A los asistentes a los cursos del Centro de Educación Continua

La Facultad de Ingeniería, por conducto del Centro de Educación Continua, otorga constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso. Las personas que deseen que aparezca su título profesional precediendo a su nombre en el diploma, deberán entregar copia del mismo o de su cédula profesional a más tardar 15 días antes de la terminación del curso, en las oficinas del Centro, con la Sra. Sánchez.

El control de asistencia se efectuará al terminar la primera hora de cada día de clase, mediante listas especiales en las que los interesados anotarán personalmente su asistencia. Las ausencias serán computadas por las autoridades del Centro.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece el Centro están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo para que coordinen las opiniones de todos los interesados constituyendo verdaderos seminarios.

Al finalizar el curso se hará una evaluación del mismo a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos por parte de los asistentes.

Las personas comisionadas por alguna institución deberán pasar a inscribirse en las oficinas del Centro en la misma forma que los demás asistentes.

INGENIERIA DE ILUMINACION

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Mayo 20	2 Hs.	OBJETIVOS DEL CURSO El problema de la iluminación Resolución a los problemas de iluminación Aspectos económicos Aspectos arquitectónicos	Todos los Profesores
" 22		CONCEPTOS BASICOS <u>Física de la luz</u> a) Naturaleza de la luz b) Luz y energía espectral c) Eficiencia luminica d) Detección de la luz e) Generación de la luz <u>Luz y Visión</u> a) Capacidad visual b) Procesos de sensibilidad visual c) Cantidad de iluminación d) Calidad de iluminación <u>Stándares y Nomenclatura</u> a) Stándar b) Nomenclatura	Ing. Sergio García Anaya
Mayo 24	2 Hs.	<u>Medidas de iluminación</u> a) Bases de fotometría b) Mediciones en laboratorio c) Mediciones en el campo	Ing. Sergio García Anaya

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Mayo 24		<u>Color</u> a) Conceptos básicos de color b) Colorimetría de fuentes luminosas c) Uso del color d) Rendimiento de color <u>Fuentes luminosas</u> a) Lámparas incandecentes y características de funcionamiento b) Lámparas de descarga, mercuriales de aditivos metálicos y de sodio	
" 27	2 Hs.	BALASTROS a) Diferentes tipos de circuitos b) Características c) Aplicaciones	Ing. Guillermo Chavez Chavez
Mayo 29 y 31	2 Hs. c/día	ALUMBRADO PUBLICO a) Clasificación de áreas b) Clasificación de curvas de distribución de luminarios c) Selección de la fuente lumínica d) Diseño del sistema de alumbrado	Sr. Warren Edman Sr. Philips Clark
Junio 3	2 Hs.	ILUMINACION DE INTERIORES a) Clasificación de áreas b) Métodos 1. de Jumen 2. de cavidad zonal 3. punto por punto	Ing. Wenceslao Quintana Marroqu

Fecha	Duración	Tema	Profesor
Junio 5 y 7	2 Hs. c/día	ILUMINACION COMERCIAL a) Aplicaciones b) Operación y mantenimiento	Ing. Wenceslao Quintana Marroquín
Junio 10 y 12	2 Hs. c/día	ILUMINACION INDUSTRIAL a) Aplicaciones b) Operación y mantenimiento	Ing. Wenceslao Quintana Marroquín
" 14	2 Hs.	ILUMINACION EXTERIOR a) Clasificación de áreas b) Métodos 1. de Jumen 2. punto por punto	Ing. Fernando Quintana O'Farril
" 17	2 "	ILUMINACION EXTERIOR a) Aplicaciones b) Operación y mantenimiento	Ing. Fernando Quintana O'Farril
" 19	2 "	LUMINARIOS a) Características de funcionamiento b) Características de construcción c) Clasificación	Ing. Fernando Quintana O'Farril
" 21	2 "	INSTALACION ELECTRICA a) Función de la instalación b) Normas y reglamentos	Ing. Fernando Quintana O'Farril
" 24	2 "	ESTUDIO ECONOMICO a) Costo de instalación b) Costo de operación c) Costo de mantenimiento d) Efecto aleatorio de los costos	Ing. Carlos Alvarez Bravo
" 26	2 "	EJEMPLO DE ESTUDIO ECONOMICO	Ing. Carlos Alvarez Bravo
" 28	2 "	MESA REDONDA Evaluación. Conclusiones	Todos.

L U M I N A R I O S

1) Función de la Instalación.-

Una instalación eléctrica para alimentacion de un sistema de alumbrado, tiene efectos sobre la calidad de la luz, el nivel de iluminación, la operación y la seguridad y el control de dicho sistema.

a) Condiciones de la alimentación.-

Para que un luminario opere correctamente, proporcionando la cantidad de flujo luminoso para el que fué diseñado, es necesario que reciba la energía eléctrica a la tensión nominal o de placa, así como la frecuencia; ya que una variación de la tensión producierá una variación del flujo luminoso, la vida útil y el color de la luz de la lámpara, pero aumentando la intensidad de la variación, es decir no variará linealmente. Por ejemplo, la vida de una lámpara incandescente variará inversamente con la 5a. potencia de la variación de la tensión. La variación de la frecuencia afectará en las lámparas de descarga gaseosa a los balastros y a través de ellos afectará a la lámpara, aumentando o disminuyendo su emisión y variando el color de la luz.

En vista de lo anterior, la instalación eléctrica que alimenta a un conjunto de luminarios, debe producir una caida de tensión lo más reducido posible (el reglamento de obras e instalaciones, lo limita a un máximo de 3%) puesto que de otra manera no se obtendrá el nivel luminoso proyectado. Los conductores deben seleccionarse además para producir una caida mínima, durante el período de encendido de la lámpara (en caso de lámparas de descarga gaseosa H.I.D.) pues de otra manera se producierá un encendido errático y prolongado el lapzo de tiempo para el mismo. Hay que hacer hincapié en el efecto de las conexiones o empalmes, pues también afectan el valor de la tensión útil.

b) Operación y Control.-

Otra función de la instalación eléctrica es operar y controlar la iluminación. La Iluminación al permitir realizar actividades productivas, exige un control efectivo y seguro.

Para lograr lo anterior, es conveniente dividir en circuitos o ramales que si bien operan simultáneamente en condiciones normales, cuando existe una falla en cualquier punto de la instalación, no se produce una interrupción total del alumbrado.

Además es posible graduar el nivel luminoso mediante la combinación de circuitos y su operación simultánea o selectiva mediante contactores a control remoto con interruptores y reles de tiempo y/o controles fotoeléctricos.

Al disponerse de la facilidad de utilización de diferentes valores de tens on, debido a las carácteristicas del equipo auxiliar de las lámparas de descarga gaseosa (balastros autorregulados), es posible hacer distribuciones a tensiones más elevadas (277,440 Volts), lo que permite alcanzar excelentes regulaciones, con gran economía en el costo de los conductores.

c) Protección.-

Para proteger, tanto los equipos de iluminación como la instalación eléctrica y dar seguridad al área iluminada es necesario instalar dispositivos, que operen automáticamente, interrumpiendo el circuito en casos de sobrecarga prolongada o circuito corto.

2) Normas y Reglamentos.-

a) Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas.-

Este reglamento (ROI) esta en vigor desde el 1o. de mayo de 1950 y establece disposiciones obligatorias, en relación con las instalaciones de alumbrado en los capítulos II artículos del 3 al 9, Capitulo III artículos 10 y 11 y del 17 al 25 y Capítulo IV artículo 26, que dan seguridad a la instalación y su área de servicio.

b) Normas.-

Es conveniente hacer notar, que el proyecto de una instalación eléctrica de alumbrado no debe basarse en los requisitos mínimos fijados por el R.O.I. sino que además de cumplir con ellos, debe siempre proporcionar los mejores niveles de calidad y servicio, que

sean necesarios para e área por iluminar.

Para obtener lo anterior, se recomienda la consulta de un manual tal como "How To Design Electrical Systems", de Joseph F. McPartland., Editores Electrical Construction And Maintenance Mc Graw-Hill Book Co.

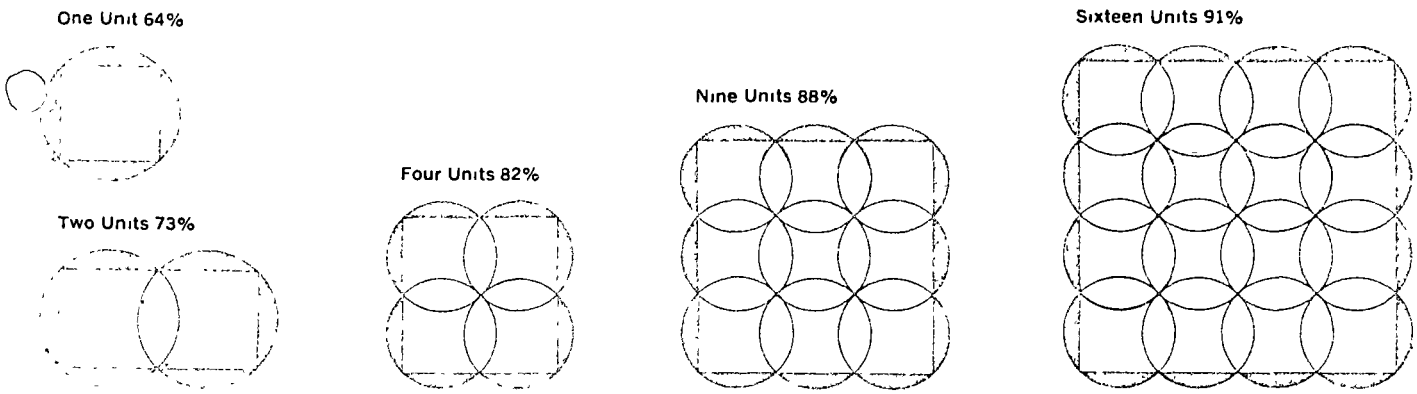


Fig. - 1

Fig. - 2

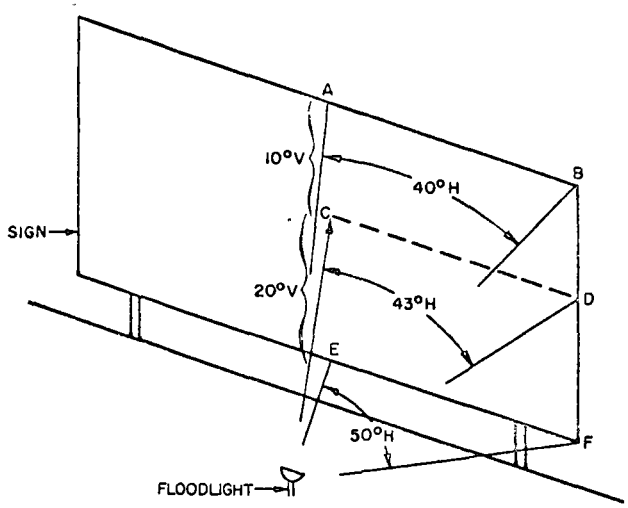


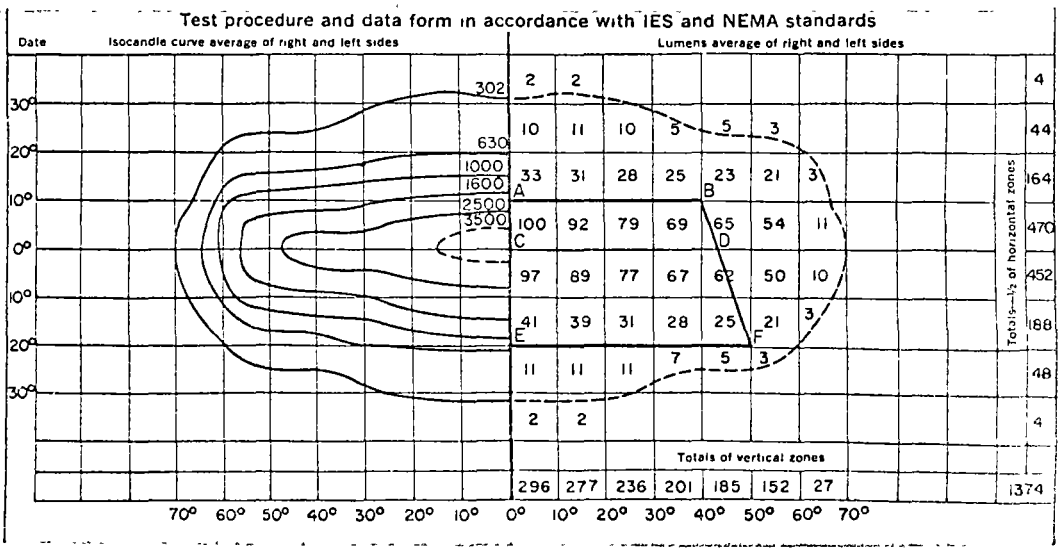
Fig. 3

Light Distribution Curve

Equipment Tested:
Type—Ade-12
Reflector—Wide Beam
Aux Reflector—None
Lens—Wide Spread

Lamp Data
Watts—300 Bulb—PS-30
Volts—115 Fila. Type—C-9
Amps— Fila. Height—
Lumens—5950 Fila. Width—
L C L —6"

Results
Aver Max C P.—3039
Beam Lumens—2748
Beam Eff —46 2%
Beam V—64°
Spread H—140°
Max. C P.—3310



Points indicated by letters on sign correspond with those shown on light distribution curve, therefore all the lumens within the solid line ABFE fall on the sign. This totals 879 lumens and when doubled, to account for the other half of the beam, gives a total of 1758 lumens falling on the sign. The Coeff ent of Beam Utilization is then 1758 ÷ 2748 or 64%.

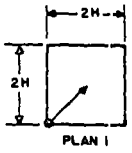


Fig. 4

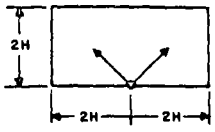


Fig. 5

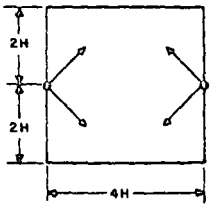


Fig. 6

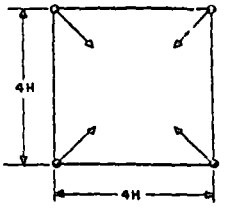


Fig. 7

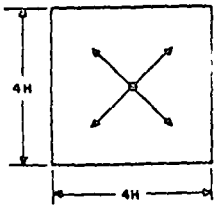


Fig. 8

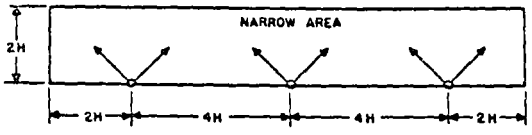


Fig. 9

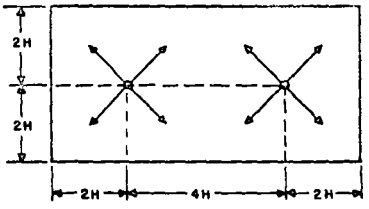


Fig. 10

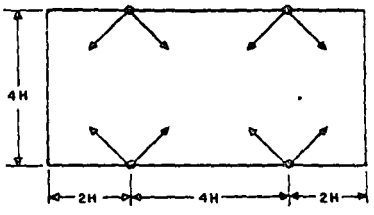


Fig. 11

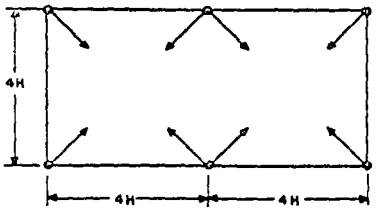


Fig. 12

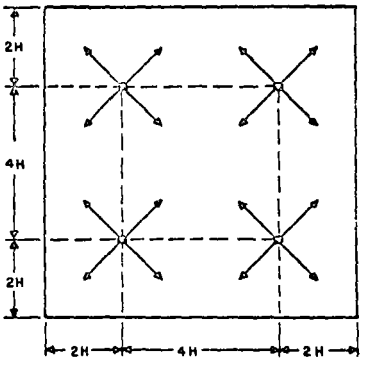


Fig. 13

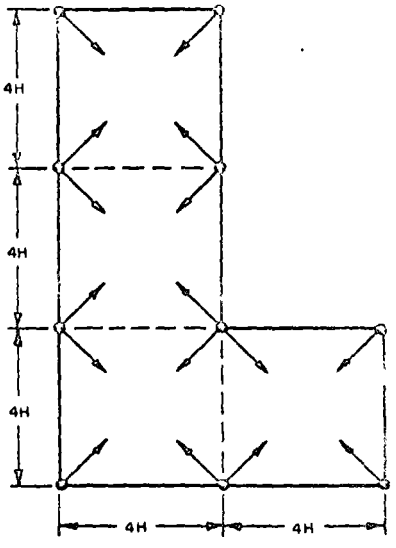


Fig. 14

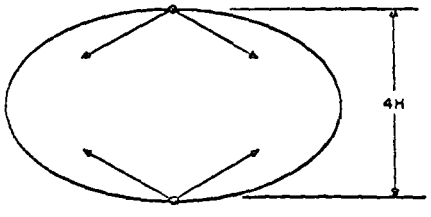


Fig. 15

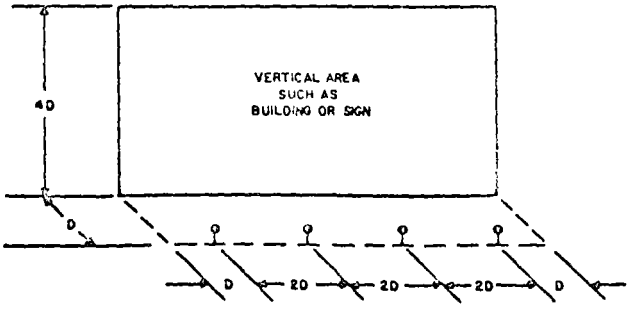


Fig. 16

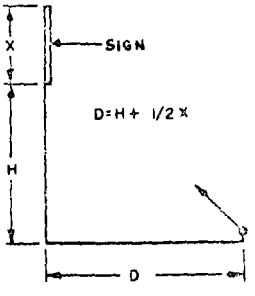


Fig. 17

INSTALACION ELECTRICA

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO.-

1) Haz Luminoso.-

Se considera como haz luminoso efectivo la distancia en grados, entre los lados de un ángulo, cuyo vértice coincide con el foco óptico del reflector y sus lados pasan por puntos que reciben una intensidad luminosa igual al 10% de la máxima intensidad y se encuentran en un mismo plano horizontal o vertical.

Normalmente se clasifican en haz horizontal o haz vertical.

2) También se clasifica un reflector por su eficiencia, es decir, por la relación entre flujo luminoso emitido por el reflector y el producido por su lámpara.

Se conoce como eficiencia del haz y se define como la relación entre la cantidad de flujo luminoso dentro del haz útil (comprendido por la curva cerrada isocandela con valor de 10% de la intensidad máxima del reflector) y el producido por la lámpara.

CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION.-

Un reflector esta constituido esencialmente por las siguientes partes:

1) Reflector interior
2) Lente
3) Carcaza o Gabinete
4) Portalámpara
5) Accesorios de montaje

1) Reflector Interior.-

Se conoce como reflector interior el dispositivo con la forma y cualidades ópticas adecuadas para dirigir el haz luminoso producido por la unidad, al área por iluminar.

Generalmente son de forma parabólica o elíptica de acuerdo con la forma deseada del haz, ya que un reflector elíptico proporciona mayor --

eficiencia que un parabólico, pero da un haz más abierto, por lo contrario el parabólico proporciona un haz más cerrado y uniforme pero menos eficiente. En algunos casos se fabrican los reflectores mezclando la forma parabólica con la elíptica para obtener distribución abierta horizontalmente y cerrada verticalmente.

El acabado de la superficie reflectora del reflector, brillante o mate permite controlar el deslumbramiento utilizandose acabado brillante en fuentes de gran tamaño como las lámparas de vapor de mercurio de aspectro corregido y el mate cuando se utilizan fuentes de foco muy pequeño como las incandescentes del bulbo claro. Con lo anterior se evita o reduce la emisión en direcciones no deseadas.

Es muy importante que los reflectores reciban un tratamiento electroquímico (acabado ALZAK) que evite la oxidación posterior de la superficie y la consiguiente pérdida de eficiencia.

2) Lente.-

La lente como dispositivo óptico se utiliza principalmente con fuentes luminosas concentradas (lámparas incandescentes o de bulbo transparentes de descarga gaseosa de alta presión), para mejorar el control luminoso del HAZ, reduciendo aún más la emisión de la luz en direcciones no deseadas, por refracción. Estas lentes son plano-convexas y se fabrican de vidrio termotemplado.

Con las lámparas de bulbo fosforado se utilizan lentes planos de cristal termotemplado, principalmente como protección para el bulbo, pero también para evitar el efecto de deslumbramiento lateral por medio de refractar la luz emitida en dirección inconveniente por la lámpara.

3) Carcaza o Gabinete.-

El gabinete o carcaza tiene dos funciones, la primera es proporcionar protección contra la intemperie a la lámpara, balastro y demás partes de la unidad y la segunda permitir la eliminación del calor generado por la lámpara y el balastro principalmente, de tal manera que no se ex

ceda una temperatura límite, arriba de la cual, la vida útil de los dos componentes citados se reduce rápidamente.

Los reflectores se clasifican de acuerdo con su gabinete, para uso rudo o para servicios generales y en casos especiales pueden ser a prueba de explosión, por gases o polvos combustibles.

4) Portalámpara.-

El portalámpara es un elemento importante, ya que su función además de alimentar eléctricamente a la lámpara, debe ser darle un soporte mecánico adecuado para mantener a la lámpara en el foco óptico.

5) Accesorios.-

Además de los accesorios normales de montaje, para permitir el enfoque del reflector, se tienen disponibles otros accesorios tales como soportes para agrupar varios reflectores, estructuras para mantenimiento y también controles fotoeléctricos para operar individualmente cada unidad.

Clasificación.-

Un reflector se clasifica de acuerdo con la apertura de su HAZ, conforme a la norma NEMA en la forma siguiente:

APERTURA DEL HAZ EN GRADOS.	TIPO NEMA	EFICIENCIAS MINIMAS (%) INCANDESCENTE	MERCURIO	FLUORESCENTE
10 a 18	1	35	-	20
19 a 29	2	36	30	25
30 a 46	3	45	34	35
47 a 70	4	50	38	42
71 a 100	5	50	42	50
101 a 130	6	-	42	55
131 en adelante	7	-	46	55

ILUMINACION EXTERIOR

ILUMINACION DE EXTERIORES

Los siguientes cuatro pasos ayudan a seleccionar los equipos adecuados para la iluminación de una área abierta:

1.- Determine el nivel de iluminación

2.- Seleccione el tipo de lámpara

3.- Seleccione el tipo de reflector

4.- Determine el número y colocación de los reflectores en postes o- lugares de montaje.

PRIMER PASO.-

Para determinar el nivel adecuado de iluminación consulte el manual de la Iluminating Enginneering Society, La tabla de la Sociedad Mexicana de Ingeniería de Iluminación o las siguientes recomendaciones:

AREA POR ILUMINAR	NIVEL DE ILUMINACION LUXES PROMEDIO	MINIMO
Aeropuertos		
Acceso a los Hangares	10	5
Areas de mantenimiento	5	2.5

VENTA DE AUTOMOVILES	HILERA FRONTAL	AREA RESTANTE
Zonas de mucha competencia	500 - 1000	250 - 500
Zonas sin competencia	200 - 100	100 - 50

FACHADAS DE EDIFICIOS Y MONUMENTOS	AREA CINCUNDANTE ILUMINADA	OBSCURA
Superficies claras	150	50
" Medianas	200	100
" oscuras	300	150
" muy oscuras	500	200

AREAS DE CONSTRUCCIONES	
General	100
Excavación	50

AREAS INDUSTRIALES	
Manejo de materiales	50
Muelles de carga	200
Almacenamiento - Activo	200
" Inactivo	10

ILUMINACION PARA VIGILANCIA	
Bardas	10

Areas Generales	50
Entradas y Salidas	100

SEGUNDO PASO.-

Determinar el tipo de lámpara a utilizar. A continuación se describen las características de las seis fuentes de luz principales.- incandescentes, - tungteno-halogeno (yodo-cuarzo) mercurio, aditivo metálico, fluorescente y sodio de alta presión.

LAMPARA	CARACTERISTICAS	DESVENTAJAS*
Incandescente	No modifica el tono del color. Es compacta permite fácil control del- Haz Luminoso	Bajo rendimiento de flujo luminoso (Lumens por- Watts) vida corta (500— 1000 Hrz). Costo de operación elevado.
Yodo-Cuarzo	No modifica el tono del color. Es compacta, y - permite un buen control del haz luminoso. Buen- rendimiento en mantenimiento (El flujo luminoso permanece constante a lo cargo de su vida).	Bajo rendimiento de flujo luminoso (lum. por — Watt.) por ser una fuente tubular limita el control del haz. vida media (2000-4000- Hz). Alto — costo de operación.
Mercurio	Larga vida (Mas de 16000 Hrs.) elevado rendimiento luminoso (lumens por Watts). Bajo costo de - operación.	Alto costo inicial. Con- bulbo claro los colores- se modifican radicalmente, por ser una fuente - de gran tamaño, tiene un limitado control del haz luminoso.(Especialmente- con lámparas con revestimiento de fósforo). No - enciende inmediatamente- después de una interrupción de energía.
Aditivo Metálico	Vida útil moderada (1)- (7500 Hrs.) Muy elevado rendimiento luminoso - (Lumens por Watt).Permite ver los colores de - forma natural. Bajo costo de operación.	Alto costo inicial. No enciende inmediatamente después de una inte— rrupción de energía.

Fluorescente	Vida útil moderada (7500-9000 Hrs). Alto rendimiento luminoso (Lumens por Watt). Bajo costo de operación.	Alto costo inicial. Por su forma y longitud, no permite un control eficaz del haz luminoso. su rendimiento luminoso varia mucho con la temperatura ambiente.
Vapor de Sodio de Alta Presión	Larga vida util (15000 Hrs). La de mayor rendimiento luminoso. Bajo costo de operación. Su luz de color amarillo pálido, permite lograr efectos especiales en fachadas.	Alto costo inicial, regular control del haz luminoso, su luz monocromática modifica los colores.

* Todas las compraciones son relativas y se basan en los productos actuales.

(1) Se anticipa para su futuro próximo una vida mayor.

En algunos casos es fácil destacar la lámpara más adecuada, pero algunas veces varias llenan los requisitos, en este caso es conveniente recurrir a un estudio económico para seleccionar la más adecuada.

TABLA PARA SELECCION RAPIDA DE LAMPARAS

	INCANDES-CENTE	CUARZO-YODO	MERCURIO	ADITIVO METALICO	FLUORES-CENTE	VAPOR DE SODIO DE ALTA-PRESION
Costo Inicial	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto
Consumo de energía (para igualdad de luz)	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Costo de operación anual	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Tamaño del luminario	Medio	Pequeño	Medio	Medio	Grande	Medio
Periodos de encendio largos (Más de 1000 horas al año)	Regular	Regular	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Periodos de encendido cortos (Menos de 1000 Horas al año)	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Buena
Definición de color	Buena	Muy - Buena	Regular	Buena	Regular	Regular
Consideraciones de lugar de - montaje*	Regular	Regular	Buena	Buena	Regular	Buena
Control de haz luminoso	Muy Bueno	Bueno	Regular	Bueno	Pobre	Regular
Proyección de Gran Alcance — (Haz angosto)	La - Mejor	Regular	Regular	Regular	Pobre	Regular
Operación en ambiente de baja temperatura	Muy- Buena	Muy - Buena	Buena	Buena	Regular	Buena
Proyección de Mediano Alcance	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular	Buena

* Condiciones difíciles o costosas para cambio de lámparas y mantenimiento.

Puede notarse con relativa facilidad por este análisis que la lámpara fluorescente no es especialmente adecuada para iluminación de exteriores, exceptuando algunas aplicaciones muy especiales. Por lo tanto, de esto podemos deducir que debemos trabajar con las otras cinco fuentes luminosas.

TERCER PASO.-

Selección del Reflector c Luminario adecuado.

Historicamente se han considerado dos tipos básicos de reflectores.- Para - uso rudo y servicio general.

El tipo de uso rudo es muy robusto, se fabrica usualmente en fundición de - aluminio, y puede resistir mal trato físico y condiciones ambientales severas.

El tipo de servicio general se fabrica con menos resistencia.- Generalmente en lámina de aluminio - pero suficientemente robusto para resistir las condiciones atmósfericas del exterior.

Sin embargo en la actualidad hay disponibles en el mercado de reflectores,- productos que combinan las mejores cualidades de resistencia física con muy buena presentación estética y ligereza.

Con el objeto de poder referirme a unidades específicas, utilizo en la siguiente tabla de selección los modelos de reflectores de Crouse Hinds, pero haciendo hincapié en que existen otras marcas en el mercado, también de — muy buena calidad.

Características de la Instalación y Condiciones de Operación.	Para lámparas de descarga gaseosa	Para lámparas incandescentes
Areas Industriales:	MV Y MVE	ADE
Areas Deportivas y Recreativas	PROFILE MVF	QB
Instalaciones Provisionales	MVF	QB
Adaptable a la Arquitectura Actual	PROFILE	
Peso Ligero	MVF	QB
Condiciones Atmosféricas - Severas o Corrosivas	MV - MVE	ADE QB
Uso Rudo	MV MVE	ADE - QB
Distribución del Haz luminoso bien delineado con mínimo deslumbramiento	PROFILE	QB

CUARTO PASO.-

Determinación del número y localización de reflectores y postes.

a) Determinación del número de reflectores

"Método del Haz Luminoso"

Este procedimiento es de la I.E.S. y proporciona buenos resultados pues toma en cuenta los factores luminosos pertinentes.

La siguiente expresión nos dice:

Número de reflectores necesarios:

Superficie por iluminar X Nivel en Luxes

Lumens del Haz del Reflector X Coeficiente de Utilización X Factor de mantenimiento.

Lumens del Haz del Reflector:

Es el valor el flujo luminoso que emite el reflector o el producto del valor del flujo, emitido por la lámpara, multiplicado por la eficiencia del reflector, es un dato proporcionado por el fabricante del reflector.

Por ejemplo un reflector con eficienc a de 64%, con una lámpara de vapor de mercurio de 21000 lumens (400 Watts) tendrá:

0.64 X 21000 = 13400 Lumens en el Haz

Coeficiente de Utilización del Haz:

Se llama así al porcentaje del Haz luminoso que incide en el área por iluminar. Puede variar entre 60 y 100%, pudiéndose determinar con exactitud, sólo mediante cálculos complicados. Sin embargo, pueden establecerse algunas reglas generales, que permiten seleccionar un coeficiente de utilización del Haz, con suficiente aproximación. Como una regla general mientras mayor es la superficie por iluminar, mayor es el coeficiente. La forma en que el Haz luminoso se esparce, tiene también influencia, si el Haz es más amplio de lo necesario, una cantidad excesiva de luz caerá fuera de la superficie por iluminar, y el coeficiente será menor. La figura No. 1, dá información adicional para seleccionar el valor del coeficiente de utilización. La figura No. 3, presenta un método para deter-

minar el coeficiente de utilización con la mayor aproximación posible, para un trabajo típico.

Los fabricantes tienen disponibles gráficas de distribución de sus reflectores como la del ejemplo y las suministran a solicitud.

Factor de Mantenimiento: Por medio de este factor se toma en cuenta el hecho de que la cantidad de luz proporcionada por el reflector, se reduce a través del tiempo en servicio del mismo. Existen dos razones: La primera se debe a la acumulación de polvo en el lente del reflector, varía con las condiciones de la atmósfera en la cual están instalados los reflectores, pero la experiencia indica que se puede considerar un 10% como valor para condiciones promedio. La segunda razón es la reducción del flujo luminoso de las lámparas, a media que transcurre su vida útil; en algunas lámparas decáe muy lentamente mientras que en otras la velocidad de reducción es más rápida. Los fabricantes de lámparas proporcionan valores, en sus publicaciones, de la variación luminosa con el tiempo. Los siguientes son valores promedio que se sugieren con base a pruebas de laboratorio y en la práctica.

FACTOR DE MANTENIMIENTO RECOMENDABLE

Incandescente	0.75
Cuarzo-Yodo	0.85
Mercurio, Claro y de Color corregido:	
175 a 700 W.	0.75
1000 W.	0.70
Mercurio, Blanco Calido:	
175 W a 700 W.	0.70
1000 W.	0.65
Aditivo Metálico	0.65
Sodio de Alta Presión	0.75

b) Altura de montaje y separación entre postes:

Después de haber determinado el número de reflectores necesarios, el siguiente paso será determinar la altura y arreglo del montaje, así como el número de postes y su colocación.

En las figuras de la No. 4 a la No. 15 se sugieren localizaciones de postes para iluminación de exteriores.

Para la iluminación de superficies verticales se recomienda utilizar, como regla general lo indicado en las figuras 16 y 17.

Para obtener una instalación económica, deberá utilizarse el menor número de unidades posible, de la mayor potencia disponible, que produzcan una distribución uniforme y una cobertura eficiente.

Para asegurar distribución y cobertura, deberán verificarse los resultados en varios puntos del área, obteniendo el valor del nivel luminoso, por medio de las gráficas de distribución fotométrica del reflector, proporcionadas por el fabricante.

AREAS GENERALES

En los arreglos o distribución de postes y reflectores de las figuras No. 4 a 15, las separaciones entre postes se recomiendan como máximos. (con base en una altura de montaje "H" dada), inversamente, si se fija como obligatoria una separación entre postes, la altura de montaje "H" resultante, debe considerarse como mínima recomendable.

Ejemplo: Suponiendo una distribución sencilla como la de la figura No. 5, para iluminar una superficie de 40 X 36 Mt., encontrar la altura de montaje "H" adecuada.

Puesto que la mayor dimensión es 40 Mt. y deberá ser 4 veces mayor que "H" entonces H igual a 10 Mt. como mínimo o sea utilizar el poste estandard de longitud inmediata mayor.

Mientras mayor número de postes se utilicen, se obtendrá mayor uniformidad, visibilidad y reducción de sombras. Por ejemplo, aunque el número de reflectores en las figuras 7 y 8 es el mismo, la iluminación a base de la distribución de la figura No. 7 es mejor, pero en cambio si-

la decisión es por costo, será la decisión a favor de la Fig. # 8, ya que la # 7 requiere mayor número de postes y una instalación eléctrica de mayor costo.

Desde luego que se pueden utilizar mayores espaciamientos y menores alturas de montaje que las recomendadas en las figuras No. 4 a 15, pero a cambio de una menor uniformidad en el nivel luminoso, sombras más grandes y reducción de la visibilidad. Donde esos factores no se consideran de primera importancia. El espaciamiento entre postes puede incrementarse a 6 veces la altura de montaje. El número mínimo de reflectores en un poste, para obtener un haz con buena cobertura es de uno de las esquinas, dos en instalaciones perimetrales y cuatro en postes centrales o dentro del área.

Superficies Verticales.-

Un procedimiento estandard para luminación de superficies verticales, tales como fachadas, etc., a base de reflectores de haz abierto, es el que se presenta en las figuras 16 y 17, los reflectores deben colocarse con una separación de la superficie, no menor de 0.25 veces la altura "D" de la superficie y una separación entre reflectores de 2 veces "D".

SYLVANIA

High Pressure Sodium Lamps

Technical Information

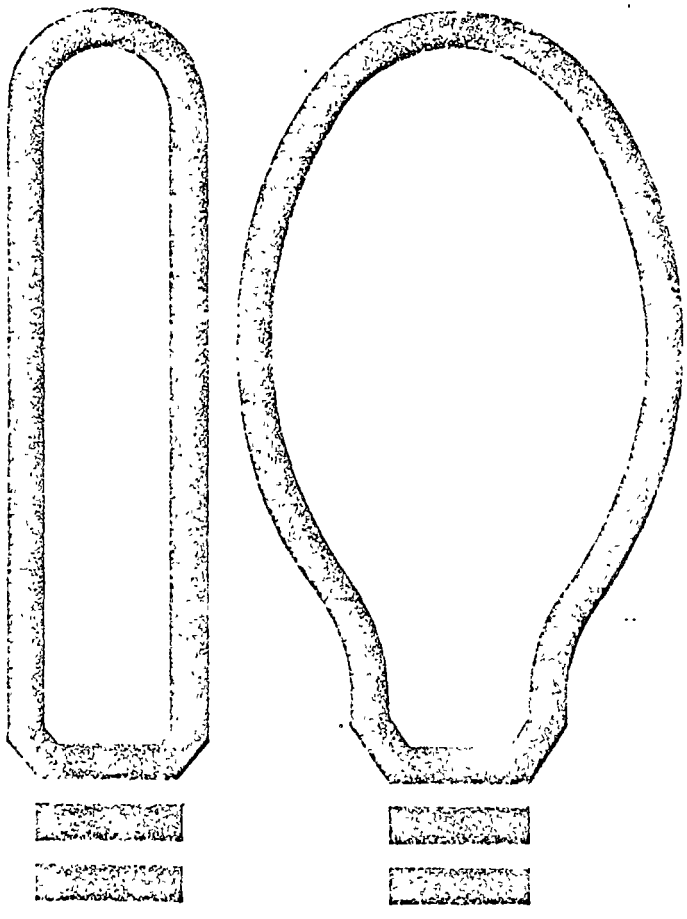


TABLE OF CONTENTS

PRINCIPLES OF OPERATION 1

LAMP TECHNOLOGY 4

LAMP CONSTRUCTION 5
- Arc Tube 5
- Electrodes 6
- Seals 6
- Gas Filling 8
- Assembly Frame 8
- Outer Bulb 9
- Cap 10
- Getter 10

LAMP TYPES 10
- Ellipsoidal with Diffusing Finish - 250W and 400W .. 10
- Clear Tubular Lamps - 250W and 400W 11
- Reflector Lamps - 250W 11

APPLICATIONS 12

ILLUMINATION CHARACTERISTICS 12
- Light Output and Efficacy 12
- Spectral Energy Distribution 13
- CIE Chromaticity 14
- Colour Temperature 14
- Lumen Maintenance 15
- Lighting Design Lumens 15
- Polar Distribution 16

ELECTRICAL CHARACTERISTICS 17
- Reference Data 17
- Interchangeability 17
- Starting Characteristics 17
- Re-Starting 19

OPERATING CONDITIONS 19
- Lamp Life 19
- Low Temperature 19
- High Temperature 19
- Voltage Variation 20
- Vibration 21
- Operating Position 21
- Unprotected Lamps 22

DIMENSIONS 22

OPERATING CIRCUITS AND CONTROL GEAR 23
- Circuit 23
- Ballasts 25
- Electronic Starters 25
- Power Factor Correction 26

INSTALLATION 27
- Cable 27
- Cable Lengths 27
- Insulation Precautions 27

FITTINGS 28

LAMP DISPOSAL 28

"SOLARARC" HIGH PRESSURE SODIUM LAMPS

PRINCIPLES OF OPERATION

It had been known for many years that operating a sodium discharge at high pressure could provide a lamp of high efficacy and good colour quality. However, complex technological problems had to be overcome. Space research and developments in lamp construction have recently made it possible to produce High Pressure Sodium Lamps in practice.

Low Pressure Sodium Lamp operating characteristics are carefully chosen to ensure optimum resonance radiation ('D' Line). The resulting yellow-coloured light characteristic of Low Pressure Sodium Lamps is almost monochromatic and stems from a double line at a wavelength of 589 nm and 589.6 nm. The low pressure sodium radiation is shown in Fig. 1.

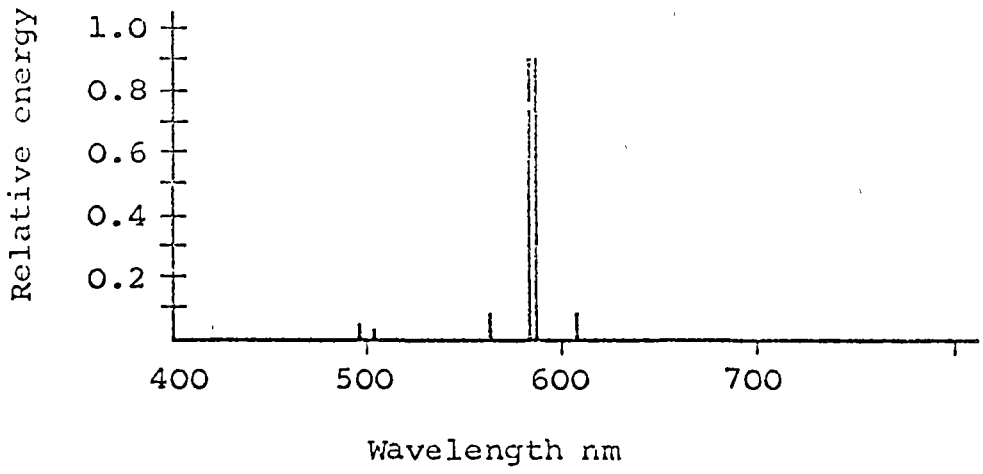
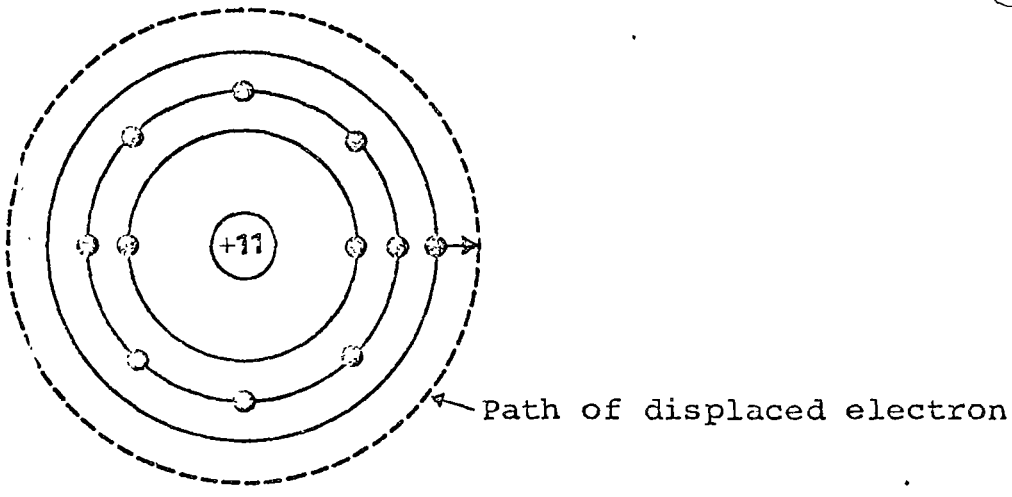
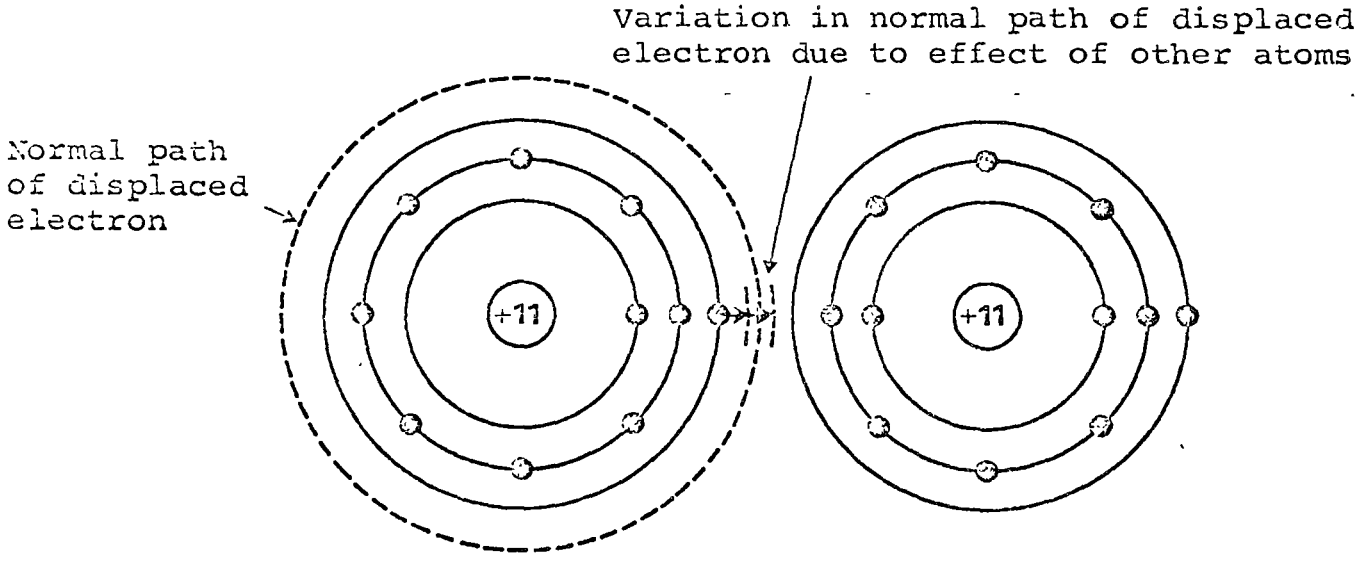


Fig. 1 Spectral Energy Distribution of Low Pressure Sodium Discharge



(a) Excited Atom in Low Pressure Sodium Lamp



(b) Excited Atoms in High Pressure Sodium Lamp

Fig. 2

Low Pressure Sodium Lamps are operated at a vapour pressure of 1/152.000 of an atmosphere. At this pressure the resonance radiation is generated at high efficacy. An important aspect of resonance radiation is that it is readily absorbed by neutral atoms. The number of neutral atoms present in the discharge depends largely upon the vapour pressure. Close control of this pressure is, therefore, critical; any rise would result in most of the radiation being absorbed.

In High Pressure Sodium Lamps, as the vapour pressure increases, other secondary processes become operative. As illustrated in Fig. 2 the density of sodium atoms rises to a point where individual atoms cease to have independent electrical fields. Some electrons in excited atoms are unable to assume their correct excited state owing to the effect of nuclei in close proximity. The radiation from these electrons comprises of wavelengths varying from the resonance radiation by amounts depending upon the sodium vapour pressure.

The broadening of the 'D' Line which occurs as a result of this process is shown in Fig. 3 a). This radiation is subsequently absorbed by other sodium atoms and then re-radiated in other wavelengths which depend upon the vapour pressure. The total radiation which results covers a wide spectral band over the range of visible wavelengths. The development of the spectral energy distribution in a high pressure sodium discharge is shown in Fig. 3 b).

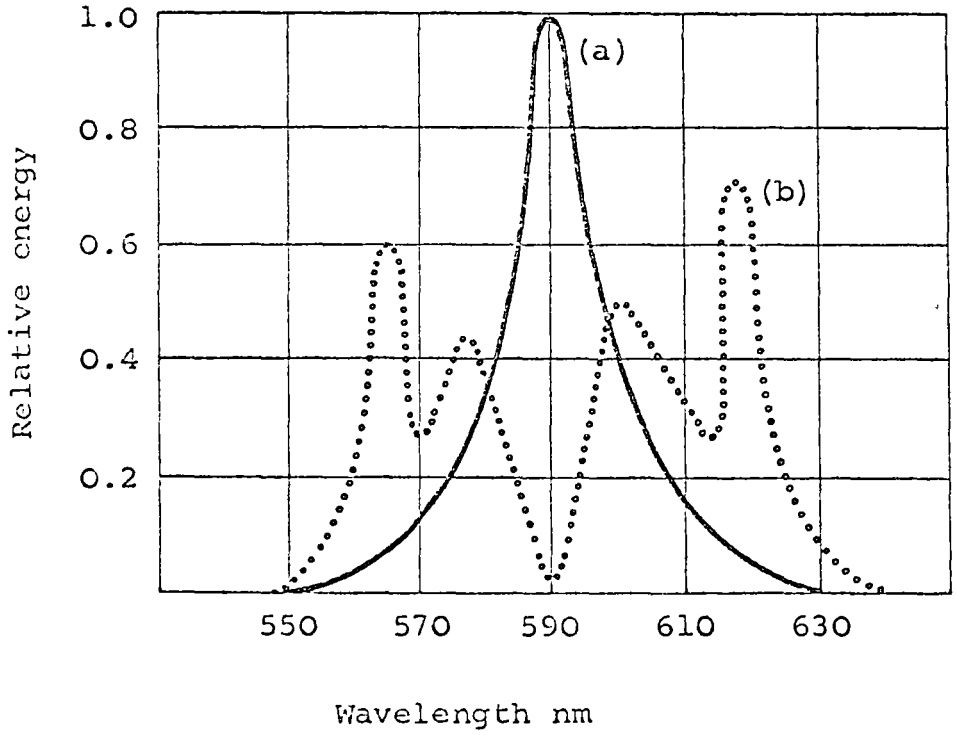


Fig. 3 Development of Spectral Energy Distri-

LAMP TECHNOLOGY

Sodium vapour at high pressure and temperature is so corrosive that conventional arc tube materials, such as glass or quartz (fused silica), are very rapidly attacked and rendered unuseable. The successful development of High Pressure Sodium Lamps was, therefore, contingent on the development of entirely new lamp-making materials. In addition to being resistant to the chemical attacks of sodium, an arc tube material with minimum visible radiation absorption properties and suitability in lamp-manufacturing processes was required.

In the event, scientists working on space projects developed a high-purity aluminium oxide ceramic which met these requirements, making possible in practice the operation of a sodium discharge at high pressure.

The number of neutral atoms and, therefore, absorption losses are limited to the minimum by keeping the bore of the ceramic arc tube small. As a result, the tube wall and the very hot central core of the sodium discharge are in close proximity, raising the arc tube temperature to some 1300°C.

For optimum efficacy, the voltage gradient along the arc tube is kept at around 10 volts per centimetre.

Typically, the electrical characteristics of a lamp with sodium content only would have low arc voltage and high current features, calling for undesirably large and costly control gear. This is effectively counteracted by adding a controlled amount of mercury to the discharge, which raises the arc voltage and reduces the current to a level where economical control gear can be used. In addition, the presence of mercury in the discharge has a beneficial effect on lamp run-up characteristics and colour.

To maintain stable lamp operating characteristics, the vapour pressure of the sodium-mercury amalgam must be very accurately controlled. This is effectively achieved by inserting an excess amount of amalgam into the arc tube and locating the cold spot at a point where its temperature corresponds to a sodium vapour pressure of some 250 mm above that of the amalgam. The temperature of the arc tube is highest at the centre and decreases towards the seals, to the point where it interacts with the heat conducted away by the electrode. This point is the cold spot of the arc tube, which in Sylvania SOLARARC Lamps is opposite the centre of the electrode. The actual positioning of the cold spot is controlled by the design features of the electrode.

The temperature of the cold spot is critical to within a few degrees centigrade and to maintain the optimum value, the arc tube is mounted inside an evacuated outer jacket.

LAMP CONSTRUCTION

Arc Tube

The need for advanced arc tube materials, able to withstand the severe chemical attacks of sodium at high pressure, is described in "Lamp Technology". The aluminium oxide ceramic used in SOLARARC High Pressure Sodium Lamps is in polycrystalline form, each crystal having a diameter of about 30 microns. Individual crystals act as refractors with the effect that the arc tube is slightly diffusive. The transmission of visible radiation is as high as 93%.

The arc tube has a diameter of about 10 mm, with a wall thickness of around 0.75 mm. This results in a mechanically strong tube, well-suited to withstand the thermal stresses caused by the heating and cooling cycles of the lamp.

Electrodes

The electrodes located at each end of the arc tube provide the electrical connections and electron emission required for the discharge. The construction of these electrodes is of considerable importance, as it affects the life of the lamp. In SOLARARC Lamps, a tungsten rod core is surrounded by tungsten coils in which an emissive compound is embedded.

Seals

A major technological factor affecting lamp life and lumen maintenance is the construction of the seals positioning the electrodes at the ends of the arc tube.

Unlike the glass or quartz commonly used in lamp manufacturing, the aluminium oxide ceramic material used for the arc tube in High Pressure Sodium Lamps has a very narrow viscous range between the solid and the liquid states. When heated sufficiently, the ceramic rapidly changes from solid to liquid (rather like the change from ice to water), destroying the structure of the alumina crystals in the process. This renders the ceramic liable to attack by the metal vapour in the discharge and leads to cracking of the arc tube. The conventional lamp manufacturing technique of heating and pressing the discharge tube ends to form seals is, therefore, impracticable and a new process had to be developed.

The construction of the seals in Sylvania SOLARARC Lamps is shown in Fig. 4.

Niobium, one of the few refractory metals with a coefficient of thermal expansion similar to that of the alumina ceramic, is being utilized. The electrode is brazed to a niobium tube, through which the arc tube is later exhausted. The niobium tube, in turn, is brazed to a niobium disc whose particular "top hat" shape protects the seal from "arc back" on starting. Brazing, in preference to spot welding, ensures a secure bond between the metal components.

The electrode and niobium end disc seal assembly is then attached to the ceramic arc tube by means of a specially-developed metal braze which, when heated, firmly bonds the disc to the ceramic. The alloy is resistant to attack by

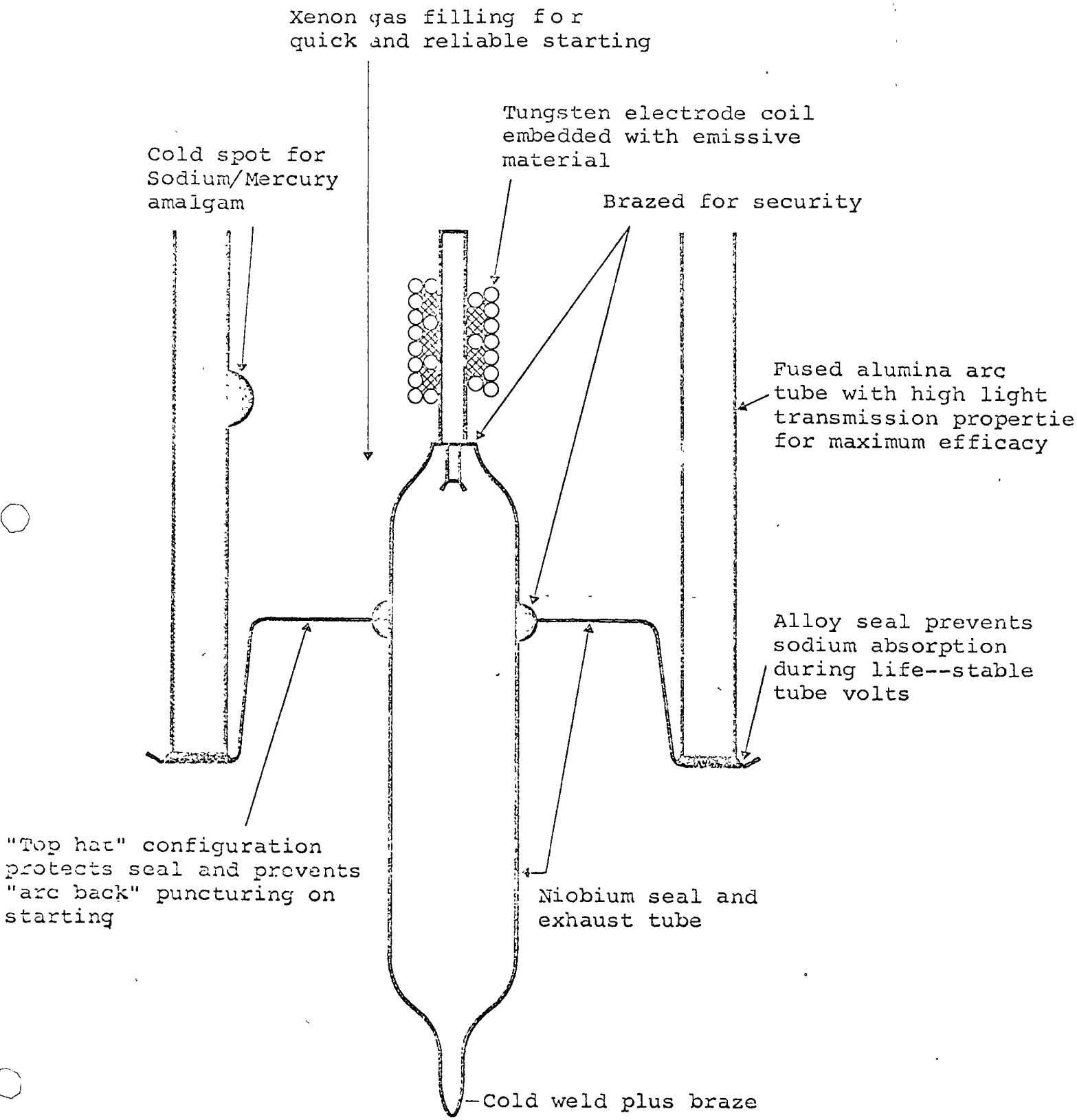


Fig. 4 Section of Seal and Electrode Construction

sodium and mercury vapour. It does not absorb sodium during the life of the lamp, assisting in the stabilization of the arc voltage.

The niobium exhaust tube is mechanically closed after processing and then welded and brazed to form a permanent gas-tight seal.

Gas Filling

In addition to the sodium-mercury amalgam filling described in "Lamp Technology", a quantity of xenon gas at low pressure is introduced into the arc tube to facilitate lamp starting. The pressure of the xenon gas is critical in ensuring optimum lamp performance. It must be low enough to permit an arc to be struck at the voltage available, but sufficiently high to prevent an arc from striking from any point other than the emissive material on the electrode.

Assembly Frame

The assembly frame holds and optically aligns the arc tube within the outer bulb of the lamp. Its strength can significantly affect the overall life of a lamp, as a mechanical failure may render it inoperative. In Sylvania SOLARARC Lamps, special attention has been paid to the design of a sturdy frame which in itself will withstand the shocks and vibrations often encountered in lighting installations and which will avoid the transfer of vibrations to the arc tube.

As illustrated in Fig. 5, the frame takes the form of a complete rectangle. At one end, a metal clip interlocks with an indentation in the outer glass bulb of the lamp, providing mechanical strength and ensuring accurate optical alignment of the arc tube. The arc tube itself is firmly held in place by a rigid support. At the other end, any effects of vibration are absorbed by a floating support and flexible braid connection. The frame is nickel-plated for good light reflection and the number of welded connections is kept to a minimum.

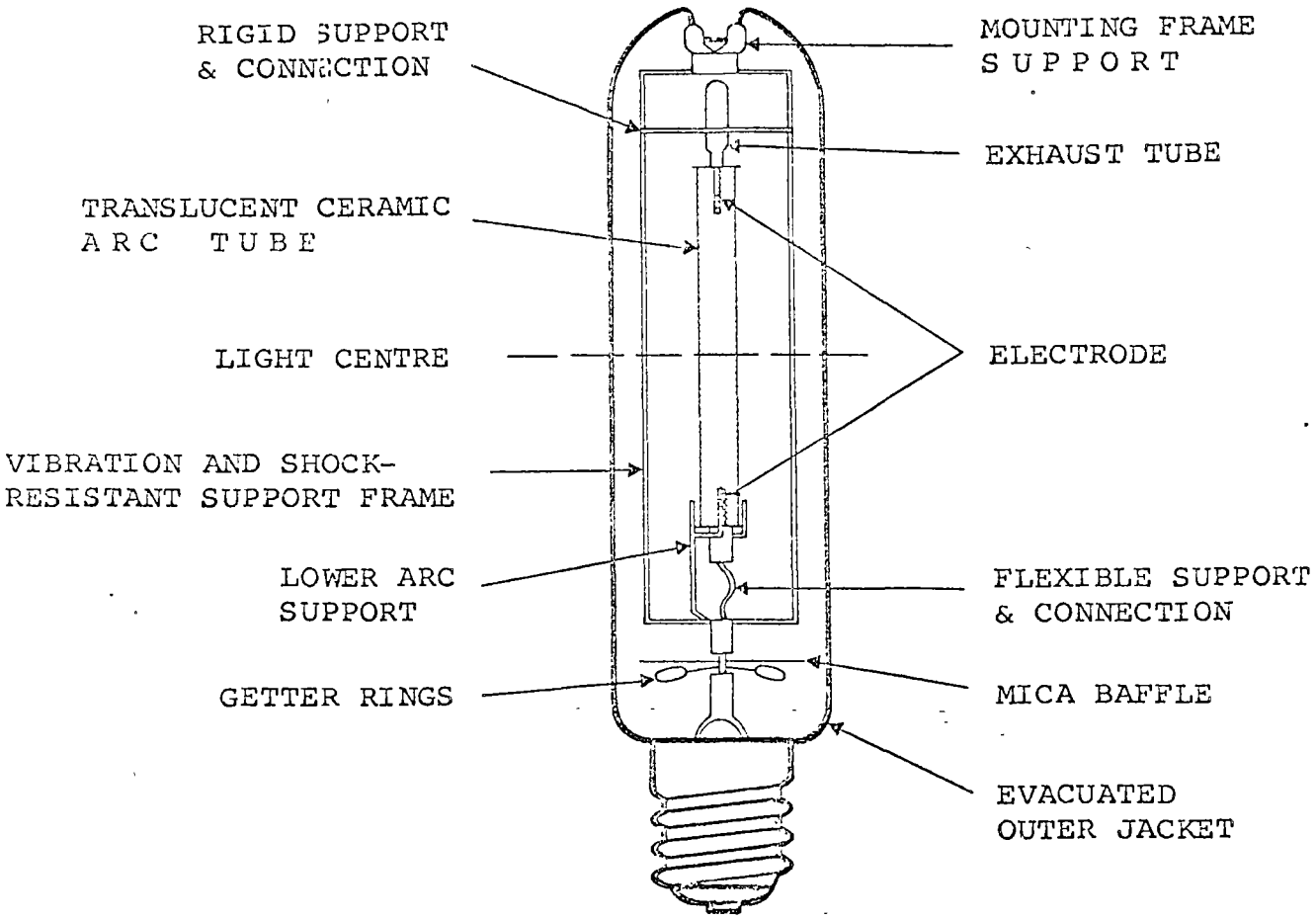


Fig. 5 Construction of SOLARARC Lamp

Outer Bulb

To obtain maximum light output from a High Pressure Sodium Lamp, the arc tube must be maintained at optimum temperature. This is effectively achieved by mounting the arc tube inside an evacuated outer bulb. These bulbs come in a variety of shapes and finishes and are described in "Lamp Types".

The material used for outer bulbs is borosilicate glass, which is resistant to thermal shock. This prevents burning lamps from being shattered if splashed with water.

Cap

Sylvania SOLARARC Lamps are fitted with Goliath Edison Screw Caps (E40). To eliminate the risk of corrosion, which might occur in arduous operating conditions, the caps are nickel-plated. This ensures easy lamp removal from the holder, after thousands of burning hours.

Getter

The maintenance of a high vacuum within the outer bulb is of great importance to optimum lamp performance. Any gases released from the bulb, arc tube or metal components during the life of the lamp could adversely affect its operation and must be absorbed by the getter. The dark film on the inner surface of the outer bulb, just above the cap, is a layer of barium which removes any contamination of the lamp atmosphere.

LAMP TYPES

Ellipsoidal Lamps with Diffusing Finish - 250W and 400W

The ellipsoidal version is a general purpose lamp, primarily for use in fittings with conventional optical systems. The outer bulb has a diffusing internal coating of titania which makes the lamp optically compatible with mercury lamps. Frequently used in streetlighting installations, ellipsoidal lamps are equally suitable for industrial and commercial lighting (Fig. 6).

Clear Tubular Lamps - 250W and 400W

The compact linear light source of the tubular lamp lends itself to accurate optical control. The small dimensions of the arc tube favour the design of relatively small and economical fittings. Incorporated in fittings specifically designed for linear light sources, they are often used for floodlighting, in high-bay industrial installations and streetlighting (Fig. 7).

Reflector Lamps - 250W

The deterioration in levels of illumination in many industrial installations due to dust or soot settling on the lamps and fittings has been overcome by the use of a specially-shaped outer bulb, with an internal reflective coating (Fig. 8).

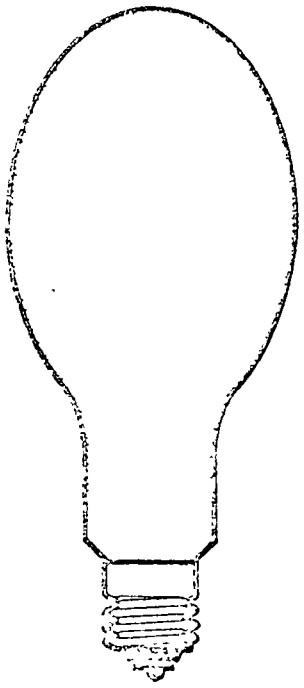


Fig. 6 Ellipsoidal Diffusing Lamp

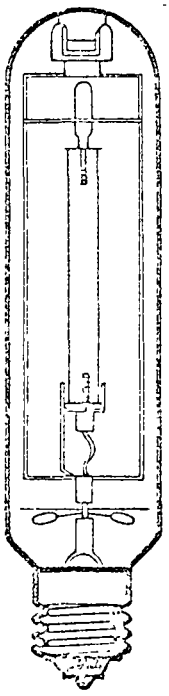


Fig. 7 Clear Tubular Lamp

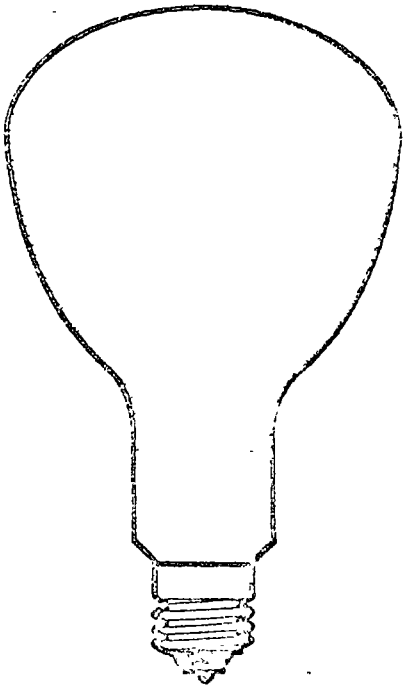


Fig. 8 Reflector Lamp

APPLICATIONS

The excellent colour rendering properties of Sylvania SOLARARC Lamps and their favourable operating economics make them suitable for most types of lighting installations, such as:-

- -- Motorway and Streetlighting
- -- Shopping Area and Pedestrian Precinct Lighting
- -- High Mast Lighting of Multi-road Intersections
- -- Area Floodlighting (Car Parks, Railway Yards, Docks, etc.)
- -- Building Site Lighting
- -- Floodlighting of Buildings (Churches, Hotels, Castles, Monuments, etc.)
- -- Football Stadium Floodlighting
- -- Indoor Sports Arena Lighting
- -- Interior Lighting of Churches, Railway Stations, Airports, etc.
- -- Industrial Lighting
- -- Commercial Lighting
- -- Cold Store Lighting.

ILLUMINATION CHARACTERISTICS

Light Output and Efficacy

One of the most important advantages of SOLARARC Lamps is their very high light output and efficacy. The 400W clear tubular lamp delivers 47,000 lumens at an efficacy of 118 lm/W. The light outputs and efficacies of the range of SOLARARC Lamps are given in the following table. These figures are measured after 100 burning hours, when the lamps are fully stabilized.

Overall efficacy figures, considering not only the lamp wattage but also the small loss incurred in the ballast, are shown as well. These values should be considered typical only, as the actual ballast losses vary with their design features.

Light Output and Efficacy

Lamp Wattage	Bulb Finish	Efficacy Lumens/Watt Lamp Only	Efficacy Lumens/Watt Lamp & Gear	Light Output Lumens
250	Clear	102.0	92.0	25,500
250	Diffused	92.0	83.0	23,000
250	Reflector	86.0	77.5	21,500
400	Clear	117.5	106.0	47,000
400	Diffused	107.5	97.0	43,000

Spectral Energy Distribution

The spectral energy distribution curve, Fig. 9, illustrates the broad range of the spectrum covered by the radiations produced in the SOLARARC discharge, resulting in the pleasant golden white colour characteristic of SOLARARC Lamps.

The percentage luminosity of SOLARARC Lamps, in eight wavelength bands covering the visible spectrum, are shown in the following table.

Percent Luminosity

Band nm	380-420	420-440	440-460	460-510	510-560	560-610	610-660	660-670
%	0.0002	0.026	0.090	2.3	11.4	72.8	13.0	0.38

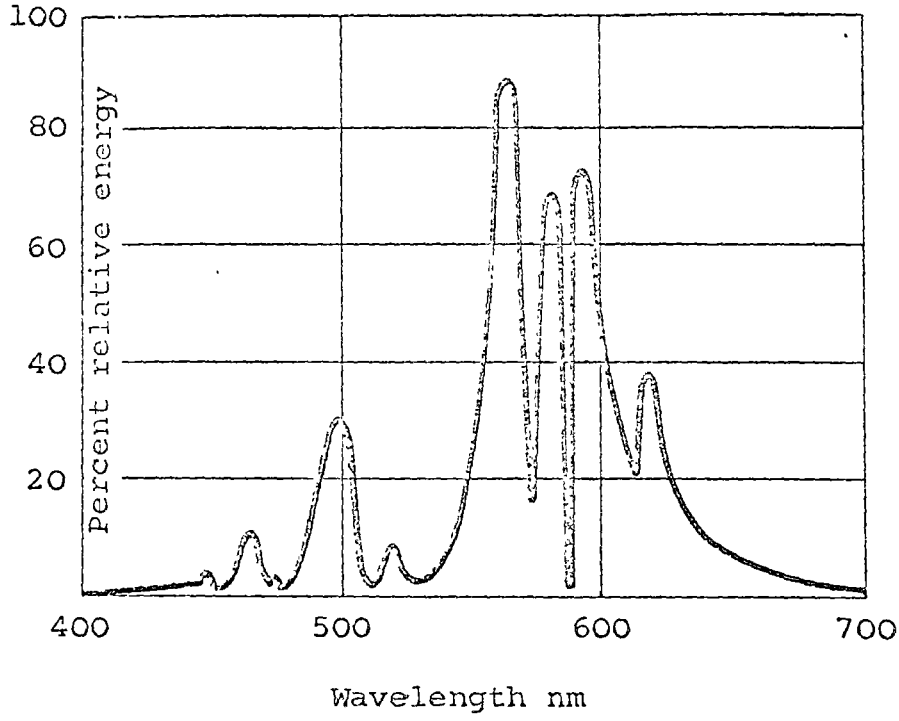


Fig. 9 Typical Spectral Energy Distribution Curve

CIE Chromaticity

The chromaticity coordinates of SOLARARC Lamps are about:-

x = .526 y = .418

Colour Temperature

The colour temperature of SOLARARC Lamps is approximately 2100°K.

Lumen Maintenance

The variations in light output during the life of SOLARARC Lamps are shown in Fig. 10.

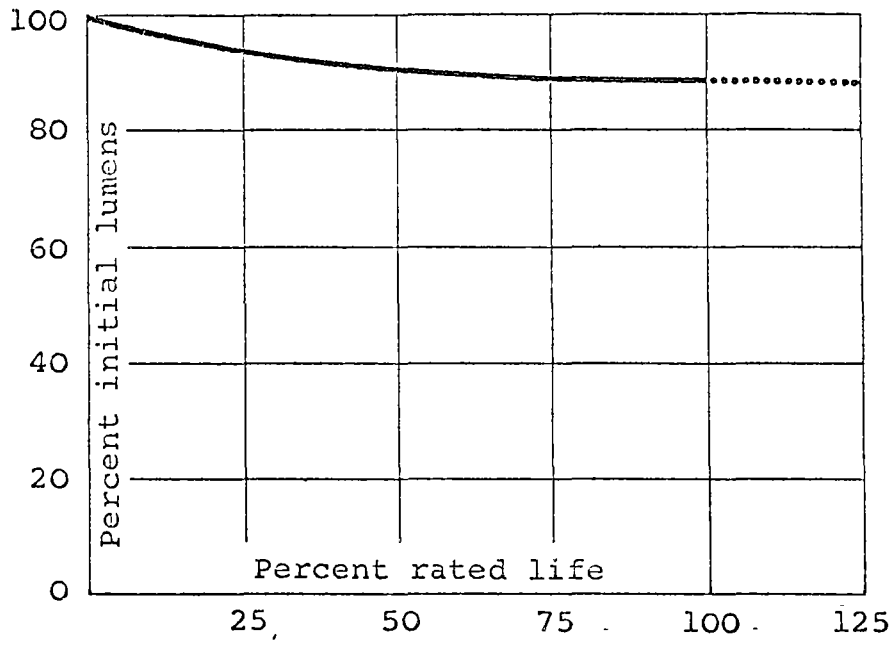


Fig. 10 Typical Lumen Maintenance Curve

Lighting Design Lumens

For the purposes of designing lighting schemes, the inherent fall in light output of the lamps during their life should be anticipated by basing calculations on an average lumen value. For SOLARARC Lamps, this "Lighting Design Lumen Output" rating, measured after 2,000 hours, and the equivalent efficacies of lamps alone and combined with typical control gear are given in the following table.

Lighting Design Lumens and Efficacy

Lamp Wattage	Bulb Finish	Efficacy Lumens/Watt Lamp Only	Efficacy Lumens/Watt Lamp & Gear	Light Output Lumens
250	Clear	98.0	88.0	24,500
250	Diffused	88.0	79.0	22,000
250	Reflector	82.0	74.0	20,500
400	Clear	112.5	101.5	45,000
400	Diffused	102.5	92.0	41,000

Polar Distribution

The SOLARARC Reflector Lamp gives a closely-controlled polar distribution, similar to that of a standard lamp with a reflector fitting. The light distribution and comparative intensity of a 250W SOLARARC Reflector and a 400W Mercury Reflector are shown in Fig. 11.

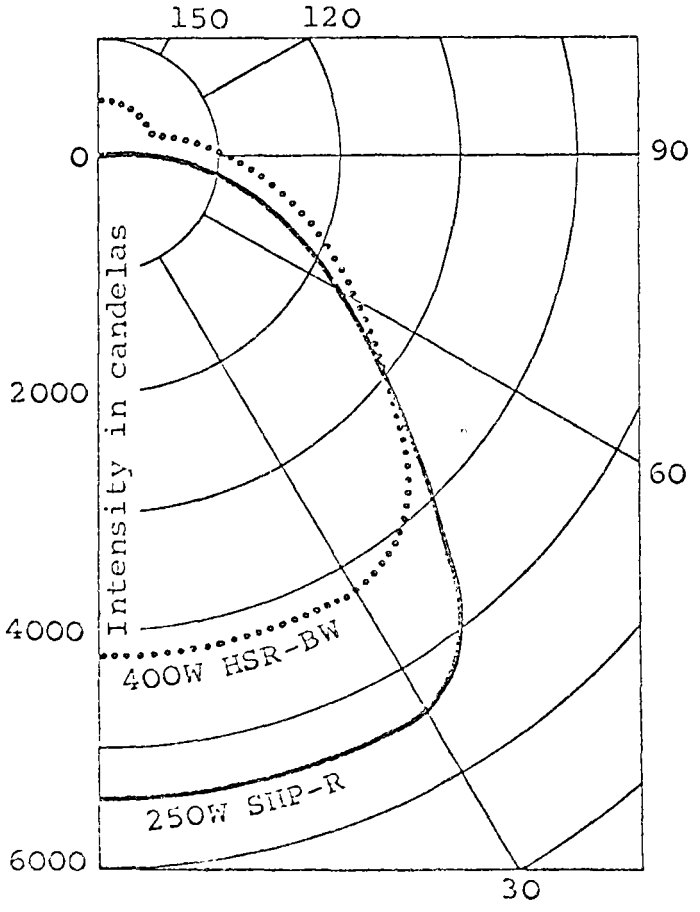


Fig. 11 Polar Intensity Curve

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Reference Data

SOLARARC Lamps of the same wattage have identical electrical characteristics. Typical reference data are listed in the following table. Starting current measurements are taken some ten seconds after the striking of the arc. The performance indicated refers to lamps operating in conjunction with suitable reference control gear, including power factor correction, installed in typical fittings.

