK-J. Sus capacidades nominales son hasta 600 Amperes, son del tipo acción retardada y pueden conducir hasta el 500% del valor nominal de su corriente durante al menos 10 segundos.

Clase: T. Estos son relativamente nuevos dentro de la familia de los fusibles y están diseñados para ser usados en instalaciones compactas. Su capacidad interruptiva llega hasta los 200,000 Amperes, con corrientes nominales hasta 600 Amperes, en los rangos de voltaje de: 250 y 600 Volts.

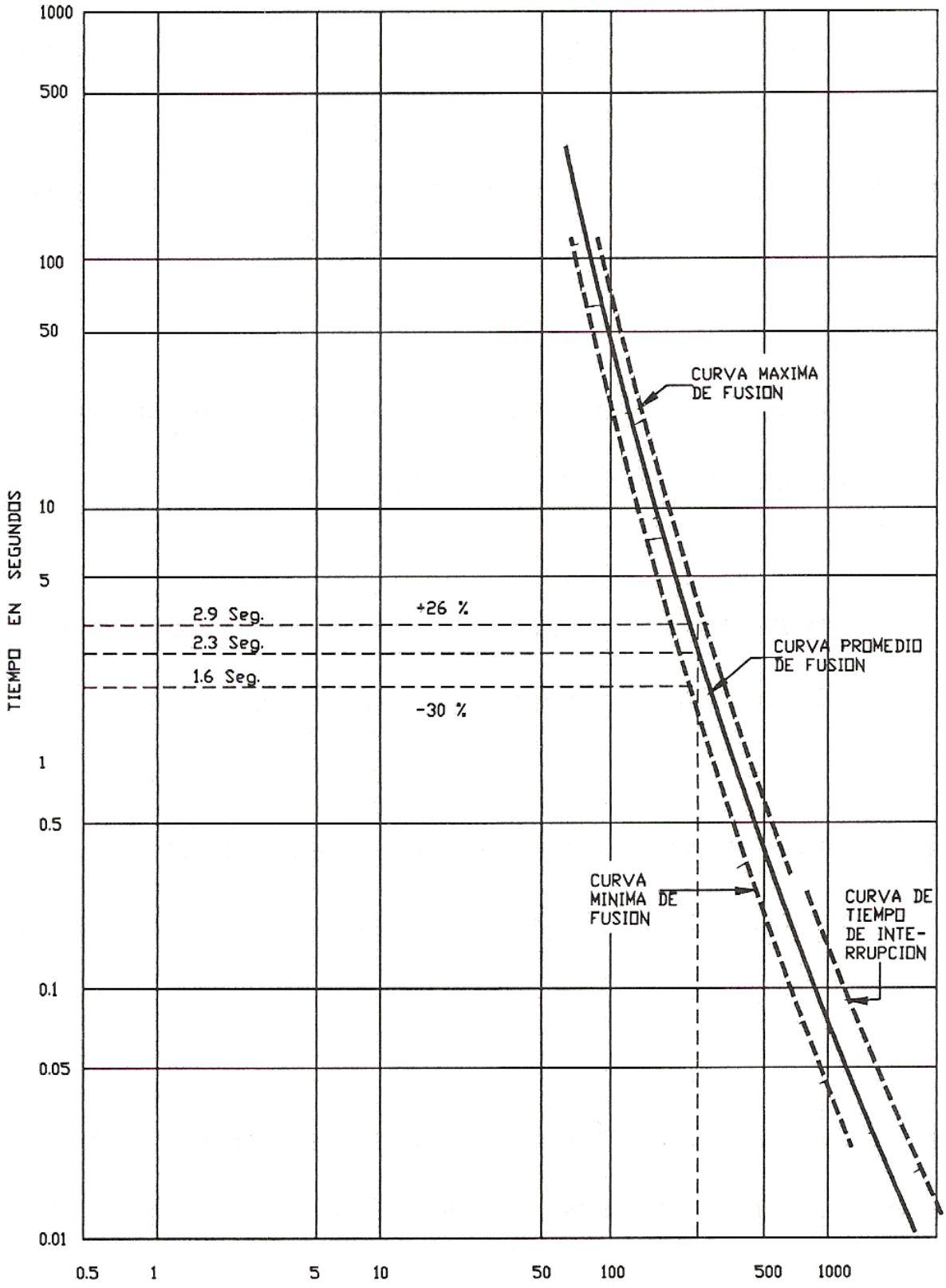
La protección contra fallas de los fusibles tiene la misma función que la de los interruptores, y es necesaria en aquellas aplicaciones de los fusibles que se coordinen sus características con las de los dispositivos de control empleados, para proteger adecuadamente los circuitos y componentes. Los fabricantes proporcionan tres tipos de datos básicos para los fusibles, que son:

- ***Las curvas tiempo-corriente.*** Estas curvas muestran los tiempos de fusión a distintos valores de corriente.

- ***Las curvas corriente-limitación.*** Muestran los picos de corriente para distintos valores de corrientes simétricas.

- Las curvas o tablas que muestran el valor de 1^{2t} y los niveles de daño para diferentes fusibles a valores específicos de corrientes de falla.

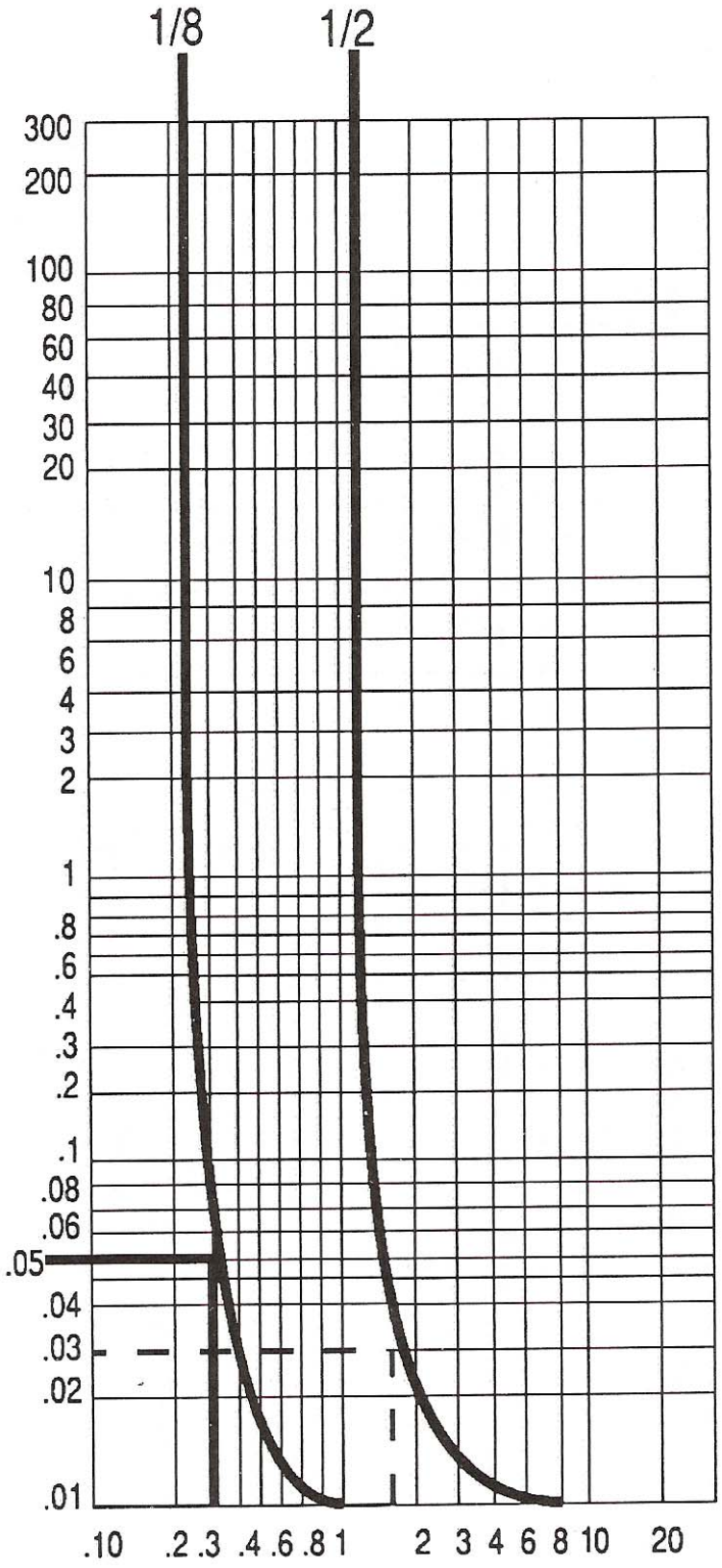
Dentro de las aplicaciones típicas de los fusibles, se tiene la protección de circuitos derivados para motores, para alumbrado, o bien para otro tipo de cargas.

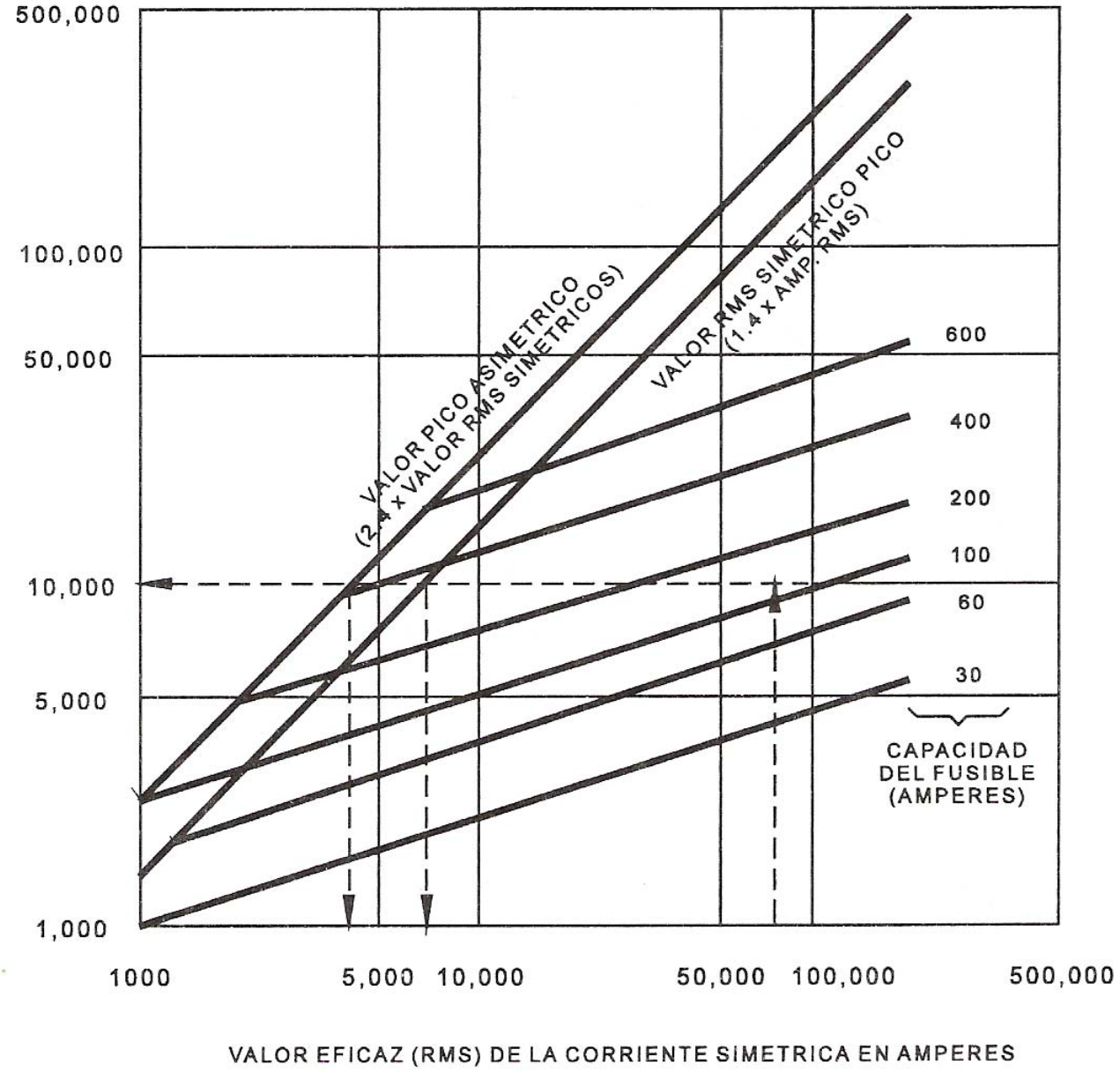


CURVA TIPICA DE UN FUSIBLE

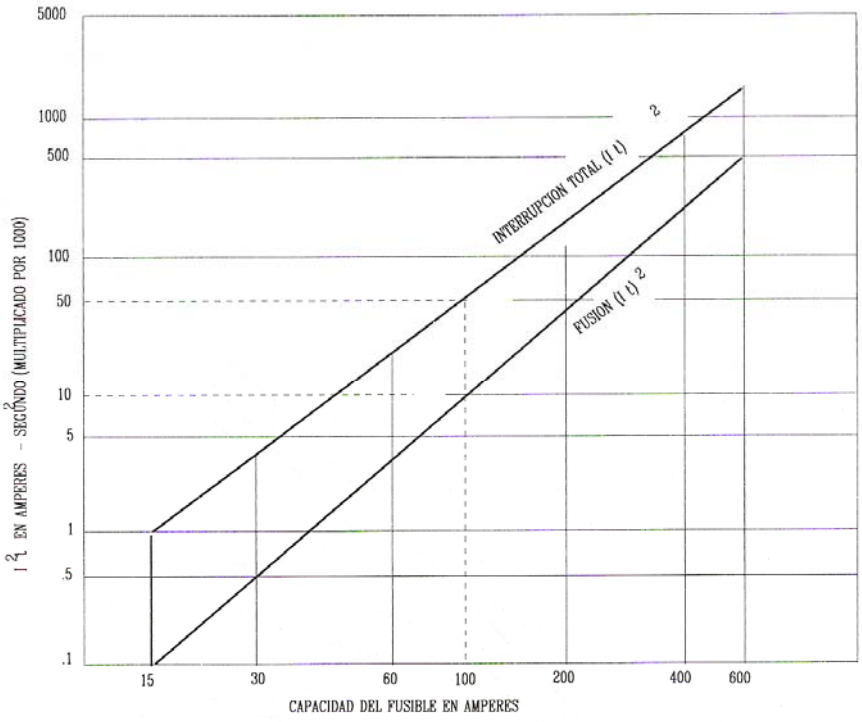
Curva típica de un fusible

El ancho de la banda de fusión (líneas punteadas) describe la tolerancia sobre cada lado de la curva promedio de fusión. Por ejemplo, el tiempo promedio de fusión puede ser: 2.3 *seg.* para un valor de corriente, pero este tiempo puede estar entre: 1.6 *seg*. (mínimo) ó 2.9 *seg*. (máximo).





CURVA TIPICA DE LA CORRIENTE PICO A TRAVES DE UN FUSIBLE



CURVA TIPICA I ² t DE INTERRUPCION Y FUSION

LAS NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS EN SUS FRACCIONES 205.22, 205.23, 205.28, 205.29 y 205.30, ESTABLECEN LO SIGUIENTE CON RELACIÓN A LOS FUSIBLES:

Medios de desconexión para fusibles.

Deben proveerse medios de desconexión en el lado, de abastecimiento de los fusibles en circuitos de más de, 150 Volts a tierra (en caso de fusibles de cartucho, en circuitos de cualquier tensión), si son accesibles a personas no idóneas; de manera que cada circuito individual que contenga fusibles pueda desconectarse en forma independiente de éstos de la fuente de abastecimiento. Se exceptúan los casos indicados como excepción en el artículo 403.78, en que se permite usar un sólo medio de desconexión para controlar un grupo de circuitos de motores, en las condiciones que ahí se indican.

Los fusibles e interruptores automáticos deben localizarse o resguardarse en forma tal que, su operación no ocasione quemaduras u otros daños a personas, debido a los arcos que se formen en algunas de sus partes.

Partes con movimiento repentino.

Las palancas de interruptores automáticos y partes semejantes que puedan moverse repentinamente, deben colocarse o resguardarse de manera que no puedan dañar a las personas en su proximidad.

Fusibles de tapón con rosca.

a) Tensión máxima. Los fusibles de tapón con rosca no deben usarse en circuitos con una tensión mayor de 127 Volts entre conductores.

b) Partes vivas. Los fusibles de tapón con rosca deben construirse en tal. forma que puedan colocarse y quitarse del portafusibles sin que se toquen partes vivas de éste.

c) Identificación. Cada fusible debe llevar marcado el valor de su corriente nominal en amperes. Los valores nominales de corriente usuales son: 15, 20 y 30 amperes. Los portafusibles deben ser todos de una capacidad única de 30 amperes.

Fusibles de cartucho y portafusibles.

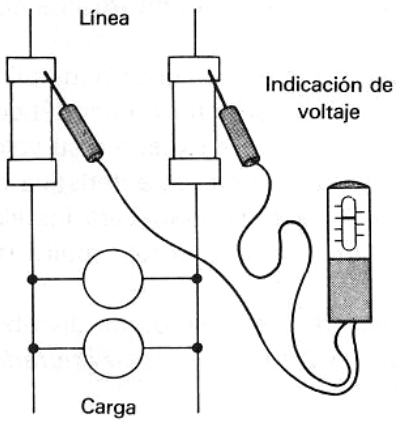
a) Clasificación. Los fusibles de cartucho y sus portafusibles, hasta de 600 Volts nominales, se clasifican de acuerdo con la Tabla 205.29a, de la NOM-SEMP-OOO 1.

b) Prevención de uso inadecuado. Los fusibles de cartucho y sus portafusibles, deben construirse de tal modo que sea prácticamente imposible colocar un fusible de una cierta clasificación en un portafusibles de clasificación distinta, tanto por lo que respecta a

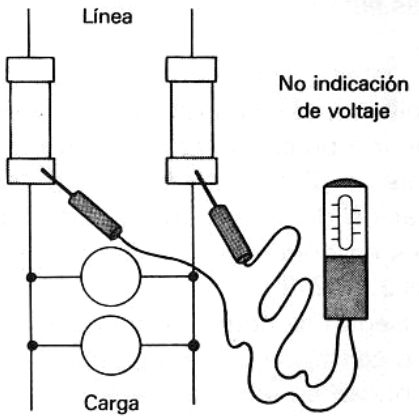
c) Identificación. Cada fusible de cartucho debe tener marcadas las características siguientes: corriente nominal, tensión nominal, capacidad interruptiva cuando ésta sea mayor de 10,000 amperes y la marca o nombre del fabricante.

Localización de fallas en fusibles.

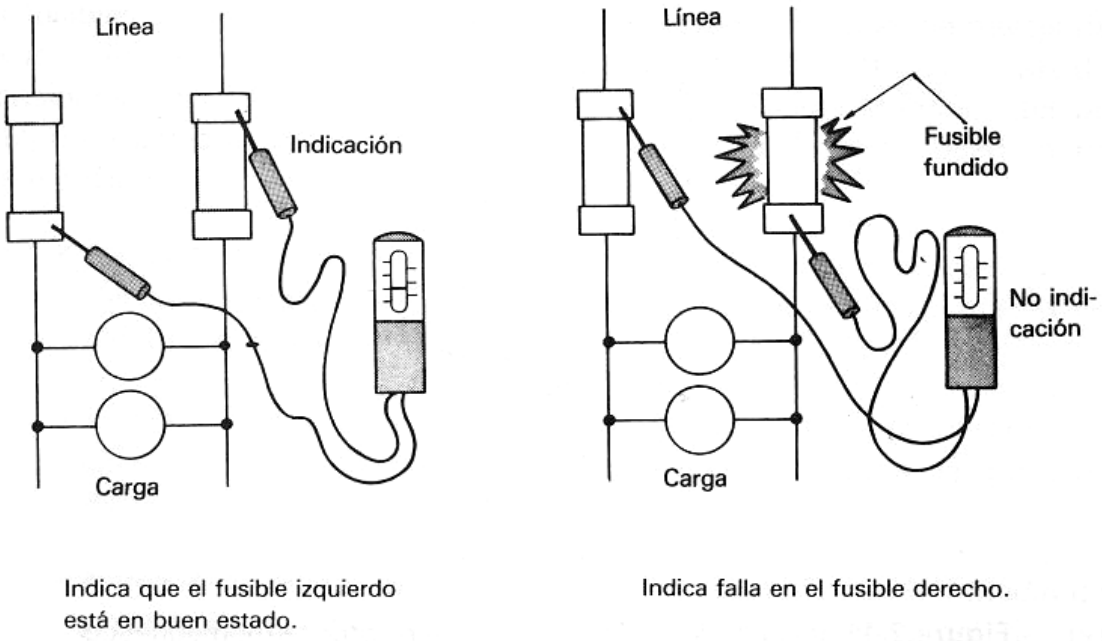
Cuando se observa que la energía eléctrica "se va" en una instalación eléctrica, lo primero que se hace es verificar el estado de los fusibles antes de reemplazarlos; esto se puede hacer por medio de un probador de voltaje. En caso de que exista voltaje en la alimentación se precede a verificar el estado de los fusibles; este procedimiento indica los pasos de verificación de voltaje en la línea y el estado de los fusibles se muestra en la siguiente figura.



Indicación de voltaje



Ninguna indicación de voltaje presupone falla en uno o los dos fusibles.



Localización de fallas en fusibles.

2.3.5 Interruptores.

El interruptor termomagnético también conocido como "Breaker" es un dispositivo diseñado para conectar y desconectar un circuito por medios no automáticos y desconectar el circuito automáticamente para un valor predeterminado de sobrecorriente, sin que se dañe a sí mismo cuando se aplica dentro de sus valores de diseño.

La operación de cerrar y abrir un circuito eléctrico se realiza por medio de una palanca que indica posición adentro (ON) y fuera (OFF). La característica particular de los interruptores termomagnéticos es el elemento térmico conectado en serie con los contactos y que tiene como función proteger contra condiciones de sobrecarga gradual; la corriente pasa a través del elemento térmico conectado en serie y origina su calentamiento; cuando se produce un excesivo calentamiento como resultado de un incremento en la sobrecarga, unas cintas bimetálicas operan sobre los elementos de sujeción de los contactos desconectándolos automáticamente. Las cintas bimetálicas están hechas de dos metales diferentes unidas en un punto una con otra.

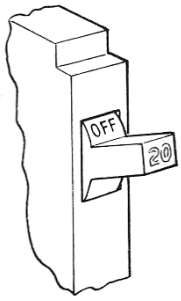
Debido a que debe transcurrir tiempo para que el elemento bimetálico se caliente, el disparo o desconexión de los interruptores termomagnéticos no ocurre precisamente en el instante en que la corriente excede a su valor permisible. Por lo general el fabricante suministra la curva característica de operación del interruptor y, desde luego, no se recomiendan para instalaciones en donde se requiere protección instantánea contra cortocircuito (figura siguiente).

Según se conectan a las barras colectoras de los tableros de distribución o centro de carga, pueden ser del tipo atornillado o del tipo enchufado; se fabrican en los siguientes tipos y capacidades:

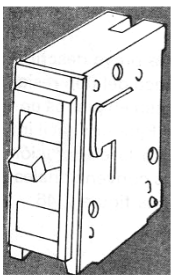
Un polo: 15A, 20A, 40A, 50A.

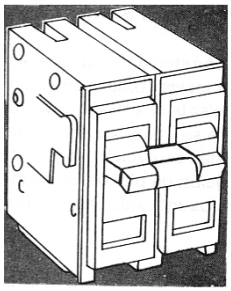
Dos polos: 15A, 20A, 30A, 40A, 50A, 70A.

Tres polos: 100A, 125A, 150A, 175A, 200A, 225A, 250A, 300A, 350A, 400A, 500A, 600A.



Vista de la palanca de un interruptor termomagnético.





Interruptor termomagnético.

Ubicación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente.

En general, los dispositivos de protección contra sobrecorrientes se deben colocar en el punto de alimentación de los conductores que protejan o lo más cerca que se pueda de dicho circuito de manera que sean fácilmente accesibles, que no estén expuestos a daño mecánico y no estén cerca de material fácilmente inflamable. Existen algunas excepciones a esta regla, pero para evitar confusiones, cuando se presente esta situación es conveniente consultar las normas técnicas para instalaciones eléctricas; párrafos 205.13 y 205.14.

En el caso particular de las casas habitación es común que asociados a los fusibles de protección se encuentren los desconectadores de navaja de polos, éstos se encuentran junto de los fusibles en cajas metálicas cuyas dimensiones y características están dadas por la asociación de fabricantes de equipo en Estados Unidos (nema); estas clasificaciones se conocen en los casos más comunes como:

Nema 1. Uso general. Aplicable a servicio interior con condiciones del medio consideradas como normales. La caja evita el contacto accidental con las partes energizadas.
Nema 2. A prueba de goteo. Estas, además de evitar el contacto accidental con las partes energizadas, evitan la entrada de gotas de agua y polvo.
Nema 3. A prueba de agentes externos. Cumple con la función de protección y además protege contra eventualidades del tiempo específicas.
Nema 3r. A prueba de lluvia. Evita que penetre en su interior la lluvia intensa.
Nema 4. A prueba de agua. Evita la entrada de agua cuando la caja está expuesta a chorro de agua con manguera.
Nema 5. A prueba de polvo, Nema 6. Sumergible, Nema 7. A prueba de gases explosivos.

La protección contra sobrecorriente está orientada para prevenir el daño a conductores y aislamientos, por las corrientes excesivas que pueden circular debido a corto circuito de fase a tierra o entre fases.

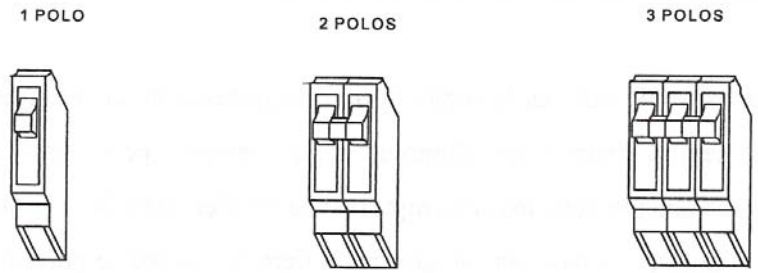
La discusión de cuál es la mejor forma de protección, si interruptores o fusibles, se ha mantenido durante largo tiempo, pero hay algunas aplicaciones en que sólo los interruptores las pueden satisfacer y otras que sólo los fusibles; muchas otras en que cualquiera de los dos se pueden aplicar en forma satisfactoria.

Existen ciertos casos en que la combinación fusible/interruptor puede proporcionar la protección que ninguno por separado puede dar.

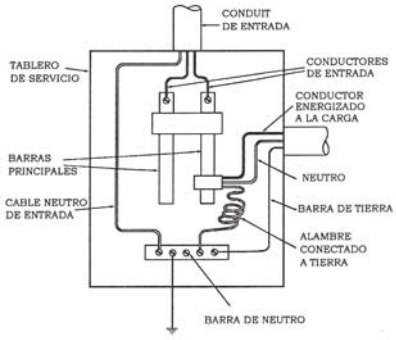
En las instalaciones de baja tensión (menores de 1000 V.) los interruptores en "caja moldeada" son el principal tipo usado, se pueden dividir en dos categorías: El tipo magnético y el electromagnético.

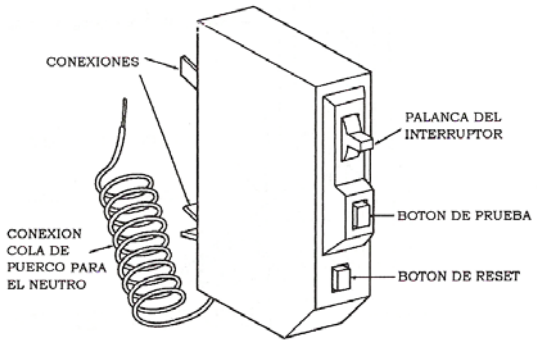
A) Interruptores magnéticos (con disparo instantáneo).

Estos interruptores pueden ser del tipo magnético sin elemento térmico, responde a valores instantáneos de corriente, producto del arranque de motores o de corrientes de corto circuito a tierra. No están equipados con protección térmica. Disparan a un valor de aproximadamente tres (3) veces su capacidad en su valor de ajuste bajo y hasta diez (10) veces en su ajuste. Algunos interruptores de disparo instantáneo tienen valores ajustables de disparo.

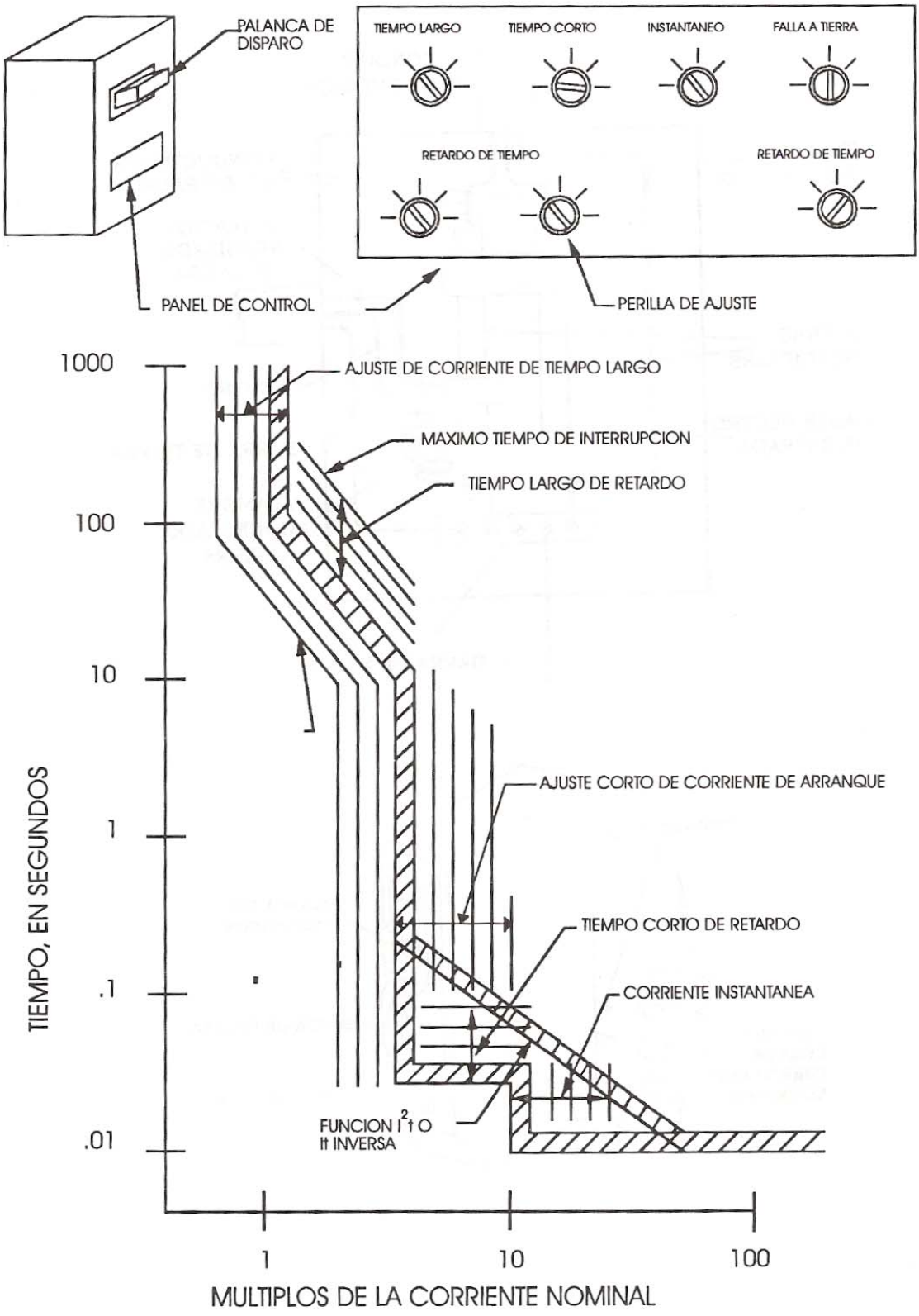


INTERRUPTOR DE DISPARO INSTANTANEIO





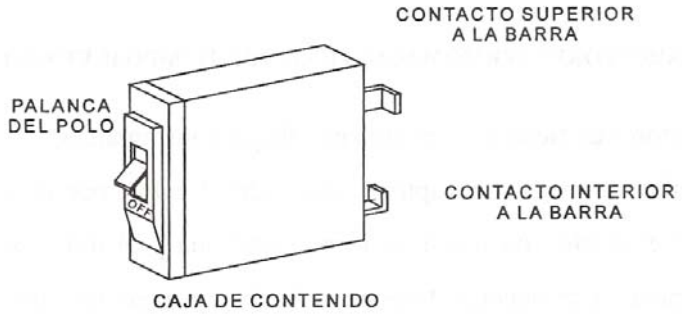
Los ajustes del circuito de disparo instantáneo son modificados para permitir la corriente de arranque de motores, se usan por lo general cuando los fusibles con retardo de tiempo ajustados a cinco (5) veces la corriente nominal o el valor bajo del ajuste del interruptor a 3 veces, no soportan la corriente de arranque del motor.