Reference Data

	Mains			Arc Tube		
Lamp Wattage	Voltage nom	Starting Current Amps	Running Current Amps	Voltage	Starting Current Amps	Running Current Amps
250	220	2.0	1.5	100 ± 15	3.6	3.0
400	220	3.6	2.4	105 ± 15	6.0	4.45

Interchangeability

To safeguard the user's right of choice, Sylvania SOLARARC Lamps incorporate design characteristics which make them interchangeable with other leading European manufacturers' High Pressure Sodium Lamps.

Starting Characteristics

SOLARARC Lamps are cold-started and require a voltage to the order of 1000V to initiate an arc. No starting aids, such as auxiliary cathodes or electrode preheating are incorporated. The normal mains voltage is not sufficiently high to start a lamp and an external device which generates pulses of sufficient voltage and energy is employed to strike the initial arc. This device is described in "Electronic Starters". Once a lamp has been started, the mains supply is adequate to maintain the arc.

During run-up, several changes in the colour of the light can be observed. Initially, there is a very dim, bluish-white glow produced by the ionized xenon. This is quickly replaced by a typical blue, brighter, mercury light. With the increase in brightness, there is a change to monochromatic yellow, which is characteristic of sodium at low pressure and temperature. As the pressure in the arc tube increases, the lamp comes to full brightness with a golden white light. SOLARARC lamps deliver an acceptable light output within two minutes from striking and 80% within four minutes. During this period, the arc tube voltage rises while the tube current diminishes. Typical starting characteristics are illustrated in Fig. 12.

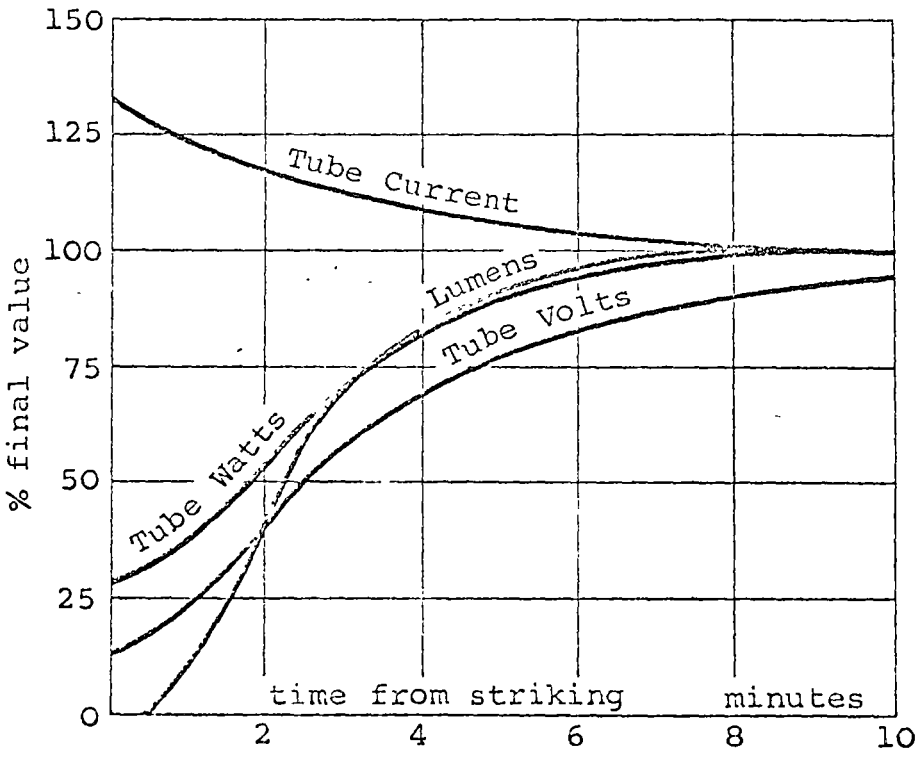


Fig. 12 Typical Starting Characteristics

Re-Starting

If switched off, SOLARARC Lamps cool rapidly and the internal pressure is quickly reduced to a level at which the arc strikes again. After a momentary interruption, the re-strike time is less than one minute.

OPERATING CONDITIONS

Lamp Life

Consistent with the advanced technology and design principles involved, Sylvania SOLARARC Lamps have extended average operating lives. The shape of the life expectancy curve is shown in Fig. 13.

Ultimate lamp failure usually results from de-activation. Actual lamp life depends on many factors, such as external circuit components and operating conditions.

The average rated life is the point at which some 50% of a large group of lamps, tested under controlled laboratory conditions, remain burning.

Low Temperature

Low ambient temperature conditions have no adverse effect on SOLARARC Lamps. The lamps are very suitable for cold store conditions where the temperatures may be as low as -40°C.

High Temperature

Provided the ambient temperature in which SOLARARC Lamps are operated is not over 100°C, the performance of the lamps will not be materially affected.

Lamp operation may, however, be influenced by heat re-radiated back from the fitting. This aspect is described under "Fittings".

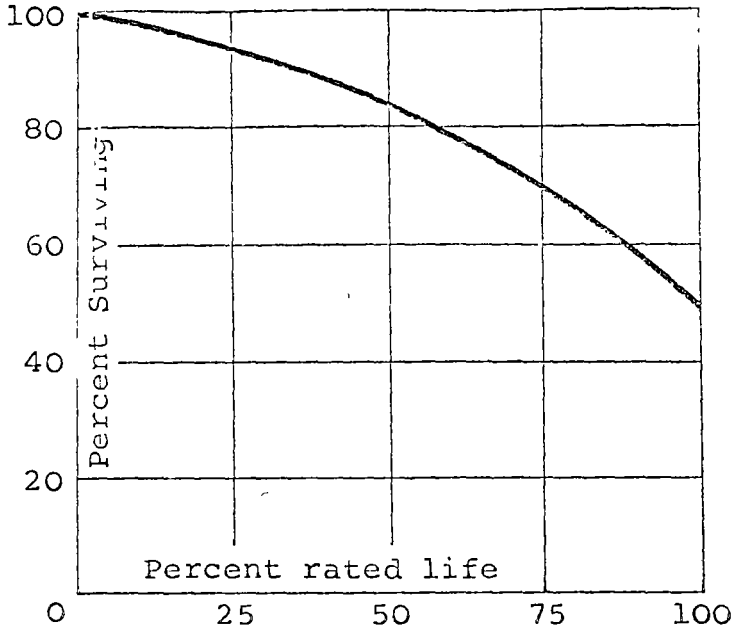


Fig. 13 Typical Life Characteristics

Voltage Variation

SOLARARC Lamps are designed for operation on the standard European supply voltages in the 220-240V range. Mains voltages below 220V nominal are not suitable, but the lamps will function within the normal variations of this figure and will usually accept a drop of 40V provided the actual voltage does not fall below 200V.

High mains voltage conditions exceeding normal variations may cause a lamp to "overwatt" and eventually extinguish. It is important that control gear tappings are adjusted to the actual mains voltage.

The effect on lamp characteristics caused by small variations in mains voltage is shown in Fig. 14.

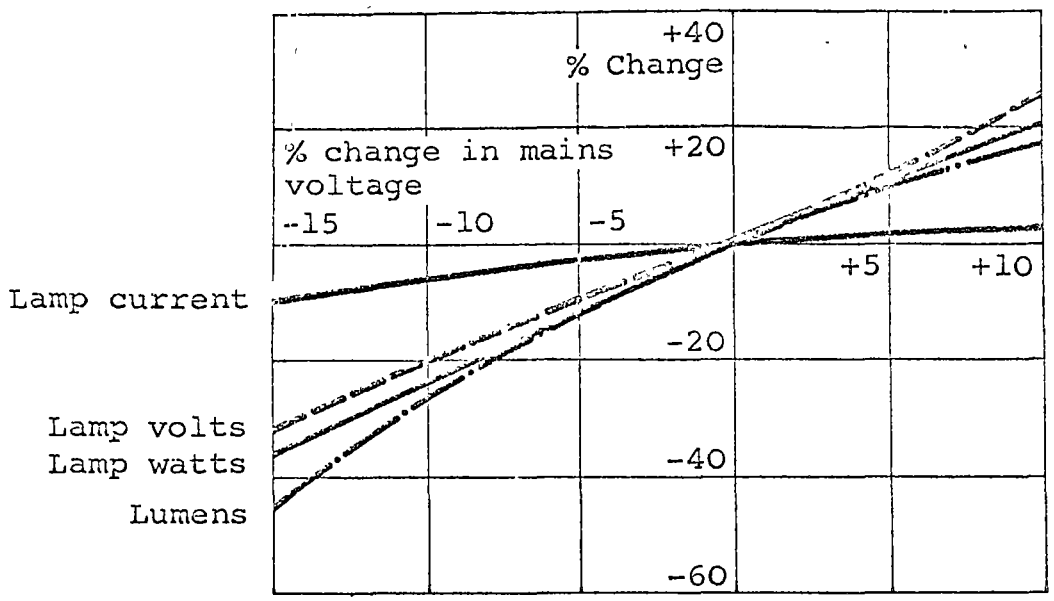


Fig. 14 Effect of Mains Voltage Variations

Vibration

The mechanical design of the frame assembly and arc tube support is the key to SOLARARC's extraordinary capability to operate in arduous conditions of vibration. Flexible leads at one end of the arc tube prevent vibrations from being transmitted to the tube.

Sodium from the niobium tube reservoir, which is located in the arc tube end furthest away from the lamp cap, must not be allowed to get into the arc stream. This could conceivably occur in conditions of exceptional vibration unless prevented by operating the lamps in the cap up position.

Operating Position

Generally, SOLARARC Lamps may be operated in any position. However, as a precaution against sodium from the reservoir

entering the arc stream, operation in the positions indicated in the clear portion of the drawing in Fig. 15 is recommended, unless freedom from vibration can be assured.

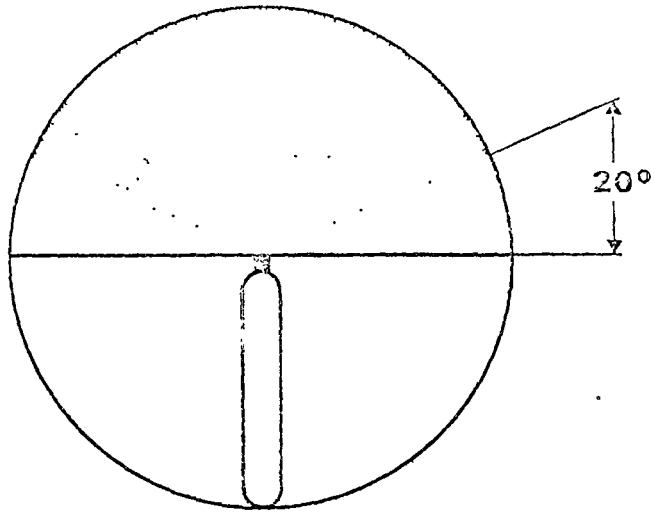


Fig. 15 Recommended Operating Position

Unprotected Lamps

The temperature of the outer bulb rises to some 300-320°C. Bulbs are made of borosilicate glass (hard glass) with a low thermal co-efficient of expansion and can withstand rain splashes. SOLARARC Lamps are, therefore, suitable for operation in open fittings.

DIMENSIONS

The nominal dimensions of SOLARARC Lamps are listed in the following table. As the arc tubes of the lamps with ellipsoidal bulbs are obscured by the diffusive coating, no light centre lengths have been indicated for these lamps.

SOLARARC Lamps are mechanically interchangeable with other leading European manufacturers' High Pressure Sodium Lamps.

Dimensions

Wattage	Diameter mm	Overall Length mm	Light Centre Length mm	Arc Length (Obj.) mm	Cap
250 Tubular	51±2	252±5	158	75	E40
250 Ellipsoidal	90±2	223±5	-	75	E40
250 Reflector	166±2	260	-	75	E40
400 Tubular	51±2	285±5	175	90	E40
400 Ellipsoidal	120±2	285±5	-	90	E40

OPERATING CIRCUITS AND CONTROL GEAR

Circuit

To ensure stable and reliable operation, SOLARARC Lamps must be operated in conjunction with suitable control gear.

The basic circuit for a SOLARARC Lamp, in common with other High Pressure Sodium Lamps, comprises of a series ballast, an external starter and a power factor correction capacitor. The circuit is shown in Fig. 16.

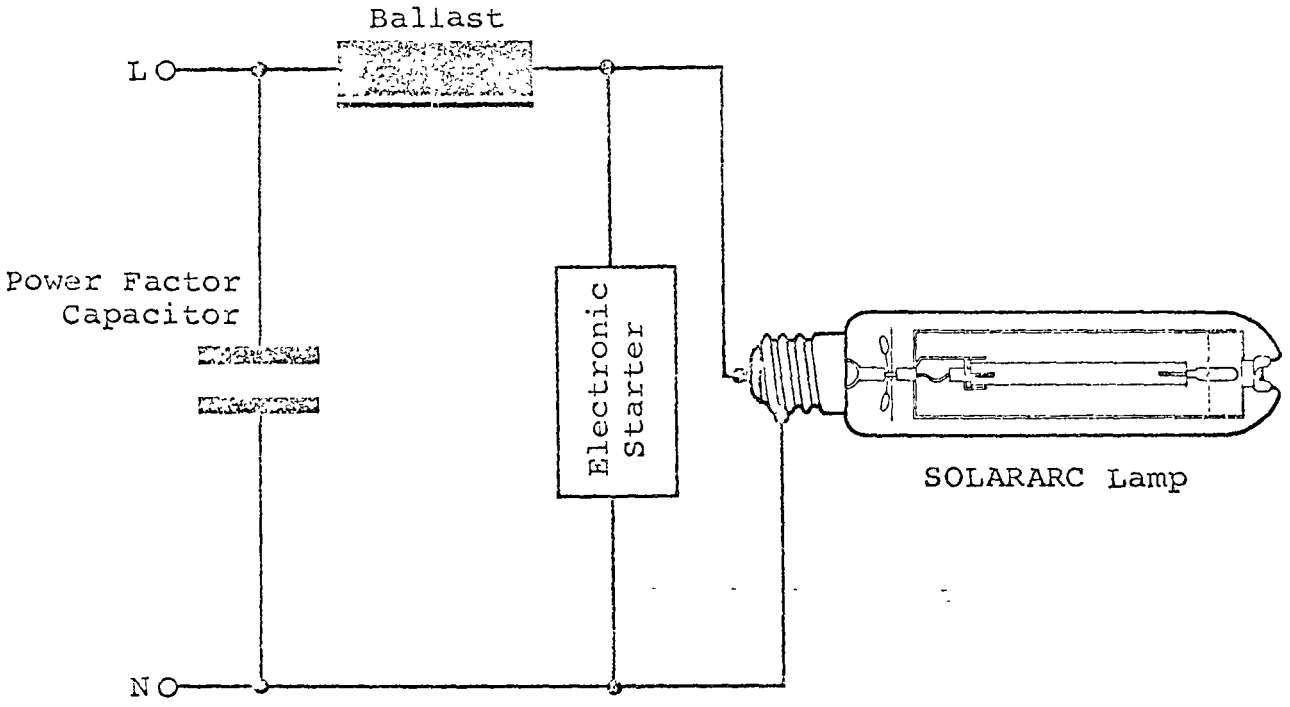


Fig. 16 Operating Circuit

Ballasts

High Pressure Sodium Lamps have a negative resistance characteristic. Lamp current, if not controlled, would rise until a lamp was destroyed. The ballast limits the lamp current to the correct value.

As the pulse delivered by the electronic starter can be as high as 4000V, adequate insulation is an important consideration in the design of suitable ballasts.

In many ballasts, a thermal cut-out is embedded in the windings to prevent over-heating. The cut-out automatically resets when the winding temperature has dropped to a safe value.

Electronic Starters

The Sylvania electronic starter, SHP-1, generates the high-voltage pulses of around 4000V required to strike the arc in SOLARARC Lamps. Employing advanced solid-state circuitry, short, high-voltage bursts of low energy are delivered at a rate of about fifteen pulses per second. This arrangement ensures maximum electrical safety and minimum radio interference.

The starter has the special feature of sensing a faulty or missing lamp. If no arc is struck within two to three minutes, the starter switches itself off automatically.

The SHP-1 will start both 250W and 400W lamps and is compatible with other manufacturers' High Pressure Sodium Lamps. Installation is extremely simple -- only two connections across the lamp are required -- obviating the need for tapped ballasts.

As illustrated in Fig. 17, the SHP-1 starter is supplied in a circular cross-section, aluminium can with two flying connecting leads. The dimensions are approximately 38 mm diameter by 114 mm height.

All electronic components are hermetically sealed into the can and the sturdy construction ensures extended reliable service.

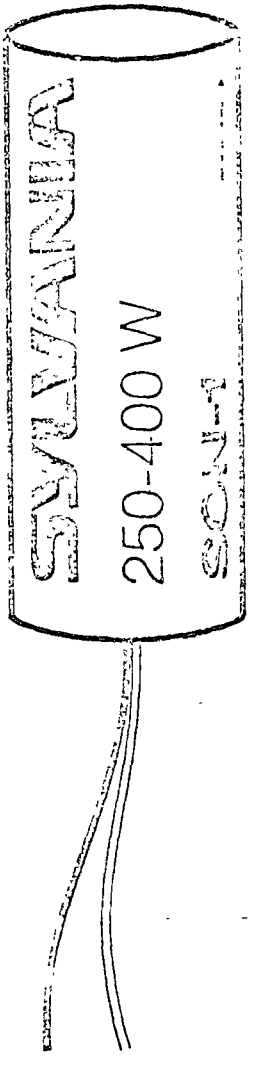


Fig. 17 Electronic Starter

Power Factor Correction

Lamp circuits using choke ballasts such as used with High Pressure Sodium Lamps have a lagging power factor. Unless corrected, this results in increased kVA demand and a need for larger-sized cabling. The power factor must, therefore, be improved to between 0.85 and 0.95 and this is achieved by connecting a suitable capacitor across the mains whose leading current partly compensates for the lagging current of the ballast. The capacitance required depends on the characteristics of the ballast and the final power factor.

INSTALLATION

Cable

In view of the high voltages associated with High Pressure Sodium Lamp circuits, particular attention should be paid to the insulation of the wiring. In some of the cables normally used with other discharge lamps, the insulation may break down when the high-voltage pulses from the electronic starter are applied.

The use of PVC (Polyvinyl Chloride) insulated cable is recommended. In conditions of high temperatures, deformation of the PVC insulation should be prevented with heat-resistant sheathing. Alternatively, special heat-resistant PVC cable may be used.

Cable Lengths

The main factor limiting the distance at which a High Pressure Sodium Lamp may be installed from the control gear is the capacitance of the cables. If cables are extended beyond the recommended length, the capacitance may absorb the starting pulses.

Conductors of appropriate diameter should be utilized to avoid unduly high voltage drops resulting from cable resistance.

Cable lengths up to 20 metres should be satisfactory and this could be extended further provided the conductors are well-separated from each other and from earthed objects.

Insulation Precautions

Care should be taken to ensure that all parts of the circuit are adequately insulated. Particular attention should be paid to:-

- -- cable connections which are close to a terminal fixing bolt:
- -- points of entry of cable into fittings:
- -- back of lamp holders.

FITTINGS

In general, the design of fittings for High Pressure Sodium Lamps follows normal principles, but extra precautions should be taken with respect to insulation.

An important aspect peculiar to High Pressure Sodium Lamps is that heat must not be allowed to be re-radiated back from the reflector onto the sodium reservoir at the end of the arc tube. Such radiation has the effect of raising the sodium vapour pressure in the lamp which, in turn, causes the lamp wattage to increase. This will further raise the temperature of the arc and, therefore, the vapour pressure. Cycling of this nature will continue until the lamp becomes unstable and extinguishes. On cooling down, the lamp will re-strike and go through the same process.

Heat radiation from specific parts of the reflector may be eliminated by cutting away the responsible portion or by rendering the surface non-reflective.

LAMP DISPOSAL

There are few hazards associated with the disposal of SOLARARC Lamps and the prevailing codes of practice and regulations should be adhered to.

The outer bulb, being under vacuum, should be broken by an operator wearing protective goggles and gloves. In the absence of other instructions, a simple procedure for lamp disposal is to put it into a box and pierce the glass just above the cap.

The arc tube and assembly contain traces of metals which may be classed as pollutants.

The information given is typical and must not be considered a guarantee of individual performance and/or characteristics.

57 Ln

GTE SYLVANIA Sales and Service

BELGIUM	GTE Sylvania N.V. Frans Timmermansstraat 119, 1730 Zellik Telephone No. 02/65 50 00
FRANCE	GTE Sylvania S.a.r.l. Zone Industrielle, P.O. Box 11, 95380 Louvres Telephone No. (1) 471 92 15
GERMANY	GTE Sylvania Licht G.m.b.H. Graf-Zeppelin-Str. 9-11, Postfach 1740 8520 Erlangen-Frauenaurach Telephone No. (09131) 6141
ITALY	GTE Sylvania Via Alserio 5, 20159 Milan Telephone No. 688-6058 or 608-5913
NETHERLANDS	GTE Sylvania N.V. Riethil 7, Breda Telephone No. 01600-75450
NORWAY	GTE Sylvania A/S Loerenveien 46, Box 103, Okern, Oslo 5 Telephone No. 153192
SPAIN	GTE Electronica, S.A. GTE Sylvania Calle de Recoletos 13, Madrid 1 Telephone No. 275 96 01
SWEDEN	GTE Sylvania AB Vaestberga Allé 1A, Postboks 42121 S-126 12 Stockholm 42 Telephone No. 45 26 90
SWITZERLAND	GTE Sylvania S.A. 21, rue du Rhône, P.O. Box 392, 1211 Geneva 3 Telephone No. 21 25 11

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE
INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION
INTERNATIONALE BELEUCHTUNGSKOMMISSION

RECOMMANDATIONS INTERNATIONALES POUR L'ÉCLAIRAGE DES VOIES PUBLIQUES

INTERNATIONAL RECOMMENDATIONS FOR THE LIGHTING OF PUBLIC THOROUGHFARES

INTERNATIONALE EMPFEHLUNGEN FÜR DIE ÖFFENTLICHE BELEUCHTUNG

BUREAU CENTRAL DE LA C. I. E., 57, RUE CUVIER, PARIS 5, FRANCE

INTERNATIONAL RECOMMENDATIONS FOR THE LIGHTING OF PUBLIC THOROUGHFARES

APPROVED TRANSLATION

SUMMARY

1. Introduction : purpose of recommendations.
2. Aims of public lighting.
3. Principles of vision in public lighting.
    - 3.1. Requirements for driving.
    - 3.2. Visual field of driver.
    - 3.3. Visibility.
    - 3.4. Glare and visual comfort.
4. Criteria of quality of public lighting.
    - 4.1. Level of luminance.
    - 4.2. Uniformity of luminance.
    - 4.3. Limitation of glare.
5. Technique of public lighting.
    - 5.1. Light sources.
    - 5.2. Lanterns.
    - 5.3. Road surfaces.
    - 5.4. Siting of lanterns.
6. Recommendations.
    - 6.1. Classification of lighting installations.
    - 6.2. Recommended values.
7. Achievement of Recommended Values.
8. General recommendations.
    - 8.1. Installation.
    - 8.2. Aesthetics.

Appendix 1. — Definition and classification of lanterns.

Appendix 2. — Notes on Measurement of Luminance.

1. INTRODUCTION.

PURPOSE OF RECOMMENDATIONS.

The aim of the following international recommendations is to lay down the fundamental principles which govern the lighting of public thoroughfares and to recommend certain well-established values and techniques. These principles and techniques are those at present held by the experts of Committee E-3.3.1. of the Commission Internationale de l'Eclairage * taking into consideration the comments which have been received from National Committees of countries affiliated to the C. I. E.

The technique of lighting varies in different countries. Possibilities and usages vary ; so does the construction, the use and the layout of roads. National Codes cannot in practice be identical since they have been set up to meet the needs of, and to be used in the particular circumstances of the country. Nevertheless it is possible to lay down certain principles and established techniques which are of general application.

These fundamental notions appear in most of the national codes. They have been extracted, clarified, and set out according to the latest technical findings, so that they may serve as a basis for National Committees desirous of issuing a code of their own, or of revising an out-of-date code.

The methods of providing adequate public lighting are very diverse, and progress is continuous. Only those methods have been included which are established, and which give good results within acceptable economic limitations. They are not, however, mandatory, and every opportunity is afforded for research into new standards and methods.

Matters arising from national possibilities or usages, such as contructional details of lanterns or supports, systems of distribution and control, and costs, are not discussed.

These recommendations do not therefore constitute a code, but it is hoped that they may serve as a basis for the drafting of National Codes, so that in the not too distant future they may lead to a degree of uniformity between National Codes, a uniformity which is demanded by the growing development of international links.

The provisions which permit the rapid flow of modern traffic, with the greatest practicable comfort for the road user, are complex and varied. They are covered by the general term " traffic engineering ", and they comprise the conception and construction of traffic roads, the study of the properties of their running surfaces, signs and signals, traffic rules, lighting etc....

In view of the international nature of present day traffic on certain routes, the principles of these provisions should obviously be co-ordinated between the various countries concerned. The following recommendations apply mainly to such routes. The lighting of public places such as parks, pedestrian shopping enclaves, routes of special architectural importance, etc. which require special solutions, is not included in these recommendations.

2. AIMS OF PUBLIC LIGHTING.

Public lighting should permit users of the road at night to move about with the greatest possible safety ** and comfort, without the use of dipped or driving headlights.

The driver must be able to see distinctly, and locate with certainty and in time, all significant details notably the alignment of the road (its direction and its surrounds), any traffic signs and possible obstacles ; moreover he must be made aware of any dangerous situation without the use of his headlight beams, either driving or passing, notwithstanding any national regulations relating to their use.

The pedestrian must be able to see distinctly the edges of the footways, vehicles and obstacles ; dark patches should not occur.

The above aims should be achieved with due respect to the aesthetic appearance of the lighted road within acceptable limits of cost of installation and maintenance. The economy and aesthetics of the installation are a function of the character of the road, taking into account its situation as well as the nature and the intensity of traffic.

3. PRINCIPLES OF VISION IN PUBLIC LIGHTING.

Though public lighting has to satisfy both drivers and pedestrians, it is in practice the requirements of the drivers which are the more stringent.

3.1. Requirements for drivers.

3.1.1. At any moment the whole of the road and its details should be clearly visible. Among the details the perception of which is particularly necessary are : the surrounds of the carriageway and the footway, the entry of side roads, and traffic signs, whether at the side or painted on the carriageway surface.

3.1.2. The clearest possible visual guidance should be provided on the alignment of the road.

---

* The experts of the Committee are :

[illegible] (Chairman) ..	Belgium
[illegible]	The Netherlands
[illegible]	France
[illegible] (Secretary)	Portugal
[illegible]	U. S. S. R.
[illegible]	Italy
[illegible] (1)	Germany
[illegible]	Great Britain
[illegible]	U. S. A.

** Please refer to *C. I. E. Publication* n° 8 (E-3.3.1.), 1960 « Street Lighting and Accidents ».

Perception of details of the road gives some indication of its alignment ; but this should be reinforced by other means, for example the pattern formed by the lanterns as seen by the driver, and by their colour (the beacon effect).

3.1.3. Any object which is or which may be dangerous should be seen and recognised clearly and in time. Such an obstacle should be seen at a distance great enough to give the driver time to make, without danger to himself or others, any manœuvre which the presence of the obstacle may demand. This time must be sufficient for the perception of the obstacle, its identification, the appraisal of its direction of movement, its distance and its speed, and the taking of the decision as to the manœuvres to be effected, to carry them out, taking into account the speed of the vehicule, the reaction time of the driver and the braking time. This perception should obviously be provided over the whole of the visual field of the driver, that is to say, in the zones of both foveal and peripheral vision.

In the absence of obstacles, the presentation of the road should be such that the driver is certain that the road is clear. This condition involves affording to the driver visual comfort, such that he is not subjected to nervous fatigue, which may be dangerous.

3.1.4. The lighting of the street should appear continuous and uniform.

Special lighting, which does not alter the appearance of continuity of the lighting of the road as a whole, should be provided at critical points and areas such as bends, crossroads, bridges, tunnels, underpasses, level crossings, etc.

3.1.5. Direction signs and such features as islands and guard posts should be made conspicuous at night, though without involving glare ; they may be lighted either by the general installation or by special equipment.

3.2. Visual field of the driver.

The usual visual field of the driver comprises, in order of decreasing importance,

— the carriageway,
— the surrounds to the road, including signs and signals,
— the sky, including the bright lanterns.

Any obstruction, or circumstance liable to lead to an obstruction, should be clearly displayed in this visual field. Since the perception and the speed of perception are directly related to the luminances and the contrasts in the visual field, it is necessary to understand the mechanism by which the relevant luminances are produced.

3.2.1. The luminance of the carriageway results from the distribution of luminous intensity of the luminaires, from the geometry of the installation, that is to say the siting with respect to the plan of the carriageway, and the reflection characteristics of the surface of the carriageway. Calculations are fairly complex ; nevertheless it is possible to obtain a good idea of the influence of the light distribution and of the reflection characteristics of the carriageway by examining in the visual field of the driver (i. e. in perspective) the shape of the bright patch formed on the ground by a single luminaire (curve of constant luminance see Figure 1).

This patch has the form of a letter T, the tail of which is shorter as the road surface is more diffusing and as the distribution of luminous intensity is more cut-off (see Appendix 1). The head of the T is wider as the surface is more diffusing and as the distribution of the luminaire is wider in the direction of the width of the road.

It is also a function of the camber of the carriageway.

The pattern of luminance on the carriageway is produced by the juxtaposition of these patches, which results from the siting of the luminaires and the geometry of the road. The interdependence referred to above is obvious. The siting of lanterns should therefore be carefully set out and studied in a perspective view of the road.

It should be noticed here that the ratio of the spacing to the mounting height is a predominant factor, as is also the ratio of the width of the carriageway to the mounting height.

3.2.2. The luminance of the surrounds to the road depends upon their nature and upon the distribution of luminous intensity of the luminaire. It is not usually calculated, but it enters into the evaluation of the degree of glare, and in the estimation of the contrasts presented by objects seen against the surrounds of the carriageway.

3.2.3. The luminance of the luminaires themselves depends on the distribution of luminous intensity and on their projected area. Its order of magnitude is very much greater than that of the luminances of the carriageway and of the façades. It may result in an effect of glare which reduces the visual faculties of the eye, or gives rise to a sense of discomfort which, eventually, brings about fatigue.

3.3. Visibility.

The phenomenon of visibility is directly related to contrast. It follows from the visual requirements of the driver that good contrast should always be produced :

a) between the carriageway and all objects which indicate its boundaries,
b) between any obstacle which may be present and the background against which it appears,

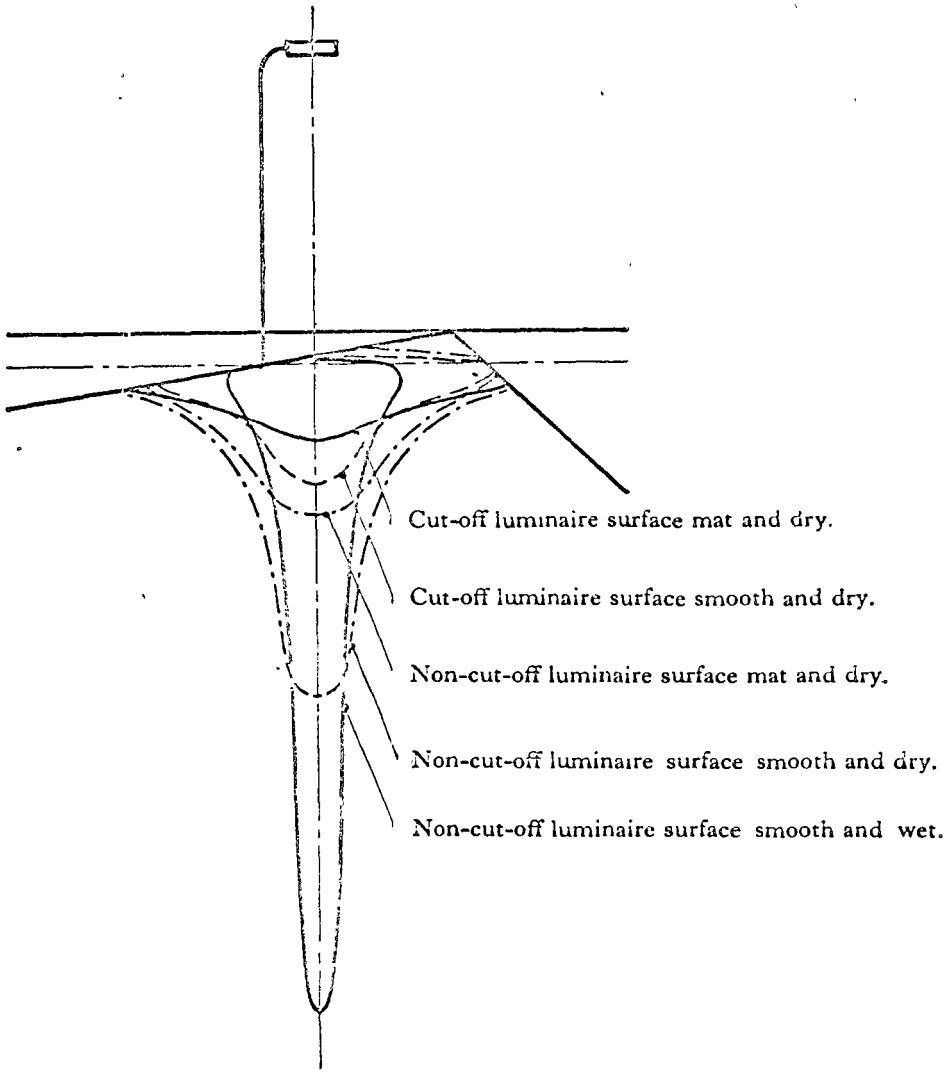


FIG. 1. — Forms of the bright patch shown in contours of equal luminance formed on the carriageway by a single lantern, according to the type of its light distribution curve and the nature of the road surface.

Since the characteristics of the obstacle may vary over a very wide range, any factor which tends to increase contrast should be exploited.

In the first place, the luminances of surfaces which form a background should be sufficiently high and uniform (see the curves of DUNBAR and of DE BOER) *. In open country, or if the surrounds are insufficiently bright, only the luminance of the carriageway is involved , but in built up areas, the luminance of façades or of trees at the side of the road are also important. Secondly, discomfort due to glare should be reduced as far as possible within the limits of practical considerations.

The contrast of an obstacle depends on both its own luminance and on that of its background ; but in most installations luminances vary in such a way that low contrasts are transient. It is however important to avoid situations in which low contrasts can persist over long distances.

3.4. Glare and visual comfort.

Glare in public lighting is generally caused by the luminaires. There are two forms of glare : disability glare, which depresses the visual capacity of the eye and hence the visibility of objects ; and discomfort glare which diminishes visual comfort and which may eventually lead to irritability and fatigue.

However it should not be forgotten that other factors can lead to glare, such as, in particular the presence of undesirable large surface of high reflection factor, specular surfaces, excessively bright shop windows, advertisment signs or road direction signs.

Glare depends mainly on the illumination produced by the luminaires on the eyes of the observer. For this reason, limits have been set to the

* 1 F DUNBAR, Necessary values of brightness contrasts in artificially lighted streets, *Trans Illum Eng Soc* (London), 3, 187-195 (1958)

2 J B DE BOER, Fundamental experiments on visibility and disability glare in road lighting. *C. I. E.* Proceedings, Stockholm, 1951.

luminous intensity emitted by luminaires in directions near the horizontal. This is the basis of the classification of luminaires which appears in Appendix 1. Moreover, for a luminance of a given luminous intensity,

a) the glare decreases as the projected area of the luminaire increases and as it is seen further from the direction of regard,

b) the glare diminishes as the background against which the lantern is seen is brighter. This background comprises not only its immediate surround, but also the totality of the visual field, in particular the road surface, its surrounds and any façades. The limits set for the luminous intensity may be relaxed when the level of luminance of the carriageway is increased, or when there are lighted façades which form a background to the lanterns.

If several lanterns are present in the visual field, the glare effect which results increases by an additive process.

From these considerations it is possible, for a given effect of glare, to relate the form of the permitted light distribution of the luminaire to the class of lighting which is envisaged. The realization of all the conditions necessary to obtain good visibility is not sufficient : it is necessary to provide for the driver a certain degree of visual comfort to reduce nervous tensions and fatigue which may result after some time. The higher the level of lighting and the less the glare, the greater will this comfort be ; but there must also be continuity in the luminous impression, both statically and dynamically. The road surface is a uniform surface : it should appear uniform. The uniformity of the luminance of the road surface should be such that, first, the driver's eyes do not undergo undue changes of adaptation according to the point of regard ; second, they do not while driving experience repetitive impressions of light and dark, which are the more rapid and irritating as his speed increases. Moreover, a patchy effect on the roadway may camouflage any obstacles present.

Although at first sight the need for continuity would seem to be greater along the normal direction of regard of the driver, that is to say greater in the direction of the traffic than along axes at right angles to it, good transverse uniformity is also necessary to assist in the visibility of obstacles.

Visual comfort can also be destroyed by intermittant flicker arising either directly from the lanterns, or by their reflections in the coachwork of the vehicle ahead or in that of the driver's own car.

4. CRITERIA OF QUALITY.

From these considerations it follows that in the present state of the technique the following four factors constitute the fundamental criteria of quality of public lighting :

1. the level of luminance,
2. the uniformity of luminance,
3. the limitation of glare,
4. the optical guidance.

4.1. Level of luminance.

The level of luminance should be adequate, to provide visibility which will guarantee for the user a maximum of safety and sufficient visual comfort.

As it is the carriageway which plays the principal part, even in built-up areas, the level of luminance recommended applies to the carriageway.

4.2. Uniformity of luminance.

Uniformity of luminance is required to provide visual comfort for the driver. It should be noted that the requirements are more stringent than those which are demanded merely by questions of visibility.

In the present state of technique it is not possible to define one or more representative objective magnitudes which will give the subjective impression of uniformity of luminance. All that can be done at present is to have recourse to a simple scale of appreciation.

However, in view of the importance of the relation of the spacing/height ratio to the light distribution of the luminaire, it is expected that if certain upper limits of this ratio are observed, the recommendations of uniformity of luminance will be generally met.

4.3. Limitation of glare.

The glare due to luminaires should be controlled at a value which keeps the visual discomfort to which the driver is subjected below an acceptable level.

Certain correlations have been proposed to assign a limit to the glare numerically, but they are not yet practicable. As a practical solution, luminaires have been classified, according to the form of their light distribution, into three categories (see paragraph 5.2 and Appendix 1) and limits have been set to their employment from the point of view of glare.

4.4. Optical guidance.

A good optical guidance is required especially on long stretches of lighted roads and even more on complicated intersections, roundabouts, etc. Most of the long range guidance is offered by the luminaires.

5. TECHNIQUE OF LIGHTING.

5.1. Electric Light Sources (*).

The sources normally used in public lighting are :

— incandescent lamps,
— mixed incandescent and high pressure mercury vapour lamps,
— high pressure mercury vapour lamps with clear or fluorescent bulbs,
— tubular fluorescent lamps,
— sodium vapour lamps.

The choice of source is guided by considerations of :

— luminous efficiency,
— amount of luminous flux,
— life,
— colour rendering,
— ambient temperature,
— the dimensions of the light sources.

For new installations the employment of incandescent lamps is very limited in practice, except in special cases which do not come under these recommendations (decorative lighting, for example) ; when energy is cheap, replacement costs are low and the level is relatively low.

Mixed incandescent and mercury lamps may sometimes be employed in modernising an installation to obtain higher levels without the need for ballasts required for discharge lamps.

In other cases, discharge lamps are used which have higher luminous efficiency and longer life. The choice between H. P. M. V. fluorescent lamps and fluorescent tubes is in general determined by local considerations of aesthetics and cost of installation.

The use of sodium lamps is convenient when colour rendering is not important and when a high luminous efficiency is desired. Their colour is sometimes useful to provide the optical guidance.

The colour of the light sources may be used to indicate a particular route, for example a by-pass.

5.2. Luminaires.

The luminaire has a double role of protecting the light source from the weather and of redistributing its luminous flux.

In the choice of the luminaire the following points should be considered :

— the nature and power of the source or sources,
— the nature of the optical arrangements and the light distribution which they provide,
— the light output ratio,
— whether the lantern is opened or closed,
— its resistance to heat, soiling and corrosion,
— the resistance to atmospheric conditions,
— the ease of installation and maintenance,
— the presence or absence of auxiliaries,
— the fixing arrangements, the weight and area exposed to wind pressure.

The influence of all these factors varies according to local circumstances, and it is almost impossible to recommend one solution rather than another, but the attention of designers may be drawn to the fact that the most economical installation can be achieved only by the choice of the most suitable luminaire, selected according to the relative importance of the above mentioned factors. There is however, one essential characteristic of luminaires the choice of which directly influences the quality of the lighting : that is, the general form of its distribution curves of luminous intensity, particularly in directions near the usual directions of regard.

Three fundamental forms of light distribution are considered according to the degree of glare which is acceptable :

— cut-off luminaires,
— semi cut-off luminaires,
— non cut-off luminaires.

The definitions of these distributions are given in Appendix 1.

Cut-off luminaires should be used in all cases where glare should be strongly reduced (e.g. in roads for heavy traffic in open country).

When the visual field includes light coloured façades, the employment of semi cut-off luminaires is permissible. They have the advantage that they provide, for a given luminous flux from the lamps, luminances of the carriageway which are higher when used on road surfaces which are slightly polished. Non cut-off luminaires are permissible only when a certain amount of glare may be accepted and when the luminaires are of large size and of reduced brightness. In certain cases they have some advantages in increasing the illumination on façades. Attention should be given to the inclination of luminaires. An upward inclination, which is generally called for reasons of aesthetics, should be employed with care. Too great an inclination of the luminaire may modify, particularly in certain directions, the cut-off qualities of the luminaires, and in certain situations (for example, when there are roads at several levels, bends, roundabouts, etc.) this inclination may lead to unexpected glare.

5.3. Road surfaces.

The reflecting characteristics of surfaces of roads vary very greatly. Factors which influence them are:

— the nature of the surface,
— its texture and the method of laying,
— the degree of wear,
— the degree of damp.

* Though there are installations employing luminaires whose source of energy is natural or manufactured gas, the Committee has included only those sources which are most frequently used at present for new installations. However, the general principles discussed in these Recommendations apply to gas lanterns.

The reflection characteristics directly affect both the level and the distribution of luminance, and it is therefore necessary to take account of these characteristics in the design of the lighting scheme. Methods of measurement and calculation exist, but they are extremely complex, which limits their use to specialised laboratories. Classification of road surfaces would permit a rapid but sufficiently precise predetermination of the results to be expected.

Unfortunately no such classification is yet available, neither is there a simple method which permits the properties of existing surfaces to be recognised. As a first approximation it is nevertheless possible to distinguish :

a) light coloured surfaces (total relection factor lying over 0.15) * and dark coloured surfaces (total reflection factor less than 0.15) *,

b) polished surfaces whose reflection properties are sharply preferential (this is the case in all surfaces which are smooth either by construction or by heavy wear) and mat surfaces whose reflection properties are approximately diffusing (which is the case with most modern non-skid surfaces, at least when they are new).

This classification applies to dry surfaces : with all the above surfaces their reflection characteristics progressively approach those of a very polished surface as they become damper.

5.4. Siting of lanterns.

5.4.1. GEOMETRY OF THE INSTALLATION. (See Figure 2.)

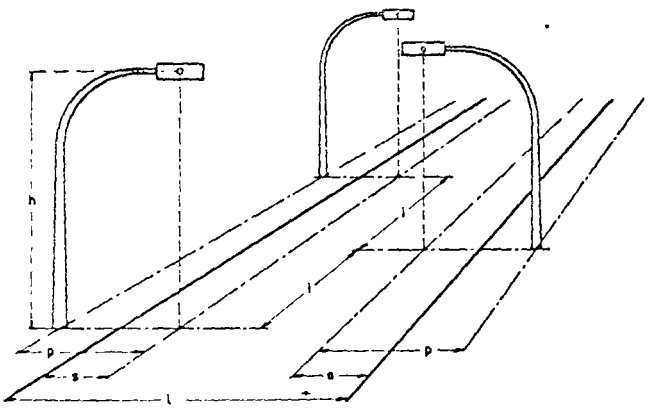


FIG. 2 — Siting of luminaires : characteristic dimensions.
h = mounting height of luminaires.
i = spacing **
l = width of the carriageway.
p = outreach
s = overhang

5.4.1.1. *Mounting Height.*

The minimum mounting height should be chosen taking into account the power of the sources, the light distribution of the luminaires and the geometry of the installation. The mounting height should be greater as the lamps are more powerful, to avoid excessive glare ; and also greater as the roadway is wider, to obtain adequate transverse uniformity. As a general rule a mounting heigh of 8 to 10 metres is suitable. Nevertheless, 12 metres is recommended for luminaires of very high power placed at the sides of very wide roads. Heights less than 8 metres are undesirable except in certain special cases, such as the lighting of residential roads or roads bordered by trees. Heights much in excess of 12 metres can be advantageous for the lighting of large spaces and multi-level junctions.

5.4.1.2. *Spacing.*

Spacing is always reckoned as the distance parallel to the axis of the roadway between consecutive luminaires. To preserve longitudinal uniformity this spacing should not be greater than a maximum which is set out below (see paragraph 6.2 and table 2).

5.4.1.3. *Outreach and overhang of luminaires.*

These two quantities should not be confused. The overhang of the lantern is of importance in achieving uniformity of luminance of the roadway. The outreach is usually determined by architectural or aesthetic considerations. The overhang should not in general exceed one quarter of the mounting height ; excessive overhang leads to reduced visibility of kerbs, obstacles and footways. Moreover, mechanical and aesthetic problems arising from the resulting long outreach limits the possibilities of overhang.

5.4.1.4. *Width.*

The width of the carriageway is measured between the outermost kerbs of the carriageways. It is however necessary in calculation to make appropriate adjustments for the overhang of the luminaires.

5.4.2. TYPES OF ARRANGEMENT.

Four fundamental types of arrangement are recognised (Fig. 3).

5.4.2.1. The single side arrangement, where all the lanterns are on one side of the carriageway, is recommended only when the width of the carriageway is equal to or less than the mounting height. The luminance of the road surface on the side remote from the luminaires is inevitably lower than that on the same side as the luminaires.

5.4.2.2. The staggered arrangement, where the luminaires are situated on either side of the carriageway and in a zig-zag formation, may be

* Provisional values
** In France, the spacing is the distance between two luminaires along the same side of the carriageway that is to say 2i.

employed when the width of the carriageway is greater than the value recommended for single side lighting, but not exceeding 1.5 times the mounting height. It is superior to the single side arrangements in that it provides more nearly uniform luminance and better visibility of the two sides of the road. However, very

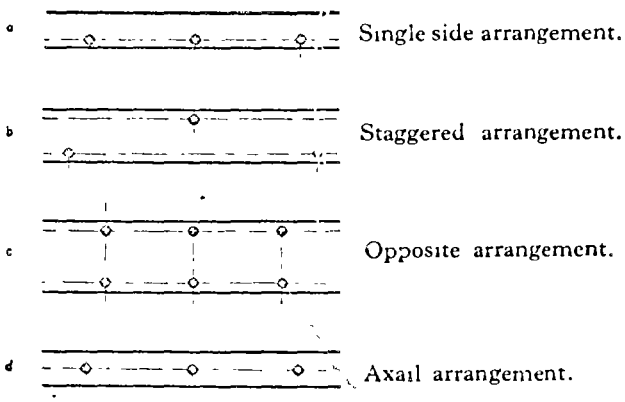


FIG. 3. — Basic arrangements in public lighting.

careful control of luminance on the carriageway is necessary if an unpleasant zig-zag effect is to be avoided, brought about by the interlacing of the bright patches on the carriageway.

5.4.2.3. Opposite mounting, in which the lanterns situated on either side of the carriageway are opposite to one another, is advisable when the width of the carriageway is more than 1 $^1/_2$ times the mounting height.

5.4.2.4. Axial mounting, in which the lanterns are placed along the axis of the carriageway, is admissible for narrow roads the width of which does not exceed the mounting height. In some tree-lined roads, axial mounting may be the only acceptable device. It has in wide roads the undesirable properties of drawing the attention of the driver towards the centre of the carriageway and of reducing the luminance at its edges, which is just at the point at which an obstacle may appear.

Other arrangements exist, but they result from the combination of the four preceding fundamental types.
In particular the lighting of motorways should be planned as the lighting of two separate one-way roads.

5.4.3. SITING OF LUMINAIRES AT SPECIAL FEATURES.

As in the straight parts of the road, it is the judicious siting of the bright patches formed by the individual luminaires which determines the siting at special features of the road which is the best for providing good visibility and for making them conspicuous.

5.4.3.1. *Curves.*

Curves of large radius of the order of 1 000 m can be treated as straight. For curves of less radius, a study of the perspective shows that it is mainly the luminaires which are placed at the outside of a bend which contribute to the brightness of the carriageway, and that in order to bring about the same degree of juxtaposition of the patches the spacing must be progressively

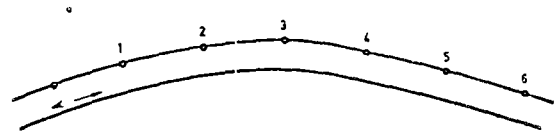


FIG. 4*a*. — Single side arrangement of lanterns on a bend (recommended).

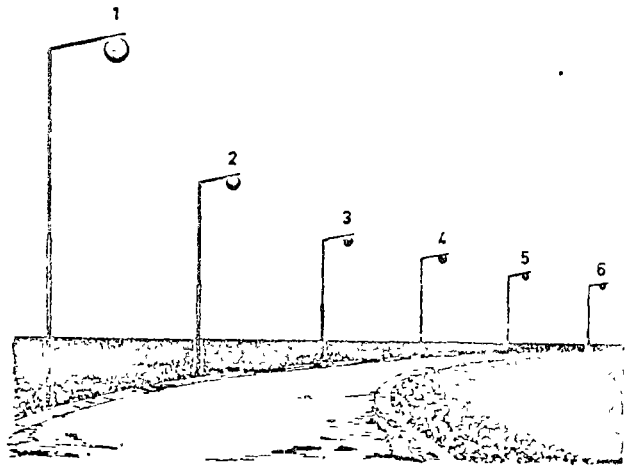


FIG. 4*b*. — Night perspective view of the arrangement shown in figure 4*a*.

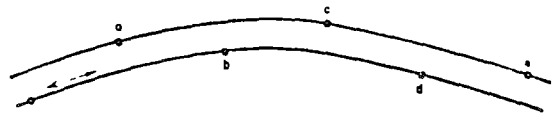


FIG. 5*a*. — Staggered arrangement on a curve (not recommended).

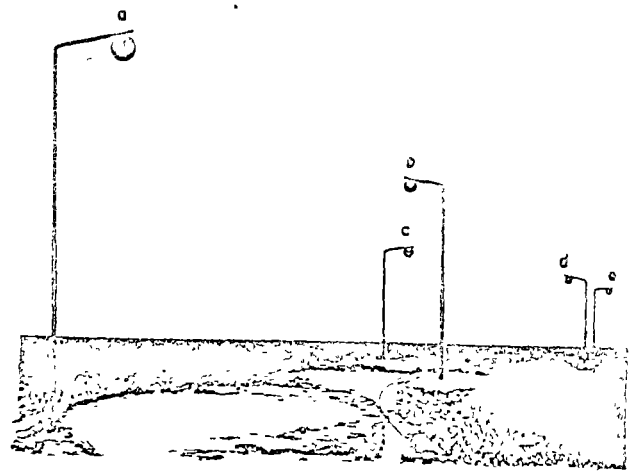


FIG. 5*b* — Night perspective view of the arrangement shown in figure 5*a* showing the absence of beaconing effect which results.

reduced as the bend is more pronounced (see Figs. 4*a* and 4*b*). For similar reasons the overhang should not be excessive.

In this case single side arrangement is obviously indicated because it gives in addition effective beaconing of the curve. Staggered arrangement is to be avoided here as far as possible, because not only does the beaconing effect usually disappear, but the driver may even be deceived into thinking that there is a side road (see Figs 5*a* and 5*b*).

At curves on roads where the width exceeds 1.5 times the mounting height additional lanterns should be mounted on the inside of the curve. In those cases there is less risk of misreading the pattern of lights.

5.4.3.2. *Crossroads and pedestrian crossings.*

The basic principle of the arrangement of lanterns at crossroads can be illustrated by the mode by which a pedestrian traversing a pedestrian crossing is seen.

Lighting by a single luminaire, whose position has been chosen so that the bright patch which it produces covers the greater part of the pedestrian crossing, nevertheless leaves a dark background against which the pedestrian is difficult to see (see Fig. 6). It is desirable, therefore, to provide a supplementary lantern placed further away than the first and on the other side of the road (see Fig. 7).

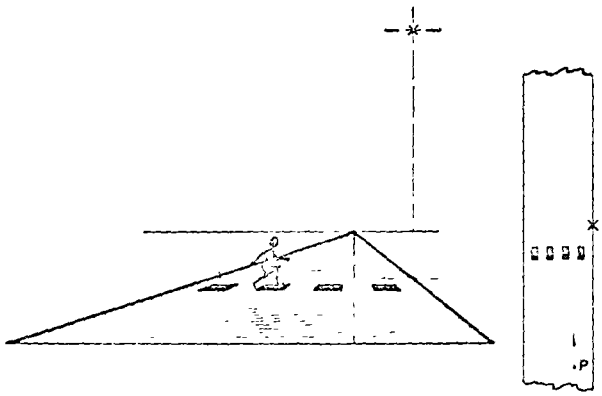


FIG 6 — Lighting of a pedestrian crossing by a single luminaire (driving on the right). (Not recommended.)

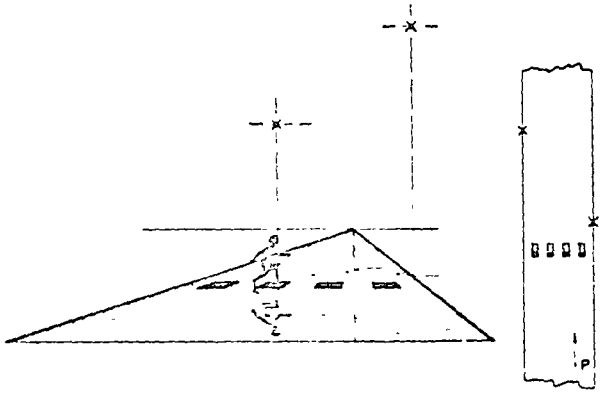


FIG 7 — Widening of the bright background behind pedestrian crossing as a result of a second luminaire (driving on the right) (Recommended.)

If this reasoning is applied to traffic in both directions, it indicates that the crossing should always occur mid-way between two consecutive lanterns situated on either side of the carriageway. Moreover, to draw attention to the discontinuity of the carriageway without altering the continuity of the lighting, it is recom-

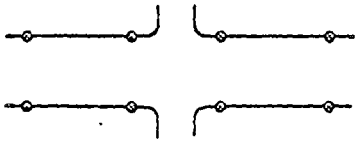


FIG. 8*a*. — Siting recommended for the intersection of a lighted road with opposite arrangement and an unlighted road (driving on the right or left).

mended that the spacing at these situations should be reduced so as to increase the level of luminance, and to use materials, for marking the crossing on the carriageway, which will pro-

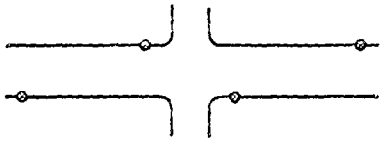


FIG 8*b*. — Siting recommended at the intersection of a lighted road with staggered arrangement and an unlighted road (driving on the right).

vide and maintain good contrast under the conditions of illumination and view which will occur. Lanterns should never be sited just before the crossing and on the near side.

On these principles, a few typical cases of siting at intersections by way of illustration, are shown as follows :

a) the intersection of a lighted roads and an unlighted road (see Fig 8*a* for opposite arrangement, and Fig. 8*b* for staggered arrangement).

b) the intersection of two lighted roads of equal importance (see Fig. 9).

In such a case a lantern should never be placed at the centre of the crossing because its presence will lead to a light band on the intersection which may mask what is happening on the farther side, for instance on a pedestrian crossing located there.

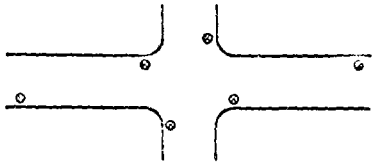


FIG. 9 — Siting recommended at the intersection of two roads lighted with staggered arrangement (driving on the right).

c) a T junction (see Fig. 10).

The same principles as before are applied, but in this case it is essential that there should be a bright background opposite the side road, lighted by the lantern sited

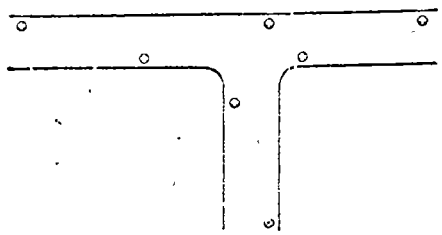


FIG. 10. — Siting recommended at a T junction. (Driving on the right.)

there or by other public lighting. If there are no suitable façades, appropriate artificial backgrounds may be provided, such as hedges or fences.

Usually, if the road feature is set out both in plan and in perspective and the bright patches which result from the individual luminaires are drawn, the best positions for the lanterns can be determined. Moreover, it is possible to check on the perspective drawing of the night view that the beacon effect will not be ambiguous. Multiplication or irregular siting of the lanterns may deceive the driver. Some examples of siting at intersections of important roads with guard islands are given.

d) the intersection of a principal road and a secondary road with guard island (Fig. 11).

It is in general wise to avoid a lantern placed on the island if the latter is of small dimensions. On the principal road a staggered arrangement on both sides has been adopted (5.4.2.2) whereas on the secondary road a single side arrangement is used (5.4.2.1.). The lighting may be reinforced at the crossing itself; the power of the lamps may be reduced on the secondary road.

e) the oblique intersection of two principal routes (Fig. [illegible]).

In the vicinity of the cro[illegible] the two directions of traffic are separate[illegible] islands. The arrangement of lante[illegible] single side, adjacent to the islands (5.4.2. whereas beyond the crossing it is on both sides, staggered or opposite, according to the width of the road and the mounting height.

5.4.4. TRANSITION ZONE.

It often happens that only certain sections of a rural highway are lighted; for example, a dangerous cross roads or access roads to a motorway. In such a situation the driver passes from a dark to a lighted zone and vice versa in a brief interval of time.

Adaptation takes place smoothly on entering the lighted zone, but it does not do so at the exit unless provision is made to facilitate it.

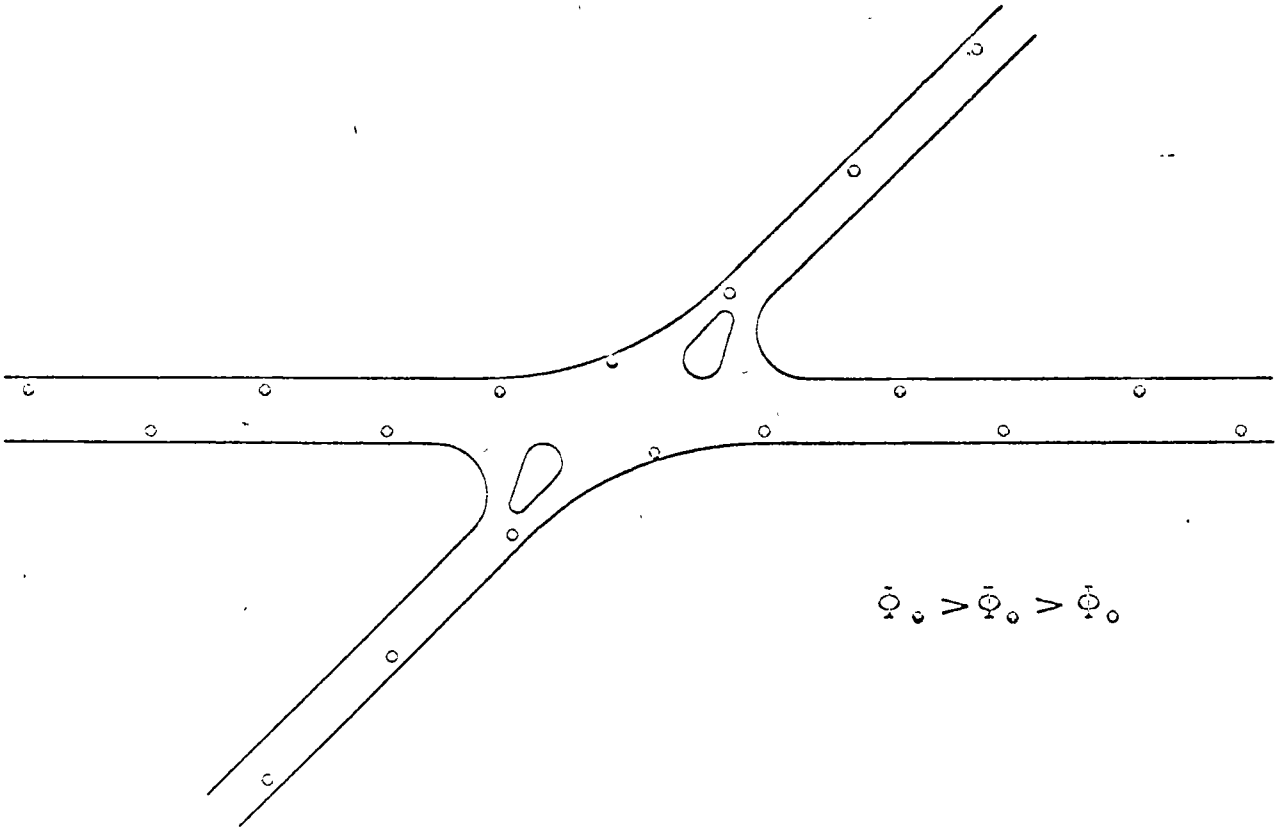


FIG. 11. — Siting recommended at road with guard island. (Driving on the right). Φ = luminous flux.

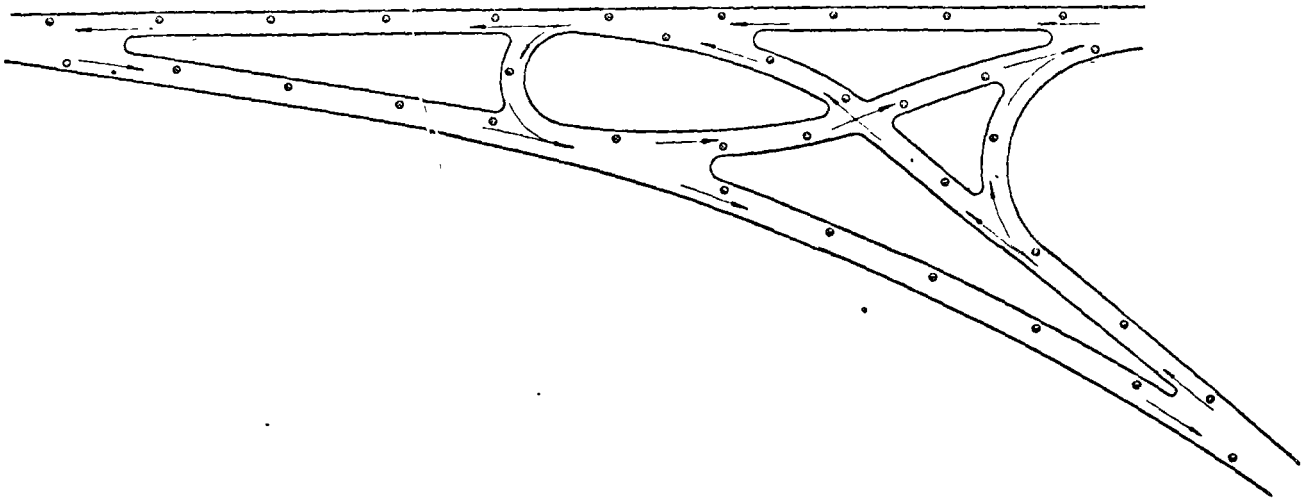


FIG. 12. — Example of siting at the oblique intersection of two principal routes. (Driving at the right.)

To accustom the driver to the visibility conditions in the unlighted zone, a transition zone should be provided in which the level of lighting is progressively reduced. This should be provided by preserving the spacing and using lamps of the same type but of reduced power.

This design allows the installation to be extended subsequently at low cost.

In no case should the transition zone be shorter than 100 m at a cross road or 200 m at an access road to a motorway.

6. RECOMMENDATIONS.

6.1. Classification of lighting installations.

On the basis of the nature of the road, the nature and amount of vehicular traffic and the presence

TABLE 1

Class of lighting installation	Types of road		Mean level of luminance of dry surface cd/m²	Uniformity of luminance of dry surface	Glare	Types of luminaire (2)	
						Preferred	Permitted
A 1	Motorways (1)		2	Very good	Strictly reduced	c/o	Semi c/o
A 1	Rural Roads	Heavy traffic (3)					
A 2		Considerable traffic (3)	1	Good			
—		Light traffic (3)	Unlighted				
A 1	Urban Roads	Through ways, by-passes	2	Very good	Reduced	c/o	Semi c/o
B 1		Principal local traffic routes	1	Good	Moderate	c/o or semi c/o	Non c/o
B 2		Secondary roads with local traffic	0 5	Satisfactory			

(1) In so far as public lighting is necessary.
(2) c o = cut-off
semi c o = semi-cut-off
non c o = non-cut-off
(3) The figures characterising traffic flow should be specified by National Committees.

of pedestrians it is possible to classify lighting installations envisaged by the present recommendations into 3 classes, comprising in all 5 sub-classes.

The principal classes are :

— class A : lighting for very important routes with rapid and dense traffic, where the only questions are the safety and the speed of the traffic and the comfort of the drivers.

— class B : lighting for roads with considerable vehicular and pedestrian traffic in which, in addition to the needs of drivers, those of pedestrians and shops and considerations of amenity and aesthetics are important,

— class C : lighting for residential roads, with light local traffic.

Classes A and B have been divided into two sub-classes 1 and 2 according to the importance of the road.

Table 1 set out the relation between the classes of lighting installations and the roads as defined above. As stated in the introduction, these Recommendations are confined to the lighting of main through routes and other important thoroughfares. For this reason, installations are recommended only for Classes A and B, Class C being included above to complete the classification.

6.2. Recommended Values.

Taking into account above considerations of the principles of vision, criteria of quality and characteristics of sources and luminaires, Table 1 gives for each class of installation recommendations as to the desirable level and the degree of uniformity of luminance, the permitted glare and the luminaires which are recommended or permitted.

For Class A the level and the uniformity of luminance should be as high as possible and the glare strictly reduced.

In Class B greater tolerances on uniformity and glare may be admitted, which is justified by the character of the roads, and in general by the presence of façades.

The values given in Table 1 are service mean values taking into account the depreciation of the installation. The effect of ageing of the sources and soiling should be considered. The mean service values, with reasonable maintenance, usually fall to 75 % of the initial values ; consequently the installation should be designed to give initial values 1 33 times those in Table 1.

These values result from static and dynamic experiments, and are considered to be technically necessary and justified by the visual requirements of drivers. Their adoption in particular countries will obviously depend upon the economic situation.

If less favourable values are adopted for economic reasons, the quality will always be impaired. and above all the long-term excellence of the lighting.

Improvements of technique and the relative reduction of the cost of energy will lead to increases on these values. In view of the constant progress in these two factors, it is advised that the values recommended should be adopted. It is better not to light at all than to light twice the length badly.

7. REALISATION OF RECOMMENDED VALUES.

The realisation of the recommendations in parag. 6.2 requires detailed calculation of the level and uniformity of the road surface luminance and of the glare. Such calculations are possible when photometric data of the luminaires and of the road surface reflection characteristics are available, and the geometry of the installation is known.

However, the calculations are complex and are impracticable except for experts. It is therefore recommended provisionally for the determination of the level and uniformity of luminance, that empirical methods should be adopted, based on measurements made previously on existing installations.

For the determination of the glare limits, it is recommended to apply the classification of luminaires given in Appendix 1, based on the intensity distribution at angles between 70° and 90° from the downward vertical. Table 1 indicates the situations in which each of the three types of distribution is recommended or permitted.

The safest method for the determination of luminance is to measure the luminance in an installation which is as nearly as possible identical with the proposed installation above all as to the road surface, or alternatively on a section of the road to be lighted, provided with a temporary installation of a few of the lanterns proposed. Appendix 2 gives the precautions necessary in making these measurements, the aim of which is to determine the mean luminance coefficient E_m/L_m. This coefficient gives for the installation considered, i. e. for the given surface and for the type of luminaire chosen and for the conditions adopted, the ratio of the mean illumination E_m to the mean luminance L_m. If this coefficient is known, the mean illumination can be found which will result in the luminance recommended in Table 1. The calculation of illumination may be performed by well known methods.

When measurements of luminance cannot be made beforehand, it is necessary to rely on the most appropriate value of the luminance coefficient given in Table 2 by way of example, values which have been chosen after experiments on a number of installations analysed photometrically. In view of the wide variation of the reflection properties of

surfaces, and the considerable influence of the light distribution of luminaires on the luminance of a typical road surface, the coefficients given in Table 2 must be considered as only approximate indications of the level of luminance which will be obtained.

TABLE 2

MEAN VALUE OF LUMINANCE COEFFICIENT E_m/L_m (lux/cd/m²)		
TYPE OF LUMINAIRE	SURFACE	
	DARK	LIGHT
Cut-off	24	12
Semi-cut-off	18	9
Non-cut-off	15	7

Studies of luminance are not sufficiently advanced to permit the formulation of detailed quantitative recommendations on uniformity. Recent research has shown that the local gradient of luminance (i. e. the rate of change of luminance per unit length) may constitute a good criterion of the degree of uniformity. But this research has not yet led to values for the criteria of uniformity given in Table 1. It can however be said that the quality of an installation depends on both the level and the uniformity of luminance, and that as the level increases, the requirements for uniformity are less stringent.

TABLE 3

TYPE OF LUMINAIRE	MAXIMUM SPACING/HEIGHT RATIO
Cut-off	3
Semi-cut-off	3,5
Non-cut-off	4

From measurements of luminance of several existing installations and on subjective appraisal of their uniformity the following provisional rule for "good" uniformity can be stated. The local luminance at any point of the road surface shall not be less than 40 % of the mean * luminance. The "local luminance" is the mean luminance of a surface having a width lying between 0.1 and 0.3 m, and a length of between 1 and 3 m.

Without more precise data on the question of uniformity it is difficult to give quantitative recommendations for the other degrees of uniformity mentioned in Table 1. It can be said however, that where "very good" uniformity is recommended the ratio between the minimum and the mean luminance should be greater than that indicated by the above rule for "good" uniformity.

Finally, the provisions of Table 3, giving the spacing/height ratio for the different types of luminaires, should be complied with.

Certain local circumstances may permit these values to be slightly exceeded.

8. GENERAL RECOMMENDATIONS.

It is very difficult, or impossible, to give precise recommendations on matters of aesthetics and installation.

They should be examined having regard to local circumstances, which differ widely from country to country.

However, it may be useful to set down certain points which should be kept in mind.

8.1. Installation.

8.1.1. The requirements of lighting demand the maintenance of the whole installation in service during the whole of the night. In all streets in which the night traffic is sufficient to justify it, therefore, lighting should be kept in service all night. Reduced lighting during part of the night is permissible only if the economic conditions are very stringent, and only on streets in which there is a drastic reduction in traffic for a sufficiently long time. In this case, however, it is most important to maintain sufficient uniformity.

The extinction of alternate lanterns is only permissible if the maximum recommended spacing/height ratio is maintained when the lighting is thus reduced. The employment of luminaires having two or more sources and which preserve their light distribution however many sources are in action is one way of providing this reduced lighting.

8.1.2. The values recommended are service mean values (see 6.2.), and systematic maintenance of the installations is economically justified in order to limit the initial values. Ageing of the lamps and soiling of the lighting equipment are both important. Experience has also shown that regular maintenance is economical. The life of the equipment is increased, the labour cost of replacement of lamps is considerably reduced, and consequently the overhead charges are reduced.

* See Appendix 2.

The frequency of periodic maintenance varies according to the type of lamp and the type of luminaire chosen, and also with the situation of the installation. For these reasons it is difficult to lay down the frequency of maintenance, but a frequency which is a whole submultiple of, or is equal to the frequency of the replacement of the lamps is desirable.

8.1.3. When calculating the installation cost of a lighting system, or comparative budgets of various systems of lighting, account should be taken of the following :

— the amortization period of the luminaires and the auxiliaries
— the amortization of the supports,
— the amortization of the electrical distribution system and of jointing costs,
— the amortization of sub-stations, if any,
— the cost of renewal of lamps (useful life, the hours burnt and the price of the lamp),
— the cost of labour for lamp replacement,
— the cost of electrical energy (the connected load, the hours of burning, and the price per kilowatt-hour),
— the cost of cleaning of lanterns,
— the cost of painting the supports,
— if necessary, the cost of the control system adopted (time switch, remote control, etc.).

8.2. Aesthetics.

The aesthetics of a lighting installation are principally judged by day. The lighting installation should either be inconspicious or should match its surroundings as well as possible. Aesthetic considerations should relate to the unit formed by the lantern and its support and the situation in which it is placed.

Firstly, the unit formed by the luminaire and its support should be considered. A lantern which may look very well on one column may be most ungainly on another.

Secondly, the siting of the lanterns in the scene may lead to unpleasant effects even if the lanterns themselves, considered in isolation, are aesthetic. In particular confusing constellations of bright points should be avoided.

Finally, the solutions are numerous and varied and every architectural device, particularly the choice of colours, may be exploited. Collaboration between the lighting engineer and the town planner is necessary in important installations.

The aesthetics at night call principally for a careful alignment of the luminaires as to their line, their orientation and their inclination. The correct setting of inclinations is, moreover, demanded by the performance required.

APPENDIX N° 1

DEFINITIONS

For the definitions of the usual terms utilized in this document reference should be made to publication 1.1 (1957) of the C. I. E. " International Lighting Vocabulary ", 2nd edition, in particular to items :

10-020 luminous flux,
10-065 luminous intensity,
10-085 luminance,
10-095 illumination,
20-065 total reflection factor,
20-270 indicatrix of diffusion,
25-145 brightness,
25-200 visual field,
25-230 contrast,
25-270 glare,
50-065 curve of intensity distribution,
50-070 surface of intensity distribution,
50-130 light output ratio of a fitting (G. B.), luminous efficiency (U. S. A.).

These definitions are supplemented by definitions of the light distribution of luminaires normally used in public lighting.

1. Cut-off luminaire.

A luminaire whose curve of intensity distribution is strictly limited in directions making an angle equal to or greater than 80° from the downward vertical in the neighbourhood of the usual directions of view of drivers, and which is practically zero at the horizontal.

The precise specification of the light distribution varies from country to country ; in general, the intensity at the horizontal should not exceed 10 cd per 1000 lm of flux from the light sources, and the intensity at 80° is of the order of 30 cd. per 1000 lm. The direction of the maximum may vary, but it may be specified. It is directly related to the siting arrangements.

2. Semi-cut-off luminaire.

A luminaire whose curve of intensity distribution is reduced in directions making an angle equal to or

greater than 80° from the downward vertical in the neighbourhood of the usual directions of view of drivers, and which is small at the horizontal.

The precise specification of the light distribution varies from country to country; in general, the intensity at the horizontal should not exceed 50 cd. per 1000 lm. of flux from the light sources, and the intensity at 80° is of the order of 100 cd. per 1000 lm.

The direction of the maximum may vary, but it may be specified. It is directly related to the siting arrangements.

3. Non-cut-off luminaire.

A luminaire whose luminous intensity in directions making an angle equal to or greater than 80° from the downward vertical is not reduced materially and the intensity of which at the horizontal may exceed the values specified for the semi-cut-off distribution, though not nevertheless exceeding 1000 cd.

The Table below summarises the values characteristic of these definitions.

TABLE 4

Type of luminaire	Direction of maximum intensity	Maximum permissible value of intensity emitted at	
		90°	80°
Cut-off	0-65°	10 cd/1000 lm *	30 cd/1000 lm
Semi-cut-off	0-75°	50 cd/1000 lm *	100 cd/1000 lm
Non-cut-off	—	1000 cd	—

* Up to a maximum value of 1000 cd whatever is the luminous flux emitted.

APPENDIX N° 2

NOTES ON THE MEASUREMENT OF LUMINANCE

The aim of measurement of the luminance of the road surface is to determine the values of luminance as they are seen by a vehicle driver. The part of fre road to be considered lies between 60 and 160 m from the observer.

As indicated in the figure below, this part of the surface lies between 1.5° and 0.5° depression below the horizontal, assuming the height of the observers eye is 1.5 m and that the surface is plane and horizontal.

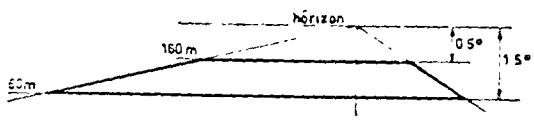


Fig. 13.

The mean luminance considered in parag. 7 relates to the zone indicated on the figure 13. Local luminances are measured in the same zone.

For the measurement of local luminance, the field of view of the luminance meter must be small in order to measure details which are important for the appreciation of uniformity. It must correspond with an area on the road surface with a width lying between 0.1 and 0.3 meters and a length between 1 and 3 meters (see page 29 for the definition of local luminance).

The mean value of luminance can be found by averaging a sufficient number of local luminances distributed uniformly over the perspective image of the zone considered. It is possible also to obtain the mean by a single observation, if the luminance meter is provided with a diaphragm which corresponds to the perspective image of the zone considered. This method has the advantage of admitting a much greater flux, since the field measured is much greater.

Finally, it is possible to measure local luminances from a much smaller distance provided that the direction of view is kept at 1°. The advantage of a much greater admitted flux is, however, offset by the necessity of moving the luminance meter for each local measurement.

Reg. U.S. Pat. Off.

D12.1-1972
Revision of
A12.1-1963

UDC 628.971

American National Standard Practice for

ROADWAY LIGHTING

RP-8

Sponsor

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY

Approved July 11, 1972

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE

AIA 31-F-1

PUBLISHED BY THE ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY

345 EAST 47TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10017

Reprinted from the July 1972 issue of the
Journal of the Illuminating Engineering Society
Copyright 1972, Illuminating Engineering Society

Table of Contents

Foreword 3

Preface 6

1. Classification of Roadways, Walkways and Areas 7
   1.1 Roadway and Walkway Classifications . 7
   1.2 Area Classifications 8

2. Classification of Luminaire Light Distributions 8
   2.1 Introdutcion 8
   2.2 Vertical Light Distributions 9
   2.3 Lateral Light Distributions 9
   2.4 Control of Distribution Above Maximum Candlepower 10
   2.5 Variations and Comments 12

3. Design of Roadway Lighting 12
   3.1 Introduction 12
   3.2 Illumination Requirements 14
   3.3 Illumination Depreciation 14
   3.4 Quality 15
   3.5 Uniformity 15
   3.6 Luminaire Mounting Height 16
   3.7 Luminaire Spacing 16
   3.8 Transverse Location of Luminaires . . 16
   3.9 Luminaire Selection 17
   3.10 Traffic Conflict Areas 17
   3.11 Border Areas 17
   3.12 Transition Lighting 17
   3.13 Alleys 17
   3.14 Roadway Lighting Layouts 17

4. Pedestrian Walkways 17
   4.1 General 17
   4.2 Security Problem Locations 18

Appendix A—Situations Requiring Special Consideration 18
   A-1 Roadway Complexities 18
   A-2 Railroad Grade Crossings 22
   A-3 Trees 22
   A-4 Tunnels 24

Appendix B—Computation of Roadway Illumination 24
   B-1 Introduction 24
   B-2 Calculation Procedure 24

Appendix C—Calculation and Evaluation of Disability Veiling Brightness and Visual Comfort . 30
   C-1 General 30
   C-2 Glare in Roadway Lighting 30
   C-3 Calculation of DVB 30
   C-4 Evaluation of DVB 31

Appendix D—Measurement of Factors in Roadway Lighting 31
   D-1 General 31

Appendix E—Pavement Luminance 32
   E-1 Theory and Practice 32
   E-2 Seeing Factors 34
   E-3 How to Achieve Pavement Luminance . . 35
   E-4 Surface Characteristics 35
   E-5 Measurements 36

Appendix F—Glossary of Terms Used in Roadway Lighting 36

Bibliography 41

Index 44

American National Standard Practice for Roadway Lighting

Foreword

(This Foreword is not a part of the "American National Standard Practice for Roadway Lighting, D12.1-1972.")

This American National Standard Practice for Roadway Lighting has been approved as a Proprietary Standard under the rules of procedure of the American National Standards Institute and under the sponsorship of the Illuminating Engineering Society. The Standard has been revised to increase its emphasis on the design criteria for roadway lighting by expanding Section 3, "Design of Roadway Lighting," to include more on illumination depreciation, quality, higher mounting heights and luminaire selection. Lighting for pedestrian walkways has been added as Section 4, roadway and area classifications have been updated in Section 1, and levels of illumination have been added for pedestrian walkways and alleys. Appendix material has been revised to include the Light Loss Factor concept in Appendix B and more on Pavement Luminance in Appendix E.

During the 47-year career of the Illuminating Engineering Society's Committee on Roadway Lighting, the night use of public ways has grown greatly. Traffic has increased in speed and density. Studies by the Committee have established a substantial relationship between good fixed lighting and traffic safety. Understanding of the principles of good lighting has advanced. The following earlier publications of the Committee reflect the progress of the roadway lighting technique through the years.

Principles of Street Lighting	1928
Code of Street Lighting	1930
Code of Street Lighting	1935
Code of Street Lighting	1937
Recommended Practice of Street Lighting	1940
Recommended Practice of Street and Highway Lighting	1945
American Standard Practice for Street and Highway Lighting	1947
American Standard Practice for Street and Highway Lighting	1953
American Standard Practice for Roadway Lighting	1963

The present practice has evolved out of these earlier documents, taking into account latest researches, experience, and current light sources and equipment.

Suggestions for improvement based upon experience in the use of this Standard will always be welcome and should be sent to the American National Standards Institute, 1430 Broadway, New York, N. Y. 10018.

An American National Standard represents a national consensus of all groups having an essential interest in the provisions of the Practice. The IES as a proprietary sponsor must have the viewpoints of all groups interested in roadway lighting represented on its Roadway Lighting Committee. The roster of this IES Roadway Lighting Committee follows:

Approved by the Board of Directors of the Illuminating Engineering Society as a Transaction of the Society, August 15, 1971. Approved as an American National Standard, by the American National Standards Institute, July 11, 1972.

IES Roadway Lighting Committee

Officers

Richard E. Stark (M), *Chairman*
Illinois Division of Highways
300 N. State Street
Room 707
Chicago, Illinois 60610

William L. Hawley (M), *Vice Chairman*
Powerlite Device Ltd.
54 Atomic Avenue
Toronto 18, Ontario

Mathew A. Lobas (M), *Secretary*
Cleveland Electric Illuminating Co.
P.O. Box 5000
Cleveland, Ohio 44101

Consulting Engineers

Paul C. Box (M)
9933 Lawler
Skokie, Illinois 60076

Paul L. Connolly, D.O. (A)
4347 Karen Lane
Bloomfield Hills, Michigan 48013

William B. Elmer (M)
113 Pinckney Street
Boston, Massachusetts 02114

A. Ketvirtis (M)
Foundation of Canada Engineering Corporation Ltd.
2200 Yonge Street
Toronto 12, Ontario

Alexander Lurkis (M)
575 Madison Ave.
New York, N. Y. 10022

Harold E. Mason (A)
99A Rossmoor Drive
Jamesburg, N. J. 08831

Charles H. Rex (M)
Consultant
Rt. No. 3, Box 2
Hendersonville, N. C. 28739

R. P. Teele (M)
3713 Jenifer St., N.W.
Washington, D. C. 20015

Clarence L. Thomas, Jr. (M)
c/o Palmer & Baker Engineers
P.O. Box 1867
Mobile, Alabama 36601

Wallace W. Weld (M)
1038 Butternut Lane
Northbrook, Illinois 60062

Electric Utilities

William T. Cantrell (A)
Georgia Power Co.
P.O. Box 4545
Atlanta, Georgia 30302

R. Chase (M)
P.O. Box 2370
West Simsburg, Connecticut 06101

C. H. Davison (M)
Georgia Power Co.
P.O. Box 4545
Atlanta, Georgia 30302

A. R. C. Dow (M)
Toronto Hydro Electric System
14 Carlton Street
Toronto, Ontario

George K. Glass (M)
Detroit Edison Co.
2000 Second Avenue, Room 341
Detroit, Michigan 48226

Robert Godemann (M)
Arizona Public Service Co.
P.O. Box 21666
Phoenix, Arizona 85036

M. A. Lobas (M)
Cleveland Electric Illuminating Co.
P.O. Box 5000
Cleveland, Ohio 44101

J. A. MacCracken (M)
193 Pine Street
Wollaston, Massachusetts 02170

Lewis L. Nurnberger (M)
Consumers Power Co.
212 W. Michigan Avenue
Jackson, Michigan 49201

Edwin M. Prims (M)
Commonwealth Edison Co.
First National Plaza
P.O. Box 767
Chicago, Illinois 60690

(M) = Member. Has voting power both at meetings and by ballot.
(A) = Advisory. Has voting power only at Committee meetings.

Manufacturers

James R. Campbell (M)
56 Hamden Ave.
Haddonfield, N. J. 08023

P. B. Clark (M)
McGraw Edison Power System
P.O. Box 160
12th and Madison Street
South Milwaukee, Wisconsin 53172

Russell C. Dahl (A)
Westinghouse Electric Corp.
2211 W. Pershing Road
Chicago, Illinois 60609

Warren H. Edman (M)
Holophane Company, Inc.
1120 Avenue of the Americas
New York, N. Y. 10036

J. S. Franklin (M)
General Electric Co.
Lighting Systems Department
Hendersonville, N. C. 28739

Calvin Friar (M)
Union Metal Manufacturing Co.
Canton, Ohio 44705

C. J. Gray (M)
Canada General Electric Ltd.
940 Lansdowne Avenue
Toronto 4, Ontario

W. T. Hedley (M)
Powerlite Devices Ltd.
54 Atomic Avenue
Toronto 18, Ontario

R. Kaiser (A)
American Concrete Division
Dabringer Road
Waukegan, Illinois 60085

Merle E. Keck (M)
Westinghouse Electric Corp.
Cleveland Lighting Division
1216 W. 58th St.
P.O. Box 5817
Cleveland, Ohio 44101

S. W. McKnight (M)
Canadian Westinghouse Co. Ltd.
P.O. Box 519
Granby, Quebec

Ronald L. Paugh (M)
General Electric Co.
Nela Park
Cleveland, Ohio 44112

M. C. Unglert (M)
Westinghouse Electric Co.
Section 82012
1 Westinghouse Plaza
Bloomfield, N. J. 07003

Robert L. Tylor (M)
Corning Glass Works
Lighting Products Division
Corning, N. Y. 14830

Robert R. Wylie (M)
GTE Sylvania Inc.
100 Endicott St.
Danvers, Massachusetts 01923

Government

Rene J. Camou (A)
Lesage Building, Room 705
550 S. Vermont Avenue
Los Angeles, California 90005

Peter G. Contos (M)
Department of Public Works
320 N. Clark Street
Chicago, Illinois 60602

B. I. Fansler (M)
Office of Traffic Operations
Bureau of Public Roads
Federal Highway Administration
Washington, D. C. 20591

Daniel L. Goldberg (M)
Port of New York Authority
111 Eighth Avenue
New York, N. Y. 10011

Willard Grasser (M)
Department of Public Utilities
323 Plum Street
Cincinnati, Ohio 45202

George Howie (A)
Washington Suburban Transit Commission
8720 Georgia Avenue
Silver Springs, Maryland 20904

Jerome S. Laporte (M)
Bureau of Street Lighting
222 South Hill Street
Los Angeles, California 90012

H. D. Mosely (M)
Alabama Highway Department
Montgomery, Alabama 36104

Charles A. Oerkvitz (M)
City of Philadelphia
840 Municipal Services Bldg.
Philadelphia, Pennsylvania 19107

Oscar Schelander (M)
473 W. Robinwood
Fresno, California 93704

Richard E. Stark (M)
Illinois Division of Highways
300 N. State Street, Room 707
Chicago, Illinois 60610

James A. Thompson (A)
P.O. Box 7186
Country Club Station
Kansas City, Missouri 64113

Jay E. Wagner (M)
Ohio Department of Highways
25 South Front Street
Columbus, Ohio 43215

Vernon H. Waight (A)
California Division of Highways
P.O. Box 3366
San Francisco, California 94119

Irving Weinstein (M)
Deputy Chief Engineer
Department of Water Supply, Gas and Electricity
Municipal Building, Room 2305
New York, N. Y. 10007

Robert M. Williston (M)
Connecticut State Highway Department
24 Wolcott Hill Road
P.O. Drawer A
Wethersfield, Connecticut

Robert Young (M)
Road Design Section
Georgia State Highway Department
No. 2 Capitol Square
Atlanta, Georgia 30334

André J. Birkhoff
Transportation Research Center
Ohio State University
161 West Maynard
Columbus, Ohio 43202

Other Organizations

M. E. Mitchell (M)
Mitchell Maintenance Co.
P.O. Box 1225
Muncie, Indiana 47305

Francis Clark (M)
Lighting Services
Drawer No. 3009
Waterbury, Connecticut 06705

Professor D. M. Finch (A)
University of California
Vehicle Technology Facility
Richmond Field Station, Bldg. 196
1301 South 46th Street
Richmond, California 94804

Edward O. Heinein (M)
Meade Electric Company, Inc.
5401 West Harrison Street
Chicago, Illinois 60644

L. E. King (M)
West Virginia University
Department of Civil Engineering
Morgantown, West Virginia 26506

Arthur P. Pierce (M)
Broadway Maintenance
4300 North Carlisle
Philadelphia, Pennsylvania 19140

Neilon J. Rowan (M)
Driving Environment Program
Texas Transportation Institute
Texas A&M
College Station, Texas 77843

T. J. Seburn (A)
109 East Terrace
Kansas City, Missouri 64114

K. A. Stonex (M)
General Motors Engineering Staff
G.M. Technical Center
Warren, Michigan 48090

Preface

(This Preface is informative and not a part of the "American National Standard Practice for Roadway Lighting, D12.1-1972.")

(a) These recommendations deal entirely with matters of illumination and do not give advice on construction practice. They have been prepared in furtherance of the Sponsor's objective, which is the advancement of the theory and practice of illuminating engineering and the dissemination of knowledge relating thereto.

(b) The recommendations are for fixed lighting of the different kinds of public roads and pedestrian walkways to a quality considered appropriate to modern requirements for night use. These recommendations have been equaled or exceeded in a great number of modernization programs. Where such lighting has been installed, the result often has been a marked reduction in night accidents. Pedestrian and vehicular traffic has been expedited. Practicability and economy have been demonstrated.

(c) The principal purpose of roadway lighting is to produce quick, accurate and comfortable seeing at night. These qualities of seeing combine to safeguard, facilitate and encourage vehicular and pedestrian traffic. Every designer should provide for the inherent qualities required by the user. That user is a human being and, as such, has mental and physical capabilities and limitations. A very important consideration is that of making streets and highways useful during hours of darkness as well as during the daytime. Where good seeing is provided, efficient night use can be made of the large investment in roadway construction and motor vehicles. Thus, the proper use of roadway lighting as an operative tool provides economic and social benefits to the public including:

1. Reduction in night accidents, attendant human misery, and economic loss.
2. Prevention of crime and aid to police protection.
3. Facilitation of traffic flow.
4. Promotion of business and industry during night hours.
5. Inspiration for community spirit and growth.

(d) Nightfall brings increased hazards to users of streets and highways because of limited visibility distance. The fatal accident mileage rate at night is more than three times greater than the daytime rate, based on night travel research findings. There are added night factors which account for this high rate increase. These are:

1. Reduced visibility.
2. Distraction of extraneous background lighting.
3. Lack of environmental clues (or recognition clues).
4. Defective, inadequate, improperly maintained, or misused vehicle lights.
5. Increased fog, rain and snow (decreased atmospheric transmissivity).
6. Increased driver fatigue.
7. Increased influence of alcohol and drugs.
8. Different composition of traffic.
9. Different drivers' attitudes and visual capabilities.
10. Declining visual capabilities of people with increasing age (perception, adaptation, accommodation, glare tolerance).

(e) Experience has demonstrated that under many circumstances prevailing in the United States it is practicable to light urban and suburban streets and the critical sections of highways so as to reduce this excessive toll of lives that is attributable to lighting inadequacies. Furthermore, the IES Roadway Lighting Committee is of the opinion that such improvements in the lighting of streets and highways generally are economically practicable. These preventive measures can cost the community less than do the accidents caused by inadequate visibility.

(f) The most urgent element that underlies this American National Standard Practice is the provision of proper lighting where it adds to safety and comfort of the vehicular driver, safety of pedestrians, and facilitates traffic flow.

(g) This Standard Practice is divided into four general subject areas. These deal with Classifications of Roadways, Walkways, Areas; Luminaire Light Distributions; Design of Roadway Lighting; plus Pedestrian Walkways. Supplemental material of more detailed nature is included in the several Appendices.

American National Standard Practice

1. Classification of Roadways, Walkways and Areas

1.1 Roadway and Walkway Classifications.

(a) *Major*—The part of the roadway system that serves as the principal network for through traffic flow. The routes connect areas of principal traffic generation and important rural highways entering the city.

(b) *Collector*—The distributor and collector roadways serving traffic between major and local roadways. These are roadways used mainly for traffic movements within residential, commercial and industrial areas.

(c) *Local*—Roadways used primarily for direct access to residential, commercial, industrial, or other abutting property. They do not include roadways carrying through traffic. Long local roadways will generally be divided into short sections by collector roadway systems.

(d) *Expressway*—A divided major arterial highway for through traffic with full or partial control of access and generally with interchanges at major crossroads. Expressways for non-commercial traffic within parks and park-like areas are generally known as parkways.

(e) *Freeway*—A divided major highway with full control of access and with no crossings at grade.

(f) *Alleys*—A narrow public way within a block, generally used for vehicular access to the rear of abutting properties.

(g) *Sidewalks* — Paved or otherwise improved areas for pedestrian use, located within public street rights-of-way which also contain roadways for vehicular traffic.

(h) *Pedestrian Ways*—Public sidewalks for pedestrian traffic generally not within rights-of-way for vehicular traffic roadways. Included are skywalks (pedestrian overpasses), subwalks (pedestrian tunnels), walkways giving access to park or block interiors and crossings near centers of long blocks.

1.2 Area Classifications.

(a) *Commercial*—That portion of a municipality in a business development where ordinarily there are large numbers of pedestrians and a heavy demand for parking space during periods of peak traffic or a sustained high pedestrian volume and a continuously heavy demand for off-street parking space during business hours. This definition applies to densely developed business areas outside of, as well as those that are within, the central part of a municipality.

(b) *Intermediate*—That portion of a municipality which is outside of a downtown area but generally within the zone of influence of a business or industrial development, characterized often by a moderately heavy nighttime pedestrian traffic and a somewhat lower parking turnover than is found in a commercial area. This definition includes densely developed apartment areas, hospitals, public libraries, and neighborhood recreational centers.

(c) *Residential*—A residential development, or a mixture of residential and commercial establishments, characterized by few pedestrians and a low parking demand or turnover at night. This definition includes areas with single family homes, townhouses, and/or small apartments. Regional parks, cemeteries, and vacant lands are also included.

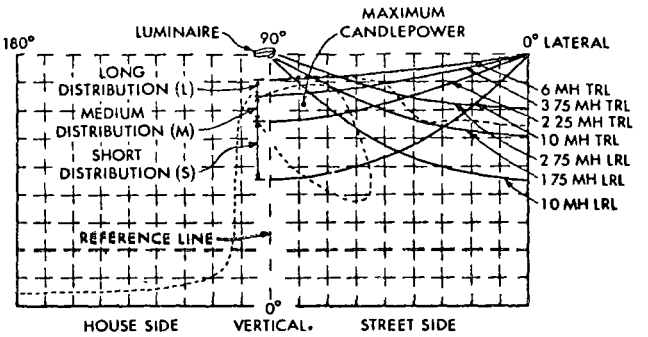
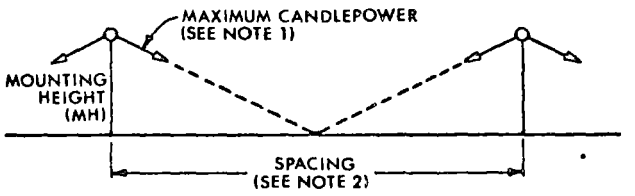


Figure 1. Recommended vertical light distribution boundaries on a rectangular coordinate grid (representation of a sphere). Dashed lines are isocandela traces.



Note 1. Maximum candlepower beams from adjacent luminaires should at least meet on the road surface.

Note 2· Maximum luminaire spacing generally is less than:

"A"—Short Distribution — 4 5 MH
"B"—Medium Distribution — 7.5 MH
"C"—Long Distribution — 12.0 MH

Figure 2. Typical roadway lighting layouts showing spacing-to-mounting height relationships.

2. Classification of Luminaire Light Distributions

2.1 Introduction. (a) Proper distribution of the light flux from luminaires is one of the essential factors in efficient roadway lighting. The light emanating from the luminaires is directionally controlled and proportioned in accordance with the requirements for seeing and visibility. Light distributions are generally designed for a typical range of conditions which include luminaire mounting height, transverse (overhang) location of luminaires, longitudinal spacing of luminaires, widths of roadway to be effectively lighted, arrangement of luminaires, percentage of lamp light directed toward the pavement and adjacent areas, and maintained efficiency of the system.

(b) Several methods have been devised for showing the light distribution pattern from a luminaire. (See Figs. 1 through 5.) For practical operating reasons the range in luminaire mounting heights may be kept constant. Therefore, it becomes necessary to have several different light distributions in order to light effectively different roadway widths, using various luminaire spacing distances at a particular luminaire mounting height. All luminaires can be classified according to their *Lateral* and *Vertical* distribution patterns. Different *Lateral* distributions are avaliable for different *Street Width-to-Mounting Height Ratios.* Different *Vertical* distributions are available for different *Spacing-to-Mounting Height Ratios.* Distributions with higher vertical angles of maximum candlepower emission are necessary to obtain the required uniformity of illumination where longer luminaire spacings are used (as on residential and light traffic roadways). These higher vertical emission angles produce a more favorable pavement brightness which may be desired for silhouette seeing, where traffic volume is relatively light. Distributions with lower vertical angles of maximum candlepower emission are used in order to reduce system glare. This becomes more important when using high lumen output lamps. The lower the emission angle, the closer the luminaire spacing must be to obtain required illumination uniformity. Therefore to achieve specific illumination results it becomes necessary as a part of any lighting system design to consider and to check the uniformity of illumination by checking ratios of average footcandles to minimum footcandles.

(c) Luminaire light distribution may be classified in respect to three criteria:

1. Vertical Light Distribution
2. Lateral Light Distribution
3. Control of Light Distribution Above Maximum Candlepower

(d) Classification of light distribution should be made on the basis of an isocandela diagram which, on its rectangular coordinate grid, has superimposed a series of *Longitudinal Roadway Lines* (LRL) in multiples of *Mounting Height* (MH) and a series of *Transverse Roadway Lines* (TRL) in multiples of Mounting Height. The relationship of LRL and TRL to an actual

street and the representation of such a web are shown in Figs. 1 through 5. The minimum information which should appear on such an isocandela diagram for classification is as follows:

1. LRL lines of 1.0 MH, 1.75 MH and 2.75 MH.
2. TRL lines of 1.0 MH, 2.25 MH, 3.75 MH, 6.0 MH and 8.0 MH.
3. Maximum candlepower location and half maximum candlepower trace.
4. Candlepower lines equal to the numerical values of 2½, 5, 10 and 20 per cent of the rated bare lamp lumens.

2.2 Vertical Light Distributions. Vertical light distributions are divided into three groups: Short (S), Medium (M), and Long (L). See Figs. 1 and 4.

2.2.1 ***Short Distribution.*** A luminaire is classified as having a Short light distribution when its maximum candlepower point lies in the "S" zone of the grid which is from the 1.0 MH TRL to less than the 2.25 MH TRL. See Figs. 1 and 2 (Note 2A).

2.2.2 ***Medium Distribution.*** A luminaire is classified as having a Medium light distribution when its maximum candlepower point lies in the "M" zone of the grid which is from the 2.25 MH TRL to less than the 3.75 MH TRL. See Figs. 1 and 2 (Note 2B).

2.2.3 ***Long Distribution.*** A luminaire is classified as having a Long light distribution when its maximum candlepower point lies in the "L" zone of the web which is from the 3.75 MH TRL to less than the 6.0 MH TRL. See Figs. 1 and 2 (Note 2C).

2.3 Lateral Light Distributions. Lateral light distributions (see Figs. 3 and 4) are divided into two groups based on the location of the luminaire as related to the area to be lighted. Each group may be subdivided into divisions with regard to the width of the area to be lighted in terms of the MH ratio. Only the segments of the half maximum candlepower isocandela trace which fall within the longitudinal distribution range, as determined by the point of maximum candlepower (short, medium, or long), are used for the purpose of establishing the luminaire distribution width classification.

2.3.1 ***Luminaires At or Near Center of Area.*** The group of lateral width classifications which deals with luminaires intended to be mounted at or near the center of the area to be lighted has similar light distributions on both the "House Side" and the "Street Side" of the reference line.

2.3.1.1 *Type I.* A distribution is classified as Type I when its half maximum candlepower isocandela trace lies within the Type I width range on both sides of the reference line which is bounded by 1.0 MH House Side LRL and 1.0 MH Street Side LRL within the longitudinal distribution range (short, medium or long distribution) where the point of maximum candlepower falls. (See Fig. 4A.)

2.3.1.2 *Type I Four-Way.* A distribution is classified as a Type I Four-Way when it has four beams of the width as defined for Type I above. (See Fig. 4B.)

2.3.1.3 *Type V.* A distribution is classified as Type V when the distribution has a circular symmetry of candlepower distribution which is essentially the same at all lateral angles around the luminaire. (See Fig. 4C.)

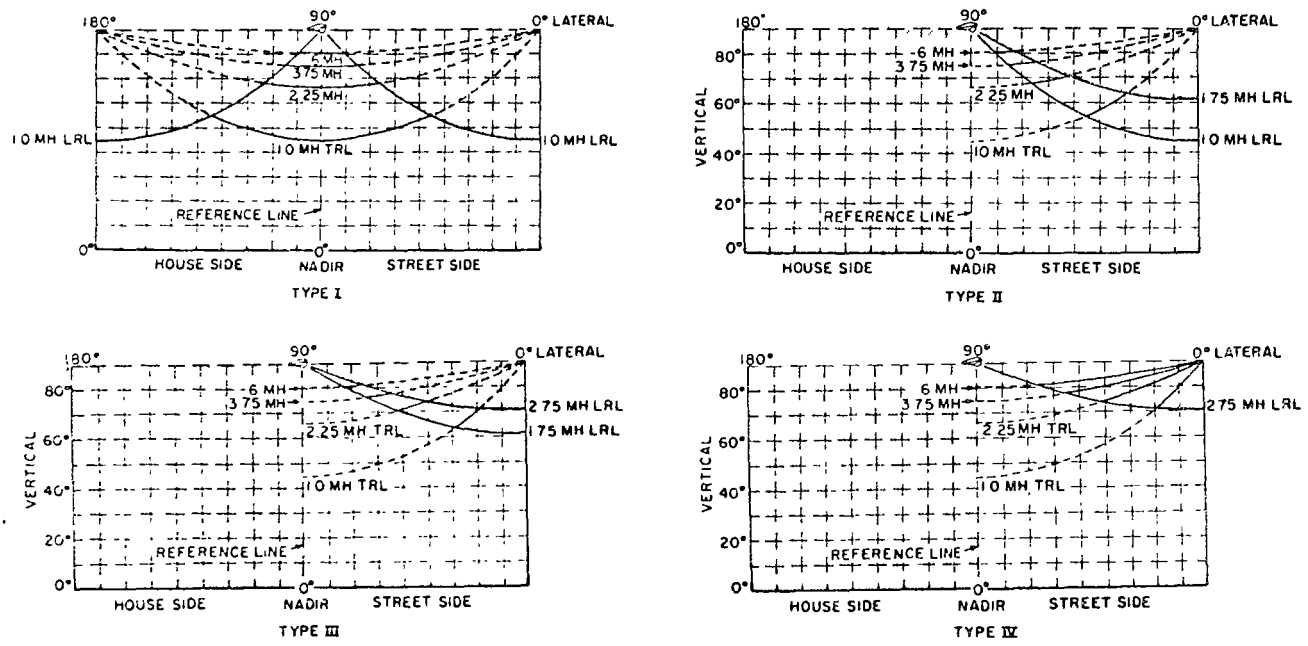


Figure 3 Recommended lateral light distribution boundaries on a rectangular coordinate grid (representation of a sphere).

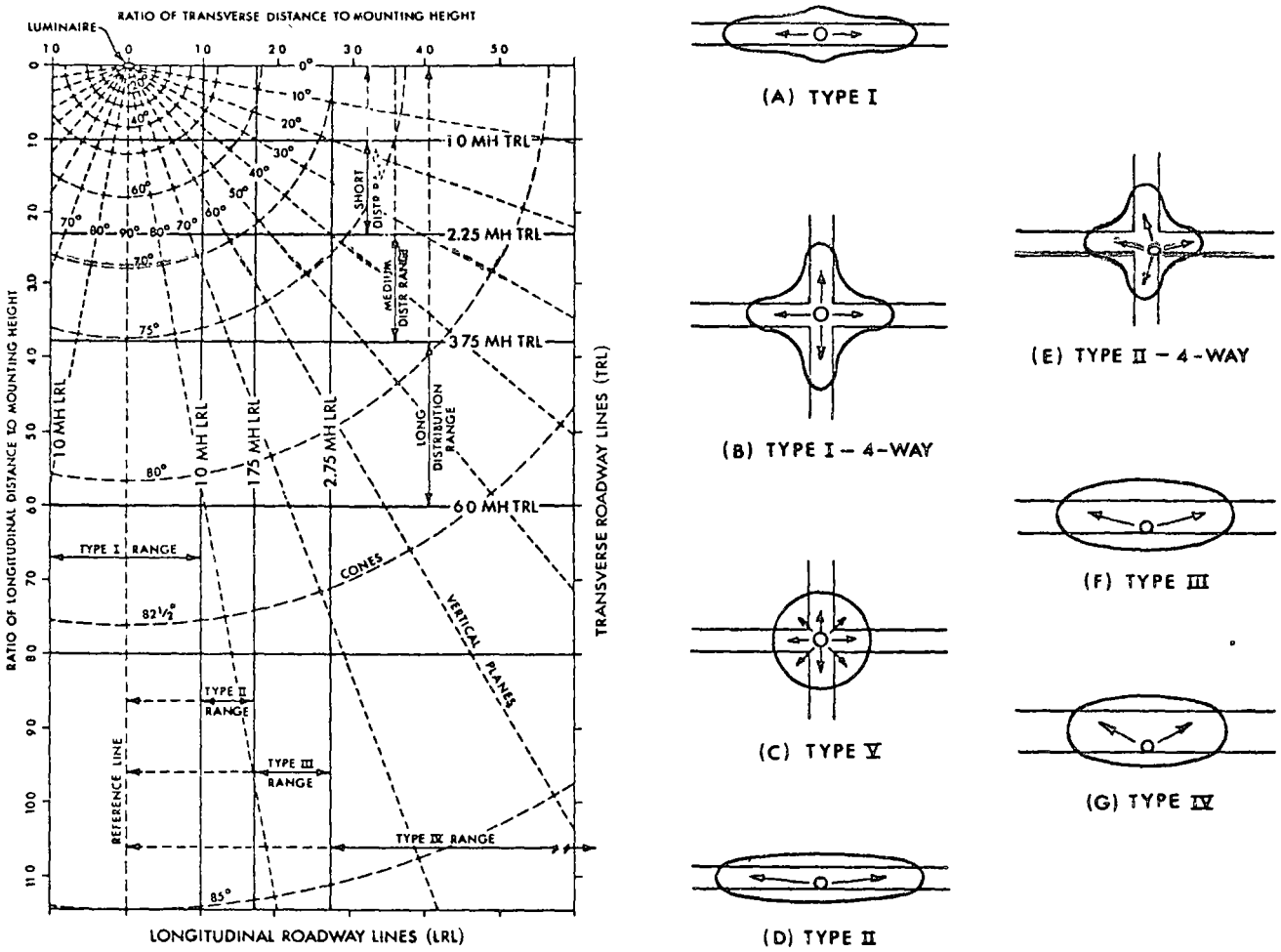


Figure 4. Plan view of roadway coverage for different types of luminaires.

2.3.2. ***Luminaires Near Side of Area.*** The group of lateral width classifications which deals with luminaires intended to be mounted near the side of the area to be lighted vary as to the width of distribution range on the Street Side of the reference line. The House Side segment of the half maximum candlepower isocandela trace within the longitudinal range in which the point of maximum candlepower falls (short, medium or long) may or may not cross the reference line. In general it is preferable that the half maximum candlepower isocandela trace remains near the reference line. The variable width on the street side is as defined.

2.3.2.1 *Type II.* A distribution is classified as Type II when the Street Side segment of the half maximum candlepower isocandela trace within the longitudinal range in which the point of maximum candlepower falls (short, medium or long) does not cross the 1.75 MH Street Side LRL. (See Fig. 4D.)

2.3.2.2 *Type II Four-Way.* A distribution is classified as a Type II Four-Way when it has four beams each of the width on the Street Side as defined for Type II above. (See Fig. 4E.)

2.3.2.3 *Type III.* A distribution is classified as Type III when the Street Side segment of the half maximum candlepower isocandela trace within the longitudinal range in which the point of maximum candlepower falls (short, medium or long) lies partly on entirely beyond the 1.75 MH Street Side LRL, but does not cross the 2.75 MH Street Side LRL. (See Fig. 4F.)

2.3.2.4. *Type IV.* A distribution is classified as Type IV when the Street Side segment of the half maximum candlepower isocandela trace within the longitudinal range in which the point of maximum candlepower falls (short, medium or long) lies partly or entirely beyond the 2.75 MH Street Side LRL. (See Fig. 4G.)

2.4 Control of Distribution Above Maximum Candlepower. Although the pavement brightness generally increases when increasing the vertical angle of light flux emission, it should be emphasized that the disability and discomfort glare also increase. However, since the respective rates of increase and decrease of these factors are not the same, design compromises become necessary in order to achieve balanced performance. Therefore, varying degrees of control of candlepower in the upper portion of the beam above maxi-

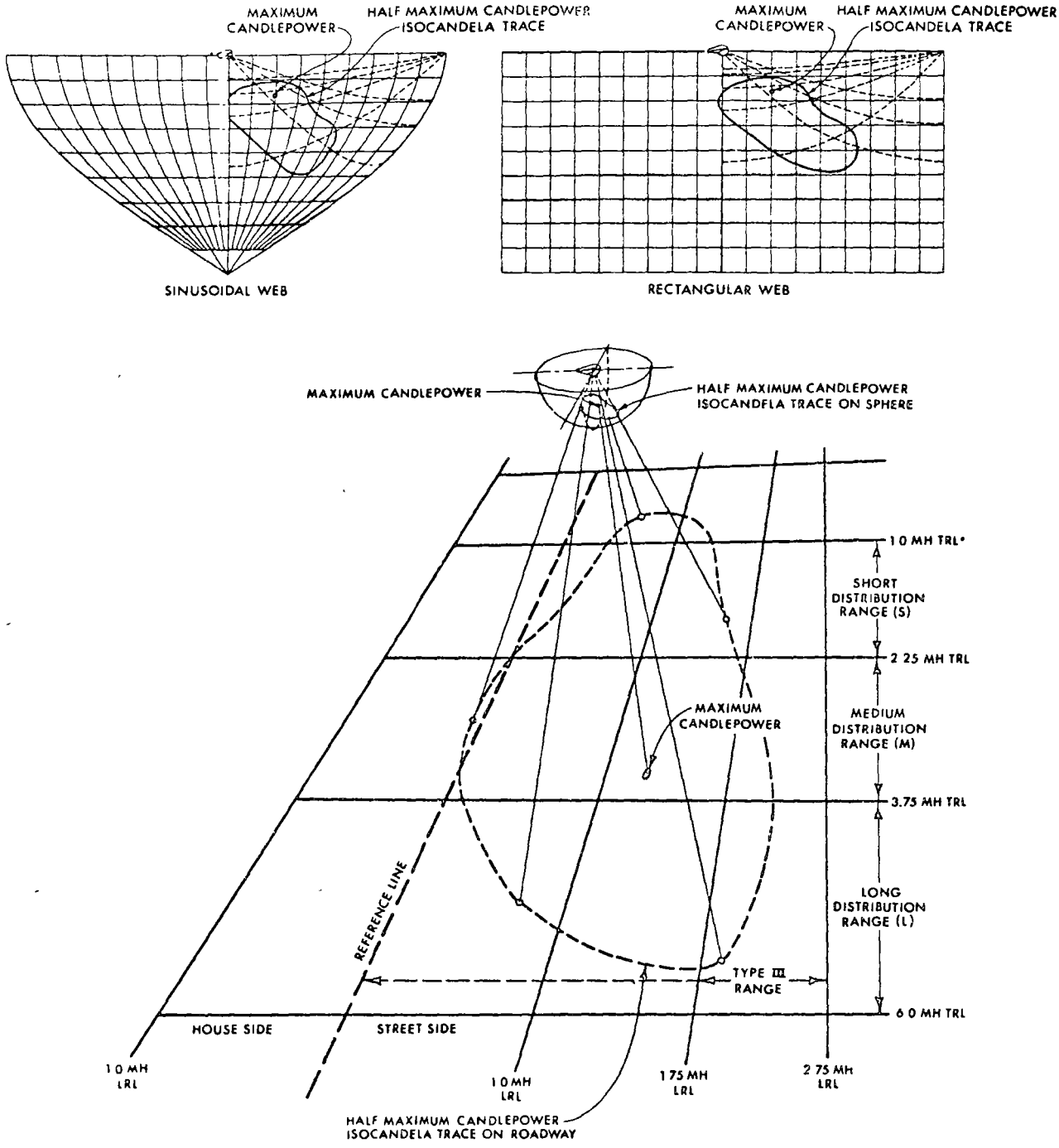


Figure 5. Diagram showing projection of maximum candlepower and half maximum candlepower isocandela trace from a luminaire having a Type III—Medium distribution, on the imaginary sphere and the roadway. Sinusoidal web and rectangular web representation of sphere are also shown, with maximum candlepower and half maximum candlepower isocandela line.

mum candlepower are required. This control of the candlepower distribution is divided into three categories.

2.4.1 ***Cutoff.*** A luminaire light distribution is designated as cutoff when the candlepower per 1000 lamp lumens does not numerically exceed 25 (2½ per cent) at an angle of 90 degrees above nadir (horizontal); and 100 (10 per cent) at a vertical angle of 80 degrees above nadir. This applies to any lateral angle around the luminaire.

2.4.2 ***Semicutoff.*** A luminaire light distribution is designated as semicutoff when the candlepower per 1000 lamp lumens does not numerically exceed 50 (5 per cent) at an angle of 90 degrees above nadir (horizontal); and 200 (20 per cent) at a vertical angle of 80 degrees above nadir. This applies to any lateral angle around the luminaire.

2.4.3. ***Noncutoff.*** The category when there is no candlepower limitation in the zone above maximum candlepower.

2.5 Variations and Comments. (a) With the variations in roadway width, type of surface, luminaire mounting height, and spacing which may be found in actual practice, there could be a large number of "ideal" lateral distributions. For practical applications, however, a few types of lateral distribution patterns may be preferable to many complex arrangements. This simplification of distribution types will be more easily understood and consequently there will be greater assurance of proper installation and more reliable maintenance.

(b) When luminaires are tilted upward it raises the angle of the Street Side light distribution. Features such as cutoff or width classification may be changed appreciably. When the tilt is planned the luminaire should be photometered and the light distribution classified in the position in which it will be installed.

(c) Type I, II, III and IV lateral light distributions should vary across transverse roadway lines other than that including the maximum candlepower in order to provide adequate coverage of the rectangular roadway area involved. The width of the lateral angle of distribution required to cover adequately a typical width of roadway varies with the vertical angle or length of distribution as shown by the TRL (Transverse Roadway Line). For TRL 4.5 MH the lateral angle of distribution for roadway coverage is obviously narrower than that required for TRL 3.0 MH or for TRL 2.0 MH.

(d) Figs. 3 through 5 may be referred to in converting from the previous cone and plane terminology to TRL and LRL terminology when selecting the desired types of light distributions for different transverse and longitudinal roadway coverage.

(e) For typical roadway conditions it is desirable to approach very closely the light distributions prescribed. Purposeful variations from these distributions are permissible when such variations become necessary. Several examples of these purposeful variations are:

1. Fluorescent luminaires which provide broad Type I or Type II distributions and which project the maximum candlepower lower than specified.
2. Directional lighting for one-way streets and divided highways, where the light projected in the direction of traffic is substantially reduced in the high vertical angle.
3. Fluorescent luminaires parallel to the street to obtain reduced glare and increased utilization.
4. Luminaires mounted at low mounting heights.
5. Types IV and V luminaire distributions with extra upward light for illuminating building fronts.

Other purposeful variations from the distributions specified may be found advantageous from time to time for special applications.

3. Design of Roadway Lighting

3.1 Introduction. (a) The design of a lighting system involves many variables including economic, esthetic, and visibility related factors. The design process follows these major steps.

1. Determination from roadway classification, and adjacent land use (area classification), the quantity of light desired in Average Horizontal Footcandles. (See Table I and Fig. 6.)
2. Formulation of a tentative concept as to luminaire location, light source, and mounting height relative to

Table I—Recommendation for Average Maintained Horizontal Illumination

Roadway and Walkway Classification*	Area Classification** Commercial Footcandle	Commercial Lux	Intermediate Footcandle	Intermediate Lux	Residential Footcandle	Residential Lux
Vehicular Roadways						
Freeway†	0.6	6	0.6	6	0.6	6
Major and Expressway†	2.0	22	1.4	15	1.0	11
Collector	1.2	13	0.9	10	0.6	6
Local	0.9	10	0.6	6	0.4	4
Alleys	0.6	6	0.4	4	0.2	2
Pedestrian Walkways						
Sidewalks	0.9	10	0.6	6	0.2	2
Pedestrian Ways	2.0	22	1.0	11	0.5	5

*See paragraph 1.1 **See paragraph 1.2 †Both mainline and ramps.

Note: The recommended illumination values shown are meaningful only when designed in conjunction with other elements. The most critical elements as described in this practice, are as follows:
(a) Illumination Depreciation (see paragraph 3.3).
(b) Quality (see paragraph 3.4).
(c) Uniformity (see paragraph 3.5).
(d) Luminaire Mounting Heights (see paragraph 3.6).
(e) Spacing (see paragraph 3.7).
(f) Transverse Location of Luminaires (see paragraph 3.8).
(g) Luminaire Selection (see paragraph 3.9).
(h) Traffic Conflict Areas (see paragraph 3.10).
(i) Border Areas (see paragraph 3.11).
(j) Transition Lighting (see paragraph 3.12).
(k) Alleys (see paragraph 3.13).
(l) Roadway Lighting Layouts (see paragraph 3.14).

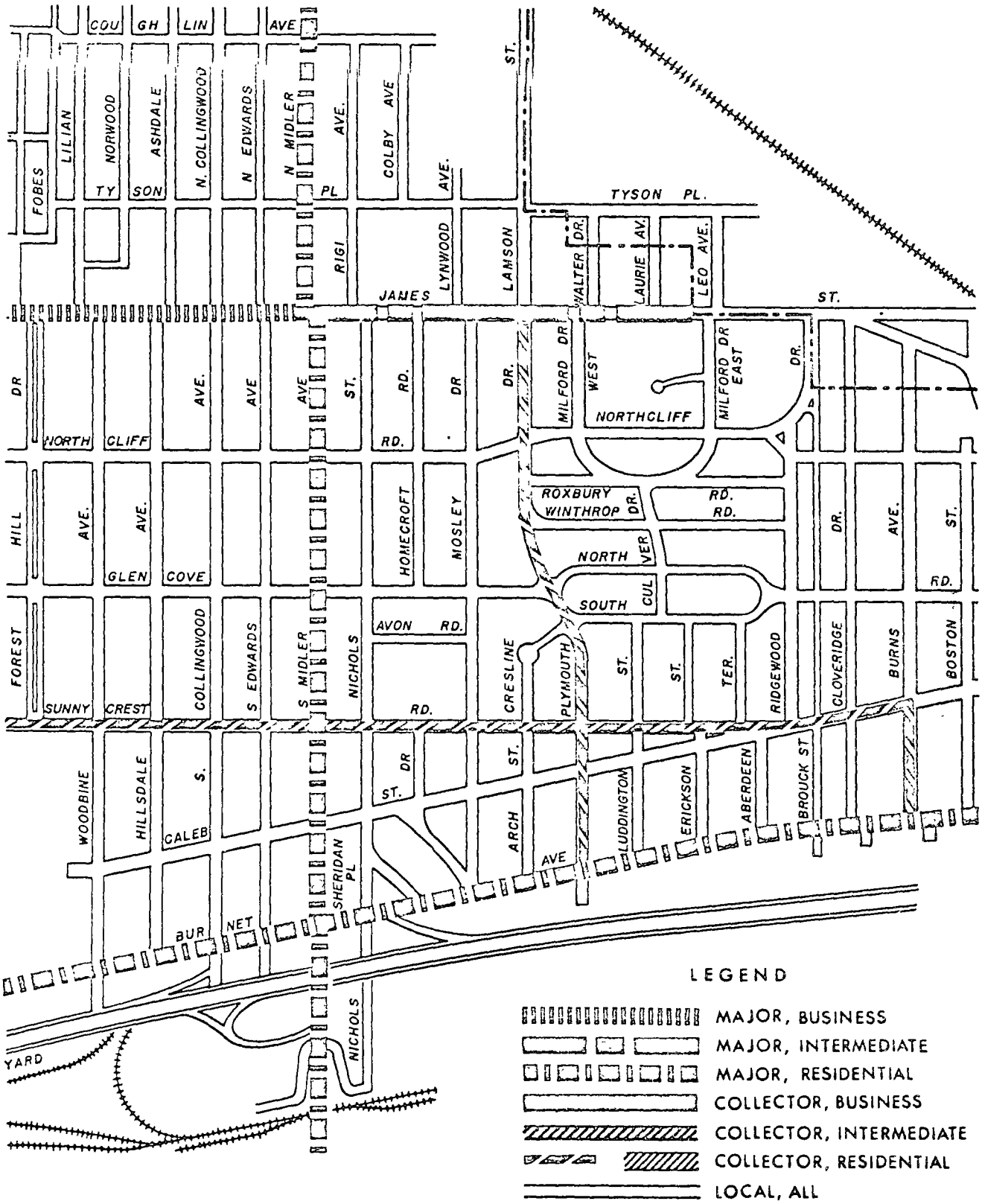


Figure 6. Example of street classification.

Table II—Guide for Luminaire Lateral Light Distribution Type and Selection and Placement—Rectangular Roadway Area

Side of the Roadway Mounting			Center of the Roadway Mounting		
One Side or Staggered	Staggered or Opposite	Grade* Intersection	Single Roadway	Twin Roadways (Median Mtg.)	Grade* Intersections
Width up to 1.5 MH	Width beyond 1.5 MH	Width up to 1.5 MH	Width up to 2.0 MH	Width up to 1.5 MH (each pavement)	Width up to 2.0 MH
Types II-III-IV	Types II and IV	Type II 4-way	Type I	Types II and III	Types I 4-way and V

Note: In all cases suggested maximum longitudinal spacings and associated vertical distribution classifications are:
Short Distribution = 4.5 MH
Medium Distribution = 7.5 MH
Long Distribution = 12.0 MH
*Local Category Intersection

the area to be lighted. (See paragraph 3.9 and Table II.)

3. Selection of a Luminaire Light Distribution Type classification to be used in trial calculations.

4. Detailed calculations using several tentative light source types and sizes, luminaires, mounting heights, and maintenance conditions to determine spacings, luminaire locations, and footcandle levels achieved (average and minimum).

5. Comparative calculations on several possible systems to determine relative factors of uniformity, economics, disability glare and pavement luminance.

6. When a light distribution classification system such as this has been agreed upon, borderline situations quickly become evident during the application stage. As an example, all luminaires carrying the same classification are not identical in performance when applied to a particular application. It is system performance that is of prime importance as the design concepts within this standard are employed. In most cases skilled engineering judgment must be employed when considering individual luminaire light distribution for a specific system. It may not be appropriate to specify only one light distribution when it is obvious that several luminaire light distributions will provide equivalent performance for a specific application.

7. Selection of final design or re-entry of design process at any step above.

(b) The formulation of a tentative design concept (see paragraph 3.1, item 2) involves many variables including the economic and esthetic aspects. The choice of light source, the extent to which available electric distribution facilities are used, and the type of poles, lamp posts, brackets and luminaires selected are all factors which will influence the economics of lighting. Any consideration of appearance will ultimately resolve into a matter of personal taste. However, elaborate or ornate design purely for the purpose of satisfying an esthetic desire cannot be justified unless the basic requirements of good visibility have first been attained. It is important that roadway lighting be planned on the basis of traffic information, which includes the factors necessary to provide traffic safety and pedestrian security. Some of the factors applicable to the specific problem which are to be carefully evaluated are:

1. Type of land use development (Area Classification) abutting the roadway or walkway.

2. Type of route (Roadway or Walkway Classification).

3. Traffic accident experience.

4. Street crime experience and security requirements.

5. Roadway construction features:

(1) Width of pavement or number of traffic lanes.
(2) Character of pavement surface.
(3) Grades and curves.
(4) Location and width of curbs, sidewalks and shoulders.
(5) Type and location of very high volume driveways.
(6) Width and location of dividing and safety islands with channelizing curbs.
(7) Intersections and interchanges.
(8) Underpasses and overpasses.

3.2 Illumination Requirements. The recommended illumination values are given in Table I. They represent the lowest average levels which are currently considered appropriate for the kinds of roadways or walkways in the various areas. Numerous installations have been made at higher values. Furthermore, the recommendations assume design of proper uniformity and use of applicable types of luminaire light distributions, lamp sizes, mounting heights, spacings and transverse locations. These values do not represent initial illumination, but should be in-service values of systems designed with proper light loss factors. These elements are reviewed in the following paragraphs.

3.3 Illumination Depreciation. (a) The recommended values of Table I represent average illumination when the luminaires are at their lowest output. This condition occurs just prior to lamp replacement and luminaire washing. It is impossible to attempt the design of a lighting system without knowing in advance the light losses to be expected. Even when the Light Loss Factors are considered and allowance for them is incorporated in an operating service plan, lighting levels may still be reduced to less than 60 per cent of initial at terminal points in the servicing schedule. In the absence of group lamp replacement and luminaire washing schedules appropriate to local

conditions, the average system illumination can fall below 50 per cent of the initial value.

(b) There are eight general causes of light loss (see Appendix B-2.4):

1. Luminaire ambient temperature.
2. Voltage to luminaire.
3. Ballast factor.
4. Luminaire component depreciation.
5. Changes in physical surroundings.
6. Lamp burn-outs.
7. Lamp lumen depreciation (LLD).
8. Luminaire dirt depreciation (LDD).

Of these eight, the first six are not usually loss factors to be recovered during normal maintenance procedures, whereas the latter two represent the major losses recovered periodically. Regardless of recoverability, all eight factors should be carefully considered in design procedures to assure that the levels recommended in Table I are the lowest values provided.

(c) One of the principal illumination losses is lamp lumen depreciation (LLD) with in-use aging. Lamp manufacturers provide data showing light output for average lamps relative to operating time. It is sometimes expressed as mean lumen output during rated life; however, lamp lumen output values used for design purposes should be determined by a thorough study of such data and other lamp operating characteristics. The value selected should be that which occurs at the time of lamp replacement.

(d) The loss due to dirt accumulation (LDD) is a function of the kind of area, volume of traffic, mounting height, degree of luminaire gasketing and time since last cleaning (excessive age or extended cleaning intervals may result in dirt "baked" on reflector surfaces so firmly that it cannot be removed by normal washing). Tests have shown that dirt collection on luminaires along heavily traveled freeways can reduce light output by 20 per cent in a six-month period. Business street luminaires may lose 10 per cent in six months, while local residential or outlying highway locations may have losses of only five per cent. The maintenance program should be based on measurements of actual local conditions, but *annual washing schedules* are likely to be justified for luminaires along freeways, expressways, major and collector roadways.

(e) The overall light loss factor to be used is calculated by multiplying each separate known factor. A typical factor might be on the order of 0.9 (for LLD) $\times$ 0.8 (for LDD) $=$ 0.7. Under poorer maintenance conditions, overall factors as low as 0.4 may be applicable.

3.4 Quality. (a) Quality of lighting relates to the relative ability of the light available to provide the contrast differences in the visual scene in such a manner that people may make quick, accurate, and comfortable recognition of the cues required for the seeing task. The quality of lighting of installation "A" is higher than that of installation "B" if, with the same average footcandle level, visual recognition of typical tasks is faster, easier, and/or done more comfortably under installation "A."

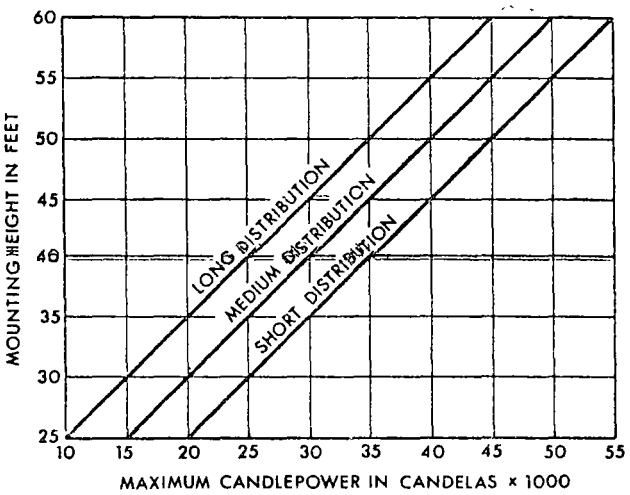


Figure 7. Minimum luminaire mounting heights based on current practice (for roadway lighting only).

(b) Many factors are inter-related to produce improved quality of lighting. The following factors are involved, but quantitative values and relative importance cannot be given.

1. Disability glare and discomfort glare should be minimized.
2. Reflected glare will conceal some contrast differences.
3. Pavement luminance (brightness) if increased will improve some contrast situations.
4. Light on vertical surfaces is desirable.
5. Uniformity of horizontal and vertical footcandle levels, as well as uniformity of pavement luminance and other background areas, affects quality.

(c) It should be recognized that in many instances, changes intended to optimize one factor relating to quality will adversely affect another and the resultant total quality of the installation may be degraded. In order to achieve a proper compromise between these factors, this practice provides definitions and recommendations covering:

1. Luminaire light distribution in regard to vertical light, lateral light and cutoff.
2. Mounting height as a function of maximum candlepower. (See Fig. 7.)
3. Minimum illumination at any point on the roadway as related to average illumination.
4. Luminaire locations as related to roadway construction configurations. (See Appendix A.)

(d) The achievement of balanced quality attributes will result if the recommendations relating to each of the above are followed; however, a competent engineer well versed in the principles of illumination and their effects on visual conditions may achieve an equally good or a superior balance of quality by utilizing purposefully specialized distributions in conjunction with other changed factors.

3.5 Uniformity. (a) The illumination values in Table I are minimum and provide effective visibility only when combined with uniformity, or relatively even

illumination spread on the pavement and sidewalks.

(b) Uniformity may be expressed in several ways. The Average Level-to-Minimum Point method uses the average illumination of the roadway design area between two adjacent luminaires, divided by the lowest value at any point in the area. Under this method, the average-to-minimum ratio should not exceed 3 to 1 for any roadway in Table I, excepting Local Residential streets, which should have a ratio not exceeding 6 to 1.

(c) A specified luminaire and lamp provide a distinct light distribution. The same luminaire utilizing a different type and/or size lamp may provide an entirely different light distribution.

(d) The transverse position of a luminaire, the mounting height, the angle of inclination and tilt of the vertical axis all affect the illumination spread and hence its uniformity. These factors must all be considered in relation to the spacing-to-mounting height ratio.

Note: Photometric data for system design purposes should be of the actual type and make of luminaire and lamp to insure illumination uniformity.

3.6 Luminaire Mounting Height. (a) Mounting heights of luminaires have in general increased substantially during the past decade. The advent of modern, more efficient and larger size (lumen output) lamps has been the basic reason. Engineers have increased mounting heights in order to obtain economic and esthetic gains in addition to increased illumination when utilizing the newer large lamps. Examples are the 40-foot, 50-foot, 60-foot and higher mounting heights used along roadways and the cluster mounting of luminaires at interchanges. The advent of suitable servicing equipment and means has made this practical.

(b) During this same period there has been a trend to lower mounting heights in some cases. In general, this has been due to esthetic considerations. An example is the use of pole top mounted luminaires in residential areas.

(c) When designing a system, mounting height must be considered in conjunction with spacing and lateral positioning of the luminaires as well as the luminaire type and distribution. *Uniformity and levels of illumination must be maintained as recommended* regardless of the mounting height selected.

(d) Increased mounting height may, but will not necessarily, reduce direct glare, discomfort glare, and disabling veiling luminance. It increases the angle between the luminaires and the line of sight to the roadway; however, luminaire light distributions and candlepower also are significant factors. Glare is dependent on the flux reaching the observer's eyes from all luminaires in the visual scene.

(e) Extra high mounting heights are frequently used for interchange lighting as their advantages become wider known. Fewer poles per mile or per installation usually lowers overall system cost, provides increased safety, and greatly improves the daytime esthetics. Careful system design will assure lower disability glare and increased comfort as the installation is approached and driven through. Height by itself,

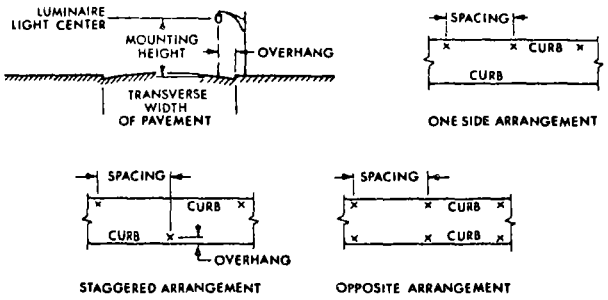


Figure 8. Terminology with respect to luminaire arrangement and spacing.

however, does not guarantee satisfactory performance. Other advantages can be greater uniformity of illumination and the ability to use floodlights (properly shielded) in conjunction with typical roadway lighting luminaires for spot lighting certain areas.

1. Towers or poles provide such mounting heights with poles having a preference as far as daytime esthetics are concerned. Servicing can be achieved by climbing, an elevator that runs up the side of a pole, or lowering the luminaires to ground level.

2. Typical applications for mounting heights within the "extra high" range are interchange areas, large public squares, straight-away sections of interstate type highways, toll plazas, and large parking lots associated with shopping or industrial centers.

3. In applying such clusters of luminaires in any system performance analysis, consider the light generated at the pole top to be coming from a single point source. Illumination and luminance values will then be representative of the contribution from each luminaire in the particular direction under analysis or observation.

3.7 Luminaire Spacing. The spacing of luminaires is often influenced by the location of utility poles, block lengths, property lines and the geometric configurations of the terrain features. It is generally a more economical practice to use larger lamps at reasonable spacings and mounting heights than to use smaller lamps at more frequent intervals with lower mounting heights. This is usually in the interest of good lighting provided the spacing-to-mounting height ratio is within the range of light distribution for which the luminaire is designed. The desired ratio of lowest footcandles at any point on the pavement to the average illumination should be maintained. The disregarding of luminaire light distribution characteristics and the exceeding of maximum spacing-to-mounting height ratios can cause loss of visibility of objects between luminaires. Terminology with respect to luminaire arrangement and spacing is shown in Fig. 8.

3.8 Transverse Location of Luminaires. (a) Types II, III and IV luminaires are intended to be mounted over or near the edge of the roadway. The Type I is an exception that is designed to be mounted over or near the center of the roadway. Generally, luminaire overhang exceeding .25 mounting height does

not contribute to visibility and often increases system glare and cost.

(b) Optimum luminaire location is best determined by reference to the photometric data showing illumination distribution and utilization. Other factors that must be considered are:

1. Access to luminaires for servicing.
2. Vehicle-pole collision probabilities.
3. System glare aspects.
4. The visibility (both day and night) of traffic signs and signals.
5. Esthetic appearance.

3.9 Luminaire Selection. (a) Luminaire light distribution classifications are intended to serve as a means of selecting a luminaire which is a good candidate for further calculations to determine if it is optically and economically suitable for lighting a particular roadway from the proposed mounting height and mounting location. Within the boundaries of the light distribution system described above, a multitude of combinations are possible. Table II, however, tabulates preferred lateral light distributions and maximum recommended longitudinal spacings for various geometric factors encountered in common practice.

(b) The fact that a luminaire is assigned a particular classification (paragraph 2.2 through 2.4) does not assure the designer that it will produce the recommended quantity and quality of illumination for the roadway configuration and mountings shown in Table II. The relative amount and control of light in areas other than the cone of maximum candlepower are equally important in producing good visibility in the final system and are not considered in the classification system. Luminaires, for example, are usually designed to give good performance over the range of 1 to 2 MH transverse. If a luminaire light distribution has been properly matched to the application, good uniformity results.

(c) There should be no hesitation to using a luminaire of a particular classification on roadway configurations other than those recommended in Table II if adequate calculations confirm that it meets the performance requirements of this practice.

3.10 Traffic Conflict Areas. (a) The values in Table I are for roadway sections which are approximately straight and nearly level. Intersecting, converging or diverging roadway areas require higher illumination. The illumination within these areas should at least be equal to the *sum* of the values recommended for each roadway which forms the intersection. Such areas include ramp divergences or connections with streets or freeway mainlines. They also include very high volume driveway connections to public streets and mid-block pedestrian crosswalks.

(b) Situations involving traffic conflict areas are treated in detail as part of Appendix A.

3.11 Border Areas. (a) There is value in illuminating areas beyond the roadway proper provided it is [illegible] appropriate to the environment and not objectionable to the adjacent property use. It is desirable to widen the narrow visual field into the peripheral zone in order to reveal objects and enhance eye adaptation. It also improves depth perception and perspective thus facilitating the judgment of speed, distance, etc. Such illumination should diminish gradually and uniformly away from the road.

(b) Border areas and median strips often are landscaped attractive areas. Both their daytime and nighttime esthetic appearance can often be enhanced by roadway lighting. This should be considered at the time of system design and is a factor to be considered in planning the illumination and selecting the hardware and street furniture.

3.12 Transition Lighting. It is good practice to gradually decrease brightness in the driver's field of view when emerging from an adequately lighted section of roadway. This may be accomplished by extending the lighting system in each exit direction using approximately the same spacing and mounting height but graduating the size of the lamp used. A recommended procedure to achieve this gradation is to sector the extension of the best lighted portion of the principal roadway using the designed value of this section as the calculation base. Using the design speed of the roadway, the lowered level sectors should be illuminated for a 15-second continuous exposure to the sector illumination level of one-half of the preceding higher lighted sector, but the terminal illumination in the lowest sector should not be less than 0.25 footcandle nor more than 0.5 footcandle.

3.13 Alleys. Experience has proved that well lighted alleys remove the criminal's opportunity to operate and hide under cover of darkness. Alleys should be adequately lighted to facilitate police patrolling from sidewalks and cross streets, especially in commercial areas. Generally, such lighting also meets vehicular traffic needs.

3.14 Roadway Lighting Layouts. Typical arrangements and spacings of luminaires for several roadway situations are shown in Figs. A-1 and A-2 of Appendix A. Appendix B provides a guide for calculation of illumination levels and includes a typical isofootcandle diagram, an isocandela diagram, a utilization curve, formulas, and typical computations for overage footcandles and the footcandle value at any point on the pavement.

4. Pedestrian Walkways

4.1 General. (a) All sidewalk lighting provided as incidental to roadway lighting should be evaluated for adequacy under this Standard independently of the level of illumination of the associated roadway. The photometric data provided by the supplier of the roadway luminaires can be used for the checking and designing of sidewalk illumination as well as for roadway illumination.

(b) Open margins of walkways should be illuminated to not less than one-half the values specified in Table I for at least 6 feet on either side, and to not less than one-tenth of the specified values for at least 15 feet on either side. Values should be verified in service to include reflections from building fronts, fences and walls, which can often contribute significantly to the illumination of the walkway.

(c) The uniformity ratio should not exceed 4 to 1 for walks or pedestrian ways, except that in Residential Areas a ratio of 10 to 1 is acceptable.

4.2 Security Problem Locations. For all walkways in areas with high crime experience, the recommended illumination values should be doubled, but the average should not in any case be less than 0.5 footcandle. Features closely adjacent to any walkway which offer unusual hazards should be well illuminated to the same level as the walkway, or should be eliminated. Examples of such features are:

1. Gaps between building fronts.
2. Depressed areaways close to the walkway.
3. Gaps between or at ends of fences.
4. Signboards, dense hedges, etc.
5. Large trees near the walkway.

Appendix A—Situations Requiring Special Consideration

(This Appendix is not part of the "American National Standard Practice for Roadway Lighting, D12.1-1972," but is presented as supplemental material for the user of the Standard.)

A-1 Roadway Complexities. (a) The design data contained in the "American National Standard Practice for Roadway Lighting" are for straight and level roadway areas and areas having minor curves and grades. Roadways, however, have many areas where the problems of vision and maneuvering of motor vehicles is much more complex, such as: grade intersections, abrupt curves, underpasses, converging traffic lanes, diverging traffic lanes and various types of complicated traffic interchanges. The design of roadway lighting for these areas demands special consideration.

(b) When all of these areas are analyzed it bebecomes apparent that there are the following three basic factors which are fundamentally different from those encountered on normal straight roadway areas:

1. Motor vehicle operators are burdened with increased visual and mental tasks upon approaching and negotiating these areas.
2. Silhouette seeing cannot be provided in many cases due to the vehicle locations, pedestrian locations, obstructions, and the general geometry of the roadway.
3. Adequate vehicle headlight illumination often cannot be provided. This is due to the geometry of roadways, lack of stopping room within headlight distances at speeds above 35 miles per hour, and the fact that vehicle headlight illumination follows rather than leads the progress of a vehicle in the negotiating of turns.

(c) The lighting of such areas, at first glance, appears to be a very complicated problem. It becomes apparent upon analysis, however, that all such areas consist of any one of six basic types of situations or a combination of two or more of these situations. These six situations are treated individually in the following sections.

A-1.1 Grade Intersections, Balanced Heavy Traffic. (See Fig. A-1a.) (a) These intersections may have unrestricted traffic flow on both roadways, restriction by means of stop signs on one or both of the roadways, control of the traffic by signal lights, control of the traffic by police officers or other means. Some are complicated by pedestrian traffic as well as vehicular traffic. The lighting problem on all of these, however, is fundamentally the same. The illumination level in these areas should be the summation of the levels of the intersecting roads. Refer to Table I for appropriate illumination levels.

(b) Luminaires should be located so that illumination will be provided on vehicles and pedestrians in the intersection area, on the pedestrian walkways and on the adajacent roadway areas.

(c) Fig. A-1b shows a larger, more complex grade intersection. The lighting problems and techniques are similar to the small intersections. The size, however, may make the use of more and larger luminaires mandatory. Refer to Table I for proper illumination levels.

A-1.2 Curves and Hills. (See Fig. A-2.) (a) The visual problems in motor vehicle operation on curves and hills has increased. In general, gradual large radius curves and gently sloping grades are lighted satisfactorily if treated as straight level roadway surfaces. Sharper radius curves and steeper grades, especially those having crowns at the crest of hills, warrant closer spacing of luminaires in order to provide more uniform pavement brightness and illumination. (See Fig. A-2e and f.)

(b) The geometry of abrupt curves, such as those found on traffic interchanges and many roadway areas, require careful analysis. Headlight illumination is not effective in these situations and silhouette seeing cannot be provided in some instances. Luminaires should be located to provide ample illumination on vehicles, road curbings and berms, guard rails, etc. Many vehicle operators are strange to these areas and illumination on the surround greatly helps their discernment of the roadway path. (Fig. A-2c and d.)

(c) Proper horizontal orientation of luminaire sup-

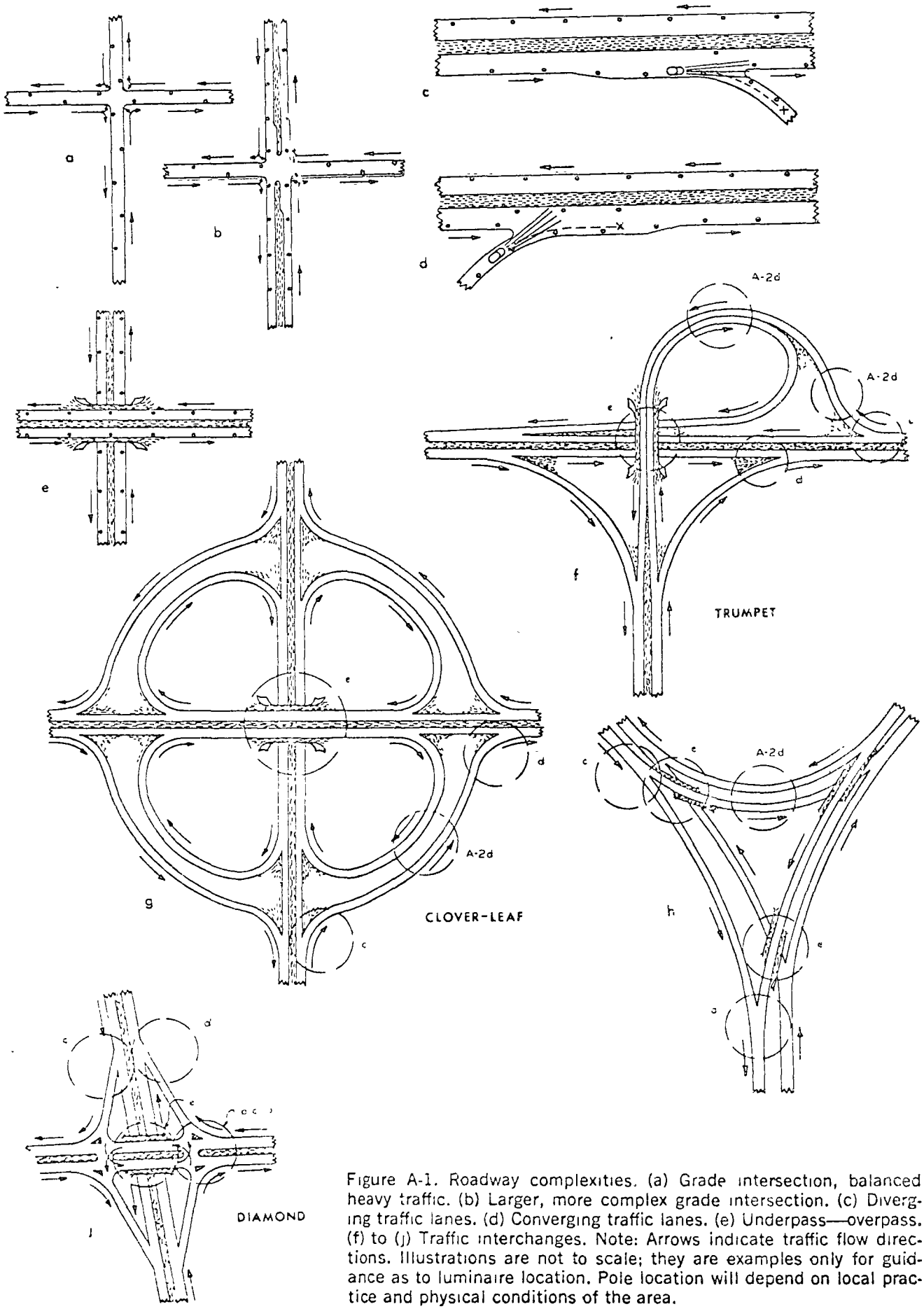


Figure A-1. Roadway complexities. (a) Grade intersection, balanced heavy traffic. (b) Larger, more complex grade intersection. (c) Diverging traffic lanes. (d) Converging traffic lanes. (e) Underpass—overpass. (f) to (j) Traffic interchanges. Note: Arrows indicate traffic flow directions. Illustrations are not to scale; they are examples only for guidance as to luminaire location. Pole location will depend on local practice and physical conditions of the area.

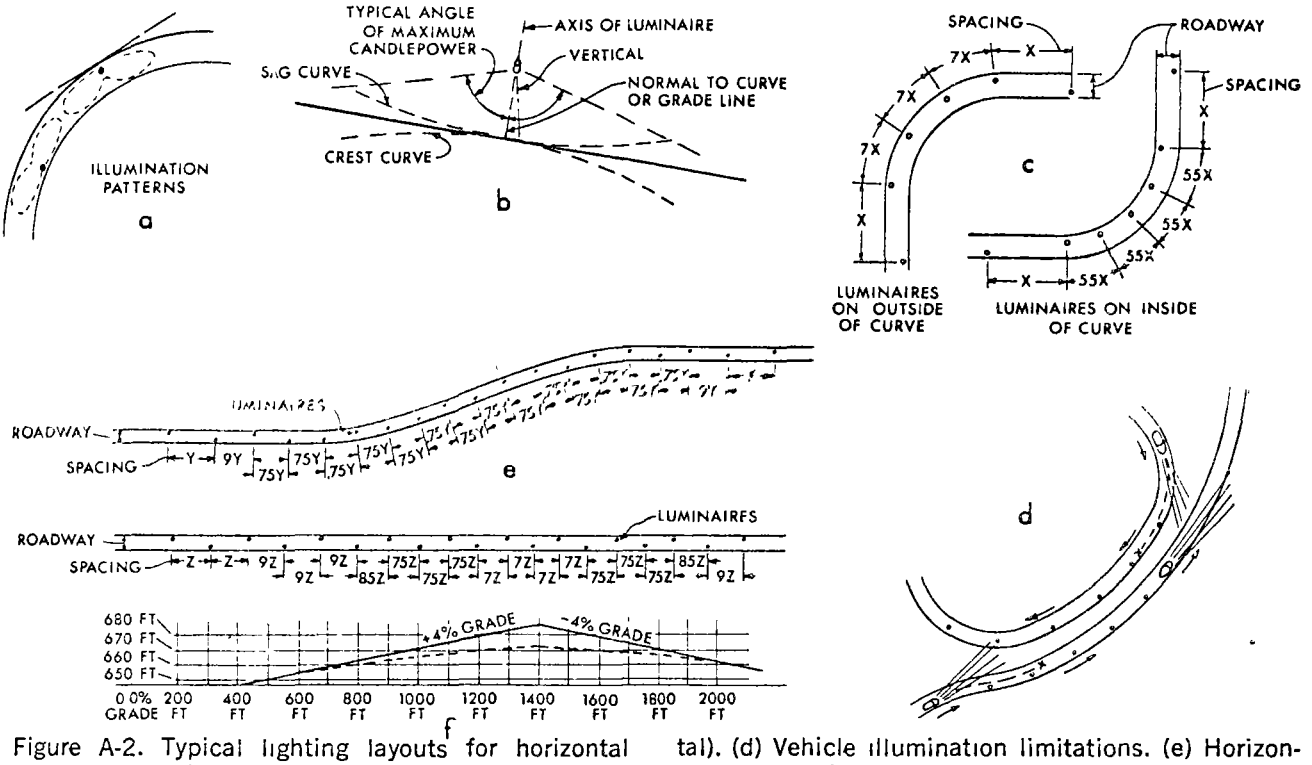


Figure A-2. Typical lighting layouts for horizontal curves and vertical curves. (a) Luminaires oriented to place reference plane perpendicular to radius of curvature. (b) Luminaire mounting on hill (vertical curves and grade). (c) Short radius curves (horizontal). (d) Vehicle illumination limitations. (e) Horizontal curve, radius 1000 feet, super elevation 0.06 feet. (f) 1250-foot vertical curve with four per cent grade and 750-foot sight distance.

ports and poles on curves is important to assure balanced distribution of the light flux on the pavement. (See Fig. A-2a.)