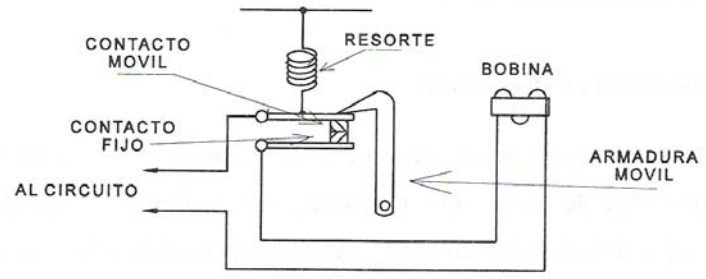


AJUSTES TIPICOS DE DISPARO PARA UN INTERRUPTOR DE ESTADO SOLIDO

Cuando se usan interruptores con disparo instantáneo, se debe proveer al motor con protección de sobrecarga para que se cubra el requisito de protección por sobrecarga del mismo.

En los interruptores con circuito de disparo instantáneo, sólo se abren en forma instantánea para corto circuito entre fases o de fase a tierra. Nunca operan con elevaciones de temperatura lentas debidas a calentamientos en los devanados. En estos casos, se debe proveer una protección contra sobrecarga.





INTERRUPTORES ELECTROMAGNETICOS

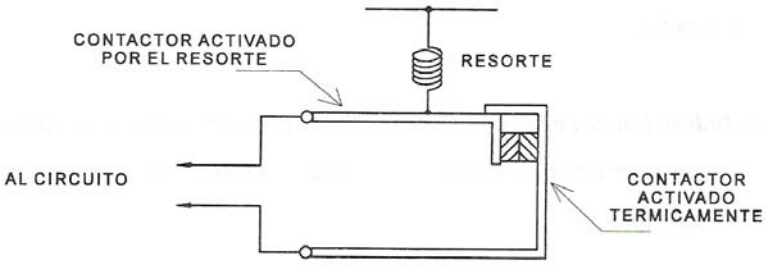


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN INTERRUPTOR TIPO TERMICO

B) Interruptores termomagnéticos (de tiempo inverso).

Los interruptores de tiempo inverso tienen disparo instantáneo y térmico. La acción térmica de estos interruptores responde al calor, por ejemplo, si el sistema de ventilación no opera en forma adecuada y el motor se calienta, entonces opera la protección térmica. Cuando ocurre un corto circuito, entonces la acción magnética del interruptor detectará el valor instantáneo de corriente y dispara al interruptor. Este es el tipo de interruptor que se usa en forma más común para aplicaciones comerciales e industriales.

Un interruptor de 100 A. o menos, soporta un 300% de sobrecarga por 4 segundos a 220 Volts. Un interruptor puede permitir una sobrecarga del 300% durante 9 segundos en: 440 ó 480 Volts.

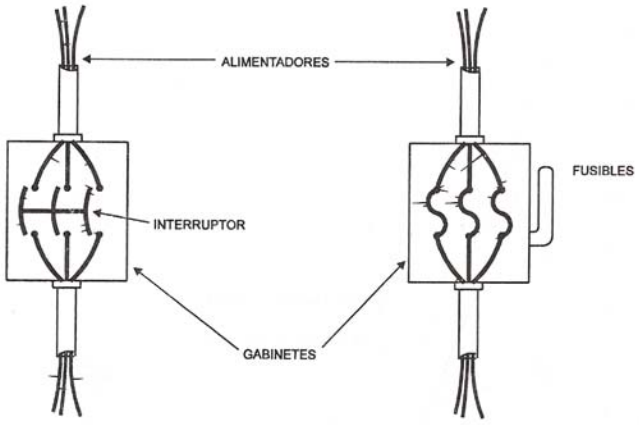
LA NOM-SEMP ESTABLECE CON RELACIÓN A LOS INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS LO SIGUIENTE:

Interruptores automáticos.

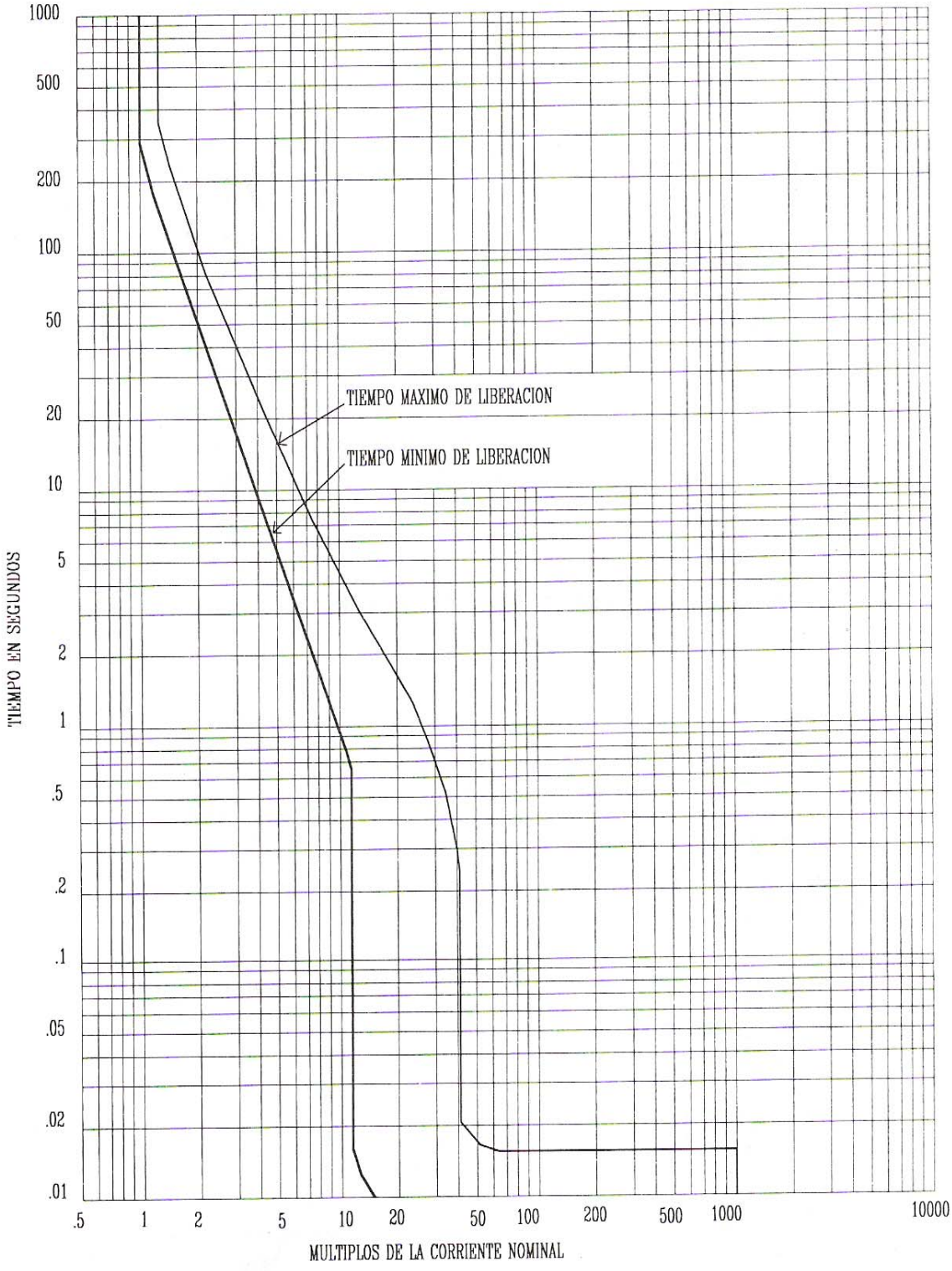
a) Método de operación. En general, los interruptores automáticos deben construirse de manera que puedan cerrarse y abrirse manualmente, aunque su accionamiento normal se efectúe por otros medios, ya sean eléctricos, neumáticos, etc.

b) Daño al operador. Los interruptores automáticos deben montarse de modo que se evite, en todo 10 posible, que su operación pueda dañar al operador.

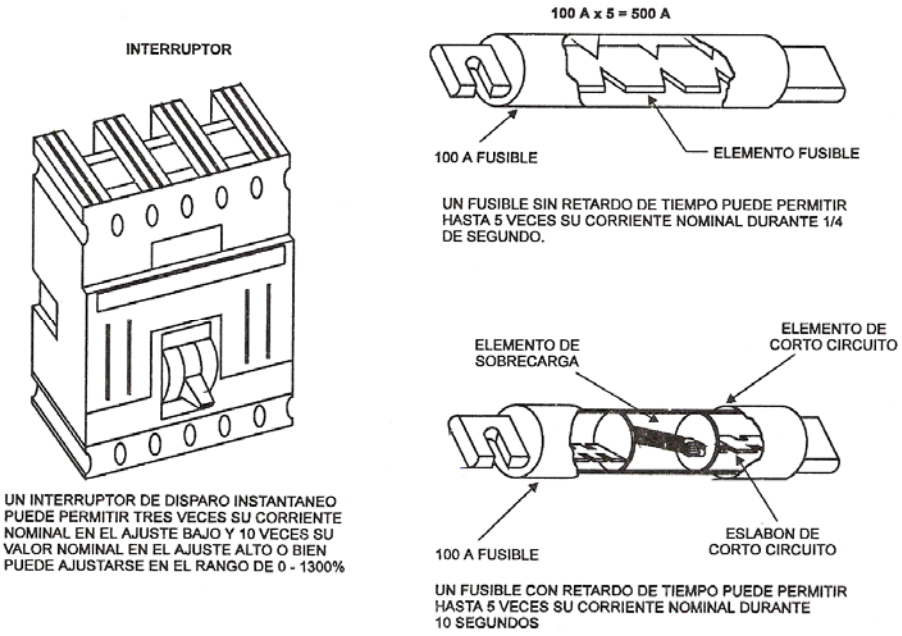
c) Indicación de posición. La indicación de corriente nominal en amperes en un interruptor automático debe quedar visible, aún después de su instalación.



PROTECCION DE ALIMENTADORES POR INTERRUPTOR O FUSIBLES



CURVA TIPICA DE DISPARO DE UN INTERRUPTOR
TERMOMAGNETICO EN CAJA MOLDEADA



Interruptores automáticos**.**

3.1 PROPÓSITO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

3.1.1 Propósito de los sistemas de puesta a tierra

3.1.2 Objetivo de una instalación de puesta a tierra.

3.1.3 Requerimientos para un sistema de puesta a tierra

3.2 PROTECCIÓN A TIERRAS PARA SISTEMAS DE CA

3.2.1 Protección a tierra de para sistemas de c.a.

3.2.2 Referencia a tierra para una subestación.

3.2.3 Referencia a tierra para un sistema de bajo voltaje (acometida).

3.2.4 Aterrizaje del sistema de emergencia de c.a.

3.3 PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

3.3.1 Sistema de alambrados que requieren conexión a tierra según la NOM001-SEDE.

3.3.2 Sistemas de alambrados en c.a. que pueden no ser aterrizados sólidamente.

3.3.3 Conductores a aterrizarse.

3.3.4 Lugar de puesta a tierra del sistema.

3.4 LA TIERRA Y LA RESISTIVIDAD

3.4.1 Datos de resistividad de suelos típicos.

3.4.2 Ejemplos de perfiles de resistividad.

3.5 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.

3.5.1 Método de Wenner.

3.5.2 Método de Schlumberg.

3.6 MEDICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA

3.6.1 Medición de la resistencia de tierra por el método de la caída de tensión.

3.6.1 Medición de la resistencia de tierra por el método de los dos puntos.

3.7 MEGGER O TELURÓMETRO

3.7.1 Principio de operación.

3.7.2 Importancia de la medición de una puesta de tierras.

3.8 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

3.8.1Descargas atmosféricas.

3.8.2 Sistemas de pararrayos.

3.9 PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS.

3.9.1 Sistema Franklin.

3.9.2 Sistema tipo jaula de Faraday.

3.9.3 Protección de líneas aéreas.

3.9.4 Protección de tanques.

3.9.5 Protección de torres de comunicación.

3.10 CÁLCULOS.

3.10.1 Cálculo de pararrayos.
3.10.11 Cálculos simplificados.
3.10.12 Cálculo de la resistencia a tierra de una varilla.
3.10.13 Cálculo de la corriente de falla.

3.11 DISEÑO DE LA RED

3.11.1 Cálculo del calibre mínimo del conductor.

3.11.2 Cálculo de la longitud del conductor de malla.

3.11.3 Calculo de los potenciales de contacto permisibles.

3.11.4 Cálculo de la resistencia de la red.

3.11.5 Cálculo de red de tierras para una torre de telecomunicaciones.

3.11.6 Diseño de la red de tierras.

3.11.7 Sistemas de tierra en casas habitación.

3.11.8 Puesta a tierra de acometida eléctrica.

3.11.9 Ejemplo “Diseño de la malla para la subestación eléctrica de un edificio inteligente”.

3 SISTEMAS DE TIERRA

INTRODUCCIÓN

La TIERRA FÍSICA es una conexión de seguridad humana y patrimonial que se diseña en los equipos eléctricos y electrónicos para protegerlos de disturbios o transitorios imponderables, por lo cual pudieran resultar dañados. Dichas descargas surgen de eventos imprevistos tales como los fenómenos artificiales o naturales como descargas electrostáticas, interferencia electromagnética, descargas atmosféricas y errores humanos.

La importancia de implementar un sistema de tierras radica a que hay lugares en que la diferencia de potencial entre el neutro y la tierra llega a ser de hasta 5 Voltios de c.a., con lo cual podrían trabajar algunos aparatos como refrigeradores, televisores, licuadoras, hornos de microondas, computadoras, etc.

El que exista este fenómeno es consecuencia de la cantidad de descargas eléctricas, magnéticas y de ondas hertzianas que se obtienen por una incorrecta disipación a tierra y que "saturan" a los conductores de puesta a tierra.

En plantas industriales existe una gran perdida de capital debido a las “fallas de energía” que aumenta si se considera el deterioro que sufren también los equipos electrónicos debido a esta diferencia de potencial.

Es por ello que es conveniente implementar un sistema de protección de alta eficiencia electromecánica y electrónica que opere para disipar la carga que fluye hacia la tierra física de nuestros aparatos y equipos que requieren de ella, que a la vez reduzcan el riesgo por aquellas corrientes indeseables no confinadas por los sistemas tradicionales. Además, de buscar el máximo aprovechamiento de la potencia de entrada a los aparatos y equipos.

Una instalación de puesta a tierra es la unión eléctrica con la tierra de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora que no pertenece a mismo, se realiza por medio de una instalación de puesta a tierra.

Una instalación de puesta a tierra es “ el conjunto formado por electrodos y líneas de tierra de una instalación eléctrica, las instalaciones de puesta a tierra estarán constituidas por uno o varios electrodos enterrados y por las líneas de tierra que conecten dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra“.

Es importante considerar también los puntos de puesta a tierra “ En las líneas de tierra deberán existir los suficientes puntos de puesta a tierra que faciliten las medidas de comprobaciones del estado de los electrodos y la conexión a tierra de la instalación”.

DEFINICIONES

Conductor de puesta a tierra. Es aquel conductor de un circuito que se conecta a tierra intencionalmente. Este conductor garantiza la conexión física entre las partes metálicas expuestas a alguna falla y la tierra. Por medio de este conductor circula la corriente no deseada hacia la tierra.

Puente unión. Este puente es un conductor que nos sirve para proporcionar la conductividad eléctrica entre partes de metal que requieren ser conectadas eléctricamente.

Red de tierras. Es la porción metálica subterránea de un sistema aterrizado que dispara hacia la tierra todo flujo de corriente no deseado. Esta red se puede componer de varias mallas interconectadas.

Resistencia de tierra. Es la resistencia que nos ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores

Resistividad del terreno. Es la propiedad del terreno que se opone al paso de la corriente eléctrica, la resistividad varia de acuerdo a las características del terreno.

Sistema de Tierra. Son varios conductores desnudos que se interconectan con una o varias mallas o electrodos enterrados.

Supresor de picos. Son elementos de protección contra sobre tensiones transitorias.

Tierra Aislada. Es un conductor de tierra con aislamiento que se conecta a algún equipo, este conductor se coloca en la misma soportaría donde se encuentran los cables de energía.

Alambre. Conductor de cobre unifilar (de un solo hilo) rígido.

Cable. Conductor eléctrico de cobre multifilar (de varios hilos) y flexible.

Carga electrostática. Carga eléctrica almacenada que se produce por frotamiento, ionización de las moléculas del aire, influencia, proximidad, magnetismo e inducción.

Conexión. La unión permanente de partes metálicas para formar una trayectoria eléctrica, que sea capaz de conducir cualquier corriente que le sea impuesta.

Corriente de falla. Corriente que aparece al momento de una falla de aislamiento.

Diferencia de potencial. Es cuando dos o más estructuras metálicas no están referidas al mismo punto de tierra y se presenta entre ellas un voltaje.

Electrodo de puesta a tierra. Consiste de una o más partes conductoras, generalmente varillas, placas, compuestos químicos, enterrados en el suelo, con el propósito de hacer contacto eléctrico firme con la masa general de la tierra del lugar.

Pararrayos. Dispositivo de protección contra descargas atmosféricas, que constituye un medio seguro de conducir a tierra las descargas que inciden directamente sobre los puntos más elevados de un edificio, torre de transmisión o estructura de cualquier tipo.

Sistema de tierra. Conjunto de conductores, electrodos y accesorios que interconectados eficazmente entre si, tiene por objeto ofrecer una trayectoria de baja impedancia para drenar las corrientes de falla, sobretensiones y descargas atmosféricas; al conectar a tierra las cubiertas y otras partes metálicas de los equipos eléctricos, así como aquellos elementos de los circuitos que lo requieran.

Soldadura exotérmica. Es un método de soldadura para la realización de conexiones eléctricas. Esta basado en la reducción del oxido de cobre por el aluminio. Esta reacción química desarrolla una cantidad elevada de calor.

Tensión de contacto. Tensión que aparece al momento de una falla de aislamiento entre las partes metálicas simultáneamente accesibles.

Tensión de paso. Es la diferencia de potencial entre dos puntos en la superficie del suelo, separados por un metro (un paso) en la dirección del gradiente de potencial máximo.

Tierra. Masa conductora cuyo potencial eléctrico en cada punto se considera igual a cero.

Carga eléctrica. Es una propiedad de la materia que se manifiesta por la pérdida o ganancia de electrones.

Descarga eléctrica: es la transferencia de carga eléctrica, por conducción, entre materiales con potencial eléctrico diferente (pérdida excesiva de electrones).

Descarga eléctrica atmosférica: es la transferencia de cargas eléctricas de la tierra a las nubes, y de las nubes a la tierra.

Electricidad estática: son cargas eléctricas que se almacenan en los cuerpos.

Nivel isoceráunico: es el número de días promedio, por año, con tormentas eléctricas en una región específica.

Pararrayos: es un dispositivo para recibir, colectar o desviar las descargas eléctricas atmosféricas a tierra.

Puenteo: es la interconexión eléctrica, entre sí, de dos o más elementos por medio de un conductor de baja resistencia.

3.1 PROPÓSITO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

3.1.1 Propósito de los sistemas de puesta a tierra

El propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es para limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o, de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos.

3.1.2 Objetivo de una instalación de puesta a tierra.

Para mejorar el funcionamiento de los equipos eléctricos, electrónicos y en general, con todo lo relacionado a las instalaciones eléctricas, como: motores, plantas de energía, líneas, estructuras, equipo de diversa índole y para gran variedad de aplicaciones entre las que destaca la informática, redes, etc. Y en sí las instalaciones utilizadas para la transferencia de corriente eléctrica se debe de proteger zonas de alto riesgo.

La utilidad de implementar una puesta a tierra en una instalación eléctrica es la de deformar la derivación, de las intensidades de corriente al terreno ya sea de corrientes de defecto debido a descargas atmosféricas de carácter impulsión al o de baja frecuencia industrial. Su objeto es limitar la diferencia de potencial que se presenta en estructuras metálicas y tierra así como también detectar defectos a tierra y asegurar la función de los sistemas de protección, limitar las sobre tensiones internas tanto de transitorias y temporales que aparecen en la red eléctrica.

3.1.3 Requerimientos

Los requerimientos que debe cumplir una puesta a tierra con respecto a la instalación son:

- ⇨ Seguridad del personal.
- ⇨ Mejorar la calidad del servicio.

- ⇨ Proteger la instalación.
- ⇨ Permanencia de un potencial de referencia.
- ⇨ Seguridad de las personas.
- ⇨ Protección de las instalaciones.
- ⇨ Mejora de la calidad de servicio (alta calidad y eficiencia eléctrica).
- ⇨ Establecimiento y permanencia de un potencial de referencia (equipotencialidad efectiva).

* El punto más importante a cubrir es la seguridad del personal.

3.2 PROTECCION A TIERRA PARA SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA

3.2.1 Protección a tierra para sistemas de c.a.

Los principales componentes en un sistema de distribución de fuerza de c.a. son:

- ⇨ Subestación
- ⇨ Tablero de Protección General
- ⇨ Tablero de Distribución General
- ⇨ Tableros de Distribución Secundarios
- ⇨ Planta de emergencia

A continuación se definirán los requerimientos de aterrizamiento para el sistema de distribución de c.a.

3.2.2 Referencia a tierra para una subestación tipo poste.

Para las subestaciones tipo poste de c.a. debe estar referenciada a una malla de tierra enterrada o varilla Copperweld. La malla de tierra de la subestación provee una ruta de baja impedancia a tierra a las corrientes de falla que pudieran originarse dentro de la subestación. Al proveer un camino de baja impedancia a tierra, se asegura que los dispositivos de protección se disparen al presentarse una falla a tierra. La baja impedancia de la malla también elimina cualquier diferencia de potencial que pudiera haber dentro de la subestación, protegiendo al personal.

a).- La malla debe consistir de conductores paralelos principales separados no menos de 3m. (10 pies) en una dirección. Los cables secundarios deben ser perpendiculares a los primeros y estar separados entre si no menos de 3m y no mas de 6m.

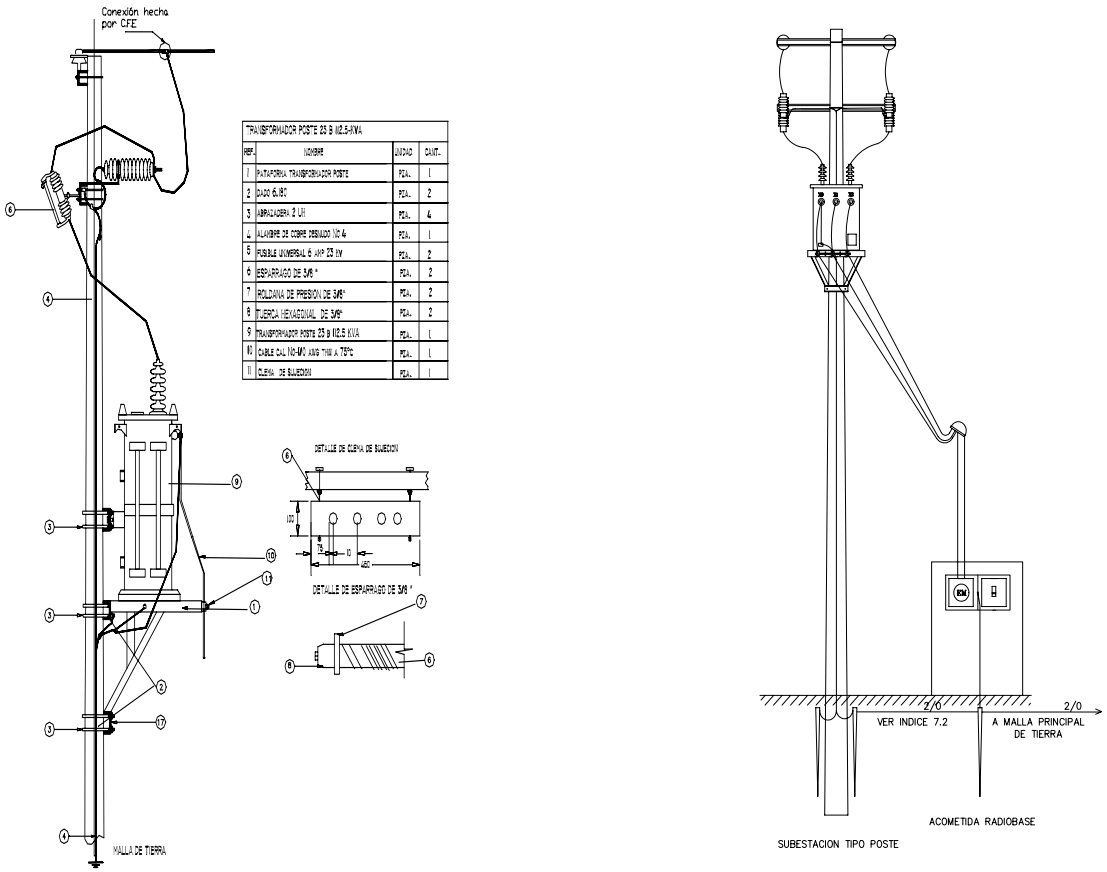
b).- Los cables principales y secundarios deben estar unidos en todos los cruces y al conductor perimetral con soldadura exotérmica.

c).- Los electrodos de tierra aumentan la conductividad de la malla y se colocan generalmente en las cuatro esquinas y en las áreas donde se puede esperar que haya grandes corrientes. Una buena práctica de diseño es la de no poner dos electrodos separados por una distancia menor a su longitud.

d).- Los electrodos de tierra deben estar enterrados verticalmente hasta su parte superior a 30 cm. bajo el nivel del piso terminado, esto para poder tomar las mediciones periódicas de la malla de tierra, como se muestra en la figura.

e).- Los conductores que se usen para conectar la subestación y su equipo asociado no deben ser menor al No. 2 AWG.

En la figura se muestran dos electrodos.



3.2.3 Referencia a tierra para un sistema de bajo voltaje (acometida).

Conductor puesto a tierra (neutro).

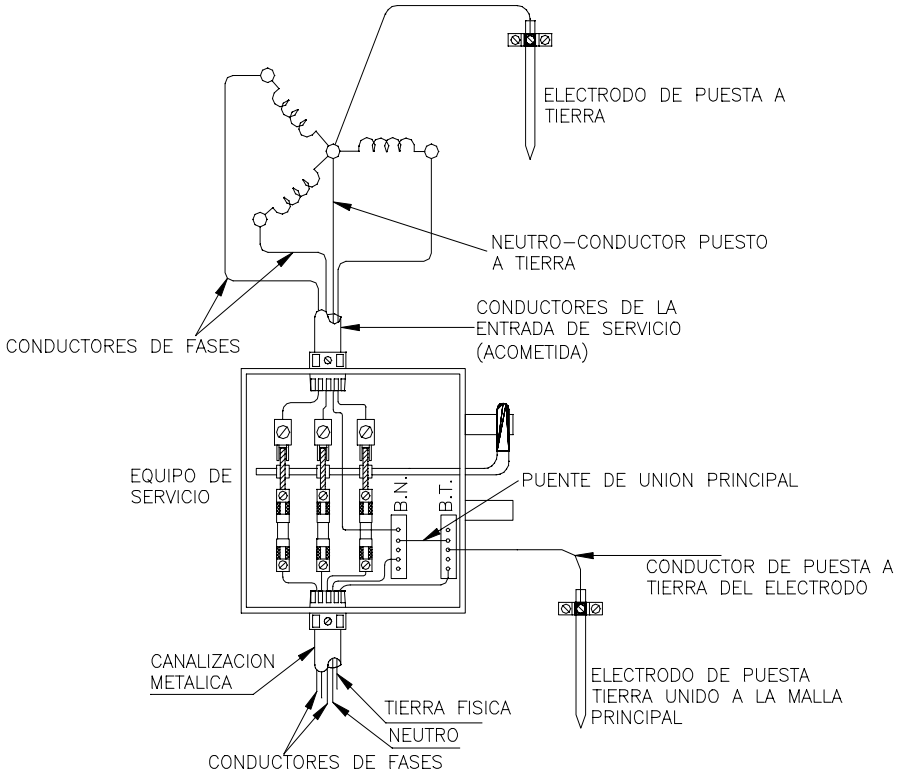
Al utilizar transformadores con una conexión en estrella por el lado secundario, el cual esta formado con tres conductores de fase y un conductor aterrizado (neutro). El conductor neutro está extendido del punto de conexión común del lado del secundario y permite un bajo voltaje (fase a neutro). Este conductor neutro, en estos sistemas, siempre está extendido al interruptor general y conectado a la barra de neutro.

El uso de un conductor neutro en un sistema de distribución de c.a. provee el medio para estabilizar el voltaje de las fases, esto se logra conectando el neutro a tierra. Así, el voltaje de las fases es únicamente el inducido al transformador. Cuando se tiene este arreglo, se dice que el sistema esta aterrizado.

NOTA : De acuerdo a la NOM-001-SEMP-1994 Artículo 100, el cable neutro es un conductor del sistema o circuito que esta puesto a tierra intencionalmente.

El conductor neutro de un sistema de distribución de c.a.. esta diseñado para drenar la corriente de desbalanceo entre las fases y por lo tanto, se le considera

NOTA: Ninguno de los conductores de puesta a tierra esta diseñado para conducir la corriente de carga o desbalanceo. El conductor de puesta a tierra únicamente conducirá



corriente originada bajo condiciones de falla del sistema

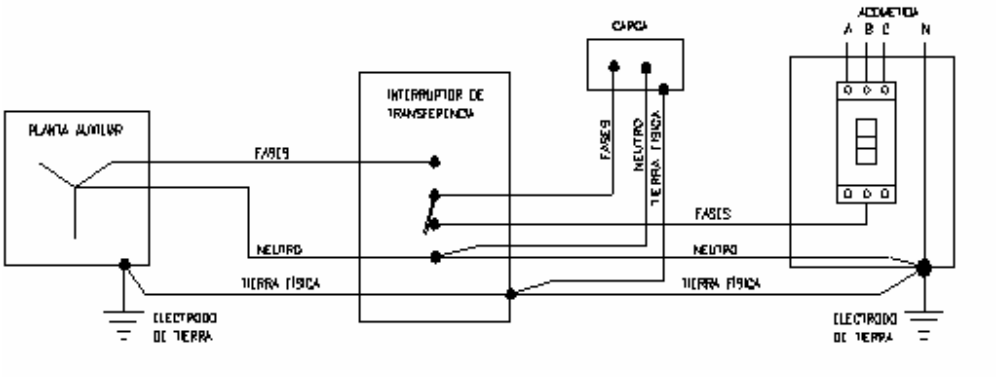
En la figura se muestra un puente de unión principal.

NOTA : La NOM-001-SEDE-1999, Artículo 100, define el conductor de aterrizamiento de equipo de c.a. como “el conductor que se usa para conectar a tierra en el punto requerido,

las cubiertas metálicas de los equipos, las canalizaciones metálicas y otras partes metálicas que pudieran transportar corrientes indeseables a través de ellas, se le llama comúnmente "Tierra Física".

3.2.4 Aterrizaje del sistema de emergencia de c.a.

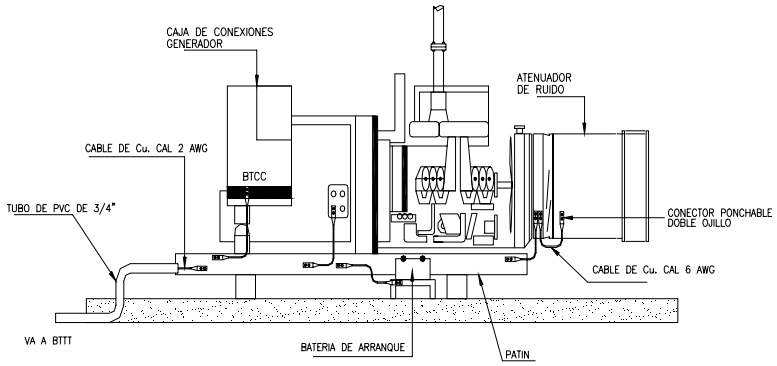
Los motores de emergencia generalmente no son considerados como un sistema de c.a. derivado de manera separada. El neutro (cuando se provee) debe ser conectado directamente al neutro del interruptor automático de transferencia o al neutro del panel de distribución de emergencia. Todas las partes metálicas del equipo que estén dentro de la sala de motores y/o asociadas con el sistema de emergencia de c.a.. deben estar aterrizadas como se indica en la figura.



En la figura se muestra una conexión de conductores neutros y conductores de puesta a tierra. El neutro sólo debe de aterrizarse en la acometida. En ningún otro punto de la instalación.

Se debe de dar referencia a tierra el patín de la maquina de emergencia desde la Barra de Tierra del Tablero de Transferencia.

Se deben de instalar cables en color verde cal.2 AWG desde el patín de la maquina de emergencia a: marcha de arranque, estante de baterías, atenuador de ruido y radiador.



El sistema de control y transferencia es una porción del sistema que generalmente se localiza en los tableros principales y se aterriza en ellos.

Todas las conexiones de deben de hacer con una terminal doble ojillo cañón largo, utilizando una funda termocontráctil retardante a la flama con tornillos de fierro tropicalizado a en los equipos y en las barras tornillos de bronce silicio, se debe de aplicar una capa de material antioxidante y se debe de remover la

pintura en el área de contacto.

Aterrizamiento de la Maquina de Emergencia.

3.3 PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS ELÉCTRICOS.

3.3.1 SISTEMAS DE ALAMBRADOS QUE REQUIEREN CONEXIÓN A TIERRA SEGÚN LA NOM-001-SEDE.

3.3.1.1 Sistemas eléctricos en c.c. de no más de 300 V, a menos de que alguna de las siguientes condiciones se cumpla:

a. Suministren energía a sistemas industriales en áreas limitadas y sean equipados con un detector de tierra.
b. Operen a menos de 50 V entre conductores.
c. Sean alimentados con un rectificador desde un sistema en c.a. aterrizado.

3.3.1.2 Sistemas de c.c. en tres hilos.

3.3.1.3 Sistemas eléctricos derivados en c.a. cuando el voltaje a tierra esté entre 50 y 150 volts. Ver definición de Sistema derivado en la NOM-001-SEDE-1999 Sección 250-5d.

3.3.1.4 Sistemas de c.a. de menos de 50 V si están alimentados por transformadores de sistemas a más de 150 V a tierra o de sistemas no aterrizados.

3.3.2 SISTEMAS DE ALAMBRADOS EN c.a. QUE PUEDEN NO SER ATERRIZADOS SÓLIDAMENTE.

3.3.2.1 Los sistemas en c.a. de 50 a 1000 V que cumplan con los siguientes requisitos no se requiere que estén aterrizados.

a. Sistemas eléctricos de hornos industriales.
b. Sistemas derivados que alimenten únicamente rectificadores de controles de velocidad variable.

c. Sistemas derivados aislados que son alimentados por transformadores cuyo voltaje primario es de menos de 1000V, siempre que todas las condiciones adicionales siguientes se cumplan:

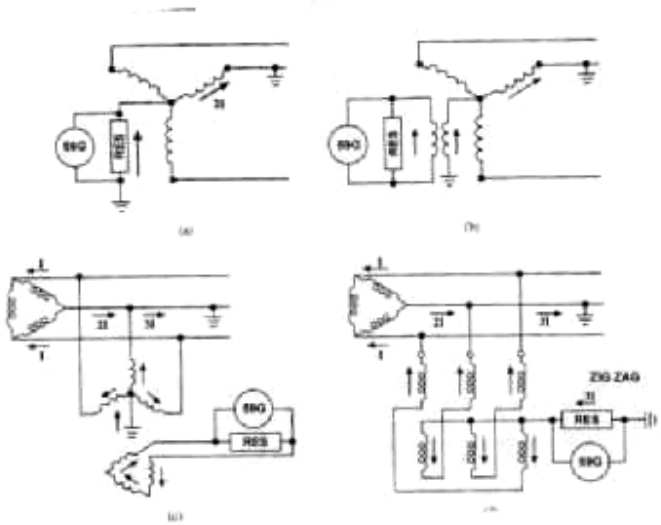
   1. El sistema solamente se use en control.
   2. Que solamente personal calificado tenga acceso a la instalación.
   3. Que se tengan detectores de tierra en el sistema de control
   4. Que se requiera continuidad del servicio.

d. Sistemas aislados en hospitales y en galvanoplastia permitidos por la NOM {517, 668}.

e. Sistemas aterrizados mediante una alta impedancia que limita la corriente de falla a un valor bajo. Estos sistemas se permiten para sistemas en c.a. tres fases de 480 a 1000 V, donde las siguientes condiciones se cumplen:

1. Solamente personal calificado da servicio a las instalaciones.
2. Se requiere continuidad del servicio.
3. Se tienen detectores de tierra en el circuito.
4. No existan cargas conectadas entre línea y neutro.

En la figura se muestran diferentes arreglos para conectar los mencionados detectores de falla a tierra.



En práctica, los sistemas industriales en media tensión son normalmente aterrizados mediante una resistencia de valor bajo. Eso es, típicamente se conecta una resistencia de 400 A en el neutro del transformador. Esta corriente máxima de falla no es muy dañina a los equipos, pero requiere relevadores/detectores de falla a tierra (Tipo ANSI 50GS) rápidos.

3.3.3 CONDUCTOR A ATERRIZARSE.

En los siguientes sistemas en c.a. se conectará a tierra:

a. Una fase, dos hilos: El conductor de tierra.
b. Una fase, tres hilos: El neutro.
c. Sistemas polifásicos que tienen un hilo común a todas las fases: El conductor común.
d. Sistemas polifásicos que tiene una fase aterrizada: Este conductor.
e. Sistemas polifásicos en general: Solo puede estar aterrizado el conductor común o cuando no lo hay, una fase.

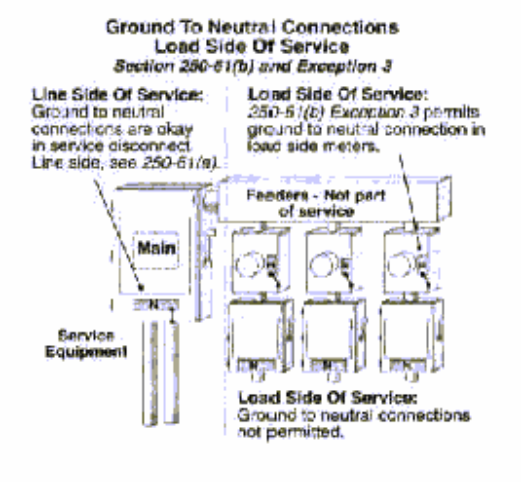
El forro del conductor puesto a tierra (aterrizado) debe ser de color blanco o de color gris claro. {200-6}.

3.3.4 LUGAR DE PUESTA A TIERRA DEL SISTEMA.

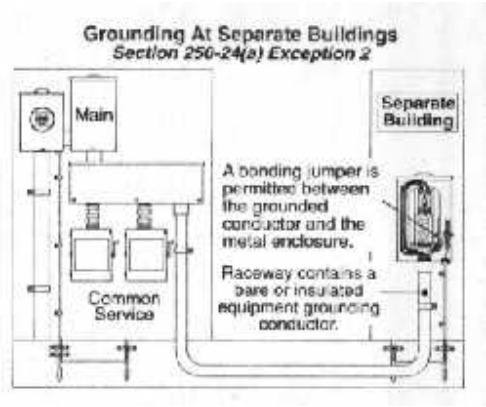
1.3.4.1 En sistemas en c.c. la tierra debe estar en la estación rectificadora únicamente.

El calibre del conductor de puesta a tierra no debe ser menor que el más grueso del sistema y nunca menor a calibre 8 AWG.

1.3.4.2 Los sistemas de c.a. deben conectarse a tierra en cualquier punto accesible entre el secundario del transformador que suministra energía al sistema, y el primer medio de desconexión o de sobrecarga. {250-23a}.



Y, debe existir en el neutro otra puesta a tierra en la acometida a cada edificio en un punto accesible en los medios de desconexión primarios [250-24].



Este conductor de puesta a tierra del sistema no debe ser menor al requerido por la Tabla 250-94 de la NOM, excepto el conductor que se conecta a varillas electrodos, o a electrodos de concreto, donde no es necesario que sea mayor que calibre 6 AWG en cobre o 4 AWG en aluminio.

Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de c.a.

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm^2 (AWG o kcmil)	**Tamaño nominal del conductor al electrodo de tierra mm^2 (AWG o kcmil)**

Cobre	***Aluminio***	**Cobre**	**Aluminio**
33,62 (2) o menor	53,48 (1/0) o menor	8,367 (8)	13,3 (6)
42,41 o 53,48 (1 o 1/0)	67,43 o 85,01 (2/0 o 3/0)	13,3 (6)	21,15 (4)
67,43 o 85,01 (2/0 o 3/0)	4/0 o 250 kcmil	21,15 (4)	33,62 (2)
Más de 85,01 a 177,3 (3/0 a 350)	Más de 126,7 a 253,4 (250 a 500)	33,62 (2)	53,48 (1/0)
Más de 177,3 a 304,0 (350 a 600)	Más de 253,4 a 456,04 (500 a 900)l	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
Más de 304 a 557,38 (600 a 1100)	Más de 456,04 a 886,74 (900 a 1750)	67,43 (2/0)	107,2 (4/0)
Más de 557,38 (1100)	Más de 886,74 (1750)	85,01 (3/0)	126,7 (250)

Cuando no sea una acometida, se hace el cálculo sobre la sección de los conductores en paralelo.

Asimismo, el puente de unión principal debe ser del mismo calibre obtenido según la misma tabla [250-79].

Generalmente el conductor del electrodo de puesta a tierra es conectado a la terminal del neutro en el gabinete del interruptor principal donde existe el puente de unión principal entre las terminal del neutro y el gabinete [250-24].

Donde un tubo metálico es utilizado como canalización entre el medidor y el interruptor principal, la conexión del conductor puesto a tierra (neutro) crea un circuito paralelo al circuito de puesta a tierra, por lo que esta conexión debe hacerse lo más corta posible porque en los medidores, la terminal del neutro está unida a la carcaza metálica de los medidores.

Es importante notar que en sistemas derivados, este circuito paralelo no está permitido por la sección [250-30] de la NOM-001.

1.3.4.3 En un sistema derivado separado. Una conexión del neutro a la carcaza se requiere en los sistemas derivados separados, tales como los que cuentan con transformadores o con generadores localizados en edificios {250-26(a)}. Ésto se logra conectando la terminal del neutro del sistema derivado al sistema de tierra. En los transformadores, instalando un puente de unión de la terminal X0 (neutro) del transformador a la carcaza del mismo, o al lado de carga del gabinete del centro de cargas.

3.4 LA TIERRA Y LA RESISTIVIDAD

El factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra de sistemas.

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste, para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, obteniéndose lo que se denomina "Resistividad Aparente" que para el interés de este trabajo, será conocida simplemente como "Resistividad del Terreno".

En la NOM-022-STPS-1999 se define el término resistividad, como la resistencia que ofrece al paso de la corriente un cubo de terreno de un metro por lado. De acuerdo con la NOM-008-SCFI-1993, Su representación dimensional debe estar expresada en $\Omega \cdot m$, cuya acepción es utilizada internacionalmente.

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

- **Sales solubles**
- **Composición propia del terreno**
- **Estratigrafía**
- **Granulometría**
- **Estado higrométrico**

- ⇨ **Temperatura**
- ⇨ **Compactación**

Sales solubles. La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos; esto es, por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas. Como ejemplo, para valores de 1% (por peso) de sal (NaCl) o mayores, la resistividad es prácticamente la misma, pero, para valores menores de esa cantidad, la resistividad es muy alta.

Composición del terreno. La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 $\Omega \cdot m$ por lo que una varilla electrodo enterrada 3 m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 Ω respectivamente. En cambio, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 $\Omega \cdot m$ o más alta, y tratar de conseguir una resistencia a tierra de unos 100 Ω o menos con una sola varilla electrodo es virtualmente imposible.

Estratigrafía. El terreno obviamente no es uniforme en sus capas. En los 3 m de longitud de una varilla electrodo típica, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos. En XX se encuentran ejemplos de diferentes perfiles de resistividad.

Granulometría. Influye bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra. Por esta razón la resistividad de la grava es superior a la de la arena y de que ésta sea mayor que la de la arcilla.

Estado Higrométrico. El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático. Como ejemplo, la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero, un mayor contenido de humedad del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante. Y, puede tenerse el caso

de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no pueda ser empleado en el sistema de tierras. Por ello, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.

Temperatura. A medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0° C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va reduciendo el movimiento de los electrolitos los cuales influyen en la resistividad de la tierra

3.4.1 Datos de resistividad de suelos típicos,

Naturaleza geológica:

Valores medios en Ω

Naturaleza del terreno	**Valor de la resistividad en** $\Omega \cdot m$
Terrenos cultivables y fértiles, compactos y húmedos	50
Terrenos cultivables poco fértiles	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3000

La variación de la resistividad depende de la composición del terreno.

Naturaleza del terreno	**Resistividad en $\Omega \cdot m$**
Terrenos pantanosos	A 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurasico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena sílices	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600
Hormigón	2000 a 3000
Balasto o grava	3000 a 5000

3.4.2 Ejemplos de perfiles de resistividad.

Capa superficial arcillosa y húmeda, capa inferior rocosa: perfil de resistividad ascendente. Lugar: Parte norte de la zona urbana de León, Guanajuato. Para simular su comportamiento se requiere de por lo menos utilizar los valores de 2 capas.



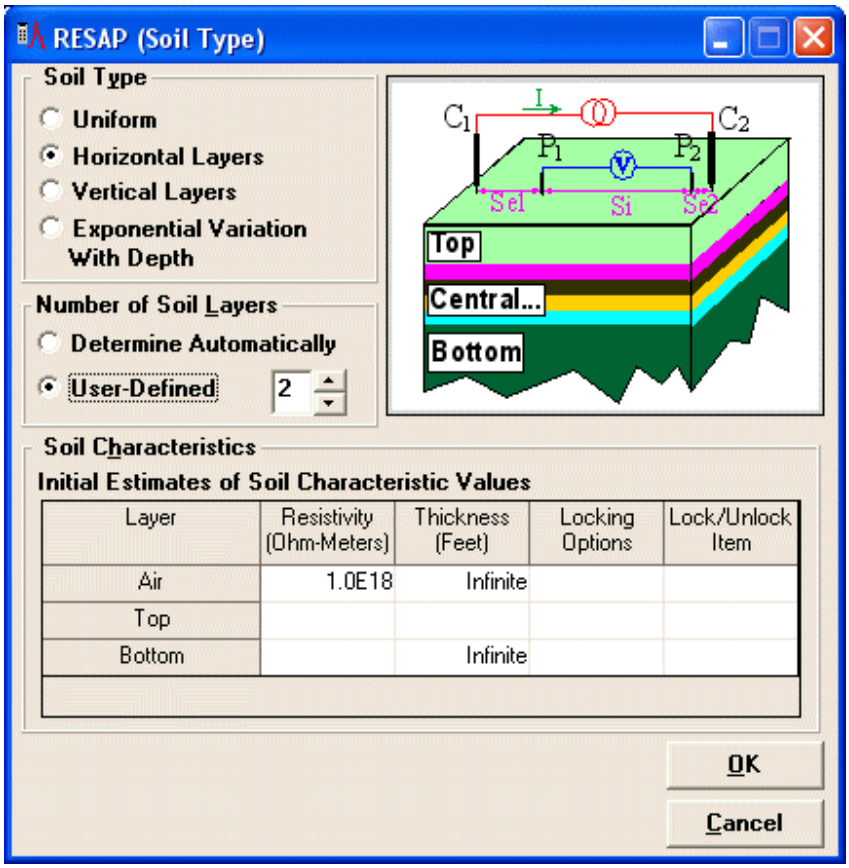
Capa superficial muy seca, capa inferior arenosa: perfil de resistividad descendente. Lugar: Zona urbana de Aguascalientes, Ags. Para simular su comportamiento se requiere de por lo menos utilizar los valores de 2 capas.



Terreno rocoso y seco. Perfil de resistividad plano. Lugar: Zona del cerro de la Bufa en Zacatecas, Zacatecas. Para simular su comportamiento se puede utilizar la resistividad promedio.



Existen programas para elaborar modelos del terreno con los datos de las mediciones. La figura de ejemplo es del programa *RESAP-Soil Resistivity Analysis* de la compañía Safe Engineering Services and Technologies Ltd.



3.5 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.

La resistividad del terreno se mide fundamentalmente para encontrar la profundidad y grueso de la roca en estudios geofísicos, así como para encontrar los puntos óptimos para localizar la red de tierras de una subestación, sistema electrónico, planta generadora o transmisora de radiofrecuencia. Asimismo puede ser empleada para indicar el grado de corrosión de tuberías subterráneas.

En general, los lugares con resistividad baja tienden a incrementar la corrosión. En este punto es necesario aclarar que la medición de la resistividad del terreno, no es requisito para hacer una malla de puesta a tierra. Aunque para diseñar un sistema de tierras de gran tamaño, es aconsejable encontrar el área de más baja resistividad para lograr la instalación más económica. El perfil de la resistividad del suelo determinará el valor de la resistencia a tierra y la profundidad de nuestro sistema de puesta a tierra. Para medir la resistividad del suelo se requiere de un terrómetro (llamado en otros países: telurómetro) o Megger de tierras de cuatro terminales. Los aparatos de mayor uso, de acuerdo a su principio de operación, pueden ser de 2 tipos: del tipo de compensación de equilibrio en cero y el de lectura directa.

Los terrómetros deben inyectar una corriente de frecuencia que no sea de 60*Hz* para evitar se midan voltajes y corrientes que no se deban al aparato sino a ruidos eléctricos. Por ejemplo, si estamos cerca de una subestación o de una línea en servicio, y vamos a realizar mediciones de resistividad y resistencia de tierra, con un aparato de 60*Hz,* dichos sistemas van a inducir corrientes por el suelo debido a los campos electromagnéticos de 60*Hz* y darán una lectura errónea. De igual manera sucede cuando los electrodos de prueba están mal conectados o tienen falsos contactos, darán señales falsas de corriente y voltaje. Si hay corrientes distintas a las que envió el aparato, éste leerá otras señales de voltaje y corriente que no son las adecuadas. También estos aparatos de repente tienen oscilaciones en sus lecturas y no es posible leerlas.

Un aparato inteligente, lleva conductores blindados, coaxiales, tiene sistemas de filtraje, de análisis y mide lo que halla, pero esa información la analiza, la filtra y luego la deduce. Por ejemplo, para hacer una medición manda una señal de 100*Hz* y mide; luego manda otra

señal de 150*Hz*. y vuelve a medir y puede seguir enviando otras altas frecuencias hasta que los valores van siendo similares, forma una estadística y obtiene un promedio. Los terrómetros son analógicos o digitales y deben contener 4 carretes de cable calibre 14 AWG normalmente. Para enrollamiento rápido se recomienda construir un sistema devanador que permita reducir el tiempo de la medición. También traen 4 electrodos de material con la dureza suficiente para ser hincados en la tierra con marro. Son de una longitud aproximada de 60*cm*. y un diámetro de 16*mm*. Además de lo anterior se hace necesario contar con una cinta no metálica de 50*m*. aproximadamente.

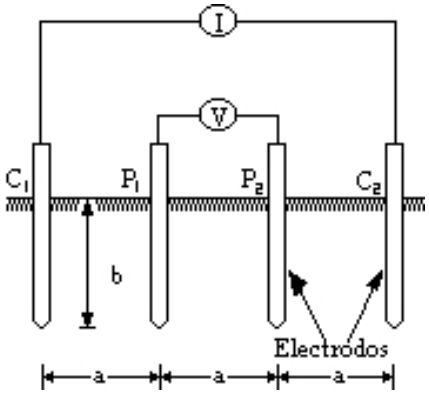
Los terrómetros tienen cuatro terminales dos de corriente (C_1, C_2) y dos de potencial (P_1, P_2) y están numerados en el aparato $C_1P_1P_2C_2$. Los terrómetros deben estar certificados y probados en el campo con una resistencia antes de realizar las mediciones. Como la medición obtenida por un terrómetro es puntual, se deben hacer mediciones en un sentido, en otro a 90 grados del primero, y, en el sentido de las diagonales. En la medición de resistividad de un terreno, es común encontrar valores muy dispares, causados por la geología del terreno, por lo que es una práctica común de una tabla con lecturas, el eliminar los valores que estén 50% arriba o abajo del promedio aritmético de todos los valores capturados.

3.5.1 MÉTODO DE WENNER.

En 1915, el Dr. Frank Wenner del U.S. Bureau of Standards desarrolló la teoría de este método de prueba, y la ecuación que lleva su nombre. Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los cuatro electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C_1 y C_2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P_1 y P_2. Estos electrodos están enterrados en línea

recta y a igual separación entre ellos. La razón $\frac{V}{I}$ es conocida como la resistencia aparente. La resistividad aparente del terreno es una función de esta resistencia y de la geometría del electrodo.



En la figura se observa esquemáticamente la disposición de los electrodos, en dónde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores. La resistividad aparente está dada por la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{4 \cdot \pi \cdot A \cdot R}{\left[1 + \left[\frac{2 \cdot A}{\left(A^2 + 4 \cdot B^2\right)^{0.5}}\right] - \frac{2 \cdot A}{\left(4 \cdot A^2 + 4 \cdot B^2\right)^{0.5}}\right]}$$

Donde

ρ es la resistividad promedio a la profundidad (A) en $\Omega \cdot m$.

A es la distancia entre los electrodos en metros.

B es la profundidad de enterrado de los electrodos en metros.

R es la lectura de termómetros en Ω.

Si la distancia enterrada (B) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (A). O sea A > 20B, la siguiente fórmula simplificada se puede aplicar:

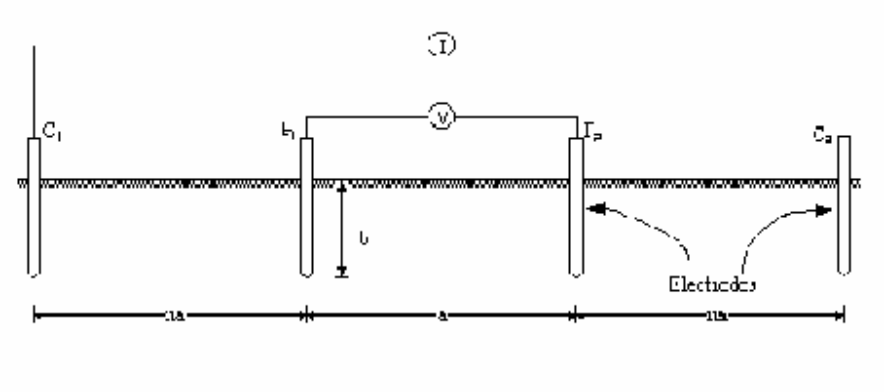
$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot A \cdot R$$

La resistividad obtenida como resultado de las ecuaciones representa la resistividad promedio de un hemisferio de terreno de un radio igual a la separación de los electrodos.

Como ejemplo, si la distancia entre electrodos A es de 3*m*, B es 0.15*m* y la lectura del instrumento es de 0.43 Ω, la resistividad promedio del terreno a una profundidad de 3*m*, es de 8.141 $\Omega \cdot m$ según la fórmula completa y de 8.105 $\Omega \cdot m$ según la fórmula simplificada. Se recomienda que se tomen lecturas en diferentes lugares y a 90 grados unas de otras para que no sean afectadas por estructuras metálicas subterráneas. Y, que con ellas se obtenga el promedio.

3.5.2 MÉTODO DE SCHLUMBERGER

El método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner, ya que también emplea cuatro electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial (a) se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos (na) de la separación base de los electrodos internos (a).



En la figura se muestra como medir la resistividad con el método de Schlumberger.

La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la figura.

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot (n+1) \cdot na$$

El método de Schlumberger es de gran utilidad cuando se requieren conocer las resistividades de capas más profundas, sin necesidad de realizar muchas mediciones como con el método Wenner. Se utiliza también cuando los aparatos de medición son poco inteligentes. Solamente se recomienda hacer mediciones a 90 grados para que no resulten afectadas las lecturas por estructuras subterráneas.

3.6 MEDICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA

La medición de resistencia a tierra de electrodos es una técnica que requiere conocer aparte del método de medición, algunos factores que afectan los resultados de las mediciones, y que son:

1. El tipo de prueba.
2. El tipo de aparato empleado.
3. El lugar físico de las puntas de prueba

TIPO DE PRUEBA

Existen dos tipos de pruebas fundamentalmente. Las demás son variaciones de éstas. Aunque muy parecidas, los resultados de las mediciones no son exactamente los mismos.

Los métodos son:

- Método de caída de potencial. Llamado también: Tres Puntos, 62%, etc.
- Método Directo. También conocido como: Dos Puntos.
- Tipo de aparato

No todos los aparatos de medición de resistencia a tierra trabajan de la misma manera. Existen diferencias muy marcadas en el tipo de corriente empleada. A manera de ilustrar estas diferencias, los aparatos más utilizad os en nuestro medio son el Vibroground y el Megger de tierras. Ambos emplean corriente alterna para la medición pero el primero a una frecuencia de 25*Hz*, el último a 133 *Hz*. Y los voltajes en circuito abierto son respectivamente de 120 y 22 *Volts*.

Cuando se calibran estos instrumentos contra resistencias patrón, ambos dan la misma lectura. En campo, las lecturas pueden variar por la impedancia del terreno a esas distintas frecuencias.

En el mercado también existen aparatos de medición de tipo gancho, los cuales tienen dos mayores limitaciones.



En la figura se muestran dos aparatos de

medición tipo gancho.

La primera es que dependen de que las conexiones del sistema de tierras estén bien hechas para obtener buenos resultados, porque cualquier resistencia en serie afecta la lectura y, la segunda es que en electrodos de mallas industriales donde por inducción electromagnética se pueden obtener más de 2 Amperes en los conductores de puesta a tierra, el aparato no puede ser usado. Por otra parte, este tipo de aparato es muy útil donde se toman lecturas con frecuencia a los sistemas de tierras frecuentemente, ya que puede ser empleado en lugares donde se requiere tomar lecturas con los equipos energizados permanentemente, o con electrodos inaccesibles.

LUGAR FISICO

Las varillas electrodos de los instrumentos de medición pueden ser colocadas en todas direcciones como a una infinidad de distancias entre ellas. Aunque es el mismo punto de medida, las lecturas no son idénticas; a veces ni en terrenos vírgenes debido a la presencia de corrientes de agua o de capas de distinta resistividad. En los terrenos industriales es aún mayor la diferencia debido a la presencia de objetos metálicos enterrados como tuberías, varillas de construcción, rieles, canalizaciones eléctricas, etc.

3.6.1 Medición de la resistencia de tierra por el método de la caída de tensión

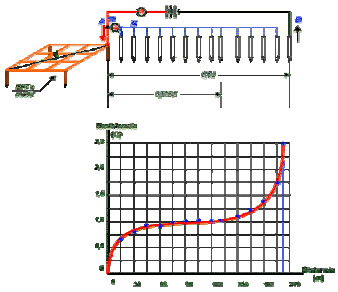
Este método emplea inyección de la corriente (*I*) que pasa por el terreno por medio de la toma o dispersor de la puesta a tierra que se va a medir y también por un electrodo auxiliar de corriente que se encuentra alejado que es considerado fuera de la tierra.

También se coloca un electrodo auxiliar este estará ubicada a la mitad entre la distancia que separa al electrodo auxiliar de corriente y a la de la toma de corriente bajo ensayo, lo que se realiza es medir la caída de tensión (U) que aparece entre la toma de tierra a medir y el electrodo auxiliar. El dispositivo que se emplea para medir la caída de tensión es un potenciómetro o un voltímetro de alta impedancia interna, y para medir la corriente se emplea un amperímetro que es conectado de forma directa o con una pinza lo que facilita la medición para instalaciones implementadas. Por aplicación de la ley de Ω, la resistencia R_1 del dispersor resulta $\rightarrow R_1 = \frac{U}{I}$

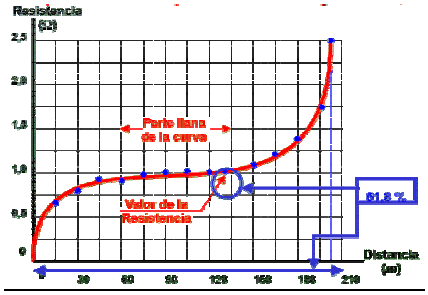
Se recomienda que el electrodo de corriente tenga una resistencia lo suficientemente baja como para permitir un adecuado paso de la corriente. El método de la caída de tensión resulta adecuado para casi todos los tipos de mediciones de resistencia de puesta a tierra. Solo se deben de considerar los siguientes puntos:

- ⇨ Si la toma de tierra que se considera es de una área extensa, el electrodo de potencial se debe ir alejando de la toma bajo ensayo en forma escalonada, es decir se debe de registrar el valor que se mide en cada escalón. Al graficar se obtienen valores en función de la distancia entre la toma y el electrodo de tensión lo que hace que se genere una cuerva que tiende a determinado valor y representa el valor que es mas viable de la resistencia de la toma de tierra, es importante mencionar que también se deben de considerar resistencias parásitas de la misma conexión.
- ⇨ Se deben de tomar en cuenta las corrientes espurias que son provocadas por el mismo terreno que alteran la medición

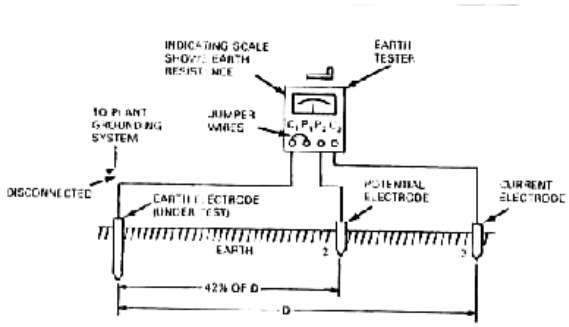
En la figura se muestra la caída de potencial con aplicación de la regla del 61,8%



Si desglosamos la gráfica



La mayoría de los instrumentos empleados en la medición de resistencia a tierra, se basan en el método de caída de potencial. Y si es aplicado correctamente da los resultados más confiables.



En la figura se muestra la medición de la resistencia por medio del método de caída de potencial

El método se aplica para medir la resistencia de un electrodo ($\frac{C_1}{P_1}$) enterrado en (*0*), con respecto a la tierra circundante. Y, esto se realiza colocando puntas de prueba auxiliares (C_2 y P_2) a distancias predeterminadas del electrodo bajo prueba. La figura muestra el arreglo de las varillas.

Una corriente que se genera en el instrumento, se inyecta por $\frac{C_1}{P_1}$ y se hace regresar por el electrodo auxiliar de corriente (C_2). Al pasar la corriente por la tierra, una caída de voltaje existirá entre $\frac{C_1}{P_1}$ y el electrodo auxiliar de potencial (P_2).

Dentro del aparato se calcula la resistencia por medio de la ley de ohm. → $R = \frac{V}{I}$.

Donde:

R es la resistencia a tierra

V es el voltaje leído entre el electrodo $\frac{C_1}{P_1}$ y el P_2.

I es la corriente de prueba inyectada por el instrumento.

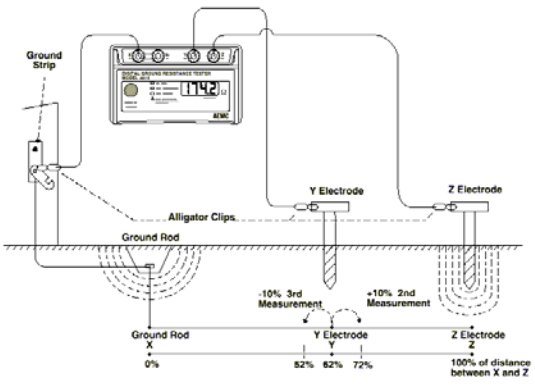
El método requiere que por lo menos exista un espaciamiento entre $\frac{C_1}{P_1}$ y C_2 de 15m, y que se grafiquen los valores de resistencia obtenidos contra la distancia de 0 a P_2. En la práctica este espacio entre $\frac{C_1}{P_1}$ y C_2 es lo más grande que es posible. La gráfica mostrara un incremento gradual de resistencia a tierra mientras P_2 está en la zona cercana a *0*. Cuando P_2 sale de esa zona pero no ha entrado en la zona de C_2, la gráfica mostrará una meseta en los valores. Este aplanamiento obtenido se ha demostrado teóricamente que se logra cuando P_2 está localizado al 62% de la distancia entre *0* y C_2. Esta es la razón por la que también se le llama a este método el "de 62%". Pruebas realizadas por el Sr. Michaels demuestran que la variación de las lecturas obtenidas al 50% y al 70% de la distancia es

menor al 5%, que es la precisión de la mayoría de los instrumentos más comunes. De ahí que las lecturas que se toman al 60% pueden dar una medida promedio aceptable de la resistencia a tierra del electrodo incluyendo la resistencia del conductor de conexión al electrodo bajo prueba. Sin embargo, este método tiene la limitante de que depende en gran medida de enterrar los electrodos en una zona alejada de objetos conductores como se mencionó párrafos arriba. Si la curva en la gráfica, no presenta un tramo paralelo, quiere decir que la distancia escogida no es suficiente.

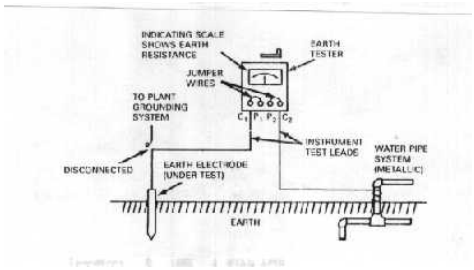
La solución puede ser una mayor distancia entre electrodos, pero, en algunos casos, la localización de los electrodos en línea recta es imposible por la falta de espacio u otros factores. Pero, en el artículo se demuestra que colocando el electrodo de prueba P en ángulos hasta de 90 grados da lecturas consistentes con las que se obtendrían en línea recta, aunque en la gráfica los valores de resistencia después de distancias mayores al 70% no suben con igual rapidez, debido a la lejanía del electrodo C_2.

3.6.2 Medición de la resistencia de tierra por el método de los dos puntos

En este método el principio que se emplea es medir la resistencia total de la toma de tierra bajo ensayo y de otra toma auxiliar, aunque la resistencia de la tierra se considera despreciable si se compara con la de la toma de tierra bajo ensayo, el valor de la medición de la resistencia presenta grandes errores por este método, por lo general se emplea en terrenos pequeños donde la resistividad es representativa.



Este método involucra únicamente el electrodo bajo prueba y un punto de referencia.

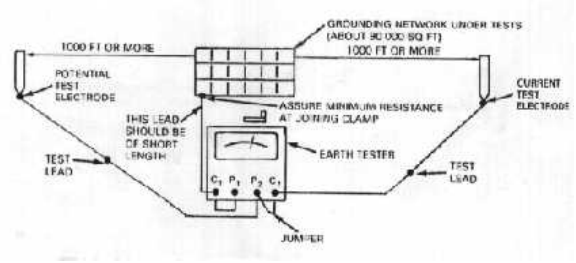


En la figura se muestra como medir la resistencia por el método de los dos puntos.