(d) When luminaires are located on grade inclines, it is desirable to orient the luminaire vertically on the support so that the light beams strike the pavement equidistant from the luminaire. This assures maximum uniformity of light distribution and keeps glare to a minimum. (See Fig. A-2b.)

A-1.3 Underpass—Overpass. (See Fig. A-1e.) **(a)** Short underpasses such as those encountered where a roadway goes beneath a two- or four-lane adjacent roadway can generally be illuminated satisfactorily with standard luminaires if they are properly positioned. Luminaires on the lower roadway should be positioned so that the pavement illumination from those on either side of the overpass will overlap well underneath the structure and so that the horizontal illumination levels recommended in Table I are provided. Care should also be taken that the uniformity of illumination does not fall below the minimum values recommended in paragraph 3.5. These luminaires should also provide adequate illumination on the abutments of the overpass

(b) Longer underpasses, where such overlapping of the illumination from the street luminaires cannot be accomplished, require special treatment. Longer underpasses also greatly reduce the entrance of daylight, warranting illumination during the day time. This is justified to very high levels. See paragraph A-4 for information for lighting such roadway areas adequately.

A-1.4 Converging Traffic Lanes. (See Fig. A-1d.) Converging traffic lanes frequently have all the problems of abrupt curves, plus the problem of direct illumination on vehicles in the adjacent traffic lanes. Here, automobile headlight illumination is ineffective and silhouette seeing cannot be provided for many of the situations. (See Fig. A-2d.) It is also essential to provide good direct side illumination on the vehicles entering the main traffic lanes. Refer to Table I for proper illumination levels.

A-1.5 Diverging Traffic Lanes. (See Fig. A-1c.) Diverging traffic lanes warrant extremely careful consideration because these are areas where motorists are most frequently confused. Luminaires should be placed to provide illumination on curbs, abutments, guard rails and vehicles, in the area of traffic divergence. Lighting also should be provided in the deceleration zone. Diverging roadways frequently have all the problems of abrupt curves and should be treated accordingly. Refer to Table I for proper illumination levels.

A-1.6 Interchanges. (High Speed, High Traffic Density Roadways.) (See Fig. A-1f, g, h and j.) **(a)** Interchanges at first glance appear to be complex lighting problems. Analysis, however, shows that they are comprised of one or more of the basic problems that are dealt with in previous paragraphs and may be treated accordingly.

(b) When designing lighting for interchanges the regular roadway lighting system will usually provide sufficient surround illumination in the field of view to reveal all the complexes and features of the entire scene

and allow the driver to know at all times where he is and where he is going. An inadequately lighted interchange with too few luminaires may lead to confusion for the driver, by giving misleading clues due to the random placement of the luminaires.

(c) When continuous illumination for the entire interchange area cannot be provided it still is desirable to illuminate intersections, points of access and egress, curves, hills and similar areas of geometric and traffic complexities. In these cases illumination should be extended beyond the critical areas and graduated downward in level as outlined in (d) below. Two fundamental reasons for this are:

1. The eyes of the driver, adapted to the level of the illuminated area, need a graduated reduction in illumination level upon leaving the lighted area to maintain vision during the period of dark adaptation.

2. Traffic merging into a major roadway from an access road is often slow in accelerating to the rate of speed on the major roadway. Illumination along this area for a distance beyond the access point extends visibility and facilitates the acceleration and merging process.

(d) It is good practice to gradually reduce the illumination level in these departure zones as outlined in section 3.12 (Transition Lighting). As an example, when an Urban Interchange is illuminated to 2.0 footcandles and if the prevailing traffic speed is 60 miles per hour, the departure zone sector lengths, allowing a 15-second exposure time for eye adaptation, would be a quarter of a mile. The first quarter-mile sector should be lighted to half the preceding higher level, or 1.0 footcandle. Since this is greater than the recommended

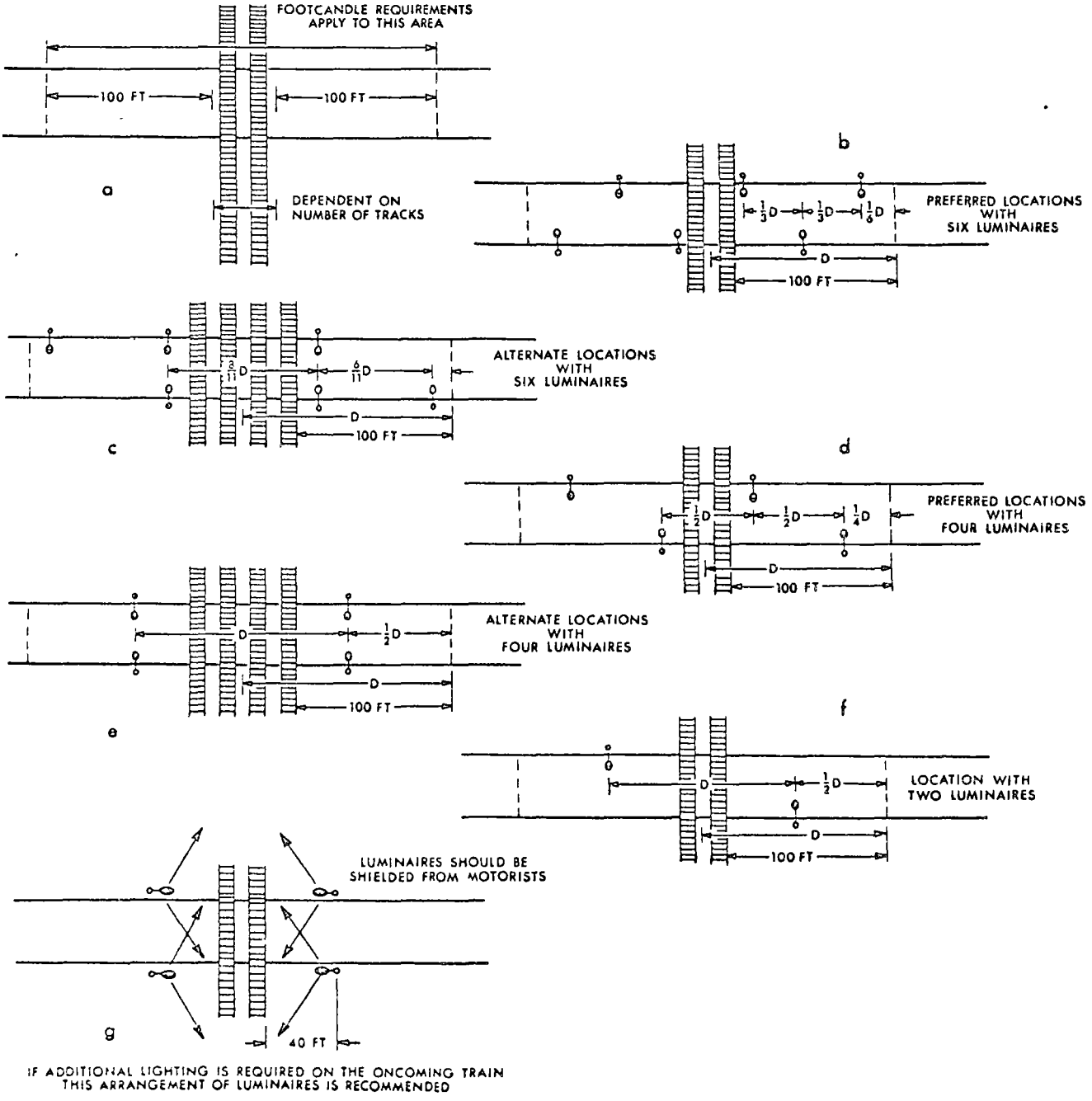


Figure A-3. Railroad grade crossings.

terminal illumination, another sector of this length (quarter-mile) should be lighted to half the preceding higher level, or 0.5 footcandle. Another example is a Rural Interchange lighted to a level of 1.4 footcandles. If the same design speed prevailed, the first quarter-mile sector should be lighted to 0.7 footcandle, and the second quarter-mile sector, 0.35 footcandle.

(e) It is preferable to accomplish the reduced illumination level in departure zone sectors by using light sources of lower lumen output and maintaining, insofar as practicable, luminaire spacings and configurations similar to those used on the interchange area. This maintains a similar geometry to help avoid confusion and, more importantly, reduces luminaire luminance and disability veiling brightness in graduated steps to assist in eye adaptation to the lower levels produced by fixed lighting or by vehicle headlights.

A-2 Railroad Grade Crossings. (a) Railroad grade crossings should be adequately lighted to permit identification of existence of a crossing, presence or absence of a train in the crossing, and recognition of unlighted objects or vehicles at or near the railroad crossing.

(b) Grade crossings are normally identified by means of identification signs with the message on a vertical face, and/or markings on the pavement surface. Illumination direction and level should permit visual recognition of such signs and markings. Minor variation of the basic lighting layouts shown in Fig. A-3 may be desirable, depending on the exact locations of such signs or markings.

(c) General principles to be followed in selecting and locating equipment are as follows:

1. Footcandle level over track area, starting 100 feet before the crossing and ending 100 feet beyond the crossing, should be in accordance with Table I or twice the level of an adjacent area of the same roadway, whichever is higher, but never less than 1.0 footcandle. (Fig. A-3a.)
2. Luminaire classification in accordance with the width of roadway as in section 2.3.
3. Pole location should provide (Fig. A-3b through f):
   (1) Uniformity of horizontal illumination in accordance with section 3.5.
   (2) That all message signs fall within the area of at least one-half maximum candlepower.

Light of a cautionary color may be used; however, distinctive color sources depend for effectiveness upon recognition by the observer of the meaning of that color.

A-3 Trees. (a) Both trees and roadway lighting are indispensable municipal assets. Through understanding and cooperation of those responsible, trees and roadway lighting need not conflict.

(b) Arborists should make tree selections based on those which will fit the available roadway space, with minimum conflict with utilities. Such selections may include upright, globular or ordinary tree shapes. Where conflicts exist between trees and roadway lighting, in most cases the answer is *proper* pruning. Where trees are too crowded, often the best remedy is removal of the conflicting tree.

(c) The presence of low overhanging foliage or shrubbery may seriously obstruct the light delivered to the pavement. Judicious pruning can reduce or eliminate the screening effect. There are instances where pruning increased the *average* lighting effectiveness approximately one-third, and approximately doubled the lighting effectiveness in the critical areas of low visibility.

(d) It should be noted that even with high mounted luminaires it is not necessary to prune all trees to the height of the luminaire. It is necessary to prune only those branches which fall below the useful beam. (See Fig. A-4.) Foliage midway between luminaires and somewhat below lamp level helps to screen distant sources where silhouette lighting is intended; the attendant reduction in glare helps visibility and comfort of motorists and pedestrians. This gain is particularly important on local traffic and residential roadways where limited funds usually require relatively long spacings, with correspondingly high candlepower at angles near the horizontal.

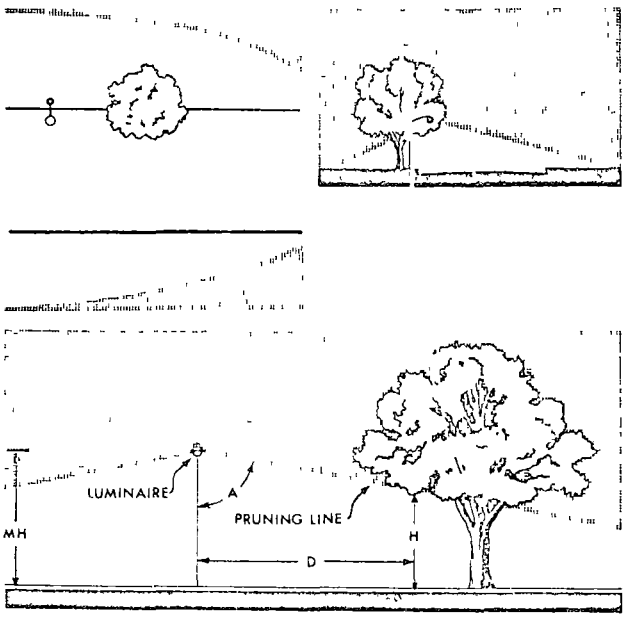
(e) Another gain comes from reflection of upward light by the foliage, downward to the roadway and sidewalk. Although the amount is small it significantly adds to the low levels of illumination on local traffic roadways.

A-3.1 Design—Compromises. In order to minimize conflicts with trees there are certain compromises which can be made in the lighting system. These compromises involve deviations from preferred system layouts with respect to luminaire spacing, mounting height, and transverse location. Such deviations usually should be accompanied by modifications in the light distribution provided by the luminaire. The amount of reduction in lighting effectiveness will vary depending upon the circumstance, type of modification and the extent of the deviation.

A-3.2 Design—Modifications. (a) As an example of modification, all luminaires may be mounted on longer mast arms. This generally increases construction costs to some extent, but the gain in lighting effectiveness may be substantial if foliage interference is reduced. Another modification is span-wire suspension of luminaires over the center of the street. Construction costs are substantially higher because two poles are required for each luminaire. A major disadvantage of span-wire suspension is that swaying and bobbing of luminaires in the wind nullifies to a great extent the effectiveness of the light control provided by modern luminaires.

(b) Still another modification is to reduce the luminaire mounting height with a corresponding reduction in spacing, use of a smaller size lamp, and lowering the angle of maximum candlepower. This method materially increases the cost of roadway lighting.

(c) Only as a last resort, it might be expedient to increase lamp sizes to compensate for reduction in illu-



PRUNING LINE AT ANGLE "A" ABOVE "USEFUL BEAM"	TREE PRUNING HEIGHT "H"
70°	MH- 36D
75°	MH- 26D
80°	MH- 17D

Figure A-4. Recommended tree pruning to minimize conflict with roadway lighting.

mination levels caused by foliage interference. However, this has serious disadvantages because the impairment of light distribution and uniformity of illumination cannot be corrected by merely increasing lamp sizes. Also, cost would be increased considerably.

A-3.3 Design—Departures. (a) Where deviations in longitudinal spacing of luminaires are made to minimize conflicts with trees, generally a 10 per cent deviation from average spacing will not seriously affect the uniformity of illumination. As a maximum compromise for certain types of luminaires, deviations up to 20 per cent can be tolerated providing no two consecutive luminaire locations are involved. When two or more consecutive locations necessitate deviations from the average spacing, then the resulting uniformity of illumination should be checked.

(b) Uniformity of location of luminaires out over the street is important in respect to both visibility and appearance. Only where there is no other reasonable compromise should any transverse deviation of an individual luminaire be permitted. The length of the luminaire support should be selected which best meets the requirement of each particular street. It should be kept in mind that when using longer supports which approach the center of the street, pruning requirements also become less.

A-3.4 Design—Data. (a) Figs. A-5 and A-6 are intended to serve as a guide for determining proper overhang distances of luminaires for different heights of mounting and for different types of trees.

(b) Although foliage interference mostly affects the illumination on the roadway pavement, the importance of adequate lighting for the sidewalks should not be overlooked. There may be instances on local traffic residential roadways where good sidewalk illumination is even more important than lighting of the roadway itself. Generally, this can be obtained either by altering the luminaire positions or by pruning, or a combination of both methods.

(c) The modern trend in roadway lighting practice is to use larger light sources with luminaires having light distributions appropriate for the luminaire spacing, mounting height, and transverse positions, and for the roadway dimensions. Such proper lighting design is particularly important on residential and local traffic thoroughfares. Also, it should be emphasized that, where we see by silhouette discernment, the high angle emission of light from the luminaire is very important. Obviously with longer spacings there are proportionately fewer luminaires which, in turn, reduce the requirements for pruning. This further contributes to lower combined maintenance cost of trees and lighting. Observations in different sizes of towns with properly designed roadway lighting indicate that as an average the number of actual conflicts between luminaires and foliage is in the order of 50 per cent on the more heavily wooded roadways. It is quite probable

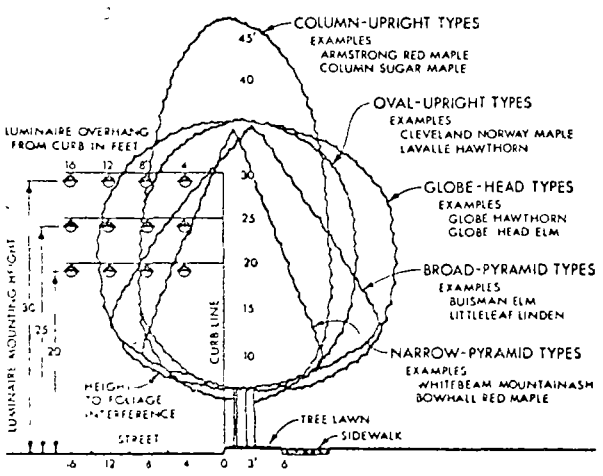


Figure A-5. Height to foliage interference for different types of trees and luminaire overhang from curb. Tree examples by E. H. Scanlon.

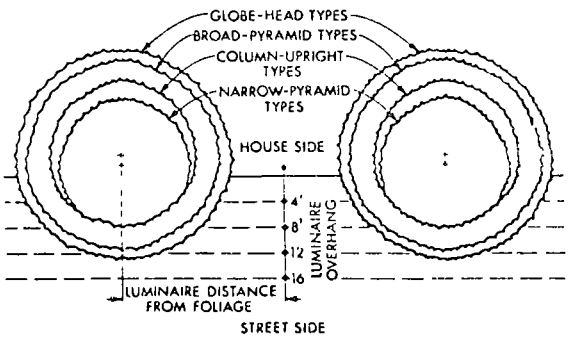


Figure A-6. Longitudinal and transverse location of luminaires as related to different types of trees.

that, of the total existing residential and traffic roadway mileage, the foliage interference is considerably less than 50 per cent.

A-4 Tunnels. The lighting of tunnels is a very special situation and is covered in the IES Committee report, "Lighting of Tunnels."*

*Subcommitte on Lighting of Tunnels and Underpasses of the Roadway Lighting Committee: "Lighting of Tunnels," JOURNAL OF THE ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY, Vol. 1, No. 3, April, 1972.

Appendix B—Computation of Roadway Illumination

(This Appendix is not part of the "American National Standard Practice for Roadway Lighting, D12.1-1972," but is presented as supplemental material for the user of the Standard.)

B-1 Introduction. The basic examples and computations that follow apply to roadways. It is obvious, however, that the data and techniques can be applied to adjacent walkways, median strips and other areas.

B-2 Calculation Procedure. The general procedure for calculating maintained roadway illumination consists of 15 steps before the actual calculations begin. These steps are divided into three major groups: Objectives and Specifications; Light Loss Factors Not to be Recovered; and Light Loss Factors to be Recovered. A fourth group covers the calculations and will vary in the number and type of steps depending on the illumination quantity desired—average or at a point. The following material shows the steps for calculating maintained levels of illumination, that is, the lowest level of illumination on the roadway.

B-2.1 Objectives and Specifications

B-2.1.1 ***Roadway Classification.*** Providing proper lighting for quick, accurate and comfortable seeing at night is the basic reason for the design calculation and the procedure presented here. A complete knowledge and understanding of the location and type of roadway is essential. See Section 1 of Standard.

B-2.1.2 ***Quality Required.*** A knowledge and understanding of the quality of illumination required for seeing on roadways is important. See paragraph 3.4 in the Standard.

B-2.1.3 ***Quantity Required.*** The *average* maintained levels of illumination can be found in Table I of the Standard based on the determination of roadway and area classification in Section 1. Also, consideration should be given to allowable limits of uniformity (see paragraph 3.5) and the percentage of burned-out lamps that will be tolerated.

B-2.1.4 ***Area Atmosphere.*** Next to be considered is an analysis of the environment in which the lighting system will operate. Dirt in the atmosphere will have come from two sources: that from adjacent atmosphere(s) in the area and that generated on the roadway itself (the surrounding atmosphere). The right hand portion of Fig. B-1 shows five groups of typical area atmospheres.

B-2.1.5 ***Area Description.*** A complete description is required for each area to be lighted. This should include: the physical characteristics such as roadway widths, curvatures, grade, obstructions (trees) and border areas.

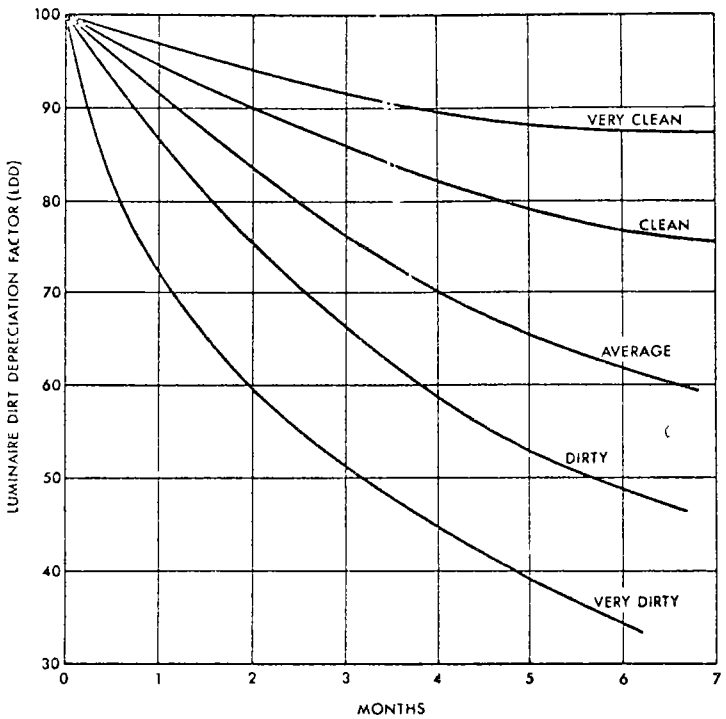
B-2.1.6 ***Selection of Luminaire.*** Selecting the specific luminaire requires the almost simultaneous consideration of many factors. Selection of the type of luminaire for a given roadway depends upon the requirements and conditions found above, such as dimensions of roadway and atmospheric conditions and such factors (whose relative importance will vary from project to project) as: mounting height; luminaire dirt depreciation; lamp choice; maintenance considerations, including cleaning and lamp replacement; luminaire and installation appearance; color of light; lighting and relighting time; cost of equipment; etc. All factors should be examined in detail first, then reviewed so that proper weight will be given to everything that might affect luminaire selections.

B-2.2 Light Loss Factors Not to Be Recovered.

Once the basic facts in B-2.1 are known and the luminaire is chosen, light loss factors can be studied. The factors immediately following are those usually subject to very little correction. Some will exist initially and continue through the life of the installation—either being of such little effect as to make correction impractical, or being too costly to correct. However, all should be studied, because they can diminish the planned output of the lighting system.

B-2.2.1 ***Luminaire Ambient Temperature.*** The effect of ambient temperature on the output of some luminaires may be considerable. Each particular lamp-luminaire combination has its own distinctive characteristic of light output vs ambient temperature. To apply a factor for light loss due to ambient temperature, the designer needs to know the highest and lowest temperatures expected and to have data showing if there are variations in light output with changes in ambient temperature for the specific luminaire to be used.

B-2.2.2 ***Voltage to Luminaire.*** In-service voltage is difficult to predict, but high or low voltage at the luminaire will affect the output of most luminaires.



SELECT APPROPRIATE DIRT CURVE FROM KIND OF CONDITIONS DESCRIBED BELOW FOR TYPE LUMINAIRE TO BE USED

Areas—Clean—Pavement—Grass. No open loose ground. Slow traffic. Little or no adhesive qualities in atmosphere. Most rural areas, residential roadways, slow traffic, no trucks.

Areas—As above except average car and truck traffic. Downtown open areas. Intermediate and freeways in open areas.

Areas—As above but slightly more exposure. Residential, intermediate, local minor roads. Few trucks.

Areas—Confined. Greater than average Cars and trucks expressway, freeways. Downtown, major, Adhesive dirt.

Ind./Comm. Areas Trucks, buses, adhesive dirt, confined areas, heavy traffic

Figure B-1. This chart is useful for estimating roadway luminaire dirt depreciation factors (LDD).

B-2.2.3 *Ballast Factor.* If the ballast factor of the ballast used in a luminaire (fluorescent or high-intensity discharge) differs from that of the ballast used in the actual photometry of the luminaire, the light output will differ by the same amount. The manufacturer should be consulted for necessary factors.

B-2.2.4 *Luminaire Component Depreciation.* (a) Luminaire surface depreciation results from adverse changes in metal, paint, and plastic components which result in reduced light output.

(b) Because of the complex relationship between the light-controlling elements of luminaires using more than one type of material it is difficult to predict losses due to deterioration of materials. Also, for luminaires with one type of surface the losses will be affected by the type of atmosphere in the installation. No factors are available at present.

B-2.2.5 *Change in Physical Surround.* As much as possible should be known about future changes that may affect any of the above roadway conditions, such as whether trees or border areas will be added or nearby buildings constructed or demolished.

B-2.2.6 *Burn-Outs.* Unreplaced burned-out lamps will vary in quantity, depending on the kinds of lamps and the relamping program used. Manufacturers' mortality statistics should be consulted for the performance of each lamp type to determine the number to burn out before the time of planned replacement is reached. Practically, quantity of lamp burn outs is determined by the quality of the lighting services program incorporated in the initial design procedure and by the quality of the physical performance of the program.

B-2.3 Light Loss Factors to Be Recovered

B-2.3.1 *Lamp Lumen Depreciaion.* Information about lamp lumen depreciation is available from manufacturers' tables and graphs for lumen depreciation and mortality of the chosen lamp. Rated average life should be determined for the specific hours per start; it should be known when burn-outs will begin in the lamp life cycle. From these facts, a practical group relamping cycle will be established and then, based on the hours elapsed to lamp removal, the specific Lamp Lumen Depreciation (LLD) factor can be determined. Consult manufacturers' data or the *IES Lighting Handbook*, 5th Edition, for LLD factors.

B-2.3.2 *Luminaire Dirt Depreciation.* The accumulation of dirt on luminaires results in a loss in light output, and therefore a loss on the roadway. This loss is known as the Luminaire Dirt Depreciation (LDD) factor and is determined as follows:

1. Determine the dirt category (very clean, clean, average, dirty or very dirty) from Section B-2.1.4 and Fig. B-1.

2. From the appropriate dirt condition curve in Fig. B-1 and the proper elapsed time in months of the planned cleaning cycle, the LDD factor is found. The proper elapsed time for cleaning is determined from Section B-2.2.6 and B-2.3.1.

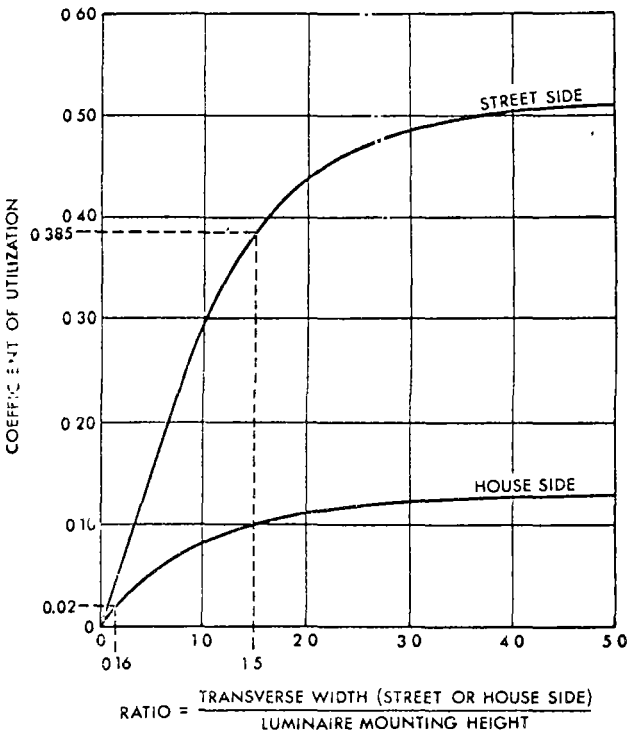


Figure B-2. Example of coefficient of utilization curves for luminaire providing Type III—M light distribution.

B-2.4 Total Light Loss Factor. The total Light Loss Factor is simply the product of multiplying all the contributing factors described above. Where factors are not known, or applicable, they are omitted. At this point, if it is found that the total light loss factor is excessive it may be desirable to reselect the luminaire.

B-2.5 Calculations. Roadway illumination calculations fall into three general types of calculations:

1. Determination of the average illumination on the roadway pavement.
2. Determination of the illumination at a specific point on the roadway.
3. Determination of the uniformity of illumination.

B-2.6 Determination of Average Illumination

B-2.6.1 *General.* The average illumination over a large pavement area may be calculated by means of a "utilization curve" of the type shown in Fig. B-2 or by means of computing the illumination at a large number of specific points (see paragraph B-2.7) and averaging the values found. Since the latter method is extremely laborious and since the utilization curve is a part of the data presented as a result of following the IES Approved Method for Photometric Testing of Roadway Luminaires,* this method will be discussed.

*Committee on Testing Procedures of the IES "IES Approved Method for Photometric Testing of Roadway Luminaires Using Incandescent Filament or Mercury or Sodium Electric Discharge Lamps." ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 63, October 1968, p. 541.

B-2.6.2. *Utilization Curves.* (a) Utilization curves, available for various types of luminaires, afford a practical method for the determination of illumination over the roadway surface where lamp size, mounting heights, width of paved area and spacing between luminaires are known or assumed. Conversely, the desired spacing or any other unknown factor may readily be determined if the other factors are given.

(b) Fig. B-2 illustrates an example of a utilization curve of a typical luminaire. The utilization curve indicates how much light falls on the roadway, in terms of "coefficient" but reveals little of the way in which the light is distributed. Therefore, it should be used in conjunction with the specific calculation in order to evaluate correctly the true performance of the luminaire, especially concerning uniformity or compliance with the recommended ratio of minimum illumination value to the average value.

(c) The Coefficient of Utilization is the percentage of rated lamp lumens which will fall on either of two strip-like areas of infinite length, one stopping in front of the luminaire, the other behind the luminaire, when the luminaire is level and oriented over the roadway in a manner equivalent to that in which it was tested. Since roadway width is expressed in terms of a ratio of luminaire mounting height to roadway width, the term has no dimensions.

B-2.6.3 *Formulas for Computation.* (a) The basic formula for determination of Average Horizontal Illumination is as follows:

$$\text{Average illumination} = \frac{(\text{lamp lumens}) \times (\text{coefficient of utilization})}{(\text{pavement area per luminaire})}$$

This formula is usually expanded as follows:

$$\text{Average illumination}^* = \frac{(\text{lamp lumens}) \times (\text{coefficient of utilization})}{(\text{spacing between luminaires}) \times (\text{width of roadway})}$$

(b) It can be seen that with this expression of the formula it is possible to solve horizontal average illumination, or spacing, or street width as desired. A further modification of this formula is necessary to determine the average illumination on the roadway when the illuminating source is at its lowest output and when the luminaire is in its dirtiest condition. For such a calculation, the formula is expressed as follows:

$$\text{Average illumination} = \frac{(\text{lamp lumens}) \times (\text{coefficient of utilization}) \times (\text{light loss factor}\ddagger)}{(\text{spacing between luminaires}\dagger) \times (\text{width of roadway})}$$

*When the foot is the unit of linear measure, the illumination will be in footcandles; when the meter is used, the illumination will be in lux

†This is the longitudinal distance between luminaires if spaced in staggered or one-side arrangement. This distance is one-half the longitudinal distance between luminaires if luminaires are arranged in opposite spacing.

‡This value should be obtained from paragraph B-2.4 above.

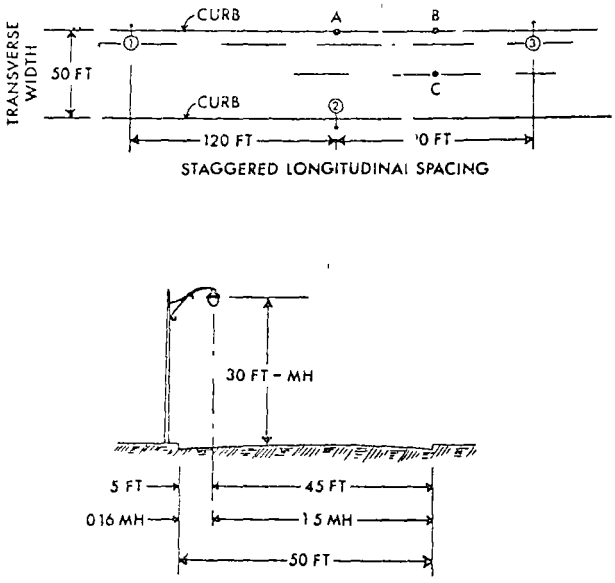


Figure B-3. Layout of luminaire and roadway assumed for typical computation.

B-2.6.4. ***Typical Computations.*** To illustrate the use of a utilization curve, Fig. B-2, a typical calculation is provided as follows:

Given: Roadway with lay out as in Fig. B-3

Staggered luminaire spacing	120 ft
Roadway width curb to curb (pavement)	50 ft
Luminaire mounting height	30 ft
Luminaire overhang	5 ft
Luminaire dirt depreciation factor	0.70
Incandescent filament lamp (rated initial 10,000 lumens)	
Lamp lumen depreciation factor	0.85

Required: To calculate the minimum average lumens per square foot (average footcandles) for the above roadway.

Solution: For average illumination:

(1) Determine the coefficient of utilization for the "street side" of the luminaire:
Ratio (street side) (from Fig B-3)

$$\frac{50 \text{ feet} - 5 \text{ feet}^*}{30 \text{ feet}} = \frac{45 \text{ feet}}{30 \text{ feet}} = 1.50$$

Coefficient of utilization from Fig. B-2 for ratio 1.50 is 0.385.

(2) To determine "house side" coefficient of utilization: Ratio (house side) (from B-3)

$$\frac{5 \text{ feet}^*}{30 \text{ feet}} = 0.16$$

Coefficient of utilization from Fig. B-2 for ratio 0.16 is 0.02

(3) Total coefficient for "street side" plus "house side" is 0.405

(4) To determine average illumination on roadway use the formula from paragraph B-2.6.3 (b), Formulas for Computation, giving:

$$\text{Average footcandles} = \frac{10000 \times 0.405 \times 0.70 \times 0.85}{120 \times 50}$$

$$= 0.4 \text{ footcandle}$$

*Use actual overhang distance from curb to point below luminaire

B-2.7 Determination of the Illumination at a Specific Point

B-2.7.1 ***General.*** The determination of the horizontal illumination in footcandles at a specific point may be determined from an "isofootcandle" curve (Fig. B-4) or by means of inverse-square method of calculation of illumination (see *IES Lighting Handbook,* current edition). In the latter method, the candlepower of the luminaire at the particular angle involved is normally obtained from an isocandela curve, an example of which is shown in Fig. B-4. Since the "isofootcandle" curve is a part of the data presented as a result of following the IES Approved Method for Photometric Testing of Roadway Luminaires, the isofootcandle method will be discussed.

B-2.7.2 ***Isofootcandle (Isolux) Diagram.*** **(a)** The illumination on a roadway surface produced by the light distribution from one or more luminaires may be shown by isofootcandle diagrams. Fig. B-4 shows an example of an isofootcandle diagram for a typical luminaire.

(b) An isofootcandle diagram is a graphical representation of points of equal illumination connected by a continuous line. These lines may show footcandle values on a horizontal plane from a single unit having a definite mounting height, or they may show a composite picture of the illumination from a number of sources arranged in any manner or at any mounting height. They are useful in the study of uniformity of the illumination and in the determination of the level of illumination at any specific point. In order to make these curves applicable to all conditions, they are com-

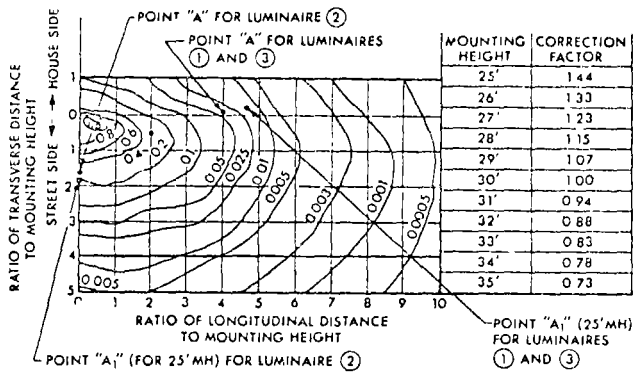


Figure B-4. Example of an isofootcandle diagram of horizontal footcandles on pavement surface for a luminaire providing a Type III—M light distribution; 10,000-lumen lamp, initial (light loss factor has been omitted).*

*Caution values shown on isofootcandle and isocandela diagrams, etc may represent actual luminaire light output as shown in Fig. B-4 They are, however, often shown as a value per 1000 emitted lamp lumens

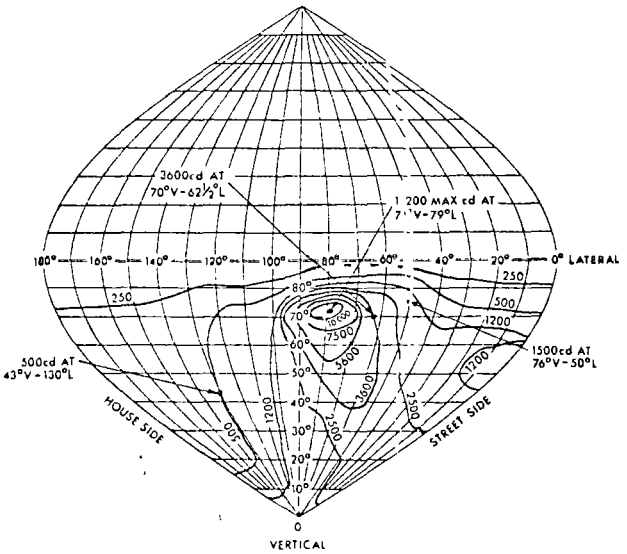


Figure B-5. Example of isocandela diagram method for showing the light distribution from a luminaire on spherical web. Distribution classification is Type IIM —semicutoff; lamp size used is 12,000 lumens.*

*Caution values shown on isofootcandle and isocandela diagrams, etc. may represent actual luminaire light output as shown in Fig B-5 They are, however, often shown as a value per 1000 emitted lamp lumens

puted for a given mounting height but horizontal distances are expressed in ratios of the actual distance to the mounting height. Correction factors for other mounting heights are usually given in the tabulation alongside the isofootcandle curves.

B-2.7.3 ***Typical Computations.*** To illustrate the use of the isofootcandle diagram, a typical calculation is as follows:

Given: Roadway with layout as in Fig. B-3:

Staggered luminaire spacing	120 ft
Roadway width curb to curb (pavement)	50 ft
Luminaire mounting height	30 ft
Luminaire overhang	5 ft
Light loss factor	0.70

Incandescent filament lamp (rated initial 10,000 lumens)

Required: To determine the footcandle level at point "A," on Fig. B-3, which is the total of contributions from luminaires 1, 2 and 3.

Solution:

(1) The location of point "A" with respect to a point on the pavement directly under the luminaire is dimensioned in transverse and longitudinal multiples of the mounting height. Assume that the luminaire distribution provides isofootcandle lines (horizontal footcandles) as shown in Fig. B-4, Point "A" is then located on this isofootcandle diagram for its position with respect to each luminaire.

(2) To determine the contribution of each luminaire to point "A"

a. Luminaires Nos. 1 and 3

Locate point "A"—Transverse 5 feet to "house side:"

$$\frac{5}{30} = 0.16 \text{ times mounting height}$$

Longitudinal 120 feet along pavement

$$\frac{120}{30} = 4.0 \text{ times mounting height}$$

At point "A" for these luminaires, the estimated footcandle value from Fig. B-4 isofootcandle diagram is 0.04 footcandle. This is from each luminaire, Nos. 1 and 3. Both luminaires together provide 0 08 footcandle.

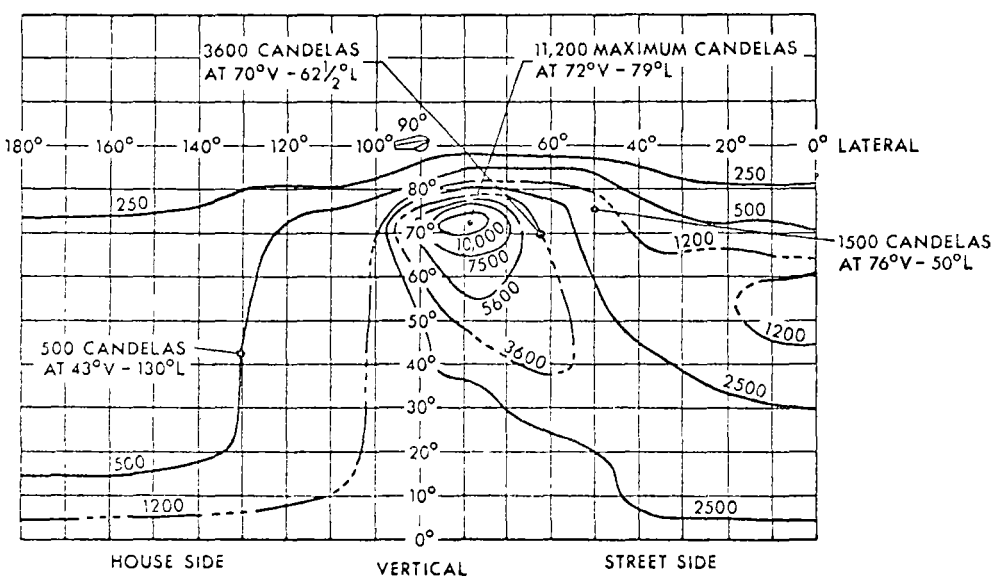


Figure B-6 Example of isocandela diagram method for showing the light distribution from a luminaire on a rectangular coordinate grid. The distribution classification is Type II-M—semicutoff, lamp size used is 12,000 lumens.*

*Caution values shown on isofootcandle and isocandela diagrams, etc may represent actual luminaire light output as shown in Fig B 6 They are, however, often shown as a value per 1000 emitted lamp lumens.

b. Luminaire No. 2

Locate point "A"—Transverse 45 feet to "street side:"

$$\frac{45}{30} = 1.5 \text{ times mounting height}$$

Longitudinal location is 0, directly across from the luminaire. At point "A" for this luminaire, the estimated footcandle value from Fig. B-4 is 0.3 footcandle.

(3) The total at point "A" from the three luminaires is 0.08 plus 0.3 = 0.38 footcandle. The value of 0.38 footcandle is based on clean luminaires with a lamp producing rated output. If it is desired to express the footcandle level in terms of the footcandles when the illuminating source is at its lowest output and when the luminaire is in its dirtiest condition, this can be done by utilizing the procedure covered in paragraph B-2.6.3.

(4) Use of Correction Factor for Other Mounting Heights—To use these data for a mounting height other than the one for which the isofootcandle curves are made, it is necessary to find the correct new location on the diagram as well as apply a correction factor to the footcandle value at this new location. The following procedure may be used:

a. Compute new transverse and longitudinal distance-to-mounting height ratios, based on the new mounting height, and locate points on the diagram as outlined in the following calculation:

Example for 25-foot mounting height.

Luminaires Nos. 1 and 3—Point "A_1,"

Transverse 5 feet to "house side:"

$$\frac{5}{25} = 0.2 \text{ MH}$$

Longitudinal 120 feet along pavement:

$$\frac{120}{25} = 4.8 \text{ MH}$$

Point "A_1" is located on the isofootcandle diagram, Fig. B-4, with these new dimensions.

b. Obtain estimated footcandle values by the correction factor for the new mounting height.

Footcandle value estimated at point "A_1," Fig. B-4, is 0.015 footcandle. This is multiplied by the correction factor for 25 feet which is 1.44.

$0.015 \times 1.44 = 0.0216$ footcandle from each luminaire, Nos. 1 and 3. Both luminaires provide 0.043 footcandle.

Luminaire No. 2—Point "A_1,"

Transverse 45 feet to "street side:"

$$\frac{45}{25} = 1.8 \text{ MH}$$

Longitudinal location is still 0, directly across from luminaire. The estimated footcandles from Fig. B-4 is 0.2 footcandle. This is multiplied by the correction factor, 1.44.

$0.2 \times 1.44 = 0.288$ footcandle.

The total at point "A_1" is $0.043 + 0.288 = 0.331$ footcandle.

B-2.8 Uniformity Ratios. (a) The uniformity of illumination requirements of paragraph 3.5 of the Practice should be determined by computing the ratio:

$$\frac{\text{Minimum Horizontal Footcandles}}{\text{Average Horizontal Footcandles}}$$

It can also be expressed as the ratio:

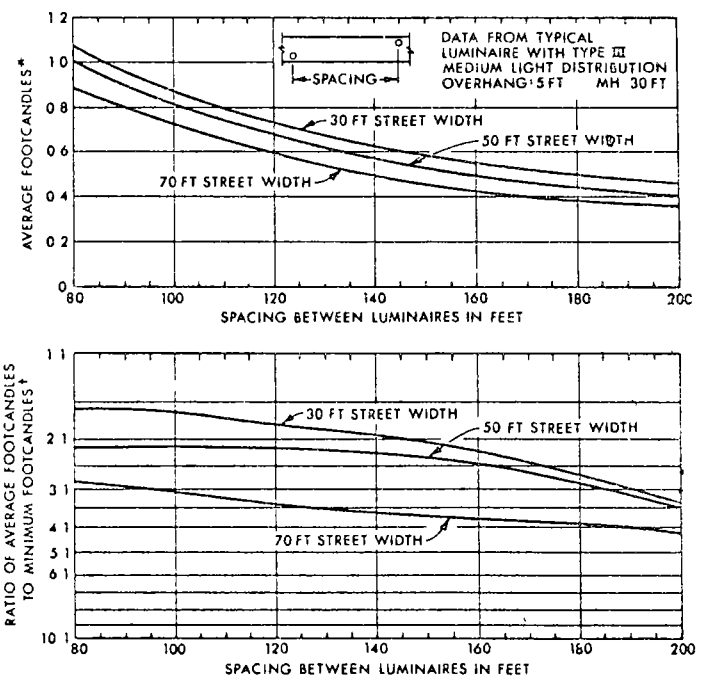


Figure B-7. Example of chart showing average footcandle (upper) and uniformity ratios (lower) vs luminaire spacing for staggered arrangement. Distribution classification is Type III-M.§

*Based on initial lamp output of 10,000 lumens.

†Lowest value on street area

§Caution values shown on isofootcandle and isocandela diagrams, etc may represent actual luminaire light output as shown in Fig B 7 They are, however, often shown as a value per 1000 emitted lamp lumens

$$\frac{\text{Average Horizontal Footcandles}}{\text{Minimum Horizontal Footcandles}}$$

(b) Sufficient number of specific points over the roadway should be checked, as outlined in paragraph B-2.7, to ascertain accurately the location and value of the minimum point. If the values at points "A," "B" and "C," as shown in Fig. B-3, are first determined, the approximate location of the minimum point may be located or its location will become more apparent.

(c) The average illumination on the roadway pavement should be computed as in paragraph B-2.6, taking care to use the same lamp lumen output and other conditions as used in determining the minimum illumination value.

(d) Some manufacturers are now supplying curves of the type shown in Fig. B-7, which indicate the average to minimum footcandle ratio for a particular arrangement of luminaires as street width and spacing are varied. (These are computed for the lowest value on the street area, not necessarily the points "A," "B" or "C.") Such curves are a convenient aid to determining the average to minimum illumination ratios for a given spacing and street width, or to determine the permissible spacing for a required uniformity ratio. They can also be used to determine the relationship between average illumination and spacing and street width. Each different combination of luminaires, lamp type and arrangement of luminaires will produce a different set of these characteristic curves.

Appendix C—Calculation and Evaluation of Disability Veiling Brightness and Visual Comfort

(This Appendix is not part of the "American National Standard Practice for Roadway Lighting, D12.1-1972," but is presented as supplemental material for the user of the Standard.)

C-1 General. The principal purpose of roadway lighting is to produce quick, accurate and comfortable seeing at night. Recommendations for the average illumination and the minimum illumination at any point on the roadway for a variety of roadway classifications and adjacent land usages are provided in the main body of this report. Also included in the body of the report are recommendations relating to mounting heights, luminaire distribution types, and quality of lighting. Under the subject of Quality of Lighting (paragraph 3.4) the statement is made that Disability and Discomfort Glare should be minimized. It is the purpose of this Appendix to provide supplementary information as to the definition, calculation and evaluation of Disability Glare.

C-2 Glare in Roadway Lighting. (For definition see Appendix F, Glossary of Terms.)

C-2.1 Types of Glare. (a) The common term *glare* as it affects human vision is subdivided into two components which are not completely indivisible but which are discussed separately below. These are: (1) *Disability Glare* (which is not apparent to the observer). It acts to reduce the ability to see or spot an object. It is sometimes also referred to as *blinding glare* or *veiling glare*. (2) *Discomfort Glare*. It produces a sensation of ocular discomfort but does not affect the visual acuity or the ability to discern an object.

(b) While both forms of glare reactions are caused by the same light flux, the many factors involved in roadway lighting such as source size, displacement angle of the source, illumination at the eye, adaptation level, surround luminance, exposure time, and motion do not affect both forms of glare in the same manner, nor to the same degree. The only two factors common to both forms of glare are illumination at the eye and the angle of flux entrance into the eye. Even these factors have varying effects on the two forms of glare. It is generally true that when Disability Glare is reduced, it follows that there will also be a reduction in Discomfort Glare, but not necessarily in the same relative amount. On the contrary, it is entirely possible to reduce the Disecomfort Glare of a system but at the same time increase the Disability Glare.

(c) It is impossible to completely eliminate the Disability Veiling Brightness (DVB) that causes Disability Glare; since the pavement, surrounding buildings, and the objects which are viewed have a definite luminance which projects some light flux into the eye.

(d) The amount of DVB can be calculated for a particular location of the observer with a particular line of sight from that location (see paragraph C-3) and is normally expressed in footlamberts. DVB can also be measured at a particular location for a particular line of sight with a photoelectric telephotometer equipped with a special lens system.

(e) No system has been adopted by IES for calculation of relative visual comfort for roadways; however, research is going forward to determine the relationship of all factors involved in its evaluation. As soon as the data are available, the IES will be able to prepare a suitable evaluation system.

C-3 Calculation of DVB. (a) Disability Veiling Brightness of a system can be calculated from a selected observer position by using the following formula and calculating the DVB contributed by each glare source separately. The total DVB for that observer position is then obtained by summing the individual glare source DVB values.

$$\text{DVB} = \frac{10\pi E_v}{\theta^2}$$

where E_v = vertical footcandles at the eye
where θ = angle between normal line of sight and the glare source in degrees.

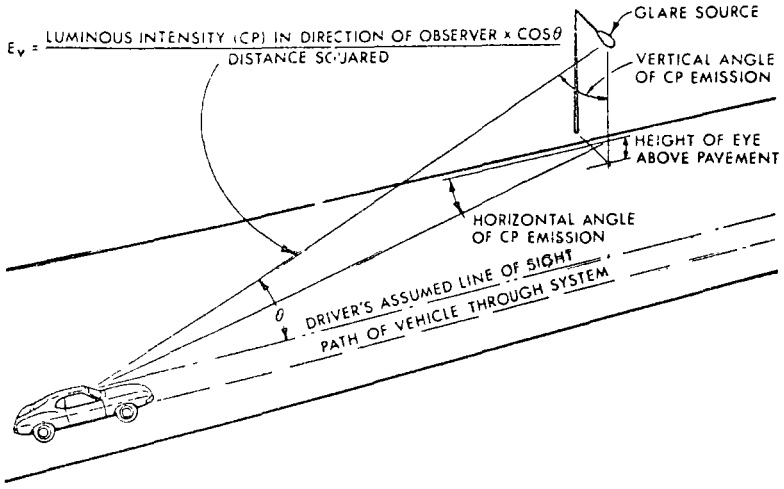


Figure C-1. Angular relationships for calculating DVB from one source and for one observer position. Individual calculations for many observer positions and for each glare source are required for evaluating system DVB.

(b). In order to simplify the calculation it is convenient to consider the line of sight to be directed parallel to the center line of the roadway since this permits the use of the same angular relationship for determination of the light flux creating E_v as is used in the DVB formula. See Fig. C-1 for the angular relationship. For accurate calculations it is necessary to have a large scale isocandela diagram of the sources under consideration.

C-4 Evaluation of DVB. (a) That visual performance in terms of target detection and visual acuity measurements is adversely affected by inceasing amounts of Disability Veiling Brightness is easily demonstrated. It is generally accepted that this is the result of the production of a veiling brightness produced within the eye which serves to alter luminances of the image and its background and hence its contrast. Increasing the DVB (for a given visual adaptation level) results in an apparent reduction in contrast. If the contrast of a task is only slightly above the threshold of visibility, an increase in DVB can make its detection impossible. It should be remembered that as the adaptation level of the eye is increased, the contrast needed to detect a target is decreased and it follows, therefore, that as the adaptation level is increased the relative effect of a given DVB value decreases. For this reason in the evaluation or comparison of calculated or measured DVB values the relative adaptation level or background luminance must be kept constant or the change included in the evaluation. A simple example from everyday experience involves the relative visibility of roadside objects when driving at night on an unlighted roadway (headlights only); when the DVB from an approaching car's headlights is added; and under a fixed lighting system or during daylight when the same added DVB from an approaching car's headlights has little effect.

(b) DVB valves (for the same adaptation level) can be compared on the basis of a system DVB or on the basis of a single glare source in the field of view. For total system DVB (at a single observer location) the DVB for each glare source is separately computed and summed. In either case it is necessary to utilize a number of observer locations simulating the movement of a vehicle through the system or approaching the single source. These different observer locations should be evenly spaced and averaged for comparison or evaluation purposes.

Appendix D—Measurement of Factors in Roadway Lighting

(This Appendix is not part of the "American National Standard Practice for Roadway Lighting, D12.1-1972," but is presented as supplemental material for the user of the Standard.)

D-1 General. (a) It is both practical and desirable to measure the performance factors of roadway lighting installations. This should be done at the start-up time of new installations and results compared with previous design predictions. Similar measurements should be made at later dates to determine illumination depreciation.

(b) Instruments are available (such as in Fig. D-1) and techniques have been established for measuring such factors as:

1. Illumination (Horizontal and/or Vertical footcandles).
2. Direct glare.
3. Disability veiling brightness.
4. Pavement and object luminance.

(c) The field measurements of systems requires special knowledge and study. The IES Committee on Testing Procedures has published a Guide entitled, "IES Guide for Outdoor Illumination Tests."*

*Committe on Testing Procedures of the IES "IES Guide for Otudoor Illumination Tests," under revision at this printing.

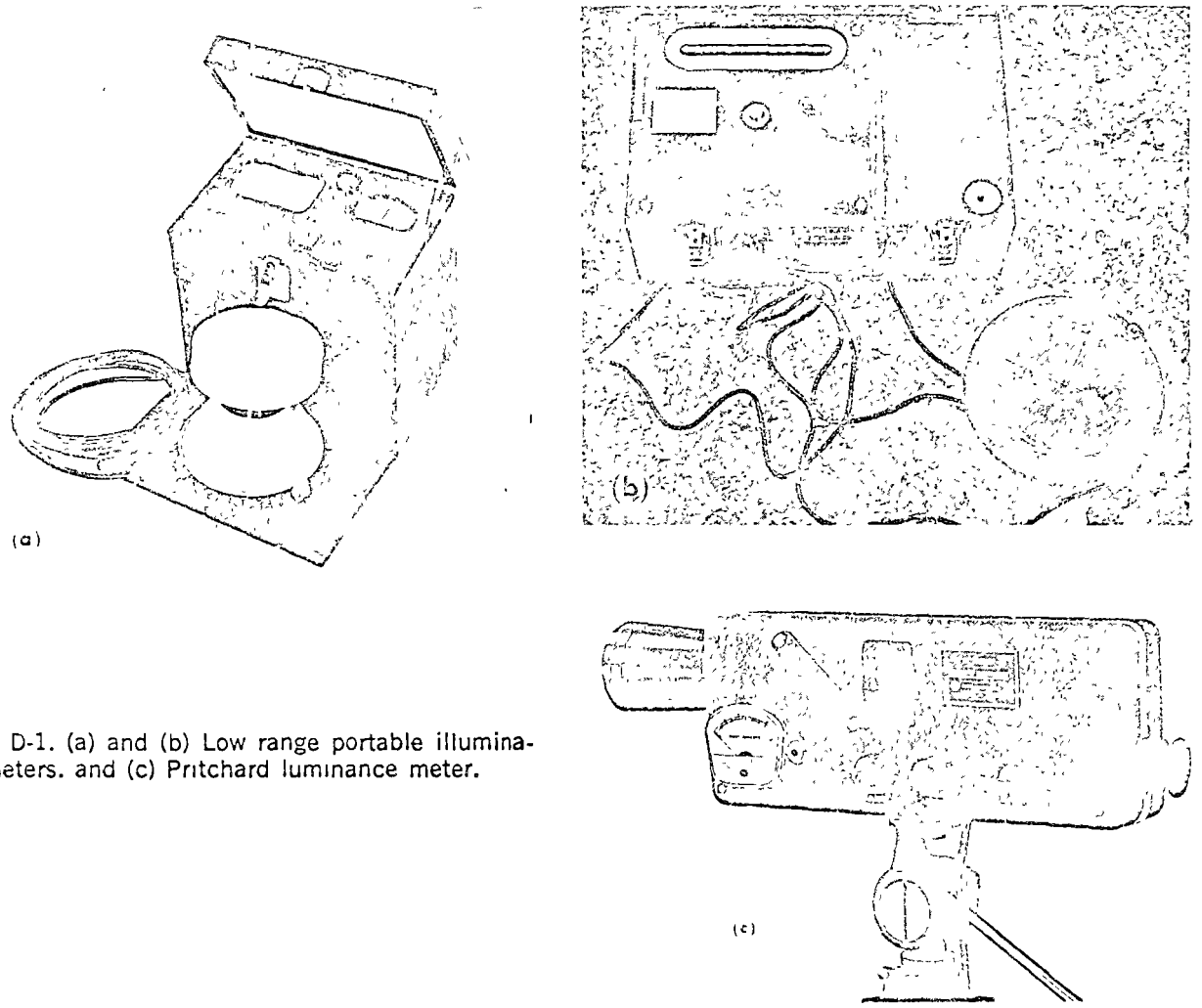


Figure D-1. (a) and (b) Low range portable illumination meters. and (c) Pritchard luminance meter.

Appendix E—Pavement Luminance*

(This Appendix is not part of the "American National Standard Practice for Roadway Lighting, D12.1-1972," but is presented as supplemental material for the user of the Standard.)

E-1 Theory and Practice

E-1.1 Luminance vs Illumination.[92] (a) Dr. Oscar Richards stated in "Visual Needs and Possibilities for Night Automobile Driving,"[116]

"In the earlier days of road lighting the illumination engineers were concerned with candlepower or lumen output from the luminaires Then the geometry of the lighting situation drew attention and the lighting was specified in horizontal footcandles At present they are beginning to realize that for seeing only the light reflected to the eye is important. Recent studies are reporting the lighting as photometric luminance (usually footlamberts). The final step should use psychological brightness which is a power of the luminance, L, $\psi = KL^{\alpha}$ with α about 0.3 (Hopkinson '56, Stevens '61). Twice the lighting often does not double the apparent brightness. The exact relation between apparent brightness and contrast will be important and should be measured for roadway situations."

(b) The present design practices are, however, still based upon illumination characteristics. Although the present CIE† recommendation specifies use of pavement luminance, it is accomplished by simply correlating illumination to pavement luminance for various pavement materials and luminaire light distributions.[71]

E-1.2 Researcher vs Practicing Engineer. (a) A lighting system, in accordance with the American National Standard Practice must be capable of being "specified" ahead of time, "designed" to meet the specification, and then "evaluated" after installation to determine compliance.

(b) Pavement luminance is based on the angle and direction of incident light, the angle and direction of the reflected light (toward the eyes) and the reflectance of the pavement. Predetermination of pavement luminance is difficult because only the first parameter is fixed. However, the angle of the reflected light in the direction of the eye varies with every location of the eyes. The characteristics of the pavement surface which determines how much light is reflected toward the eyes is a variable depending upon the pavement material,

*References may be found in the Bibliography following Appendix F

†*Commission Internationale de l'Eclairage*

Table E-1—Roadway Luminance

Classification of Roadways	Luminance* Footlamberts	Candelas per square meter
Major or Expressways	0.60 to 0.15	2.1 to 0.51
Collector	0.45 to 0.10	1.54 to 0.34
Local	0.30 to 0.05	1.03 to 0.17
Urban Freeway (limited access)		
Continuous Section	0.30 to 0.10	1.03 to 0.34
At Interchanges	0.60 to 0.30	2.1 to 1.03
Rural Freeway (limited access)		
Continuous Section	0.01 to 0.05**	0.034 to 0.17**
At Interchanges	0.30 to 0.15	1.03 to 0.51

*Average maintained values on horizontal surface.
**This range is in the order of magnitude of vehicle headlights.

weather, traffic film build up, etc.

(c) It is difficult to design a lighting system which will always produce high pavement luminance at all viewing locations. In the normal driving situation, an area of pavement may appear bright; however, as the viewer advances down the highway the same area may become very dark. Researchers are presently working on:

1. Standardized methods for presentation of pavement directional reflectance data.
2. Standardized methods of reporting luminaire intensity distribution data.
3. Standardized methods of describing the roadway geometry.
4. Ways to classify pavements.
5. Mathematical analysis methods suitable for computer use in lighting system design procedures.

E-1.3 Surface Texture. Some years ago it was demonstrated[14] that illumination characteristics of a surface texture could be visualized by assuming the total light reaching the eyes to be made up of light coming from a multitude of very small facets, each so oriented as to reflect light (by specular reflection) toward the eyes of the observer. Later, both smooth and rough roadway surfaces were examined from this standpoint.

E-1.4 Light Levels, Age and Economics.[126] (a) In "Visual Needs and Possibilities for Night Automobile Driving,"[116] Dr Richards stated:

"The basic problem is insufficient light for good seeing for night driving. The better lighted thruways do provide improved seeing but less than is needed."

And again, on the subject of age of driver:

"Seeing ability for night driving decreases with age but, not uniformly for all people or for the various parts of the visual process. Ultimately, vision is no longer good enough for safe driving at night although it may remain so for daylight driving . . . The greatest difficulty arises from the fact that the older person requires proportionally more light for equal seeing . . .] There is need, as noted by Wolt ('66), because of the reduced visual sensitivity of older persons to supply them with adequate information within this range of visual perception."

(b) Presence or absence of an object ahead of the driver can usually be determined fairly quickly by a driver under low light levels.

(c) If more information about an object is needed for proper decision making, the driver needs more time (obtained by lowering vehicle speed), a larger object size (obtained by getting closer to the object), or better contrast (obtained with higher lighting levels).

(d) Note that if the time factor is critical and the decision can not be prolonged (with a fixed object size, location, and reflection factor), *the drivers only recourse is more light* (obtained by going to high beam headlights—or if already in use, *such added light can be provided by a fixed lighting system*).

(e) The CIE code specifies luminance levels that the Europeans have found adequate to permit driving without headlights—a major source of Disability Veiling Brightness (DVB)—such light coming through both the windshield and the rear view mirrors toward the driver's eyes. See Table E-1.

E-1.5 Optical Properties of Materials.[85] (a) Light striking a surface can be absorbed, reflected, or refracted. Pavement materials do not refract light, they either reflect or absorb light.

(b) The natural tendency of dark matte surfaces is to absorb a major portion of the incident light.

(c) The natural tendency of light matte surfaces is to reflect a major portion of the incident light.

(d) In the case of specular reflection from either dark or light surfaces there must always be correct orientation of the light source, surface, and observer's eye for the surface to appear light to the observer.

(e) Pavement materials exhibit a type of light reflection which is a combination of true specular and true diffuse reflection. Sometimes one kind predominates, sometimes the other.

E-1.6 Environmental Compatibility. (a) Any system designed to provide visibility of objects under low levels of luminance at night must be compatible when that same system is exposed to the very high levels of luminance provided under summer daylight conditions.[63]

(b) In like fashion, the system visibility must remain when the pavement is damp, wet, or flooded with water or the loss in visibility compensated by other means.[74]

(c) Fog requires special lighting distributions, and/or special mechanical or electronic systems, as well as extreme caution on the part of the driver.[93]

E-2 Seeing Factors.[32] (a) Pavement luminance provides a measure of contrast between an object and its immediate background, and to help determine the adaptation level of the eye.[13, 110, 113, 148] The location of objects of importance to a driver may be on the paved roadway itself or off to the sides on the shoulders. Pavement luminance *is* needed for discernment by silhouette or reverse silhouette of an object located on the roadway proper and when the road is straight ahead. However, roadway conditions ahead are only one situation. The driver must be aware of conditions on lanes to his left and right, and to his rear, so that he may anticipate and be a good "defensive driver."

(b) Pavement luminance *is not* needed for discernment, by silhouette or reverse silhouette, of objects located above the road, in the shoulder or median areas, or of objects located on the roadway proper when the road ahead is curved or hilly. In these cases, the objects are often seen against a background of sky, grass, woods, shrubs, buildings or other cars. Most of our highways that are illuminated are heavily travelled and such factors as pavement luminance, silhouetting, texture, etc., do not necessarily apply when the roadway ahead is practically obliterated by other vehicles.

(c) Detection of presence or absence of an object is readily accomplished by discernment by silhouette or reverse silhouette. Sometimes this is sufficient information for a driver to decide if he can hit an object or if he must avoid it at all costs. If this does not provide sufficient information to make such a decision, the driver must depend upon discernment by surface detail on the object. Again pavement luminance no longer plays a part.

(d) Pavement luminance and its variations are often a major factor in determining the transient adaptation level of the eye.[111, 128] In this case the pavement acts as a secondary light source to the eye, the basic light sources being either fixed or vehicle lighting ahead of the driver.

(e) The type of objects considered are signs, other vehicles, holes in the road, small foreign objects on the highway, animals, and pedestrians. Past studies of visibility have used round flat disks, Landolt rings, black dogs, child manikins, vehicles, various length three dimensional vertical surfaces, etc.[55, 57] At present no standard industry accepted target exists.

(f) When the visibility of such targets has been studied using the pavement as background the usual practice has been to assume the vehicle travelling along a *longitudinal roadway line* (LRL) and the eye fixed at a point, say 150 to 600 feet ahead of the vehicle. From the standpoint of pavement luminance this provides the eye with a "dynamic viewpoint." The pavement spot being viewed moves with the vehicle. A pedestrian, however, looks at the pavement luminance from a "static viewpoint"—the eye remaining fixed in location but scanning the pavement ahead at any series of random points. Subjectively these two viewpoints present the eye with two very different brightness patterns.

(g) The driver task requires constant eye movement.[137] In an actual dynamic situation, the eye is continuously scanning the view ahead with short pauses on particular points or objects ahead of or beside the driver vehicle. In such a situation, an area of pavement may appear bright; however, as the viewer advances down the highway the same area may become very dark. Thus it is very difficult to design a lighting system which will always produce high pavement brightness at all viewing locations. To say that the eye stays fixed to a particular location is erroneous.

(h) Basically the methods of lighting being employed greatly affects the type of discernment in any given situation. Sometimes the methods of lighting are in conflict with each other. There is fixed lighting, originating from highway luminaires or from the random commercial background lighting. There also is vehicular headlighting illuminating the pavement; and this can be oriented either in the direction of traffic or against oncoming traffic. The Connecticut Turnpike studies showed clearly that at higher traffic densities and narrow medians pavement luminance is dominated by the oncoming vehicle headlights.

(i) For objects located on the roadway, pavement luminance (object background) is best provided as follows :

For discernment by silhouette (light background—dark object face) :

(1) Oncoming vehicle headlights.
(2) Fixed highway lighting luminaires—portion sending light back toward driver.
(3) Fixed commercial lighting ahead of vehicle.
(4) Light colored pavement surfaces.
(5) Smooth, specular, low skid resistant pavement surfaces.
(6) Dark colored object faces toward driver.

For discernment by reverse silhouette (dark background—light object face) :

(1) Drivers' own vehicle headlights.
(2) Fixed highway lighting luminaires—portion sending light in direction of traffic.
(3) Fixed commercial lighting behind the vehicle.
(4) Dark colored pavement surfaces.
(5) Rough, diffuse, high skid resistant pavement surfaces.
(6) Light colored diffuse object faces toward driver.

For discernment by surface detail of objects (light background—dark detail or the reverse) :

(1) Drivers' own vehicle headlights.
(2) Fixed highway lighting luminaires—portion sending light in direction of traffic.
(3) Fixed sign lighting.
(4) Light colored diffuse object faces toward driver.

As is readily apparent, in today's actual driving situations many of these conditions are in conflict. Lighting needs to be integrated into the driving environment at the design stage. However, still to be learned is how to bring together compatible components to provide the driving environment needed for safe, comfortable seeing at night.

E-3 How to Achieve Pavement Luminance

E-3.1 Rough and Smooth Surfaces. The illumination characteristics of the pavement surface texture can be visualized by assuming the total light reaching the eye to be made up of light coming from a multitude of very small facets, each so oriented that it reflects light (by specular reflection) toward the eye of the observer.

E-3.1.1 ***Fairly Smooth Flat Horizontal Surface.*** A near "horizontal" facet orientation provides its highest luminance as seen by the driver when light is directed toward the driver after reflecting from the face of the facet at mirror angles. Under wet pavement conditions, specular reflectance causes bright streaks of light to be reflected off the pavement toward the driver. Light directed "away" from the driver in the direction of traffic causes the surface to darken.

E-3.1.2 ***Fairly Rough Flat Horizontal Surface.*** A near "vertical" facet orientation facing generally toward the driver provides the highest luminance as seen by the driver when light is directed in the direction of traffic and is reflected from the face of the facet (approximately perpendicular to drivers' line of sight). This surface luminance is there under both dry and wet pavement conditions. Note, however, the light directed "toward" the driver now has absolutely no effect on making this surface appear bright.

E-3.2 Safety. To correlate illumination determining pavement surface texture characteristic with vehicle safety, it is well known that in general, rough surfaces have a higher skid resistance than do smooth surfaces.

E-3.3 Day-Night. (a) By day, pavement luminance is provided by fixed sky light having a hemispherical light distribution and by the moving sun which is highly directional, but continually changing in orientation.

(b) By night, pavement luminance is provided by fixed lighting luminaires usually having a bi-directional light distribution and by moving vehicle headlights having a highly directional and fairly constant orientation (either aimed away from the driver or aimed toward the driver.)

(c) At night, the equivalent of daytime sky light distribution could be provided by designing for enough fixed lighting emitting light in the 10-degree to 60-degree vertical range. At night headlights aimed in the direction of traffic have somewhat of an advantage over the sun in that they are always aimed ahead where the driver is looking. While conversely, an oncoming headlight contributes to glare as does the sun in the early morning and late afternoon and when it illuminates a light pavement surface, especially as the pavement location latitude approaches the equator.

(d) Daytime pavement luminance is by no means a constant, but varies with sun orientation, cloud coverage, weather changes, pavement patches of different material or texture, dirt on road surface, shadows from roadside objects, overhead signs, other vehicles, pedestrians, and driver viewing position. In a like fashion but for different reasons nighttime pavement luminance is not a constant to the viewing driver.

E-3.4 Light Distributions[1, 117, 145]

E-3.4.1 ***Toward the Driver.*** (a) Light oriented toward the driver best provides for discernment by silhouette and achieves a dark object face contrasted against a lighter appearing background.

(b) Typical source generators are moving headlights located on oncoming vehicles and that half of the fixed lightings' bi-directional light distribution, emitted in the direction of the driver. This light orientation "maximizes" the effect of *Disability Veiling Brightness* (DVB) and *Borderline of Comfort Discomfort* (BCD) on the observer.

E-3.4.2. ***Direction of Traffic.*** *(a)* Light oriented in the direction of traffic best provides for discernment by reverse silhouette and also by surface detail, and achieves a light object face contrasted against a darker appearing background.

(b) Typical source generators are moving headlights located on the driver's vehicle and that half of the fixed lightings' bi-directional light distribution, emitted in the direction of traffic flow. This light orientation "minimizes" the effect of DVB and BCD on the observer.

E-4 Surface Characteristics. As far as lighting is concerned, the following paragraphs deal with some of the major characteristics of the two popular road surfaces in use today.

E-4.1 Reflectance. (a) By the standard definition of reflectance, asphalt is lower than concrete, but both get darker when wet. Often at night worn asphalt and worn concrete appear quite similar. Concrete also becomes burnished with time as a result of traffic and this increases its specularity at normal viewing angles.

(b) A definition of what constitutes a wet pavement is neded. Is the surface damp, simply wet, or is the water a sheet? In every case the reflectance varies considerably—in the latter case it is quite specular and would be the same with both smooth and rough pavement surfaces of any material. Damp surfaces are not specular.

(c) Pavement reflection characteristics have been and are being measured in the laboratory and graphical and mathematical ways of expressing the data have been developed.

E-4.2 Surface Texture. (a) *Smooth* surfaces under most driving conditions present a diffuse character when dry and a specular character when wet.

(b) *Rough* surfaces present a diffuse character when dry and the same or semi-diffuse when wet.

E-4.3 Visibility of Surface. (a) Under some environmental conditions (fog, ice, snow) the pavement may not be visible the driver.

(b) Under some traffic conditions the view of the pavement is practically obliterated by other vehicles.

E-4.4 Visual Appearance of Uniformity of Surface Texture. (a) Pavements are uniform in appearance only at the time they are new and dry.

(b) Asphalt appears dark usually, while concrete presents a much lighter appearance.

(c) At some latitudes a mixture of whitestone and asphalt or concrete alone may be too bright under the summer sun. Tire wear and engine oil droppings, among other things, soon change the 3-D texture and the visual appearance. Roads may be patched with material of a different surface texture from the original mixture; concrete may be patched with asphalt or it may be completely re-surfaced with asphalt. Actual pavement surfaces or sections of pavements may be dry, damp, wet, clean, dirty, patched, new, worn, covered completely with snow, etc. At any point in time, the surface texture and visual appearance varies from point to point and from moment to moment.