Presumiblemente en buen contacto con la tierra y, por ello con valor cercano de resistencia a tierra de cero ohms. De ahí que el valor obtenido es aproximadamente la resistencia a tierra del sistema pequeño más la resistencia de los cables de prueba. La limitación esta en la elección del punto de referencia puesto que en muchos casos las tuberías aparentemente metálicas en toda su extensión, tienen partes de PVC y, en otros casos, el electrodo está dentro de la zona de influencia de la referencia.

3.6.3 MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE MALLAS A TIERRA.

Por lo general, para medir mallas a tierra se emplea el método de caída de potencial mencionado arriba, con la salvedad que los electrodos deben ser colocados a mayor distancia.



En la figura se muestra como medir la resistencia por el método de mallas a tierra,

Una regla práctica es comenzar con una distancia del electrodo C al electrodo bajo prueba igual a la longitud de la diagonal mayor de la malla, o su equivalente en sistemas de área no rectangular. En el caso de los grandes sistemas de electrodos o mallas a tierra esta regla requiere de cables muy largos para conectar las puntas de potencial y de corriente. Existe la siguiente variación al método de caída de potencial para que con los cables de la longitud calculada por la regla mencionada arriba, sea posible medir la resistencia a tierra de la malla.

3.6.4 MÉTODO DE LA PENDIENTE.

Este método se emplea también cuando el suelo no es homogéneo.

Procedimiento:

1. Elija una varilla externa de la malla para conectar de ahí radialmente el aparato.
2. A una distancia *C* de por lo menos 2 veces la distancia diagonal de la malla, clave el electrodo de corriente.
3. A distancias 0.2C, 0.4*C*, 0.6*C* clave los electrodos de potencial.
4. Tome las lecturas de resistencia de cada electrodo de potencial. Respectivamente esos valores son $R_1, R_{2,} R_3$.
5. Calcule el valor de

   $$\mu = \frac{R3 - R2}{R2 - R1}$$

   En donde μ representa el cambio de pendiente en la gráfica de resistencia a tierra contra distancia. Importante: Si μ es mayor a 1.6, la distancia *C* debe incrementarse.

6. Encuentre el valor de $\frac{D_P}{C}$ con el valor de μ .

Para 0.4 <μ < 0.89

$$\frac{D_P}{C} = 0.7098 - 0.1626\mu$$

Para $0.9 < \mu < 1.19$

$$\frac{D_P}{C} = 0.7436 - 0.2030\mu$$

Para $1.2 < \mu < 1.59$

$$\frac{D_P}{C} = 0.9159 - 0.3490\mu$$

7. Entierre un electrodo de prueba a la distancia $\frac{D_P}{C} \cdot C$, medida desde la malla.
8. Tome el valor de resistencia usando el electrodo de potencial de prueba. Esa es la resistencia real.
9. Regrese al paso 2 y repita como comprobación el proceso para una distancia *C* más grande. Si el valor obtenido del paso 8 es menor apreciablemente, la distancia *C* debe incrementarse aún más.

3.6.5 MEDICIONES DEL POTENCIAL DE TOQUE

Se puede obtener una aproximación del posible potencial de toque que pueda presentarse debido a una falla en una subestación.

Para ello se utiliza el mismo aparato utilizado en la medición de resistividad con cuatro puntos, con las cables C_1 y P_1 conectados a una parte metálica puesta a tierra, tal como la cerca de la subestación. Coloque el electrodo C_2 en tierra donde pudiera ocurrir una falla.

En línea recta entre C_1 y C_2 y a un metro de la cerca coloque el electrodo P_2 y mida la resistencia en el aparato. El valor obtenido marcará el potencial en volts por ampere de corriente de falla. Este valor debe ser multiplicado por la corriente de falla más grande anticipada para esa instalación.

Por ejemplo, si el instrumento marcó 0,1 Ω en un sistema donde la falla esperada puede ser de 5000 Amperes, el potencial de toque máximo podría ser de $5000 \cdot 0.1 = 500 volts$.

3.6.6 MEDICIONES DE MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE TIERRAS.

El mantenimiento de los sistemas de tierras debe ser rutinario y de naturaleza preventiva.

El mantenimiento rutinario debe consistir en, la medición de resistencia a tierra del sistema completo, y de resistividad del terreno, inspección de corrosión y apriete y limpieza de las conexiones que fueron dejadas intencionalmente con conectores atornillables. Estas mediciones deben ser hechas en diferentes épocas del año para evaluar el comportamiento con los cambios de humedad.

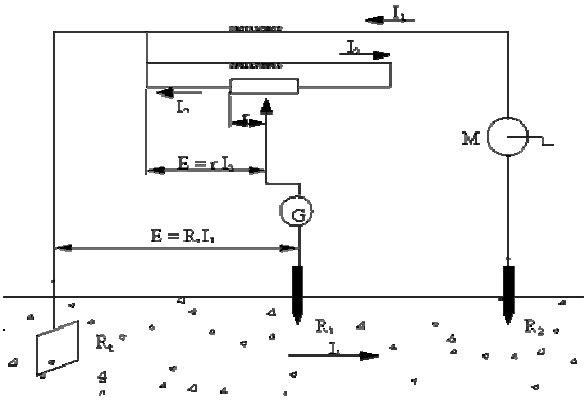
Cada vez que un equipo nuevo sea conectado o aun cambiado, el diseño de los sistemas de tierra debe ser reconsiderado. El cambio pudiera crear lazos de corriente, interferir con las trayectorias de disipación de energía de descargas atmosféricas o, proveer un camino a descargas externas.

En los Estados Unidos, la norma de protección contra descargas atmosféricas de la National Fire Protection Association requiere que se mantengan registros de mediciones de los sistemas de tierras. La NOM únicamente establece que "se deben efectuar mediciones periódicas para verificar el estado del electrodo" [250-84] "... y de preferencia en época de estiaje" [2403-2c].

3.7 TELURÓMETRO O MEGGER

3.7.1 Principio de operación

El principio de funcionamiento de este equipo es el método de compensación y funciona con un generador magneto de c.a., que lleva un transformador en serie de relación exacta 1:1, es decir, que la intensidad por el primario es siempre igual a la del secundario.



La figura muestra dos electrodos clavados en el suelo con tomas de tierra auxiliares (R_1, R_2), y la toma de tierra que en este caso es la que deseamos medir (R_t).

Funcionamiento

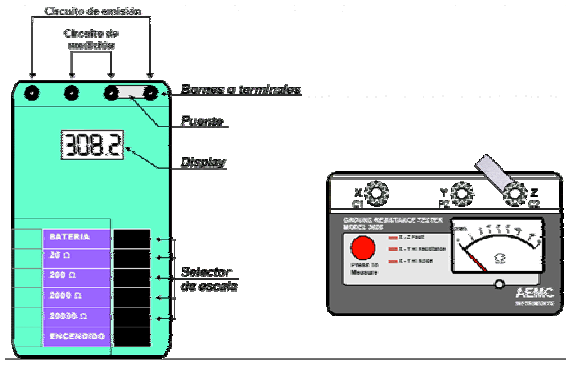
Dando vueltas a la manivela de la magneto y ajustando al mismo tiempo el potenciómetro de manera que por el galvanómetro no pase intensidad, tendremos que esto sucederá cuando las tensiones $E = r \cdot I_2$ y $E = R_t \cdot I_1$ sean iguales, pero como por otra parte, las intensidades también serán iguales $I_1 = I_2$ tendremos.

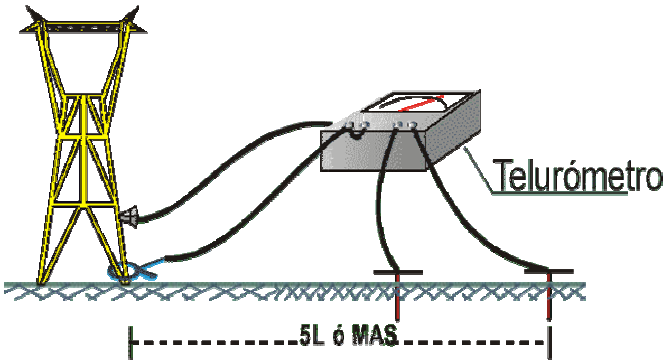
Por lo que: $r = R \cdot t$

$$r \cdot I_2 = Rt \cdot I_1$$
$$r \cdot I_2 = Rt \cdot I_2$$

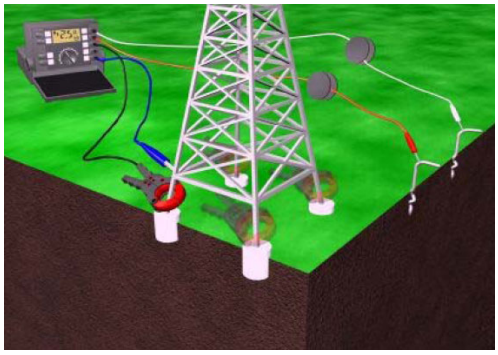
Es decir, la resistencia que marque el potenciómetro es la de la resistencia de la toma de tierra. La medición, se hace independientemente de las tomas de tierra auxiliares que se realizan R_1 y R_2, aunque es recomendable que R_2 no sea muy grande, pues de ella depende la intensidad I_1.Estas tres tomas de tierra deberán estar separadas unas de otras unos 10 m. para evitar la influencia entre ellas. Es importante hacer estas mediciones a frecuencias distintas a la industrial, para evitar las posibles interferencias con otras corrientes que no pertenezcan al aparato. Por lo general las frecuencias que utilizan los telurómetros son relativamente altas, del orden de 500 a 1.200*Hz*. El telurómetro corresponde a un modelo clásico de hace años; en la actualidad, basados en este principio de funcionamiento, se construyen modelos que sustituyen la magneto por generador a pilas y la lectura de las mediciones se realiza, en algunos modelos, sobre una pantalla de cristal liquido

En la figura se muestra un telurómetro.





Medición de resistencia de puesta a tierra. Método selectivo (Pinzas).



Medición de resistencia de puesta a tierra por el método “selectivo”.

3.7.2 Importancia de la medición de una puesta de tierras

Para una acción eficaz, resulta primordial que la resistencia de puesta a tierra tome un valor tal que no origine tensiones peligrosas al circular la corriente de falla; por lo que su valor está perfectamente acotado por las normas de aplicación para los distintos tipos de instalaciones.

La base de un buen sistema de puesta a tierra comienza con la selección del mejor lugar de emplazamiento y el ensayo del suelo que rodeará a la toma, procurando localizar el área con la mas baja resistividad. Luego de su instalación, se debe ensayar la toma de tierra propiamente dicha, para verificar que su valor se corresponde con el de diseño. Finalmente se recomienda realizar controles periódicos para detectar cambios en los valores correspondientes.

Por todo lo anterior, la medición correcta de la resistividad del terreno y de la resistencia de puesta a tierra de una instalación determinada adquiere una importancia relevante.

En principio digamos que los valores que se pueden medir en la práctica se ven influenciados por una serie de factores que impiden obtener resultados con gran exactitud. Entre los mismos podemos citar la posible existencia de corrientes vagabundas de c.c. y de c.a., el carácter electrolítico del terreno y su eventual polarización, la aparición de potenciales galvánicos, el acoplamiento inductivo y/o capacitivo con otros sistemas, la ocurrencia de lluvias cercanas al momento en que se hace la medición, las irregularidades en la composición geológica del terreno y su grado de compactación, etcétera.

Para disminuir los efectos de las corrientes vagabundas de c.a, es conveniente que en las mediciones no se utilicen corrientes cuya frecuencia (f_m) sea un múltiplo de la frecuencia de red ($f_{r|}$) (armónicas superiores). Adicionalmente se pueden utilizar filtros sintonizados adecuados. Por lo anterior:

$$fm = \left[\frac{fr(2n \pm 1)}{2} \right] \pm 10$$

Donde f_m en Hz con $"n"$ número entero.

Por otro lado, el uso de corrientes no unidireccionales evita la distorsión de los valores medidos por acción de los potenciales galvánicos y la polarización electrolítica.

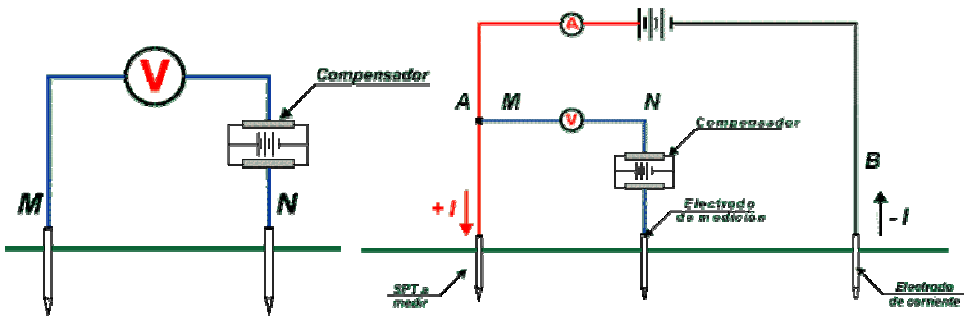
Sin embargo hay que tener en cuenta que, cuando se utiliza corriente continua periódicamente invertida, los valores de resistencia obtenidos pueden no ser confiables para su uso con corrientes alternas. Asimismo, si las mediciones se efectúan con corriente alterna, los valores obtenidos a una frecuencia pueden no ser útiles para otra frecuencia muy distinta.

Como en algunos casos existen elementos de metal enterrado, conductos de agua subterráneos, etcétera; que pueden distorsionar las mediciones, se recomienda realizar varios ensayos con diferentes orientaciones entre sí.

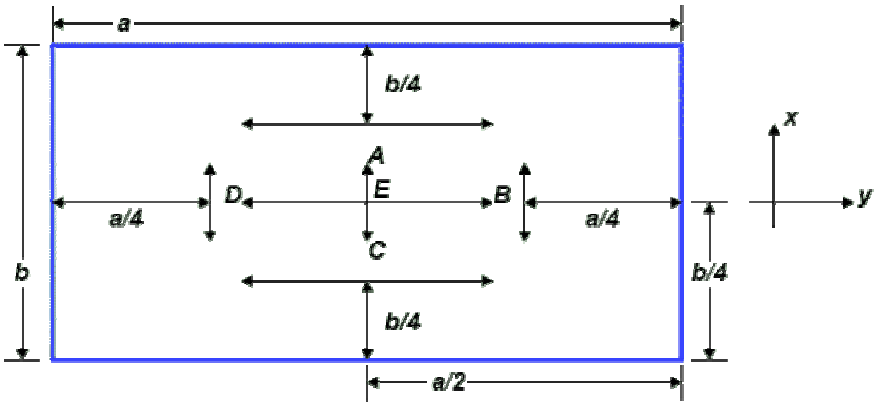
Por lo tanto, los resultados de las mediciones deben someterse a un análisis_crítico para identificar las posibles fuentes de error, y eventualmente replantear la forma de ejecución de los ensayos.

Los factores que afectan la medición de la puesta a tierra son:

- ⇨ La Tensión por corrientes espurias



⇨ Resistividad de los suelos, dirección en la que se ubican de los electrodos



3.8 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.

3.8.1 Descargas atmosféricas.

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes. Y es

consecuencia de un rompimiento dieléctrico atmosférico. Este rompimiento una vez iniciado, avanza en zigzag a razón de unos 50*m* por microsegundo con descansos de 50 microsegundos.

Una vez que el rompimiento creó una columna de plasma en el aire, la descarga eléctrica surgirá inmediatamente dentro de un hemisferio de unos 50*m* de radio del punto de potencial más alto. Y, cualquier objeto puede ser el foco de esta descarga hacia arriba de partículas positivas, aún desde una parte metálica debajo de una torre.

La figura muestra el caso más común: un rayo producido por una nube cargada



negativamente contra tierra según el modelo de Hasbrouk.

Las descargas atmosféricas pueden causar grandes diferencias de potencial en sistemas eléctricos distribuidos fuera de edificios o de estructuras protegidas. A consecuencia de ello, pueden circular grandes corrientes en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conectan dos zonas aisladas. Pero, aún sin la descarga, una nube cargada electrostática mente crea diferencias de potencial en la tierra directamente debajo de ella.

El campo eléctrico debajo de una nube de tormenta es generalmente considerado entre 10 000 y 30 000 $\frac{V}{m}$. Y una nube de tormenta promedio podría contener unos 140 *Mwh* de energía con voltajes hasta de 100 *MV*, con una carga en movimiento intranube de unos 40 Coulombs. Esta energía es la que se disipa mediante los rayos, con corrientes pico que van

de unos cuantos kilos amperes a unos 200 kA con un percentil (50) de 20 *kA*, de acuerdo con los datos del Sr. R. B. Bent.

Algunas particularidades aumentan la probabilidad de la caída de rayos en un lugar. Por ejemplo, la frecuencia de descargas en un lugar es proporcional al cuadrado de la altura sobre el terreno circundante. Esto hace que las estructuras aisladas sean particularmente vulnerables. Además, las puntas agudas incrementan también la probabilidad de una descarga.

Los rayos son señales eléctricas de alta frecuencia, gran potencial y alta corriente, por ello son causa de interferencia en sistemas electrónicos. Son de alta frecuencia por la elevada razón de cambio de la señal, de aproximadamente $1\ \mu s$. Por ello, para dirigir a tierra las descargas atmosféricas se utilizan las técnicas para señales en altas frecuencias.

La inductancia de los conductores de cobre usados para tierras es de aproximadamente de $1.64\ \mu\frac{H}{m}$. A la frecuencia equivalente de los rayos, la impedancia debida a la inductancia es muchas veces mayor que la impedancia debida a la resistencia del conductor. Por lo que, para los rayos, los conductores más largos de $10m$ tienen una impedancia en términos prácticos infinita, lo que impide que conduzcan la corriente. Además, estas señales de alta frecuencia no seguirán nunca una vuelta muy cerrada del conductor, porque cada doblez incrementa la reactancia inductiva. De ahí, que todos los cables de conexión a tierra de pararrayos deben tener curvas generosas en lugar de esquinas cerradas. Por ello, en conclusión se recomiendan curvas con radio de unos $20cm$, y conductores múltiples conectados en paralelo a tierra.

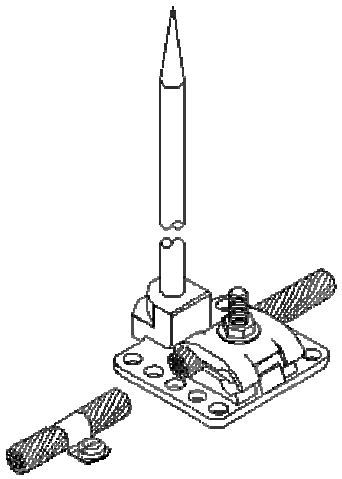
Como los rayos se reflejan como cualquier onda de alta frecuencia, es básico que la impedancia a tierra sea baja para la descarga, ya que todas las partes del sistema conectadas a tierra, elevarán y bajarán su potencial con respecto de tierra al tiempo de la descarga. Como ejemplo una malla de 30 x 30 m con $36\,m^2$, de cable de $0.5cm$ tiene una inductancia de $400\cdot10^{-7}$ H, lo que dará una impedancia de 25 Ω bajo una onda triangular con tiempo de pico de $1.2\ \mu s$.

3.8.2 Sistemas de pararrayos.

La protección de estructuras es más tolerante que una protección electrónica. Así, un edificio puede tolerar hasta $100{,}000V$ mientras que componentes electrónicos a $24V$ se dañarán con voltajes sostenidos de $48V$.

Los rayos ocurren con diferentes intensidades y un sistema que proteja contra su efecto deberá ser diseñado tomando en cuenta los rayos promedio o mayores del área en cuestión. Las descargas no pueden ser detenidas, pero la energía puede ser desviada en una forma controlada. El intentar proteger contra descargas directas puede ser excesivamente caro.

Un sistema de protección contra descargas, llamado de pararrayos, debe:
a) Capturar el rayo en el punto diseñado para tal propósito. La terminal aérea.



b) Conducir la energía de la descarga a tierra, mediante un sistema de cables conductores que transfiere la energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia; y

c) Disipar la energía en un sistema de terminales (electrodos) en tierra.

Cuando la energía de un rayo viaja a través de una trayectoria de gran impedancia, el daño causado puede ser grave por el calor y las fuerzas mecánicas que se crean.

Como la tierra no tiene una resistividad uniforme en todos los puntos, dentro de un mismo predio puede existir un potencial entre dos placas de metal enterradas. Por eso, en un sistema de electrodos múltiples conectados entre sí, a manera de malla, existe la probabilidad de que exista una diferencia de potencial entre algunos de sus puntos aterrizados.

El problema de diferencia de potenciales entre electrodos se complica aún más cuando una nube cargada pasa por encima de la malla. Además, una descarga eléctrica que caiga cerca, causará grandes corrientes en la tierra para restablecer el equilibrio de cargas. Al fluir esta corriente por tierra, causará una diferencia de potencial entre los diferentes electrodos y esta diferencia de potencial, a su vez, causará que fluya corriente por los conductores de la malla.

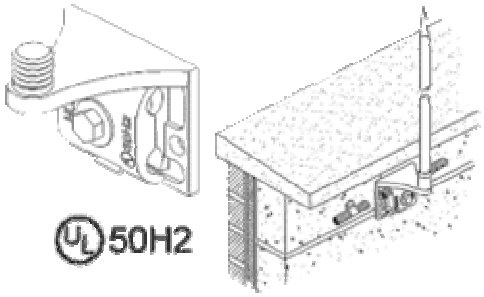
Es conocido que un campo magnético se crea cada vez que existe un rayo, no importando si es a tierra o entre nubes. Este campo induce una corriente en cualquier conductor en la vecindad del rayo. Si existen electrodos al final de ese conductor, fluirá por tierra la corriente cerrando el circuito. Por ejemplo, un oleoducto puede transmitir la corriente de una descarga a una gran distancia del punto donde la descarga tuvo lugar.

3.9 PROTECCION DE ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS.

3.9.1 Sistema Franklin.

El sistema más sencillo y más antiguo de pararrayos, es el que consiste en terminales aéreas de cobre, bronce o aluminio anodizado terminadas en punta, llamadas puntas Franklin, colocadas sobre las estructuras a proteger de los rayos.

Este sistema se aplica en iglesias, casas de campo, graneros y otras estructuras ordinarias.



Estas terminales deben estar por lo menos 25*cm* las más pequeñas miden 30*cm* sobre la estructura y, cuando esta altura mínima se emplea, la distancia entre ellas debe ser como máximo de 6*m*.

Para asegurarnos de una buena conexión y de una baja impedancia, por lo menos cada terminal aérea debe tener dos trayectorias a tierra, y estas trayectorias deben estar cuando más a 30*m* de separadas entre sí.

De acuerdo con el estándar NFPA 780, existen dos clases de materiales (terminales aéreas, cables, accesorios y terminales de tierra). Los materiales clase I se utilizan para la protección de estructuras que no exceden de 23*m* de altura, y, los materiales clase II, las estructuras que si exceden dicha altura.

Entre las diferencias importantes de las dos clases de materiales se tiene:

	Clase I	**Clase II**
Terminales Aéreas, diá (mm)	9,5 Cobre, 12,7 Aluminio	12,7 Cobre, 15,9 Aluminio
Conductor principal, peso	278 g/m Cu, 141 g/m Al	558 g/m Cu, 283 g/m Al
Calibre	29 mm2 Cu, 50 mm2 Al	58 mm2 Cu, 97 mm2 Al
Tamaño mínimo de alambre	17 AWG Cu, 14 AWG Al	15 AWG Cu, 13 AWG Al

Los tamaños de los conductores más usuales son: 29 ó 32 hilos calibre 17 (65,6*kcm*) de cobre para conductores de uniones, 28 hilos calibre 14 o más grueso de cobre para conductores principales. Cuando se emplean conductores de aluminio, se debe tener precaución en no llegarlos hasta el suelo porque sufren corrosión.

Al respecto de la trayectoria, la NOM dice que cualquier parte metálica no conductora de corriente a una distancia menor de 1,8*m* del cable de los pararrayos debe tener puentes de unión a éste para igualar potenciales y prevenir arqueos.

Los conductores terminan en tierra en sendos electrodos, y para revisar el estado de dichos electrodos, es una práctica recomendada que se utilicen conectores de prueba a una altura de 1,0 a 1,5*m*.

De acuerdo con la norma NFPA-780, el sistema de electrodos para la protección contra descargas atmosféricas depende más de las condiciones del suelo. De ahí que, para estructuras ordinarias menores a 23*m* de altura, en:

- ⇨ Arcilla Profunda y Húmeda.- Una simple varilla de 3*m* es suficiente.
- ⇨ Suelo arenoso.- Se requieren dos o más varillas espaciadas más de 3*m*.
- ⇨ Suelo con tierra poco profunda.- Se emplean trincheras radiales al edificio de 5*m* de largo y 60*cm* de ancho en arcilla. Si la roca está más superficial, el conductor podría colocarse sobre la roca.
- ⇨ Rocas.- En un suelo muy poco profundo, un cable en anillo se instala en una trinchera alrededor de la estructura. Para mejorar aún el contacto, es posible colocar placas de al menos 2 $pies^2$.

3.9.2 Sistemas tipo jaula de Faraday.

Para estructuras grandes, se utiliza una modificación al sistema Franklin de pararrayos, al añadir a las terminales aéreas conductores que crucen sobre la estructura a proteger como una caja de Faraday limitada sobre y a los lados de la construcción, y todo ese conjunto resultante es conectado a cables múltiples de bajada, que a su vez se conectan al sistema de tierras perimetral del edificio.

Los edificios modernos con estructura de acero y con varillas embebidas en concreto se acercan al concepto de la jaula de Faraday, y el riesgo de que un rayo que penetre en un edificio protegido de esta manera es extremadamente pequeño. Aunque se debe notar que los rieles de los elevadores no deben ser usados como el conductor de bajada de los pararrayos, el NEC permite que se unan al sistema de pararrayos.

3.9.3 PROTECCIÓN DE TORRES DE COMUNICACIÓN

Sistema de Pararrayos.

En las torres, se recomienda instalar pararrayos (tipo dipolo de 71º) equivalente a un cono de protección cuyo radio es tres veces la altura de colocación.

La bajante del pararrayos es mediante cable calibre 2/0 THW-LS AWG debe de ir lo más recto posible y evitar en las vueltas radios de curvatura menores a 0.315mts. (1´), a todo lo largo de la "pierna opuesta" a la cama guía de ondas, conectando el cable directamente a un electrodo y unir este electrodo al sistema de tierras. La conexión de la bajante al electrodo será mediante soldadura exotérmica como se especifico anteriormente.

a).- Operación durante la fase inicial (A), del proceso, el pararrayos EP-D polariza las cargas eléctricas ambientales por medio de su electrodo de puesta a tierra EP-ET de baja resistencia al impulso (+) y del toroide excitador (-). Generalmente por la componente final

del rayo (B) un dipolo que provoca un impulso previo de la carga inducida (C) mediante la direccionalidad del campo eléctrico para con los iones producidos por radiación natural, hacia la punta de descarga. Definiendo por recombinación iones (D), la incidencia del arco de corriente del rayo emitido en el vértice de la superficie equipotencial de los cuerpos del sitio.

El circuito de circulación de corriente tierra-nube-tierra a través del pararrayos (E) es conservado durante varios ciclos por la baja resistencia del electrodo y su pronta propagación al subsuelo del sitio (F), observándose particularmente importancia, a la variación estacional anual de las características eléctricas en cada zona geográfica.

b).- Cono de protección: El cono de protección EP-D es de 71º a 95% de eficiencia, para un valor de su resistencia a tierra de 5 Ω, los cuerpos cercanos a dicho cono pueden quedar protegidos por el mismo equipo, hasta 76º y 50% de eficiencia, en tanto no posean aristas metálicas con resistencia a tierra menor de 50Ω.

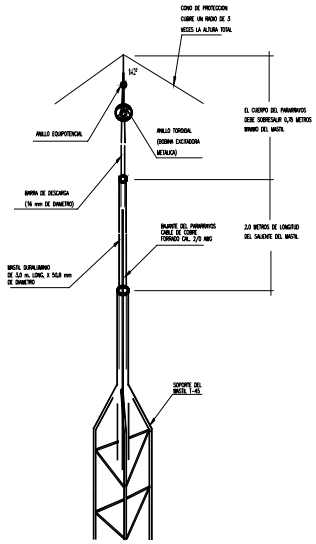
c).- Puesta a tierra: El valor de resistencia a tierra del pararrayos define su cono de protección, por lo que deberá medirse previamente al proyecto, la resistividad del suelo del sitio al instalar los electrodos, así como una vez instalados, su resistencia a tierra. Para el caso de medición de electrodos en mallas de cable, la longitud de separación entre electrodos de potencial (P_2), de corriente (C_2) y la malla, debe ser igual a la distancia de la diagonal interna entre vértices opuestos de la misma.

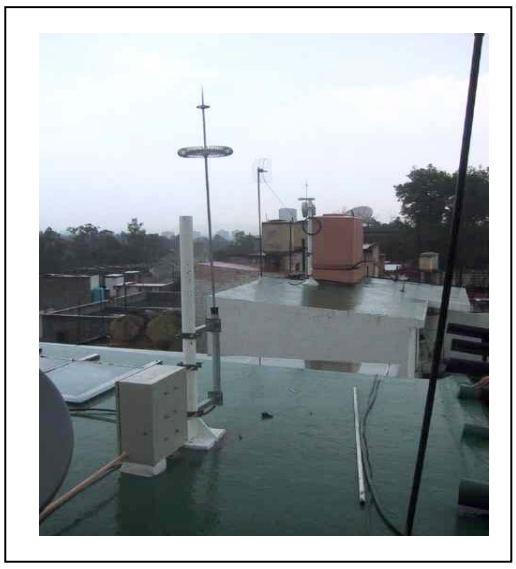
d).- Mantenimiento: Deberá revisarse anualmente, previo a la temporada de lluvias y mantenerse la instalación de los equipos sin alterar su posición ni forma, prestando importancia prioritaria a los siguientes aspectos:

e).- Continuidad eléctrica: Debe permanecer la conexión física de los conectores de pararrayos conductor-electrodo, verificándose por medición eléctrica a través de un puente entre ambos conectores.

f).- Resistencia a tierra: Las características de proyecto para este valor, deberán ser conservadas durante la operación de los equipos, por lo que dicha resistencia deberá medirse tal como se indica en el proyecto y su valor estacional no deberá ser mayor al calculado inicialmente.

g).- Corrosión : Deberá evitarse contaminación ambiental, tanto al pararrayos como al electrodo, previendo fallas por aislamiento o recubrimiento de depósitos en los elementos de la instalación, principalmente la barra de descarga.





En la figura se muestra una cobertura del pararrayos.

3.9.4 PROTECCIÓN DE LINEAS AEREAS

La protección de líneas aéreas de distribución se logra por medio de un hilo de guarda y, mediante apartarrayos en las líneas vivas. El primer método es aceptable en donde el

terreno por donde pasa la línea tiene un baja resistividad y, el segundo método, en terrenos donde se tienen resistencia a tierras de electrodos de 25 a 250 Ω.

La NOM {280-24} observa que el conductor de puesta a tierra directa del apartarrayos de un sistema de distribución, podrá interconectarse al neutro del secundario siempre y cuando éste último tenga una conexión a una tubería subterránea de agua, o, siempre y cuando sea un sistema secundario multiaterrizado. Y, que los conductores de puesta a tierra no se llevarán en cubiertas metálicas a menos de que se conecten a éstas en sus dos extremos {280-25}, o, deben estar fijos a la superficie del poste o estar protegidos por una guarda no metálica de por lo menos 2.5m de altura [2103-13].

3.9.5 PROTECCIÓN DE TANQUES.

Ciertos tanques están autoprotegidos contra rayos. Como ejemplo, un tanque que es eléctricamente continuo y de por lo menos 3/16" de grueso no puede ser dañado por las descargas directas. Pero, el tanque debe estar sellado contra el escape de vapores que puedan incendiarse.

Los tanques se aterrizan para alejar la energía de una descarga directa así como para evitar las cargas electrostáticas. Esto puede lograrse de cuatro maneras. La más simple es conectarlos a sistemas de tuberías que no tengan uniones aisladas. El segundo método requiere que los tanques de hasta 6m de diámetro se sienten en la tierra o en concreto, y en asfalto los tanques de hasta 15*m* de diámetro. El tercer método consiste en conectar un mínimo de 2 electrodos espaciados no más de 30*m* entre ellos radialmente al tanque. Y, por último, el método más novedoso es el de emplear el acero de refuerzo del muro de contenimiento de derrames.

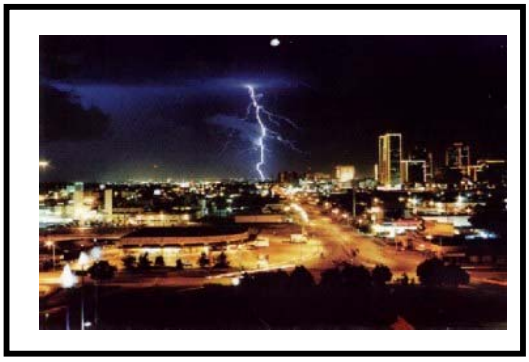
Para evitar las descargas electrostáticas que pudieran poner en peligro las instalaciones en el caso del almacenaje en tanques de productos inflamables, las normas especifican la instalación de por lo menos un cable flexible con conexión al mismo sistema de tierras del tanque, con conector de tipo pinza para igualar potenciales de todos los vehículos que carguen o descarguen producto al o del tanque.

Los tanques y tuberías de fibra de vidrio o de material plástico presentan problemas serios porque estos materiales no son conductores. Sin embargo estos materiales son muy susceptibles de presentar problemas debido a la electroestática y, por ello, sus válvulas y accesorios metálicos en caso de conducir un fluido no conductor de electricidad, deben ser puestos a tierra para drenar cualquier carga. En caso de ser necesario, un electrodo suspendido dentro del tanque y conectado a la red de tierras perimetral drenará cualquier carga interna. Es importante observar que ciertos fluidos que se descargan libremente dentro de tanques crean cargas electrostáticas grandes, por lo que lo adecuado es colocar la descarga debajo del nivel del líquido

3.10 CÁLCULOS

3.10.1 Cálculo de parrarayos.

Se requiere instalar un pararrayos para proteger un edificio, se desea saber la ubicación y la altura idónea, para que pueda proteger toda el área del edificio, además de la subestación eléctrica que se encuentra en el área de estacionamiento.



3.10.2 Cálculos simplificados

El valor estimado de la resistencia a tierra es uno de los primeros pasos para determinar el tamaño y el arreglo básico del sistema de tierras . A primera vista puede parecer difícil; el sistema de tierras todavía no esta diseñado y su resistencia es desconocida. Afortunadamente la resistencia depende en primer lugar del área ocupada por el sistema de tierras, la cual es conocida desde que se inicia el diseño. Como primera aproximación, el valor mínimo de la resistencia a tierra, con un suelo uniforme puede estimarse con la siguiente fórmula

$$R = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}}$$

Donde:

ρ es la resistividad en $\Omega \cdot m$

A es el área ocupada por la malla en m^2.

Para obtener un valor mas exacto de la resistencia se agregara un termino a la formula anterior.

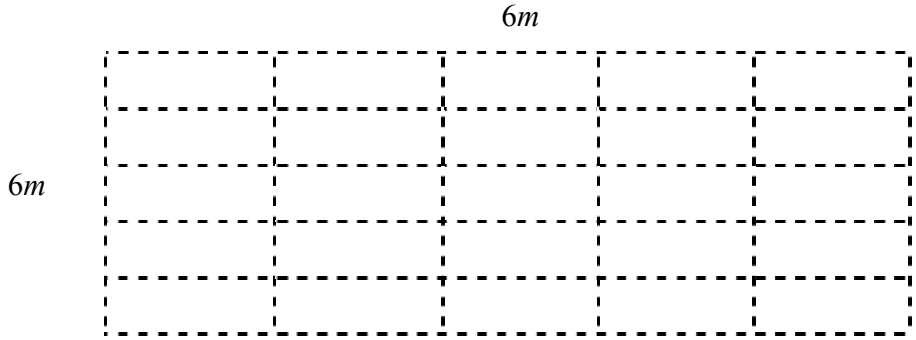
$$R = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}+\frac{\rho}{L}}$$

Donde:

L es la longitud total del conductor enterrado de tierras en metros.

Ejemplo.

Calcular la resistencia que tiene un terreno arcilloso que ocupa una área de 6 m de largo por 6m de ancho, que cuenta con el siguiente arreglo y que la medición obtenida con el Megger fue de 300 $\Omega \cdot m$.



$$R = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}+\frac{\rho}{L}}$$

$A = 6 \cdot 6 = 36m^2$

$\rho = 300\ \Omega \cdot m$

$$R = \frac{300}{4}\sqrt{\frac{\pi}{36}}$$

$$R = 22.15\Omega$$

Considerando la longitud del conductor tenemos:

$$R = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A} + \frac{\rho}{L}}$$

Conductores horizontales 6 pzas de 6*m*.

Conductores verticales 6 pzas de 6*m*

Total de conductores 12 pzas

$$L = 12 \cdot 6 = 72m$$
$$R = 22 \cdot 15 + \frac{300}{72}$$
$$R = 22.15 + 4.16$$
$$R = 26.31\Omega$$

3.10.3 Cálculo de la resistencia a tierra de una varilla

En un suelo uniforme de resistividad ρ, la resistencia a tierra de una varilla de diámetro *d* y enterrada una longitud *L*, esta dada por la formula :

$$R = \frac{\rho}{(2\pi \cdot L)Ln\left(\frac{2.943 \cdot L}{d}\right)}$$

Para cada longitud L de la varilla, la resistencia R medida, determina el valor de la resistividad aparente.

Ejemplo.

En una casa habitación la cía. de luz solicita como requisito para poder colocar su acometida la instalación de una varilla Copperweld para aterrizar el neutro de la acometida, se desea saber que valor de resistencia se tendrá si el valor medido de resistividad es de $\rho = 300\ \Omega \cdot m$.

$$R = \frac{\rho}{(2\pi \cdot L) Ln\left(\frac{2.943 \cdot L}{d}\right)}$$

Donde:

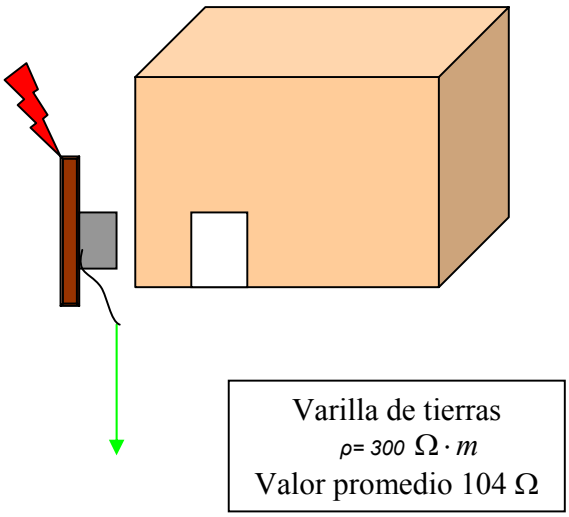
$\rho = 300\ \Omega \cdot m$

L: 3 m

d: .0127m

$$R = \frac{300}{(2\pi \cdot 3) Ln\left(\frac{2.943 \cdot 3}{0.0127}\right)}$$

$$R = 104 \cdot R \cdot g = \frac{R}{n} \cdot F$$



Valor aproximado en una casa habitación, en un suelo arcilloso.

Si consideramos un terreno con una resistividad de 100 Ω

$$R = \frac{100}{(2\pi \cdot 3)Ln\left(\frac{2.943 \cdot 3}{0.0127}\right)}$$

$$R = 34.7\Omega$$

RESISTENCIA A TIERRA DE UN GRUPO DE ELECTRODOS

Cuando se conectan en paralelo varios electrodos o varillas de tierra, el valor de resistencia a tierra que presenta el conjunto es menor que la resistencia a tierra que presenta un solo electrodo.

Si conectamos a una varilla existente otra varilla en paralelo, el valor de resistencia a tierra de las dos no es la mitad del valor de una de ellas, a menos que se encuentren separadas a una distancia igual a varias veces la longitud de las varillas.

Una regla practica es que los sistemas de tierras formados por 2 y hasta 24 electrodos ubicados en línea recta , formando un triangulo, un cuadrado o ubicados en un circulo y separados entre si una distancia igual a la longitud del electrodo, presentaran una resistencia a tierra igual a la resistencia que tiene un solo electrodo dividida entre el numero de electrodos y multiplicad por un factor *F*.

$$Rg = \frac{R}{n} \cdot F$$

El valor del factor *F* se determina de la siguiente tabla:

No. De electrodos	**Factor *F***
2	1.16
3	1.29
4	1.26
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2.00
24	2.16

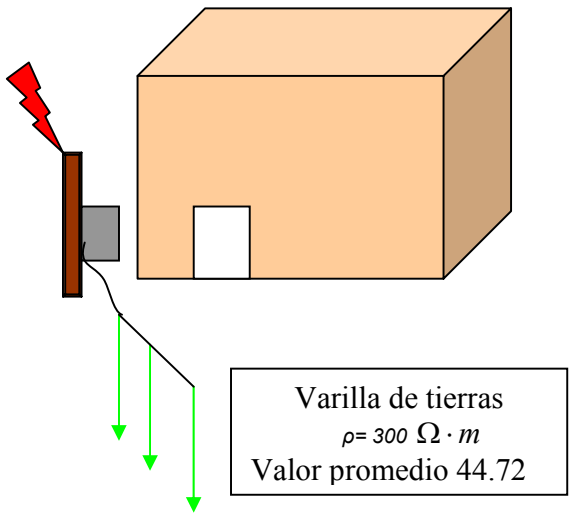
Ejemplo

Para el mismo ejemplo, se considerara la instalación de tres varillas , obtenemos lo siguiente:

$$Rg = \frac{R}{n} \cdot F$$

$$Rg = \frac{104}{3} \cdot 1.29$$

$$Rg = 44.72\Omega$$



RESISTENCIA DE CABLE HORIZONTAL

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L\left(Ln\left(\frac{L}{d \cdot h}^{2} \right) \right)}$$

Donde:

P es la resistividad del terreno en $\Omega \cdot m$

L es la longitud del cable en m.

d es el diámetro del conductor

h es la profundidad de enterramiento del conductor.

FÓRMULA DE SCHWARZ

La resistencia total de un sistema que consiste de una combinación de conductores horizontales (malla) y electrodos verticales, es menor que la resistencia de cualquiera de los componentes por separado, pero mayor que su combinación en paralelo.

La resistencia total es:

$$Rg = \frac{R_1 \cdot R_2 - (R_{12})^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}}$$

Donde :

R_G : Resistencia de grupo

R_1 : Resistencia de los conductores de la malla

R_2 : Resistencia de las varillas o electrodos

R_{12} : Resistencia mutua entre el grupo de conductores y las varillas o electrodos.

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Esta fórmula supone condiciones de suelo uniforme.

3.10.4 Cálculo de la corriente de falla

Emplear procedimiento de "Calculo de corto circuito", se considera el tipo de falla más severo. Modificar el valor "I" aplicando los factores de corrección siguientes:

Factor por decremento "F_D", utilizar un valor de acuerdo a la tabla siguiente.
Factor por seguridad "F_S", utilizar un valor de 1.0 a 1.5 para considerar un futuro aumento de la corriente de falla a tierra. Cuando no se tiene contemplado un crecimiento se considerara 1.0.

Ciclos (60 Hz)	**tf (seg)**	**Factor de Decremento FD**			
		X/R=10	**X/R=20**	**X/R=30**	**X/R=40**
0.5	0.00833	1.576	1.648	1.675	1.688
3	0.05	1.232	1.378	1.462	1.515
6	0.10	1.125	1.232	1.316	1.378
12	0.20	1.064	1.125	1.181	1.232
18	0.30	1.043	1.085	1.125	1.163
24	0.40	1.033	1.064	1.095	1.125
30	0.50	1.026	1.052	1.077	1.101
45	0.75	1.018	1.035	1.052	1.068
60	1.00	1.013	1.026	1.039	1.052

Aplicando la formula las siguientes formulas :

$Z = 4.26\%$

$\frac{23KV}{220}$

$500\ KVA$

Resistividad del Terreno $\Omega \cdot m$ dato obtenido por la medición arriba descrita

Resistividad Superficial $3000\ \Omega \cdot m$ Resistividad del concreto

La aportación de la corriente de falla es prácticamente la del transformador en 220 V.

$$I_N = \frac{K \cdot V \cdot A}{\sqrt{3}\left(V_{ff}\right)}$$

Corriente de Falla

$$I_F = Icc \cdot FD \cdot FS$$

3.11 DISEÑO DE LA RED

Se diseña en forma preliminar la red de tierras, proponiendo una malla con "*n*" conductores paralelos y *"m"* conductores transversales colocados a distancias razonables (espaciamiento) y uniformes dentro del área a proteger, así como un determinado numero de varillas.

Se debe considerar los factores siguientes:

- ⇨ Las uniones eléctricas entre los conductores de la malla no se deben fundir o deteriorar cuando circule la máxima corriente de falla.
- ⇨ Los elementos de la red deben ser mecánicamente resistentes, y tener conductividad suficiente para no contribuir a la producción de diferencias de potencial.
- ⇨ La profundidad mínima de instalación de la red será de 0.60 mts.
- ⇨ El conductor de la red será cable desnudo cal. 2/0.
- ⇨ Determinar la longitud total propuesta (L_T) de los conductores de la malla, incluyendo varillas, debe ser superior a la longitud (L).

3.11.1 Cálculo del calibre mínimo del conductor.

El calibre mínimo para el conductor de la red de tierras de un sistema de electrodos debe ser obtenida por medio de:

$$A = \frac{I_f}{\sqrt{\frac{Log_{10}\left(\frac{Tm-Ta}{234*Ta}+1\right)}{33s}}}$$

Donde:

A es la sección transversal del conductor en circular mils.

S es el tiempo en que se libera la corriente de Falla I_c en segundos

T_m es la temperatura máxima permisible en $°C$.

Para conectores soldables $T_m = 450°C$

T_a es la temperatura ambiente en C.

Para efectos de calculo en este procedimiento $T_a = 40°C$

3.11.2 Cálculo de la longitud del conductor de la malla

Cálculo de la longitud mínima del conductor requerida en la red (L) y verificar que el resultado cumpla con $L_T > L$.

$$Lm = \frac{KmKi\,\rho Ic\sqrt{t}}{116 + 0.17\,\rho_s}$$

Donde:

K_m es el Coeficiente que toma en cuenta el número de conductores paralelos "*n*", su diámetro "*d*", profundidad de instalación "*h*" y el espaciamiento entre los mismos.

$$Km = \frac{1}{2\pi}\ln\frac{D^2}{16hd_s} + \frac{1}{\pi}\ln\{(3/4)(5/6)(7/8)\ldots\}$$

La cantidad de factores entre paréntesis en el segundo término es de dos menos el número de conductores paralelos "n". Para el valor "d" del cable cal. 2/0 será de 9.266 *mm*.

ρ es la resistividad promedio del terreno en $\Omega \cdot m$

T es la máxima duración del choque en segundos.

ρ_s es la resistividad superficial del terreno en $\Omega \cdot m$. considerar un valor de 3000 $\Omega \cdot m$.

K_i es el factor de corrección por irregularidades.

$$Ki = 0.65 \cdot 0.172n$$

$$Lc = Ls \cdot na + As \cdot nb$$

Donde:

L_s es el largo de la malla.

A_s es el ancho de la malla

n_a es le número de conductores paralelos

n_b es el número de conductores transversales

$$Lr = Nv \cdot Lv$$
$$Lt = Lc \cdot 1.15Lr$$

3.11.3 Calculo de los potenciales de contacto permisibles

Donde:

$$E_{PT} = \frac{116 + 0.17\rho_s}{\sqrt{t}}$$

EPT es la potencial de paso tolerable

ECT es la potencial de contacto tolerable

$$E_{CP} = KmKi\rho\frac{Ic}{Lm}$$

K_s es el coeficiente que toma en cuenta la geometría de la red, diámetro del conductor "*d*",profundidad de instalación "*h*" y espaciamiento de los mismos "*D*".

$$E_{PP} = KsK\rho\frac{Ic}{Lt}$$

$$Ks = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D}\right\}$$

El número de términos en el paréntesis es igual al de conductores en paralelo *"n"*.

	CALCULADO	CONDICION	PERMITIDO	CUMPLE
Longitud Malla		<	58.06	
Potencial Paso		<	7645.75	
Potencial Contacto		<	2283.79	

3.11.4 Cálculo de la resistencia de la red

Se aplicara la fórmula:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L_T}$$

Donde:

$$r = \sqrt{\frac{Ar}{\pi}}$$

Ar es el área total encerrada por la malla propuesta en metros cuadrados.

3.11.5 Cálculo de red de tierras para una torre de telecomunicaciones

Cálculo de calibre de conductor.

Se dimensiona el calibre requerido en función de la Corriente de descarga atmosférica y tomando en cuenta los esfuerzos mecánicos y térmicos a que estará expuesto, todo esto de acuerdo con la formula de Onderdonk.

$$I = A\sqrt{\frac{1}{33s}\log\frac{Tm - Ta + 1}{234 + Ta}} \quad \text{.....(1)}$$

Donde:

I es la corriente en Amperes.
A es la sección transversal del conductor en Circular Mils (CM).
S es el tiempo de duración de la falla en segundos (# Ciclos).
T_m es la temperatura máxima permisible (para conectores Soldables y a Compresión)
T_a es la temperatura ambiente °C

Considerando este valor como caso critico (sin aplicar factores de decremento por duración de falla y factores de crecimiento por ampliaciones futuras), y empleando uniones soldables del tipo exotérmico a base de calor (Cadweld), el calibre mínimo que se utilizará para transportar dicha corriente sin peligro de fundirse se calculará de acuerdo con la siguiente expresión:

Despejando el área de la ecuación de Onderdonk tenemos lo siguiente:

$$A = \frac{I}{\sqrt{\frac{1}{33s}\log\frac{Tm - Ta + 1}{234 + Ta}}}$$

Aplicando los siguientes valores:

Corriente de descarga atmosférica (I)= 30,000 Amperes

Tiempo de duración de la falla en segundos (S) = 8 ciclos = 0.133 segundos.

Temperatura máxima permisible (T_m) = $450\,°C$.

Temperatura Ambiente (T_a) = $28\,°C$ (Temp. Prom. Máxima Extrema)

Aplicando los valores a la ecuación:

$$A = \frac{30{,}000}{\sqrt{\frac{1}{(33)(0.133)}\log(\frac{450 - 28}{234 + 28} + 1)}} = 97{,}465CM$$

Convirtiendo el valor obtenido en Circular Mil a un área en mm^2.

1 mm^2 = 1970 CM, 1 CM = 0.00051 mm^2

Por lo tanto el área en mm^2 es la siguiente:

A = 49.70 mm^2

De acuerdo con esta área y consultando la NOM-001-SEDE-1999, se tiene que corresponde a un cable con calibre abajo especificado:

Cable calibre No **1/0 (53.48 mm^2)**.

De acuerdo a lineamientos de la empresa TELCEL el calibre del conductor a instalar deberá ser no menor al calibre siguiente:

Cable calibre No **2/0 AWG.**

El cual cumple con los requerimientos mínimos de seguridad para la realización de la red de tierras.

3.11.6 Diseño de la red de tierras

Proponiendo el diseño de malla mostrada en el plano ST-01 se tiene lo siguiente:

La longitud de cable para el sistema radial propuesto es:

Longitud de cable lineal: Lc_l = 18 metros

Longitud de cable transversal: Lc_t = 19.5 metros

La longitud adicional de conductor por conexión de electrodos es:

Lc_e = 6 metros

La longitud total propuesta de cable es:

L = 43.5 Metros

Para el cálculo de la resistencia (*R*) esperada del diseño de la malla propuesta, se deberá tomar en cuenta un valor de entre 1 y 3 *(Ω)*, valor estipulado para equipos electrónicos, equipos de cómputo y equipos de comunicación.

El cálculo de la resistencia de la malla se realizará de acuerdo a la ecuación de la "Formula General", la cual se expresa de la siguiente forma:

$$Rm = \rho\left[\ \frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}}\left(1 + \frac{1}{1 + H \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}}\right)\ \right] \text{.....(2)}$$

Donde:

ρ es la resistividad del terreno máxima medida ($74.0\ \Omega \cdot m$).
L es la longitud propuesta del conductor (43.5 m)
A es el área de la malla ($58.5 m^2$)
H es la profundidad de la malla (0.6 *m*)

Sustituyendo en la ecuación (2):

$$Rm = 74.0\left[\frac{1}{43.5} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 58.5}}\left(1 + \frac{1}{1 + 0.6 \cdot \sqrt{\frac{20}{58.5}}}\right)\right]$$

$R_{mallla} = 5.46\Omega$

La resistencia total del sistema de tierras, se obtiene considerando la resistencia de la malla y los electrodos en paralelo.

$$Rtot. = \frac{Rm \cdot \mathrm{Re}}{Rm + \mathrm{Re}}$$

Considerando que la resistencia de un electrodo $E_p - E_T$ propuesto es menor 20 veces que la resistencia de una varilla Copperweld, obtendremos la resistencia de las varillas por medio de la siguiente ecuación:

$$Rv = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot L} \cdot \ln\left[\left(\frac{4 \cdot L}{d}\right) - 1\right]$$

Donde:

R_v es la resistencia de las varillas Copperweld

ρ es la resistividad del terreno en estudio ($74.0\ \Omega \cdot m$)

L es la longitud de la varilla ($3.05\ m$)

n es el número de electrodos en la malla (6)

d es el diámetro de las varillas ($0.0127\ m$)

Sustituyendo:

$$Rv = \frac{74.0}{2 \cdot 3.1416 \cdot 6 \cdot 3.05} \cdot \ln\left[\left(\frac{4 \cdot 3.05}{0.0127}\right) - 1\right]$$

$$R_v = 4.41\Omega$$

Obtenemos la resistencia de los electrodos $E_p - E_T$ propuestos:

$$\text{Re} = \frac{Rv}{20} = \frac{4.41}{20}$$

$$R_e = 0.22\Omega$$

Finalmente, obtenemos la resistencia total del sistema de tierras propuesto:

$$Rtot. = \frac{5.46 \cdot 0.22}{5.46 + 0.22}$$

$Rtotal = 0.21\Omega$

Con este valor de resistencia se cumple con la especificación de TELECOMUNICACIONES para su sistema de tierras de 1-3 Ω máximo.

3.11.7 Sistema de tierras en casas habitación.

OBJETIVO.

En la actualidad los sistemas de tierras han recobrado gran importancia, en la vida diaria, El aumento en la tecnología ha puesto en evidencia la falta de una normatividad para nuestros hogares en cuestión de sistema de tierra.

En nuestros hogares se ha venido presentando una creciente aumento en equipos electrónicos, que son muy sensibles a los disturbios eléctricos, lo que se manifiesta en fallas y perdidas económicas cuantiosas.

Una de las principales causas de estas fallas, es la falta de un sistema de tierras, es por ello que trataremos de dar una guía practica para una instalación de tierras en casa.

El objetivo principal de contar con un sistema de puesta a tierra es:

- ⇨ Seguridad personal
- ⇨ Protección en la cocina
- ⇨ Seguridad en el baño

- ⇨ Protección a equipo electrónico
- ⇨ etc.

Un buen sistema de tierra puede proveer al personal seguridad y confianza dentro de su hogar.

La protección del equipo se logra al proveer trayectorias adecuadas para las corrientes de falla a fin de que los dispositivos de protección de sobre corriente funcionen eficazmente, evitando con esto daños innecesarios

3.11.8 Puesta a tierra de acometida eléctrica

El punto mas importante dentro del sistema de tierras en una casa habitación, se encuentra a la llagada de la acometida eléctrica. En este punto es el único donde se vuelven un punto común el neutro y la tierra física.

La acometida eléctrica que nos proporciona la cía. suministradora (CFE O Luz y fuerza del Centro) puede ser monofásica, bifásica o trifásica, esta viene acompañado de un hilo de neutro.

En el punto donde se vuelve común el neutro y la tierra física se realiza entre los equipos de medición y el interruptor principal (interruptor de navajas o termo magnético) este se realizara con zapata mecánica como punto de conexión, de donde se conecta el neutro de acometida, el cable de tierras al sistema, el neutro de las instalaciones de la casa y la tierra física de las instalaciones de la casa.

Puesta a tierra de cocina

Dentro de las instalaciones, donde debemos de tener mayor atención, por seguridad personal, se encuentra el área de cocina, en ella van implícitos el aterrizamiento de contactos, cajas de conexiones de lámparas.

Como protección adicional, debido a que es una zona donde se pueden tener accidentes por el constante uso de agua es importante colocar interruptores con protección de falla a tierra. El calibre recomendado debe cumplir con la Nom 1999. Cal. 12 de color verde o desnudo. Dentro de los enseres mas utilizados son el refrigerador, la estufa, el horno eléctrico, el horno de microondas , la licuadora, la cafetera, el tostador, el extractor, etc. Es por ello de suma importancia la correcta polarización de los contactos, para poder garantizar la seguridad personal, así como para nuestros aparatos eléctricos.

Puesta a tierra del área de lavado.

En esta área los equipos mas comunes son, la lavadora, la secadora, la plancha, la vaporera. Etc.

Con un correcto aterrizaje de cada uno de los contactos garantizamos el bien servicio y alargamos la vida útil de nuestros equipos .

Algunos equipos como la lavadora o la secadora tienen un tornillo de conexión a tierra, por lo que es importante aterrizar en este punto desde el mismo punto de referencia que tenemos. Con esto estaremos garantizando que no nos de toques la carcaza metálica.

Puesta a tierra de bombas de agua

La bomba de agua para una casa habitación, por lo general van de 1/4 a 1 HP. Y es una de las cargas mas representativas dentro de nuestra instalación. Es por tal motivo una de las áreas donde se debe garantizar una correcta conexión a tierra. Esta conexión se llevara a cabo mediante cable verde o desnudo en Cal. 12 , y se llevara de preferencia desde

el mismo sistema de tierras hasta la carcaza del motor (tornillo de tierras en la caja de conexiones).

Sistema de tierras solicitado por la cía. de luz y fuerza o CFE

Las compañías suministradoras de energía dentro de sus normas, nos solicitan aterrizar el neutro de la acometida, lo mas cercano al interruptor principal a través de una varilla Cooperwell de 3/8" de diámetro y con una longitud mínima de 3*m*.

El valor de la resistencia depende directamente del material donde se encuentre donde sea enterrada la varilla.

Si empleamos la formula de:
Y calculamos el valor para diferentes tipos de terrenos tenemos:

3.11.9 Diseño de la malla de tierras para la subestación eléctrica del edificio inteligente.

En sótano de un edificio, se alojaran dos subestaciones eléctricas constituidas por tres transformadores de 750 *KVA*, con relación de transformación de 23,000-480/277 *V*, conexión Delta - Estrella enfriamiento a base de silicón líquido.

La limitación de sobre tensiones son particularmente importantes en sistemas que operan a voltajes mayores a los 1,000 *V*, ya que los equipos para esta clase de voltaje están diseñados con menor margen que los de baja tensión, refiriéndose a las pruebas de 60*Hz* y al voltaje de operación.

Determinación de la corriente de corto circuito de falla a tierra.

Para la determinación de las corrientes de corto circuito, se utilizo como potencia de cortocircuito 300 MVA, trifásico, en cada una de las acometidas de la subestación.

$$I_{cc} = \frac{MVA}{\sqrt{3 \cdot KV}}$$

Donde:

I_{cc} es la corriente de corto circuito trifásica en Amperes.

MVA es la potencia de cortocircuito trifásica en MVA.

KV es la tensión de suministro en KV.

De las condiciones del problema tenemos:

$$I_{cc} = \frac{300}{\sqrt{3 \cdot 23}}$$

$$I_{cc} = 7530.65 Amperes$$

Ajuste de la corriente de falla.

Cualquier ampliación que sufra este sistema posterior a lo considerado, será en forma de transformadores independientes, por lo que este factor es igual a uno ($A = 1$).

Por tiempo de duración de la falla.

Se considera que al ocurrir una falla a tierra, los interruptores operan eliminando la falla del sistema, lógicamente tendremos un tiempo de duración de la falla menor a 0.1 segundos que equivale a 6 ciclos, por esta razón aplicaremos un factor de 1.25 (D = 1.25) según la siguiente tabla:

Duración de la Falla (ciclos)	Factor de Decremento (D)
0.5	1.65
6	1.25
15	1.10
30 ó más	1.10

Entonces la corriente de falla quedará:

$$I_{cc} = I_{cc} \cdot A \cdot D$$

Donde:

I_{cc} es la corriente de corto circuito trifásica en Amperes.

A es el factor de seguridad

D es el factor de decremento.

De las condiciones del problema tenemos:

$$I_{cc} = 7530 \cdot 1.0 \cdot 1.25 = 9413.31 Amperes$$

Diseño de malla propuesto.

		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2													
2													
2													
2													

Acotación en *mts*.

Cable de cobre desnudo Cal. 4/0 AWG.

Electrodo de tierra.

Donde:

L es la longitud de conductor (*L*) = 300.0 *mts*. .

Profundidad de enterramiento = 0.60 *mts*. (considerados desde el lecho bajo de loza)

Área (*A*) es el ancho x largo = 213.64 mts^2 .

Número de conductores transversales menos dos (*N*) = 6

Radio Equivalente (*R*)

$$R = \sqrt{\frac{Ar}{\pi}}$$

Donde:

r es el radio equivalente en *m*.

A_r es el área total encerrada por el la malla propuesta m^2

De las condiciones del problema tenemos:

$$R = \sqrt{\frac{224}{\pi}} = 8.44m.$$

Resistencia esperada en la malla:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

Donde:

R es la resistencia de la malla esperada en Ω.

r es el radio equivalente en m.

es la resistividad del terreno $\Omega \cdot m$.

L es la longitud del conductor en m.

De las condiciones del problema tenemos:

$$R = \frac{100}{4 \cdot 8.44} + \frac{100}{300} = 3.294\Omega$$

Cálculo de la Sección del Conductor:

De la tabla de Onderdonk, considerando conexiones soldables y una falla con duración menor a los 0.1 segundos, tenemos que el calibre mínimo recomendado para evitar la fusión del cable se determina con la constante 6.5 c.m./amp., por lo que la sección mínima del conductor será:

$$S = I_{cc} \cdot K_{ON}$$

Donde:

S es la sección del conductor en c m.

K_{ON} es la constante de Onderdonk.

De las condiciones del problema tenemos:

$$S = 9413.32 \cdot 65 = 61.187 cm =$$

Equivalente al calibre 1/0 AWG, pero se utilizará el mínimo recomendable por la norma de Cal. 4/0 AWG, con sección 107.2 mm 211,600cm.

Cálculo de la longitud necesaria de conductor:

La longitud se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$L = \frac{Km \cdot Ki \cdot \rho \cdot Ic\sqrt{t}}{116 + 0.17 \cdot \rho \cdot s}$$

Donde:

L es la longitud de conductor enterrado para mantener el voltaje de malla dentro de los límites de seguridad.

K_m es el factor que depende del dimensionamiento de la malla.

K_i es el factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra.

 es la resistividad del terreno.

T es la duración máxima de la falla.

 $_s$ es la resistividad en la superficie del terreno.

Cálculo de K_m

$$Km = \frac{1}{2\pi}\ln\frac{D^2}{16hd_s} + \frac{1}{\pi}\ln\{(3/4)(5/6)(7/8)\ldots\}$$

Donde:

K_m es el factor que depende del dimensionamiento de la malla.

D es el espaciamiento entre conductores en la malla.

d es el diámetro de los conductores.

h es la profundidad de enterramiento del conductor.

n es el número de conductores transversales paralelos.

De las condiciones del problema tenemos:

$$Km = \frac{\left(\frac{1}{2\pi}\right) Ln\left(\frac{2^2}{16 \cdot 0.50 \cdot 0.01168}\right) + \left(\frac{1}{\pi}\right) Ln(3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9 \cdot 11 \cdot 13)}{4 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 14} = 0.292$$

Cálculo de K_i:

$$Ki = 065 \cdot 0.172 \cdot n$$

Donde:

K_i es el factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra.

n es el número de conductores transversales paralelos.

De las condiciones del problema tenemos:

$$Ki = 065 \cdot 0.172 \cdot 8 = 2.026$$

La longitud mínima de cable enterrado debe ser:

$$L = \frac{0.292 \cdot 2.026 \cdot 100 \cdot 9413.32 \cdot \sqrt{0.1 \cdot t}}{116 + 0.17 \cdot 5000} = 182.3 mts.$$

La longitud de calculo es menor que la indicada en la configuración de la malla.

$$182.3 < 3000 mts.$$

Cálculo del potencial tolerables.

Máximo aumento de potencial E en la red.

$$E = Icc \cdot R$$

Donde:

E es la potencial máximo de la malla.

I_{cc} es la corriente de corto circuito trifásica en Amperes.

R es la resistencia de la malla esperada en Ω.

De las condiciones del problema tenemos:

$$E = 9413.32 \cdot 3.294 = 31007.4 Volts$$

Potencial soportable por el cuerpo humano Voltaje de paso.

$$E_{PT} = \frac{116 + 0.7\rho_s}{\sqrt{t}} =$$

Donde:

E_{PT} es el voltaje de paso tolerable para el cuerpo humano.

t es la duración máxima de la falla.

ρ_s es la resistividad en la superficie del terreno.

De las condiciones del problema tenemos:

$$E_{PT} = \frac{116 + 0.7 \cdot 5000}{\sqrt{0.1}} = 11434.8 Volts.$$

Potencial soportable por el cuerpo humano Voltaje de contacto.

$$E_{CT} = \frac{116 + 0.17 \cdot \rho_s}{\sqrt{t}}$$

Donde:

E_{CT} es el voltaje de contacto tolerable para el cuerpo humano.

t es la duración máxima de la falla.

ρ_s es la resistividad en la superficie del terreno.

De las condiciones del problema tenemos:

$$E_{CT} = \frac{116 + 0.17 \cdot 5000}{\sqrt{0.1}} = 3054.80 Volts.$$

Cálculo del potencial de contacto o de malla.

Emplearemos la siguiente fórmula:

$$E_{CP} = KmKi\rho \frac{Ic}{Lm}$$

Donde:

E_{CP} es el voltaje de contacto o de malla.

L_M es la longitud de conductor enterrado para mantener el voltaje de malla dentro de los límites de seguridad.

K_m es el factor que depende del dimensionamiento de la malla.

K_i es el factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra.

ρ es la resistividad del terreno.

I_{cc} es la corriente de corto circuito trifásica en Amperes.