E-4.5 Materials. Mention above has been restricted to the two popular surfaces in use today. Other road surfaces in use here and there in limited locations are cobblestones, brick, steel open grid work, etc. New materials are being recommended in special situations as well as other than standard material colors.[102]

E-5 Measurements

E-5.1 Field Luminance.[10, 105] (a) Luminance measurements of pavements or objects can be made using the Pritchard Photometer or the new Luminance Meter for Street Lighting according to Morass.[100]

(b) Such measurements can be made either at singular points or made to give average values of selected wide field of views. They can also be made from a static or fixed viewing point (tripod mounted) or from a dynamic or moving viewing point (as when mounted in a moving vehicle).

(c) Photography, a more difficult aproach, may be employed if proper calibration, exposure and printing techniques are employed.[24, 77]

(d) Here on the North American continent when average roadway luminance values are of interest as a design consideration, the values in Table E-1, included in this Appendix, can be used as a guide for evaluation. It is to be noted that there is not a direct relationship between these luminance values and incident illumination on a horizontal surface. Reasons for this are obvious as the many variations covered in this Appendix are analyzed.

E-5.2 Laboratory—Pavement Reflection Characteristics.[64, 76, 118] (a) Specially developed equipment permits these measurements to be made according to the many necessary orientations of light sources and viewing positions.

(b) Data from such tests have been expressed in both graphical and mathematical form for use by lighting engineers. The use of hand calculation or digital computer must be considered when such test results are being published.

Appendix F—Glossary of Terms Used in Roadway Lighting

(This Appendix is not part of the "American National Standard Practice for Roadway Lighting. D12.1-1972," but is presented as supplemental material for the user of the Standard.)

absorptance: the ratio of the flux absorbed by a medium to the incident flux.
Note. The sum of the hemispherical reflectance, the hemispherical transmittance, and the absorptance is one.

accommodation: the process by which the eye changes focus from one distance to another.

adaptation: the process by which the retina becomes accustomed to more or less light than it was exposed to during an immediately preceding period. It results in a change in the sensitivity of the eye to light.

atmospheric transmissivity: the ratio of the directly transmitted flux incident on a surface after passing through unit thickness of the atmosphere to the flux that would be incident on the same surface if the flux had passed through a vacuum.

ballast: a device used with an electric-discharge lamp to obtain the necessary circuit conditions (voltage, current and wave form) for starting and operating.

blinding glare: glare that is so intense that for an appreciable length of time no object can be seen.

bracket (mast arm): an attachment to a lamp post or pole from which a luminaire is suspended.

brightness: see *luminance* and *subjective brightness.*

candela, cd: (formerly candle) the unit of luminous intensity. See Fig. F-1.

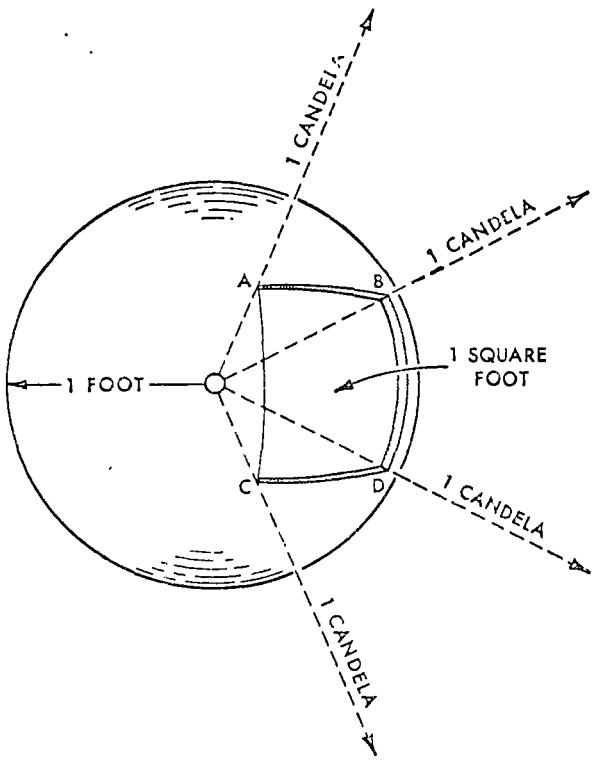


Figure F-1. Relationship between candelas, lumens and footcandles. A uniform point source (luminous intensity or candlepower = 1 candela) is shown at the center of a sphere of 1-foot radius. It is assumed that the sphere surface has zero reflectance. The illumination at any point on the sphere is 1 footcandle (1 lumen per square foot). The solid angle subtended by the area A, B, C, D is 1 steradian. The flux density is therefore 1 lumen per steradian, which corresponds to a luminous intensity of 1 candela, as originally assumed. The sphere has a total area of 12.57 (4π) square feet, and there is a luminous flux of 1 lumen falling on each square foot. Thus the source provides a total of 12.57 lumens.

candlepower, cp.: luminous intensity expressed in candelas. It is no indication of the total light output.

candlepower distribution curve: a curve, generally polar, representing the variation of luminous intensity of a lamp or luminaire in a plane through the light center.

Note: A vertical candlepower distribution curve is obtained by taking measurements at various angles of elevation in a vertical plane through the light center; unless the plane is specified, the vertical curve is assumed to represent an average such as would be obtained by rotating the lamp or luminaire about its vertical axis. A horizontal candlepower distribution curve represents measurements made at various angles of azimuth in a horizontal plane through the light center.

central (foveal) vision: the seeing of objects in the central or foveal part of the visual field, approximately two degrees in diameter. It permits seeing much finer detail than does peripheral vision.

coefficient of utilization, CU: the ratio of the luminous flux (lumens) from a luminaire received on the surface of the roadway to the lumens emitted by the luminaire's lamps alone.

constant-current transformer: a device (sometimes erroneously referred to as a constant-current regulator) that automatically maintains a constant current in its secondary circuit under varying conditions of load impedance when supplied from a constant potential source.

contrast sensitivity: the ability to detect the presence of luminance differences. Quantitatively, it is equal to the reciprocal of the contrast threshold.

contrast threshold: the minimal perceptible contrast for a given state of adaptation of the eye. It also is defined as the luminance contrast detectable during some specific fraction of the times it is presented to an observer, usually 50 per cent.

diffuse reflectance: the ratio of the flux leaving a surface or medium by diffuse reflection to the incident flux.

diffuser: a device to redirect or scatter the light from a source, primarily by the process of diffuse transmission.

direct glare: glare resulting from high luminances or insufficiently shielded light sources in the field of view or from reflecting areas of high luminance. It usually is associated with bright areas, such as luminaires, that are outside the visual task or region being viewed.

disabiltiy glare: glare resulting in reduced visual performance and visibility. It often is accompanied by discomfort. See *veiling brightness.*

discomfort glare: glare producing discomfort. It does not necessarily interfere with visual performance or visibility.

fixture: see *luminaire.*

footcandle, fc: the unit of illumination when the foot is taken as the unit of length. It is the illumination on a surface one square foot in area on which there is a uniformly distributed flux of one lumen, or the illumination produced on a surface all points of which are at a distance of one foot from a directionally uniform point source of one candela. See Fig. F-1.

footlambert, fL: a unit of luminance (photometric brightness) equal to $1/\pi$ candela per square foot, or to the uniform luminance of a perfectly diffusing surface emitting or reflecting light at the rate of one lumen per square foot, or to the average luminance of any surface emitting or reflecting light at that rate.

Note: The average luminance of any reflecting surface in footlamberts is, therefore, the product of the illumination in footcandles by the luminous reflectance of the surface.

glare: the sensation produced by luminance within the visual field that are sufficiently greater than the luminance to which the eyes are adapted to cause annoyance, discomfort, or loss in visual performance and visibility. See *blinding glare, direct glare, disability glare, discomfort glare.*

Note: The magnitude of the sensation of glare depends upon such factors as the size, position and luminance of a source, the number of sources and the luminance to which the eyes are adapted.

high-intensity discharge lamps: a general group of lamps consisting of mercury, metal halide and high-pressure sodium lamps.

high-pressure sodium lamp: a sodium vapor lamp in which the partial pressure of the vapor during operation is of the order of 10^4 N • m^{-2} (0.1 atm).

illumination: the density of the luminous flux incident on a surface; it is the quotient of the luminous flux by the area of the surface when the latter is uniformly illuminated.

Note: The term illumination also is commonly used in a qualitative or general sense to designate the act of illuminating or the state of being illuminated. Usually the context will indicate which meaning is intended, but occasionally it is desirable to use the expression *level of illuminaion* to indicate that the quantitative meaning is intended.

illumination (footcandle) meter: an instrument for measuring the illumination on a surface. Most such instruments consist of one or more photovoltaic cells connected to a meter calibrated in footcandles.

intensity: a shortening of the terms *luminous intensity* and *radiant intensity.* Often misused for level of illumination.

insulating transformer: an auxiliary device for use with mercury or fluorescent lamps or incandescent lamps in series circuits to insulate the lamp from the high-voltage series circuit. It may also transform current and limit peak open circuit voltage across the lamp socket.

isocandela line: one plotted on any appropriate coordinates to show directions in space, about a source of light, in which the candlepower is the same. For a complete exploration the line always is a closed curve. A series of such curves, usually for equal increments of candlepower, is called an isocandela diagram.

isolux (isofootcandle) line: one plotted on any appropriate coordinates to show all the points on a surface where the illumination is the same. For a complete exploration the line is a closed curve. A series of such lines for various illumination values is called an isolux (isofootcandle) diagram.

lambert, L: a unit of luminance (photometric brightness) equal to $1/\pi$ candela per square centimeter.

lambert surface: a surface that emits or reflects light in accordance with Lambert's cosine law. A lambert surface has the same luminance regardless of viewing angle.

lamp: a generic term for a man-made source of light. Note: a lighting unit consisting of a lamp with shade, reflector, enclosing globe, housing or other accessories is also called a "lamp." In such cases, in order to distinguish between the assembled unit and the light source within it, the latter is often called a "bulb" or "tube," if it is electrically powered. See also *luminaire.*

lamp post: a standard support provided with the necessary internal attachments for wiring and the external attachments for the bracket and luminaire.

lateral width of a light distribution: (in roadway lighting) the lateral angle between the reference line and the width line, measured in the cone of maximum candlepower. This angular width includes the line of maximum candlepower.

light center (of a lamp): the center of the smallest sphere that would completely contain the light-emitting element of the lamp.

light center length (of a lamp): the distance from the light center to a specified reference point on the lamp.

lighting unit: the assembly of pole or standard with bracket and luminaire.

longitudinal roadway line (LRL): may be any line along the roadway parallel to the curb line.

lumen, lm: the unit of luminous flux. It is equal to the flux through a unit solid angle (steradian), from a uniform point source of one candela (candle), or to the flux on a unit surface all points of which are at unit distance from a uniform point source of one candela. See Fig. F-1 for a diagrammatic representation.

luminaire: a complete lighting unit consisting of a lamp or lamps together with the parts designed to distribute the light, to position and protect the lamps and to connect the lamps to the power supply.

luminaire efficiency: the ratio of luminous flux (lumens) emitted by a luminaire to that emitted by the lamp or lamps used therein.

luminance (photometric brightness): luminance (photometric brightness) in a direction, at a point on the surface of a source, of a receiver, or of any other real or virtual surface is the quotient of the luminous flux leaving, passing through, or arriving at an element of the surface surrounding the point, and propagated in directions defined by an elementary cone containing the given direction, by the product of the solid angle of the cone and the area of the orthogonal projection of the element of the surface on a plane perpendicular to the given direction; or it is the luminous intensity of any surface in a given direction per unit of projected area of the surface as viewed for that direction.

Note: In the defining equation θ is the angle between the direction of observation and the normal to the surface.

In common usage the term *brightness* usually refers to the intensity of *sensation* resulting from viewing surfaces or spaces from which light comes to the eye. This sensation is determined in part by the definitely measurable luminance defined above and in part by conditions of observation such as the state of adaptation of the eye.

In much of the literature the term brightness, used alone, refers to both luminance and sensation. This [illegible] indicates which meaning is intended.

luminance ratio: the ratio between the lumianances (photometric brightnesses) of any two areas in the visual field.

Note: See last paragraph of the note under *luminance.*

luminous efficacy of a soure of light: the quotient of the total luminous flux emitted by the total lamp power input. It is expressed in lumens per watt.

Note: The term luminous efficiency has in the past been extensively used for this concept.

lux, lx: the International System (SI) unit of illumination. It is the illumination on a surface one square meter in area on which there is a uniformly distributed flux of one lumen, or the illumination produced at a surface all points of which are at a distance of one meter from a uniform point source of one candela.

maintenance factor, MF: a factor formerly used to denote the ratio of the illumination on a given area after a period of time to the initial illumination on the same area.

mercury lamp: an electric discharge lamp in which the major portion of the radiation is produced by the excitation of mercury atoms.

metal halide lamp: a discharge lamp in which the light is produced by the radiation from a mixture of a metallic vapor (for example, mercury) and the products of the disassociation of halides (for example, halides of thallium, indium or sodium).

mounting height: the vertical distance between the roadway surface and the center of the apparent light soure of the luminaire.

overhang: the distance between a vertical line passing through the luminaire and the curb or edge of the roadway.

point of fixation: a point or object in the visual field at which the eyes look and upon which they are focused.

polarization: the process by which the transverse vibrations of light waves are oriented in a specific plane.

pole: a standard support generally used where overhead lighting distribution circuits are employed.

primary line of light: the line connecting the point of observation and the point of fixation.

rapid start fluorescent lamp: a fluorescent lamp designed for operation with a ballast that provides a low-voltage winding for preheating the electrodes and initiating the arc without a starting switch or the application of high voltage.

reaction time: the interval between the beginning of a stimulus and the beginning of the response of an observer.

reference line: either of two radial lines where the surface of the cone of maximum candlepower is intersected by a vertical plane parallel to the curb line and passing through the light center of the luminaire.

reflectance of a surface or medium: the ratio of the reflected flux to the incident flux.

Note: Measured values of reflectance depend upon the angles of incidence and view and on the spectral character of the incident flux. Because of this dependence, the angles of incidence and view and the spectral characteristics of the source should be specified.

reflector: a device used to redirect the luminous flux from a source by the process of reflection.

refractor: a device used to redirect the luminous flux from a source, primarily by the process of refraction.

regular (specular) reflectance: the ratio of the flux leaving a surface or medium by regular (specular) reflection to the incident flux.

shielding angle (of a luminaire): the angle between a horizontal line through the light center and the line of sight at which the bare source first becomes visible.

spacing: for roadway lighting the distance between successive lighting units, measured along the center line of the street.

spacing-to-mounting height ratio, S/MH: the ratio of the distance between luminaire centers to the mounting height above the roadway.

street lighting luminaire: a complete lighting device consisting of a light source together with its direct appurtenances such as globe, reflector, refractor, housing, and such support as is integral with the housing. The pole, post or bracket is not considered part of the luminaire.

street lighting unit: the assembly of a pole or lamp post with a bracket and a luminaire.

subjective brightness: the subjective attribute of any light sensation giving rise to the percept of luminous intensity, including the whole scale of qualities of being bright, light, brilliant, dim or dark.

Note: The term brightness often is used when referring to the measurable "photometric brightness." While the context usually makes it clear as to which meaning is intended, the preferable term for the photometric quantity is *luminance*, thus reserving *brightness* for the subjective sensation.

traffic volume: as referred to in roadway lighting considerations, the maximum number of vehicles or pedestrians that may be exposed on a given roadway over the period of one hour.

transverse roadway line (TRL): may be any line across the roadway that is perpendicular to the curb line.

tungsten-halogen lamp: a gas filled tungsten incandescent lamp containing a certain proportion of halogens.

Note: The tungsten-iodine lamp (UK) and quartz-iodine lamp (USA) belong to this category.

utilization efficiency: a plot of the quantity of light falling on horizontal plane both in front of and behind the luminaire. It shows only the per cent of bare lamp lumens which fall on the horizontal surface, and is plotted as a ratio of width of area to mounting height of the luminaire.

veiling brightness: a brightness superimposed on the retinal image which reduces its contrast. It is this veiling effect produced by bright sources or areas in the visual field that results in decreased visual performance and visibility.

veiling reflection: regular reflections superimposed upon diffuse reflections from an object that partially or totally obscure the details to be seen by reducing the contrast. This sometimes is called reflected glare.

visibility: the quality or state of being perceivable by the eye. In many outdoor applications, visibility is defined in terms of the distance at which an object can be just perceived by the eye. In indoor applications it usually is defined in terms of the contrast or size of a standard test object, observed under standardized view-conditions, having the same threshold as the given object.

visual acuity: a measure of the ability to distinguish fine details. Quantitatively, it is the reciprocal of the angular size in minutes of the critical detail that is just large enough to be seen.

visual angle: the angle subtended by an object or detail at the point of observation. It usually is measured in minutes of arc.

width line: the radial line (the one that makes the larger angle with the reference line) that passes through the point of one-half maximum candlepower on the lateral candlepower distribution curve plotted on the surface of the cone of maximum candlepower.

zonal constant: a factor by which the mean candlepower emitted by a source of light in a given angular zone is multiplied to obtain the lumens in the zone.

Bibliography

1. Adrian, W.: "On the Influence of Light-Intensity-Distribution of Lights on the Luminance, It's Uniformity and Glare in Road Illumination," *Lichttechnik*, No. 2, 1968, p. 15A.

2. Alexander, G. A., Hobson, R. C. and McKnight, S. W.: "Lighting the New Four-Lane Highway Tunnel at Thorold, Ontario," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 65, March 1970, p. 163.

3. "American Standard Practice for Roadway Lighting," (Illuminating Engineering Society, Sponsor), ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIX, February 1964, p. 73.

4. *An Informational Guide for Roadway Lighting*, American Association of State Highway Officials, March 1969.

5. "Appearance Aspects for a Lighted Mall," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIX, February 1964, p 123.

6. Ashley, A. and Douglas, C. A.. "Can Infrared Improve Visibility Through Fog," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXI, April 1966, p 243

7. Baldock, R. E.: "Study and Standard Quality of a Road Surface," *The Crushed Stone Journal*, Vol. XIII, No. 5, 1938, p 11.

8. Barbrow, L. E.: "The Metric System in Illuminating Engineering," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXII, November 1967, p. 638.

9. Benford F.: "Isocandles," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol. XXI, February 1926, p 129.

10. Berger, M. and Fischer, U.: "A Physical Luminance Measuring Device," *Lichttechnik*, April 1968, p. 37A.

11. Bergmans, J.: "Lightreflectie Door Wegdekken (Light Reflection from Road Surfaces)," *Bulletin of the N. V Philips' Gloeilampenfabrieken*, Netherlands, 1938.

12. Blackwell, H. R.. "Development and Use of a Quantitative Method for Specification of Interior Illumination Levels on the Basis of Performance Data," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol LIV, June 1959, p. 317.

13. Blackwell, H R., Schwab, R N. and Pritchard, B S.: "Visibility and Illumination Variables in Roadway Visual Tasks," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIX, May 1964, p. 277.

14. Bloch, A.: "Light Scattering by Road Surfaces—A Theoretical Treatment," *Transactions of the Illuminating Engineering Society* (London), No 4, 1938, p 111.

15. Bonvallet, G. G., Dorman, W. H., Neal, F M and Sullivan, D D.: "Visibility Distance As Affected by Roadway Lighting Parameters," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LX, May 1965, p 355.

16. Brass, J. R. "The Classification Dilemma for Sharp Cut-off Roadway Luminaires," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 65, March 1970 p. 115

17. "City Overpasses Require New Light Thinking," ILLUMINATING ENGINEERING Vol LXII, April 1967, p. 266.

18. Clark, F: "Economical Mercury Street Lighting Maintenance," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIX, November 1964, p 741

19. Clark, F.: "The Case for Step-by-Step Procedures for Calculations in Roadway Lighting Design," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol 65, November 1970, p. 637.

20. Cleveland D E "Traffic Control and Roadway Elements —This Relationship to Highway Safety—Illumination," Automotive Safety Foundation, Chapter 3

21. Cohu, M and Trequingneau, A. "Etude de la Brilliance des Revêtements de Chaussies Mumides (Study of the Brightness of the Surfaces of Wet Highways)," *Revue Générale de l'Electricité*, September 1938, p 373

22. Committee of Street Lighting of the IES: "Code of Street Lighting," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol XXVI, January 1931, p 15.

23. Committee on Street and Highway Lighting of the IES: "Lighting Traffic Tunnels and Underpasses," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol LII, June 1957, p 325

24. Committee on Street and Highway Lighting of the IES: "Photographic Representation of Street Lighting, Part 1," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLVI, February 1951, p. 104.

25. Committee on Street and Highway Lighting of the IES: "Proposed American Standard Practice for Street and Highway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLVII, August 1952, p. 449.

26. Committee on Street and Highway Lighting of the IES: "Recommended Practice of Street and Highway Lighting, 1945," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLI, February 1946, p. 105.

27. Committee on Street and Highway Lighting of the IES: "Recommended Practice of Street Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XXVI, January 1941, p. 17

28. Committee on Street Lighting of the IES: "Code of Street Lighting," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol. XXX, January 1935, p. 96.

29. Committee on Street Lighting of the IES: "Principles of Street Lighting," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol. XXIII, July 1928, p 618.

30. Committee on Testing Procedures for Illumination Characteristics of the IES: "IES Guide for Outdoor Illumination Tests," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLVI, August 1951, p. 425.

31. Committee on Testing Procedures of the IES: "IES Approved Method for Photometric Testing of Roadway Luminaires Using Incandescent Filament, or Mercury or Sodium Electric Discharge Lamps," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 63, October 1968, p 541.

32. Connolly, P. L.: *Vision, Man, Vehicle, and Highway*, Highway Safety Research Institute, University of Michigan, 1967.

33. Connolly, P. L: "Visual Considerations: Man, the Vehicle and the Highway," *Optometry Weekly*, Vol. 57, No. 17, 1966, p. 26.

34. Cossyphas, H. and Stark, R.: "Evaluation of an Experimental High Mount Illumination Technique for Expressway Interchanges," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol 66, February 1971, p. 84.

35. Crouch, C. L.: "Veiling Reflection Studies and their Effect on School and Office Lighting Systems," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXII, June 1967, p 360.

36. De Boer, J. B.: "Fundamental Experiments on Visibility and Admissible Glare," *Proceedings CIE, Commission Internationale de l'Eclairage*, Stockholm, 1951.

37. De Boer, J. B., Onate, V. and Oostrijck, A.: "Practical Methods for Measuring and Calculating the Luminance of Road Surfaces," *Philips Research Reports*, Vol. 7, No 1, 1952, p. 52.

38. De Boer, J. B.: "Road Surface Luminance and Glare Limitation in Lighting for Safe and Comfortable Road Traffic," *Highway Research Board Buletin 298*, National Research Council, 1961, p. 56.

39. De Boer, J. B.: "The Concept of Luminance in Street Lighting," *Light and Lighting*, Vol. XLV, No. 11, November 1952.

40. "Detroit's Avant Garde Expressway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol LIX, February 1964, p. 118.

41. Dorman, W. H.: "A Simplified Procedure for Street-Light Luminaire Photometric Data Reduction," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LX, July 1965, p. 445.

42. Dunbar, C. "Necessary Values of Brightness Contrast in Artificially Lighted Streets," *Transactions of the Illuminating Engineering Society* (London), Vol 3, December 1938, p 187.

43. Edman, W. H: "Development of a New American Standard Practice for Roadway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LVIII, November 1963, p. 687.

44. Edman, W H.: "Report of Street, Tree and Utility Conference," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LI, May 1956, p. 359.

45. *EEI Street Lighting Manual*, Edison Electric Institute, 90 Park Avenue, New York, N. Y. 10016.

46. Electrical Demonstration Branch of the Tennessee Valley Authority: "A Study of the Benefits of Suburban Highway

Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 64, April 1969, p 355
47. Elmer, W. B.: "Pedestrian Walkway Lighting Comes Into its Own," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXII, June 1967, p 377.
48. Falk, N.: "A New Solution for Effectively Lighting Underpasses," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIX, February 1964, p 127.
49. Faucett, R. E.: "The Zonal-Cavity System Applied to Tunnels," ILLUMINATANG ENGINEERING, Vol. 65. March 1970, p. 141.
50. Finch, D. M. and Marxheimer, E. B.: "Pavement Brightness Measurements," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLVIII, February 1953, p 65.
51. Finch, D. M. and Simmons, A. E.: "An Instrument for Evaluation of Night Visibility on Highways," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXVIII, October 1953, p. 517.
52. Finch, D M. and Simmons, A. E.: "Uniformity of Illumination in Highway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLV, September 1950, p. 561.
53. Finch, D M., Curwen, E. C. and King, L. E.: "A Bridge-Roadway Lighting Study Based on Roadway Luminance Factors," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 63, February 1968, p. 77.
54. Finch, D M: "Lighting Design for Night Driving," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLV, June 1950, p. 371.
55. Finch, D M.: "Some Factors Influencing the Night Visibility of Roadway Obstacles," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LII, March 1957, p 120
56. Forbes, T W.: "Factors in Highway Sign Visibility," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 65, August 1970, p. 495.
57. Forbes T. W, Pain, R. F., Bloomquist, D. W. and Vanosdall, F E.: "Low Contrast and Standard Visual Acuity Under Mesopic and Photopic Illumination," *Journal of Safety Research*, March 1969, p 5.
58. Fowle, A W. and Kaercher, R. L.. "Light Distributions for Effective Control of Glare in Roadway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING. Vol LVII, May 1962, p. 336.
59. Fowle, A W and Kaercher, R L.. "Roadway Brightness and Illumination as Related to Luminaire Distribution," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol LVI, April 1961, p 279.
60. Fowle, A. W. and Kaercher, R. L.: "Theoretical and Practical Light Distributions for Roadway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIV, May 1959, p. 277.
61. Furter, H. W: "Simplification of Street Lighting Installation Designs," *Lichttechnik*, May 1968, p. 57A.
62. *Guide for Selection of Mercury Lamps Used on Roadway Lighting Equipment*, Edison Electric Institute (EEI) with the National Electrical Manufacturers Association (NEMA), EEI No. TDJ-149 or NEMA SH19-1964, July 1964.
63. Halvorson, C A. B.. "Surfacing Asphalt Pavement for High Night Visibility," *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 10, January 1939, p. 217.
64. Hentschel, H J "Systematic Description of the Reflection of Road Surfaces," *Lichttechnik*, November 1967, p. 138A.
65. Hobson, R C and Ketvirtis, A: "Higher Luminaire Mounting for Highway Lighting Systems," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol LX, January 1965, p. 34
66. Horton, G. A. and Zaphyr, P. A.: "Automatic Processing of Photometric Test Dta for Street Lighting Luminaires," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIII, June 1958, p. 341.
67. Horton, G. A: "Modern Photometry of Street Lighting Luminaires," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLIII, November 1948, p. 939
68. Husby, D E and Stark, R. E.. "A Better Way . . . Lighting for High Speed, Multilane Highways," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol 65, March 1970, p 156
69. *IES Lighting Handbook*, 5th Edition, Illuminating Engineering Society, 345 E. 47th Street, New York, N. Y. 10017, 1972
70. "Improved Highway Signing for Safer Driving," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol LXII, May 1967, p. 298.
71. "International Recommendations for the Lighting of Public Thoroughfares," *Publication No. 12* (E-3 3 1), *Commission Internationale de l'Eclairage*, (CIE), 1965.
72. Joint Committee on the Institute of Traffic Engineers and the Illuminating Engineering Society: "Public Lighting Needs," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXI, September 1966, p. 585.
73. Kaufman, J. E.: "Introducing SI Units," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 63, October 1968, p. 537.
74. Kebscull, W.: "Luminance Ratios on Wet Roads," *Lichttechnik, No. 9, 1966, p. 109A.*
75. Ketvirtis, A. and Hobson, R. C.: "Safety Features in Highway Lighting System Design," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 66, January 1971, p. 47.
76. King, L. E. and Finch, D. M.: "Roadway Surface Classification," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 63, December 1968, p. 627.
77. Knowles, T.: "More Tips on Lighting Photography," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLIX, June 1954, p. 271.
78. Kraehenbuehl, J. O.: "How to Measure Pavement Surface Reflectances," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLVI, September 1951, p. 480.
79. Kraehenbuehl, J. O.: "Measurement of Pavement Surface Characteristics," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLVII, May 1952, p. 278.
80. Lenz, J. E.: "Basic Inpulse Insulation Levels of Mercury Lamp Ballasts for Outdoor Applications," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIX, February 1964, p. 133.
81. LeVere, R. and Mahler, E.: "Uniformity of Illumination (U.I.)," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 65, April 1970, p. 211.
82. "Light Poles Are Growing Taller," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 65, March 1970, p. 127.
83. Loudon, J. H.: "Street Lighting in Great Britain," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXII, June 1967, p. 381.
84. Luckiesh, M. and Holladay, L. L.: "Glare and Visibility," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol. XX, March 1925, p. 221.
85. Luckiesh, M and Moss, F. K.: *The Science of Seeing*, 3rd Edition, D. Van Nostrand Company, Inc., New York, N. Y., 1937, p. 314.
86. Luckiesh, M. and Moss, F. K.: "Thresholds and Supra-Thresholds of Seeing," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol. XXXIII, November 1938, p. 786.
87. Luckiesh, M and Moss, F. K.: "Visibility—Its Measurements and Significance in Seeing," *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 220, October 1935, p. 431.
88. Lurkis, A. and Stonehill, E. A.: "Shielded-Zone Low-Elevation Outdoor Lighting Utilizing Specular Parabolic Wedge Louvered Luminaires," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXI, February 1966, p. 107.
89. Luckiesh, M.: "Quick and Certain Seeing of Streets and Highways," *Proceedings of the Institute of Traffic Engineers*, Vol. 9, 1938, p. 55.
90. McPhil, R. G.: "Analysis of Light Distribution From Linear Source Street Luminaires," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIII, April 1958, p. 193.
91. MacCracken, J. A: "The Economic Dilemma of Roadway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 65, March 1970, p 122.
92. Marsden, A. M.: "Brightness—A Review of Current Knowledge," *Lighting Research and Technology*, Vol. 1, No. 3, 1969, p. 171.
93. Marsh, C.: "Highway Visibility in Fog," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LII, December 1957, p. 621.
94. Millar, P. S. and Gray, S. McK: "Glare—Its Manifestations and the Status of Knowledge Thereof," *Proceedings, International Congress on Illumination*, 1928, p. 239.
95. Millar, P. S.: "Brightness of Street Surface and Element of Effectiveness in Street Lighting," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol. XXVIII, November 1928, p. 1051.
96. Millar, P. S.: "Tests of Street Illumination," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol. XI, June 1916, p. 479.
97. "Modernizing the Allegheny Tunnel," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXI, February 1966, p. 66.

93. Mollin, R.: "Progress Report on Lighting Highway Signs: The Use of Mercury Lamps," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXII, February 1967, p. 115.
99. Moon, P. and Cetel, M. S.: "On the Reflection Factor of Clothing," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 28, August 1938, p. 277.
100. Morass, W. and Rendl, F.: "Portable Measuring Instrument for Road-Surface Luminance," *Light and Lighting*, May 1967, p. 157.
101. "New Approach to Roadway Bridge Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LX, August 1965, p. 492.
102. "New Synthetic Pavement Material Seen Improving Pavement Skid Resistance, Visibility," *Highway Research News*, No. 29, Autumn 1967, p. 48.
103. "New York's Bridges," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LX, August 1965, p. 467.
104. Oerkvitz, C. A.: "Field Evaluation of Roadway Lighting Maintenance Factors," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 66, February 1971, p. 90.
105. Pohlenz, R. and Stolzenber, K.: "On an Efficient Installation for Measuring Roadway Luminance," *Lichttechnik*, March 1968, p. 30.
106. Paxon, G. S. and Everson, J. D.: "Light-Reflecting Characteristics of Pavement Surfaces," *Technical Bulletin*, No. 12, Oregon State Highway Department, December 1939.
107. Putnam, R. C. and Bower, K. D.: "Discomfort Glare at Low Adaptation Levels, Part III—Multiple Sources," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIII, April 1958, p. 174.
108. Putnam, R. C. and Faucett, R.: "The Threshold of Discomfort Glare at Low Adaptation Levels," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLVI, October 1951, p. 505.
109. Reid, K. M. and Channon, H. J.: "Determination of Visibility on Lighted Highways," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol. XXXII, February 1937, p. 187.
110. Reid, K. M. and Channon, H. J.: "Evaluation of Street Lighting," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, Vol. XXXIV, December 1939, p. 1209.
111. Rex, C. H. and Franklin, J. S.: "Relative Visual Comfort Evaluations of Roadway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LV, March 1960, p. 161.
112. Rex, C. H.: "Computation of Relative Comfort and Relative Visibility Factor Ratings for Roadway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIV, May 1959, p. 291.
113. Rex, C. H.: "Effectiveness Ratings for Roadway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LVIII, July 1963, p. 507.
114. Rex, C. H.: "Luminaire Light Distribution Principles," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. L, December 1955, p. 67.
115. Rex, C. H.: "Roadway Lighting for the Motorist," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXII, February 1967, p. 98.
116. Richards, O. W.: "Visual Needs and Possibilities for Night Automobile Driving," *United States Government Publication 176566*, 1967, p. 13.
117. Roch, J. and [illegible] G.: "Considerations on the Luminaire Intensity Distribution of a Fitting Showing Optimum Luminance Properties," *Lichttechnik*, No. 21, July 1969, p. 75A.
118. Roch, J.: "Importance of the Degree of Reflections for Practical Luminance Measurement Techniques," *Lichttechnik*, February 1969, p. 16A.
119. Scanlon, E. H. and Reid, K. M.: "Correlation of Street Lighting and Street Tree Management," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLIII, March 1948, p. 339.
120. Schober, H. A. W.: "Influence of Disability Glare on Highway Visibility in Fatigued and Normal Observers," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LX, June 1965, p. 414.
121. Scherenk, L. J.: "Public Safety in Detroit as Affected by Street Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XXXVI, December 1941, p. 1219.
122. Schroude, D. A.: "Trends in European Tunnel Lighting Practice," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXII, June 1967, p. 390.
123. Schwab, R. N.: "Night Visibility for Opposing Drivers with High and Low Headlight Beams," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LX, May 1965, p. 364.
124. Sewarn, T. J.: "Behind the Scenes of the New Roadway Standard," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIX, February 1964, p. 313.
125. Simmons, A. E. and Finch, D. M.: "Uniformity of Illumination in Highway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLVI, April 1951, p. 199.
126. Smatek, G.: "The Road Surface as an Economic Cost Factor in Street Lighting," *Lichttechnik*, June 1968, p. 63A.
127. Spencer, D. E. and Levin, R. E.: "Guidance in Fog on Turnpikes," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXI, April 1966, p. 251.
128. Spencer, D. E. and Peck, S. C.: "The Transient Aspect of Automotive Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 66, April 1971, p. 292.
129. Stark, R. E.: "Test Results of Higher-Mounted Roadway Luminaires," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 63, April 1968, p. 223.
130. Stolzenberg, K.: "Is it Really so Difficult to Calculate Luminance?" *Lichttechnik*, August 1963, p. 87A.
131. "Street Lighting Tailored to a Residential Area," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 63, July 1968, p. 345.
132. Summers, T., Jr. and Waldbauer, W. M.: "A Proposed Method for Determining the Control Classification of Roadway Lighting Luminaires," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXI, February 1966, p. 84.
133. Sweet, A. J.: "An Analysis of Illuminating Requirements in Street Lighting," *Journal of the Franklin Institute*, Vol. CLXIX, May 1910, p. 359.
134. Taylor, A. H. and Pracejus, W. G.: "An Illumination Recorder," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. XLVI, June 1951, p. 310.
135. Taylor, A. K.: "Reflection from Road Surfaces," *Bulletin of the Department of Scientific and Industrial Research*, H. M. Stationery Office, London, March 1930.
136. "The People's Choice in Roadway Lighting," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 65, March 1970, p. 121.
137. Thomas, E. L.: "Movements of the Eye," *Scientific American*, Vol. 219, August 1968, p. 88.
138. "Through a Tunnel of Light," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 65, June 1970, p. 374.
139. *Traffic Engineering Handbook*, Institute of Traffic Engineers, New Haven, Connecticut, 1950.
140. Van Dusen, H. A., Jr. and Wandler, D.: "Street Lighting Pole Vibration Research," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LX, November 1965, p. 650.
141. Van Dusen, H. A., Jr.: "Optical Plastics Application in Street-Lighting Luminaires," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LXI, February 1966, p. 91.
142. Van Dusen, H. A., Jr.: "Street Lighting Luminaire Dirt Depreciation," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 66, February 1971, p. 122.
143. Van Dusen, H. A., Jr.: "Street Lighting Luminaire Vibration," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 63, February 1968, p. 67.
144. Van Dusen, H. A., Jr.: "Thermal Performance of Street Lighting Luminaires," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. 65, March 1970, p. 172.
145. Waldbauer, W. M.: "Highway Lighting Without Glare—A New Lighting Technique," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIV, January 1959, p. 53.
146. Waldram, J. M.: "Revealing Power of Street Lighting Installation," *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, (London), December 1938, p. 173.
147. Waldram, J. M.: "Surface, Seeing and Driving: Some Recent Studies," *Light and Lighting*, Vol. 53, November 1960, p. 365.
148. Waldram, J. M.: "Visual Problems in Streets and Motorways," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LVII, May 1962, p. 361.
149. Williams, J. K.: "The Highway Transportation System and Traffic Safety," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LIX, November 1964, p. 713.
150. Yeager, J. C. and Van Dusen, H. A., Jr.: "Factors Affecting the Efficiency of Street Lighting Systems," ILLUMINATING ENGINEERING, Vol. LVI, April 1961, p. 262.

Index

Accident Rate 7
Age, Visual Needs 33
Alleys, Lighting of 7, 12, 17
Ambient Temperature, Luminaire . . 24
Angular Relationships for DVB . . . 31
Appendices 18-40
Area Atmosphere 24
Area Classifications 8, 12
Area Description 24
Arrangement, of a Luminaire 16
Average Illumination
  Determination of 26, 27, 29
  Formulas for 26
Average Maintained Horizontal
  Illumination 12

Balanced Heavy Traffic, Grade
  Intersections 18
Ballast
  Definition of 36
  Factor 25
Benefits of Roadway Lighting . . . 7
Bibliography 41-43
Blinding Glare
  Calculation and Evaluation of . . 30
  Definition of 36
Border Areas 17
Brightness, Definition of 36
Burn-Outs, Lamp 25

Calculation
  of Disability Veiling Brightness . 30, 31
  Procedure 24, 25, 26
Candela, Definition of 36
Candlepower
  Definition of 37
Distribution Curve, Definition of . . 37
  Light Distribution . 8, 10, 11, 15, 28, 29
Characteristics
  of Pavement Reflection 36
  of Surface 35, 36
Classification
  Example of Street 13
  of Luminaire Light Distributions . 8-12
  of Roadways, Walkways and Areas .7, 12
Coefficient of Utilization . . . 26, 27, 37
Collector Roadway 7, 12
Commercial Roadways 7, 8, 12
Compatibility, Environmental . . 33, 34
Complexities, Roadway 18, 19
Computation
  Formulas for 26, 27
  of Roadway Illumination . . . 24-30
  Typical Examples 27, 28, 29
Conflict Areas Traffic 17
Control of Distribution Above
  Maximum Candlepower . . . 10 12
Control of Light Distribution . 8, 10
Converging Traffic Lanes 19, 20
Coverage of Roadway 11
Crime Prevention 7
Crossings, Railroad Grade 22
Curves and Hills 18, 20
Cutoff Light Distribution 11

Day-Night, Pavement Luminance . 35
Daytime Accident Rate 7
Depreciation
  Lamp Lumen 25
  Luminaire Component 25

Design
  Compromises 22
  Data 23, 24
  Departures 23
  Modifications 22, 23
  of Roadway Lighting 14-17
Detection of Objects 34
Determination of Illumination
  at a Specific Point 27
  Average 26, 27
Directional Lighting 12
Disability Glare
  Calculation and Evaluation . . 30, 31
  Definition of 37
Disability Veiling Brightness
  Calculations of 30, 31
  Evaluation of 31
Discernment by Surface Detail . . . 34
Discomfort Glare
  Calculation and Evaluation 30
  Definition of 37
Diverging Traffic Lanes 19

Economics 33
Environmental Compatibility . . . 33, 34
Expressways 7, 12

Factors of Roadway Lighting Design 12, 14
Field Luminance 36
Fog 34
Footcandle
  Definition of 38
  Levels 12, 29
Footlambert, Definition of 38
Formulas for Computation . . . 26, 27
Freeways 7, 12

Glare
  Definition of 38
  Disability Veiling Brightness . . 30, 31
  Types of 30
Glossary of Terms 36-40
Grade Intersections 18, 19, 20
Guide for Luminaire Lateral
  Light Distribution 14

Headlights 34
Hills, Curves and 18, 20
Horizontal Illumination 12
Horizontal Surfaces
  Fairly Rough Flat 35
  Fairly Smooth Flat 35

Illumination
  Calculation Procedure 24, 25
  Computation of 24-30
  Definition of 38
  Depreciation 14, 15
  Determination of Average . . . 26, 27
  Footcandle Levels 12
  Luminance vs 32
  Meter 32, 38
  Quality of 15
  Requirements 14
  Uniformity 15, 16
Interchanges 19, 20-22
Interference, from Foliage 23

Intermediate Roadways 7, 8, 12
Intersections 18, 19, 20
Isocandela Diagram 28, 29
Isocandela Line or Trace . . . 8, 11, 38
Isofootcandle (Isolux) Diagram . 27, 28, 38

Lambert, Definition of 38
Lamp
  Burn-Outs 25
  Definition of 38
Lamp Lumen Depreciation 25
Lateral Light Distributions 8, 9
Layouts, Roadway Lighting . 8, 17, 20, 27
Light Distributions
  At or Near Center of Area 9
  Comments on 12
  Control Above Maximum
    Candlepower 8, 10, 11
  Cutoff 11
  Direction of Traffic 35
  Lateral 9, 10, 14
  Long 8, 9, 11, 15
  Medium 8, 9, 11, 15
  Near Side of Area 10
  Noncutoff 11
  of Luminaires 8-12
  Pavement Luminance 35
  Semicutoff 11, 28, 29
  Short 8, 9, 11, 15
  Toward the Driver 35
  Type I 8, 9, 10, 14
  Type I Four-Way 9, 10, 14
  Type II 8, 10, 14, 28, 29
  Type II Four-Way 10, 14
  Type III 8, 10, 11, 14, 26, 27, 29
  Type IV 8, 10, 14
  Type V 9, 10
  Variations of 12
  Vertical 8, 9
Light Levels, Age and Economics . . 33
Light Loss Factors
  Not to be Recovered . . . 14, 15, 24, 25
  to be Recovered 14, 15, 25, 26
  Total 14, 15, 26
Lighting Design 14-17
Lighting Layouts, Roadway . . 8, 17, 20
Local Roadways 7, 12
Long Light Distribution
  (of a Luminaire) 9, 11
Longitudinal (Location of
  Luminaires) 23, 27
Longitudinal Roadway Line
  Definition of 38
  Illustration of 8, 10
Low Mounting Heights 12
Low Range Portable Illumination
  Meters 32
Lumen, Definition of 39
Luminaire
  Ambient Temperature 24
  Arrangement 16
  Component Depreciation 25
  Definition of 39
  Dirt Depreciation 25
  Lateral Light Distribution 9
  Light Distribution 8-12, 13
  Location of 15
  Longitudinal Location of 23
  Mounting Height 15, 16, 26
  Spacing 8, 16, 20, 27, 29
  Utilization Curves 26

Luminaires
At or Near Center of Area 9
Selection of 17, 24
Transverse Location of . . . 16, 17, 23
Voltage to 24
Luminance
Definition of 39
Field 36
Pavement 32-36
Table of Roadway 33
vs Illumination 32
Luminous Intensity 31
Lux
Definition of 39
Levels of Illumination 12

Maintenance of Illumination . . . 14, 15
Major Roadways 7, 12
Materials
Optical Properties of 33
Surface Characteristics of 36
Measurement
Field Luminance 35
of Factors in Roadway Lighting . 31, 32
Pavement Luminance 36
Medium Light Distribution 9, 11
Meters, Illumination 32
Minimum Footcandles 29
Mounting Height
Definition of 39
of a Luminaire 8, 10, 15, 16, 26, 27

Nighttime Accident Rate 7
Noncutoff Distribution Category . . . 11

Objectives and Specifications 24
One Side Luminaire Arrangement . . 16
Opposite Luminaire Arrangement . . 16
Optical Properties of Materials . . . 33
Overhang 16, 39
Overpass 19, 20

Parkways 7
Pavement Luminance
How to achieve 35
Light Distributions 35
Measurements 36
Seeing Factors 34
Surface Characteristics . . . 35, 36
Theory and Practice 32-34
Pavement Measurements,
Illumination 26-30
Pavement Reflection Characteristics
(Laboratory) 36
Pedestrian Walkways . . . 7, 12, 17, 18
Physical Surround, Change in . . . 25
Pritchard Luminance Meter 32
Pruning of Trees 23
Purpose of Recommendations . . . 6, 7
Purpose of Roadway Lighting . . . 7

Quality of Illumination 24
Quality of Lighting 15
Quantity of Illumination 24

Railroad Grade Crossings 21, 22
Recommendations for Average Maintained Horizontal Illumination . . 12
Rectangular Web 11
Reflectance
of a Surface or Medium, Definition of 39
Pavement Luminance 35
Researcher vs Practicing Engineer,
Pavement Luminance 32, 33
Residential Roadways 7, 8, 12
Reverse Silhouette 34
Roadway
Classification 7, 12, 14, 24
Collector (Classification) . . . 12, 13
Complexities 18, 19
Dirt Depreciation Curves 25
Lighting Layouts 17
Local 12, 13
Major 12, 13
Mounting 14
Residential 12, 13
Roadways, Walkways and Areas,
Classification of 7, 8, 12
Rough and Smooth Surfaces 35

Safety 35
Security Problem Location 18
Seeing Factors 34
Selection of Luminaires 17, 24
Semicutoff Distribution
Category 11, 28, 29
Short Light Distribution . . .8, 9, 11, 15
Sidewalks 7, 12, 17
Silhouette Discernment 34
Sinusoidal Web 11
Situations Requiring Special
Consideration 18-24
Smooth Surfaces, Rough and 35
Spacing, of Luminaires . . 8, 16, 27, 29, 40
Spacing-to-Mounting Height Ratios .8, 40
Specific Point, Illumination at a . . . 27
Specifications, Objectives and 24
Spherical Web 28
Staggered Luminaire Arrangement . . 16
Street Classification, Example of . . 13
Surface Texture
Characteristics 35
Theory and Practice 33
Visual Appearance of 36
Surfaces
Candlepower on 8
Characteristics 35, 36
Fairly Rough Flat Horizontal . . . 35
Fairly Smooth Flat Horizontal . . . 35
Rough and Smooth 35
Visibility of 36

Testing Procedure 31
Theory and Practice (Pavement
Luminance) 32-34
Tilted Luminaires 12
Total Light Loss Factor 26
Traffic Conflict Areas 17
Traffic Lanes
Converging 19, 20
Diverging 19, 20
Transition Lighting 17
Transverse Location of
Luminaires 16, 17, 23
Transverse Roadway Lines
Definition of 40
Illustration of 9
Representation on Imaginary Sphere 10
Representation on Rectangular Web 11
Representation on Sinusoidal Web . 11
Tree Pruning 22, 23
Trees and Roadway Lighting . . . 22-24
Tunnels 24
Type I Light Distribution . . .8, 9, 10, 14
Type I—4-Way Light
Distribution 9, 10, 14
Type II Light
Distribution 8, 10, 14, 28, 29
Type II—4-Way Light Distribution . 10, 14
Type III Light
Distribution . . .8, 10, 11, 14, 26, 27, 29
Type IV Light Distribution . . 8, 10, 14
Type V Light Distribution 9, 10
Typical Computations 27, 28, 29

Underpass—Overpass 19, 20
Uniformity
of Illumination 15, 16
Ratios 29, 30
Visual Appearance of 36
Utilization Curves 26

Variation and Comments 12
Variations in Distributions 12
Vehicle Lighting 34
Vehicular Roadways 12
Veiling Brightness, Definition of . . 40
Veiling Glare 30, 31
Veiling Reflection, Definition of . . . 40
Vertical Light Distributions 8, 9
Visual Appearance of Uniformity of
Surface Texture 36
Visual Comfort 30, 31
Voltage to Luminaire 24

Walkways
Classification of 8
Illumination Levels 12
Pedestrian 12, 17, 18

centro de educación continua
facultad de ingeniería, unam

CURSO DE INGENIERIA DE ILUMINACION

TEMA: BALASTROS

PROFESOR: ING. GUILLERMO VAZQUEZ V.

Tacuba 5, primer piso. México 1, D.F.
Teléfonos: 521-30-95 y 513-27-95

B A L A S T R O S .

En la actualidad debemos familiarizarnos con el término Balastro que viene a substituir los términos antes conocidos como Reactor, Transformador o incluso Balastra. Esto se debe fundamentalmente al Comite Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Eléctrica mejor conocido por C C O N N I E, al crear entre otras, las normas nacionales para Balastros y Lámparas de Vapor de Mercurio en Alta Presión.

En la Ciudad de México se emplean principalmente los siguientes tipos de balastros:

BALASTROS PARA TUBOS DE NEON.
BALASTROS PARA TUBOS FLUORESCENTES.
BALASTROS PARA LAMPARAS MERCURIALES.
BALASTROS PARA LAMPARAS DE ADITIVOS METALICOS.
BALASTROS PARA LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO EN BAJA PRESION.
BALASTROS PARA LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO EN ALTA PRESION.

Los balastros para tubos luminosos de Gas Neón se pueden considerar como Transformadores de alto voltaje se fabrican para corrientes de operación bajas de 18 y 30 m.A. y tensiones que van desde 2,000 hasta 15,000 volts.
Para corriente de 18 m.A. se fabrican balastros de:

2,000 Volts.
3,000 Volts.
5,000 Volts.
7,500 Volts.

Para corriente de 30 m.A. se fabrican balastros de:

5,000 Volts.
7,500 Volts.
9,000 Volts.
12,000 Volts.
15,000 Volts.

La aplicación más importante de estos Transformadores en los Tubos Luminosos de Gas Neón, está basada en la publicidad comercial, se pueden lograr anuncios de gran colorido y movilidad gracias a las cualidades de moldeo, policromía, encendido y apagado instantáneo, que hace posible la apariencia de movimiento.

A la hoja No. 2.....

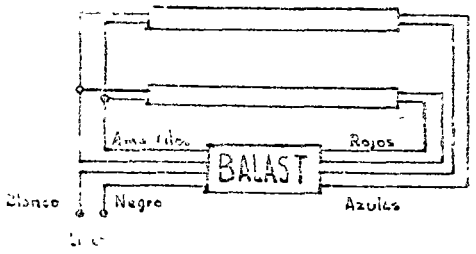
El colorido de los tubos se obtiene con diferentes mezclas de gases en su interior. Cuando los tubos han sido llenados con gas helio, el color de la descarga, será crema blanco, si el tubo contiene mercurio, el color será azul y si el tubo contiene gas neón, el color será rojo.

BALASTROS PARA TUBOS FLUORESCENTES.

En balastros para tubos fluorescentes, tenemos tres tipos de circuito básicos:

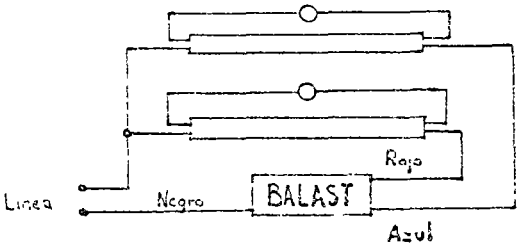
BALASTROS DE ARRANQUE STANDAR O ARRANCADOR
BALASTROS DE ARRANQUE RAPIDO
BALASTROS DE ARRANQUE INSTANTANEO

BALASTROS DE ARRANQUE STANDAR. - Se caracterizan porque arrancan las lámparas cuando sus cátodos se han precalentado mediante el uso de un dispositivo de arranque. Este dispositivo, cuando está cerrado conecta los dos cátodos en serie con el circuito del balastro de tal forma que la corriente fluye para calentar los cátodos, hasta la temperatura de emisión. Cuando el dispositivo se abre se produce un pico transitorio de tensión que inicia la descarga. (Fig. 1)



BALASTROS DE ARRANQUE RAPIDO. - Se caracterizan porque el calentamiento de los cátodos para el arranque de las lámparas se efectua por un devanado de baja tensión que se encuentra dentro del mismo balastro. Se han desarrollado dos tipos de lámparas para sistemas de arranque rápido:

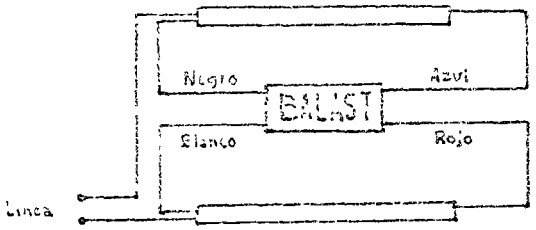
Lámparas con cátodo de baja resistencia ó para tensiones nóminales de 3.6 V.
Lámparas con cátodo de alta resistencia ó para tensiones nóminales de 8.0 V.
(Fig. 2)



BALASTROS DE ARRANQUE INSTANTANEO. - Se caracterizan por la aplicación de una tensión a la lámpara, lo suficientemente alta que provoca la emisión de electrones de los cátodos por choque de particulas libres muy aceleradas, iniciandose el flujo de electrones a través de la lámpara, y al ionizarse los gases, se inicia una descarga a través de la lámpara sin que previamen—

A la hoja No. 3.....

te se hayan calentado los electrodos. (Fig. 3)



BALASTROS PARA LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO EN ALTA PRESION.

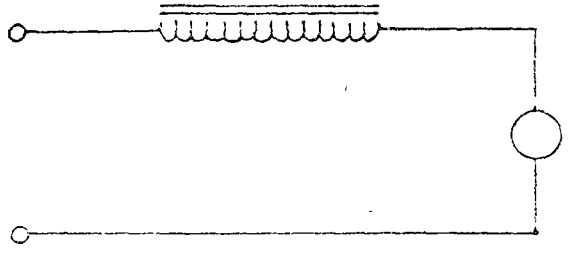
Aún cuando existen muchos variantes y circuitos de balastros mercuriales, únicamente trataremos sobre los tres tipos preferentes en la actualidad:

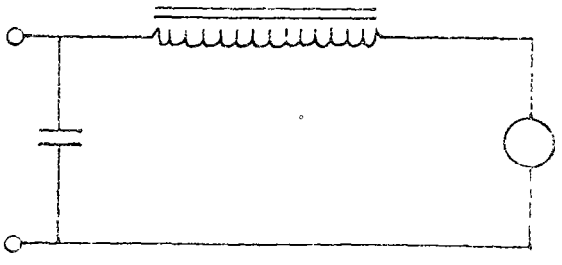
1. - *BALASTRO TIPO SERIE (INDUCTIVO)*
2. - *BALASTRO TIPO AUTOTRANSFORMADOR (INDUCTIVO Y CAPACITIVO)*
3. - *BALASTRO TIPO TRANSFORMADOR (INDUCTIVO, SATURADO Y CAPACITIVO).*

Un balastro concebido en su función más simple, es la de un limitador de corriente, limita la corriente, suministra el voltaje de circuito abierto necesario para el arranque de la lámpara y debe evitar una deformación excesiva de la forma de onda de la corriente de la lámpara, esto se consigue al controlar el factor de cresta dentro de los límites permitidos, evitando un deterioro en la vida de la lámpara.

BALASTRO TIPO SERIE.

Básicamente es una inductancia formada por una bobina colocada en un núcleo que se conecta en serie con la línea y con la lámpara. Se puede corregir el factor de potencia al agregar un capacitor en paralelo con la línea. (Figs. 4 y 5).





Las Ventajas de este Balastro son: Es el más económico, el más pequeño, la deformación de la corriente de la lámpara es mínima y es el que tiene menores pérdidas en watts.

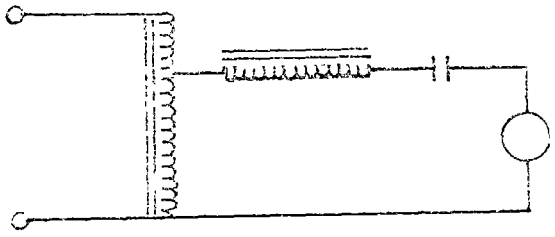
Las Desventajas de este Balastro son: Una regulación muy pobre ± 5% de la tensión de alimentación, durante el arranque y calentamiento de la lámpara, el amperaje de la línea es mayor que el de la operación.

A la hoja No. 4.....

MANUFACTURERA DE REACTORES, S. A.

BALASTRO TIPO AUTOTRANSFORMADOR

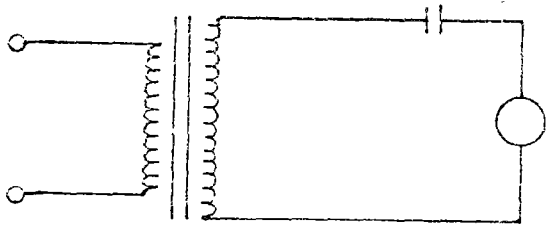
Este circuito eléctrico, es el de un autotransformador de dos bobinas, una primaria y una secundaria y tiene una conexión común entre sus devanados. A la bobina secundaria en serie con la lámpara se conecta un capacitor y se opera el balastro en alto factor de potencia. (Fig. 6)



Las Ventajas de este Balastro son: Es bastante compacto, tiene poca deformación en la corriente de lámpara, muy buena regulación ± 12% de la tensión de alimentación, soporta caidas de tensión muy severas en la línea sin extinguirse la lámpara, durante el arranque y calentamiento de la lámpara, el amperaje de la línea es menor que el de operación. De hecho se puede decir que no observa desventajas.

BALASTRO TIPO TRANSFORMADOR

Este circuito eléctrico también consta de una bobina primaria y una secundaria únicamente que sus devanados son independientes. Es por esto que al cerrar el circuito de la bobina secundaria, en serie con la lámpara y el capacitor, se convierte en una fuente regulada de amperaje. Casi insensible a los cambios de tensión de la línea de alimentación. (Fig. 7)



Las Ventajas de este Balastro son: Máxima regulación ± 13% de la tensión de alimentación, durante el arranque y calentamiento de la lámpara el amperaje de la línea es menor que él de operación, soporta caidas de tensión muy severas en la línea sin extinguirse la lámpara.

Las desventajas de este balastro son: Es muy voluminoso, tiene mayores pérdidas y mayor deformación en la corriente de la lámpara.

BALASTROS PARA LAMPARAS DE ADITIVOS METALICOS.

El circuito empleado en este balastro, es el de un autotransformador de dos bobinas, una primaria y una secundaria. A la bobina secundaria en serie con la lámpara se conecta un capacitor y se opera el balastro en alto factor de --

A la hoja No. 5

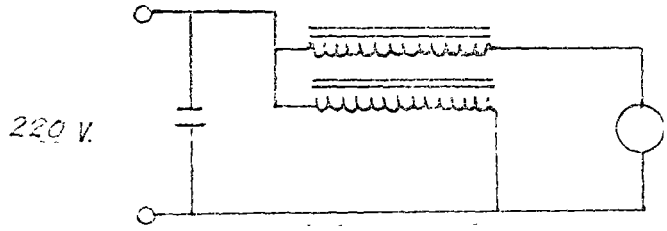
potencia. A diferencia del balastro para lámpara de mercurio, este balastro necesita satisfacer dos condiciones nuevas de tipo eléctrico:

1. - VOLTAJE DE ARRANQUE MAS ALTO.
2. - VOLTAJE DE SOSTENIMIENTO DE ARCO, MAYOR QUE EL VOLTAJE DE REIGNICION DE LA LAMPARA.

Este balastro ha tenido un uso preferente en las áreas de alumbrado donde se requiere la mínima distorsión de los colores. Tiene buena aceptación su uso en alumbrados de estadios deportivos.

BALASTROS PARA LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO EN BAJA PRESION.

El circuito empleado en este balastro es el de un autotransformador en atraso que consta de dos bobinas una primaria y una secundaria, el circuito de la lámpara, se cierra al conectarse en serie con el primario y el secundario, y al conectar un capacitor en paralelo con la línea, se corrige el factor de potencia. (Fig. 8)



Este balastro debe de ser capaz de proporcionar un voltaje de arranque más alto que va de 400 a 700 volts de acuerdo con las capacidades de las lámparas. El empleo de este tipo de alumbrado ha sido limitado para usos ornamentales y para pasos a desnivel, ya que el espectro de su fuente luminosa es el que más distorsiona los colores.

BALASTROS PARA LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO EN ALTA PRESION.

En este tipo de balastros, hay actualmente desarrollados dos diseños diferentes:

DE COMPONENTES MAGNETICOS DE CONTROL DE FASE

Los dos diseños proporcionan una tensión de circuito abierto arriba de 225 volts y a diferencia de todos los balastros analizados anteriormente, necesita de un circuito de arranque auxiliar para proveer un pulso de voltaje mínimo de 2,500 volts que es necesario para arrancar las lámparas de vapor de sodio en alta presión de 150,250, y 400 watts y de un pulso de voltaje mínimo de 3,000 volts para lámparas de 1,000 watts.

A la hoja No. 6.....

MANUFACTURERA DE REACTORES, S. A.

En el empleo de este tipo de balastros, es necesario instalar el luminario a una distancia máxima de 3.5 mts. del balastro. Así como tener un mantenimiento más estricto del alumbrado, en virtud de que las condiciones de operación más desfavorables para el balastro son cuando éste opera en vacío.

Step 1. Analyze the Lighting Problem

Quite logically, the first thing to do in planning a lighting system is to determine, to the extent possible, exactly what the lighting problem is. In general, the lighting problem is dictated by four major factors. 1) physical size and shape of the area; 2) architectural design and structural details; 3) occupancy or end use, of the area; and 4) the type and degree of severity of the seeing tasks which will exist. Inherent in those will be other allied sub-factors, such as: type of environment—dictated by type of occupancy; extent of use of glass facades—dictated by architectural design, etc.

Physical dimensions—Determine the exact size and shape of the area to be lighted. On small projects, this may be a simple single area, defined by width, length, and ceiling height. On larger projects, it will usually consist of an area which can be subdivided into a number of simple individual areas, and each defined separately. Complete area dimensions should be tabulated, and further supported by plan and elevation drawings, when available.

Structural details—Determine the architectural design and structural details. On new projects, these details should be available on architectural and structural drawings, or from the architect or builder. On relighting projects, a visit to the job should be made, and all details noted.

Occupancy—Determine what the area will be used for, and how it will be utilized. For example, if it is to be used for manufacturing, obtain a firm (or tentative, if necessary) layout of departments, machinery, production lines, etc., and a description of type of work which will be done in each department, or area.

Seeing tasks—Determine, and tabulate, the various types of seeing tasks which will exist in the area, or areas. Type of occupancy, layout of the area, and type of work to be done will dictate the type of seeing problems which will be encountered.

Add to the above information any other details that can be determined, such as: ceiling, wall, and floor construction; color and finish of ceiling, walls, and floors; location, size and shape of any columns or other structural details, etc; whether the area will be air conditioned, and type, size, and location of air ducts, diffusers, etc; and other similar details.

Step 2. Select Levels of Illumination

In 1958, the Illuminating Engineering Society approved and announced a complete revision of their Recommended Levels of Illumination. These new footcandle values are based on a new system of determining illumination level recommendations which has been adopted by the Society. The new system, in turn, is based on the results of light and vision researches conducted by Dr. H. Richard Blackwell at the Vision Research Laboratories of the University of Michigan, under the sponsorship of the Illuminating Engineering Research Institute, an IES-sponsored research organization, and earlier light and vision work.

The new IES recommended lighting levels are, in general, considerably higher than had been in effect previously. These lighting levels have been expressed in footcandle values for a long list of seeing tasks which exist in commerce, industry, and the home. They are included in detail in new Footcandle Tables, published in the new 1959 third edition of the *IES Lighting Handbook*. They are also shown in condensed form in the accompanying "New IES Recommended Illumination Levels" chart.

Current and future lighting system design should now be based on the new IES recommended lighting levels, according to the seeing tasks involved.

The new lighting levels, it should be noted, are now based on seeing task brightness values, in which values of equivalent contrast, from the research data, were divided into five categories or general levels of seeing task difficulty. These categories are listed in the table "Visual Task Brightnesses and Related Lighting Levels". The first category represents contrast values which require task brightness values of less than 18 footlamberts. The range of contrast values requiring more than 18 footlamberts was divided into four equal categories in terms of contrast values.

The chart "Brightness and Lighting Level Relationship" shows the required illumination levels for visual tasks designated "Difficult," with visual task brightnesses ranging from 42 to 120 footlamberts, and visual task reflectances ranging from 5 to 95%. Similar charts may also be developed for the other four visual task categories. Note that footcandle levels for visual tasks having

Visual Task Brightnesses and Related Lighting Levels

(For General Categories of Visual Task Difficulty)

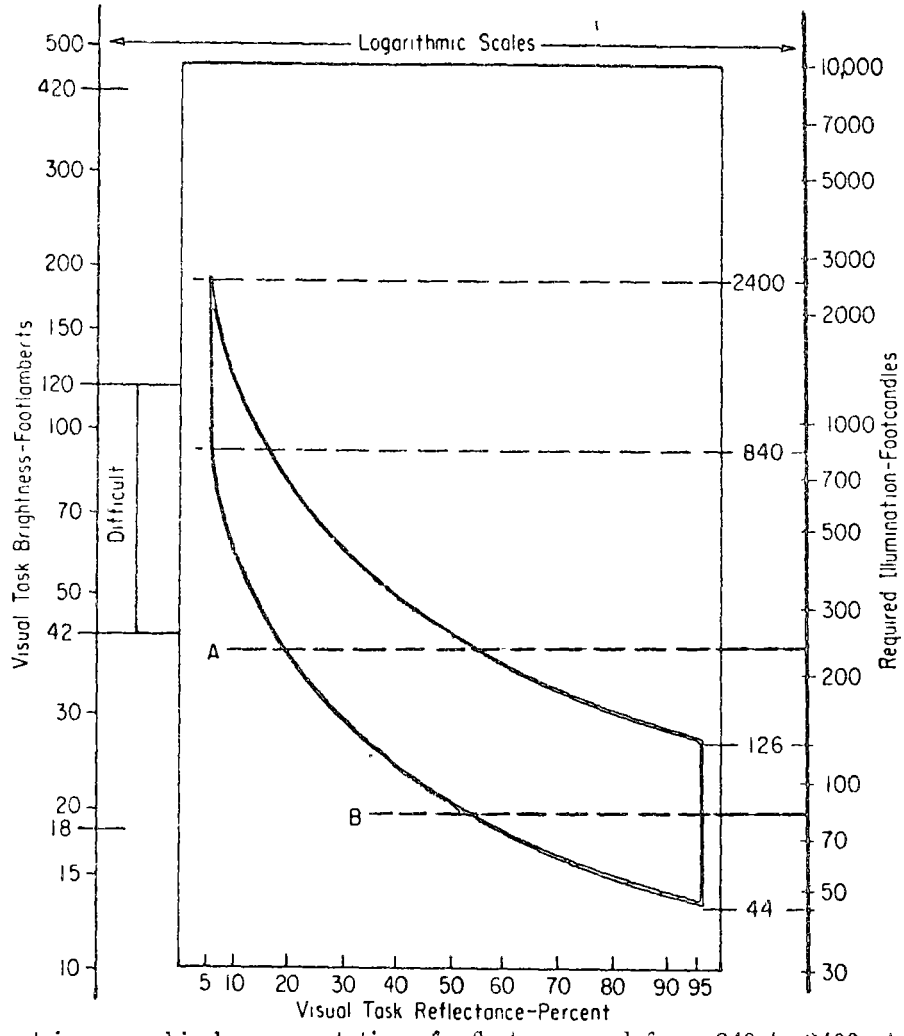
Visual Task Difficulty	Guide Brightness (Footlamberts)	Footcandles*	
		60% Reflectance	6% Reflectance
Most Difficult.	420 up	700 up	7000 up
Very Difficult..	120–420	200–700	2000–7000
Difficult.....	42–120	70–200	700–2000
Ordinary.....	18–42	30–70	300–700
Easy	Below 18	30 and below	300 and below

*Footcandles depend upon reflectance of the visual task.

reflectance values ranging from about 30% to 80%, and probably representing those visual tasks most generally found in practice, fall between lines A and B, or between 100 and 200 footcandles. (In selecting illumination values for typical visual tasks, the IES technical committees fitted the values into the sequential order of 10, 15, 20, 30, 50, 70 and 100 times 0.1, 1, 10, 100 and 1000, as required. Thus calculated illumination values falling between about 75 and 225 were tabbed at 100, 150 or 200, according to the sequential order procedure).

New illumination values for residential lighting have been given in detail in the table titled "IES Recommended Illumination For Residences," shown on a following page.

Brightness and Lighting Level Relationship for Difficult Visual Task Category



The above chart is a graphical representation of the data shown in the table "Visual Task Brightnesses and Related Lighting Levels," for seeing tasks classified as "Difficult." Visual task brightnesses are shown in the vertical scale at the left, in footlamberts. Also shown on the logarithmic scale are the brightness ranges for the other four categories of seeing task difficulty.

Visual task reflectance values are shown in percent on the bottom numerical scale, covering practical values ranging from 5% to 95%.

Required illumination for "difficult" visual tasks, or for visual tasks ranging from 42 to 120 footlamberts in brightness, and plotted against visual task reflectance values of 5% to 95%, are shown in the shaded area between the two curves, in footcandles. The footcandle values are plotted against a logarithmic scale (right). Note that footcandle values range from 44 to 126 at 95% visual task reflectance, and from 840 to 2400 at 5% visual task reflectance. The bottom curve is for seeing tasks with a visual task brightness of 42 footlamberts; top curve represents seeing tasks with a visual task brightness of 120 footlamberts.

The required illumination for the "very difficult" seeing task category, representing visual task brightnesses between 120 and 420 footlamberts, if plotted on this same chart, would form a shaded area immediately above that shown. Similarly, the required illumination for the "ordinary" seeing task category, representing visual task brightnesses between 18 and 42 footlamberts, if plotted on this chart, would form a similarly shaped shaded area immediately below the one shown.

Professional lighting designers might develop separate charts of this type, one for each seeing task category, for design reference. Or, if drawn to large scale, all data could be shown on one chart.

New IES Recommended Illumination Levels

Typical Visual Tasks

Presented here is a condensed compilation of the new (1958) footcandle values recommended for specific visual tasks by the Illuminating Engineering Society and classified according to severity of the visual task. Note that these values apply to seeing tasks, and are not "average" values for general illumination on the horizontal plane. Higher initial levels should be provided as required by maintenance conditions, and special luminaire arrangements should be used for visual tasks in a plane other than horizontal. For more detailed Information, see Fig. 9-53 in the IES Lighting Handbook -- 3rd Edition.

Severity of Visual Task

SPECIAL APPLICATIONS – 1000 footcandles and above. (1000 fc) – Extra fine bench work, grinding; precision manual arc welding, dental chair; feature displays – show windows; self-service stores; highly critical inspection. (2000 fc) – cloth inspection, emergency room, local. (2500 fc) – autopsy table, cystoscopic table, surgery operating table.

MOST DIFFICULT – 500 to 1000 footcandles. Fine bench and machine work, fine automatic machines, medium grinding, fine buffing and polishing; fine assembly; fine inspection; spotting; sewing; feature displays – show windows, service store interiors.

VERY DIFFICULT – 200 to 500 footcandles. (200 fc) – Auto final assembly, finishing, inspection line, color grading, inspection, examination in canning; repair and alteration in cleaning plant; tobacco grading and sorting; hospital fracture table; detailed drafting; designing, cartography in offices (300 fc) – clay products color and glazing; cloth cutting; pressing; leather working – grading, matching, cutting, sewing, paint shops – extra fine hand painting and finishing.

DIFFICULT – 100 to 200 footcandles. (100 fc) – Regular office work, reading good reproductions, reading or transcribing shorthand, active filing, index reference, mail sorting; ticket counters; spray booths; general assembly line work; medium assembly; difficult inspection; medium bench and machine work, rough grinding, medium buffing and polishing; art gallery displays and on statuary; laboratory close work; etc. (150 fc) – accounting, auditing, tabulating, bookkeeping, business machine operation, rough layout drafting; bank teller's station; proof reading, imposing stones; hand and machine pressing.

ORDINARY – 30 to 100 footcandles. (50 fc) – a minimum for any visual task requiring more than casual use of the eyes; general lighting level for most industrial interiors; ordinary inspection, rough bench and machine work. (70 fc) – reading or transcribing handwriting in ink or medium pencil on good quality paper; school classrooms; work shop, bench work; study desks; drilling, riveting, screw fastening

EASY – 30 footcandles and below. Less than 30 footcandles do not appear desirable in locations which involve visual tasks. Use in areas not involving critical or prolonged seeing, such as conference rooms, inactive files, washrooms, corridors, elevators, stairways, rough assembly, wrapping rooms, exterior areas generally, storage, auditoriums, lobbies, rough benchwork, wood sawing, parking lots, waiting rooms, rest room, smoking room, etc.

NOTE A) Illumination values for service areas should be not less than one-fifth that in adjacent areas, and in no case should they be less than 10 footcandles.
B) In general, intensities of 200 footcandles and above should be obtained with a combination of general lighting plus specialized supplementary lighting, taking special care to keep within recommended brightness ratios (see table).

Illumination in Footcandles

2500
2000
1500
1000
700
500
300
200
150
100
70
50
30
20
15
10

Step 3. Analyze Lighting Quality

The problem of how to evaluate *quality* of light on a valid, scientific basis is under research and study by the Illuminating Engineering Research Institute. In the meantime, there is already considerable knowledge available relating to visual comfort and similar factors to provide practical guidance on lighting *quality* appraisal, based on past researches and field experiences.

In determining the *quality* of the light to be provided for a specific lighting design problem (or set of seeing tasks), there are several factors to be considered and analyzed. These include: 1) end use of the lighting result; 2) visual environment; 3) light control; and many others.

End Use of Lighting Result—Determine whether the light needed is for utilitarian use—light for seeing, or work light, so to speak; or for decorative use—light for decoration, as in a fine restaurant, or hotel lobby, etc. Often the light must be used for both utility (reading a menu in a restaurant, for example) and for decoration (to create a certain decorative effect and mood in the restaurant, for example). The end use of the lighting result will influence to considerable extent the quality of the light needed.

Visual Environment—Analyze the visual environment which is proposed (or which should be recommended by the lighting engineer). Factors which create or influence the visual environment include such items as the physical size of the area, the colors and finishes of the interior (floor, walls, ceilings, presence of glass walls, windows, doors, etc.), and size, colors and finishes of interior furnishings (machines, furniture, draperies, murals, etc.). All of these factors have an influence on the *quality* of the light; or, to look at it from a different viewpoint, the *quality* of the light can be controlled to create the type of visual environment which is desired. This *quality* may be controlled by the judicious selection of light sources, types of luminaires, and types and locations of lighting equipments in general.

Light Control—Visual tasks and lighting *quality* will influence the type of light control to be selected. In other words, the visual tasks and desired *quality* will dictate the choice of diffuse or directional light control, the degree of shielding needed, and similar features. Conceivably, many seeing tasks may call for a combination of light control principles—hence, for lighting equipment which incorporates several types of light control (diffusion, shielding, directional control, polarization etc., all in one luminaire).

Also inherent in light control is glare control. This includes the control or reduction of both direct and reflected glare. The commonly used system for glare appraisal is the Visual Comfort Index system. Thus many lighting equipment manufacturers now provide VCI values for specific luminaires, along with other technical data.

Other factors which affect lighting quality include the color quality of the light which is produced by the light sources, the brightness ratios (see table "Recommended Brightness Ratios for Interior Lighting") which result from the various colors and reflectance values, and other possible glare sources, such as sky glare, or glare from other sources such as windows or glass walls.

RECOMMENDED SURFACE REFLECTANCES FOR OFFICES

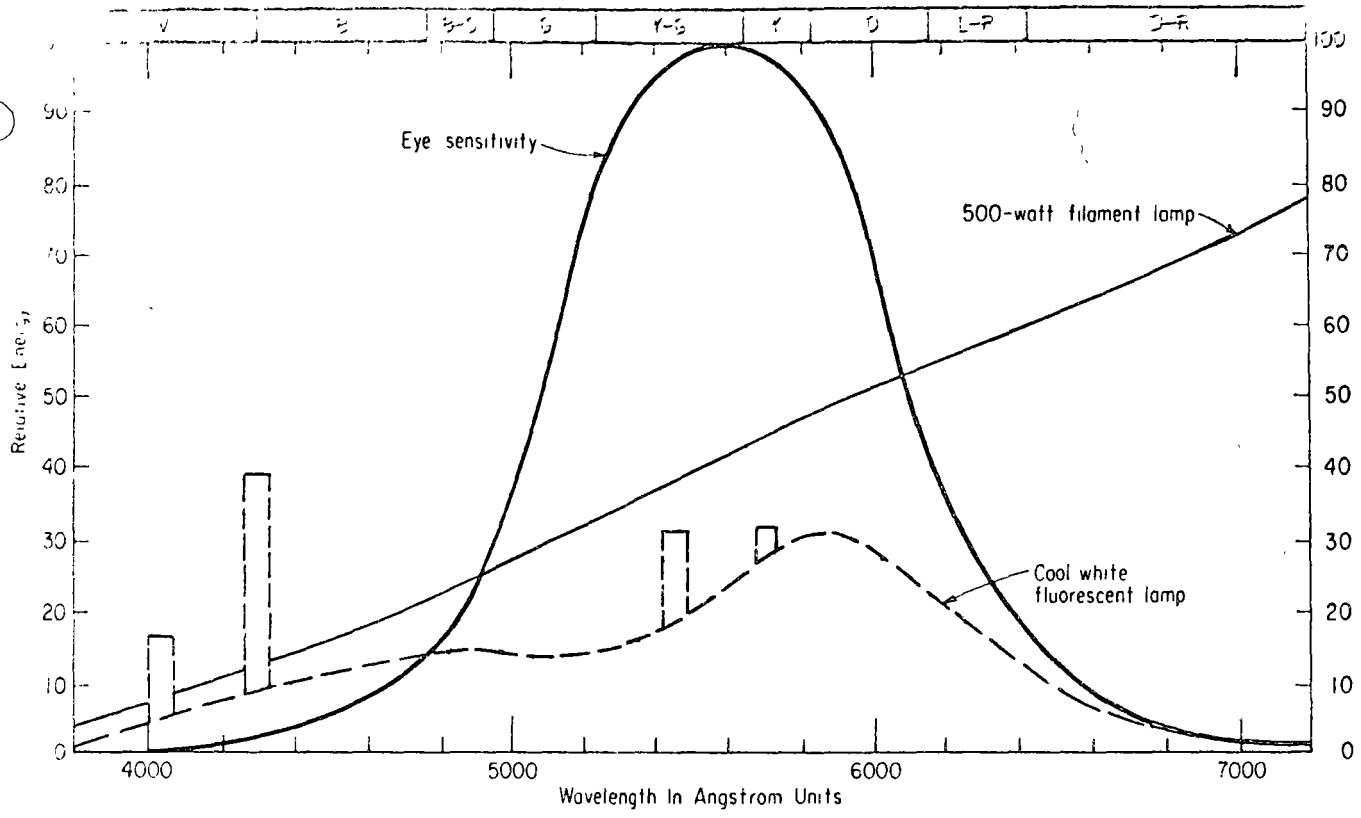
Surface	Reflectance Range (%)
Ceiling finishes	80 – 92
Walls	40 – 60
Furniture	26 – 44
Office machines and equipment	26 – 44
Floors	21 – 39

Source: IES Lighting Handbook – 3rd Edition

RECOMMENDED BRIGHTNESS RATIOS FOR INTERIOR LIGHTING

Condition	Ratio
Between visual tasks and adjacent surroundings Example: White paper and desk top	1 to 1/3
Between visual tasks and more remote darker surfaces Example: White paper on desk & floor	1 to 1/10
Between visual tasks and more remote brighter surfaces Example: White paper on desk and luminaires	1 to 10
Between luminaires and adjacent surfaces in normal field of view	20 to 1
Anywhere within normal field of view Example: Luminaires and floor	40 to 1

These ratios are recommended as maximums: reductions are generally beneficial. See also Fig. 11-8 and Fig. 14-2 in IES Lighting Handbook – 3rd Edition



Step 4. Select Proper Light Source

The heart of any lighting system is the light source, or sources, which convert electric energy into light. The efficiency of the light source, measured in lumens per watt, dictates to considerable extent the overall efficiency for the lighting system in which it is used. It is therefore highly important that the lighting engineer select the light sources for his lighting systems with intelligence and care.

Light source efficiency is not the only factor to be considered, of course. Other factors include such features as color quality of the light (spectral quality), total light output of the lamp, lamp life, lumen depreciation throughout life, stroboscopic effect, amount of heat produced, effect of ambient temperature surrounding the lamp on its efficiency, and several others. All of these factors should be carefully analyzed and considered, and weighted according to their relation to the ultimate lighting result desired, and to the overall lighting cost.

Light sources used for general lighting purposes, including light for decoration, are of three types: incandescent, fluorescent and mercury vapor. Natural daylight may also be a factor in lighting, especially when window and glass wall areas are involved.

Efficiency—Light source efficiency is measured in lumens per watt. The initial LPW for incandescent lamps range from 17.4 (for 100 watt) to 20 (for 1000 watt); for mercury vapor, LPW range from 38.8 (for 400-watt ASA Desig. H25DE) to 60 (for 1000-watt ASA Desig. H12GW/W); for fluorescent, LPW range from 51 (for 20-watt F20T12) to 70 (for F96T12/HO and F96PG17/CW lamps). These values are for lamp wattages only,

RECOMMENDED REFLECTANCE VALUES FOR INDUSTRIAL AREAS

Surface	Reflectance (%)
Ceiling	80
Wall	60
Desk and bench tops	35
Machines and equipment	25 to 30
Floors	not less than 15

Source: IES Lighting Handbook – 3rd Edition

STANDARD FLUORESCENT LAMPS

Lamp Designation	Burnouts Per BLH*	Light Output** Initial Lumens	Light Output** Initial L/W*	Brightness (Foot-Lamberts)
Preheat Start Lamps (Starters Required)				
F202T12	134	1,030	51.5	1,600
F40CW**	48	2,800	70.0	2,100
F90T17	26	5,200	57.6	2,300
F40CW/3	43	3,100	77.5	2,350
Instant Start Lamps				
F40T12/IS	54	2,650	66.2	1,900
F40T17/IS	55	2,650	66.2	1,150
F48T12 Slimline	57	2,600	66.6	2,100
F72T12	37	4,100	73.2	2,100
F96T12 Slimline	26	5,600	75.6	2,100
Rapid Start Lamps (No Starters Required)				
F40CW**	48	2,800	70.0	–
F40CW/3	43	3,100	77.5	–
F48T12/HO	40	3,500	58.4	2,800
F72T12/HO	25	5,550	65.2	2,800
F96T12/HO	18	7,600	72.5	2,800
F48T12/1500	21	6,200	56.8	5,300
F72T12/1500	14	9,300	59.2	5,100
F96T12/1500	10	13,250	65.0	5,050
F48PG17	22	6,900	62.7	...
F72PG17	14	10,900	68.2	...
F96PG17	9	15,000	70.0	...

* Based on 7,500 hours average rated life, and lumen output of cool white lamps.
** All lumen values for cool white lamps.
* Lumens per watt, lamp watts only
** New 40 watt T12 lamp, interchangeable between preheat circuits and rapid start circuits.
*** Brightness varies. See manufacturers' literature for details.
Source: General Electric Co., Lamp Dept., and IES Lighting Handbook – 3rd Edition

COLD CATHODE FLUORESCENT LAMPS

Lamp Designation	Lamp Current (ma)	Lamp Watts (HP)*	Light Output Initial Lumens	Light Output Initial L/W	Brightness (Foot-Lamberts)
2545 (T–8)	120	28	1000	35.8	1100
	150	33	1200	32.5	1280
	200	40	1500	37.5	1600
2569 (T8)	120	37	1600	43.3	1210
	150	43	1850	43.0	1440
	200	52	2200	42.4	1650
2593 (T8)	120	46	2200	47.8	1250
	150	54	2600	48.2	1480
	200	65	3200	49.4	1700
Hairpin 6–in. Dia.	120	46	2200	47.8	1250
	150	54	2600	48.2	1480
	200	65	3200	49.4	1700

*High Pressure

Source: Based on data in Fig. 8–101, IES Lighting Handbook – 3rd Edition

STANDARD INCANDESCENT LAMPS

Lamp Designation Watts	Lamp Designation Bulb	Rated Life (Hours)	Burnouts Per BLH**	Light Output Initial Lumens	Light Output Initial L/W
75	A-19	750	...	1,150	15.3
100	A-19*	750	...	1,700	17.0
150	A-23	750	...	2,700	18.0
200	PS-25	750	351	3,800	19.0
200	PS-30	750	360	3,720	18.6
300	PS-30	750	223	6,000	20.0
300	PS-35	1000	174	5,750	19.2
500	PS-40	1000	109	9,900	19.8
750	PS-52*	1000	60	16,700	22.3
1000	PS-52*	1000	44	23,000	23.0
1500	PS-52	1000	30	33,000	22.0
750	T-24	1000	70	14,200	19.0
1000	T-24	1000	50	20,000	20.0
500	R-52	2000	64	7,850	15.8
750	R-52	2000	39	12,700	17.0
1000	RB-52*	2000	28	18,000	18.0
550	R-57	2000	62	8,100	14.8
800	R-57	2000	37	13,500	16.9
1000	R-57	2000	31	16,300	16.3

* Coiled-coil filament axially mounted.

** Average lamp burnouts per billion lumen hours (calculated).

Source. General Electric Co., Lamp Department, and IES Lighting Handbook – 3rd Edition.

STANDARD MERCURY VAPOR LAMPS

Lamp Designation Watts	Lamp Designation Bulb	Lamp Designation ASA*	Rated Life (Hours)	Burnouts Per BLH**	Initial Lumens	Initial L/W***
100	PS-25	H4AC	6000	42	4,000	40.0
175	BT-28	H22KD	6000	23	7,200	41.1
250	BT-28	H5KF	6-7000	16-14	10,500	42.0
400	BT-24	H25DE	6-7000	11-9	15,500	38 7
400	BT-37	H1LB	6-7000	7 6	23,000	57.4
425	BT-37	H17LB	7000	7	20,000	47.5
430	BT-37	H24LB	6000	9	18,500	43.0
700	BT-46	H18NE	7000	3.6	40,000	57.2
700	BT-56	H15GW	9000	4.2	34,500	49.4
750	R-57	–	8000	5.5	22,500	30.0
1000	BT-56	H18GW	6-7000	3.2-2.8	51,800	51.8
1000	BT-56	H12GW	6-7000	2.9-2.5	58,000	58.0
3000	T-9½	H9FJ	6000	1.3	132.000	43.0

* New ASA designations have been adopted by all light source manufacturers.

** Average lamp burnouts per billion lumen hours (calculated), based on average rated life. Lamp life may be increased by as much as 50% under certain operating conditions.

*** Based on lamp watts only.

Source: Based on data given in Fig. 8-90, IES Lighting Handbook – 3rd Edition.

LAMP SPECIFICATIONS

REFLECTOR AND PROJECTOR LAMPS

Bulb Types	Watts	Beam Spread (Degrees)*	Approx. Beam Lumens	Candle-power (10% Cone)**	Approx. Total Lumens
Reflector Spotlighting Lamps					
R-30	75	50	400	1,800	770
R-40	150	40	810	6,000	1,780
R-40	300	35	1,800	13,500	3,700
R-40	500	35	3,100	22,000	6,400
Reflector Floodlighting Lamps					
R-20	30	80	145	350	200
R-30	75	130	610	430	770
R-40	150	110	1,500	1,250	1,780
R-40	300	115	2,800	2,700	3,700
R-40	500	115	5,400	5,200	6,400
Projector Spotlighting Lamps					
PAR-38	75	30x30	480	4,000	750
PAR-38	150	30x30	1,100	10,500	1,730
PAR-46	200	17x23	1,200	32,000	2,350
PAR-56	300	15x20	1,800	70,000	3,650
PAR-64	500	13x20	3,000	110,000	6,000
Projector Floodlighting Lamps					
PAR-38	75	60x60	600	1,700	750
PAR-38	150	60x60	1,350	3,700	1,730
PAR-46	200	20x40	1,300	11,000	2,350
PAR-56	300	20x35	2,000	22,000	3,650
PAR-56	300	30x60	2,100	10,000	3,650
PAR-64	500	20x35	3,400	35,000	6,000
PAR-64	500	35x65	3,500	12,000	6,000

*Measured to 10% of maximum candlepower
**Average initial CP in 10° zone
Source: G.E. Co. Lamp Bulletin LS-152, Feb. 1959

COLOR TEMPERATURE OF VARIOUS LIGHT SOURCES

Light Source	Degrees K*
Natural Daylight	
Light from clear blue sky	12,000-27,000
Light from hazy or smoky sky	7,500-8,400
Light from totally overcast sky	6800
Sunlight, plus light from clear sky (noon)	6500
Direct sunlight (noon in midsummer)	5800
Light from heated sources**	
"Daylight" fluorescent lamps**	6500
Blue (daylight) photoflash lamps	6300
Cool white fluorescent lamps**	4500
Clear photoflash lamps	3800
White (standard) fluorescent lamps**	3500
Photoflood lamps	3400
500-watt projection lamp	3175
1000-watt standard incandescent lamp	3000
500-watt standard incandescent lamp	2950
60-watt standard incandescent lamp	2800

*Absolute temperature scale having its zero at −273°C (−459.4°F).
**By definition, color temperature applies only to light generated by heat (same color as a black body at that temperature), but fluorescent lamps have been arbitrarily color-designated in degrees Kelvin for purposes of simplicity.

COMPARATIVE STROBOSCOPIC EFFECT OF VARIOUS LIGHT SOURCES

Operated on 60-Cycle Supply

Lamp Type	Method of Operation	Relative Stroboscopic Effect
Incandescent		
200-watt		1 1.2
40-watt		7 8.6
Fluorescent		
Green	Single-lamp ballast	11 13.2
Blue	Single-Lamp ballast	49 53.8
White	Single-lamp ballast	19 22.8
White	2-lamp ballast	9 10.8
White	Single-lamp ballast on each phase of 3-phase circuit (3 lamps)	3 3.6
White	3 lamps: 1 on single-lamp ballast, 2 on 2-lamp ballast	14 16.8

Also see Figs 8-48 and 8-49 in IES Lighting Handbook - 3rd Edition

Source. Westinghouse Lighting Handbook (1956)

FLUORESCENT LAMP LUMEN OUTPUT RATIOS

(Standard Cool White = 100)

Color of lamps	Multiplying Factor
Deluxe Cool White (CW/X)	0.71
Deluxe Warm White (WW/X)	0.71
Daylight (D)	0.93
Soft White (SW)	0.68
Green (G)	1.20
Gold (GO)	0.60
Blue or Pink (B or PK)	0.45
Red (R)	0.06

INTERCHANGEABILITY OF FLUORESCENT LAMPS

40-watt T-12 Bipin

Lamp Type	Ballast Type: Preheat	Ballast Type: Instant Start	Ballast Type: Rapid Start
Preheat	O.K.	Not Recommended	Will Not Start
Instant	Will Not Start	O.K.	Will Not Start
Rapid Start	O.K.	Not Recommended	O.K.

Source: IES Lighting Handbook — 3rd Edition.

Mercury vapor lamps produce a blue-green "white" light basically, devoid of yellow-orange-red light. By means of phosphor coatings, however, the light source manufacturers have been able to improve the color quality of these lamps, and improved "whites," including a "yellow" lamp, have resulted. Manufacturers' literature should be referred to for complete details.

Fluorescent lamps are purposely made in a variety of "white" colors for use in general lighting applications. These include daylight (6500°K), cool white (4500°K), white (3500°K), and warm white. In addition, there are two "deluxe" lamps —the deluxe cool white, and the deluxe warm white—in which phosphors are used to provide more red and orange radiation and thus more closely approximate a continuous-spectrum light.

Light Control—Incandescent lamps, and mercury vapor lamps to a lesser degree, are considered point sources of light. The light output can thereby be quite accurately controlled by means of reflectors or prismatic glass or plastic reflectors or refractors.

Fluorescent lamps are line sources of light, of fairly large diameter; hence, the light output is fundamentally of a diffuse character. Control of the light output from these lamps is less accurate, and generally limited to shielding, or to further diffusion.

The degree of light control needed, from a light distribution standpoint, to achieve a specific lighting result, thus becomes a factor in the selection of the light source.

Heat—All light sources create heat. This heat is a result of the watts of electric energy consumed by the lamps, and each watt produces 3.14 Btu per hour. The more efficient the light source is (lumens output per watt—LPW), the smaller will be the heat load in producing a given level of illumination, assuming the same lighting system efficiency for different types of light sources.

Heat, as a by-product of the lighting system, may or may not be a problem to be considered by the lighting engineer. For air conditioned areas, the heat has to be dissipated through increased capacity of the air conditioning system. On the other hand, this heat may help reduce the heating problem for the area in the cold winter months.

With the low levels of illumination which have been prevalent until the past few years, heat has not been a major problem in lighting. However, if the recently adopted IES recommended levels of illumination are put in practice by lighting engineers, the amount of heat produced will definitely become a factor, and in most cases a problem.

In the case of fluorescent lighting, and especially of the use of high output and super-high output fluorescent lamps, heat is already a problem. This problem is one of dissipating the heat from the ballast to keep it within a range of 90°C to 105°C, which should be done through proper design of the luminaire, and through provision of adequate ventilation, especially in the case of recessed equipment. Also, the efficiency of fluorescent lamps is sensitive to ambient temperature and air drafts. They operate at maximum efficiency in ambient temperatures of 80°F to 95°F, and should be shielded against drafts of cold air.

RATED AVERAGE LIFE, INCANDESCENT LAMPS

Type Lamps	Rated Life (Hours)
General Service Lamps; sizes 75, 100, 150, 200, 300 watts, A and PS bulbs	750
General Service Lamps; sizes 300, 500, 750, 1000, 1500 watts, PS bulbs, mogul base	1000
Lumiline Lamps, 30, 40, 60 watts	1500
Reflector and Projector Lamps	2000
Extended Life, Special Service Lamps 25 to 1500 watts	2500

Source: Lamp manufacturers' bulletins.

Lamp Life—Light sources deteriorate from use, thus have a "rated average life" expectancy.

Incandescent lamps of the large lamp type normally used for general lighting purposes have a rated average life of 1,000 hours, except for certain sizes and types which are rated at 2,000 hours for use in special high bay applications to help reduce maintenance costs, and for certain reflector-type lamps used for show window, floodlighting, and other similar applications.

Rated average life of fluorescent and mercury vapor lamps is a function of the frequency of starting the lamps, as well as number of hours operated. Both are characteristically long-life lamps. Fluorescent lamp life is shown in the chart "Rated Average Life of Fluorescent Lamps." Rated average life of mercury vapor lamps now ranges from 6,000 to 10,000 hours, for most types, but manufacturers' literature should be checked for exact ratings and lumen maintenance.

An excellent factor for comparing lamp life of one light source with another, and for making economic analyses, is "burnouts per billion lumen hours." This factor may be calculated for any light source by dividing one billion by "average lamp life" in hours times "mean light output" in lumens. This indicates the number of lamps to be purchased and replaced to provide a fixed quantity of light output. Burnouts per billion lumen hours have been shown in the two tables—"Standard Fluorescent Lamps" and "Standard Incandescent Lamps."

Stroboscopic Effect—For most lighting applications, stroboscopic effect, or flicker, is not a problem. However, for certain applications, such as floodlighting a tennis court, or lighting of moving parts in industrial applications, it should be avoided. The stroboscopic effect of filament lamps is too low to be a problem, but may be sufficiently high on electric discharge type lamps to be a problem under certain circumstances. It can usually be minimized enough to be considered practical for use by operating the lamps in a specific area on three separate circuits, each circuit supplied from a separate phase. Another solution is to use high frequency power for the lighting system.

RATED AVERAGE LIFE, FLUORESCENT LAMPS				
	Burning Hours Per Start			
Type of Lamps	3	6	12	Continuous*
T-8 and T-12 preheat, rapid start, high output, T-6, T-8 and T-12 slimline; T-12 instant start, T-17 preheat; All circlines	7500	Plus 25%	Plus 60%	Plus 150%
T-17 instant start; 6-, 8-, 13-watt T-5 preheat 14-watt T-12 preheat	6000			
Power Groove lamps	5000			
4-watt T-5	4000			
Cold cathode LP	15000	Life not affected by number of starts		
Cold cathode HP	25000			

*Light output depreciates steadily as lamps are burned. Where infrequent starting, or continuous burning are involved, lamps should be replaced before they reach average life, for maximum lighting value.

Source: General Electric Co. Lamp Bulletin No. LS-101

RATED AVERAGE LIFE, MERCURY VAPOR LAMPS	
Type Lamps	Rated Life (Hours)
PAR-38 bulb, 100-watt	2000 - 6000
PS-25 and BT-25 bulbs, 100-watt; PS-35 bulb, 125-watt; BT-28 bulb; 175-watt; BT-37 bulb, 430-watt; T-9½ bulb, 3,000-watt	6000
BT-28 bulb, 250-watt: T-16, BT-24, BT-37 R-52, R-57 bulbs, 400-watt; BT-56 bulb, 1000-watt	6000 - 7000
BT-37 bulb, 425-watt; BT-46 bulb, 700-watt	7000
R-57 bulb, 750-watt	8000
BT-56 bulb, 700-watt	9000

Burning hours shown are "economic life" under typical operating conditions. Actual burning hours may be up to 50% greater, depending on operating conditions.

Source: Based on data shown in Fig. 8-90, IES Lighting Handbook – 3rd Edition.

Step 5. Select Appropriate System

The luminaires and lighting equipment should further be selected based on their suitability for the area involved, from the standpoint of architectural design and general appearance, structural details, etc. These factors should also be discussed with and agreed upon by the architect, or interior designer, or others charged with the responsibility of the appearance and structural details of the entire project.

Installation—The method of mounting to be used for the lighting equipment will also dictate its selection, and affect the type of lighting system to be used. For example, if an indirect lighting system is indicated, based on the seeing problems involved and on the lighting result desired, this would preclude the use of recessed equipment in a suspended ceiling. Or, if ceiling heights are too low to make practical an indirect lighting system, a compromise in the type of lighting system to be used will be called for. Large-area low-brightness-type luminaires, for example, might be substituted, and be either surface mounted or recessed.

Physical Characteristics—Luminaires selected should be carefully analyzed from the standpoint of mechanical construction, installation features, electrical details, and ease of maintenance. Only equipment of quality construction throughout should be considered. Electrical parts should bear the Underwriters' Laboratories (UL) label, ballasts should be of the high power factor type, and bear the Certified Ballast Manufacturers' (CBM) certification label. Lamps and ballasts should be readily accessible, for ease of maintenance, and installation features should be simple so that a minimum of time is required for installing. Fluorescent luminaires should further be properly designed so that ballasts will operate continuously without exceeding the temperature limit (105°C) for which designed.

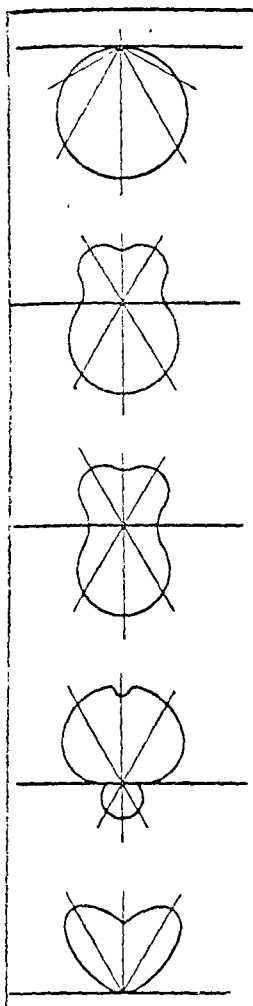
If the building construction is based on a modular dimension, the luminaires or lighting equipment should also be based on the same module.

Several factors are involved in the selection of an appropriate lighting system, for any lighting application, as outlined below; some technical, others artistic or decorative. The type of job will, of course, control the decision on many of these factors.

Light Distribution—Lighting systems are generally classified according to type of light distribution characteristics—direct, semi-direct, general diffuse, semi-indirect, and indirect. End use of the areas to be lighted, and seeing tasks involved, will influence the type of system selected.

Lighting systems consist of luminaires, various types of lighting equipment, light sources, auxiliary devices, and controls. The selection of these luminaires, equipments and devices can best be made based on practical and continuing experience. This is one of the fundamental reasons why a qualified lighting engineer should be retained on a professional basis (lighting consultants, electrical engineers) for the design of every lighting system.

Luminaires and Lighting Equipment—The size of individual luminaires, or lighting equipment devices, is dictated by the type of light sources to be used, and the overall light output required per unit, taking into account its overall efficiency and coefficient of utilization for the area involved. This factor is discussed in more detail under "Lighting Calculations".



TYPES OF LIGHTING SYSTEMS

ICI* Light Distribution	Type of Luminaires	Type of Mounting	Lighting System Classification
Direct 90% to 100% Downward	Recessed	In Ceiling	Recessed (Inc. or Fl.)
	Individual Unit Continuous Row	On Ceiling	Surface Mounted Direct
	Individual Unit Continuous Row	On Ceiling	Suspended Direct
	Luminous Architectural Elements	On Ceiling, Side Walls, or Columns	Architectural
	Decorative Ornamental	On Ceilings or Walls	Ornamental
	Large-Area Low-Brightness	Recessed in Ceiling	Luminous Element
	Diffuser Ceilings Louver Ceilings	From Ceilings	Translighted Ceiling
Semi-Direct 60% to 90% Downward	Individual Unit Continuous Row	On Ceiling	Surface Mounted Semi-Direct
	Individual Unit Continuous Row		Suspended Semi-Direct
	Luminous Cornice	On Wall near Ceiling	Architectural
General Diffuse 40% to 60% Downward	Individual Unit	On Ceiling	Suspended
	Continuous Row		Direct-Indirect
Semi-Indirect 60% to 90% Upward	Individual Unit Continuous Row	On Ceiling	Suspended Semi-Indirect
	Luminous Cove Wall Bracket With Downward Component	On Wall	Semi-Indirect
	Luminous Ornamental	On Ceiling	Suspended Semi-Indirect
Indirect 90% to 100% Upward	Individual Unit Continuous Row	On Ceiling	Suspended Indirect
	Wall Urns Cove Pedestal Ceiling Soffit**	On Wall On Wall or In Ceiling Floor or Counter Top In Ceiling	Indirect Cove Indirect Indirect**

International Congress on Illumination approved classification of lighting systems according to a range of distribution of total light output upward or downward, in percentages as shown. A more detailed classification, as given here, has been found through practice to be more practical.
**According to ICI practice, soffit lighting might be classified as "direct". In actual practice, it is normally referred to as "indirect," since it is actually a form of cove lighting.

Step 6. Make a Lighting Calculation

Procedures for making lighting calculations are provided in all lighting handbooks, and in many of the catalogs of lighting equipment manufacturers.

The normal routine is to select a specific type of luminaire, and then select a specific luminaire of this type as made by a specific lighting equipment manufacturer. From the manufacturer's catalog determine the coefficient of utilization and maintenance factor for this specific luminaire. The coefficient of utilization selected should be that CU value listed for the room index of the area to be lighted. Room Index tables are also provided in most manufacturer's catalogs, and in lighting handbooks. Lumen output for the light sources being considered are available in the lamp manufacturers' literature and lamp price schedules.

Use the standard lighting formula, and calculate for total lumens required to produce the foot-candle levels of illumination desired. Divide the total lumens required by the total lumen output per luminaire. This gives the number of luminaires required for the total area.

In making these calculations, the values may be related to the total area of the project, to the area per luminaire, or to the area per bay or other convenient or practical subdivision.

If more than one type of light source is being considered, for purposes of comparison, similar calculations should be made for each, and based on the appropriate luminaires for each.

The above comments apply for interior lighting, and for typical luminaires. If indirect lighting is involved, from coves, wall urns, pedestals, etc., the manufacturers' instructions should be followed. Also, for outdoor floodlighting problems, or street or highway lighting, etc., use the IES Lighting Handbook, or manufacturers' instructions, for making the calculations.

LAYOUT REMINDERS

For the Lighting System Designer

- *A customer buys a lighting system to provide an adequate, comfortable and appropriate lighting result*--not because he wants luminaires, lamps, conduit and wiring.
- *Luminaires and lighting equipment selected should be appropriate for the structure and the seeing problems involved.* Appearance, functional design, direct and reflected glare, shadows, maintenance, and lighting efficiency are all factors to be considered.
- *The lighting layout should fit the structural details of the building.* If plans and drawings are not available, survey the interior and note location of columns, beams, obstructions and other architectural features.
- *Use conventional layouts with symmetrical spacing of units,* if possible, with luminaires parallel and perpendicular to walls. Special geometrical patterns may be suitable in some cases but should be avoided generally unless they serve a specific functional or design purpose.
- *Use continuous-row fluorescent luminaires in preference to individual units.* The completed installation will look better and usually results in economies in wiring and installation.
- *Recessed and built-in lighting equipment does not light the ceiling.* Check your layout and room surface reflectances to see that use of such equipment will not produce uncomfortably dark ceilings nor excessive brightness ratios in the normal field of view.
- *Efficiency of trans-lighted ceilings is dependent to a great extent on the reflectance of the plenum cavity.* Be sure lamps can be mounted sufficiently high above diffusers or louvers to provide uniform brightness and spaced properly to provide desired intensity. Paint entire cavity white with highest possible reflectance.
- *Suspended luminaires of the direct-indirect type often produce the best lighting result most economically.* Check the suspension length carefully and limit it to the dimension which gives reasonably uniform ceiling brightness.
- *Luminaire spacings should be used which produce uniform illumination* and prevent undesirable shadows.
- *Flexible lighting layouts which will permit more luminaires or lamps to be added later* should be planned. This will permit an increase in lighting intensity without spoiling the symmetry or architectural harmony of the initial installation.
- *Plan the maintenance program along with the lighting layout.* Be sure that all luminaires and lighting equipment are easily accessible and are designed to be cleaned easily and quickly.
- *Consider the finish and reflection factor of ceiling and side walls.* Recommend proper colors and finishes to provide surrounding brightness conditions which promote eye comfort and good seeing conditions.
- *Double check all calculations and details* to insure the proper number of units and the ultimate desired lighting result.

Step 7. Prepare a Lighting Layout

When the number of luminaires required has been determined, the next step is to fit these luminaires into the area in a logical and practical arrangement. Symmetrical arrangements, from an appearance standpoint, are usually preferred. Where a special arrangement provides a functional use, such arrangement is usually satisfactory but should be adopted with caution and due regard for appearance.

If the number of units calculated to be correct for the illumination level required does not conform to a symmetrical layout, the number of units should be increased to provide the desired symmetry and best appearance. When such increase in units greatly increases the resulting illumination level desired, it may be possible to reduce the number or size of lamps per unit to achieve the proper lighting level. This may involve another series of lighting calculations and further "trial and error" layouts until the appropriate number of units and layout arrangement has been achieved.

A recent valid criticism of current lighting system design practice is the uniformity of appearance of lighting systems from one installation to another. Such monotony, inherent in continuous row and geometric arrangements of fluorescent lighting equipments, whether surface mounted or recessed, and in wall-to-wall luminous ceilings, is recognized. It is a by-product of mass production of almost identical designs of luminaires and equipments by a large number of manufacturers. The solution to this problem rests with equipment manufacturers and their representatives, and in collaboration with architects and engineers in the design of new and imaginative lighting application techniques. The technological know-how, light sources, and myriad lighting components, for producing the required lighting levels and comfortable visual environments, already exist.

LUMINAIRE MOUNTING AND SPACING

Mounting Height of Luminaire	COMMERCIAL						INDUSTRIAL		
	Direct	Semi-Direct		Semi-Indirect		Indirect	Spread	Concentrating	
Ceiling Height for Indirect and Semi-Indirect Luminaires (feet)	Usual Spacing Between Units	Max. Spacing Between Units	Spacing* from Walls	Spacing Between Units	Spacing* from Walls	Length of Suspension	Maximum Spacing[1] (ft.)		
							Mounting Heights Above Floor	Spacing Between Units[2] Spread	Concen't.
8 3.4	7 3.1	7½ 3.25	3 0.9	9	3	1-1½ 0.4	15 4.5	12	–
9 3.7	8 3.4	8	3	9½	3	1-1½	16 4.8	12	–
10 3.0	9 3.7	9	3½ 1.0	10½ 3.15	3½	1½-2½ 0.75	18 5.4	18	–
11 3.3	10 3.0	10½ 3.15	3½	12	3½	0.6 2-3 0.9	20 6.0	20	–
12 3.6	10-12 3.6	12 3.6	4 1.2	14	4		22 6.6	20	–
13 3.9	10-12 3.6	13 3.9	4	15	4	0.9 3-4 1.2	24 7.2	23 6.9	16
14 4.2	10-13 3.9	15 4.5	5 1.5	17	5		26 7.8	25 7.5	17 5.1
15 4.5	10-13 3.9	17 5.1	5	19	5	1.2 4-5 1.5	28 8.4	30	18
16 4.8	10-13 3.9	19 5.7	6 1.8	21	6		30 or more 9.0	30 9.0	20 6.0
18 5.4	10-20 6.0	21 6.3	6	23 6.9	6	1.2 4-6 1.8			
20 or more 6.0	18-24 7.2	24 7.2	7 2.1	26 7.8	7				

*Spacings apply where desks or benches are next to wall, otherwise one-half the spacing between units is satisfactory.
[1]Units may have to be spaced closer to obtain desired illumination values.
[2]Where benches or machines are next to wall, spacing from wall should not exceed 1/3 spacing between units. Otherwise 1/2 unit spacing is suitable.

Step 8. Provide for Flexible Control

Electric lighting is now an essential commodity in our way of life. It is in use 24 hours a day, every day, throughout the nation. It is used to light our homes, our places of work, our recreation areas, our streets and highways, tunnels, bridges, outdoor signs, monuments, airports, gasoline service stations, restaurants, theatres, night clubs, etc.

The need for higher lighting levels generally has been recognized. Footcandle levels will be approximately doubled over the next few years from existing levels, especially in retail stores, offices, drafting rooms, and industrial plants.

In view of the increasing levels of illumination, and of the expanding use of electric lighting, the need for greater flexibility in lighting control becomes evident. This need is perhaps greatest for home lighting systems, where it is desirable to create a variety of lighting effects, ranging from low level decorative and mood lighting to high level illumination for reading, sewing, playing cards, and similar activities. Such lighting flexibility also becomes desirable for multi-purpose auditoriums, gymnasiums, school classrooms, and for restaurants, exhibit halls, hotel lobbies, banquet halls, private offices, and many others.

Lighting flexibility can be obtained by either of two basic methods. One method is to use multiple switch control to a single multiple-lamp luminaire, or to a multiple-lamp area such as a luminous ceiling. The other method is to use a dimmer system on all of the lighting circuits. With new and improved dimming devices becoming available, the dimming method is automatically becoming more practicable for lighting systems wherever multiple lighting effects may be desired. Included in the new dimming devices are new and improved methods for dimming fluorescent lighting systems over a broader range of intensities.

Step 9. Analyze Available Power

Part and parcel of lighting system design is the wiring system which provides the electric power to operate it. In general, this includes the branch circuit wiring, switching, dimmer control, etc. back to the lighting panels, which serve as a practical point of divisional responsibility. Actual design of the branch circuit wiring system may be done either by the lighting engineer, or by the electrical system design engineer in full cooperation with, and under the direction of, the lighting engineer.

In the interest of lighting economics, however, the lighting engineer should go still further. In cooperation with the electrical engineer, he should investigate and analyze the type of electric power which is available for serving the lighting load, especially on lighting projects involving loads of 50

FLUORESCENT LAMP COLOR GUIDE

Application	Deluxe		Standard	
	Warm	Cool	Warm	Cool
Groceries	–	Good	–	Fair
Meat Markets	–	Good	–	Fair
Bakeries	Good	Fair	–	–
Confectionery	Good	Fair	–	–
Restaurants	Good	–	–	–
Tea Rooms	Good	–	–	–
Taverns	Good	–	Fair	–
Men's Wear	Fair	Good	–	Fair
Women's Wear	Good	–	Fair	–
Children's Wear	Good	–	Fair	–
Shoe Store	Good	–	Fair	–
Barber & Beauty*	Good*	Fair	–	–
Drug Stores	–	Good	–	Fair
Florist	Fair	Good	–	–
Jewelry	–	Good	–	Fair
Home Furnishings	Good	Fair	–	–
Variety	–	Good	–	Fair
Schools	–	–	–	Good
Offices	–	–	Good	Fair

*Except for tinting

Source: Lighting Products Inc.

EFFICIENCY OF PRODUCTION OF COLORED LIGHT

Color	Approx. Lumens per Watt	
	Fluorescent	Filament*
Blue	20 to 26	0.5 to 1.5
Green	55 to 75	0.5 to 3
Yellow	22 to 31	5 to 10
Red	3 to 5	1 to 14

*Based on 100-watt lamp with typical color filters of various kinds; colored Bulbs, glass roundels and caos, gelatins, dyes and lacquers.

Source: Westinghouse Lighting Handbook - 1956.

LOAD AND OUTPUT OF TYPICAL FLUORESCENT LUMINAIRES

Fluorescent Lamps				1-Lamp Luminaire			2-Lamp Luminaire*		
Type Lamp	Length (ins)	Lamp Watts	Lamp Current (ma)	Lumens	Total Watts	L/W	Lumens	Total Watts	L/W
40T12	48	39.6	430	2,650	50.6	52.4	5300	97.2	54.5
40T12	48	–	–	2,800	–	–	5600		
40T12/1S	48	40.6	425	2,500	60.0	41.6	5000	100.0	50.0
40T12/RS	48	39.6	430	2,650	52.0	51.0	5300	92.0	57.6
40CW/3	48	–	–	3,100	–	–	6200		
48T12	48	38.5	428	2,360	–	–	4720	107.0	44.1
48T12	48	38.5	42[illegible]	2,360	–	–	4720	o 97.0	48.6
48T12/RS	48	60.0	800	3,350	90.0	37.2	6700	140.0	47.9
48T12/RS	48	109.0	1500	6,200	–	–	12,400	250.0	49.6
48PG17	48	107.0	1500	6,000	–	–	12,000	255.0	47.1
40T17/1S	60	42.5	420	2,500	62.5	40.0	5000	105.0	47.6
90T17	60	90.0	1550	5,200	111.0	46.9	10,400	211.0	49.3
72T12	72	56.0	425	3,600	–	–.	7,200	146.0	49 3
72T12	72	56 0	425	3,600	–	–	7,200	o137.0	52.5
72T12/RS	72	80.5	800	5,250	125.0	42.0	10,500	200.0	52.5
72T12/RS	72	157 0	1500	9,300	–	–	18,600	390.0	47.7
72PG17	72	155 0	1500	9,300	–	–	18,600	360.0	51.6
96T12	96	73 5	425	5,100	–	–	10,200	181.0	56.4
96T12	96	73 5	425	5,100	–	–	10,200	o175.0	58.2
96T12/RS	96	105 0	800	7,300	135.0	54.1	14,600	254.0	57.5
96T12/RS	96	204 0	1500	13,250	–	–	26,500	480.0	55.2
96PG17	96	215 0	1500	15,000	–	–	30,000	485.0	61.9

*Using HPF lead-lag ballasts and standard cool white lamps. For lumen output using other color lamps, use the multiplying factors given in table "Fluorescent Lamp Lumen Output Ratios"

o Based on use of 2-lamp series ballasts.

Source Computed based on data in Figs 8-98, 8-99, 8-100 and 8-103 of IES Lighting Handbook – 3rd Edition, and General Electric Co. Bulletin LS-101, July, 1958.

THE ZONAL CAVITY METHOD OF CALCULATING AVERAGE ILLUMINATION LEVELS

For nearly 50 years, lumen or flux methods of calculation of illumination using coefficients of utilization have been employed in the determination of illumination levels. These original methods used coefficients of utilization which were determined by empirical methods for lighting equipment available at that time. Later developments used methods of mathematical analysis in computing coefficient of utilization data for currently available lighting equipment. All of these basic methods were based on the theory that average illumination is equal to lumens divided by the work area over which they are distributed. The newer mathematical methods of analysis of lighting distributions, taking into account the concept of inter-reflection of light, have led to progressively more accurate coefficient of utilization data and has been culminated in the new I.E.S. approved method of calculating illumination called the Zonal Cavity Method. This method improves older systems by providing increased flexibility in lighting calculations as well as greater accuracy as previously indicated, but does not change the basic concept that footcandles are equal to flux over area. In some cases, this method will require several extra steps in calculation of a lighting level but in many direct lighting situations, the new method will be little more difficult to use than the presently accepted Zonal Factor Interreflectance Method.

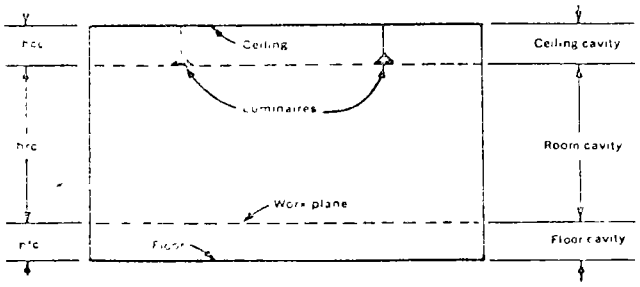


FIG. 1

The foundation of the new method rests upon the concept considering the room as made up of a series of cavities which have effective reflectances with respect to each other and to the work plane. Any room may generally be divided into three basic spaces or cavities. The space between the fixtures (if suspended) and the ceiling is defined as the "ceiling cavity" (See Fig. 1). The space between the work plane and the floor is defined as the "floor cavity" (See Fig. 1) and the space between the fixtures and the work plane is defined as the "room cavity" (See Fig. 1).

Once the concept of these cavities is accepted, it is possible to calculate numerical relationships called "cavity ratios", which can be used to determine effective reflectance of the ceiling and floor and then to find coefficient of utilization.

There are now four basic steps in any calculation of illumination level:

1—Determine cavity ratios
2—Determine cavity reflectances
3—Select coefficient of utilization
4—Compute average footcandle level

Step 1:

Cavity ratios may be determined in one of two ways. The most basic and accurate manner is to calculate using the following formulas:

$$\text{Ceiling Cavity Ratio (CCR)} = \frac{5\ hcc\ (L + W)}{L \times W}$$

$$\text{Room Cavity Ratio (RCR)} = \frac{5\ hrc\ (L + W)}{L \times W}$$

$$\text{Floor Cavity Ratio (FCR)} = \frac{5\ hfc\ (L + W)}{L \times W}$$

Where, hcc = distance in feet from luminaire to ceiling
hrc = distance in feet from luminaire to work plane
hfc = distance in feet from work plane to floor
L = length in feet of room
W = width in feet of room

Cavity ratios may also be found in the accompanying tables of cavity ratios (Table A) for typical sized cavities which cover a wide range of room dimensions.

Step 2:

Effective cavity reflectances must be determined for the ceiling cavity and for the floor cavity. These are located in Table B under the particular combination of cavity ratio and actual reflectance of ceiling, walls and floor. Note that if the luminaire is recessed or surface mounted or if the floor is the work plane the CCR or FCR will be 0 and then the actual reflectance of the ceiling or floor will also be the effective reflectance. Also note that when using reflectance values of room surfaces, the expected maintained values should be used for calculation of maintained footcandles. The effective

TABLE A—CAVITY RATIOS

ROOM DIMENSIONS		CAVITY DEPTH																			
Width	Length	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8	9	10	11	12	14	16	20	25	30
8	8	1.2	1.9	2.5	3.1	3.7	4.4	5.0	6.2	7.5	8.8	10.0	11.2	12.5	—	—	—	—	—	—	—
	10	1.1	1.7	2.2	2.8	3.4	3.9	4.5	5.6	6.7	7.9	9.0	10.1	11.3	12.4	—	—	—	—	—	—
	14	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.4	3.9	4.9	5.9	6.9	7.8	8.8	9.7	10.7	11.7	—	—	—	—	—
	20	0.9	1.3	1.7	2.2	2.6	3.1	3.5	4.4	5.2	6.1	7.0	7.9	8.8	9.6	10.5	12.2	—	—	—	—
	30	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	4.0	4.7	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	11.0	—	—	—	—
	40	0.7	1.1	1.5	1.9	2.3	2.6	3.0	3.7	4.5	5.3	5.9	6.5	7.4	8.1	8.8	10.3	11.8	—	—	—
10	10	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	—	—	—	—	—
	14	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.0	3.4	4.3	5.1	6.0	6.9	7.8	8.6	9.5	10.4	12.0	—	—	—	—
	20	0.7	1.1	1.5	1.9	2.3	2.6	3.0	3.7	4.5	5.3	6.0	6.8	7.5	8.3	9.0	10.5	12.0	—	—	—
	30	0.7	1.0	1.3	1.7	2.0	2.3	2.7	3.3	4.0	4.7	5.3	6.0	6.6	7.3	8.0	9.4	10.6	—	—	—
	40	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.2	2.5	3.1	3.7	4.4	5.0	5.6	6.2	6.9	7.5	8.7	10.0	12.5	—	—
	60	0.6	0.9	1.2	1.5	1.7	2.0	2.3	2.9	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.1	8.2	9.4	11.7	—	—
12	12	0.8	1.2	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	4.2	5.0	5.8	6.7	7.5	8.4	9.2	10.0	11.7	—	—	—	—
	15	0.7	1.1	1.5	1.8	2.2	2.5	2.9	3.6	4.4	5.1	5.8	6.5	7.2	8.0	8.7	10.2	11.6	—	—	—
	24	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.2	2.5	3.1	3.7	4.4	5.0	5.6	6.2	6.9	7.5	8.7	10.0	12.5	—	—
	35	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	1.9	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.5	6.0	6.6	7.8	8.8	11.0	—	—
	50	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	5.1	5.6	6.2	7.2	8.2	10.2	—	—
	70	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.4	2.9	3.4	3.9	4.4	4.9	5.4	5.8	6.8	7.8	9.7	12.2	—
14	14	0.7	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5	2.9	3.6	4.3	5.0	5.7	6.4	7.1	7.8	8.5	10.0	11.4	—	—	—
	20	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.9	5.5	6.1	6.7	7.3	8.6	9.8	12.3	—	—
	30	0.5	0.8	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.6	3.1	3.7	4.2	4.7	5.2	5.8	6.3	7.3	8.4	10.5	—	—
	42	0.5	0.7	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.4	2.9	3.3	3.8	4.3	4.7	5.2	5.7	6.7	7.6	9.5	11.9	—
	60	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.2	2.6	3.1	3.5	3.9	4.4	4.8	5.2	6.1	7.0	8.8	10.9	—
	90	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.8	6.6	8.3	10.3	12.4
17	17	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.9	3.5	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.0	8.2	9.4	11.7	—	—
	25	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	10.0	12.5	—
	35	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	2.2	2.6	3.1	3.5	3.9	4.4	4.8	5.2	6.1	7.0	8.7	10.9	—
	50	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.4	2.8	3.1	3.5	3.9	4.3	4.5	5.4	6.2	7.7	9.7	11.6
	80	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4	1.8	2.1	2.5	2.9	3.3	3.6	4.0	4.3	5.1	5.8	7.2	9.0	10.9
	120	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.7	2.0	2.3	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.7	5.4	6.7	8.4	10.1
20	20	0.5	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	8.0	10.0	12.5	—
	30	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	5.8	6.6	8.2	10.3	12.4
	45	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.8	2.2	2.5	2.9	3.3	3.6	4.0	4.3	5.1	5.8	7.2	9.1	10.9
	60	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.7	2.0	2.3	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.7	5.4	6.7	8.4	10.1
	90	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	4.2	4.8	6.0	7.5	9.0
	150	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2	3.4	4.0	4.6	5.7	7.2	8.6
24	24	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.8	6.7	8.2	10.3	12.4
	32	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.8	2.2	2.6	2.9	3.3	3.6	4.0	4.3	5.1	5.8	7.2	9.0	11.0
	50	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.5	1.8	2.2	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.4	5.0	6.2	7.8	9.4
	70	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.3	3.8	4.4	5.5	6.9	8.2
	100	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4	2.6	2.9	3.1	3.7	4.2	5.2	6.5	7.9
	160	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6	2.8	3.3	3.8	4.7	5.9	7.1
30	30	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.7	2.0	2.3	2.7	3.0	3.3	3.7	4.0	4.7	5.4	6.7	8.4	10.0
	45	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.4	1.7	1.9	2.2	2.5	2.7	3.0	3.3	3.8	4.4	5.5	6.9	8.2
	60	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.5	4.0	5.0	6.2	7.4
	90	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.1	3.6	4.5	5.6	6.7
	150	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.8	3.2	4.0	5.0	5.9
	200	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.0	2.2	2.6	3.0	3.7	4.7	5.6
36	36	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.4	1.7	1.9	2.2	2.5	2.8	3.0	3.3	3.9	4.4	5.5	6.9	8.3
	50	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.5	2.6	2.9	3.3	3.8	4.8	5.9	7.2
	75	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.9	3.3	4.1	5.1	6.1
	100	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	3.0	3.8	4.7	5.7
	150	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.4	2.8	3.5	4.3	5.2
	200	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	3.3	4.1	4.9
42	42	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.6	2.8	3.3	3.8	4.7	5.9	7.1
	60	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.8	3.2	4.0	5.0	6.0
	90	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.4	2.8	3.5	4.4	5.2
	140	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.2	2.5	3.1	3.9	4.6
	200	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	2.0	2.3	2.9	3.6	4.3
	300	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9	2.2	2.8	3.5	4.2
50	50	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.8	3.2	4.0	5.0	6.0
	70	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.0	2.4	2.7	3.4	4.3	5.1
	100	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.1	2.4	3.0	3.7	4.5
	150	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.9	2.1	2.7	3.3	4.0
	300	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.9	2.3	2.9	3.5
60	60	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0	2.3	2.7	3.3	4.2	5.0
	100	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.9	2.1	2.7	3.3	4.0
	150	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.6	1.9	2.3	2.9	3.5
	300	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5	3.0
75	75	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.9	2.1	2.7	3.3	4.0
	120	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	2.2	2.7	3.3
	200	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.3	2.7
	300	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.7	2.1	2.5
100	100	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	2.0	2.5	3.0
	200	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.9	2.2
	300	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.7	2.0
150	150	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.7	2.0
	300	—	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.5
200	200	—	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.5
	300	—	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
300	300	—	—	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8
500	500	—	—	—	—	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6

TABLE 3
PER CENT EFFECTIVE CEILING OR FLOOR CAVITY REFLECTANCE FOR VARIOUS REFLECTANCE COMBINATIONS

% CEILING OR FLOOR REFLECTANCE	90				80				70			50			30				10		
% WALL REFLECTANCE	90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	70	50	30	65	50	30	10	50	30	10
0	90	90	90	90	80	80	80	80	70	70	70	50	50	50	30	30	30	30	10	10	10
0.1	90	89	88	87	79	79	78	78	69	69	68	59	49	48	30	30	29	29	10	10	10
0.2	89	88	86	85	79	78	77	76	68	67	66	49	48	47	30	29	29	28	10	10	9
0.3	89	87	85	83	78	77	75	74	68	66	64	49	47	46	30	29	28	27	10	10	9
0.4	88	86	83	81	78	76	74	72	67	65	63	48	46	45	30	29	27	26	11	10	9
0.5	88	85	81	78	77	75	73	70	66	64	61	48	46	44	29	28	27	25	11	10	9
0.6	88	84	80	76	77	75	71	68	65	62	59	47	45	43	29	28	26	25	11	10	9
0.7	88	83	78	74	76	74	70	66	65	61	58	47	44	42	29	28	26	24	11	10	8
0.8	87	82	77	73	75	73	69	65	64	60	56	47	43	41	29	27	25	23	11	10	8
0.9	87	81	76	71	75	72	68	63	63	59	55	46	43	40	29	27	25	22	11	9	8
1.0	86	80	74	69	74	71	66	61	63	58	53	46	42	39	29	27	24	22	11	9	8
1.1	86	79	73	67	74	71	65	60	62	57	52	46	41	38	29	26	24	21	11	9	8
1.2	86	78	72	65	73	70	64	58	61	56	50	45	41	37	29	26	23	20	12	9	7
1.3	85	78	70	64	73	69	63	57	61	55	49	45	40	36	29	26	23	20	12	9	7
1.4	85	77	69	62	72	68	62	55	60	54	48	45	40	35	28	26	22	19	12	9	7
1.5	85	76	68	61	72	68	61	54	59	53	47	44	39	34	28	25	22	18	12	9	7
1.6	85	75	66	59	71	67	60	53	59	52	45	44	39	33	28	25	21	18	12	9	7
1.7	84	74	65	58	71	66	59	52	58	51	44	44	38	32	28	25	21	17	12	9	7
1.8	84	73	64	56	70	65	58	50	57	50	43	43	37	32	28	25	21	17	12	9	6
1.9	84	73	63	55	70	65	57	49	57	49	42	43	37	31	28	25	20	16	12	9	6
2.0	83	72	62	53	69	64	56	48	56	48	41	43	37	30	28	24	20	16	12	9	6
2.1	83	71	61	52	69	63	55	47	56	47	40	43	36	29	28	24	20	16	13	9	6
2.2	83	70	60	51	68	63	54	45	55	46	39	42	36	29	28	24	19	15	13	9	6
2.3	83	69	59	50	68	62	53	44	54	46	38	42	35	28	28	24	19	15	13	9	6
2.4	82	68	58	48	67	61	52	43	54	45	37	42	35	27	28	24	19	14	13	9	6
2.5	82	68	57	47	67	61	51	42	53	44	36	41	34	27	27	23	18	14	13	9	6
2.6	82	67	56	46	66	60	50	41	53	43	35	41	34	26	27	23	18	13	13	9	5
2.7	82	66	55	45	66	60	49	40	52	43	34	41	33	26	27	23	18	13	13	9	5
2.8	81	66	54	44	66	59	48	39	52	42	33	41	33	25	27	23	18	13	13	9	5
2.9	81	65	53	43	65	58	48	38	51	41	33	40	33	25	27	23	17	12	13	9	5
3.0	81	64	52	42	65	58	47	38	51	40	32	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5
3.1	80	64	51	41	64	57	46	37	50	40	31	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5
3.2	80	63	50	40	64	57	45	36	50	39	30	40	31	23	27	22	16	11	13	8	5
3.3	80	62	49	39	64	56	44	35	49	39	30	39	31	23	27	22	16	11	13	8	5
3.4	80	62	48	38	63	56	44	34	49	38	29	39	31	22	27	22	16	11	13	8	5
3.5	79	61	48	37	63	55	43	33	48	38	29	39	30	22	26	22	16	11	13	8	5
3.6	79	60	47	36	62	54	42	33	48	37	28	39	30	21	26	21	15	10	13	8	5
3.7	79	60	46	35	62	54	42	32	48	37	27	38	30	21	26	21	15	10	13	8	4
3.8	79	59	45	35	62	53	41	31	47	36	27	38	29	21	26	21	15	10	13	8	4
3.9	78	59	45	34	61	53	40	30	47	36	26	38	29	20	26	21	15	10	13	8	4
4.0	78	58	44	33	61	52	40	30	46	35	26	38	29	20	26	21	15	9	13	8	4
4.1	78	57	43	32	60	52	39	29	46	35	25	37	28	20	26	21	14	9	13	8	4
4.2	78	57	43	32	60	51	39	29	46	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4
4.3	78	56	42	31	60	51	38	28	45	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4
4.4	77	56	41	30	59	51	38	28	45	34	24	37	27	19	26	20	14	8	13	8	4
4.5	77	55	41	30	59	50	37	27	45	33	24	37	27	19	25	20	14	8	14	8	4
4.6	77	55	40	29	59	50	37	26	44	33	24	36	27	18	25	20	14	8	14	8	4
4.7	77	54	40	29	58	49	36	26	44	33	23	36	26	18	25	20	13	8	14	8	4
4.8	76	54	39	28	58	49	36	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	8	14	8	4
4.9	76	53	38	28	58	49	35	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	7	14	8	4
5.0	76	53	38	27	57	48	35	25	43	32	22	36	26	17	25	19	13	7	14	8	4

Ceiling or Floor Cavity Ratio

reflectance values found will then be ρ_{cc} (effective ceiling cavity reflectance) and ρ_{fc} (effective floor cavity reflectance).

Step 3:

With these values of ρ_{cc}, ρ_{fc}, and ρ_w (wall reflectance), and knowing the room cavity ratio (RCR) previously calculated, find the coefficient of utilization in the appropriate table for the luminaire under consideration. Note that since the table is now linear, linear interpolations can be made for exact cavity ratios or reflectance combinations.

Since the coefficient of utilization found will be for a 20% effective floor cavity reflectance, it will be necessary to correct for the ρ_{fc} as previously determined. This is done by reference to tables C or D to find a multiplier to be used in conjunction with the already determined coefficient of utilization.

C.U. final = C.U. (20% floor) x Multiplier for actual ρ_{fc}

Step 4:

Computation of footcandle level is performed using standard lumen method formula.

$$FC_{initial} = \frac{\text{No. of fixtures x lamps/fixture x lumens/lamp x C.U}}{\text{Area}}$$

If maintained illumination levels are to be calculated, the above formula should be modified by multiplying by a maintenance factor composed of factors to consider

TABLE C

MULTIPLYING FACTORS FOR 10 PER CENT EFFECTIVE FLOOR CAVITY REFLECTANCE (20 PER CENT = 1.00)

% EFFECTIVE CEILING CAVITY REFLECTANCE, ρ_{cc}	80				70				50			30			10		
% WALL REFLECTANCE, ρ_w	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
ROOM CAVITY RATIO																	
1	923	929	935	940	933	939	943	948	956	960	963	973	976	979	989	991	.993
2	931	942	950	958	940	949	957	963	962	968	974	976	980	985	988	991	995
3	939	951	961	969	945	957	966	973	967	.975	981	978	983	.988	988	992	.996
4	944	958	969	978	950	963	973	980	972	980	986	980	986	.991	.987	992	.996
5	949	964	976	983	954	968	978	985	975	983	989	981	988	993	987	992	.997
6	953	969	980	986	958	972	982	989	977	985	992	982	989	.995	987	993	.997
7	957	973	983	991	961	975	985	991	979	.987	994	983	990	.996	987	.993	.998
8	960	976	986	.993	963	977	987	993	981	988	995	984	991	997	987	.994	.998
9	963	978	987	994	965	979	989	994	983	990	.996	985	992	998	988	994	.999
10	965	980	989	995	967	981	990	995	984	.991	997	986	993	.998	988	.994	.999

TABLE D

MULTIPLYING FACTORS FOR 30 PER CENT EFFECTIVE FLOOR CAVITY REFLECTANCE (20 PER CENT = 1.00)

% EFFECTIVE CEILING CAVITY REFLECTANCE, ρ_{cc}	80				70				50			30			10		
% WALL REFLECTANCE, ρ_w	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
ROOM CAVITY RATIO																	
1	1 092	1 082	1 075	1 068	1 077	1 070	1 064	1 059	1 049	1 044	1 040	1 028	1 026	1 023	1 012	1 010	1 008
2	1 079	1 066	1 055	1 047	1 068	1 057	1 048	1 039	1 041	1 033	1 027	1 026	1 021	1 017	1 013	1 010	1 006
3	1 070	1 054	1 042	1 033	1 061	1 048	1 037	1 028	1.034	1 027	1 020	1 024	1 017	1 012	1 014	1 009	1 005
4	1 062	1 045	1 033	1 024	1 055	1 040	1 029	1 021	1 030	1 022	1 015	1 022	1 015	1.010	1 014	1 009	1 004
5	1 056	1 038	1 026	1 018	1 050	1 034	1 024	1 015	1 027	1 018	1 012	1 020	1.013	1 008	1 014	1 009	1 004
6	1 052	1 033	1 021	1 014	1 047	1 030	1 020	1 012	1 024	1 015	1 009	1 019	1 012	1 006	1 014	1 008	1 003
7	1 047	1 029	1 018	1 011	1 043	1 026	1 017	1 009	1 022	1 013	1 007	1 018	1.010	1 005	1 014	1 008	1 003
8	1 044	1 026	1 015	1 009	1 040	1 024	1.015	1.007	1 020	1 012	1 006	1 017	1.009	1 004	1 013	1 007	1.003
9	1 040	1 024	1 014	1 007	1 037	1 022	1 014	1 006	1 019	1 011	1.005	1 016	1.009	1 004	1.013	1 007	1 002
10	1 037	1 022	1 012	1 006	1 034	1.020	1 012	1 005	1 017	1 010	1 004	1 015	1 009	1.003	1 013	1 007	1.002

lamp lumen depreciation (LLD) and luminaire dirt depreciation (LDD). The reflection factors of the room surfaces used in finding the coefficient of utilization should also be the predicted in-service values of reflectance.

Example

A typical classroom is 28' wide and 32' long and has a 12' 6" ceiling height Reflectances: Ceiling 80%, Walls 50%, Floor 10% Luminaire No. 6800 REALITE II is to be used on 2' 6" stems Work plane is 2' 0". Find the coefficient of utilization.

1) Calculate cavity ratios as follows or look up in table of cavity ratios (Table A).

$$CCR = \frac{5(2.5)(28 + 32)}{28 \times 32} = 84$$

$$RCR = \frac{5(8)(28 + 32)}{28 \times 32} = 2.7$$

$$FCR = \frac{5(2)(28 + 32)}{28 \times 32} = 67$$

2) In table B look up effective cavity reflectances for ceiling and floor cavities ρ_{cc} for the ceiling cavity will be 68% while ρ_{fc} for the floor cavity will be 11%.

(3) Knowing the room cavity ratio (RCR), it is now possible to find the coefficient of utilization for the No. 6800 luminaire in a room having an RCR of 2 7 and effective reflectances as follows:

ρ_{cc} = 68%; ρ_w = 50%, ρ_{fc} = 20%

This c.u. = 56. Note that this c.u is for an effective floor reflectance of 20% while the actual effective reflectance of the floor ρ_{fc} is 11%. To correct for this, locate the appropriate multiplier in table C for the RCR already calculated (2.7). It is .955 and is found by interpolating between the numbers for 60% and 70% ρ_{cc} and between RCR's of 2.0 and 3.0. Then:

$$C.U._{final} = 56 \times .955 = .53$$

(4) Illumination level can now be calculated if we know the number of units to be used and the lamp lumen rating.

$$F.C._{initial} = \frac{\text{No. of fixtures} \times \text{lamps/fixture} \times \text{lumens/lamp} \times C.U.}{\text{Area}}$$

COEFFICIENTS OF UTILIZATION

Zonal Cavity Method

NO. 6004

ρ_{fc} 20%

ρ_{cc}	80%				70%				50%			30%			10%			0%
ρ_w	70%	50%	30%	10%	70%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
1	73	70	68	65	71	67	65	63	64	62	60	60	58	57	57	55	54	53
2	67	62	58	55	65	61	57	54	57	54	.51	53	52	49	51	49	47	46
3	62	56	51	47	60	54	50	46	51	48	45	49	46	43	46	44	42	40
4	57	50	45	41	55	49	44	40	46	42	39	44	41	38	42	40	37	35
5	53	45	39	35	51	44	39	35	42	37	.34	40	36	33	.38	35	32	.31
6	49	41	35	31	47	.40	.35	31	38	33	30	36	.32	29	35	31	28	27
7	45	37	31	28	44	36	31	27	34	30	26	33	29	26	31	28	25	24
8	42	33	28	24	40	32	27	24	31	26	23	30	25	23	28	25	22	.21
9	38	30	24	21	37	29	24	21	28	23	20	.27	23	20	25	22	19	18
10	35	27	22	18	35	26	22	18	25	21	18	24	.20	.17	23	20	17	16

NO. 6228

ρ_{fc} 20%

ρ_{cc}	80%				70%				50%			30%			10%			0%
ρ_w	70%	50%	30%	10%	70%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
1	.75	72	70	67	.73	70	.68	.66	67	65	.63	64	62	61	61	.60	59	57
2	69	64	60	57	.67	63	59	.56	.60	.57	.54	.57	.55	.53	55	.53	.51	50
3	64	58	53	49	62	56	52	48	54	50	47	52	.49	46	50	.47	45	44
4	59	52	47	43	57	51	46	42	49	45	41	.47	43	40	45	43	.40	38
5	54	46	41	37	53	.45	40	36	44	39	36	42	38	35	41	.37	.35	33
6	.50	42	36	32	49	.41	36	32	40	35	.32	38	.34	31	.37	.33	31	29
7	46	38	32	28	45	37	.32	.28	36	31	28	35	31	.27	.34	.30	27	26
8	43	34	29	25	42	33	28	24	32	28	24	31	27	24	30	26	.24	22
9	39	31	25	21	38	30	25	21	29	24	.21	28	24	21	27	23	.21	.19
10	.36	28	22	.19	36	27	22	.19	26	.22	19	26	21	.18	.25	21	.18	.17

NO. 6404

ρ_{fc} 20%

ρ_{cc}	80%				70%				50%			30%			10%			0%
ρ_w	70%	50%	30%	10%	70%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
1	73	70	68	66	71	68	67	65	66	.64	63	63	62	61	61	60	59	58
2	67	63	59	56	66	62	58	56	59	57	54	57	55	53	55	54	.52	51
3	62	57	52	49	61	56	52	48	54	50	47	52	49	47	51	48	46	45
4	58	51	46	43	57	50	46	42	49	.45	42	47	.44	41	46	.44	41	39
5	53	46	41	37	52	45	40	37	44	40	36	43	39	36	.41	38	.36	34
6	50	42	36	33	48	41	36	32	40	35	32	.39	35	32	38	34	32	30
7	46	38	32	29	45	37	32	29	36	32	28	.35	31	28	34	31	28	.27
8	42	34	29	25	41	33	28	25	32	28	25	32	28	25	31	.27	24	23
9	39	31	25	22	38	30	25	22	29	25	22	29	24	21	.28	24	21	.20
10	36	.28	23	19	36	27	23	19	27	22	19	.26	22	19	25	22	.19	.18

NO. 6414

ρ_{fc} 20%

ρ_{cc}	80%				70%				50%			30%			10%			0%
ρ_w	70%	50%	30%	10%	70%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
1	75	73	.71	68	74	71	69	67	68	67	65	66	64	.63	63	.62	61	60
2	.70	65	61	58	.68	65	.60	58	62	59	56	59	57	55	57	55	54	.52
3	65	.59	.54	50	63	.58	53	.50	56	52	49	54	51	48	52	50	47	.46
4	.60	.53	48	.44	.59	.52	.47	.44	.50	.46	.43	.49	.45	.43	47	.45	42	.41
5	.55	.48	.42	38	.54	47	42	38	45	41	.38	44	40	37	43	.40	37	.35
6	51	.43	38	.34	50	42	.37	33	.41	37	33	.40	36	.33	39	.35	33	.31
7	.47	.39	34	30	46	38	.33	30	.37	33	29	36	32	29	36	32	29	28
8	44	.35	.30	26	.43	.34	29	.26	.34	29	26	.33	29	.25	32	28	.25	24
9	40	32	26	.22	39	31	.26	22	.30	.26	22	.30	25	.22	29	25	22	21
10	.37	29	23	20	37	28	.23	.20	28	23	20	27	23	20	26	22	19	.10

NO. 6444

ρ_{fc} 20%

ρ_{cc}	80%				70%				50%			30%			10%			0%
ρ_w	70%	50%	30%	10%	70%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
1	75	72	71	68	74	70	69	67	68	66	65	65	.64	63	63	62	61	.60
2	69	65	61	58	68	64	61	58	62	59	56	.59	57	.55	58	56	54	.53
3	65	59	54	51	63	58	54	50	56	52	50	54	51	49	53	50	48	.47
4	60	53	48	45	59	52	48	44	51	47	44	49	.46	43	48	46	43	.41
5	55	48	43	39	54	47	42	39	46	42	38	45	41	38	44	40	38	36
6	52	44	38	35	50	43	38	34	42	37	34	.41	37	34	40	36	33	32
7	48	39	34	31	47	39	.34	30	38	33	30	37	33	.30	36	32	.30	.28
8	44	35	30	27	43	35	30	26	34	30	26	33	29	26	32	29	26	25
9	40	32	27	23	39	32	.26	23	31	26	23	.30	26	23	29	25	23	21
10	37	29	24	20	37	28	24	20	28	23	20	.27	23	20	.27	23	20	19

NO. 6464

ρ_{fc} 20%

ρ_{cc}	80%				70%				50%			30%			10%			0%
ρ_w	70%	50%	30%	10%	70%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
1	.74	.71	70	67	.73	69	68	66	67	65	64	64	63	62	62	61	60	59
2	.68	.64	61	58	67	.64	60	57	61	58	56	58	56	54	57	55	53	52
3	.64	58	54	50	62	57	53	.50	55	52	49	53	.50	48	52	49	47	46
4	59	.52	.48	44	58	52	.47	44	50	46	.43	49	45	42	47	45	.42	.41
5	55	47	.42	38	53	.46	.42	38	45	41	38	44	40	.37	43	40	.37	.36
6	.51	43	.38	34	49	42	37	34	41	37	33	40	36	.33	39	36	33	.32
7	47	39	.34	30	46	38	33	.30	37	33	.29	36	32	29	36	32	29	.28
8	43	35	30	26	42	34	30	26	34	29	26	33	29	26	32	28	25	.24
9	40	31	26	23	39	31	26	23	.30	26	22	30	.25	22	29	25	22	21
10	.37	.28	.23	.20	.37	.28	23	20	27	23	20	27	23	20	26	22	20	.19

NO. 6500

ρ_{fc} 20%

ρ_{cc}	80%				70%				50%			30%			10%			0%
ρ_w	70%	50%	30%	10%	70%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
1	73	70	68	65	71	67	65	63	63	61	60	59	57	56	55	54	53	.51
2	67	63	59	55	65	.61	57	54	57	54	51	52	51	49	50	48	46	44
3	62	56	51	47	60	54	50	46	51	47	44	48	45	42	45	43	.40	39
4	58	50	45	41	55	49	44	40	46	42	39	43	40	37	41	39	36	34
5	53	45	40	35	51	44	39	35	41	37	34	39	.35	32	37	34	31	30
6	49	41	35	31	47	39	34	30	37	33	29	35	31	29	33	30	27	26
7	45	36	31	27	43	35	30	27	34	29	26	32	28	25	30	27	24	23
8	41	33	27	23	40	32	27	23	30	26	.22	29	25	22	27	24	21	20
9	38	29	23	20	37	29	23	20	27	22	19	26	22	19	24	21	.18	.17
10	35	26	21	18	34	26	21	18	24	20	17	.23	19	16	22	18	16	15

NO. 6604

ρ_{fc} 20%

ρ_{cc}	80%				70%				50%			30%			10%			0%
ρ_w	70%	50%	30%	10%	70%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
1	.77	.74	.72	69	.75	72	70	.68	.69	67	66	66	65	63	64	63	61	.60
2	71	66	62	59	69	65	.61	58	62	59	57	59	58	55	.58	56	54	53
3	.66	.60	.55	.51	64	58	54	.50	.56	53	.50	54	51	49	53	50	48	46
4	61	.54	48	.44	59	.53	48	.44	.51	47	.43	49	46	43	48	.46	42	41
5	.56	.48	.43	38	55	47	42	38	.46	41	38	.44	40	37	.43	40	37	35
6	.52	.44	38	.34	51	43	38	.34	41	.37	33	.40	36	33	39	35	33	.31
7	.48	.39	.34	30	.47	.39	33	.30	.38	.33	.29	.36	.32	29	.36	.32	29	.27
8	.44	.35	30	26	.43	.35	30	.26	.34	29	.26	.33	.29	25	32	28	25	.24
9	.41	.32	26	22	.40	.31	26	.22	30	26	22	30	25	22	29	.25	22	.21
10	.38	.29	.23	.20	.37	28	.23	.20	.28	23	.20	.27	.23	.19	26	.22	.19	.18

centro de educación continua
facultad de ingeniería, unam

CURSO INGENIERIA DE ILUMINACION

ESTUDIO ECONOMICO

ING. CARLOS ALVAREZ BRAVO.

Tacuba 5, primer piso. México 1, D.F.
Teléfonos: 521-30-95 y 513-27-95

E S T U D I O E C O N O M I C O

a) Costo de Instalación.

b) Costo de Operación.

c) Costo de Mantenimiento.

CONCEPTOS BASICOS PARA UN ESTUDIO ECONOMICO DE UN DETERMINADO PROYECTO DE ILUMINACION

Normalmente se toman en consideración datos concretos como son los costos de instalación eléctrica, el de montaje del propio luminario, el de Operación y el de Mantenimiento, para poder cuantificar y determinar la conveniencia de instalar un sistema de iluminación incandescente, fluorescente, vapor de mercurio, etc.

El costo de la instalación eléctrica, debemos considerarlo de acuerdo con el proyectista de la misma, ya que dependiendo de las características especiales del proyecto en cuestión, así será el costo por salida, ya sea ésta una instalación del tipo Comercial, Industrial o de Alumbrado Exterior o Alumbrado Público.