De las condiciones del problema tenemos:

$$E_{CP} = 0.292 \cdot 2.026 \cdot 100 \cdot (9413)\frac{32}{300} = 1856.28$$

Cálculo del potencial de paso.

$$E_{PP} = KsK\rho \frac{Ic}{Lt}$$

Donde:

E_{PP} es el voltaje de paso o de malla.

L_T es la longitud de conductor enterrado para mantener el voltaje de malla dentro de los límites de seguridad.

k_s es el factor que.

k_i es el factor de corrección por irregularidad del flujo de corriente a tierra.

ρ es la resistividad del terreno.

I_{cc} es la corriente de corto circuito trifásica en Amperes.

De las condiciones del problema tenemos:

$$E_{PP} = 0.5601 \cdot 2.026 \cdot 100 \cdot \frac{9413.32}{300} = 3560.63$$

Cálculo de K_s :

$$Ks = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D}\right\}$$

Donde:

K_s es factor que.

D es el espaciamiento entre conductores en la malla.

h es la profundidad de enterramiento del conductor.

n es el número de conductores transversales paralelos.

De las condiciones del problema tenemos:

$$Ks = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{1}{2\cdot 060} + \frac{1}{2+0.60} + \frac{1}{2\cdot 2} + \frac{1}{3\cdot 2} + \frac{1}{4\cdot 2} + \frac{1}{5\cdot 2} + \frac{1}{6\cdot 2} + \frac{1}{7\cdot 2}\right\} = 0.5601$$

Número mínimo de varillas requerido:

$$Nv = 0.60 \cdot \sqrt{A \cdot r}$$

Donde:

A_r es el área total encerrada por el la malla propuesta m^2

N_v es el número mínimo de varillas.

De las condiciones del problema tenemos:

$$Nv = 0.60 \cdot \sqrt{224} = 8.98$$

El número de electrodos colocados en la malla, son 10.

Verificación de las condiciones de seguridad.

EPP < EPT

ECP < ECT

De las condiciones del problema tenemos:

3,560.63 < 11434.80

1,856.30 < 3,054.76

Como el potencial tolerable por el cuerpo humano V_{CH} es superior a la elevación del potencial de malla calculado, el arreglo seleccionado en este punto es aceptable.

FORMA DE INSTALAR ELECTRODOS





EXCAVACION PARA INSTALAR ELECTRODOS





FORMA DE INSTALAR ELECTRODOS









DESEMPAQUE DE ELECTRODOS

INSTALACIÓN DE ELECTRODOS





RELLENO DE EXCAVACIÓN



FORMA DE REALIZAR SOLDADURAS





MOLDE PARA SOLDADURA **MOLDE CON TAPA DE LA SOLDADURA**



FIJACION DE MOLDE A ESTRUCTURA METALICA

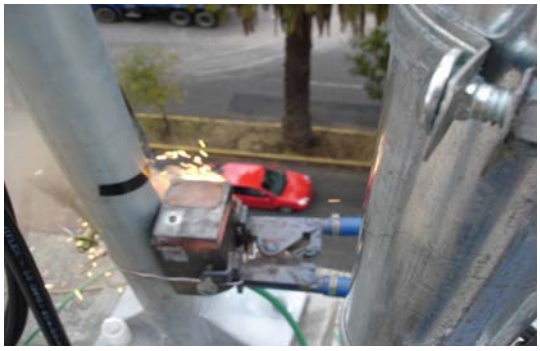


MOLDE CON CABLE CAL 2AWG.





VACIADO DE SOLDADURA EN EL MOLDE



MOMENTO DE LA FUNDICIÓN TERMINADA.



SOLDADURA

MEDICIÓN DE TIERRAS





MEGGER DE 3 PUNTAS

EQUIPO KYIRITSU





INSTALACIÓN DE PICAS DE MEDICIÓN EN TERRENO

MEDICIÓN DE TIERRAS



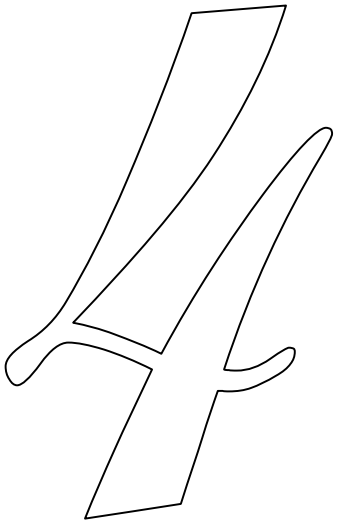


MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DEL TERRENO CON 3 ELECTRODOS

INSTALADOS MARCA PARRES



LECTURA EN CARATULA DE MEGGER



PLANTAS ELÉCTRICAS DE EMERGENCIA

4.1 Introducción

El suministro de energía eléctrica actualmente es de gran importancia en la alimentación de los sistemas eléctricos, ya que perturbaciones en la red de alimentación pueden causar alteraciones desde el punto de vista operativo, técnico y económico. Por lo que se hace necesario tener una fuente de respaldo que cumpla los requerimientos del mismo sistema.

Dependiendo del tiempo de perturbación de la red de alimentación, se pueden emplear diferentes formas de respaldo de energía, las más comunes son las Unidades de Potencia Ininterrumpibles (U.P.S) las cuales tienen tiempos de respuesta que van desde los 4 hasta los 500 milisegundos o Plantas Eléctricas de Emergencia las cuales tienen tiempos de respuesta de 3 hasta 9 segundos. Estas formas de alimentación son aplicaciones auxiliares, donde esta fuente constituye una especie de seguro eléctrico en caso de fallar el suministro normal de energía.

En la seguridad pública, una falla de energía puede ser asunto de vida o muerte. Los generadores auxiliares protegen al público en hospitales, estaciones de policía, estaciones de bomberos y aeropuertos.

La energía auxiliar también es de vital importancia para las comunicaciones telefónicas, transmisiones de radio y televisión, plantas de tratamiento de aguas potables y negras en instalaciones militares e instalaciones de radar.

La seguridad privada es otro campo que necesita de energía auxiliar. Cualquier sitio donde se trabaja, juega o compra un gran número de personas, requiere una fuente auxiliar de energía . . . y no solo para las luces y la calefacción, sino también para ventilación donde se producen gases tóxicos y para la operación de controles eléctricos de seguridad.

Algunos ejemplos son oficinas, restaurantes, centros comerciales, hoteles, elevadores para esquiadores y los parques de diversión.

Los generadores auxiliares dan una seguridad económica en los casos en que un apagón puede dañar equipos o materiales. Muchas industrias tienen procesos que una vez comenzados, tienen que llevarse a cabo totalmente. Una falla eléctrica durante un proceso de estos puede ocasionar una gran pérdida. Por ejemplo, un proceso de extracción, el plástico se funde y se pasa por las máquinas, el suministro de energía tiene que ser constante, o el plástico se endurece dentro de la máquina.

La energía eléctrica constante es esencial para lecherías, fábricas de hielo, laboratorios fotográficos, fabricación de pinturas y otros procesos químicos.

Por lo tanto la aplicación de las plantas eléctricas es una de las aplicaciones más viables para proporcionar energía de respaldo a los sistemas industriales.

4.2 Generalidades de plantas generadoras.

Las plantas generadoras son dispositivos que aprovechan cierto tipo de energía para producir energía eléctrica. Dicha energía puede provenir de un motor de combustión interna, de los rayos luminosos del sol, de los gases provenientes del subsuelo, del vapor del agua, etc.

De acuerdo al tipo de energía que aprovechan las plantas, éstas se clasifican en:

1.- Hidroeléctricas
2.- Termoeléctricas
3.- Geotérmicas
4.- Núcleo eléctricas
5.- Mareomotrices
6.- De Combustión Interna

1.- Planta hidroeléctrica.

Es aquella que aprovecha la energía dinámica de un sistema hidráulico para mover a una turbina y ésta a su vez a un generador de corriente alterna.

2.- Planta termoeléctrica.

Es aquella que aprovecha la energía térmica de un combustible para producir vapor de presión, el cual mueve a una turbina y ésta a su vez mueve a un generador de corriente alterna.

3.- Planta geotérmica.

Es aquella que aprovecha la energía dinámica de los gases del subsuelo para mover unas turbinas y éstas a su vez, mueven a un generador de corriente alterna.

4.- Planta núcleo eléctrica.

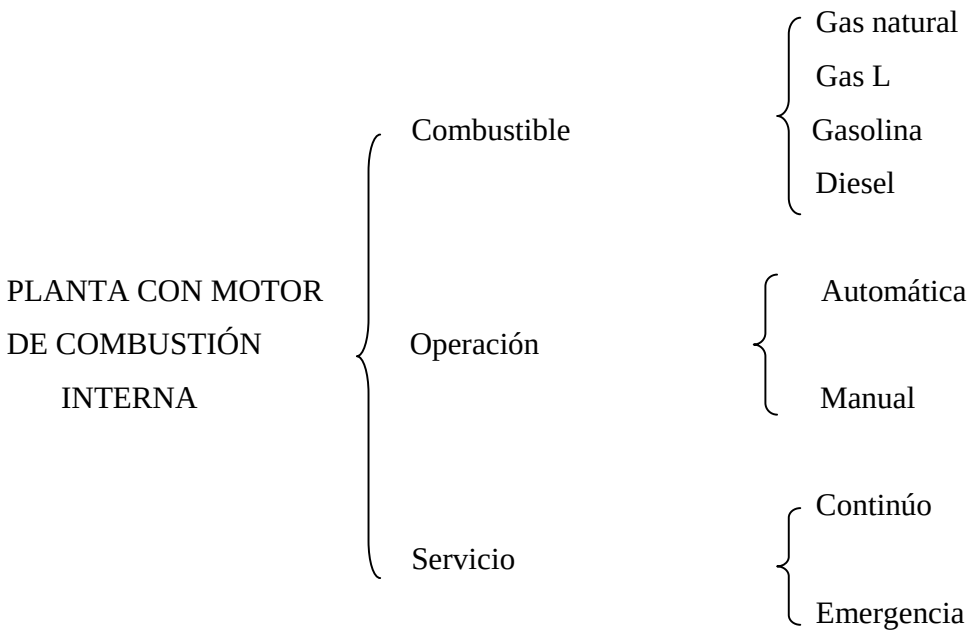
Es aquella que aprovecha la energía calorífica que desprenden algunos materiales al provocarse una reacción nuclear para producir vapor e agua y con este último mover turbinas de vapor que dan movimiento a un generador.

5.- Planta mareomotriz.

Es aquella que aprovecha la energía dinámica de las olas del mar, para mover unas turbinas y éstas a su vez, mueven un generador de corriente alterna.

4.3 Planta con motor de combustión interna.

Es aquella que utiliza la energía térmica desprendida de la combustión para producir un movimiento mecánico a una flecha que está acoplada al rotor de un generador y que por inducción electromagnética va a producir un voltaje en las terminales de este último.
Tomando en consideración los aspectos anteriores, clasificaremos a una planta de combustión interna de la siguiente forma.





Las plantas con motor de combustión interna generalmente utilizan diesel, por las ventajas que representa con respecto a las que utilizan gasolina o gas. Es decir, el combustible es más barato, desarrollan más potencia, tienen mayor relación de compresión, mayor eficiencia y aprovechan mejor la energía térmica desprendida del combustible.

Con respecto a las de gas natural o LP, generalmente al motor se le tienen que hacer adaptaciones que en su inversión son costosas, pero se amortizan por el precio del combustible.

4.4 Operación automática.

Se dice que una planta es automática cuando opera por si sola, realizando cinco funciones:

a) Arrancar
b) Proteger
c) Transferir carga
d) Retransferir carga
e) Paro

Solo requiere de supervisión y mantenimiento preventivo. Son utilizadas en industrias, centros comerciales, hospitales, hoteles, aeropuertos, etc.

4.5 Operación manual

Son aquellas que requieren para su operación que se opere manualmente un interruptor para arrancar o para dicha planta. Normalmente estas se utilizan en aquellos lugares donde no existe alimentación por parte de alguna Compañía Suministradora y pueden ser: aserraderos, ranchos, etc.

También se utilizan en lugares donde la falta de energía puede permanecer durante algunos minutos, mientras una persona acude al lugar donde está instalada la planta para arrancarla y hacer manualmente la transferencia.

Se dice que una planta es manual cuando solo PROTEGE.

Las plantas se clasifican por el tipo de servicio que prestan en:

4.6 Servicio continuo

Son aquellas que operan hasta 300 horas por año y se utilizan en lugares donde se tienen sistemas de distribución por parte de las Compañías Suministradoras y donde se requiere que nunca falte la energía: Hoteles, Hospitales Centros Comerciales, Aeropuertos, etc.

Las plantas están diseñadas para operar con una capacidad en emergencia, si ésta misma máquina se quiere operar en servicio continuo se tiene que disminuir la capacidad de servicio de emergencia un 10% aproximadamente.

4.7 Planta generadora de energía eléctrica de emergencia (P.G.E.E.E.)

Es un grupo motor-generador que convierte la energía calorífica de un combustible en energía eléctrica.

Potencial nominal

Es la capacidad en *KW* obtenidos en las terminales del generador a una altitud del nivel del mar, considerando una temperatura ambiente máxima de 40°C, en cualquiera de sus aplicaciones y a una velocidad nominal del motor a 1800 r.p.m.

DISPONIBILIDAD

Es el tiempo máximo en segundos, necesario para que la P.G.E.E.E. esté en condiciones adecuadas de operación, permitiendo la transferencia y toma de carga.

Existen 5 tipos de disponibilidad:

TIPO 1: básicamente inmediata de 3 a 5 milisegundos
TIPO 2: hasta 5 segundos
TIPO 3: hasta 15 segundos
TIPO 4: más de 15 segundos
TIPO 5: manual (sin límite de tiempo).

Placa de datos.

La placa de datos de la planta eléctrica en forma breve nos informa de las características de la misma, es decir, que potencia tiene, su nivel de tensión, intensidad de corriente, frecuencia, tipo de combustible, revoluciones por minuto, número de fases, factor de potencia, etc.

MODELO.- La planta Selmec se designa de la siguiente manera.

250 SCLTA10-G

Los primeros números indican la capacidad de emergencia del equipo en KW.
La letra “S” indica que la planta es de la marca Selmec.

La letra “C” indica que el motor utilizado es un motor marca Cummins.
Las siguientes letras y números indican el modelo del motor Cummins.

40SC4B3.9-G2
80SC6BT5.9-G1
100SC6BT5.9-G2
450SCKTA19-G3

SERIE.- Indica la serie de la planta. Generalmente los dos primeros indican el año de fabricación, los siguientes dos el mes de fabricación y los siguientes números indican la orden de trabajo (o número de planta).

COMBUSTIBLE.- Indica el combustible utilizado, en todas las máquinas Selmec, se encuentra marcado el diesel.

KW.- Indica la potencia real o activa. Es decir, la potencia que entregará el equipo en condiciones reales de trabajo. Se expresa en *kilowatts*.

KVA.- Indica la potencia aparente o total del equipo, es la potencia en condiciones ideales. Se expresa en *kilo-volts-amperes.*

f.p..- Indica el factor de potencia del equipo (es decir, la eficiencia del mismo). El *f.p.* es la relación que existe entre la potencia real y la potencia aparente.

f.p..= *kW/KVA*

La relación anterior tiene que ver con las pérdidas que se producen en el equipo. Es decir, la potencia total del equipo se puede expresar por la siguiente ecuación:

$$Pot_{Total} = Pot._{\mathrm{Re}\,al} \cdot Pot._{Pérdidas.}$$

Sin embargo, la suma anterior no es una suma algebraica, sino, que es una suma vectorial. La anterior ecuación se puede expresar matemáticamente por:

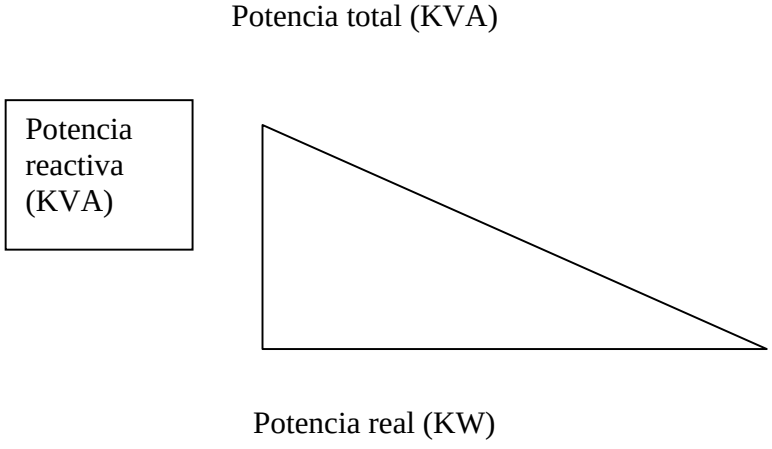
$$KVA = V(KW + KVAR)$$

Donde:

KVA. es la potencia reactiva.
KW es la potencia real (activa).
KVA es la potencia total (aparente).

La potencia reactiva, generalmente representa pérdidas y se expresa en Klovolts-amperes-reactivos.

Lo anterior se ilustra en un diagrama vectorial.



KW Continuos.- Es la potencia que el equipo puede entregar trabajando sin interrupción hasta las 24 hrs. del día.

KW de Emergencia.-. Es la potencia máxima que se puede obtener del equipo, generalmente se considera un 10% adicional a la potencia de servicio continuo.
Esta potencia no se puede obtener por mas de dos horas.

Volts.- Es el voltaje de operación de equipo. El generador utilizado generalmente es reconectable, por lo que el equipo puede trabajar a diferentes voltajes, por ejemplo: 220/127 V, 440/254V, 480/227 V, etc.

Amperes.- El amperaje dependerá de la conexión del generador. A mayor voltaje, menor corriente.

Ciclos.- El equipo trabaja a 60 ciclos por segundo.

R.P.M..-El equipo gira a 1800 revoluciones por minuto.

Fases.- El generador generalmente es trifásico a 4 hilos, es decir tres fases y el neutro.

f.p.-. Factor de potencia se considera de 0.8

Voltaje de baterías. Es el voltaje al que opera la marcha, la solenoide de combustible, el alternador del motor y el tablero de control de la planta.

Adicionalmente, se debe considerar la altura de operación del equipo, ya que la potencia de la planta disminuye con respecto a la altitud sobre la altura de diseño del equipo. Es decir, se tiene que considerar una despotenciación del mismo, la cual depende del tipo de motor a utilizar.

Las plantas eléctricas de emergencia consta de varios componentes, los principales son los siguientes:

1. Motor
2. Generador
3. Patín
4. Radiador
5. Guardas
6. Mini tablero (control de planta)
7. Interruptor a pie de generador
8. Materiales menores.

4.8 Tablero de transferencia.

El tablero de transferencia es una serie de componentes y dispositivos los cuales forman la parte fundamental para que la planta de emergencia funcione de manera automática. Los principales elementos son los siguientes:

1. Una tarjeta de estado sólido, que cumple con la función de detectar voltaje en rangos ajustables a diferentes valores para la protección de equipos contra voltajes (variables) incorrectos de operación tanto en bajo como en alto voltaje, con operación de contactos e indicación luminosa.
2. Una tarjeta de estado sólido que tiene la función de procesar 2 tiempos independientes, ajustable a diferentes valores de cero a cinco minutos para retardar la transferencia y paro del motor. Un cargador de baterías que esta diseñado para cargar baterías.
3. Una unidad básica de transferencia, formada por dos contactores o dos interruptores termo o electromagnéticos.

4. Un reloj programador a base de un control electrónico de tiempo que proporciona un programa de horario y día. El control puede utilizarse como un control de 24 horas o de 7 días, para arrancar a la planta de manera automática y programada.



4.9 Cálculo de la capacidad de una planta.

A continuación se describe de manera sencilla, la forma de como se puede determinar mediante un calculo de capacidad de la planta de emergencia requerida para cierta aplicación.

1. Para poder calcular la capacidad de un equipo, el primer paso a seguir es determinar la carga en *KW* de la instalación por alimentar. (diagrama unifilar)

2. De ser posible tener un cuadro de carga, un diagrama unifilar o la mayor información de cargas a alimenta, por ejemplo, voltajes, amperajes, frecuencias, cargas monofásicas o trifásicas, entre otros datos que puedan definir a los equipos.
3. Determinar mediante un cálculo, la planta probable para el tipo de carga.

4.10 Procedimiento para el cálculo de una planta de emergencia.

Este es un ejemplo de cálculo para determinar la capacidad de la planta eléctrica de emergencia, que se debe instalar en una empresa que tiene las siguientes características:

Se obtiene la información de todas las cargas por alimentar.

Cargas de alumbrado

El tipo de alumbrado que se tiene instalado es fluorescente, monofásicos y con un factor de potencia de 95% y se encuentra repartido en las tres fases de la siguiente forma:

Fase A: 10 *KW*.
Fase B: 14 *KW*.
Fase C: 12 KW.

Cargas de fuerza

Se tienen instalados dos motores bomba de circulación de agua, para abastecer el edificio principal así como para los procesos que se llevan acabo en los talleres.

Motor 1. 25 *HP*, 220 *V*, trifásico, 1800 *r.p.m.*, eficiencia de 88.8% y factor de potencia del 89% (se tienen dos motores)
Motor 2 15 *HP*, 220 *V*, trifásico, 1800 *r.p.m*, eficiencia del 85.1% y factor de potencia del 87 %.

Receptáculos o contactos

Se tienen varios contactos instalados y distribuidos en las tres fases, con los siguientes datos:

Fase A: 3 *KW*.
Fase B: 3 *KW*.
Fase C: 3 *KW*.

Considerar un factor de potencia del 90% para estos contactos:

Considerar la secuencia de operación de las cargas.

Todas las cargas operan al mismo tiempo.

Se obtiene un equivalente trifásico de las potencias activas y aparente.

Cargas de alumbrado

Se observa que las cargas de alumbrado están desbalanceadas, para evitar problemas posteriores se considera la carga mayor y se multiplica por tres.

Potencia activa en *KW*

$$KW = KW_{fase_mayor} \cdot 3$$
$$KW = 14 \cdot 3 = 42$$

Potencia aparente en *KVA*

$$KVA = \frac{KW}{f.p.}$$
$$KVA = \frac{42}{0.945} = 44.21$$

Cargas de fuerza

Para obtener los *KW* y los *KVA* de los motores se emplean varias formas entre ellas describimos las siguientes:

Potencia activa en *KW*

$$KW = (0.746 \cdot HP)Efec.$$

Para el motor de 25 *HP*

$$KW = (0.746 \cdot 25) \cdot 0.88$$
$$KW = 21$$

Para el motor de 15 *HP*

$$KW = (0.746 \cdot 15) \cdot 0.851$$
$$KW = 13.14$$

Potencia aparente en *KVA*

$$KVA = \frac{KW}{f.p.}$$

KVA = (21.0)(0.89) = 23.59
KVA = (13.14)(0.87) = 15.0

Contactos.

Se observa que la carga de contactos están balanceadas pero si estuvieran desbalanceadas, para obtener la carga trifásica se considera la carga mayor y se multiplica por tres.

Potencia activa en *KW*

$$KW = fasemayor \cdot 3$$
$$KW = 3 \cdot 3 = 9$$

Potencia aparente en *KVA*

$$KW = \frac{KW}{f.p.}$$
$$KW = \frac{9}{0.9} = 10$$

Se obtienen los KW y los KVA de arranque de cada carga.

Cargas de alumbrado

En el momento del arranque las lámparas demandan toda su capacidad y entiéndase por capacidad a la nominal, por lo tanto la potencia en el arranque es:

$KW_a = 42KW$
$KVA_a = 44.21KVA$

Cargas de fuerza

Los motores en el momento del arranque demandan una corriente mayor a la nominal, por lo que, la potencia en el momento del arranque es mayor a la nominal del mismo.
El valor de la potencia en el arranque depende de la letra de código y de la capacidad en *HP* que tenga el motor.

Se aplica la siguiente formula y dato del fabricante.

$KW_a = KVA \cdot I_c \cdot HP$

Motor No. 1.

25 *HP* y letra de código "G".
Calculo de los *KVA* de arranque (KVA_a) del motor.

Para un motor con letra de código *G* se tiene un valor de 5.6 a $5.6\frac{KVA}{HP}$.

Siendo el valor promedio de 5.95

$KVA_a = 5.95 \cdot 25 = 148.75$

Calculo de los KW de arranque (KVA_a) del motor.

Para obtener los KVA_a se Multiplican los *KVA* a por el factor de potencia de arranque $f.p._a$. Este $f.p._a$ varia según la capacidad del motor y su letra de código.

Para un motor de 25 *HP* se tiene un $f.p._a$ de 0.44, por lo tanto los KVA_a son:

$KW_a = KVA_a \cdot f.p._a = 148.75 \cdot 0.44 = 65.45KW$

Motor No. 2

15 *HP* y letra de código "*F*"

Calculo de los *KVA* de arranque (KVA_a) del motor.

Para un motor con letra de código *G* se tiene un valor de 5.0 a $5.6\frac{KVA}{HP}$.

Siendo el valor promedio de 5.30

$KVA_a = 5.30 \cdot 15 = 79.5$

Calculo de los KW de arranque (KVA_a) del motor.

Para obtener los KVA_a se Multiplican los KVA a por el factor de potencia de arranque $f.p._a$. Este $f.p._a$ varia según la capacidad del motor y su letra de código.

Para un motor de 15 *HP* se tiene un $f.p._a$ de 0.49, por lo tanto los KW_a son:

$KW_a = KVA_a \cdot f.p._a = 79.5 \cdot 0.49 = 38.95KW$

Selección de la planta de eléctrica de emergencia.

Con los resultados obtenidos, se realiza una suma de todas las cargas, considerando las potencias de arranque.

$KW_{totales} = 42 + 965.45 + 38.95 = 220.85KW$

Con este valor se determina la capacidad de la planta requerida.

La planta mas cercana a este valor seria una de 250 *KW* que es una planta comercial.

CARGAS	POTENCIA NOMINAL KW	POTENCIA NOMINAL KVA	POTENCIA AL ARRANQUE KW	POTENCIA AL ARRANQUE KVA
ALUMBRADO	42	44.21	42	44.21
CONTACTOS	9	10	9	10
MOTOR 1	21.19	24.05	65.45	148.75
MOTOR 1	21.19	24.05	65.45	148.75
MOTOR 2	13.14	15	38.95	79.5
TOTAL	106.52	117.31	220.85	431.21

4.11 Componentes de la planta de emergencia.

Generador. El generador esta constituido por los elementos que se muestran en los esquemas siguientes. El primero es un generador con excitación Shunt y el segundo es un generador con excitación PMG (Imán de Magneto Permanente).

Los voltaje de salida del generador y la corriente nominal máxima se especifican en la placa de datos del generador.

Sistema de admisión. Su misión es suministrar aire limpio, fresco y en cantidad suficiente para que el combustible se pueda quemar.

La admisión consiste de una tubería desde una fuente de aire fresco al múltiple de admisión en los motores aspirados naturalmente o al turbocargador en motores turbocargados. Para cualquier motor, el polvo es el peor enemigo del sistema de admisión. Este sistema es el mas vulnerable. Debido a ello se usa alguna clase de purificador de aire.

Filtros. Los filtros son purificadores de aire y son de tipo seco desechables o reemplazables.

Indicador de restricción. El indicador de restricción opera por la depresión entre el purificador del aire y el motor y su funcionamiento es aun ajuste predeterminado, mediante el cual el indicador preventivo rojo trabara y permanecerá en la posición superior que se haya detenido la operación del motor.

Turbocargador. El turbocargador en su fase de admisión es un soplador que aumenta el flujo o circulación de aire hacia los cilindros del motor, esto permite que el combustible se queme con mayor eficiencia aumentando la potencia del motor. Con el turbocargador se compensa la potencia del motor por altitud.

Postenfriador. Es el elemento que enfría el aire para que no entre muy caliente a la cámara de combustión y se produzca antes de tiempo ésta.

Lo anterior lo logra a través de unos serpentines de agua.

Múltiple de admisión y válvulas. El múltiple de admisión es el que recibe el aire y lo manda a cada uno de los cilindros para la combustión, mientras que las válvulas dejan entrar el mismo al cilindro.

Sistema de escape. El aire de escape lleva los productos de la combustión del motor a la atmósfera. Cuando el grupo esta encerrado se hace necesaria una tubería exterior.

Contrapresión. Es la presión de los gases de escape hacia el motor, es decir cuando el tubo de escape restringe el flujo de los gases

La Contrapresión usualmente es causada por uno o mas de los siguientes factores:

- ⇨ Diámetro de la tubería de escape demasiado pequeño
- ⇨ Numero excesivo de curvas agudas demasiado pequeño.
- ⇨ Tubo del escape demasiado largo entre el múltiple y el silenciador
- ⇨ Resistencia del silenciador demasiado alta.

La contrapresión en los motores se tiene que mantener dentro de los limites especificados de 3 pulgadas de mercurio (3” *Hg* o 40 Pulgadas columna de agua en motores diesel o 30 pulgadas columna de agua para motores a gas) de otra manera el motor:

- ⇨ Reduce su potencia útil
- ⇨ Se sobrecalienta el motor
- ⇨ Se tiene alto consumo de combustible
- ⇨ Se tienen presencia de humo negro

- ⇨ Desgaste prematuro

Tubos de escape. Es de vital importancia usar tubos de escape y tamaño correcto por que un pequeño aumento en el diámetro del tubo de escape puede reducir significativamente la Contrapresion. Los tubos rectos producen la menor restricción.

La flexibilidad entre componentes es necesaria para permitir el movimiento relativo y la dilatación, los cuales podrían someter a los tubos a esfuerzos excesivos.

Para permitir la dilatación térmica, se debe utilizar un mínimo de 12 pulgadas de “tubo flexible” en los primeros 4 pies de la tubería de escape (junta de expansión).

La tubería debe tener el diámetro adecuado para evitar contrapresiones.

Después de los 10 *m* el diámetro debe ser de una pulgada mayor y por cada 3 m de arriba de 10 *m* aumentar una pulgada hasta 20 m, después se implementan otros dispositivo, como tiros forzados a base de extractores.

Trampa de condensado. Se debe tener una trampa de condensado y una válvula de drenaje en las parte mas baja de la tubería. Esto se requiere porque en el proceso de combustión se produce agua y la trampa evitara que el condensado entre al motor.

Silenciadores. El sistema del escape también debe ser diseñado para obtener la emisión de ruido mínima y que a la vez sea lo mas económico posible.

El ruido procede de la liberación intermitente de los gases de escape a alta presión de los cilindros del motor, causando fuertes pulsaciones de presión de gas en el tubo de escape. Estas conducen no solamente a una descarga de ruido en la salida, sino también a la radiación del ruido del tubo de escape y la superficie de la concha del silenciador. La finalidad del sistema de escape es reducir estas pulsaciones de gas, y con la ayuda de un silenciador apropiadamente apareado, no sólo lograr una atenuación de ruido de escape eficiente, sino también algunas veces disminuir la pérdida causada por el sistema de escape.

La temperatura de los gases de escape normalmente es de aproximadamente 500°C, por lo que es importante que el tubo de escape no toque ningún material combustible.

Existe una clasificación de silenciadores de acuerdo al nivel de ruido que reducen.

- ⇨ Industrial. Reduce de 15 a 20 *db.*
- ⇨ Residencial. Reduce de 20 a 28 *.db.*
- ⇨ Critico. Reduce de 28 a 32 *db.*

Sistema de enfriamiento. La función del sistema de enfriamiento es disipar al ambiente la parte de la energía térmica que no se convierte en potencia, a pasarla directamente a la atmósfera por los gases del escape o por la radiación de la superficie del motor. Además, dependiendo del tipo de aplicación y diseño, puede requerirse también disipar el calor rechazado de la transmisión, los múltiples de escape enfriados por agua, etc.

Los detalles del sistema de enfriamiento varían ampliamente conforme a la aplicación, pero en todos los casos el sistema debe ser diseñado para mantener temperaturas del motor dentro de los limites especificados bajo las condiciones mas extremas del ambiente y de operación en que la maquina se pueda encontrar. La energía térmica liberada por la combustión del combustible en un motor diesel es distribuida aproximadamente como sigue:

Un 30% del valor calorífico del combustible consumido en un motor de pistones se recupera como potencia al eje, el 70% restante se rechaza como calor.

De este 70% se distribuye de la siguiente forma:

- ⇨ 30% al agua y aceite
- ⇨ 30% por el escape
- ⇨ 10% radiación de las superficies del motor

El agua es circulada por una bomba para agua del tipo centrifugo, montada en la parte delantera del motor e impulsada mediante bandas desde el cigüeñal.

El agua es circulada alrededor de las camisas de tipo húmedo, por toda la culata de los cilindros y alrededor de los manguitos de los inyectores. Los manguitos en los cuales están montados los inyectores, son de cobre para una disipación rápida del calor. El motor tiene uno o mas termostatos para controlar la temperatura de funcionamiento del motor. La solución enfriadora es enfriada por un radiador y ventilador o por un intercambiador de calor.

El calor que no se transforma en potencia ni se manda directamente a la atmósfera es retirado por el sistema de enfriamiento.

Aberturas y ductos. Para las unidades instaladas bajo techo, ubicar las aberturas de modo que el aire frío pase por la zona inmediata del conjunto antes de salir. Instalar la salida de aire a una altura superior a la entrada para permitir que se mueva por convección.

Las dimensiones de las aberturas y conductos deben ser lo suficientemente grandes para permitir el flujo de aire requerido. El área libre de los ductos debe ser tan grande como el área abierta del radiador.

El viento puede limitar el flujo de aire si sopla directamente hacia la abertura de salida. Posicionar la abertura de salida de modo que se eliminen los efectos del viento.

Radiador. El sistema de enfriamiento por radiador esta montado en el chasis y un ventilador tipo soplador impulsado por el motor. El aire se toma del extremo del generador del grupo electrógeno, pasa a través del motor, y luego es empujado por el radiador. Una brida adaptadora para la conexión de un conducto de aire esta montada alrededor de la rejilla del radiador para permitir la instalación de un conducto de salida de aire.

Consta de un tanque y aletas para la transferencia del calor del agua al medio ambiente mediante un ventilador

Precalentador. Los motores para plantas de emergencia van equipados con un precalentador de agua. Este precalentador de agua cumple con la función de mantener al motor a una temperatura cercana a la de operación, con la finalidad de que a la señal de arranque, el motor empiece a trabajar sin problemas. El precalentador funciona bajo el principio del termosifón para el calentamiento del agua y la circulación de la misma a través de los conductos del monoblock.

Todos los precalentadores están termostaticamente controlados para prevenir daños por sobrecalentamiento.

Si el precalentador esta con la temperatura elevada, pero el monoblock permanece frío, es señal de circulación pobre. Verificarla instalación del precalentador cuidadosamente.

El precalentador debe ser instalado en la parte baja de la maquina para permitir que el agua caliente suba y eleve la temperatura del monoblock

El precalentador debe ser montado lo mas bajo posible (2 pulgadas) como mínimo abajo del punto donde el agua caliente entra al motor.

Los tubos rectos y cortos proporcionan mejor calentamiento, así como el alineamiento adecuado de las abrazaderas con el precalentador.

La distancia entre la salida (agua caliente) del precalentador y la maquina, debe ser lo mas corta y directa como sea posible. El retorno de agua fría puede ser mayor, pero no debe tener curvas donde se formen bolsas de aire que perjudiquen la circulación.

Mantiene al motor a una temperatura de aproximadamente 60 °C (temperatura del agua)para que el motor arranque sin ningún problema.

Temostatos. Son una especie de válvulas térmicas que van abriendo y permiten la circulación del agua al radiador cuando el agua se va calentando. La circulación del agua es por efecto de termosifón.

Los termostatos ya vienen calibrados con temperaturas de 80 a 83°C o de 78 a 80°C en base a los puntos mas calientes del motor que son sus cabezales.

Ductos. Los ductos pueden ser de lona o metal, pero no se deben fijar ductos rígidos al radiador. Se debe usar una sección de caucho o de lona pesada para absorber la vibración.

CRITERIOS QUE DEBEN CONSIDERARSE PARA UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

El objetivo, primordial, es planear una instalación eléctrica; desde una instalación para una casa habitación hasta una instalación comercial o industrial; tomando en cuenta una gama de posibilidades en el diseño de la instalación, desde poner unos cuantos contactos hasta elaborar una instalación completa.

Por lo cual la instalación se clasifica de primera instancia en: pequeña, mediana y grande. Por ello se debe considerar una metodología que permita que la instalación sea confiable, económica y apoyada en normas vigentes.

Los puntos que deben considerarse son:

- ✓ **Normas y códigos de construcción**

  Independientemente de la instalación es necesario seguir códigos de construcción cuya finalidad es garantizar que la construcción en los sistemas eléctricos y mecánicos sea segura y fiable. Las dos principales para nuestro país es "***Norma Oficial Mexicana NOM-EM-001-SEMP" y la Nacional Electrical Code (NE*C**),** usada en Estados Unidos; estos son documentos escritos en lenguaje formal y hasta legal que para ser interpretados requieren de conocimientos previos.

- ✓ **Planear el sistema eléctrico**

  Se debe tomar en cuenta que cada proyecto es diferente y tiene sus requerimientos propios y únicos.

- ✓ **Plano arquitectónico**

  En esta parte del proyecto se toma en cuenta los planos de la instalación, definiendo los espacios se considerá los requerimientos dependiendo de las necesidades. Un error en esta parte producirá que se den soluciones inadecuadas, que se verán reflejadas en el costo y la funcionalidad del proyecto. Si el proyecto

arquitectónico tiene requerimientos específicos de diseño, se tendrán que considerar estos puntos.

- ✓ **Instalaciones mecánicas y de plomería**

  Debe haber una adecuada coordinación con las instalaciones de gas, aire acondicionado, drenaje, agua, elevadores si es que los hay, escaleras y de plomería, ya que se debe de considerar en la canalización y arreglos de alumbrado, alimentación de los sistemas.

- ✓ **Necesidades del usuario**

  Dependiendo del tipo de instalación el usuario tendrá requerimientos específicos en cuanto a disposición de equipo eléctrico o instalaciones especiales, como impresoras copiadoras, instalación de redes, etc.

Todos estos puntos deben ser tomados en cuenta para el diseño óptimo de nuestro proyecto y de cualquier proyecto eléctrico que se planee realizar.

El Proceso que se sigue para la implementación del proyecto es el siguiente:

El ingeniero encargado de desarrollar la parte eléctrica se reunirá con el arquitecto y discutirán los requerimientos, que como proyecto eléctrico se tendrán, y lograr salvarlos de manera oportuna, dentro del proyecto civil.

Se realizará un arreglo de equipos (lámparas, contactos, motores, subestaciones, plantas de emergencia, etc.) que cumpla con las necesidades propias del sitio a construir, logrando así un proyecto adecuado al giro que tomara el área.

Se realiza cuantificación de la potencia instalada en los diferentes sistemas (alumbrados y contactos) la cual se vera reflejada en los planos.

En el mismo bosquejo se toman en cuenta los sistemas de alarma, subestaciones, sistemas de tierras, tableros, etc.

Se debe de bosquejar el sistema eléctrico principal y los componentes, mediante un diagrama unificar.

La representación grafica debe hacerse en función de una simbología aprobada y normalizada, y plasmada en planos.

Es necesario que se diseñe un plano que represente la forma de interconexión de los equipos de alumbrado, otro para equipos de contactos; para que se ejemplifique como mostrar los componentes eléctricos.

Es importante considerar todos los detalles necesarios para simplificar el proyecto.

Por escrito se especificaran los materiales y métodos de instalación.

Tabla de intensidad admisible para conductores instalados en cañerías.

Intensidad de corriente admisible	
Sección del conductor de cobre según Norma IRAM 2183	Corriente máxima admisible.
mm^2	A
1	9.6
1.5	13
2.5	18
4	24
6	31
10	43
16	59
25	77
35	96
50	116
70	148
95	180
120	207
150	228
185	260
240	290
300	340
400	385

Se considera temperatura ambiente trabajando en operación DE 40 °C y 70 °C en el conductor.

Cuando la temperatura exceda los 40°C se debe multiplicar por el factor de correción.

Temperatura ambiente	°C	25	30	35	40	45	50	55
Factor de corrección	-	1.33	1.22	1.13	1	0.86	072	0.50

Intensidad de corriente admisible para cables con envolturaa de protección						
Sección nominal de los conductores	Colocación en aire libre para tres cables unipolares separados un diámetro o un cable multipolar,A una temperatura de 40 °C			Colocación directamente enterrada con una temperatura del terreno de 25°C con una profundidad de 70 cm		
mm^2	Unipolar	Bipolar	Tripular ó tetrapolar	Unipolar	Bipolar	Tripular o tetrapolar
	A	A	A	A	A	A
1.5	25	22	17	32	32	27
2.5	35	32	24	45	45	38
4	47	40	32	58	58	48
6	61	52	43	73	73	62
10	79	65	56	93	93	79
16	112	85	74	124	124	103
25	139	109	97	158	158	132
35	171	134	117	189	-	158
50	208	166	147	230	-	193
70	252	204	185	276	-	235
95	308	248	223	329	-	279
1120	357	289	259	373	-	316
150	410	330	294	421	-	355

185	466	376	335	474	-	396
240	551	434	391	546	-	451
300	627	489	445	612	-	504
400	747	572	545	710	-	608
500	832	-	-	803	-	-
630	944	-	-	906	-	-

Temperatura ambiente	°C	20	25	30	35	40	45	50	55
Factor de corrección	-	1.26	1.21	1.15	1.08	1.00	.92	.83	.72

Para cables que estén agrupados y dispuestos en un plano horizontal.

Distancia entre cables	Factor de corrección		
	3 Cables multipolares	6 cables	
		Unipolares	Multipolares
Igual diámetro	0.95	0.95	0.90
En contacto	0.80	0.80	0.75

Para cables enterrados en el piso

Temperatura ambiente	°C	5	10	15	20	25	30	35
Factor de corrección	-	1.18	1.14	1.10	1.05	1.00	.95	.91

Para terrenos que presentan una resistividad diferente a $100\frac{°C \cdot cm}{W}$

Tipo de terreno	Resistividad $\frac{°C \cdot cm}{W}$	Factor de corrección
Arena Seca	300	0.65
Terreno normal seco	100	1.00
Terreno húmedo	70	1.17
Terreno o arena mojados	50	130

Para conductores preensamblados en líneas aéreas

Corrientes admisibles para cables instalados en líneas aéreas para baja tensión				
Sección nominal de los conductores en mm^2	Cables expuestos al sol A		Cables no expuestos al sol A	
4	38	32	46	38
6	45	38	55	45
10	65	50	75	60
16	80	66	97	79

Temperatura ambiente	°C	20	25	30	35	40	45	50	55
Factor de corrección	-	1.26	1.21	1.15	1.08	1.00	.92	.83	.72

Tablas de características de las lámparas

Lámpara	Gama de potencias (W)	Duración (h)	Eficacia $\left(\frac{lm}{W}\right)$	Temperatura de color (K)	Índice de rendimiento de color (IRC)
Incandescente	25-100	1000	10-14	2700	100
Halógena (12V)	10-100	2000	12-22	3000	100
Fluorescente Trifósforo	18-58	12000	72-93	2600-7000	85
Fluorescente compacta electrónica	7-25	8000	57-65	2700	85
Mercurio	50-400	12000	36-60	3200-4000	49-55
Halógenas metálicas	35-400	6000	69-80	3000-5500	60-90

Tabla de utilización de diferentes lámparas

Aplicaciones	Lampas incandescentes				
	Estándar clara	Opalizada	Reflectoras	Halógenas a 220 V	Halógenas a baja tensión
Vivienda : Interior Exterior	 40-150 100-200	 40-150	 25-100 100-300	 75-500	 20-100
Oficinas Escuelas Bancos Iglesias	100-300		25-300	 150-300 300-1000	
Restaurantes Hospitales Hoteles Bibliotecas Museos Galerías arte	40-150	40-150	40-150 40-60 40-100 40-100 40-300	75-300 75-300 75-300 75-300 75-300	50-100 20-100 50-100 20-100
Comercio: Interior Vitrinas Exterior			 100-300 60-150 100-300	 75-500 300-1500	 50-100 20-100
Industrias: h<7.5m h>7.5m	 200-500 200-1000				
Monumentos: Jardines públicos Fuentes Estaciones de	 300-1000 200-500		 100-300 100-300 100-300	 300-2000 300-1000 300-500	 50-300

servicio					
Deportes : Interior Exterior			300	300-1000 500-2000	50-300
Calles carreteras, túnelas Espacios personales subterráneos Exteriores Grandes espacios	150-300 75-150		150-300	300-1000 300-1000	

Lámpara	**Gama de potencias (W)**	**Duración[1] (h)**	**Eficacia[2] (lm/W)**	**Temperatura Color (K)**	**Índice de rendimiento Color (IRC)**
Sodio alta presión	50-400	12.000	60-140 (48-125)	2.000-2.200	20-65
Sodio baja presión	18-180	6.000	100-183 (72-150)	-	-

DATOS DE LÁMPARAS

LÁMPARAS INCANDESCENTES

Lámparas estándar de alumbrado general (220/230 V)

Potencia (W)	**Flujo[2] (lm)**	**Eficacia (lm/W)**	**Casquillo**	**Diámetro[1]**
25	250	10	E27	60
40	430	11	B22-E27	60
60	730	12	B22-E27	60
75	960	13	B22-E27	60
100	1.380	14	B22-E27	60
150	2.200	15	B22-E27	60
200	2.950	15	B22-E27	65
300	4.750	16	B22-E40	80
500	8.400	17	B27-E40	88
750	13.400	18	E40	110
1.000	18.800	19	E40	130
1.500	30.000	20	E40	170
2.000	40.000	20	E40	200

[1]Pueden variar en cierta medida según fabricantes

[2]Para una vida media de 1.000 h

Lámparas reflectoras de vidrio soplado[1] (220/230 V)

Potencia (W)	Ángulo radiación (°)	Intensidad (cd)	Casquillo	Diámetro (mm)
25	35	200	E14	50
40	35	400	E14	50
40	30	550	E27	60

1 La gama de potencias para cada ángulo de radiación y diámetro de la ampolla es muy amplia, por lo que únicamente se ponen algunos ejemplos.

2 Datos para una vida media de 1.000

Potencia (W)	Ángulo radiación (°)	Intensidad (cd)	Casquillo	Diámetro (mm)
40	80	125	E27	80
60	30	1.000	E27	60
60	25	200	E27	80
75	80	300	E27	85
75	20	1.000	E27	95
100	80	420	E27	95
100	20	1.400	E27	80
150	20	2.000	E27	95
300	30	5.000	E27	125

Lámparas reflectoras de vidrio prensado (PAR) (220/230 V)

Potencia (W)	Ángulo radiación (°)	Intensidad (cd)	Casquillo	Diámetro (mm)
60	12	4.000	E27	122
60	30	1.200	E27	122
80	12	5.400	E27	122
80	30	1.600	E27	122
120	12	9.500	E27	122
120	30	3.200	E27	122
300	15	40.000	Patillas	179
300	30	8.700	Patillas	179

*Existe también una gran variedad en cuanto a los haces de proyección. Vida media:2.000h

Lámparas halógenas de simple envoltura (220/230 V)

Potencia (W)	Flujo[1] (lm)	Casquillo	Longitud (mm)	Funcionamiento[2]
100	1.650	R7S	78.3	U
150	2.500	R7S	78.3	U
200	3.200	R7S	117.6	U
250	4.100	R7S	78.3	U
300	5.100	R7S	117.6	U
500	9.500	R7S	117.6	U
1.000	22.000	R7S	189.1	H
1.500	33.000	R7S	254.1	H
2.000	44.000	R7S	334.4	H

[1] Para una vida media de 2.000 h.

[2] U:Universal-cualquier posición H:Horizontal $\pm$ 4°

Lámparas halógenas de doble envoltura (220/230 V)

Potencia (W)	Flujo [1] (lm)	Casquillo	Diámetro [1] (mm)	Longitud [2] (mm)
75	1.100	E27-B22	32	105
100	1.600	E27-B22	32	105
150	2.550	E27	32	105
250	4.500	E27	32	105
500	11.000	E27-E40	38	220
1.000	24.000	E-40	38	260
2.000	50.000	E-40	38	300

1 Para una vida media de 2.000 h.

[2] Las dimensiones pueden variar según fabricantes

Lámparas halógenas de baja tensión sin reflector [1] (12 V)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
10	140	G4	9	31
20	350	G4	9	31
35	650	GY6,35	12	44
50	950	GY6,35	12	44
75	1.450	GY6,35	12	44
100	2.500	GY6,35	12	44

[1] Se también para tensiones de 6 y 24 V, ampliándose en tal caso las gamas de potencia.

[2] Para una vida media de 2.000 h.

Lámparas halógenas de baja tensión con reflector [1] (12 V)

Potencia (W)	Ángulo radiación (°)	Intensidad (cd)	Casquillo [2]	Diámetro (mm)	Longitud [3] (mm)
10	10	2.000	GY4	48	36
10	15	600	GY4	48	36
20	10	5.000	GY4	48	36
20	15	2.000	GY4	48	36
35	10	7.000	GY4	48	36
35	15	3.500	GY4	48	36
20	10	7.000	B15d	50	47
20	30	1.000	B15d	50	47
50	10	15.000	B15d	50	47
50	30	2.000	B15d	50	47

[1] Se fabrican también para 6 y 24 V, y con una gran variedad de ángulos de radiación

[2] Las de casquillo Gx5,3 son con reflector dicróico y cerradas.

[3] Las dimensiones varían de unos fabricantes a otros

[*] Datos para una vida media de 2.000 h.

Potencia (W)	Ángulo radiación (°)	Intensidad (cd)	Casquillo[2]	Diámetro (mm)	Longitud[3] (mm)
75	10	19.000	B15d	50	47
75	30	4.000	B15d	50	47
20	12	4.000	Gx5,3	51	47
50	12	11.000	Gx5,3	51	47
75	14	14.500	Gx5,3	51	47

LÁMPARAS FLUORESCENTES TUBULARES

Tubos convencionales de 26 mm Ø (220/230 V)

Potencia[1] (W)	Apariencia color[2] (K)	Flujo (lm)	I.R.C. [1]	Longitud (mm)
18	5.400	1.050	75	590
18	4.000	1.150	62	590
18	4.000	1.050	75	590
18	3.000	1.150	50	590
36	5.400	2.500	75	1.200
36	4.000	3.000	62	1.200
36	4.000	2.500	75	1.200
36	3.000	3.000	59	1.200
58	5.400	4.000	75	1.500
58	4.000	4.800	62	1.500
58	4.000	4.000	75	1.500
58	3.000	4.800	50	1.500

1 Algunos fabricantes llegan a potencias más bajas:10,15 y 16 W.

2 Existen apariencias e I.R.C. ligeramente distintos según fabricantes.

Tubos trifósforo de 26mm Ø (220/230 V)

Potencia (W)	Apariencia color [1] (K)	Flujo (lm)	I.R.C.	Longitud (mm)
18	6.000	1.300	85	590
18	4.000	1.450	85	590
18	3.000	1.450	85	590
18	2.700	1.450	85	590
36	6.000	3.250	85	1.200

36	4.000	3.450	85	1.200
36	3.000	3.450	85	1.200
36	2.700	3.450	85	1.200
58	6.000	5.200	85	1.500
58	4.000	5.400	85	1.500
58	3.000	5.400	85	1.500
58	2.700	5.400	85	1.500

1 Existen apariencias e I.R.C. ligeramente distintos según fabricantes.

Tubos fluorescentes de alto rendimiento de color de 26 mm Ø (220/230 V)

Potencia (W)	**Apariencia color [1] (K)**	**Flujo (lm)**	**I.R.C.**	**Longitud (mm)**
18	5.400	1.000	98	590
18	3.800	1.000	96	590
18	3.000	1.000	95	590
36	5.400	2.350	98	1.200
36	3.800	2.350	96	1.200
36	3.000	2.350	95	1.200
58	5.400	3.750	98	1.500
58	3.800	3.750	96	1.500
58	3.000	3.750	95	1.500

1 Existen apariencias e I.R.C. ligeramente distintos según fabricantes

Tubos fluorescentes para alta frecuencia de 26 mm Ø (220/230 V)

Potencia[1] (W)	Apariencia color (K)	Flujo (lm)	I.R.C.	Longitud (mm)
16	3.000	1.400	85	590
16	4.000	1.400	85	590
32	3.000	3.200	85	1.200
32	4.000	3.200	85	1.200
50	3.000	5.200	85	1.500
50	4.000	5.200	85	1.500

1 Algunos fabricantes utilizan los tubos trifósforo de 18, 36 y 58 W

Lámparas miniatura de 15, 16 mm Ø (220/230 V)

Potencia (W)	Apariencia color [1] (K)	Flujo (lm)	I.R.C.	Longitud (mm)
6	2.700	280	85	212
6	4.000	240	75	212
8	2.700	410	85	288
8	4.000	330	75	288
13	2.700	930	85	517
13	4.000	700	75	517

1 Existen apariencias e I.R.C. distintos según fabricantes

Tubos fluorescentes de alta emisión (220/230 V)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
110	9.000	R17d	38	2.385
115	6.900	R17d	38	1.166
160	11.200	R17d	38	1.766
215	15.000	R17d	38	2.385

* Existen para apariencias intermedias y frías

LÁMPARAS FLOURESCENTES COMPACTAS

Lámparas compactas con balasto y cebador incorporado

A) *Convencionales* (ampolla cilíndrica)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
9	450	E27	74	151
13	650	E27	74	161
18	900	E27-B22	74	171
25	1.200	E27-B22	74	181

B) Globos convencionales

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
9	400	E27	103	156
13	600	E27	113	167
18	800	E27	121	175

C) *Electrónicas* (ampolla cilíndrica)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro [1] (mm)	Longitud (mm)
7	400	E27-B22	38	161
11	600	E27-B22	38	161
15	900	E27-B22	38	195
20	1.200	E27-B22	38	210

[1] Existen versiones de fabricantes con 2, 3 o 4 tubos que hacen variar las dimensiones

D) Globos electrónicos

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
7	350	E27-B22	100	168
11	450	E27-B22	120	188
15	700	E27-B22	120	188
20	1.000	E27-B22	120	188

Lámparas miniaturizadas para balastros convencionales independientes **(con cebador incorporado)**

Potencia (W)	**Flujo (lm)**	**Casquillo**	**Longitud (mm)**
5	250	G23	108
7	400	G23	138
9	600	G23	168
11	900	G23	238
10	600	G24 d-1	118
13	900	G24 d-1	153
18	1.200	G24 d-2	173
26	1.800	G24 d-3	193

* Los cuatro primeros modelos corresponden a la ejecución de dos tubos y los cuatro segundos a tres o cuatro tubos.

Existen versiones para funcionamiento a alta frecuencia admitiendo la regulación de flujo para todos los modelos, con idénticas características a las indicadas.

Lámparas miniaturizadas para sustitución de tubos fluorescentes convencionales
(no incorporan ni balastro, ni cebador)

Potencia (W)	**Flujo (lm)**	**I.R.C.**	**Casquillo**	**Longitud (mm)**
18	1.200	85	2G11	225
18	750	95	2G11	225
24	1.800	85	2G11	320
24	1.200	95	2G11	320
36	2.900	85	2G11	415
36	1.900	95	2G11	415

* Existen apariencias de colores cálidos, intermedios y fríos. Existen balastos convencionales y electrónicos para la alimentación de este tipo de lámparas.

LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

A) *Ampolla ovoide* (IRC – 40/45)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Anchura (mm)	Longitud (mm)
50	1.800	E27	56	129
80	3.700	E27	72	156
125	6.300	E27	77	177
250	13.500	E40	92	227
400	23.000	E40	122	292
700	42.000	E40	142	329
1.000	60.000	E40	168	400

B) Reflector interno

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Anchura (mm)	Longitud (mm)
125	5.700	E27	127	190
250	2.000	E40	168	260
400	20.000	E40	184	300
700	36.000	E40	204	328
1.000	54.000	E40	224	280

C) *Ampolla ovoide* (IRC – 55/60)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo
50	2.000	E27
80	4.000	E27
125	6.500	E27
250	14.000	E40
400	24.000	E40

* Dimensiones iguales al caso (A)

LÁMPARAS DE LUZ MEZCLA (220/230 V)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Anchura (mm)	Longitud (mm)
100	1.100	E27	72	156
160	3.000	E27	77	177
250	5.700	E40	92	227
500	13.000	E40	122	292

LÁMPARAS DE ADITIVOS METÁLICOS

A) Compactas

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Anchura (mm)	Longitud (mm)
35	2.400	G12	25	84
70	5.200	G12	25	84
150	12.000	G12	25	84
75	5.500	E27	54	141
100	8.500	E27	54	141
150	13.000	E27	54	141

B) Con conexión bilateral

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Anchura (mm)	Longitud (mm)
70	5.500	R7S	20	118
150	11.250	R7S	23	138
250	20.000	FC2	25	163
400	25.000	FC2	31	206
1.000	90.000	FC2	36	260

C) Ampolla exterior de vidrio–tubular clara

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
250	19.000	E40	46	225
400	33.000	E40	46	285
1.000	80.000	E40	76	340
2.000	170.000	E40	100	430
3.500	300.000	E40	100	430

*Variaciones de los valores en todos los tipos según fabricantes

LÁMPARAS DE SODIO BAJA PRESIÓN

A) Balasto auto transformador

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
18	1.800	B22	52	216
35	4.800	B22	52	310
55	8.000	B22	52	425
90	13.500	B22	68	528
135	22.500	B22	68	775
180	32.000	B22	68	1.120

B) Eficientes

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
18	1.800	B22	52	216
26	3.500	B22	52	310
36	5.700	B22	52	425
66	10.700	B22	68	528
91	17.500	B22	68	775
131	26.000	B22	68	1.120

LÁMPARAS DE SODIO ALTA PRESIÓN

A) *Ampolla ovoide* (IRC 25)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
35	2.100	E27	72	158
50	3.300	E27	71	156
70	5.800	E27	71	156
100	9.500	E27-E40	76	186
150	13.500	E40	92	227
250	25.000	E40	92	227
400	47.000	E40	122	292
1.000	120.000	E40	168	400

* Las de 50 y 70 W con arrancador interno incorporado.

B) *Ampolla tubular clara* (IRC 25)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
35	2.100	E27	38	156
50	3.500	E27	38.5	155
70	6.000	E27	38.5	155
100	10.000	E40	47	211
150	16.000	E40	47	211
250	27.000	E40	47	257
400	48.000	E40	47	283
1.000	130.000	E40	66	390

C) *Con rendimiento de color mejorado* (IRC 65)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
150	12.700	E40	47	211
250	23.000	E40	47	257
400	40.000	E40	47	283

* Datos para ampolla tubular clara. Existen de la misma potencia para ampolla ovoide.

D) Con conexión bilateral

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
250	25.500	FC2	23	206
400	48.000	FC2	23	206

E) Funcionamiento sin arrancador

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
110	8.000	E27	75	175
210	18.000	E40	90	226
350	34.000	E40	120	290

* Para sustitución directa de las de mercurio alta presión.

F) *Para iluminación comercial* (IRC 80)

Potencia (W)	Flujo (lm)	Casquillo	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
35	1.300	PG12	31	145
50	2.300	PG12	31	145
100	4.800	PG12	31	145

En la siguiente tabla se muestran las ampacidades permisibles de conductores aislados con una capacidad de 0-2000V de 60°-90°C

No más de ters conductores al ducto o cable a tierra (directamente enterrado), con base en la temperatura ambiental de 30 °C (86 °F).

Calibre	Capacidad de temperatura del conductor. Véase la Tabla 310-13								Calibre
	60 °C (140 °F)	75 °C (167 °F)	85 °C (185 °F)	90 °C (194 °F)	60 °C (140 °F)	75 °C (167 °F)	85 °C (185 °F)	90 °C (194 °F)	
AWG MCM	Tipos †RUW, †T, †TW, †UF	Tipos †FEPW, †RH, †RHW, †RUH, †THW, †THWN, †XHHW, †USE, †ZW	Tipos V, MI	Tipos TA, TBS, SA, AVB, SIS, †FEP, †FEPB, †RHH †THHN, †XHHW*	Tipos †RUW, †T, †TW †UF	Tipos †RH, †RHW, †RUH, †THW, †THWN, †XHHW, †USE	Tipos V, MI	Tipos TA, TBS, SA, AVB, SIS, †RHH, †THHN, †XHHW*	AWG MCM
	Cobre				Aluminio o aluminio revestido de cobre				
18	....	....	....	14	....	....	....	....	....
16	....	....	18	18	....	....	....	....	....
14	20†	20†	25	25†	....	....	....	....	....
12	25†	25†	30	30†	20†	20†	25	25†	12
10	30†	35†	40	40†	25†	30†	30	35†	10
8	40	50	55	55	30	40	40	45	8
6	55	65	70	75	40	50	55	60	6
4	70	85	95	95	55	65	75	75	4
3	85	100	110	110	65	75	85	85	3
2	95	115	125	130	75	90	100	100	2
1	110	130	145	150	85	100	110	115	1
0	125	150	165	170	100	120	130	135	0
00	145	175	190	195	115	135	145	150	00
000	165	200	215	225	130	155	170	175	000
0000	195	230	250	260	150	180	195	205	0000
250	215	255	275	290	170	205	220	230	250
300	240	285	310	320	190	230	250	255	300
350	260	310	340	350	210	250	270	280	350
400	280	335	365	380	225	270	295	305	400
500	320	380	415	430	260	310	335	350	500
600	355	420	460	475	285	340	370	385	600
700	385	460	500	520	310	375	405	420	700
750	400	475	515	535	320	385	420	435	750
800	410	490	535	555	330	395	430	450	800
900	435	520	565	585	355	425	465	480	900
1000	455	545	590	615	375	445	485	500	1000
1250	495	590	640	665	405	485	525	545	1250
1500	520	625	680	705	435	520	565	585	1500
1750	545	650	705	735	455	545	595	615	1750
2000	560	665	725	750	470	560	610	630	2000

FACTORES DE CORRECCION

Temp. ambiental en °C	Para temperaturas ambientales arriba de 30 °C, multiplique las ampacidades que se muestran arriba por el factor de corrección adecuado para determinar la corriente de carga máxima permisible.								Temp. ambiental en °F
31-40	.82	.88	.90	.91	.82	.88	.90	.91	86-104
41-45	.71	.82	.85	.87	.71	.82	.85	.87	105-113
46-50	.58	.75	.80	.82	.58	.75	.80	.82	114-122
51-60	....	.58	.67	.71	....	.58	.67	.71	123-141
61-70	....	.35	.52	.58	....	.35	.52	.58	142-158
71-80	....	....	.30	.41	....	....	.30	.41	159-176

Ampacidades permisibles de conductores aislados con una capacidad de 0-2000 V de 60°C-90°C

Conductores sencillos al aire libre, con base en una temperatura ambiental de 30 °C (86 °F)

Calibre	Capacidad de temperatura del conductor. Véase la Tabla 310-13								Calibre
	60 °C (140 °F)	75 °C (167 °F)	85 °C (185 °F)	90 °C (194 °F)	60 °C (140 °F)	75 °C (167 °F)	85 °C (185 °F)	90 °C (194 °F)	
AWG MCM	Tipos †RUW, ††, †TW	Tipos †FEPW, †RH, †HHW, †RUH, †THW, †THWN, †XHHW, †ZW	Tipos V, MI	Tipos TA, TBS, SA, AVR, SIS, †FEP, †FEPB, †RHH, †THHN, †XHHW*	Tipos †RUW, †T, †TW	Tipos †RH, †RHW, †RUH, †THW, †THWN, †XHHW	Tipos V, MI	Tipos TA, TBS, SA, AVB, SIS, †RHH, †THHN, †XHHW*	AWG MCM
	Cobre				Aluminio o aluminio revestido de cobre				
18	....	....	....	18	....	....	....	....	....
16	....	....	23	24	....	....	....	....	....
14	25†	30†	30	35†	....	....	....	....	....
12	30†	35†	40	40†	25†	30†	30	35†	12
10	40†	50†	55	55†	35†	40†	40	40†	10
8	60	70	75	80	45	55	60	60	8
6	80	95	100	105	60	75	80	80	6
4	105	125	135	140	80	100	105	110	4
3	120	145	160	165	95	115	125	130	3
2	140	170	185	190	110	135	145	150	2
1	165	195	215	220	130	155	165	175	1
0	195	230	250	260	150	180	195	205	0
00	225	265	290	300	175	210	225	235	00
000	260	310	335	350	200	240	265	275	000
0000	300	360	390	405	235	280	305	315	0000
250	340	405	440	455	265	315	345	355	250
300	375	445	485	505	290	350	380	395	300
350	420	505	550	570	330	395	430	445	350
400	455	545	595	615	355	425	465	480	400
500	515	620	675	700	405	485	525	545	500
600	575	690	750	780	455	540	595	615	600
700	630	755	825	855	500	595	650	675	700
750	655	785	855	885	515	620	675	700	750
800	680	815	885	920	535	645	700	725	800
900	730	870	950	985	580	700	760	785	900
1000	780	935	1020	1055	625	750	815	845	1000
1250	890	1065	1160	1200	710	855	930	960	1250
1500	980	1175	1275	1325	795	950	1035	1075	1500
1750	1070	1280	1395	1445	875	1050	1145	1185	1750
2000	1155	1385	1505	1560	960	1150	1250	1335	2000

FACTORES DE CORRECCION

Temp. ambiental en °C	Para temperaturas ambientales arriba de 30 °C, multiplique las ampacidades que se muestran arriba por el factor de corrección adecuado para determinar la corriente de carga máxima permisible.								Temp. ambiental en °F
31-40	.71	.82	.85	.91	.71	.82	.85	.87	86-104
41-45	.71	.82	.85	.87	.71	.82	.85	.87	105-113
46-50	.58	.75	.80	.82	.58	.75	.80	.82	114-122
51-60	....	.58	.67	.71	....	.58	.67	.71	123-141
61-70	....	.35	.52	.58	....	.35	.52	.58	142-158
71-80	....	....	.30	.41	....	....	.30	.41	159-176

Calibre	Capacidad de temperatura del conductor. Véase la Tabla 310-13								Calibre
	110 °C (230 °F)	125 °C (257 °F)	150 °C (302 °F)	200 °C (392 °F)	250 °C (482 °F)	110 °C (230 °F)	125 °C (257 °F)	200 °C (392 °F)	
AWG MCM	Tipos AVA, AVL	Tipos AI, AIA	Tipos Z	Tipos A, AA, FEP, FEPB, PFA	Tipos PFAH, TFE	Tipos AVA, AVL	Tipos AI, AIA	Tipos A, AA	AWG MCM
	Cobre				Níquel o cobre revestido de níquel	Aluminio o aluminio revestido de cobre			
14	30	30	30	30	40	....	....	....	....
12	35	40	40	40	55	25	30	30	12
10	45	50	50	55	75	35	40	45	10
8	60	65	65	70	95	45	50	55	8
6	80	85	90	95	120	60	65	75	6
4	105	115	115	120	145	80	90	95	4
3	120	130	135	145	170	95	100	115	3
2	135	145	150	165	195	105	115	130	2
1	160	170	180	190	220	125	135	150	1
0	190	200	210	225	250	150	160	180	0
00	215	230	240	250	280	170	180	200	00
000	245	265	275	285	315	195	210	225	000
0000	275	310	325	340	370	215	245	270	0000
250	315	335	....	....	....	250	270	....	250
300	345	380	....	....	....	275	305	....	300
350	390	420	....	....	....	310	335	....	350
400	420	450	....	....	....	335	360	....	400
500	470	500	....	....	....	380	405	....	500
600	525	545	....	....	....	425	440	....	600
700	560	600	....	....	....	455	485	....	700
750	580	620	....	....	....	470	500	....	750
800	600	640	....	....	....	485	520	....	800
1000	680	730	....	....	....	560	600	....	1000
1500	785	....	....	....	....	650	....	....	1500
2000	840	....	....	....	....	705	....	....	2000

FACTORES DE CORRECCION

Temp. ambiental en °C	Para temperaturas ambientales arriba de 30 °C, multiplique las ampacidades que se muestran arriba por el factor de corrección adecuado para determinar la corriente de carga máxima permisible.								Temp. ambiental. en °F
31-40	.94	.95	.96	....	....	.94	.95	....	87-104
41-45	.90	.92	.94	....	....	.90	.92	....	105-113
46-50	.87	.89	.91	....	....	.87	.89	....	114-122
51-55	.83	.86	.89	....	....	.83	.86	....	123-131
56-60	.79	.83	.87	.91	.95	.79	.83	.91	132-141
61-70	.71	.76	.82	.87	.91	.71	.76	.87	142-158
71-75	.66	.72	.79	.86	.89	.66	.72	.86	159-167
76-80	.61	.68	.76	.84	.87	.61	.69	.84	168-176
81-90	.50	.61	.71	.80	.83	.50	.61	.80	177-194
91-100	....	.51	.65	.77	.80	....	.51	.77	195-212
101-120	....	....	.50	.69	.72	....	....	.69	213-248
121-140	....	....	.29	.59	.59	....	....	.59	249-284
141-160	....	....	....	....	.54	....	....	....	285-320
161-180	....	....	....	....	.50	....	....	....	321-356
181-200	....	....	....	....	.43	....	....	....	357-392
201-225	....	....	....	....	.30	....	....	....	393-437

Ampacidades permisibles para conductores aislados con una capacidad de 0-2000V de 110°C-250°C con no más de tres conductores en ducto o cable basados en una temperatura ambiental de 30°C.