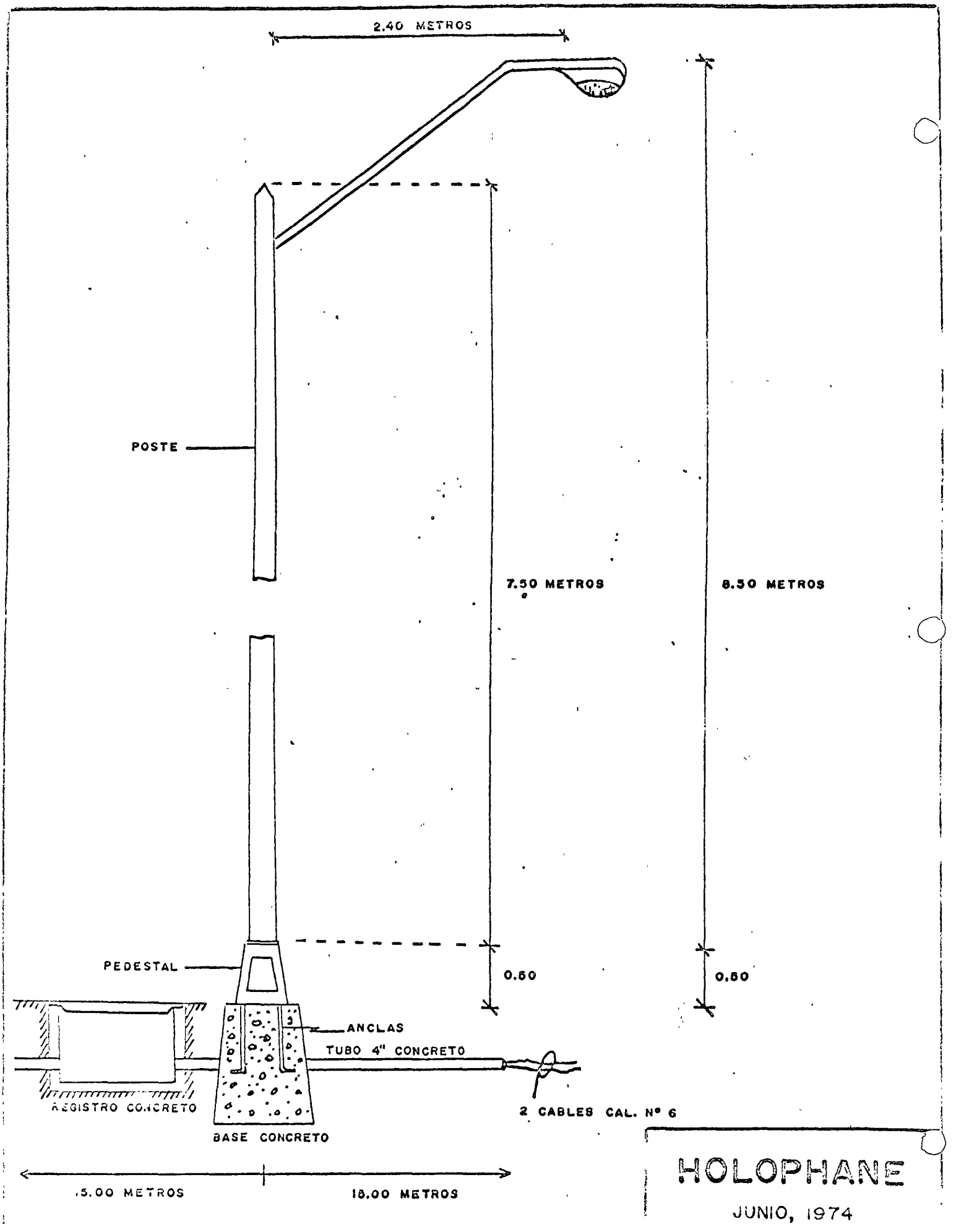
Estos costos son muy variables por el tipo de material que se especifique; por el sistema de fijación que se requiera; p por el sistema de canalización que sea apropiado, pudiendo ser estos: Tuberías Conduit, Charolas de Lámina, Ductos, Ductos de Asbesto-Cemento o de algún plástico especial para instalación subterránea; también hay que considerar la altura de montaje, el lugar propio de la obra y las dificultades que presente el terreno de la misma.

Para considerar del costo de montaje;del luminario se ha podido llegar a un criterio más estable, haciendo la siguiente división:

En luminarios de Alumbrado Comercial, un costopor Montaje de $ 50.00
Para luminarios Industriales, de $ 60.00 a 100.00 según la altura de montaje.
Luminarios para Alumbrado Exterior o alumbrado Público, de $ 100.00 a 500.00

Ejemplo: El costo de Mano de Obra para una instalación de Alumbrado Público, sería el siguiente.

Consideremos la instalación de postedd con una altura de caña de 7.50 mts., con un brazo de 2.40 mts. de longitud, y una base podestal de 50 cms., de altura, obteniendose una altura de montaje total de 9.00 mts., de acuerdo con el dibujo anéxo. suponiendo que la distancia interpostal es de 30 mts., entonces debemos considerar 16 m. para cada lado del poste con tubo de Asbesto/Cemento de 4 " de diámetro, base y un


2.40 METROS
POSTE
7.50 METROS
8.50 METROS
PEDESTAL
0.50
0.50
ANCLAS
TUBO 4" CONCRETO
REGISTRO CONCRETO
2 CABLES CAL. Nº 6
BASE CONCRETO
15.00 METROS
18.00 METROS
HOLOPHANE
JUNIO, 1974

registro de concreto, para la instalación eléctrica.

El cableado subterráneo alimentador será por medio de dos calbles Calibre No. 6 y el alambrado derivado para el poste y brazo con dos cables Cal No. 10.

El costo de Mano de Obra para cada una de las partidas siguientes , sería:

Base de Concreto	$	100.00
Registro de Concreto.		75.00
Base Pedestal		40.00
Ducto de Concreto		210.00
Cable Cal. No. 6		120.00
Cable Cal. No. 10.		50.00
Poste		75.00
Luminario.		40.00
conexiones del balastro.		40.00
	$	750.00

Como podemos apreciar el desglose de la mano de obra involucra parte de la Obra Civil y parte de la Obra eléctrica.

El costo de operación es aquél importe que está constituido por el número de horas trabajadas por el sistema de alumbrado multiplicado por el precio de energía eléctrica; lo cual estará determinado por el costo de la energía de la localidad en cuestión y según la clase de contrato que se tenga con la Compañía Suministradora.

Es muy importante considerar para este costo, el tipo de lámpara ya que dependiendo de la que se seleccione, se podrá obtener un mayor o menor costo de operación por la eficiencia lumínica de la propia lámpara.

El costo del mantenimiento no nada más involucra el recambio de la lámpara sino del mantenimiento y limpieza del propio luminario, ya que del medio ambiente dependerá el ciclo de limpieza del luminario para poder obtener su máxima eficiencia.

En la selección del conjunto lámpara y luminario que debemos hacer para un determinado proyecto, debemos de considerar no solamente el costo inicial, que es sumamente importante, sino también el costo de mantenimiento, ya que de ello dependerá de que el Inversionista pueda recuperar su inversión en equipo de alumbrado y que ésta pueda retribuirle una utilidad decorosa.

Hay que seleccionar para cada caso en especial el luminario apropiado y que garantice el buen funcionamiento, así como la lámpara incidada por su eficiencia su vida total, su color y algún aspécto técnico que no afecte el producto que se haya a fabricar en dicho lugar. Este costo de mantenimiento estará formado por el costo de las lámparas de recambio y su mano de obra; Así como la mano de obra por la Limpieza del luminario.

El costo de mantenimiento está formado de la siguiente manera:

Tenemos que obtener el "Factor de remplazo" que es igual al número de horas de uso por año entre el número de horas de vida de la lámpara.

El número de lámparas instaladas debemos de multiplicarlo por el Factor de remplazo, con lo que obtendremos el número de lámparas que habrá que recambiar por un año. Esto multiplicado por el precio de la lámpara nos dará el costo anual de lámparas de recambio; a esta cantidad le sumamos el costo de mano de obra por remplazo de lámparas y limpieza del luminario, con lo cual obtendremos el costo de mantenimiento de que hablabamos.

Estos costos en conjunto, con el costo inicial, nos indicarán la conveniencia de utilizar un determinado sistema que sea más económico en comparación con algún otro propuesto.

"Economía" es una palabra que ha sufrido transformaciones en los últimos años, ya que en la antiguedad entendían por "Economía" un ahorro, las cosas debañían de ser baratas, en el campo de la iluminación , por "Economía" se entendía la relación entre unidades de iluminación y unidades monetarias, cuanto más luxes por menos pesos se pudiesen obtener en un tiempo determinado, o dicho en otras palabras cuanto más elevado fuera el rendimiento lúmenes por Watts de una lámpara, éste se consideraba más económico, pero no se tomaba en cuenta las utilidades extras que el sistema de alumbrado proporcionaba.

Hoy en día, los Industriales e Inversionistas, están captando el nuevo concepto de "Economía" como la relación de ganancia y costo, o sea entre ganancia suplementaria y costo adicional. Esto es, podemos mencionar que con una buena iluminación se pueden obtener entre otras cosas que el personal que labora en este ambiente tendrá una reducción de la fatíga visual y en general de la fatíga fisica y como resultante una mayor eficiencia en su rendimiento, observando mejor calidad del producto, una reducción en accidentes, en problemas laborales, un mejora caracter en general del personal, una mentalidad positiva tanto del personal como de los directivos, ya que para cualquier persona será agradable pensar ir a trabajar a u un ambiente en el cual se encuentra comodo y contento.

El Concepto "Economía" puede definirse en el mundo Industrial moderno como un racionalismo que implica una optimización tanto de las condiciones de trabajo como de los beneficios, para lograr tal economía, hace falta antes que nada un aumento, muchas veces relativamente pequeño, en los costos.

Según estudios llevados en Europa en la década de los "50" para Plantas Industriales, resultó que el costo del alumbrado anual medio era equivalente a un 2% del costo de los salarios; posteriormente se ha comprobado que en la década de los "60" este costo de alumbrado tiende a disminuir llegando hasta 1.5% del costo de salarios, de este estudio se derivó que podemos obtener mejores sistemas de alumbrado con mayor calidad de color y mayor eficiencia; con los resultados ya mencionados con anterioridad.

Quiero volver a insistir en un punto de suma importancia y es que todos los que laboramos en la Industria de Iluminación, tenemos el deber de orientar, a todas aquellas personas quienes tienen que tomar decisiones sobre los proyectos de iluminación, ya que de esto dependerá la salud y el progreso del País, ya que la iluminación contribuirá a las buenas relaciones Obrero-Patronales y con todo ello el progreso de la Humanidad.

EJEMPLO DE ESTUDIO ECONOMICO

HOLOPHANE, S.A. DE C.V.
APARTADO POSTAL NO. 75 - 415, MEXICO 14, D. F., TEL. 5- 65- 51- 00

PROYECTO DE ILUMINACION

DE: NAVE INDUSTRIAL

DIRECCION:

ATENCION:

MEMORIA DE CALCULOS.

LUGAR

TRABAJO A DESARROLLAR

AREA: 2400 M^2 LARGO: 60 M ANCHO 40 M ALTURA 7 M.

ALTURA DE MONTAJE AL PLANO DE TRABAJO 6 M.

REFLECTANCIAS CONSIDERADAS: PISO 0 % TECHO 0 % MURO 0 %

NIVEL LUMINICO REQUERIDO O RECOMENDADO: 400 LUXES.

NIVEL LUMINICO ACTUAL INSTALADO: POR ACOMODO 398 LUXES.

LUMINARIO REQUERIDO O RECOMENDADO: Industrial Tipo RLM

LUMINARIO ACTUAL INSTALADO:

CARACTERISTICAS:

1 LAMPARA (AS) Incandescente DE 500 WATTS C/U.

ACABADO Claro HORAS DE VIDA SEGUN FABRICANTE 1000

FLUJO LUMINOSO POR LUMINARIOS 8900 LUMENS.

BULBO PS-40 VOLTS 220 BASE Mogul CAT. 500

$$Ic = \frac{\text{Area}}{\text{Altura } (L+A)} = 4\ 6 \qquad RCR = \frac{5(Hm)\ (L+A)}{\text{Area}} = 1.25$$

$$\text{NUMERO DE UNIDADES} = \frac{\text{NIVEL LUMINOSO POR AREA}}{\text{LUMENS/UNIDAD X C. U. X C. M.}}$$

COEFICIENTE DE UTILIZACION (C. U.) 0.69

COEFICIENTE DE MANTENIMIENTO (C.M.) 0.57

NUMERO DE LUMINARIOS POR CALCULO 275

NUMERO DE LUMINARIOS POR ACOMODO 273

ESPACIAMIENTO MAXIMO ENTRE LUMINARIOS 7.80 M.

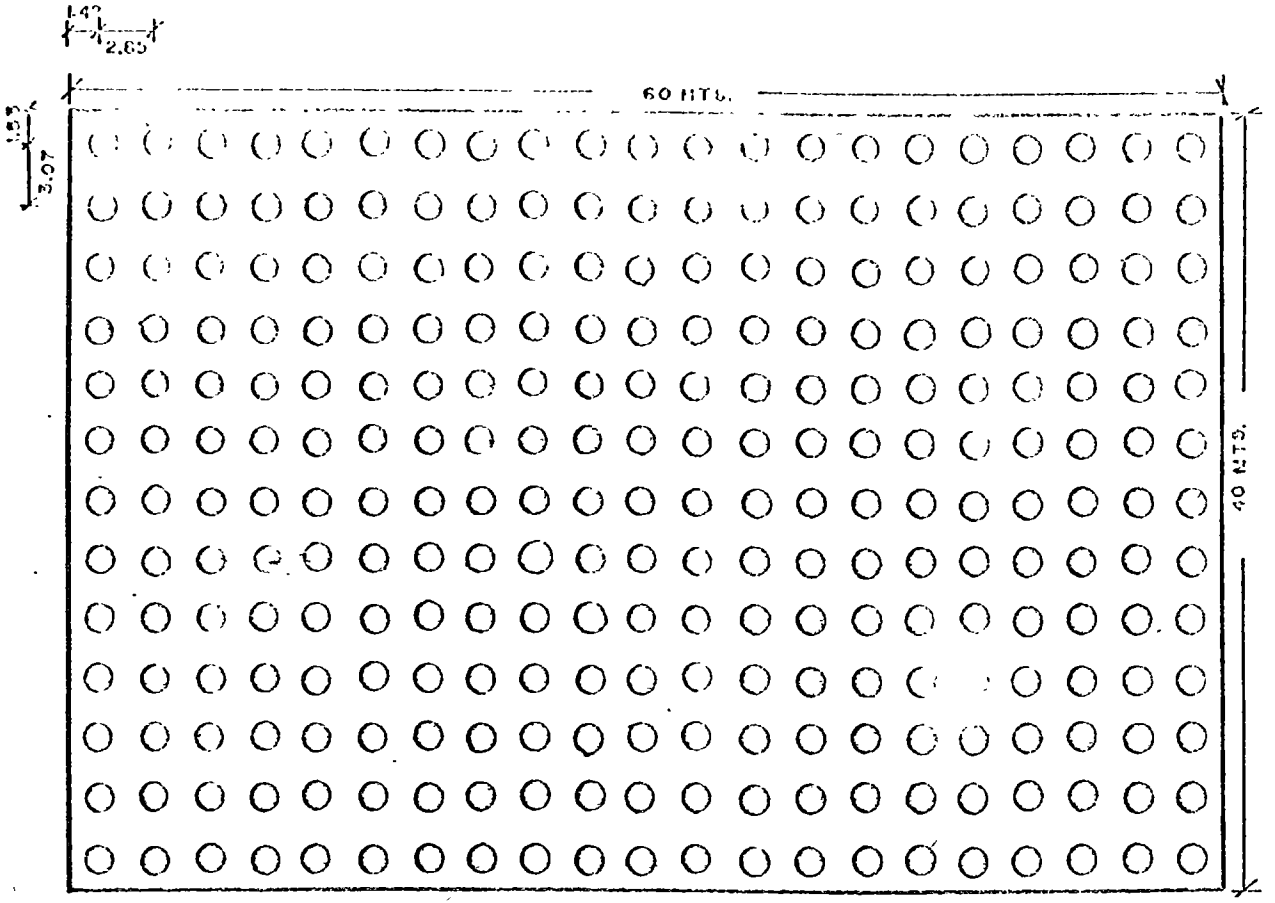
OBSERVACIONES:

ASESOR TECNICO:

FECHA: Junio de 1974.

PROYECTO NO.

DPTO. DE PROYECTOS.



O LUMINARIO INDUSTRIAL TIPO RLM, CON LAMPARA INCANDESCENTE DE 500 WATTS, ACABADO CLARO, 8900 LUMENES, 1000 HORAS DE VIDA.

PROYECTO DE ILUMINACION		
NAVE INDUSTRIAL, S.A.		
FECHA:	JUNIO - 1974	
ESC. 1:400		

H O L C P H A N E , S . A . DE C. V.
A PARTADO POSTAL NO. 75 - 415, MEXICO 14, D. F., TEL. 5- 65- 51- 00

P R O Y E C T O D E I L U M I N A C I O N

DE: NAVE INDUSTRIAL

DIRECCION:

ATENCION:

M E M O R I A D E C A L C U L O S .

LUGAR

TRABAJO A DESARROLLAR

AREA: 2400 M^2 LARGO: 60 M ANCHO 40 M ALTURA 7 M.

ALTURA DE MONTAJE AL PLANO DE TRABAJO 6 M.

REFLECTANCIAS CONSIDERADAS: PISO 0 % TECHO 0 % MURO 0 %

NIVEL LUMINICO REQUERIDO O RECOMENDADO: 400 LUXES.

NIVEL LUMINICO ACTUAL INSTALADO: POR ACOMODO 384 LUXES.

LUMINARIO REQUERIDO O RECOMENDADO: Industrial autobalastrado con reflector prismatico.

LUMINARIO ACTUAL INSTALADO:

C A R A C T E R I S T I C A S :

1 LAMPARA (AS) Vapor de Mercurio DE 400 WATTS C/U.

ACABADO HORAS DE VIDA SEGUN FABRICANTE 24000

FLUJO LUMINOSO POR LUMINARIOS 22500 LUMENS.

BULBO E - 37 VOLTS BASE Mogul CAT. H400D X 33-1

$$Ic = \frac{Area}{Altura\ (L+A)} = 4\ 6 \qquad RCR = \frac{5(Hm)\ (L+A)}{Area} = 1.25$$

$$NUMERO\ DE\ UNIDADES = \frac{NIVEL\ LUMINOSO\ POR\ AREA}{LUMENS/UNIDAD\ X\ C.\ U.\ X\ C.\ M.}$$

COEFICIENTE DE UTILIZACION (C. U.) 0.58

COEFICIENTE DE MANTENIMIENTO (C.M.) 0.63

NUMERO DE LUMINARIOS POR CALCULO 117

NUMERO DE LUMINARIOS POR ACOMODO 112

ESPACIAMIENTO MAXIMO ENTRE LUMINARIOS 8.10 M.

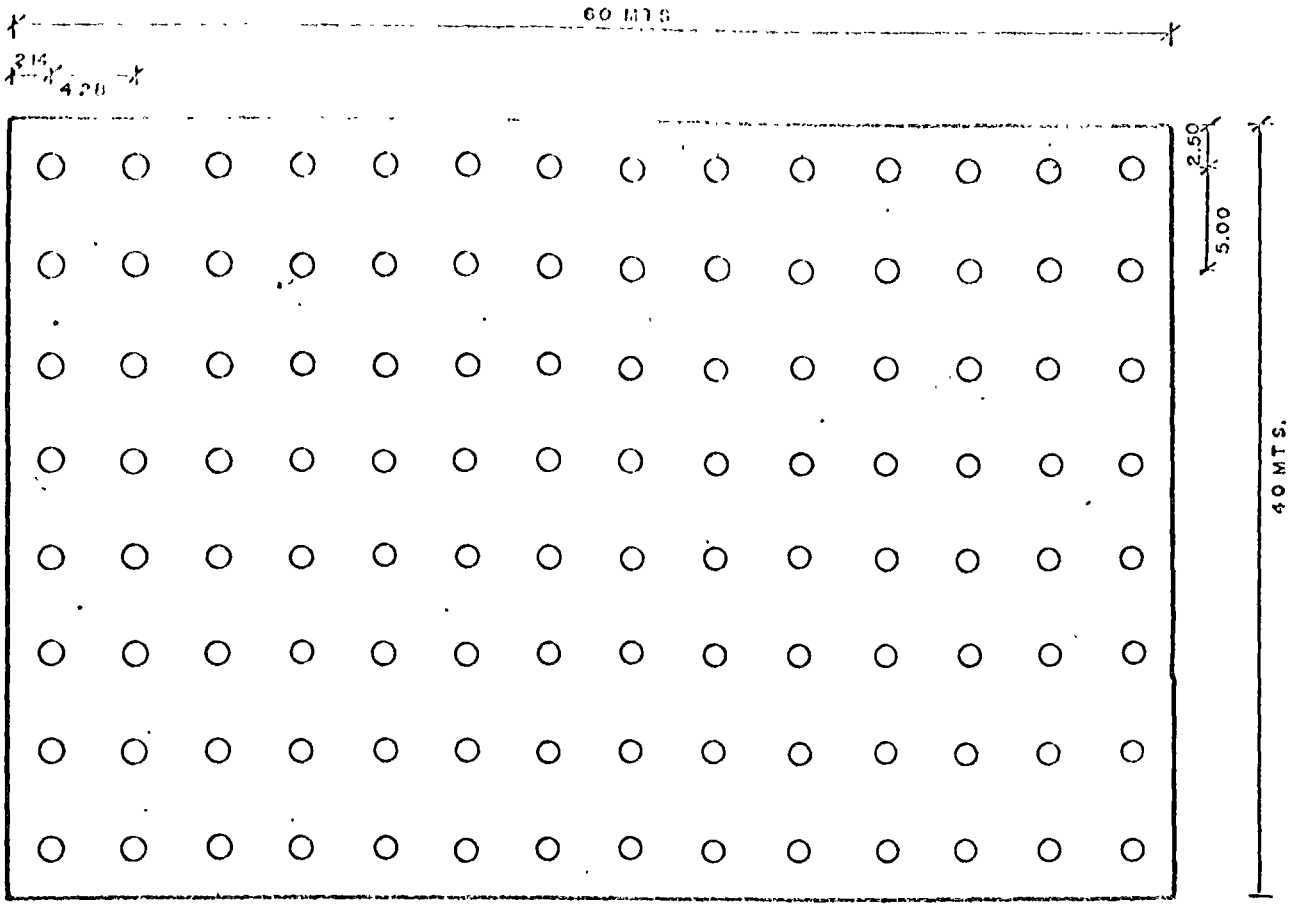
OBSERVACIONES:

ASESOR TECNICO:

FECHA: Junio de 1974°

PROYECTO NO.

DPTO. DE PROYECTOS.



O LUMINARIO INDUSTRIAL AUTOBALASTRADO CON REFLECTOR PRISMATICO, CON LAMPARA DE - VAPOR DE MERCURIO DE 400 WATTS, ACABADO BLANCO DE LUJO, 22500 LUMENES, 24000 HORAS DE VIDA.

PROYECTO DE ILUMINACION		
NAVE INDUSTRIAL, S.A.		
FECHA:	JUNIO - 1974	
ESC: 1:400		

ANALISIS ECONOMICO COMPARATIVO

Nave Industrial.

AREA CONSIDERADA	A = 60 X 40 = 2400 M^2		Junio de 197[illegible]	
REFERENCIA PROYECTO	I		II	
TIPO DE UNIDAD	Luminario Industrial Autobalastrado para operar lámp. de 400 W. de V.M.		Luminario Industrial tipo RLM para operar lámp. inc de 500 W. 220 V.	
COSTO INICIAL				
No. de luminarios	117		275	
Costo por luminario y total	1,598.00	186,966.00	129.00	35,475.00
No. de salidas	117		275	
Costo por salida y total	125.00	14,625.00	125.00	34,375.00
Costo por instalación luminarios	60.00	7,020.00	60.00	16,500.00
Costo inicial sistema (sin Lámp.)		208,611.00		86,350.00
No. de lámp.	117		275	
Costo por lámp. y total	160.00	18,720.00	26.00	7,150.00
Costo inicial sistema (con lámp)		227,331.00		93,500.00
Iluminación promedio (Luxes)	400		400	
Costo inicial sistema por (Lux)		568.30		23[illegible]75
COSTO ANUAL DE OPERACION				
No. de luminarios	117		275	
Watts por luminario	440		500	
Carga total en Kw.	51.48		137.5	
Hs. de uso por año (12 hs. diarias)	4380		4380	
KWH totales por año	225482.4		602250	
Costo anual de energía (0.40 KWH)		90,193.00		240,900.00
Vida de la lámp. en Hs.	24000		1000	
Factor de reemplazo de lámp.	4380/24000=0.18		4380/1000=4.38	
No. de lámp. reemplazadas por año	0.18X117=22		4.38X275=1204	
Costo total de lámp. reemplazadas	22X160.00	3,520.00	1204X26.00	31,304.00
Costo de mantenimiento luminario:				
Por reemplazo de lámp.	20.00	440.00	20.00	24,080.00
Por limpieza del reflector	40.00	4,680.00	40.00	11,00[illegible]
Costo anual de operación por (Lux)		98,833.00		307.284.00
Costo anual de operacion por (Lux)		247.00		768.2[illegible]

ANALISIS ECONOMICO COMPARATIVO

CONCLUSIONES BASADAS EN IGUAL NIVEL DE ILUMINACION

Multiplicar el costo por $\frac{400}{400}$ = 1 para basar las conclusiones.
en igual nivel de ilum.

COSTO INICIAL:

PROYECTO I	$227,331.00
PROYECTO II	$ 93,500.00
ECONOMIA EN FAVOR DEL PROYECTO II	$133,831.00

COSTO ANUAL DE OPERACION:

PROYECTO I	$ 98,833.00
PROYECTO II	$ 307,284.00
ECONOMIA EN FAVOR DEL PROYECTO I	$ 208,451.00

ECONOMIA TOTAL AL FINAL DEL PERIODO DE AMORTIZACION:

(10 Años) a favor del proyecto No. I

10 ($ 208,451.00) — $ 133,831.00 =$1,950.679.00

NOTA:
ESTE ANALISIS ESTA BASADO EN CONDICIONES ESTIMADAS DE TRABAJO.

LOS LUX Y/O EL # DE LUMINARIOS SERAN TAN EXACTOS COMO LAS ESTIMACIONES DE C. U. Y LAS CONDICIONES DE SUCIEDAD.

NO SE CONSIDERAN ESPACIAMIENTOS LOGICOS O CONVENIENTES.

LA DISTRIBUCION FINAL DE LOS LUMINARIOS DEPENDERA DE LAS CONDICIONES ESPECIFICAS DE LA INSTALACION.

HOJA DE DATOS DEL ANALISIS DE COSTO DE ALUMBRADO PARA:

NUVO INDUSTRIAL, S. A.
MEXICO.

GENERAL ELECTRIC DE MEXICO-DEPARTAMENTO DE LAMPARAS
SERVICIO ELECTRONICO DE CALCULO INGENIERIA ILUMINACION.

	SISTEMA 1 #1	SISTEMA 2 #2	SISTEMA 3 #22
	LU400/BU	H1000C36-15	F-40CW/STAY
LAMPARAS REEMPLAZADAS ANUAL:	75.6	56.0625	1005.82
DATOS INTRODUCIDOS POR UNIDAD:			
LUMENES LAMP	47000	55000	3250
# LAMPS/LUM	1	1	2
VIDA LAMP	15000	24000	16500
WATTS ENTRADA	474	1100	94
COEF. DE UTILIZ.	.79	.83	.84
FACTOR BALAST	1	1	.95
DEPREC.LUMEN	.9	.7	.9
DEPREC.SUCIE.	.69	.608	.675
COST. MANO/LUM.	$ 1,850.00	$ 1,700.00	250.00
ALAMB/UNID.	$ 1,380.00	$ 3,300.00	$ 300.00
COSTO INST.C/LU	$ 50.00	$ 50.00	$ 50.00
COST/LAMP NETO	$ 490.00	$ 309.00	$ 19.20

Junio de 1974

ANALISIS DE COSTOS DE ALUMBRADO PARA:
NAVE INDUSTRIAL, S. A.

GENERAL ELECTRIC DE MEXICO-DEPARTAMENTO LAMPARAS.
SERVICIO ELECTRONICO DE CALCULO INGENIERIA ILUMINACION.

	SISTEMA 1 #1	SISTEMA 2 #12	SISTEMA 3 #22
	LU400/BU	H1000C36-15	F40CW/STAY
PARA 23240 METROS CUAD: LUXES PROMEDIO MANTENIDOS	500	499.9	500.1
NUMERO DE LUMINARIOS REQ.	504	598	3688
ESPACIAMIENTO LUMINARIOS	6.79	6.23	2.51

COSTOS INICIALES DE INSTALACION

CARGA CONECTADA - KW	238.896	657.8	346.672
COSTO LUMINARIOS	$ 932,400.00	$ 1,016,600.00	$ 922,000.00
COSTOS ALAMBRADO	$ 695,520.00	$ 1,973,400.00	$ 1,106,400.00
COSTO M/O INSTALAR	$ 25,200.00	$ 29,900.00	$ 184,400.00
COSTO INICIAL LAMP	$ 246,960.00	$ 184,782.00	$ 141,619.00
COSTO TOTAL INICIAL	$ 1,900.080.00	$ 3,204,682.00	$ 2,354,419.00
COSTO INICIAL RELATIVO	100	168.66	123.912

COSTOS ANUALES DE OPERACION

HORAS DE ENCENDIDO ANUAL = 2250
COSTO ENERGIA = 21 CENTAVOS/KWH

COSTO LAMPS ANUAL	$ 37,044.00	$ 17,323.30	$ 19,311.70
M DE O MANT. ANUAL	$ 945.00	$ 700.78	$ 12,572.70
COSTO ELECT. ANUAL	$ [illegible] 878.00	$ 310,811.00	$ 163,803.00
COSTO TOTAL OPERACION	$ 1[illegible],867.00	$ 328,835.00	$ 195,687.00
OPERACION ANUAL RELATIVA	100	217.963	129.708

COSTOS TOTALES ANUAL

COSTO AMORTIZACION	$ 247,968.00	$ 452,985.00	$ 331,920.00
COSTO TOTAL AMORT. + OPERA	$ 398,835.00	$ 781,820.00	$ 527,607.00
TOT. ANUAL RELOPER+AMORT	$ 100	$196.03	$132.29

Junio de 1974.

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO INGENIERIA DE ILUMINACION

1. Ing. Carlos Alvarez Bravo
   Gerente de Ventas
   Holophane, S.A. de C.V.
   Km. 31 de la Carr. México Cuautitlán

2. Ing. Guillermo Chavez Chavez
   Gerente de Diseño
   Cía. Manufacturera de Reactores, S.A.
   Vicente Guerrero No. 28
   México 13, D.F.

3. Ing. Sergio Arturo García Anaya
   Gerente de la Div. de Iluminación
   Sylvania, S.A. de C.V.
   Tenayuca No. 475
   México, D.F. Z.P.13

524.46.50
5

4. Ing. Wenceslao Quintana Marroquín
   Director General
   Bufete de Ingeniería y Proyectos, S.A.
   Benjamin Franklin 222 Desp. 401
   México 18, D.F.

5. Ing. Fernando Quintana O'Farril
   Gerente de Ventas-Iluminación
   Crouse Hinds Domex, S.A. de C.V.
   Calz. del Moral 277
   México 13, D.F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE INGENIERIA DE ILUMINACION
(DEL 20 DE MAYO AL 28 DE JUNIO DE 1974)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
1. ING. ALFREDO AGUILAR CAMPOS Cafetales No. 162 Col. Ex-Hda. Coapa México, D. F. Tel: 5-94-57-07	BANCO DE MEXICO, S. A. Plaza Satnos Degollado No. 10- 8o. Piso México, D. F. Tel: 5-12-19-98
2. SR. JOSE ENRIQUE DIAZ LOPEZ Sur 115 No. 439 México 13, D. F. Tel: 5-81-28-67	ESTRUCTURAS Y CIMENTACIONES, S.A. Minería No. 145 México 18, D. F. Tel: 5-16-04-60 Ext. 150
3. SR. RODOLFO ALFEREZ DOMINGUEZ México, D. F.	
4. ING. RAMON DE J. ANGULO ANGULO Parras No. 17-502 México 11, D. F. Tel: 5-11-89-55	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Ródano No. 14 Col. Cuauhtémoc México, D. F. Tel: 5-14-56-14
5. ING. ALFREDO ARELLANO LOPEZ México, D. F.	HUBARD Y BOURLON CONTRATISTAS, S. A. México, D. F.
6. SR. JOSE CIBRIAN LUNA Desv. Calzada Ermita Iztapalapa 144-BDpto. 24 México, D. F.	CROUSE HINDS DOMEX, S. A. DE C.V. Javier Rojo Gómez 277 México, D. F. Tel: 5-82-33-00
7. ING. ANGEL CONTRERAS MENDOZA Colina de las Termas No. 108 México, D. F. Tel: 5-60-22-85	CIA. DE LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, S. A. Melchor Ocampo 171 México, D. F. Tel: 5-91-01-03
8. ING. ANTONIO CHACON PEREZ México, D. F.	
9. ING. IGNACIO O. GONZALEZ CASTILLO México, D. F.	

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE INGENIERIA DE ILUMINACION
(DEL 20 DE MAYO AL 28 DE JUNIO DE 1974)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
10. ING. ALBERTO GONZALEZ LIRA Cleveland 19-203 México 18, D. F. Tel: 5-63-51-83	INGENIEROS PROYECTISTAS Y CONSULTORES, S.C. Rosales No. 1-Desp. 104 México 1, D. F. Tel: 5-35-18-15
11. ING. ALBERTO HERNANDEZ D.C. Narciso Bassols 3 C.8 Economistas Edo. de México Tel: 5-62-27-42	INDUSTRIA MEXICANA DE REACTORES,S.A. Blvd. Toluca 520-A Naucalpan, Edo. de México Tel: 5-76-27-42
12. ING. R. HERIBERTO HERNANDEZ ENCISO Edificio E-4 Depto. 3 Torres de Mixcoac Plateros México, D. F.	ALIMENTOS FIUDUS, S. A. Joselillo No. 3 Naucalpan, México Tel: 5-57-60-00
13. ING. ENRIQUE LIZARRAGA CARMONA México, D. F.	HUBARD Y BOURLON CONTRATISTAS, S.A. México, D. F.
14. ING. HECTOR LOPEZ FLORES Edif. 71-A Unidad Loma Hermosa Col. Irrigación México 10, D. F. Tel: 5-57-08-30	SACMAG DE MEXICO, S. A. Nueva York 310-7o. y 8o. Piso México, D. F. Tel: 5-23-90-20
15. ING. RODOLFO LORENZO BAUTISTA Obrero Mundial 581-5 Col. Narvarte México, D. F. Tel: 5-19-45-81	EMPRESAS TECNICAS ASOCIADAS PULLMAN, S. A. DE C. V. Blvd. Manuel Avila Camacho No. 40-7o. Piso México, D. F. Tel: 5-57-53-00 Ext. 25
16. SR. JOSE MANRIQUEZ SALAS Liverpool 183-309 México 6, D. F.	COMITE DE REGLAMENTACION DE OBRAS E INSTALACIONES ELECTRICAS Mariano Escobedo No. 724-4o. Piso México, D. F. Tel: 5-33-23-40

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE INGENIERIA DE ILUMINACION
(DEL 20 DE MAYO AL 28 DE JUNIO DE 1974)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
17. ING. SAMUEL MANRIQUEZ TAFOYA México, D. F.	PETROLEOS MEXICANOS Marina Nacional No. 329 México, D. F.
18. SR. CLAUDIO MARTINEZ FALCON Ayuntamiento 133-10 México 1, D. F.	COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Rio Ródano No. 14 México 5, D. F. Tel: 5-53-71-33 Ext. 2317
19. SR. MANUEL MARTINEZ OCAMPO Edif. 58 Ent. "A" Depto. 202 Lomas de Sotelo México 10, D. F. Tel: 5-57-02-92	SDN. DIRECCION GENERAL DE INGENIEROS Manuel Avila Camacho Esc. Legaria México, D. F. Tel: 5-57-56-58
20. ING. HECTOR GILBERTO MOEDANO ORTEGA Pestalozzi 1336-2 México, D. F. Tel: 5-75-84-21	CIA. OPERADORA DE TEATROS, S. A. 16 de Septiembre No. 11 México, D. F. Tel: 5-13-10-60
21. ING. HUMBERTO MORIYAMA MARIZADA Av. 1o. de Mayo No. 2-4 Col. Tacubaya México 18, D. F.	LORISSA Lago Trasimeno No. 141 Col. Anáhuac México, D. F. Tel: 5-31-68-85
22. ING. ENRIQUE MUÑOZ VILLEGAS La Flora No. 39 Pastores Edo. de México Tel: 5-60-16-18	IMEYEL, S. A. M.J. Othon No. 50-A México 8, D. F. Tel: 5-78-70-27
23. ING. RAFAEL OROZCO PANTOJA Monrovia 140-201 Col. Portales México 13, D. F.	COMISION DE ESTUDIOS DEL TERRITORIO NACIONAL San Antonio Abad 124 México, D. F. Tel: 5-78-62-00 Ext. 166-193
24. ING. SALVADOR ORTEGA GARCIA San Matias No. 4-Bis Col. Ixtacalco México 8, D. F. Tel: 5-79-59-09	SECRETARIA DEL PATRIMONIO NACIONAL Insurgentes Sur 550-7o. Piso México, D. F. Tel: 5-64-23-11

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE INGENIERIA DE ILUMINACION
(DEL 20 DE MAYO AL 28 DE JUNIO DE 1974)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
25. ING. JAIME PARAMO MUGUIRO Torres de Mixcoac Edif. A-13 Depto. 1003 México 19, D. F. Tel: 5-93-49-40	OCEI, S. A. Benjamin Franklin No. 222-202 Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 5-16-64-44
26. SR. RENATO PICCINI V. López Cotilla No. 1008 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-59-00-46	ILUMINACION TECNICA, S. A. Insurgentes Sur No. 599 México, D. F. Tel: 5-36-60-09
27. SR. MIGUEL RODRIGUEZ MARTINEZ Sur 16 Manzana "H" Lote 7 Col. A. Oriental México 9, D. F.	CROUSE HINDS DOMEX, S. A. DE C. V. Calzada Javier Rojo Gómez No. 277 México, D. F. Tel: 5-82-33-00
28. ING. RAMIRO RUIZ MONTERO México, D. F.	HUBARD Y BOURLON CONTRATISTAS, S.A. México, D. F.
29. ING. JUAN RAMON TARRAGO MEDINA México, D. F.	HUBARD Y BOURLON CONTRATISTAS, S.A. México, D. F.
30. ING. JORGE TORRES BUENABAD México, D. F.	HUBARD Y BOURLON CONTRATISTAS, S.A. México, D. F.

FUNCIONAMIENTO DE LOS CIRCUITOS DE LAS LAMPARAS FLUORESCENTES

Las lámparas fluorescentes, en unión de todas las de descarga de arco, deben trabajar con la ayuda de un accesorio denominado reactor cuya función es limitar la corriente a la vez que suministrar el voltaje de arranque necesario. A medida que la corriente en el arco aumenta, la resistencia del arco disminuye. En esta forma, el arco en una lámpara fluorescente prácticamente "se escaparía por sí mismo" y consumiría tanta corriente que podría destruir la lámpara si no estuviera sostenida. La función más importante que desempeña un reactor es la de limitar la corriente, ya se trate de una bobina de reactancia, de un capacitor o resistor. Todas las lámparas fluorescentes deben llevar un reactor que esté diseñado especialmente para sus características eléctricas, el tipo de circuito en el que va a trabajar y el voltaje y frecuencia de la fuente de alimentación.

REACTORES

Como se expuso anteriormente, la función primordial de un reactor es regular la corriente en una lámpara fluorescente, pero a la vez también debe suministrar el voltaje adecuado para arrancar la lámpara y proporcionar bajo voltaje para calentar los cátodos continuamente. Si bien las lámparas fluorescentes pueden estar reguladas mediante inductancia, capacitancia o resistencia, la más práctica y más ampliamente utilizada de las tres, es la inductancia. En la mayoría de los casos, el regulador de las lámparas fluorescentes lleva un dispositivo inductivo, como por ejemplo una bobina de reactancia o un autotransformador para regular la corriente. Suele utilizarse también la combinación en serie de bobina inductora y capacitor.

Todos los reactores producen un sonido inherente, descrito comúnmente como "zumbido". Este último cambia según el tipo de reactor que se use: desde un sonido apenas perceptible hasta un ruido perceptible. La mayoría de los fabricantes de reactores catalogan el sonido de éstos mediante las letras "A" hasta "F". Los de la categoría A casi no tienen ningún zumbido y se usan en zonas silenciosas. El zumbido más fuerte lo producen los de la clase F, que se utilizan satisfactoriamente para el alumbrado de calles, fábricas, etc.

Debido a las pérdidas por atenuación que sufren los reactores, consumen muy poco vatiaje que se debe añadir al vatiaje de la lámpara con el objeto de obtener el vatiaje total de los equipos o instalaciones de alumbrado. En la Tabla IV se indica la pérdida aproximada de vatios en un reactor típico instalado en una lámpara fluorescente.

REACTORES DE LA CLASE "P"

Los reactores de la clase "P" están provistos de un protector térmico para cumplir con los requisitos establecidos por "Underwriters' Laboratories". Se trata de un dispositivo tipo reposición automática (termostático), cuya función es la de quitar el reactor del circuito cuando la temperatura de la cubierta del reactor llega a 110°C ± 5°C por un lapso de tiempo bajo condiciones anormales. Ya enfriado el reactor, el protector de reposición se vuelve a cerrar y la lámpara se enciende de nuevo.

Existen cuatro tipos generales de circuitos de funcionamiento para las lámparas fluorescentes, a saber. de precalentamiento, de arranque instantáneo, de arranque de disparo y de arranque rápido.

CIRCUITOS DE PRECALENTAMIENTO

En la figura 14, se ilustra un circuito simple del tipo precalentamiento. Cuando el interruptor está cerrado, se completa el circuito y la corriente calefactora fluye por el electrodo instalado en cada uno de los extremos de la lámpara. Tras un corto tiempo de precalentamiento (generalmente como un segundo), se abre el circuito. Este último aplica un impulso de alto voltaje a través de la lámpara y hace que el arco golpee los cátodos. El interruptor se puede accionar manualmente, como en el caso de las lámparas de escritorio en que se oprime un botón para cerrar el circuito de arranque y soltándolo después para abrir el circuito de arranque y golpear el arco. Más a menudo, el interruptor es automático y se llama arrancador. Más adelante hablaremos sobre los varios tipos de arrancadores.

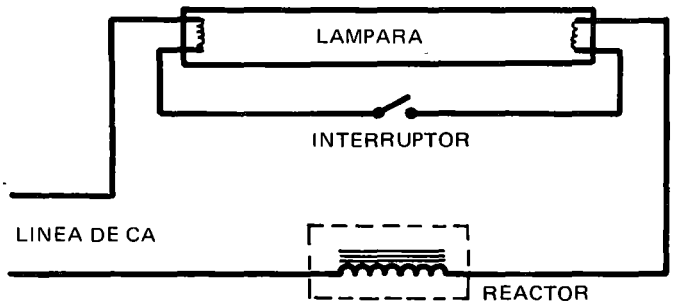


Figura 14. Circuito simple de precalentamiento

Las lámparas de precalentamiento se pueden usar con reactores sencillos o para varias lámparas. El de tipo sencillo lleva una sola bobina de reactancia o una bobina con un autotransformador para suministrar el voltaje necesario para arrancar y operar la lámpara. El reactor para usarse con dos lámparas generalmente es del tipo denominado de adelanto y retraso como el que se ilustra en la figura 15.

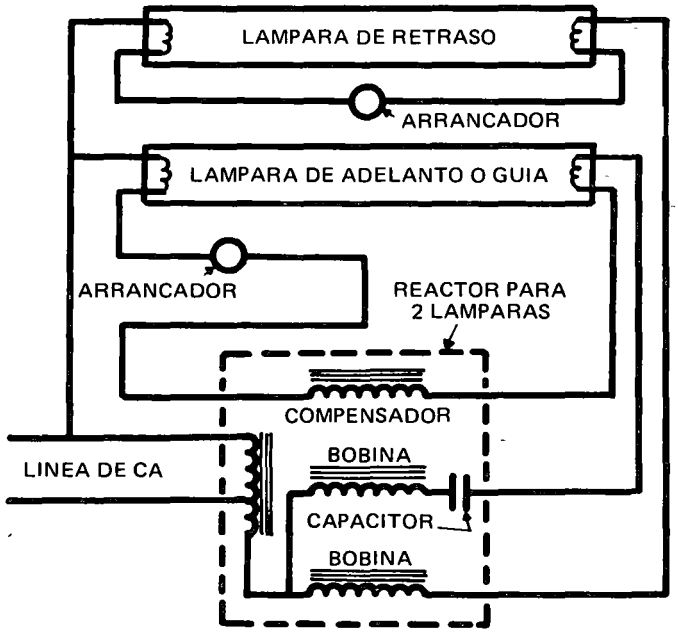


Figura 15. Diagrama del circuito de un reactor de dos lámparas de precalentamiento de adelanto y retraso

atmosféricas, incluyendo temperaturas extremadamente frías, ventarrones, etc., en donde las lámparas desprovistas de guarniciones no podrían funcionar en forma eficiente. Las lámparas envueltas en guarniciones propias para resistir condiciones atmosféricas rígidas, se ofrecen en varios tamaños, tales como la Slimline, las de alta emisión lumínica y las de muy alta emisión lumínica. La envoltura propiamente dicha es T14-1/2 (1-13/16" de diámetro), de vidrio. Se recomiendan para usarse en artefactos abiertos instalados a la intemperie, así como también en congeladores grandes, en los trenes o metro y en túneles donde existen condiciones atmosféricas severas.

LAMPARAS CIRCULARES

Aun cuando las lámparas circulares son del tipo de arranque rápido diseñadas para funcionar con reactores circulares de arrânque rápido, también trabajan bien con reactores de precalentamiento y de arranque de disparo. Los tamaños normales fluctúan entre 22 y 40 vatios con diámetros de 8 a 16 pulgadas.

LAMPARAS CURVALUME

Las lámparas Curvalume son esencialmente de 40 vatios en forma de U, con una longitud nominal de 24 pulgadas. La forma curvada que se le ha hecho a ese tipo de lámparas permite el uso de dos lámparas (el equivalente de dos de 48 pulgadas o de cuatro de 24 pulgadas tipo recto) en un artefacto cuadrado de 24 pulgadas Las lámparas Curvalume funcionan con reactores de arranque rápido de 40 vatios. Otra ventaja es que permite que el alambrado y los portalámparas se instalen en uno de los extremos del artefacto. Para los arquitectos e ingenieros este tipo de lámpara ofrece una forma compacta que se puede utilizar en los diseños de cielorrasos modulares.

LAMPARAS REFLECTORAS

Estas lámparas tienen un revestimiento parcial reflector interior que se encuentra entre el tubo de vidrio y el revestimiento fosforescente. Este reflector proporciona un control direccional que tiene aproximadamente 60 por ciento más de luz debajo de las lámparas que el producido por las lámparas regulares sin reflectores. Tienen las mismas características físicas y eléctricas que las lámparas común y corrientes y son, por lo tanto, intercambiables. Vienen con reflectores que varían entre 135 y 235 grados, en distintos tamaños. Las lámparas reflectoras se recomiendan especialmente para usarse en zonas industriales no muy limpias que tienen instalaciones de artefactos difíciles de alcanzar para limpiarlos. Otras de sus aplicaciones ideales son en las cornisas cóncavas o bovedillas, escaparates u otros sistemas en donde los reflectores no resultan prácticos debido a la escasez de espacio o de insuficiente reflectancia. En algunas instalaciones se usan para iluminación indirecta dirigiendo los rayos de luz hacia el cielorraso.

LAMPARAS DE APERTURA

Este tipo de lámparas es parecido a las lámparas reflectoras, pero hay una pequeña ventana clara en el revestimiento reflectivo y fosforescente. Esta apertura, que sigue todo lo largo de la lámpara, puede tener una brillantez en la superficie hasta de ocho veces la de una lámpara fluorescente regular.

Se fabrican con aperturas que varían desde 15 hasta 60 grados en distintos tamaños de lámparas. Cuando se usan con reflectores o lentes, las lámparas de apertura proporcionan un haz muy concentrado, proyectado en una dirección. Entre las numerosas aplicaciones de este tipo de lámparas se pueden contar la iluminación de puentes, de pistas de aterrizaje, carreteras y rampas de acceso, carteleras y anuncios, así como de equipos reprográficos y de lavado de paredes.

LAMPARAS GRO-LUX

Las lámparas fluorescentes Gro-Lux tienen por objeto producir energía radiante en las bandas de longitud de onda que estimulan el crecimiento de las plantas. Suministran altos niveles de radiación roja y azul que son sumamente beneficiosos para la propagación de las plantas. Además, contribuyen a mejorar el crecimiento vegetal y reproductivo de muchas plantas para uso comercial y en el hogar.

Hay dos tipos de lámparas Gro-Lux en varios tamaños. La del tipo común y corriente no sólo estimula el crecimiento de las plantas sino que tiene una luz purpurina que realza la apariencia de las flores a la vez que imparte un aspecto atractivo a los peces tropicales en el acuario. Para los cultivadores comerciales, se recomienda el uso de la lámpara fluorescente Gro-Lux de amplio espectro diseñada específicamente para ese fin. La emisión producida por este tipo de lámpara es bastante fuerte en las longitudes de onda de radiación que son las que promueven dos reacciones fotoquímicas importantes, fotosíntesis y síntesis clorofílica.

LAMPARAS DE LUZ NEGRA Y DE LUZ NEGRA AZULADA

Las lámparas fluorescentes de luz negra se diferencian de las lámparas fluorescentes común y corrientes únicamente en la composición de los fósforos utilizados, que son los que irradian la mayor parte de su energía en la región de ultravioleta (máximo a 356.0 nanómetros), en vez de en la gama visible. Dado que las lámparas de luz negra también emiten alguna radiación azul visible, a menudo se usan con un filtro externo de color azul oscuro para suprimir la irradiación visible. Las lámparas fluorescentes de luz negra azulada son como las lámparas fluorescentes de luz negra salvo que van dotadas de un tubo especial azul oscuro que absorbe casi toda la luz visible mientras transmiten libremente radiación ultravioleta, dando como resultado la eliminación de un filtro separado. Ambos tipos de lámparas trabajan en los mismos circuitos y equipos como lo hacen las otras lámparas fluorescentes comunes del mismo vatiaje. Existe un sinnúmero de aplicaciones para las lámparas de luz negra en la industria, así como también en el teatro y en los servicios de efectos de luz decorativa en general.

LAMPARAS GERMICIDAS

Las lámparas germicidas pertenecen al grupo de lámparas fluorescentes aun cuando sus bombillos de vidrio claro no van revestidos con pigmento fosforescente. El vidrio normal que se utiliza en las lámparas fluorescentes suprime la radiación por debajo de 280 nanómetros aproximadamente. El bombillo germicida consiste en un vidrio especial que transmite la energía ultravioleta de 253.7 nanómetros generada por el arco. La radiación de esta longitud de onda de 253.7 nanómetros se sabe que mata una inmensa variedad de bacterias y gérmenes de moho. Es muy importante proteger la piel y los ojos contra la radiación ultravioleta producida por dichas lámparas, pues podrían irritarse debido a exposición prolongada. Nunca deberán verse directamente las lámparas desnudas.

LAMPARAS DE ALTA EMISION Y DE ARRANQUE RAPIDO

Las lámparas Slimline de precalentamiento y arranque rápido del tipo convencional provistas de bombillos T-12, trabajan aproximadamente a un máximo de 10 vatios por pie con una corriente de 430 ma. El principio del arranque rápido posibilita el que se pueda exceder esa carga de 10 vatios por pie con buena eficiencia en el sistema de instalación. Las lámparas de alta emisión para uso en la intemperie, generalmente funcionan a 800 ma, con una carga como de 14 vatios por pie A 800 ma, las lámparas suministran aproximadamente 45 por ciento más de lúmenes que las del tipo Slimline de tamaño comparable. Para emplearlas a la intemperie, es decir, para el alumbrado de calles o reflectores, las lámparas de alta emisión casi siempre trabajan a 1.000 ma para suministrar una alta emisión lumínica a temperaturas más frías.

Las lámparas de alta emisión reglamentarias, fluctúan en potencia entre 32 y 105 vatios y, en longitud, desde 24" hasta 96". Las abreviaturas para hacer los pedidos, como por ejemplo las que se usan para las lámparas Slimline, indican la longitud de la lámpara, el diámetro del bombillo y el color, pero llevan el sufijo "HO" (que significa "high output", o sea alta emisión), v.g. F60T12/DSGN/HO para la de 60 pulgadas, 1-1/2" de diámetro, diseño blanco, de alta emisión. Las lámparas especiales vienen en tamaños más pequeños.

LAMPARAS DE MUY ALTA EMISION Y DE ARRANQUE RAPIDO

Las lámparas de muy alta emisión (VHO) trabajan a 1.500 ma y aproximadamente a 25 vatios por pie de longitud de tubo. Cuando la corriente de las lámparas fluorescentes excede del nivel de 1 amperio (1.000 ma), los vatios por pie de las lámparas se vuelven muy elevados como para crear un problema de calentamiento que requiere mucho ingenio en el diseño para su debido control. El calor resultante de 1.500 ma en un tubo T-12, si se deja sin control, puede hacer que la temperatura de vapor de mercurio suba demasiado dando como resultado un aumento de presión la cual reduciría la eficacia de la lámpara. El funcionamiento más eficiente se obtiene con una presión de vapor de mercurio de 6 a 10 micrones (una millonésima de metro) aproximadamente, la cual es la presión de vapor del mercurio entre 40° y 45°C. Esta variación de temperatura se puede obtener en las lámparas de muy alta emisión (VHO) empleando blindajes reflectores metálicos circulares montados entre los electrodos y los extremos de las lámparas. Dichos blindajes interrumpen las corrientes de conexión en el gas recalentado cerca de los cátodos con el objeto de obtener las temperaturas adecuadas en los extremos de las lámparas detrás de los cátodos. Esto, en efecto, produce un "centro de control de presión" como se indica en la figura 13, el cual funciona en la región deseada de 40°C establecida para las condiciones de capacidad de funcionamiento de las lámparas. El mercurio excedente se condensa en el centro de control y se mantiene la presión de vapor de mercurio óptima a través del tubo. En las lámparas de muy alta emisión (VHO) también se usa una mezcla de gases raros para proporcionarle al cátodo mayor duración y lograr mayor conservación de lúmenes en el tubo convencional T-12.

Todas las lámparas de muy alta emisión tienen bases embutidas, con contactos dobles Varían en potencia desde 110 vatios hasta 215 vatios y, en longitud, desde 48" hasta 96". Las abreviaturas para el pedido son iguales a las de las lámparas de alta emisión (HO) ya descritas, con excepción del sufijo VHO en lugar del HO.

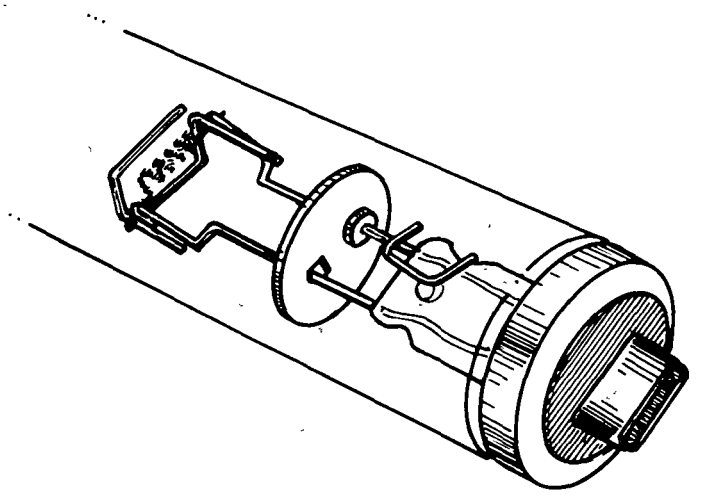


Figura 13. Centro de control de presión para lámparas de muy alta emisión (VHO)

LAMPARAS DE BAJA TEMPERATURA

Debido a que la emisión luminosa de las lámparas fluorescentes es afectada en forma adversa tanto por las altas temperaturas como por las bajas temperaturas (ver la página 20), se dispone de lámparas fluorescentes especiales para funcionar a bajas temperaturas. Este tipo de lámpara produce más luz cuando hace frío que las lámparas de muy alta emisión convencionales. En su construcción difieren de estas últimas en el sentido de que no llevan el blindaje reflector metálico y el prensado del tapón de la base va acortado. Se ofrecen en los mismos tamaños que los de las otras lámparas de muy alta emisión y se identifican por medio del sufijo "LT".

LAMPARAS DE INTEMPERIE DE MUY ALTA EMISION

Las lámparas fluorescentes para uso a la intemperie, de muy alta emisión, proporcionan un rendimiento óptimo en los accesorios mecánicos que se usan en las estaciones de servicio y en las zonas generales de iluminación. La construcción del cátodo es tal que suministra una presión óptima de vapor de mercurio y, consecuentemente, una emisión lumínica máxima en los artefactos o accesorios que llevan varias lámparas encerradas en su interior o montadas en el orden de quince grados por sobre la horizontal. El rendimiento de la emisión lumínica a varias temperaturas ambientales en un accesorio típico, se muestra en la figura 29. Las lámparas VHO/O tienen la misma clasificación de la emisión lumínica inicial y las características de emisión de luz mantenida en igual forma que las lámparas convencionales VHO de longitudes correspondientes.

LAMPARAS PROTEGIDAS CONTRA LA INTEMPERIE

Las lámparas fluorescentes envueltas en guarniciones de vidrio trabajan eficientemente por toda una gama de condiciones

TABLA III

INFORMACION DE REFERENCIA SOBRE LAS LAMPARAS FLUORESCENTES SLYVANIA

Designación de la lámpara[2]	Vatios nominales	Longitud nominal en pulgs.[3]	Base	Con la lámpara funcionando	
				Amperios	Voltios
De precalentamiento					
F4T5	4	6	Min. de 2 espigas	0.170	29
F6T5	6	9	Min. de 2 espigas	0.160	42
F8T5	8	12	Min. de 2 espigas	0.145	57
F13T5	13	21	Min. de 2 espigas	0.165	95
F14T12	14	15	Med. de 2 espigas	0.380	39
F15T8	15	18	Med. de 2 espigas	0.304	56
F15T12	15	18	Med. de 2 espigas	0.330	46
F20T12	20	24	Med. de 2 espigas	0.380	56
F25T12	25	33	Med. de 2 espigas	0.445	64
F30T8	30	36	Med. de 2 espigas	0.350	100
F90T17	90	60	Mog. de 2 espigas	1.500	62
De arranque rápido — Precalentamiento[4]					
F40T12	40	48	Med. de 2 espigas	0.430	102
De arranque rápido					
F30T12	30	36	Med. de 2 espigas	0.430	78
De alta emisión					
F24T12/HO	32	24	Emb. de 2 contactos	0.800	42
F36T12/HO	44	36	Emb. de 2 contactos	0.800	
F48T12/HO	60	48	Emb. de 2 contactos	0.800	79
F72T12/HO	85	72	Emb. de 2 contactos	0.800	116
F72T12/HO	100	72	Emb. de 2 contactos	1.000	105
F96T12/HO	110	96	Emb. de 2 contactos	0.800	152
De muy alta emisión					
F48T12/VHO	115	48	Emb. de 2 contactos	1.500	83
F72T12/VHO	165	72	Emb. de 2 contactos	1.500	124
F96T12/VHO	215	96	Emb. de 2 contactos	1.500	161
Circular					
FC8T9	22	8" diam.	De 4 espigas	0.380	60
FC12T10	32	12" diam.	De 4 espigas	0.430	82
FC16T10	40	16" diam.	De 4 espigas	0.415	108
Curvalumen					
FB40/6"	40	24	Med. de 2 espigas	0.430	100
De arranque instantáneo[5]					
F40T12/IS	40	48	Med. de 2 espigas	0.420	104
F40T17/IS	40	48	Mog. de 2 espigas	0.420	107
Slimline[6]					
F42T6	25	42	De una espiga	0.200	145
F64T6	38	64	De una espiga	0.200	225
F72T8	38	72	De una espiga	0.200	218
F96T8	51	96	De una espiga	0.200	290
F48T12	39	48	De una espiga	0.425	100
F72T12	55	72	De una espiga	0.425	149
F96T12	75	96	De una espiga	0.425	197

NOTAS DE REFERENCIA

[1] La clasificación convencional de los lúmenes iniciales que se utiliza en el presente boletín no incluye la duración de las lámparas ni el valor medio de los lúmenes, en virtud de que las frecuentes mejoras en el desempeño de las lámparas automáticamente convertirían los datos ofrecidos en información anticuada. Consúltense otros boletines para tal objeto.

[2] La "T" significa bombillo tubular; el número indica el diámetro en octavos de pulgada.

[3] Indica la longitud de la lámpara más dos portalámparas normales

[4] Los valores eléctricos son ligeramente distintos para el funcionamiento de las lámparas tipo precalentamiento.

[5] Las espigas de la base están en corto dentro de la base.

[6] Las lámparas Slimline T-6 y T-8 también trabajan a 0.100 y a 0.300 amperios.

superficies se vean blancas, pero tienen mala producción de colores. Los colores blancos corrientes, tales como el blanco-fresco, blanco-cálido, blanco y luz de día tienen alta eficacia y buena producción de colores para la mayor parte de los usos en la industria, en zonas amplias de oficinas y en las escuelas. En los sitios donde se desea dar a los objetos de colores una mayor y elegante apariencia, se deberán usar las lámparas tipo blanco-fresco de lujo, blanco-cálido de lujo o natural. Cuando se desee lograr una aproximación cercana al color de la lámpara incandescente, se recomienda usar la lámpara incandescente-fluorescente. Puesto que el ojo humano es menos sensible a la energía roja — la cual forma un porcentaje mayor que la energía producida por las lámparas de lujo — éstas emiten como 30 por ciento menos de luz que las lámparas común y corrientes. La diferencia no suele aparecer tan grande como esa debido al brillo aumentado de los colores.

TIPOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES

LAMPARAS DEL TIPO PRECALENTAMIENTO

Las lámparas fluorescentes originales que fueron presentadas en 1938, eran del tipo precalentamiento y funcionaban con arrancadores separados. Los arrancadores suministran varios segundos de flujo de corriente a través de los cátodos para precalentarlos entre el tiempo que transcurre al encender la lámpara y el que tarda en alumbrar. Los cátodos se precalientan para emitir electrones que ayuden a producir el arco a un voltaje más bajo. El arrancador es generalmente del tipo automático el cual le conecta corriente a los cátodos por un lapso suficiente a fin de calentarlos y luego se abre automáticamente para detener el flujo de corriente y hacer que se conecte todo el voltaje con una tensión inductiva a través de los dos cátodos, golpeando así el arco. Hay algunos sistemas de precalentamiento, tales como las lámparas fluorescentes de escritorio en las cuales el arranque se hace oprimiendo un botón de arranque manual por unos cuantos segundos, soltándolo enseguida para hacer arrancar la lámpara.

Todas las lámparas de precalentamiento tienen bases con doble espiga. La potencia de las mismas fluctúa entre 4 y 90 vatios y de 6 a 60 pulgadas de longitud. La abreviatura para pedir las lámparas identifica el tipo mediante el vatiaje, el diámetro del tubo (en octavos de pulgada) y el color. Por ejemplo, la lámpara F20T12/CWX así pedida, es de 20 vatios, de 1-1/2" de diámetro, del tipo blanco-fresco de lujo.

Los tipos miniatura con tubos T-5, vienen en tamaños de 4, 6, 8 y 13 vatios. Se usan como luces de inspección en los bancos de talleres y en máquinas industriales, en espejos para maquillaje y en otras aplicaciones en donde se necesitan lámparas pequeñas de alta eficacia. Las lámparas con tubos T-8 se usan en equipos de alumbrado de escaparates, en lámparas portátiles de escritorio y en equipos reprográficos.

LAMPARAS SLIMLINE (DE ARRANQUE INSTANTANEO)

Las lámparas Slimline (de arranque instantáneo) hicieron su aparición en el año de 1944. El propósito principal era el de eliminar el arranque lento que se venía experimentando con las lámparas del tipo precalentamiento. Las lámparas Slimline (línea fina) trabajan sin necesidad de arrancadores y hacen que el reactor suministre un voltaje lo suficientemente alto como para producir el arco en forma instantánea, simplificando en gran forma el sistema de alumbrado y el mantenimiento correctivo. Dado que los cátodos de las lámparas Slimline no necesitan calentamiento previo, se requiere solamente una base con una sola espiga a cada extremo.

La potencia de las lámparas Slimline varía desde 25 hasta 75 vatios y, en longitud, desde 42 hasta 96 pulgadas. Puesto que estas lámparas se pueden hacer funcionar a más de una corriente y vatiaje determinado, la abreviatura para pedirlas las identifica por medio del largo de las mismas y no por su vatiaje. Por ejemplo, la lámpara F96T12/CW sería de 96 pulgadas de largo, 1-1/2" de diámetro, blanco-fresco tipo fluorescente. El hecho de que su clasificación nominal sea de 75 vatios para su funcionamiento normal, no aparece en la abreviatura necesaria para colocar el pedido.

Las lámparas de arranque instantáneo de 40 vatios usan una base media de dos espigas la cual tiene una conexión entre las espigas en cada extremo, produciendo el mismo efecto que una espiga solamente para cada cátodo. Las lámparas de arranque instantáneo que tienen bases con doble espiga, no trabajan en circuitos de precalentamiento o de arranque rápido, aun cuando se pusieran inadvertidamente en artefactos con reactores de esos tipos.

Las lámparas de arranque instantáneo con bases de doble espiga se pueden identificar mediante las letras IS al final de la abreviatura para hacer el pedido. Por ejemplo, la F40T12/D/IS corresponde a una lámpara fluorescente de arranque instantáneo de luz de día, de 40 vatios y de 1-1/2" de diámetro.

LAMPARAS DE ARRANQUE RAPIDO

Las lámparas de arranque rápido que fueron lanzadas al mercado en el año de 1952, comienzan a funcionar con suavidad y rapidez sin necesidad de arrancadores. En realidad, arrancan tan rápidamente como lo hacen las del tipo Slimline, es decir, en un período de tiempo mucho más corto que las lámparas de precalentamiento, usando reactores más eficientes y más pequeños que los reactores de arranque instantáneo. Dependen del calentamiento del cátodo, suministrado por los devanados térmicos en el reactor, para reducir el voltaje de arranque necesario por debajo del exigido por las lámparas Slimline del mismo tamaño. Todo esto lo explicaremos más ampliamente en la sección correspondiente a los circuitos de arranque rápido.

Debido a la popularidad que goza la lámpara de 40 vatios con tubo de medida T-12, la abreviatura que se usa para el pedido se simplifica omitiendo el tamaño del tubo. Por ejemplo, la descripción F40N significa que se trata de una lámpara de 40 vatios, de 1-1/2" de diámetro, tipo arranque rápido natural. Sin embargo, la lámpara de arranque rápido de 30 vatios tiene una abreviatura completa para hacer el pedido, así. F30T12/CW/RS. Las lámparas de arranque rápido convencionales vienen en tamaños de 30 y de 40 vatios y sus longitudes son de 36 y de 48 pulgadas, respectivamente, con lámparas especiales disponibles en tamaños más pequeños. Se aplica una capa de silicio a todas las lámparas de arranque rápido con el objeto de proporcionarles un arranque seguro en condiciones donde existe un alto índice de humedad.

cuando no están encendidas con excepción de las doradas, las rojas y las incandescentes por estar revestidas con pigmentos de color en la parte interna de sus respectivos bombillos antes de aplicarles las substancias fosforescentes. Las lámparas azules de luz ultravioleta filtrada, se hacen con un vidrio especial que filtra la energía visible. En la Tabla I se indican algunos de los fósforos que se usan y el color característico de la luz.

TABLA I

FOSFOROS Y COLORES FLUORESCENTES

Fósforo	Fluorescencia del color
Borato de cadmio	Rosado
Halofosfato de calcio	Blanco
Silicato de calcio	Anaranjado
Tungstato de calcio	Azul
Germanato de magnesio	Azul
Tungstato de magnesio	Blanco azulado
Halofosfato de estroncio	Verde claro
Silicato de cinc	Verde

ELECTRODOS

El electrodo que va en cada uno de los extremos de las lámparas fluorescentes consiste generalmente en un alambre con revestimiento de tungsteno de doble o de triple enrollamiento. Dicho revestimiento, por ser de un material emisivo (bario, estroncio y óxido de calcio), emite electrones cuando se calienta a una temperatura de trabajo como de 950°C. A esa temperatura, los electrones se desprenden libremente con sólo una pequeña pérdida de vatiaje en cada uno de los cátodos. Este proceso se denomina "emisión termiónica", en virtud de que el calor es más responsable por la emisión de electrones que lo es el voltaje. A un electrodo de ese tipo se le llama "cátodo incandescente" (suele denominarse también "cátodo caliente".) Los cátodos como éste reducen el voltaje de arranque necesario para producir el arco.

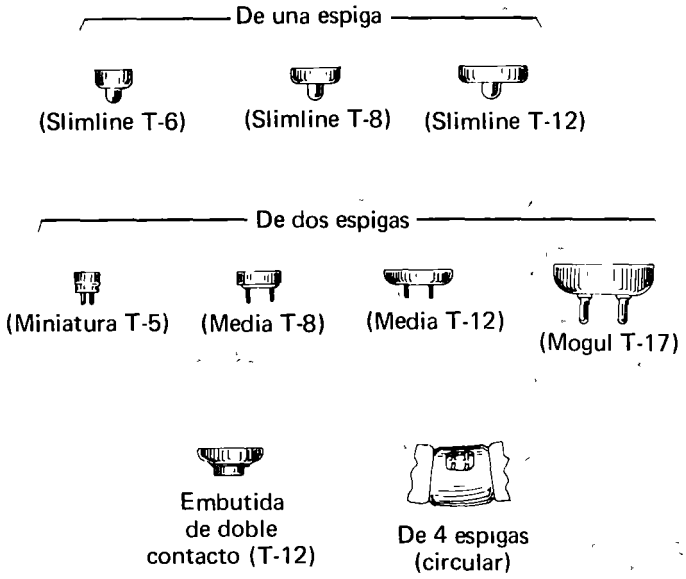


Figura 3. Bases para lámparas fluorescentes

BASE

En la figura 3 se muestran las bases que se usan con las lámparas fluorescentes Para las lámparas de precalentamiento y de arranque rápido, se necesitan cuatro contactos eléctricos, dos en cada extremo de la lámpara. Ello se realiza, en la línea común y corriente de lámparas, usando una base con dos espigas en cada extremo. Existen tres tamaños miniatura de dos espigas para los bombillos de las lámparas tipo T-5, media de dos espigas para los bombillos T-8 y T-12, y mogul de dos espigas para los bombillos T-17. En las lámparas circulares, los cátodos van conectados a una base con 4 espigas ubicada entre la unión de los dos extremos de la lámpara. Las lámparas fluorescentes de gran emisión lumínica, así como las de muy alta emisión lumínica, tienen bases embutidas de doble contacto. Las circulares (de arranque instantáneo) necesitan dos contactos eléctricos solamente, o sea uno en cada extremo de la lámpara y llevan bases de una sola espiga

CARACTERISTICAS DE ILUMINACION DE LAS LAMPARAS

EFICACIA

Una de las ventajas más importantes de las lámparas fluorescentes, es su alta eficacia. Suelen compararse con las lámparas incandescentes en ese respecto, pero los vatiajes de las primeras deben incluir las pérdidas producidas por el reactor para que la comparación resulte exacta. Las lámparas convencionales de dos espigas tienen eficacias (sin incluir las pérdidas del reactor) que fluctúan entre 24 y 81 lúmenes por vatio, según el tamaño y el color del bombillo o foco. Las lámparas circulares fluctúan entre 48 y 85 lúmenes por vatio; las de gran emisión lumínica entre 40 y 92; las de muy alta emisión lumínica entre 45 y 75 lúmenes por vatio. Para las lámparas del mismo color y tipo, la clasificación de lúmenes por vatio es mayor para una lámpara larga que para una corta. La verdad es que la energía consumida en los electrodos es igual, cualquiera que sea la longitud de la lámpara.

DISTRIBUCION DE ENERGIA

Aproximadamente el 60 por ciento de la energía de entrada en una lámpara fluorescente tipo blanco-fresco se convierte directamente en radiación ultravioleta, con un 38 por ciento pasando a ser calor y 2 por ciento a luz invisible, tal como se ilustra en la figura 4. El fósforo cambia alrededor de 21 por ciento del ultravioleta en luz visible, convirtiéndose en calor el 39 por ciento restante. La conversión del 23 por ciento de energía en luz para una lámpara fluorescente de 40 vatios, es aproximadamente el doble del porcentaje de una lámpara incandescente de 300 vatios, la cual cambia únicamente 11 por ciento de la energía de entrada en luz. La producción del 36 por ciento de infrarrojo se compara con 69 por ciento para una lámpara incandescente de 300 vatios.

CURVAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ESPECTRAL

La distribución de energía espectral de una lámpara fluorescente se cataloga en dos clases: (1) el espectro continuo que es emitido por el polvo fluorescente y (2) las bandas angostas de energía irradiadas por el arco de mercurio mismo a 365,0, 404,7, 435,8, 546,1 y a 578,0 nanómetros.

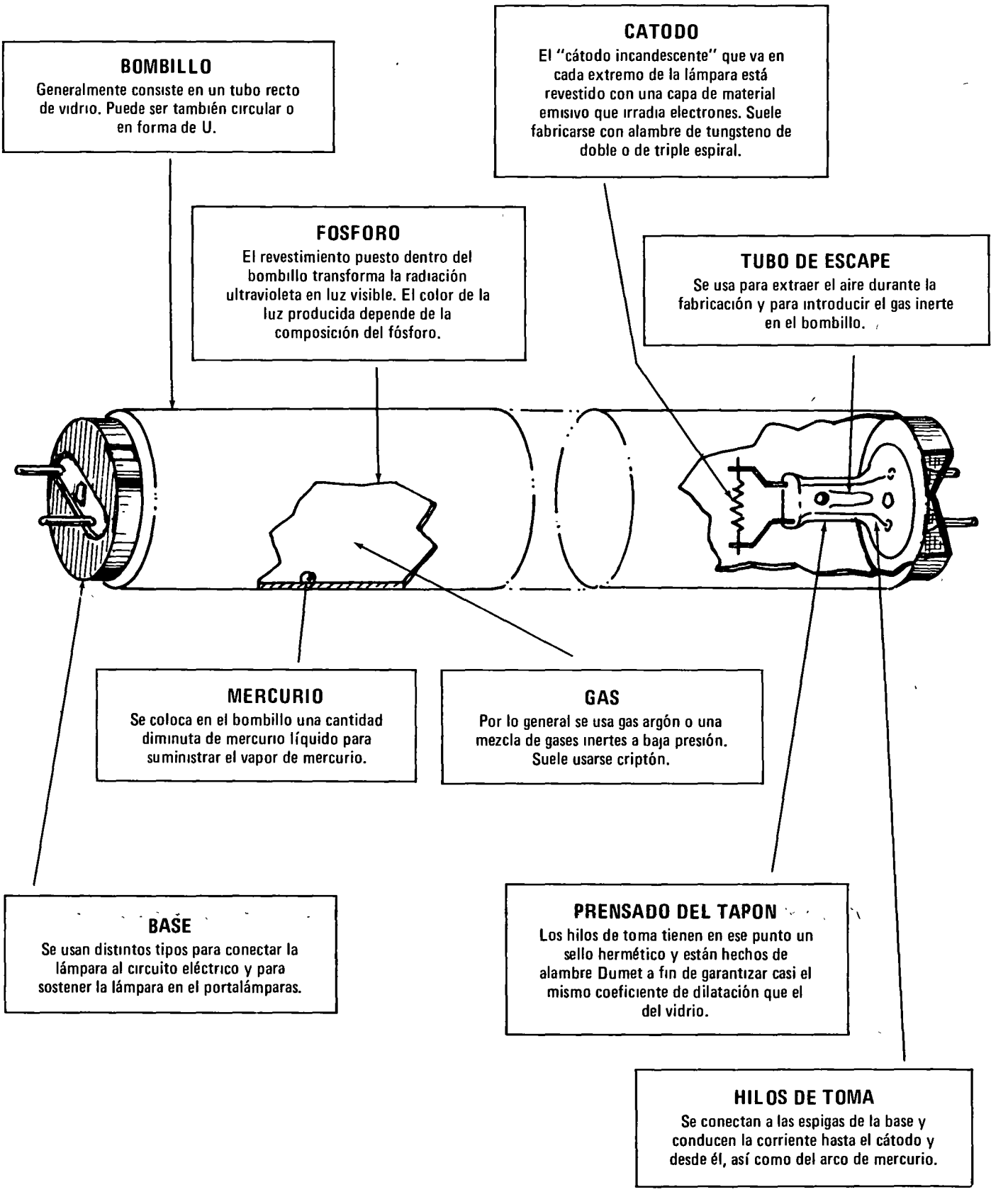


Figura 2. Elementos básicos de una lámpara fluorescente típica de cátodo incandescente

LAMPARAS FLUORESCENTES

TEORIA DE FUNCIONAMIENTO

El principio de la producción de luz empleado en las lámparas fluorescentes fue del conocimiento de la ciencia por espacio de varios años antes de que se aplicara a una fuente de luz práctica. El principio de las lámparas incandescentes ya se conocía por muchos años antes de que el sabio Tomás A. Edison inventara una lámpara práctica de ese tipo. La primera lámpara fluorescente de utilidad práctica hizo su aparición en el año de 1938.