Ampacidades permisibles para conductores aislados con una capacidad de 0-2000V de 110°C-250°C , para conductores desnudos y cubiertos.

Conductores sencillos al aire libre, con base en una temperatura ambiental de 30 °C (86 °F).

Calibre AWG MCM	Capacidad de temperatura del conductor. Véase la Tabla 310-13										Calibre AWG MCM
	110 °C (230 °F)	125 °C (257 °F)	150 °C (302 °F)	200 °C (392 °F)	Bare and covered conductors	250 °C (482 °F)	110 °C (230 °F)	125 °C (257 °F)	200 °C (392 °F)	Bare and covered conductors	
	Tipos: AVA, AVL	Tipos AI, AIA	Tipos Z	Tipos A, AA, FEP, FEPB, PFA		Tipos PFAH, TFE	Tipos AVA, AVL	Tipos AI, AIA	Tipos A, AA		
	Cobre					Níquel o cobre revestido de níquel	Aluminio o aluminio revestido de cobre				
14	40	40	40	45	30	60	....	....	....	....	....
12	50	50	50	55	40	80	40	40	45	30	12
10	65	70	70	75	55	110	50	55	60	45	10
8	85	90	95	100	70	145	65	70	80	55	8
6	120	125	130	135	100	210	95	100	105	80	6
4	160	170	175	180	130	285	125	135	140	100	4
3	180	195	200	210	150	335	140	150	165	115	3
2	210	225	230	240	175	390	165	175	185	135	2
1	245	265	270	280	205	450	190	205	220	160	1
0	285	305	310	325	235	545	220	240	255	185	0
00	330	355	360	370	275	605	255	275	290	215	00
000	385	410	415	430	320	725	300	320	335	250	000
0000	445	475	490	510	370	850	345	370	400	290	0000
250	495	530	....	....	410	....	385	415	....	320	250
300	555	590	....	....	460	....	435	460	....	360	300
350	610	655	....	....	510	....	475	510	....	400	350
400	665	710	....	....	555	....	520	555	....	435	400
500	765	815	....	....	630	....	595	635	....	490	500
600	855	910	....	....	710	....	675	720	....	560	600
700	940	1005	....	....	780	....	745	795	....	615	700
750	980	1045	....	....	810	....	775	825	....	640	750
800	1020	1085	....	....	845	....	805	855	....	670	800
900	....	....	....	....	905	....	....	....	....	725	900
1000	1165	1240	....	....	965	....	930	990	....	770	1000
1500	1450	....	....	....	1215	....	1175	....	....	985	1500
2000	1715	....	....	....	1405	....	1425	....	....	1165	2000

FACTORES DE CORRECCION

Tem. ambiental en °C	Para temperaturas ambientales arriba de 30 °C, multiplique las ampacidades que se muestran arriba por el factor de corrección adecuado para determinar la corriente de carga máxima permisible.									Temp. ambiental en °F
31-40	.94	.95	.96	....		....	.94	.95	....	87-104
41-45	.90	.92	.94	....		....	.90	.92	....	105-113
46-50	.87	.89	.91	....		....	.87	.89	....	114-122
51-55	.83	.86	.89	....		....	.83	.86	....	123-131
56-60	.79	.83	.87	.91		.95	.79	.83	.91	132-141
61-70	.71	.76	.82	.87		.91	.71	.76	.87	142-158
71-75	.66	.72	.79	.86		.89	.66	.72	.86	159-167
76-80	.61	.68	.76	.84		.87	.61	.69	.84	168-176
81-90	.50	.61	.71	.80		.83	.50	.61	.80	177-194
91-100	....	.51	.65	.77		.80	....	.51	.77	195-212
101-120	....	....	.50	.69		.72	....	....	.69	213-248
121-140	....	....	.29	.59		.59	....	....	.59	249-284
141-160	....	....	....	....		.54	....	....	....	285-320
161-180	....	....	....	....		.50	....	....	....	321-356
181-200	....	....	....	....		.43	....	....	....	357-392
201-225	....	....	....	....		.30	....	....	....	393-437

Corriente máxima de carga para motores de tres fases de CA.

Caballos de fuerza	De tipo de inducción, de rotor devanado y de jaula de ardilla, en amperes					De tipo sincrónico, factor de potencia de unidad, en amperes			
	115 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts
½	4	2	1	.8					
¾	5.6	2.8	1.4	1.1					
1	7.2	3.6	1.8	1.4					
1½	10.4	5.2	2.6	2.1					
2	13.6	6.8	3.4	2.7					
3		9.6	4.8	3.9					
5		15.2	7.6	6.1					
7½		22	11	9					
10		28	14	11					
15		42	21	17					
20		54	27	22					
25		68	34	27		53	26	21	
30		80	40	32		63	32	26	
40		104	52	41		83	41	33	
50		130	65	52		104	52	42	
60		154	77	62	16	123	61	49	12
75		192	96	77	20	155	78	62	15
100		248	124	99	26	202	101	81	20
125		312	156	125	31	253	126	101	25
150		360	180	144	37	302	151	121	30
200		480	240	192	49	400	201	161	40

Tabla de conversiones de corriente de rotor trabado para la selección de medios de desconexión y controladotes como se determinan las capacidades de voltaje y caballos de fuerza.

Para uso sólo con las Secs. 430-110, 440-12 y 440-41

Corriente de rotor trabado de motor en amperes*							
De fase única		De dos o tres fases					Cap. máxima en caballos de fuerza (hp)
115V	230V	115V	200V	230V	460V	575V	
58.8	29.4	24	18.8	12	6	4.8	½
82.8	41.4	33.6	19.3	16.8	8.4	6.6	¾
96	48	43.2	24.8	21.6	10.8	8.4	1
120	60	62	35.9	31.2	15.6	12.6	1½
144	72	81	46.9	40.8	20.4	16.2	2
204	102		66	58	26.8	23.4	3
336	168		105	91	45.6	36.6	5
480	240		152	132	66	54	7½
600	300		193	168	84	66	10
			290	252	126	102	15
			373	324	162	132	20
			469	408	204	162	25
			552	480	240	192	30
			718	624	312	246	40
			897	780	390	312	50
			1063	924	462	372	60
			1325	1152	576	462	75
			1711	1488	744	594	100
			2153	1872	936	750	125
			2484	2160	1080	864	150
			3312	2880	1440	1152	200

Número máximo de conductores en calibres comerciales de ducto o de tubería.

Calibre comercial de ducto (en plg)		½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	6
Letras del tipo	Calibre del conductor en AWG, MCM													
TW, T, RUH, RUW XHHW (14 hasta 8)	14	9	15	25	44	60	99	142						
	12	7	12	19	35	47	78	111	171					
	10	5	9	15	26	36	60	85	131	176				
	8	2	4	7	12	17	28	40	62	84	108			
RHW y RHH (sin forro exterior), THW	14	6	10	16	29	40	65	93	142	192				
	12	4	8	13	24	32	53	76	117	157				
	10	4	6	11	19	26	43	61	95	127	163			
	8	1	3	5	10	13	22	32	49	66	85	106	133	
TW, T, THW, RUH (6 hasta 2), RUW (6 hasta 2),	6	1	2	4	7	10	16	23	36	48	62	78	97	141
	4	1	1	3	5	7	12	17	27	36	47	58	73	106
	3	1	1	2	4	6	10	15	23	31	40	50	63	91
	2	1	1	2	4	5	9	13	20	27	34	43	54	78
	1		1	1	3	4	6	9	14	19	25	31	39	57
FEPB (6 hasta 2), RHW y RHH (sin forro exterior)	0		1	1	2	3	5	8	12	16	21	27	33	49
	00		1	1	1	3	5	7	10	14	18	23	29	41
	000		1	1	1	2	4	6	9	12	15	19	24	35
	0000			1	1	1	3	5	7	10	13	16	20	29
	250			1	1	1	2	4	6	8	10	13	16	23
	300			1	1	1	2	3	5	7	9	11	14	20
	350				1	1	1	3	4	6	8	10	12	18
	400				1	1	1	2	4	5	7	9	11	16
	500				1	1	1	1	3	4	6	7	9	14
	600					1	1	1	3	4	5	6	7	11
	700					1	1	1	2	3	4	5	7	10
	750					1	1	1	2	3	4	5	6	9

* Reproducido con permiso del Código Eléctrico Nacional, edición de 1981, derechos de autor 1980, National Fire Protection Association.

Número máximo de conductores en calibres comerciales de ducto o de tubería

Calibre comercial de ducto (en pig)		½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	6
Letras del tipo	Calibre del conductor en AWG, MCM													
THWN	14	13	24	39	69	94	154							
	12	10	18	29	51	70	114	164						
	10	6	11	18	32	44	73	104	160					
	8	3	5	9	16	22	36	51	79	106	136			
THHN, FEP (14 hasta 2), FEPB (14 hasta 8), PFA (14 hasta 4/0), Z (14 hasta 4/0)	6	1	4	6	11	15	26	37	57	76	98	125	154	
	4	1	2	4	7	9	16	22	35	47	60	75	94	137
	3	1	1	3	6	8	13	19	29	39	51	64	80	116
	2	1	1	3	5	7	11	16	25	33	43	54	67	97
	1		1	1	3	5	8	12	18	25	32	40	50	72
XHHW (2 hasta 500 MCM)	0		1	1	3	4	7	10	15	21	27	33	42	61
	00		1	1	2	3	6	8	13	17	22	28	35	51
	000		1	1	1	3	5	7	11	14	18	23	29	42
	0000		1	1	1	2	4	6	9	12	15	19	24	35
	250			1	1	1	3	4	7	10	12	16	20	28
	300			1	1	1	3	4	6	8	11	13	17	24
	350			1	1	1	2	3	5	7	9	12	15	21
	400				1	1	1	3	5	6	8	10	13	19
	500				1	1	1	2	4	5	7	9	11	16
	600				1	1	1	1	3	4	5	7	9	13
	700					1	1	1	3	4	5	6	8	11
	750					1	1	1	2	3	4	6	7	11
XHHW	6	1	3	5	9	13	21	30	47	63	81	102	128	185
	600				1	1	1	1	3	4	5	7	9	13
	700					1	1	1	3	4	5	6	7	11
	750					1	1	1	2	3	4	6	7	10

* Reproducido con permiso del Código Eléctrico Nacional, edición de 1981, derechos de autor 1980, National Fire Protection Association.

Número máximo de conductores en calibres comerciales de ducto o de tubería.

Letras del tipo	Calibre del conductor en AWG, MCM	Calibre comercial de ducto (en plg) ½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	6
RHW,	14	3	6	10	18	25	41	58	90	121	155			
	12	3	5	9	15	21	35	50	77	103	132			
	10	2	4	7	13	18	29	41	64	86	110	138		
	8	1	2	4	7	9	16	22	35	47	60	75	94	137
RHH	6	1	1	2	5	6	11	15	24	32	41	51	64	93
	4	1	1	1	3	5	8	12	18	24	31	39	50	72
(sin forro exterior),	3	1	1	1	3	4	7	10	16	22	28	35	44	63
	2		1	1	3	4	6	9	14	19	24	31	38	56
	1		1	1	1	3	5	7	11	14	18	23	29	42
	0		1	1	1	2	4	6	9	12	16	20	25	37
	00			1	1	1	3	5	8	11	14	18	22	32
	000			1	1	1	3	4	7	9	12	15	19	28
	0000			1	1	1	2	4	6	8	10	13	16	24
	250				1	1	1	3	5	6	8	11	13	19
	300				1	1	1	3	4	5	7	9	11	17
	350				1	1	1	2	4	5	6	8	10	15
	400				1	1	1	1	3	4	6	7	9	14
	500				1	1	1	1	3	4	5	6	8	11
	600					1	1	1	2	3	4	5	6	9
	700					1	1	1	1	3	3	4	6	8
	750						1	1	1	3	3	4	5	8

* Reproducido con permiso del Código Eléctrico Nacional, edición de 1981, derechos de autor 1980, National Fire Protection Association.

Calibre comercial	Diámetro interno, en plg	Area—en pulgadas cuadradas								
		Total 100%	Sin cubierta de plomo			Cubierta de plomo				
			2 Conds.* 31%	Más de 2 Conds. 40%	1 Cond. 53%	1 Cond. 55%	2 Conds. 30%	3 Conds. 40%	4 Conds. 38%	Más de 4 Conds. 35%
½	.622	.30	.09	.12	.16	.17	.09	.12	.11	.11
¾	.824	.53	.16	.21	.28	.29	.16	.21	.20	.19
1	1.049	.86	.27	.34	.46	.47	.26	.34	.33	.30
1¼	1.380	1.50	.47	.60	.80	.83	.45	.60	.57	.53
1½	1.610	2.04	.63	.82	1.08	1.12	.61	.82	.78	.71
2	2.067	3.36	1.04	1.34	1.78	1.85	1.01	1.34	1.28	1.18
2½	2.469	4.79	1.48	1.92	2.54	2.63	1.44	1.92	1.82	1.68
3	3.068	7.38	2.29	2.95	3.91	4.06	2.21	2.95	2.80	2.58
3½	3.548	9.90	3.07	3.96	5.25	5.44	2.97	3.96	3.76	3.47
4	4.026	12.72	3.94	5.09	6.74	7.00	3.82	5.09	4.83	4.45
4½	4.506	15.94	4.94	6.38	8.45	8.77	4.78	6.38	6.06	5.56
5	5.047	20.00	6.20	8.00	10.60	11.00	6.00	8.00	7.60	7.00
6	6.065	28.89	8.96	11.56	15.31	15.89	8.67	11.56	10.98	10.11

* Reproducido con permiso del Código Eléctrico Nacional, edición 1981, derechos de autor 1980, National Fire Protection Association.

Calibre en AWG MCM	Tipos RFH-2, RH, RHH,*** RHW,*** SF-2		Tipos TF, T, THW, TW, RUH,** RUW**		Tipos TFN, THHN, THWN		Tipos**** FEB, FEPB, FEPW, TFE, PF, PFA, PFAH, PGF, PTF, Z, ZF, ZFF				Tipos XHHW, ZW		Tipos KF-1, KF-2, KFF-1, KFF-2	
	Diám. aprox. en plg	Area aprox. en plg^2	Diám. aprox. en plg	Area aprox. en plg^2	Diám. aprox. en plg	Area aprox. en plg^2	Diám. aprox. en plg		Area aprox. en plg^2		Diám. aprox. en plg	Area aprox. en plg^2	Diám. aprox. en plg^2	Area aprox. en plg^2
Col. 1	**Col. 2**	**Col. 3**	**Col. 4**	**Col. 5**	**Col. 6**	**Col. 7**	**Col. 8**		**Col. 9**		**Col. 10**	**Col. 11**	**Col. 12**	**Col. 13**
18	.146	.0167	.106	.0088	.089	.0064	.081		.0052		...	....	.065	.0033
16	.158	.0196	.118	.0109	.100	.0079	.092		.0066		...	....	.070	.0038
14	30 mils .171	.0230	.131	.0135	.105	.0087	.105	.105	.0087	.0087			.083	.0054
14	45 mils .204*	.0327*	....	.....	...	....	...	...	....	....			...	....
14	....	....	.162†	.0206†	...	....	...	...	....	....	.129	.0131	...	....
12	30 mils .188	.0278	.148	.0172	.122	.0117	.121	.121	.0115	.0115			.102	.0082
12	45 mils .221*	.0384*	....	.....	...	....	...	...	....	....			...	....
12	....	....	.179†	.0251†	...	....	...	...	....	....	.146	.0167	...	....
10	..... .242	.0460	.168	.0224	.153	.0184	.142	.142	.0159	.0159			.124	.0121
10	....	....	.199†	.0311†	...	....	...	...	....	....	.166	.0216		
8	..... .328	.0854	.245	.0471	.218	.0373	.206	.186	.0333	.0272				
8	....	....	.276†	.0598†	...	....	...	...	....	....	.241	.0456		
6	.397	.1238	.323	.0819	.257	.0519	.244	.302	.0467	.0716	.282	.0625		
4	.452	.1605	.372	.1087	.328	.0845	.292	.350	.0669	.0962	.328	.0845		
3	.481	.1817	.401	.1263	.356	.0995	.320	.378	.0803	.1122	.356	.0995		
2	.513	.2067	.433	.1473	.388	.1182	.352	.410	.0973	.1316	.388	.1182		
1	.588	.2715	.508	.2027	.450	.1590	.420	...	.1385	....	.450	.1590		
0	.629	.3107	.549	.2367	.491	.1893	.462	...	.1676	....	.491	.1893		
00	.675	.3578	.595	.2781	.537	.2265	.498	...	.1974	....	.537	.2265		
000	.727	.4151	.647	.3288	.588	.2715	.560	...	.2463	....	.588	.2715		
0000	.785	.4840	.705	.3904	.646	.3278	.618	...	.2999	....	.646	.3278		

‡ Reproducido con el permiso del Código Eléctrico Nacional, edición 1981, derechos de autor 1980, National Fire Protection Association.

Tabla de las dimensiones de los conductores con cubiertas de hule y con cubiertas termoplásticos.

Calibre en AWG MCM	Tipos RFH-2, RH, RHH,*** RHW,*** SF-2		TF, T, THW,† TW, RUH,** RUW**		Tipos TFN, THHN, THWN		Tipos**** FEB, FEPB, FEPW, TFE, PF, PFA, PFAH, PGF, PTF, Z, ZF, ZFF		Tipos XHHW, ZW ††	
	Diám. aprox. en plg	Area aprox. en plg²	Diám. aprox. en plg	Area aprox. en plg²	Diám. aprox. en plg	Area aprox. en plg²	Diám. aprox. en plg	Area aprox. en plg²	Diám. aprox. en plg	Area aprox. en plg²
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7	Col. 8	Col. 9	Col. 10	Col. 11
250	.868	.5917	.788	.4877	.716	.4026	...	....	.716	.4026
300	.933	.6837	.843	.5581	.771	.4669	...	....	.771	.4669
350	.985	.7620	.895	.6291	.822	.5307	...	....	.822	.5307
400	1.032	.8365	.942	.6969	.869	.5931	...	....	.869	.5931
500	1.119	.9834	1.029	.8316	.955	.7163	...	....	.955	.7163
600	1.233	1.1940	1.143	1.0261	1.058	.8792	...	....	1.073	.9043
700	1.304	1.3355	1.214	1.1575	1.129	1.0011	...	....	1.145	1.0297
750	1.339	1.4082	1.249	1.2252	1.163	1.0623	...	....	1.180	1.0936
800	1.372	1.4784	1.282	1.2908	1.196	1.1234	...	....	1.210	1.1499
900	1.435	1.6173	1.345	1.4208	1.259	1.2449	...	....	1.270	1.2668
1000	1.494	1.7531	1.404	1.5482	1.317	1.3623	...	....	1.330	1.3893
1250	1.676	2.2062	1.577	1.9532	...	....	...	....	1.500	1.7672
1500	1.801	2.5475	1.702	2.2748	...	....	...	....	1.620	2.0612
1750	1.916	2.8895	1.817	2.5930	...	....	...	....	1.740	2.3779
2000	2.021	3.2079	1.922	2.9013	...	....	...	....	1.840	2.6590

* Las dimensiones de los tipos RHH y RHW.

** Del Núm. 14 al Núm. 2.

† Dimensiones del THW en calibres 14 a 8. El THW del Núm. 6 y más grueso tiene las mismas dimensiones que el T.

*** Las dimensiones del RHH y del RHW son las mismas que las del THW.
Del Núm. 18 al Núm. 10, sólido; Núm. 8 y más gruesos, de filamentos.

**** En las Columnas 8 y 9 los valores que se muestran para los calibres Núm. 1 hasta 0000 son sólo para el TFE y el Z. Los valores de la derecha en las Columnas 8 y 9 son sólo para FEPB, Z, ZF, ZFF.

†† Del Núm. 14 hasta el Núm. 2.

‡ Reproducido con permiso del Código Eléctrico Nacional, edición 1981, derechos de autor 1980, National Fire Protection Association.

Propiedades de los conductores.

Calibre en AWG, MCM	Area, en circ. mils	Conductores de filamentos que se colocan de manera concént.		Conductores desnudos		Resistencia de CC Ohms/M pies a 25 °C, 77 °F		
						Cobre		Alumi-nio
		Alam-bre Núm.	Diám. de cada alambre en plg	Diám. en plg	Area, en plg²*	Conduc. desnud.	Cond. estaño	
18	1620	Sólido	.0403	.0403	.0013	6.51	6.79	10.7
16	2580	Sólido	.0508	.0508	.0020	4.10	4.26	6.72
14	4110	Sólido	.0641	.0641	.0032	2.57	2.68	4.22
12	6530	Sólido	.0808	.0808	.0051	1.62	1.68	2.66
10	10380	Sólido	.1019	.1019	.0081	1.018	1.06	1.67
8	16510	Sólido	.1285	.1285	.0130	.6404	.659	1.05
8	16510	7	.0486	.1458	.0167	.653	.679	1.07
6	26240	7	.0612	.184	.027	.410	.427	.674
4	41740	7	.0772	.232	.042	.259	.269	.424
3	52620	7	.0867	.260	.053	.205	.213	.336
2	66360	7	.0974	.292	.067	.162	.169	.266
1	83690	19	.0664	.332	.087	.129	.134	.211
0	105600	19	.0745	.372	.109	.102	.106	.168
00	133100	19	.0837	.418	.137	.0811	.0843	.133
000	167800	19	.0940	.470	.173	.0642	.0668	.105
0000	211600	19	.1055	.528	.219	.0509	.0525	.0836
250	250000	37	.0822	.575	.260	.0431	.0449	.0708
300	300000	37	.0900	.630	.312	.0360	.0374	.0590
350	350000	37	.0973	.681	.364	.0308	.0320	.0505
400	400000	37	.1040	.728	.416	.0270	.0278	.0442
500	500000	37	.1162	.813	.519	.0216	.0222	.0354
600	600000	61	.0992	.893	.626	.0180	.0187	.0295
700	700000	61	.1071	.964	.730	.0154	.0159	.0253
750	750000	61	.1109	.998	.782	.0144	.0148	.0236
800	800000	61	.1145	1.030	.833	.0135	.0139	.0221
900	900000	61	.1215	1.090	.933	.0120	.0123	.0197
1000	1000000	61	.1280	1.150	1.039	.0108	.0111	.0177
1250	1250000	91	.1172	1.289	1.305	.00863	.00888	.0142
1500	1500000	91	.1284	1.410	1.561	.00719	.00740	.0118
1750	1750000	127	.1174	1.526	1.829	.00616	.00634	.0101
2000	2000000	127	.1255	1.630	2.087	.00539	.00555	.00885

* El área dada es la de un círculo con un diámetro igual al diámetro global de un conductor de filamentos.

Los valores dados en la tabla son aquellos que se encuentran en el Handbook 100 of the National Bureau of Standars excepto aquellos que se muestran en la columna 8 son los que da la American Society for Testing and Materials en Specifications B33; los valores que aparecen en la columna 9 son aquellos que aparecen en Standard Núm. S-19-81 de la Insulated Power Cable Engineers Association y en Standard Núm. WC3-1969 de la National Electrical Manufacturers Association.

Los valores de resistencia que se dan en las tres últimas columnas sólo son aplicables a corriente continua. Cuando se usan conductores mayores que el Núm. 4/0 con corriente alterna, los factores de multiplicación de la Tabla 9 se compensan por el efecto de piel.

Reproducido con permiso del Código Eléctrico Nacional, edición de 1981, derechos de autor 1980, National Fire Protection Association.

FORMULARIO

	Símbolo	Formula o equivalencia	Unidades
Flujo luminoso	Φ	1 watt-luz a 555 nm = 683 lm	Lumen(lm)
Intensidad luminosa	I	$I = \frac{\Phi}{\omega}$	Candela (cd)
Iluminancia	E	$E = \frac{\Phi}{S}$	lux (lx)
Luminancia	L	$L = \frac{I}{S_{aparente}} = \frac{I}{S \cdot \cos\alpha}$	cd/m^2
Rendimiento luminoso	η	$\eta = \frac{\Phi}{W}$	lm / W
Cantidad de luz	Q	$Q = \Phi \cdot t$	lm·s
Flujo luminoso Total necesario	Φ_T	$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m}$	Lm
Número de luminarias	N	$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$	
Reflectancia media	ρ_m	$\rho_m = \frac{\sum_n \rho_i \cdot F_i}{\sum_n F_i}$	
Coeficientes de uniformidad	Uo	$U_0 = L_{min} / L_m$	
Factor de utilización	η	$\eta = \frac{\Phi_{útil}}{\Phi_L}$	
Iluminancia media	E_m	$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$	
Luminancia de un punto de la calzada	L	$L = \sum_{i=1}^{n} \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot r(\beta_j, \gamma_i)}{h_i^2}$	cd/m^2

Eficacia del haz		$\text{Eficacia del haz}(\%) = \frac{\text{lúmenes del haz}}{\text{lúmenes de la lámpara}}$	%
Número de proyectores	N	$N = \frac{E_m \cdot S}{\Phi \cdot CBU \cdot f_m}$	
Corriente eléctrica en amperes	I	$I = \frac{Q}{t}$	A
Resistencia	R	$R = \frac{V}{I}$	(Ω)
Resistencia total de un circuito en serie	R_t	$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_N$	(Ω)
Resistencia total de un circuito en paralelo		$R_T = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_N}$	(Ω)
Potencia	P	$P = I^2 R = \frac{V^2}{R}$	watts
Frecuencia armónicas superiores	f_m	$fm = \left[\frac{fr(2n \pm 1)}{2}\right] \pm 10$	Hz
Resistencia a tierra	R	$R = \frac{\rho}{4}\sqrt{\frac{\pi}{A}}$	(Ω)
Resistencia a tierra de una varilla	R	$R = \frac{\rho}{(2\pi \cdot L) Ln\left(\frac{2.943 \cdot L}{d}\right)}$	(Ω)
Fórmula de Schwarz	Rg	$Rg = \frac{R_1 \cdot R_2 - (R_{12})^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}}$	(Ω)
Corriente de falla	I_F	$I_F = Icc \cdot F_D \cdot F_S$	(A)

Sección transversal del conductor	A	$A = \frac{I_f}{\sqrt{\frac{Log_{10}\left(\frac{Tm-Ta}{234*Ta}+1\right)}{33s}}}$	circular mils.
Longitud del conductor de la malla	Lm	$Lm = \frac{KmKi\,\rho Ic\sqrt{t}}{116 + 0.17\,\rho_s}$	(m)
Corrientes de corto circuito	I_{cc}	$I_{cc} = \frac{MVA}{\sqrt{3}\cdot KV}$	(A)
Longitud de conductor enterrado para mantener el voltaje de malla	L	$L = \frac{Km\cdot Ki\cdot\rho\cdot Ic\sqrt{t}}{116 + 0.17\cdot\rho\cdot s}$	(m)
Factor que depende del dimensionamiento de la malla	K_m	$Km = \frac{1}{2\pi}\ln\frac{D^2}{16hd_s} + \frac{1}{\pi}\ln\{(3/4)(5/6)(7/8)\ldots\}$	
Voltaje de paso tolerable para el cuerpo humano	E_{PT}	$E_{PT} = \frac{116 + 0.7\rho_s}{\sqrt{t}} =$	(V)
Voltaje de contacto o de malla.	E_{CP}	$E_{CP} = KmKi\rho\frac{Ic}{Lm}$	(V)
Potencia total	Pot_{Total}	$Pot_{Total} = Pot._{\mathrm{Real}}\cdot Pot._{Pérdidas.}$	*(KVA)*
Corriente de régimen (sistemas trifásicos)	i_r	$i_r = \frac{CD + [CD(f.r.)]}{V(f.p.)\sqrt{3}}$	*A*

Carga demandada	C.D.	$C.D = C.C(f.d)$	*Watts*
Sección del conductor	s	$s = \frac{L(i_r)(1/56)\sqrt{3}(100)}{V_{ff}(\%e)}$	mm^2
Caída de tensión (sistemas trifásicos)	%e	$\%e = \frac{L(i_r)(1/56)\sqrt{3}(100)}{V_{ff}(s)}$	

Abreviaciones y símbolos

A,amp	Amperes
AWG	Normas de medición de alambre Americana
B&S	Brown & Sharpe (Norma de medición de alambre)
c,cyc	Ciclo
c.m., cmil	Circular mils o mils circulares
C	Centígrados, Celsius (escala de temperatura)
cb, CB	Disyuntor, del ingles circuit breaker
Cps	Ciclos por Segundo
EMT	Tuberia metálica eléctrica
F	Fahrenheit (escala de temperature)
fc	Pies candela
ft	Pies, pies
GFI, GFCI	Interruptor de circuito de falla de tierra (del inglés Ground-fault circuit-interrupter)
h	horas
HID	Descarga de alta intensidad (lámparas) del inglés hight-intensity discharge
hp	Caballos de fuerza
Hz	Hertz (ciclos por segundo)
plg	pulgada
K	kilo (mil, watts, etc)
kcmil	mil circular mils
kHz	miles de Hertz
kVA	kilovoltamperes
kW	kilowatts

kWh	kilowatthoras
lm	Lúmens
mA	miliamperes
MCM	mil circular mils
mega	Millón(watts, volts,etc)
micro	Un millonésimo(volts, amperes,etc)
mil	Mils(milésimo de una pulgada)
mili	Un milésimo(volt, ampere, etc))
NEC	Código Eléctrico Nacional
P	Polo (1p= polo único)
ph	Fase
RI	repulsión inducción (motor)
R/min, rph	revoluciones por minuto
s	segundo
V	Voltaje en volts
VA	voltamperes
W	watts
(del griego mu	micro
(del griego phi	fase
(del griego omega)	Ohms

1-p	de polo único
2-p	de dos polos, de doble polo
3-p	de tres polos
%e	Caída de tensión
f.p.	Factor de potencia
f.d.	Factor de demanda
L	Longitud

BIBLIOGRAFÍA

TECNICAS Y APLICACIONES DE LA ILUMINACIÓN
Luis C. Fernanadez
Mc Graw Hill 1992

INSTALACIONES ELÉCTRICAS
Ramirez Vazquez Jose
Barcelona

CURSO BÁSICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS
Callón Juan Carlos
Buenos Aires

INSTALACIONES ELÉCTRICAS E ILUMINACIÓN PARA HOGARES Y OFICINA
Safford Edward L.
Limusa 1984

Carandini (fabricante de luminarias)
http://www.carandini.com

Philips iluminación
http://www.lighting.philips.com
http://www.eur.lighting.philips.com

Osram
http://www.osram.com

INDALUX Alumbrado técnico.
http://www.indal.es

Normas ISO
http://www.iso.ch/welcome.html

European Foundation for Quality Management
http://www.efqm.org

IEC International Electrotechnical Commision
http://www.iec.ch

Manual de Instalaciones de Plantas de Emergencia
TELMEX

NORMA OFICIAL MEXICANA
NOM-001-SEDE-1999