La lámpara fluorescente es una fuente de descarga eléctrica que hace uso de la energía ultravioleta generada a una alta eficiencia por un vapor de mercurio en un gas inerte (argón, criptón o neón) a baja presión para activar un revestimiento de material fluorescente (fósforo) puesto sobre la superficie interna de un tubo de vidrio. El fósforo simplemente actúa como transformador para convertir la luz ultravioleta invisible en luz visible.

Esencialmente, la lámpara es un bombillo tubular revestido y evacuado que contiene una pequeña cantidad de mercurio y de gas inerte. Un electrodo especialmente tratado, denominado "cátodo incandescente", va sellado en ambos extremos. En la figura 1 se muestra la forma en que se genera la luz visible en una lámpara fluorescente típica de cátodo incandescente.

Al encenderse inicialmente una lámpara fluorescente, el paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos hace que éstos se calienten y suelten electrones del material emisivo con el cual están revestidos. Además de los electrones liberados térmicamente, hay también electrones desprendidos por la diferencia de potencial entre los electrodos. Esos electrones viajan a altas velocidades desde un electrodo hasta el otro, estableciendo una descarga eléctrica o arco a través del vapor de mercurio. La lámpara se calienta rápidamente, aumentando la presión de vapor del mercurio al valor de máxima eficiencia.

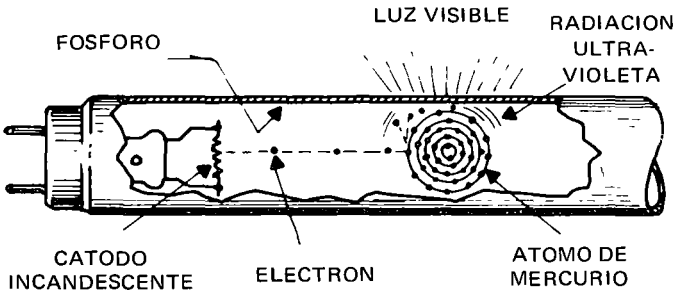


Figura 1. Forma en que se produce la luz en una lámpara fluorescente típica de cátodo incandescente

Un arco de esa naturaleza, encerrado en un tubo de vidrio, tiene ciertas características que varían con la presión del gas y con el voltaje aplicado a los electrodos. La característica más importante es la producción de luz visible y ultravioleta. El choque entre los electrones de rápido movimiento desde los electrodos y los átomos de mercurio desprenden los electrones de los átomos de mercurio de su órbita. Esos electrones desplazados casi inmediatamente retornan a su lugar normal, liberando, por lo tanto, la energía que han absorbido, principalmente en forma de radiación ultravioleta a una longitud de onda de 253,7 nanómetros.

La radiación ultravioleta es convertida en luz visible por los fósforos, los cuales tienen la propiedad de absorber la energía ultravioleta y de volverla a irradiar a longitudes de onda mayores que se puedan observar como luz visible. En otras palabras, los fósforos son excitados al punto de fosforescencia por la energía ultravioleta de la longitud de onda debida. El color de la luz producida depende de la composición química del revestimiento que va dentro del bombillo o foco.

CONSTRUCCION DE LAS LAMPARAS

En la figura 2 se ilustran los componentes básicos de una lámpara típica fluorescente de cátodo incandescente. Si bien existen muchos tamaños y diversas formas de lámparas fluorescentes, los tipos que más se usan tienen un bombillo tubular con un electrodo y una base en cada extremo del tubo. Aparte del mercurio, el bombillo contiene una pequeña cantidad de gas argón o de una mezcla de gases inertes y lleva un revestimiento de fósforo.

BOMBILLOS

La forma y tamaño del bombillo de una lámpara fluorescente se expresa mediante una clave que consiste en la letra "T" (designando la forma tubular del bombillo), la cual va seguida de un número que expresa el diámetro del bombillo en octavos de pulgada. Varían en diámetro de T-5 (5/8") a T-17 (2-1/8"). En la longitud total nominal, las lámparas fluorescentes fluctúan entre seis y noventa y seis pulgadas; su longitud siempre se mide desde la parte posterior del portalámparas hasta la parte posterior del mismo. Por ejemplo, la longitud total real de la lámpara de arranque rápido de 40 vatios T-12 de cuarenta y ocho pulgadas, es de cuarenta y siete pulgadas con tres cuartos. Las lámparas circulares, vienen en tres tamaños, a saber: con diámetro exterior de 8, 12 y de 16 pulgadas. Hay también una lámpara de 40 vatios que tiene un bombillo T-12 en forma de U.

FOSFOROS

La longitud de onda o el color de la luz producida por una lámpara fluorescente, depende de la composición química del fósforo utilizado en el revestimiento interno del tubo. Mediante la combinación en proporciones variantes de distintos fósforos, es posible producir una amplia variedad de colores. Los colores disponibles en la actualidad incluyen varias tonalidades de blanco, así como de azul, verde, dorado, rosa y rojo. Otras lámparas fluorescentes están diseñadas con fósforos que generan los colores de la luz que son más estimulantes al crecimiento de las plantas. Además, hay otras que tienen un fósforo conocido como 360BL el cual produce una radiación casi ultravioleta en la banda de luz negra para activar los materiales fluorescentes y fosforescentes. Las lámparas de tamaño similar de todos los colores son exactamente iguales, salvo por el revestimiento; y todas las lámparas parecen blancas

INDICE

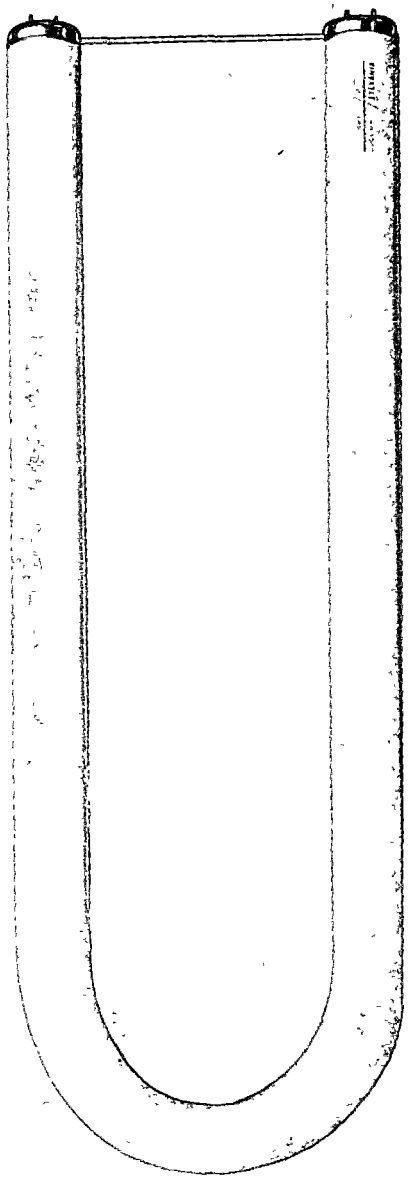
PAGINA

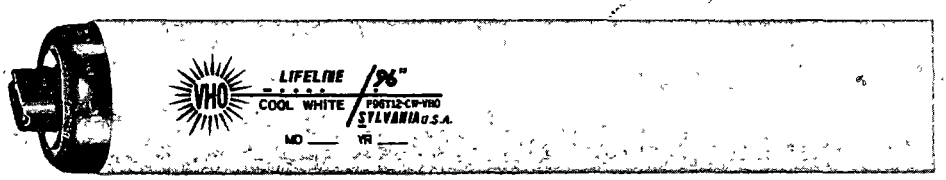
TEORIA DE FUNCIONAMIENTO 3
CONSTRUCCION DE LAS LAMPARAS 3
Bombillos 3
Fósforos 3
Electrodos 5
Bases 5
CARACTERISTICAS DE ILUMINACION DE LAS LAMPARAS 5
Eficacia 5
Distribución de energía 5
Curvas de distribución de energía espectral 5
TIPOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES 8
Del tipo precalentamiento 8
Slimline (de arranque instantáneo) 8
De arranque rápido 8
De alta emisión lumínica y arranque rápido 10
De muy alta emisión lumínica y arranque rápido 10
De baja temperatura 10
Para intemperie y de muy alta emisión lumínica 10
Protegidas contra la intemperie 10
Circulares 11
Curvalume 11
Reflectoras 11
De apertura 11
Gro-Lux 11
De luz negra 11
Germicidas 11
FUNCIONAMIENTO DE LOS CIRCUITOS DE LAS LAMPARAS FLUORESCENTES 12
Reactores (reguladores) 12
Reactores de la clase "P" 12
Circuitos de precalentamiento 12
Arrancadores 14
Térmico 14
De destello 14
De reposición manual 14
De reposición automática 15
Circuitos de arranque instantáneo 15
Circuitos arrancadores de disparo 16
Circuitos de arranque rápido 16
Intercambiabilidad de las lámparas de 40 vatios 17
Portalámparas 17
CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS FLUORESCENTES 18
Duración de la lámpara 18
Efecto que tienen los períodos de encendido sobre las lámparas 18
Reemplazo colectivo 19
Mantenimiento de lúmenes 19
Efecto de la temperatura 19
Efecto de la humedad 20
Efecto del voltaje 20
Efecto de la frecuencia 21
Efecto estroboscópico 21
Funcionamiento con corriente continua 21
Reactores inversores 21
Atenuación 21
Destello 22
Interferencia de radio 22
Localización y reparación de fallas 22

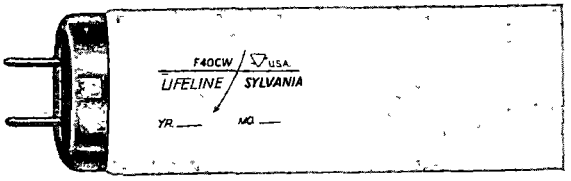
GTE SYLVANIA

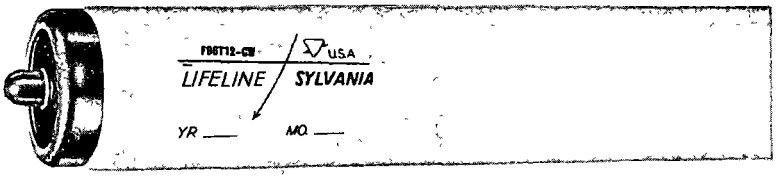
BOLETIN DE INGENIERIA NO. 0-341

LAMPARAS FLUORESCENTES









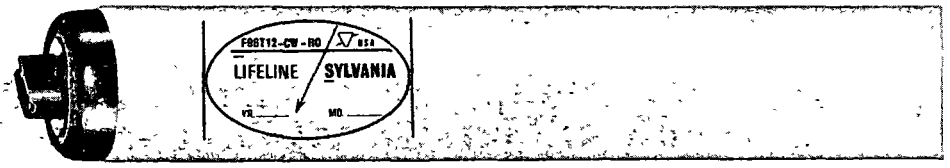


figura 18 se ilustra el mecanismo de dicho arrancador y en la figura 19 se muestra el diagrama del circuito.

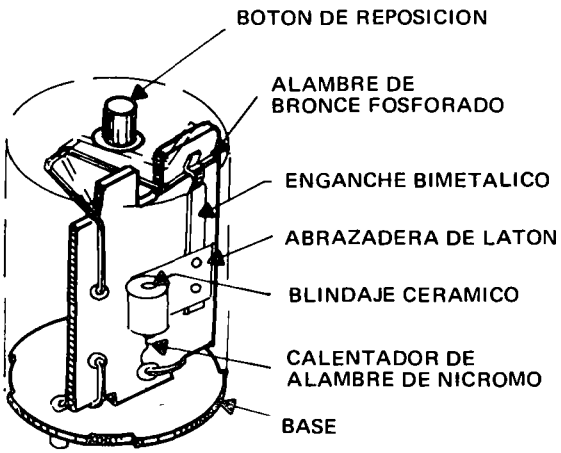


Figura 18. Mecanismo de un arrancador de reposición manual

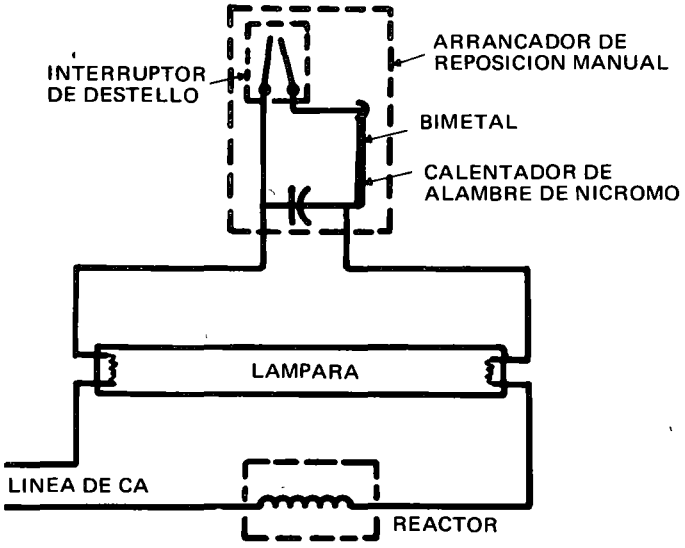


Figura 19. Arrancador de reposición manual y circuito de la lámpara

El circuito del arrancador incluye, además del interruptor de destello, un calentador de alambre de nicromo con un revestimiento de cerámica sostenido con una abrazadera de latón, la cual va sujeta a una tira bimetálica que engancha a un resorte de alambre de bronce fosforado. El revestimiento de cerámica retarda la transferencia de calor del alambre de nicromo a la abrazadera de latón, con el objeto de que la tira bimetálica no reciba calor suficiente para alterarla cuando el arrancador sólo necesita pocos intentos para arrancar la lámpara. Sin embargo, si la lámpara no arranca después de repetidos intentos, habrá llegado suficiente calor a la tira bimetálica para desengancharla y abrir el circuito. Este permanecerá abierto hasta tanto se oprima el botón de reposición o reajuste. Este tipo de arrancador no sólo protege al reactor, sino que evita la molestia que causa el relampagueo de la lámpara.

ARRANCADOR DE REPOSICION AUTOMATICA

Como ya se explicó anteriormente, el arrancador de reposición o reajuste manual protege el circuito al desconectar a una lámpara que haya fallado, pero puede suceder que también separe del circuito a una que no haya fallado, sino que simplemente se apagó debido a condiciones totalmente ajenas a ella. En una planta industrial, por ejemplo, puede ocurrir una caída anormal de voltaje, o que éste sea muy bajo y la humedad sea alta. Estas anomalías podrían ser la causa de que la lámparas no arrancaran y fueran separadas del circuito por el arrancador de reposición manual, hasta que el botón de reajuste sea oprimido. La solución a problemas de esa índole la ofrece el arrancador de reposición automática.

Este último reemplaza al botón de reposición manual por un calentador adicional que mantiene el circuito abierto mientras se suministre voltaje a la lámpara. Dicho calentador consume un vatio de energía. Si la lámpara no ha fallado, sino que simplemente ha dejado de funcionar por alguna de laz razones antes expuestas, volverá a arrancar tan pronto como se haya enfriado el arrancador, proceso este que dura aproximadamente un minuto. Normalmente, la lámpara arrancará al cerrarse el circuito tras un período de interrupción.

CIRCUITO DE ARRANQUE INSTANTANEO

Si se aplica suficiente voltaje o tensión a través de una lámpara fluorescente, se formará el arco sin necesidad de calentamiento previo de los cátodos Puesto que no se requiere ningún período de precalentamiento, a un circuito que tiene tan alto voltaje se le conoce como *circuito de arranque instantáneo.* Debido a que no se necesita un circuito de precalentamiento, las lámparas Slimline (de arranque instantáneo) llevan una base con una sola espiga en cada extremo. En la figura 20 se muestra un circuito típico de adelanto y retraso para dos lámparas de arranque instantáneo. Este tipo de circuito casi ya no se usa.

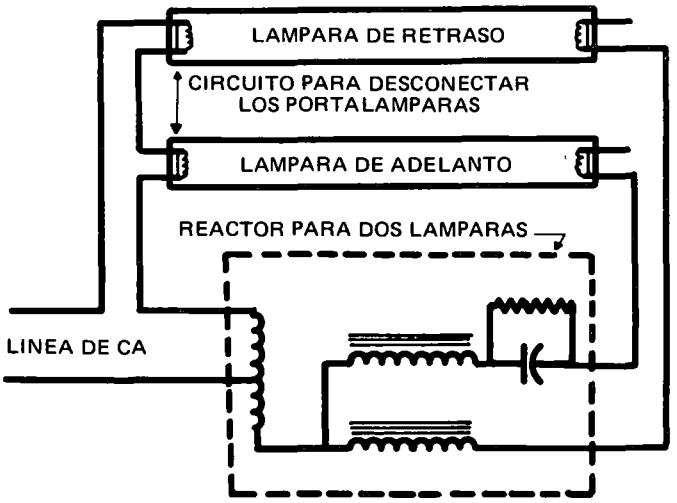


Figura 20. Circuito de adelanto y retraso para dos lámparas de arranque instantáneo

Con las lámparas de arranque instantáneo se usa un circuito de seguridad. Para evitar el peligro de un choque eléctrico, la espiga de la base actúa como si fuera un interruptor para desconectar el circuito del reactor al quitar la lámpara, como se muestra en la figura 20 y, con mayores detalles, en la figura 21. Para colocar una lámpara en el portalámparas, hay que empujarla primero en el resorte del portalámparas en el extremo de alto voltaje insertándola después en el portalámparas rígido en el extremo de bajo voltaje. Ambas lámparas deberán estar en su lugar para cerrar el circuito y permitir el flujo de la corriente por el devanado del reactor primario.

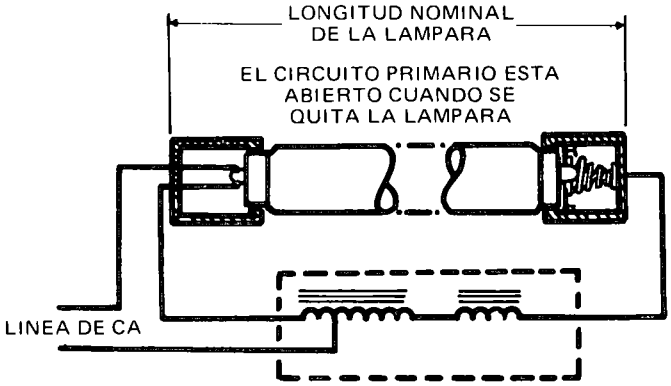


Figura 21. Lámpara Slimline (de arranque instantáneo), portalámparas y circuito

La mayoría de las lámparas funcionan con reactores de secuencia en serie según se ilustra en el circuito de la figura 22 En comparación con los reactores de adelanto y atraso, el reactor de secuencia en serie es más pequeño, más liviano, más silencioso, menos costoso y más eficiente Las dos lámparas realmente arrancan en secuencia separadas por una milésima de segundo y funcionan en serie

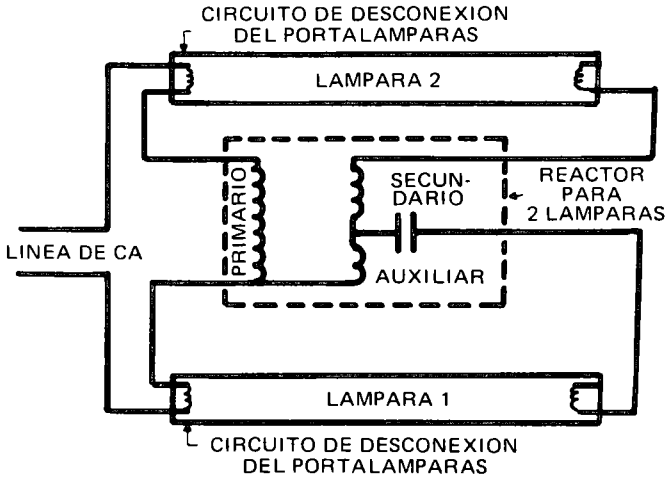


Figura 22. Circuito típico de arranque instantáneo de un reactor de secuencia en serie para dos lámparas

En el circuito antes ilustrado se notará que el enrollamiento auxiliar le suministra el voltaje a la lámpara uno para arrancarla Antes de que se encienda la primera lámpara, el voltaje del enrollamiento auxiliar se sustrae de los voltajes del primario y del secundario, resultando, por lo tanto, en un voltaje de arranque insuficiente para la lámpara número dos Sin embargo, cuando la lámpara número uno enciende, el flujo de corriente por el capacitor desplaza la relación de fase entre el enrollamiento auxiliar y el secundario, haciendo que los dos voltajes se sumen. Esta acción hace que el voltaje sea suficiente para arrancar la lámpara número dos Entonces, las lámparas funcionan en serie, dejando al enrollamiento auxiliar sin contribuir nada en el circuito

CIRCUITOS ARRANCADORES DE DISPARO

El circuito arrancador de disparo se usa algunas veces para el funcionamiento de lámparas fluorescentes de calentamiento previo con capacidad hasta de 32 vatios Dicho circuito se desarrolló mucho antes del circuito de arranque rápido y se parece en el sentido de que suministra el calentamiento continuo de los cátodos y no necesita arrancador La invención del circuito de arranque rápido fue con el objeto de reducir al mínimo la pérdida de potencia de los cátodos durante el funcionamiento de las lámparas

CIRCUITOS DE ARRANQUE RAPIDO

Como ya se explicó en la sección relativa a las lámparas de arranque rápido, los reactores para los circuitos de arranque rápido tienen enrollamientos separados para suministrar voltaje de calentamiento continuo para los cátodos de las lámparas, según se muestra en la figura 23 A diferencia de la lámpara de precalentamiento que carece de circuito calefactor de cátodo después de la formación de arco, la lámpara de arranque rápido recibe una pequeña corriente de calentamiento aun cuando la lámpara se encuentre ardiendo En condiciones normales, el reactor de arranque rápido hará arrancar a la lámpara en menos de un segundo.

Los reactores de arranque rápido para dos lámparas las arrancan en secuencia y luego las hacen funcionar en serie. Después de que se conecta el circuito, la primera operación consiste en el calentamiento de los cátodos para ayudar en el arranque de las lámparas, reduciendo las exigencias para el voltaje de arranque. El capacitor, en paralelo a través de la lámpara número dos, ayuda a arrancar la lámpara número uno, primero conectando momentáneamente casi todo el voltaje secundario del reactor a través de la lámpara número uno Como la caída de tensión a través de esta lámpara después de arrancar es muy baja, prácticamente toda la tensión del reactor queda disponible para arrancar la lámpara número dos. Entonces, las dos lámparas funcionan en serie con la corriente rápidamente en aumento hasta lograr el funcionamiento estable a la corriente de régimen. Es indispensable mantener el calor debido en el cátodo durante el funcionamiento de la lámpara para garantizar la vida normal de las lámparas

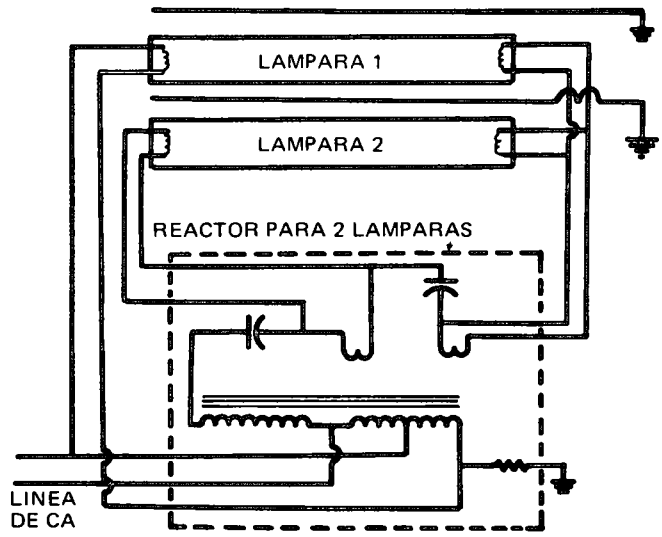


Figura 23. Circuito típico de arranque rápido de un reactor de secuencia en serie para dos lámparas

Para garantizar el arranque seguro, es importante que las lámparas que trabajan con reactores de arranque rápido se monten a una distancia de una pulgada de una tira de metal eléctricamente conectada a tierra que se extienda por todo lo largo de la lámpara para alta emisión (HO) y muy alta emisión (VHO) y a media

TABLA IV

PERDIDA DE VATIOS APROXIMADA EN LOS REACTORES TIPICOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES

Designación de la lámpara	Vatios nominales	118 voltios[1]			277 voltios[2]		
			Dos lámparas			Dos lámparas	
		Una lámpara	En serie	De adelanto y retraso	Una lámpara	En serie	De adelanto y retraso
De precalentamiento							
F4T5	4	2	–	–	–	–	–
F6T5	6	2	–	–	–	–	–
F8T5	8	2	–	–	–	–	–
F13T5	13	6	–	–	–	–	–
F14T12	14	6	–	–	–	–	–
F15T8	15	5	–	8	–	–	–
F15T12	15	5	–	8	–	–	–
F20T12	20	6	–	10	–	–	–
F25T12	25	6	–	–	–	–	–
F30T8	30	10	–	17	–	–	–
F40T12	40	10	–	16	10	–	16
F90T17	90	20	–	33	–	–	33
De arranque rápido							
F30T12	30	52[3]	75[3]	–	52[3]	–	76[3]
F40T12	40	52[3]	94[3]	–	52[3]	–	94[3]
De alta emisión							
F24T12	32	70[3]	100[3]	–	65[3]	100[3]	–
F48T12	60	85[3]	154[3]	–	85[3]	150[3]	–
F72T12	85	135[3]	210[3]	–	135[3]	210[3]	–
F96T12	110	140[3]	246[3]	–	140[3]	246[3]	–
De muy alta emisión							
F48T12/VHO	115	138[3]	247[3]	–	140[3]	247[3]	–
F72T12/VHO	165	200[3]	360[3]	–	200[3]	360[3]	–
F96T12/VHO	215	235[3]	450[3]	–	230[3]	450[3]	–
Circular							
FC8T9	22	29[3]	–	–	–	–	–
FC12T10	32	45[3]	–	–	43[3]	–	–
FC16T10	40	56[3]	–	–	56[3]	–	–
De arranque instantáneo							
F40T12/IS	40	20	20	25	23	21	24
F40T17/IS	40	20	20	25	23	21	24
Slimline							
F42T6[4]	25	16	–	16	16	–	16
F64T6[4]	38	17	–	30	–	–	–
F72T8[4]	38	17	–	30	12	–	25
F96T8[4]	51	19	–	30	18	–	30
F48T12[5]	39	20	20	25	23	21	24
F72T12[5]	55	26	27	33	25	26	27
F96T12[5]	75	26	27	33	25	26	27

NOTAS DE REFERENCIAS

[1] Variación del reactor, de 110 a 125 voltios

[2] Variación del reactor, de 255 a 290 voltios

[3] Vatios totales de entrada al reactor, incluyendo los vatios de la lámpara y del reactor

[4] Con la lámpara funcionando a 200 ma

[5] Con la lámpara funcionando a 425 ma

En el reactor de adelanto y retraso una lámpara tiene una bobina de reactancia conectada en serie con el mismo la cual hace que la corriente se retrase. La otra lámpara funciona en serie con una bobina de reactancia y un condensador, proporcionándole a la lámpara una corriente de adelanto o guía. Este tipo de reactor proporciona un factor de alta potencia (sobre 90%) y reduce al mínimo el efecto estroboscópico (ver la página 21). Puesto que las lámparas funcionan fuera de fase entre sí, las variaciones en la emisión luminosa no ocurren simultáneamente, con lo cual se reduce el efecto estroboscópico.

El compensador de arranque que se muestra en la figura 15, es otra bobina de reactancia conectada en serie con el arrancador para garantizarle una duración normal a la lámpara de adelanto o guía. Para las lámparas de 15 a 40 vatios, la corriente de arranque debe ser considerablemente superior a la corriente de trabajo. El uso del capacitor conectado en serie con la bobina de reactancia para la lámpara de adelanto, hace que la combinación sirva casi como un dispositivo de corriente constante el cual hace que no fluya suficiente corriente para permitir el arranque fácil El compensador descompensa el equilibrio del circuito capacitivo dejando que fluya más corriente, pero únicamente durante el período de precalentamiento cuando la lámpara está arrancando. A menudo se omiten los compensadores en los reactores de bajo costo, ya que no se necesitan en las lámparas de 90 vatios.

ARRANCADORES

La función principal de los arrancadores es la de cerrar el circuito de arranque de una lámpara de precalentamiento mientras el cátodo se calienta y después la de abrir el circuito para hacer arrancar la lámpara. Si el arco no se forma, el arrancador continúa en su intento hasta hacer arrancar la lámpara. Otra función del arrancador tipo protección es la desconectar la lámpara del circuito de arranque después de varios intentos de encenderla sin buenos resultados. Hay arrancadores térmicos y de destello. Este último es el de uso más común.

ARRANCADOR TERMICO

En la figura 16 se muestra un arrancador térmico que consiste en las siguientes partes básicas. 1) un calentador; 2) una tira bimetálica que puede hacer contacto ya sea con el elemento 3) o el 4) indistintamente Al cambiar la temperatura de la tira bimetálica hará que ésta se mueva ya sea al pasar una corriente

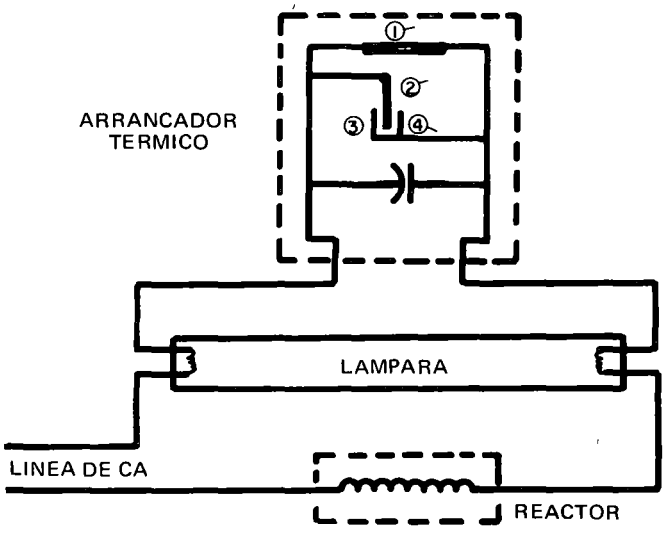


Figura 16. Arrancador térmico y circuito de la lámpara

por ella o al ser afectada por el calentador El calor hace mover al arrancador térmico a la posición de abierto, haciendo que arranque la lámpara. Ya con la lámpara operando normalmente, una pequeña cantidad de corriente continua pasando por el calentador, pero la energía consumida es de sólo un vatio. Los arrancadores tipo térmico se recomiendan para funcionamiento con corriente continua y para arranque con baja temperatura

ARRANCADOR DE DESTELLO

Existe una pequeña lámpara de destello denominada interruptor de destello, la cual se usa como si fuera el corazón de un arrancador de destello. En un tipo especial de ellas, va un electrodo consistente en un alambre duro y otro electrodo que es una tira bimetálica, ambos encerrados en una pequeña botella de vidrio llena de un gas inerte llamado argón o neón. Cuando se aplica un voltaje a través de la lámpara, se conecta el mismo voltaje a través del arrancador, según se ilustra en la figura 17.

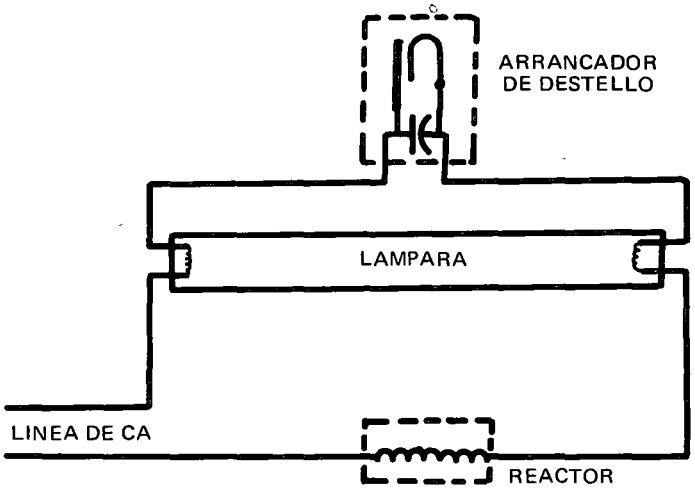


Figura 17. Arrancador de destello y circuito de la lámpara

Esto ocasiona una descarga luminosa y un pequeño flujo de corriente entre los electrodos. El efecto calefactor de la corriente hace que la tira bimetálica se dilate y haga contacto con el otro electrodo. Esto ocasiona que la corriente de precalentamiento pase por los cátodos de la lámpara por el pequeño lapso de tiempo que hay para que se cuente con suficiente calor residual en el interruptor para mantenerlo cerrado. Al enfriarse la tira bimetálica, se dobla en la otra dirección abriendo los contactos resultando de ello un impulso de alto voltaje que hace arrancar la lámpara.

Si la lámpara no arranca, se repite el ciclo de arranque. Una vez que haya arrancado la lámpara fluorescente, el voltaje a través de la lámpara y del arrancador disminuye a un valor que es insuficiente para hacer brillar al interruptor de destello. En esta forma, el arrancador de destello no consume energía durante el tiempo que la lámpara está funcionando y queda disponible para volver a arrancar inmediatamente al desconectar la lámpara.

ARRANCADOR DE REPOSICION MANUAL

Una vez que la lámpara haya llegado al final de su duración útil, resultarán inútiles los intentos que se hagan para arrancarla. Aun cuando se use un arrancador térmico o de destello, los cátodos de la lámpara continuarán relampagueando hasta que se reemplace la lámpara o falle el dispositivo de arranque. Además, el recalentamiento puede dañar el reactor. El relampagueo se puede evitar usando un arrancador de reposición manual. En la

TABLA V

RENDIMIENTO DE LAS LAMPARAS CUANDO SE INTERCAMBIAN LAMPARAS FLUORESCENTES DE 40 VATIOS DE DOS ESPIGAS CON REACTORES TIPICOS

Tipo de reactor	Lámpara de 2 espigas		Rendimiento de la lámpara
De precalentamiento	De precalentamiento	Buena	Duración asignada normal.
	De arranque instantáneo	Mala	No arranca. Filamento en corto dentro de la base de la lámpara. El arrancador continuará intentando la formación del arco hasta que ocurra la falla o se desconecte la lámpara.
	De arranque rápido	Buena	Duración asignada normal.
De arranque instantáneo	De precalentamiento	Mala	Puede arrancar. Muy corta duración debido a que la corriente primaria fluye a través de un filamento, causando ennegrecimiento prematuro y fallas.
	De arranque instantáneo	Buena	Duración asignada normal.
	De arranque rápido	Mala	Puede arrancar. Muy corta duración debido a que la corriente primaria *alta* fluye por uno de los filamentos diseñado para corriente calefactora *baja.*
De arranque rápido	De precalentamiento, solamente	Mala	No se recomienda. Podrían arrancar con una mejor conexión a tierra o alto voltaje de línea, pero el arranque es dudoso e ineficaz bajo condiciones del campo habituales.
	De arranque instantáneo	Mala	No arranca. El filamento en corto circuito a través del devanado del calentador sobrecalentará el reactor y podría fundirlo.
	De arranque rápido	Buena	Duración asignada normal.

pulgada para las lámparas por debajo de 500 ma. En la mayoría de los casos, el reflector o el canal de alambrado sirve para este propósito.

INTERCAMBIABILIDAD DE LAS LAMPARAS DE 40 VATIOS

Para lograr el rendimiento satisfactorio, las lámparas fluorescentes deberán funcionar siempre utilizando el reactor debido. En la Tabla V se describe el rendimiento esperado de las lámparas, así como los resultados producidos cuando se intercambian en forma inadvertida.

PORTALAMPARAS

Existe una gran variedad de portalámparas para las distintas bases de las lámparas fluorescentes con el objeto de cumplir con los requisitos de instalación y montaje. La función de los portalámparas es la de sostener las lámparas fluorescentes y proporcionar conexiones eléctricas. El tipo que más se usa para las lámparas de dos espigas de arranque rápido y de precalentamiento, es el de torcedura y vuelta. También hay otros tipos de portalámparas para las lámparas con base de dos espigas denominados portalámparas de vaivén con presión por muelle o resorte. Se usan otros tipos especiales de dos espigas interruptores de circuito con reactores para una sola lámpara y con reactores reguladores de la intensidad luminosa.

Para sostener la lámpara Slimline de una sola espiga, el resorte se encuentra en el extremo de alto voltaje, mientras que el de bajo voltaje es rígido y tiene un dispositivo para interrumpir el circuito. Este tipo evita que se conecte el voltaje a las espigas de la lámpara antes de que esté firmemente colocada en ambos portalámparas, reduciendo así la posibilidad de un choque eléctrico al ser instalada la lámpara. En la figura 24 se muestran algunos de los portalámparas típicos para lámparas fluorescentes.

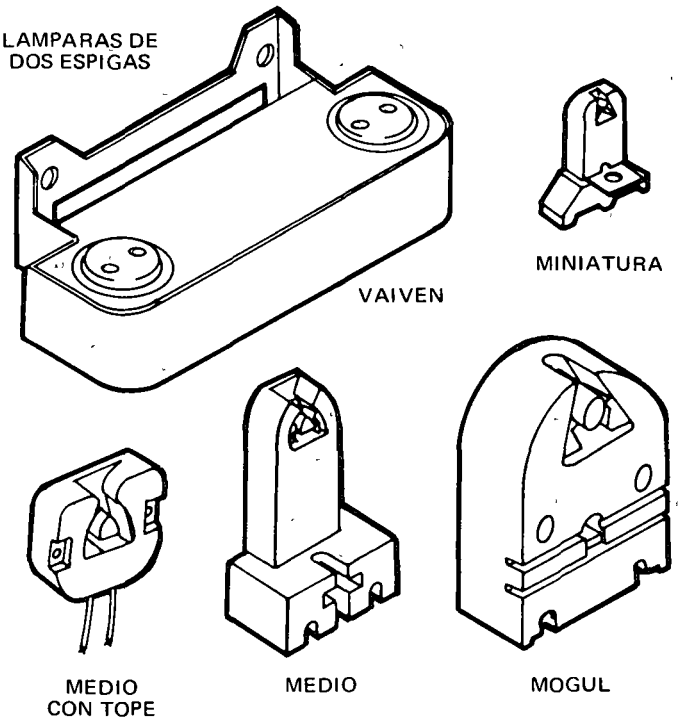
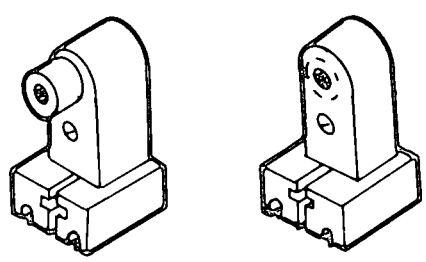


Figura 24. Portalámparas típicos para lámparas fluorescentes

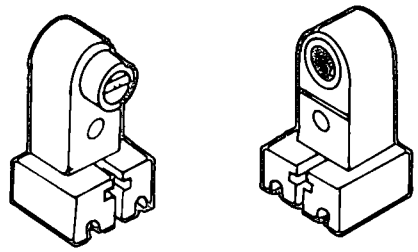


EXTREMO DE ALTO VOLTAJE

EXTREMO DE BAJO VOLTAJE

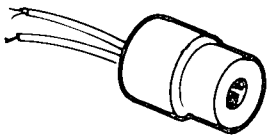
LAMPARAS SLIMLINE (LINEA FINA)

MONTAJE CON TOPE TIPO "CONTACTO DE PRESION"

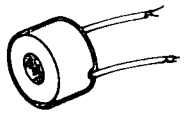


EMBUTIDO DE DOBLE CONTACTO

LAMPARAS DE ALTA EMISION LUMINICA Y DE MUY ALTA EMISION LUMINICA

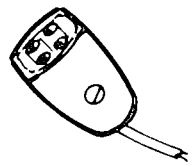


EXTREMO DE ALTO VOLTAJE



EXTREMO DE BAJO VOLTAJE

LAMPARAS SLIMLINE



CONECTOR PARA LAMPARA CIRCULAR

Figura 24. Portalámparas típicos para lámparas fluorescentes

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS FLUORESCENTES

DURACION DE LA LAMPARA

En comparación con las lámparas incandescentes, las lámparas fluorescentes tienen un promedio de duración asignada mucho mayor, pero la forma de la curva de esperanza de duración es muy parecida, según se indica en la figura 25. Debido a las ligeras variaciones en la construcción de las lámparas y de los materiales empleados, sería imposible lograr que la lámpara funcionara por el tiempo exacto para el cual fue diseñada Por ese motivo, la clasificación nominal de las lámparas se hace en base al promedio de duración de un grupo considerable de lámparas funcionando en condiciones controladas en un laboratorio La duración promedio calculada es el punto en el cual el cincuenta por ciento aproximadamente de las lámparas en un grupo considerable se han fundido y el cincuenta por ciento restante sigue encendiendo, según se detalla en la curva de esperanza de duración.

Durante el ciclo de arranque y el período de funcionamiento de una lámpara fluorescente, el material emisivo es expulsado de los cátodos El final normal de duración se alcanza cuando no queda material emisivo suficiente en ninguno de los dos cátodos para formar el arco.

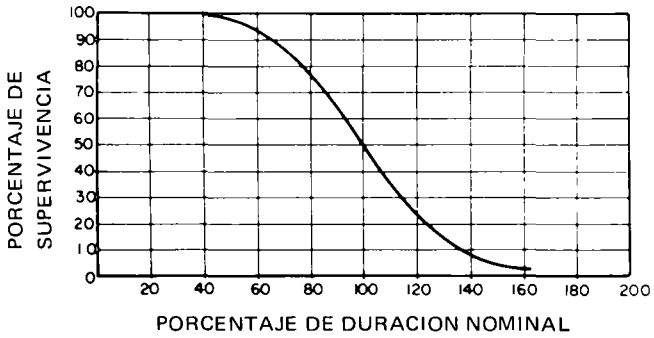


Figura 25. Curva típica de esperanza de duración y de mortalidad para las lámparas fluorescentes

EFECTO QUE TIENEN LOS PERIODOS DE ENCENDIDO SOBRE LAS LAMPARAS

En virtud de que las cifras publicadas sobre el promedio de duración nominal de las lámparas se basan por regla general en un ciclo de encendido de tres horas, los cálculos tienen que reflejar los efectos tanto de los períodos de encendido como de arranque Por lo tanto, cualquier cambio en las horas de encendido por ciclo, se reflejará en las horas de servicio. Los ciclos de encendido más cortos (arranques más frecuentes) reducen la duración y los ciclos de encendido mayores (arranques menos frecuentes) la aumentan. En la figura 26 se muestran las curvas típicas de mortalidad para las lámparas de arranque rápido de 40 vatios con diferentes ciclos de encendido.

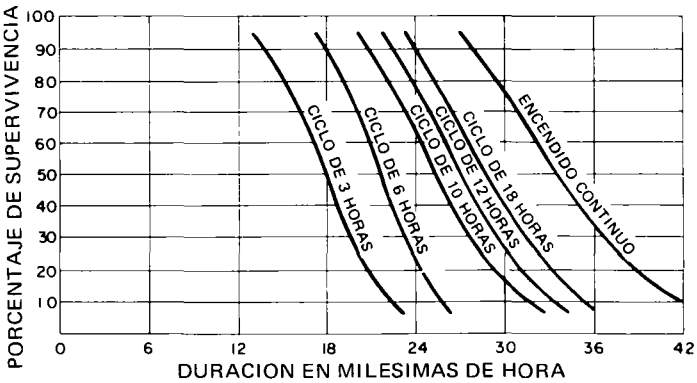


Figura 26. Curvas típicas de mortalidad en función de ciclos de encendido para las lámparas de arranque rápido de 40 vatios con duración nominal de 18.000 horas

Asimismo, en la Tabla VI se indica la duración promedio de las lámparas fluorescentes a varios ciclos de encendido

TABLA VI

PROMEDIO DE DURACION EN HORAS DE LAS LAMPARAS FLUORESCENTES A DISTINTOS CICLOS DE ENCENDIDO

Tipo de lámpara	Horas por arranque					
	3	6	10	12	18	Continuo
De precalentamiento de 40W	12,000	14,000	17,000	18,000	20,000	22,500
De arranque rápido de 40W	18,000	22,000	25,000	26,000	28,500	34,000
De alta emisión lumínica	12,000	14,000	17,000	18,000	20,000	22,500
De muy alta emisión lumínica	9,000	11,300	13,500	14,400	16,200	22,500
Slimline (96T12)	12,000	14,000	17,000	18,000	20,000	22,500

REEMPLAZO COLECTIVO

Las lámparas fluorescentes en un sistema de alumbrado se pueden reemplazar en forma individual a medida que se funden o en forma colectiva de una sola vez, con el correspondiente ahorro en la mano de obra. La curva de mortalidad que aparece en la figura 25, indica que las lámparas fluorescentes comienzan a fallar con mayor rapidez después de alcanzar un setenta por ciento de su vida nominal. Además, el rendimiento lumínico disminuye a medida que el total de horas de encendido aumenta. Para la mayor parte de los sistemas de alumbrado, la mejor época para efectuar el reemplazo colectivo de las lámparas es cuando se llega a un 65 ó 75 por ciento del promedio de duración de servicio. Sin embargo, el programa más económico para realizar dicho reemplazo se deberá determinar tomando en cuenta el costo de las lámparas y de la mano de obra para cada instalación en particular.

MANTENIMIENTO DE LUMENES

Puesto que la intensidad lumínica de las lámparas fluorescentes disminuye con mayor rapidez durante las primeras cien horas de vida que después de pasado ese período, el valor publicado de "lúmenes iniciales" constituye el guarismo medido después de las cien horas de encendido y su depreciación luménica puede llegar a ser hasta de diez por ciento. Empero, dicha disminución es mucho más gradual durante el resto de la duración de la lámpara. Las dos causas principales que afectan la depreciación en cuestión, la constituyen: 1) la deterioración gradual del revestimiento fosfórico y 2) el ennegrecimiento de la superficie interior del bombillo o foco producido por el material emisivo en los cátodos, particularmente en los extremos de la lámpara. Las lámparas de menor diámetro, con bulbos tipo T-5, T-6 y T-8, acusan un mayor ennegrecimiento en los extremos debido a que los cátodos están más cerca de las paredes del bulbo. El mantenimiento de los lúmenes no es afectado en forma apreciable por el número de horas de encendido por arranque.

El mantenimiento de lúmenes es mejor con las lámparas regulares Slimline y de arranque rápido T-12 que con las de alta emisión lumínica y las de muy alta emisión lumínica. Asimismo, algunos fósforos tienen mejor mantenimiento que otros. En la figura 27 se ilustra el mantenimiento de lúmenes de tres tipos de lámparas fluorescentes blanco-fresco.

EFECTO DE LA TEMPERATURA

El rendimiento lumínico de las lámparas fluorescentes varía en forma considerable con la temperatura de la pared del bombillo. La temperatura afecta la presión del vapor de mercurio, la cual

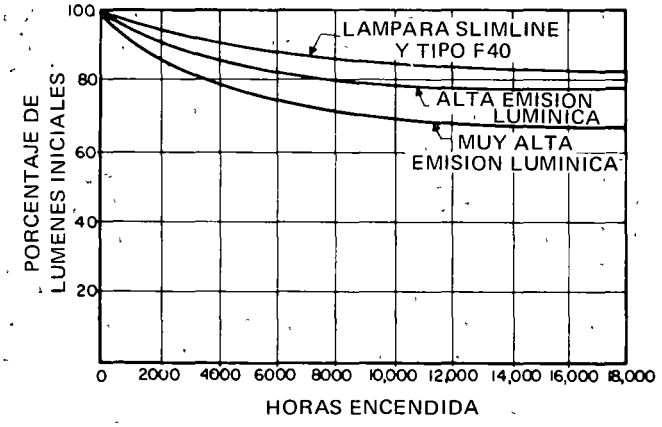


Figura 27. Mantenimiento de lúmenes aproximado de varios tipos de lámparas fluorescentes blanco-fresco

depende del punto más frío existente en la pared del bombillo. Las variaciones en la presión del vapor de mercurio cambian la emisión lumínica de la lámpara. Puesto que los cambios producidos en la temperatura ambiente van acompañados de cambios similares en la temperatura de la pared del bombillo, el rendimiento lumínico se ve afectado por las variaciones en la temperatura ambiente, según se muestra en la figura 28. Los valores nominales del rendimiento lumínico se midieron a una temperatura normal ambiente industrial de 25°C (77°F).

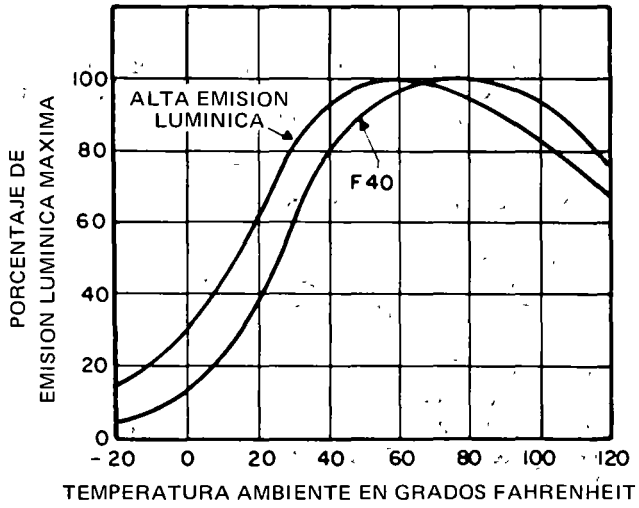


Figura 28. Cambios en el rendimiento lumínico con la temperatura ambiente de las lámparas fluorescentes desnudas en aire calmado

Cuando las lámparas fluorescentes se usan en el interior a la temperatura normal del interior del cuarto, suministran el grado máximo de luz cuando se usan con los equipos de alumbrado adecuados para evitar el sobrecalentamiento. En la figura 28 se notará que el rendimiento lumínico decrece a medida que aumenta la temperatura ambiente por sobre 25°C (77°F). Las luminarias encastradas extractoras de calor y aire, mejoran el rendimiento lumínico mediante el control de la temperatura de la pared del bombillo de la lámpara. Sin embargo, las lámparas desnudas, por estar expuestas al enfriamiento excesivo producido por climatizadores, pueden acusar un rendimiento lumínico reducido.

Cuando las lámparas fluorescentes se usan a la intemperie, el arranque puede representar un problema a bajas temperaturas y, en consecuencia, se necesitará un voltaje de arranque más alto. Con reactores regulares se pueden arrancar algunas lámparas en forma relativamente segura a temperaturas de 50°F. Existen reactores para bajas temperaturas para utilizarse con ciertos tipos de lámparas a temperaturas tan bajas como de 0°F o de −20°F.

Una vez que ha arrancado la lámpara, la cantidad de luz depende de la temperatura a que llegue el bombillo. Puesto que esa temperatura varía con el tipo de lámpara que se use, la selección de la lámpara adecuada juega un papel muy importante. El rendimiento lumínico relativo en función de las curvas de la temperatura ambiente para los distintos tipos de lámparas fluorescentes que se usan comúnmente a la intemperie, se muestran en la figura 29. La temperatura a que ocurre la emisión lumínica máxima, depende de la lámpara, del diseño del receptáculo de la misma y de la velocidad del viento.

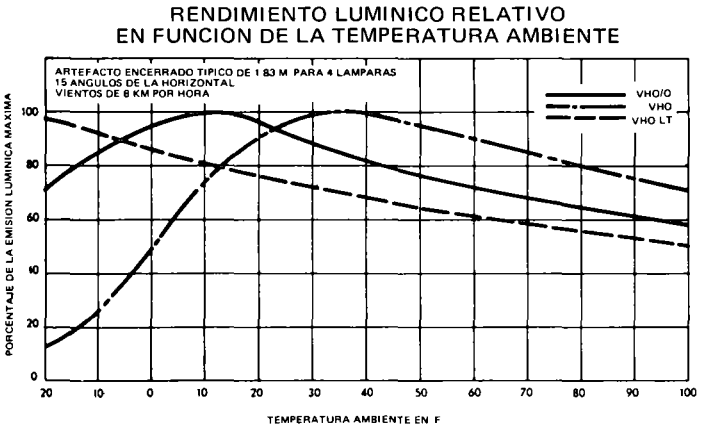


Figura 29. Curvas mostrando el rendimiento lumínico relativo a varias temperaturas ambiente de varios tipos de lámparas fluorescentes para intemperie

EFECTO DE LA HUMEDAD

Con el objeto de garantizar el arranque bajo condiciones de alto índice de humedad, las lámparas de arranque instantáneo y de arranque rápido llevan un revestimiento externo a base de silicio. Cuando el bombillo está seco, existe una carga electrostática en la parte externa de las lámparas fluorescentes la cual reduce el voltaje de arranque necesario. La humedad excesiva puede producir una película o una capa de humedad en el bombillo que hacen necesario el empleo de voltajes de arranque superiores. El revestimiento de silicio hace que la humedad se forme en gotitas en vez de una capa continua, garantizando así un arranque seguro aun con la humedad elevada. Puesto que el circuito de calentamiento previo suministra un impulso de voltaje de arranque más alto, el arranque en sí no presenta ningún problema en temperaturas con mucha humedad.

EFECTO DEL VOLTAJE

No obstante que las lámparas fluorescentes no son tan sensibles a los cambios de tensión o voltaje como lo son las lámparas incandescentes, el voltaje existente en el artefacto de las mismas deberá mantenerse dentro del régimen especificado del reactor indicado en la etiqueta. Tanto el alto como el bajo voltaje tenderán a reducir la duración y eficacia de la lámpara. Esto no se puede decir de las lámparas incandescentes, en las cuales se usa el voltaje reducido para prolongar la duración y reducir la eficacia de las mismas. Además, los bajos voltajes pueden causar problemas de arranque en las lámparas fluorescentes. El efecto producido por los voltios de la línea en la lámpara, los amperios, vatios y lúmenes, se detalla en la figura 30.

Un cálculo aproximado es que la variación de 1% en el voltaje de la línea cambia la emisión luménica como 1% solamente.

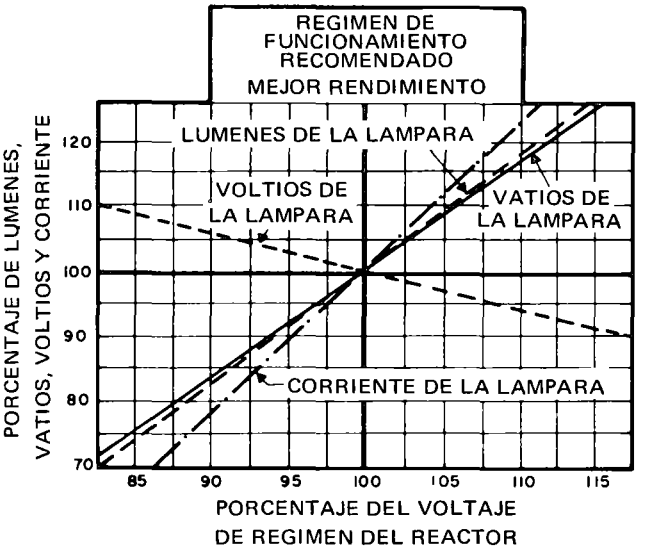


Figura 30. Efecto del voltaje en los voltios, amperios, vatios y lúmenes de una lámpara con un reactor de arranque rápido conectado en serie para dos lámparas

El bajo voltaje de la línea puede reducir la corriente de precalentamiento en las lámparas de calentamiento previo, dando como resultado el relampagueo frecuente de las lámparas durante el arranque. Con esto se reduciría la duración de la lámpara debido a que el material emisivo es expulsado de los cátodos. Si las lámparas de arranque rápido se hacen trabajar con un bajo voltaje, se verán afectadas por la reducción de corriente calefactora de los cátodos, la cual podría afectar también en forma adversa el arranque, a la vez que aceleraría la descoloración de los extremos de la lámpara y acortaría la duración de la misma. Aun durante el período de encendido, las lámparas de arranque rápido deberán tener un voltaje catódico adecuado.

Si se sujetan a una disminución considerable en el voltaje de la línea, las lámparas fluorescentes se apagarán ya sea momentáneamente o por períodos más largos, según lo que dure la reducción. La cantidad fluctúa con el tipo de lámpara que se use y las características del reactor. A continuación se indican las caídas de voltaje que harán que se apague una lámpara de 40 vatios·

Tipo precalentamiento	25%
Tipo arranque rápido con secuencia en serie	20%

Tipo arranque instantáneo con secuencia en serie 50%
Tipo arranque instantáneo de adelanto y retraso 40%

EFECTO DE LA FRECUENCIA

La eficacia de un reactor en su función reguladora de corriente, depende de la frecuencia de la fuente de alimentación. En consecuencia, es importante que el reactor trabaje solamente a la frecuencia para la que fue diseñado Por ejemplo, si se emplea un reactor de 60 hertzios en un circuito de 50 hertzios, se aumentaría la corriente en una lámpara de retraso. La frecuencia superior a la frecuencia para la cual fue diseñado le reduciría la corriente a la lámpara de retraso, acortaría su período de duración y causaría un sobrecalentamiento innecesario del reactor. Con las lámparas de adelanto, los cambios en la frecuencia tienen un efecto contrario.

Existen algunas instalaciones que usan lámparas fluorescentes a frecuencias superiores a los 60 hertzios, tales como a 400 o a 840 hertzios. En esos casos se usa un reactor especial de tamaño pequeño y con menos pérdida de vatiaje. La eficacia y la emisión lumínica de la mayoría de las lámparas fluorescentes aumenta cuando aumenta la frecuencia. Las instalaciones que tienen sistemas de alta frecuencia están limitadas primordialmente por el costo y eficiencia de los equipos necesarios para la conversión de potencia de 60 hertzios a otros de frecuencias superiores. Algunos de los sistemas de alta frecuencia actualmente en uso tienen una fuente de alimentación convertidora estática centralizada y trabajan a frecuencias de 3.000 hertzios o superiores.

EFECTO ESTROBOSCOPICO

El arco de mercurio en una lámpara fluorescente que trabaja con una corriente alterna de 60 hertzios, se enciende y se apaga 120 veces por segundo. La luz de la lámpara también se apagaría si no fuera por los fósforos que tienen "continuidad" o acción fosforescente. Es decir, que continúan brillando por un corto período de tiempo después de cortar las radiaciones existentes. Sin embargo, todavía hay una variación rápida en la emisión luménica que pasa desapercibida al ojo humano, excepto tal vez como un centelleo en los extremos de la lámpara. En algunas circunstancias, esa variación en la emisión de luz puede producir lo que se conoce como efecto estroboscópico. Debido a dicho efecto, un objeto que se desplaza a una velocidad uniforme, da la impresión de moverse en forma brusca. Bajo las más extremas condiciones estroboscópicas, un objeto giratorio, tal como un volante, daría la impresión de estar inmóvil o de girar en dirección inversa. En la actualidad, el efecto estroboscópico rara vez ocasiona problemas en las lámparas fluorescentes pues los fósforos modernos tienen períodos de continuidad relativamente largos De haber algún problema, con el empleo de reactores alternados en circuitos trifásicos se reduciría el efecto estroboscópico debido a que las lámparas trabajan fuera de fase y alcanzan su emisión lumínica máxima a tiempos separados.

FUNCIONAMIENTO CON CORRIENTE CONTINUA

Las lámparas fluorescentes pueden funcionar con corriente continua siempre y cuando se use una resistencia conectada en serie con un reactor inductivo y haya un voltaje lo suficientemente alto. En la figura 31 se muestra un circuito de corriente continua para una sola lámpara. En un circuito de este tipo todavía es necesario usar un reactor de inducción para producir el impulso necesario para arrancar la lámpara cuando el interruptor de arranque se abre. Dado que la bobina de inducción no tiene ningún efecto limitador sobre la corriente continua que fluye por el arco, se debe usar una resistencia conectada en serie con la lámpara y la bobina para limitar la corriente. La cantidad de resistencia óhmica dependerá del tamaño de la lámpara y de la tensión del circuito. La eficacia se reduce, en comparación con el funcionamiento con corriente alterna, debido a que la resistencia consume aproximadamente tanta energía como la lámpara. La duración de la lámpara también será menor.

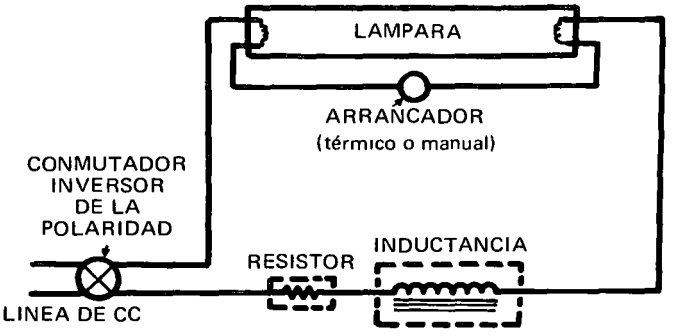


Figura 31. Circuito típico para el funcionamiento con corriente continua de las lámparas fluorescentes

Otro problema lo presenta el flujo constante de la corriente continua en una dirección, lo cual hace que el mercurio se desplace hacia el extremo negativo del tubo. Como resultado, el extremo positivo se atenúa después de varias horas de funcionamiento. El conmutador inversor de la polaridad se recomienda para todas las lámparas de 30 vatios o más para invertir las funciones de los electrodos a intervalos de unas cuantas horas y eliminar así la tendencia de que la lámpara encienda débilmente en uno de los extremos. Para las lámparas más cortas, que no sufren con la migración del mercurio, resulta útil usar un conmutador inversor para equilibrar el desgaste de los cátodos invirtiendo la dirección de la corriente. El conmutador de control deberá ser del tipo que inverte la corriente automáticamente cada vez que se enciende la lámpara

REACTORES INVERSORES

Hay ocasiones en que es conveniente convertir la corriente continua en corriente alterna para usar lámparas fluorescentes con equipos accionados por acumuladores, tales como automóbiles, botes, linternas de mano u otros aparatos portátiles Esto se puede hacer con un inversor el cual es un dispositivo compacto, de estado sólido, capaz de convertir la corriente continua de bajo voltaje en corriente alterna de alta frecuencia. El empleo de este dispositivo le ha abierto un campo a las lámparas fluorescentes que le estaba reservado anteriormente en forma exclusiva a las lámparas incandescentes.

ATENUACION

La atenuación de las lámparas fluorescentes de arranque rápido resulta práctica cuando trabajan con reactores o reguladores y circuitos específicamente diseñados para ese fin. El reactor de atenuación mantiene los cátodos de las lámparas alimentados con la corriente calefactora adecuada sin importar el tiempo que dure la atenuación de la lámpara. El elemento de atenuación que controla la corriente del arco puede ser un autotransformador de voltaje variable, un reactor ajustable, un tiratrón, un rectificador controlado a silicio u otro dispositivo de estado sólido. Existen algunos sistemas de atenuación que brindan un control suave sin producir ningún destello. Van desde brillo total hasta casi obs-

curidad absoluta, con una relación de atenuación de 500 a 1 aproximadamente. La vida nominal de la lámpara generalmente no sufre efecto alguno al quedar sujeta al servicio de atenuación. En la figura 32 se ilustra un circuito típico de atenuación de una lámpara de 40 vatios del tipo de arranque rápido.

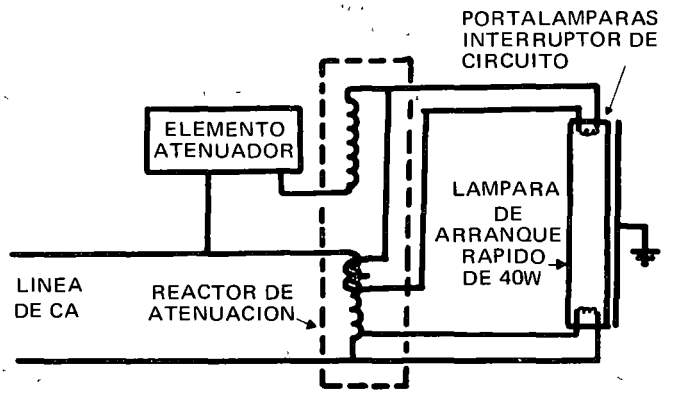


Figura 32. Circuito de atenuación de una lámpara de 40W de arranque rápido

DESTELLO

Cuando las lámparas fluorescentes con reactores ordinarios se encienden y se apagan frecuentemente, su duración se reduce enormemente (ver la sección referente al "Efecto que tienen los períodos de encendido sobre las lámparas", en la página 18). Sin embargo, el empleo de un reactor especial de destello permite que las lámparas de arranque rápido destellen millones de veces con la esperanza de vida normal. Los reactores de destello son muy parecidos a los reactores de atenuación en el sentido de que suministran corriente calefactora constante a los cátodos de la lámpara, aun cuando ésta esté en la sección de desconectado del ciclo de destello. El destello no desconecta la totalidad del circuito sino que abre el circuito del arco de la lámpara solamente.

El circuito de destello es como el circuito de atenuación que se ilustra en la figura 32, salvo que el elemento atenuador es reemplazado por un dispositivo especial de destello. Las lámparas fluorescentes de destello se usan ampliamente en la industria manufacturera de rótulos de plástico.

INTERFERENCIA DE RADIO

La radiación electromagnética que puede causar un zumbido en los radioreceptores cercanos, es emitida por el arco de mercurio de las lámparas fluorescentes. Dicha interferencia queda circunscrita generalmente a la banda de radiotransmisión de AM común debido a las frecuencias generadas por el arco La interferencia de radio se puede suprimir en grado sumo mediante el uso de capacitores en los reactores de arranque rápido y de arranque instantáneo y en los arrancadores de circuitos de precalentamiento.

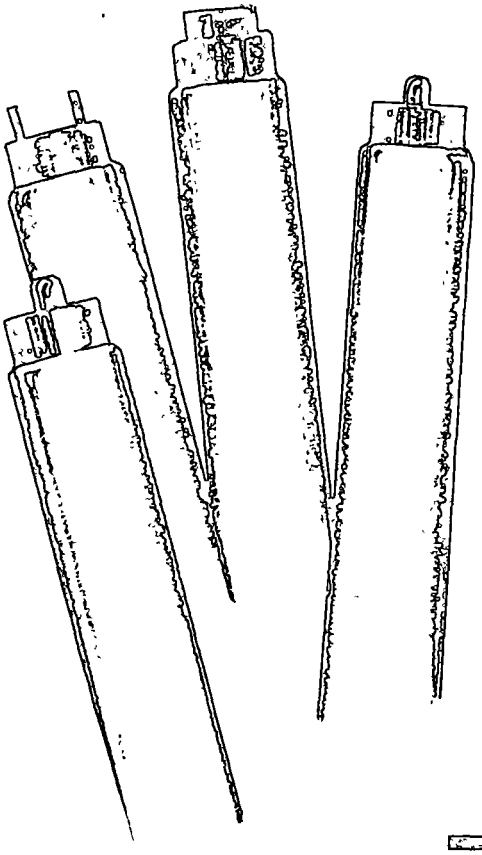
Es posible que una lámpara fluorescente cause interferencia de radio en tres formas, a saber·

1) mediante radiación "radiodifusora" directamente desde la lámpara hasta el aparato de radio.
2) mediante radiación desde los alambres eléctricos cerca del artefacto de la lámpara y
3) mediante "realimentación" a lo largo de los alambres eléctricos hasta el aparato de radio.

Si la radiación es directa, moviendo el radio como a tres metros de distancia de la lámpara eliminará el problema. La interferencia que es conducida al radio se puede suprimir conectando un filtro en la línea, en el artefacto Este tipo de filtro se consigue en cualquier tienda donde venden accesorios para radios.

LOCALIZACION Y REPARACION DE FALLAS

En virtud de que el presente boletín no pretende ser un manual de servicio, no se incluyen métodos para la localización y reparación de fallas.



donde las nuevas ideas son luminosas

GTE SYLVANIA

General Telephone & Electronics International, S. A. de C. V.

MEXICO	MONTERREY	GUADALAJARA
TENAYUCA 475	J E GONZALEZ 250 SUR	MIGUEL BLANCO 1164
MEXICO 13, D F	MONTERREY, N L	GUADALAJARA, JAL
524-46-50	46-31-68 y 46-11-92	14-38-08 y 13-41-28

DATOS DE REFERENCIA DE LAS

Vatios nominales de la lámpara (A)	Designación del ANSI	Tamaño y forma del bombillo	Base de latón niquelado completamente roscada	Longitud total máxima (pulgadas)	Longitud del centro de luz (pulgadas)	Longitud del arco (pulgadas)	Designación del color
40	H45-AZ H45-AY/DX	B-21	Mediana	6-1/2	3-3/4±3/16	21/32±1/8	Claro Blanco brillante de lujo
75	H43-AZ H43-AY/DX	B-21	Mediana	6-1/2	3-3/4±3/16	1-3/64±1/8	Claro Blanco brillante de lujo
100	H38-4MP/DX	A-23	Mediana	5-7/16	3-1/2±3/16	1-3/64±1/8	Blanco brillante de lujo
	H38-AZ H38-AY/C H38-AY/DX	B-21	Mediana	6-1/2	3-3/4±3/16	1-3/64±1/8	Claro De color mejorado Blanco brillante de lujo
	H38-4HT H38-4JA/C H38-4JA/W H38-4JA/DX	BT-25	Mogul	7-1/2	5±3/16	1-3/64±1/8	Claro De color mejorado Blanco Blanco brillante de lujo
	H38-KV/DX	G-40	Mediana	6-15/16	4-5/16±3/16	1-3/64±1/8	Blanco brillante de lujo
175	H39-22KB H39-22KC/C** H39-22KC/W** H39-22KC/WDX H39-22KC/DX**	BT-28	Mogul	8-5/16	5±3/16	1-3/4±1/8	Claro De color mejorado Blanco Cálido de lujo Blanco brillante de lujo
250	H37-5KB H37-5KC/C** H37-5KC/W** H37-5KC/DX**	BT-28	Mogul	8-5/16	5±3/16	2±1/8	Claro De color mejorado Blanco Blanco brillante de lujo
400	H33-1AR	T-16	Mogul	11	7±1/4	2-13/16±1/8	Claro
	H33-1CD H33-1GL/C** H33-1GL/W** H33-1GL/WDX H33-1GL/DX**	BT-37	Mogul	11-1/2	7±1/4	2-13/16±1/8	Claro De color mejorado Blanco Cálido de lujo Blanco brillante de lujo
700	H35-18NA H35-18ND/C** H35-18ND/W** H35-18ND/DX**	BT-46	Mogul	14-1/2	9-1/2±3/8	5±1/4	Claro De color mejorado Blanco Blanco brillante de lujo
1000 De alta corriente	H34-12GV H34-12GW/C** H34-12GW/W** H34-12KY/C H34-12GW/DX	BT-56	Mogul	15-3/8	9-1/2±3/8	5-5/8±1/4	Claro De color mejorado Blanco De color mejorado Blanco brillante de lujo
1000 Común	H36-15GV H36-15GW/C** H36-15GW/W** H36-15KY/C H36-15KY/DX H36-15GW/DX**	BT-56	Mogul	15-3/8	9-1/2±3/8	5-7/8±1/4	Claro De color mejorado Blanco De color mejorado Blanco brillante de lujo Blanco brillante de lujo
1500	H36-15GV H36-15GW/C	Datos proporcionados para el funcionamiento a 1500 vatios de las lámparas H36-15GV y H36-GW/C					Claro De color mejorado

(A) En los vatios nominales de la lámpara no se incluye el vatiaje. El vatiaje del balastro es aproximadamente de 10 a 15% de los vatios de la lámpara. Se recomienda consultar los datos proporcionados por el fabricante de balastros individuales.
Tiempo de calentamiento: de 4 a 5 minutos. Tiempo de re-arranque: de 4 a 6 minutos.

(B) El diámetro de los bombillos se da en octavos de pulgada. Las dimensiones que se dan son nominales. Por ejemplo el bombillo BT-56 es de 56 octavos o de siete pulgadas de diámetro (ver la página 15).

(C) Los valores aproximados de los lúmenes iniciales proporcionados son después de 100 horas de operación con la lámpara funcionando a los vatios de régimen. La lectura de los pies-bujías iniciales no se deberá tomar antes de 100 horas de operación.

Lámpara de sol con forma de reflector

La lámpara de sol con forma de reflector (RS) es en realidad una lámpara de mercurio de 275 vatios con balastro incorporado que lleva un reflector integral con el fin de proporcionar radiación ultravioleta y quemar como si fuera el sol. Un bombillo de vidrio de Vycor transmite la energía ultravioleta eritérmica generada por el arco de mercurio el cual es controlado por un interruptor de arranque automático y por un filamento de tungsteno que actúa como balastro. El arco y el filamento combinados consumen 275 vatios y la lámpara puede funcionar directamente en cualquier circuito de 110-130 voltios, 50-60 hertzios, de corriente alterna. Se necesita un período de calentamiento como de dos minutos para alcanzar la emisión ultravioleta completa y un tiempo de rearranque de 3 minutos aproximadamente si se interrumpe el arco. La duración de vida normal de la lámpara de sol es de 1200 aplicaciones.

DATOS DE FUNCIONAMIENTO

En la Tabla 1 se indican los valores nominales correspondientes a las características físicas, eléctricas y fotométricas de las lámparas de mercurio Sylvania. Los valores dimensionales y eléctricos anotados igualan o exceden las normas establecidas por el instituto ANSI en su aplicaciones respectivas.

Las características de mantenimiento preventivo y los parámetros eléctricos son iguales a los que se dan en el presente boletín para los tipos con vatiajes comparables.

BALASTROS PARA LAMPARAS DE MERCURIO

Las lámparas de mercurio, igual que con todas las lámparas de gran intensidad lumínica, deberán trabajar con la ayuda de un dispositivo auxiliar denominado balastro o reactor, cuya función principal es la de suministrar suficiente voltaje o tensión para arrancar la lámpara y limitarle la corriente de funcionamiento. Si la corriente en una lámpara de gran intensidad lumínica no se limitara, aumentaría rápidamente hasta quemar la lámpara. Todas las lámparas de mercurio necesitan un balastro diseñado en forma de cumplir con las especificaciones establecidas por el instituto ANSI para el funcionamiento debido de la lámpara.

Balastro reactor con factor de baja potencia

El reactor con factor de baja potencia es el tipo de balastro más simple. Consiste en una bobina de alambre arrollado en un núcleo de hierro que está colocado en serie con la lámpara y su única función es la de limitar la corriente de la misma. Los reactores se pueden usar solamente cuando el voltaje de línea es superior al voltaje de arranque de la lámpara. Inherentemente, el factor de potencia del circuito es como de 50% en retardo.

Puesto que el reactor únicamente efectúa la función de control de corriente, resulta ser el balastro más económico, más pequeño y más eficiente. Sin embargo, proporciona muy poca regulación para las fluctuaciones que se efectúan en el voltaje de la línea y, por lo tanto, no se recomienda cuando las fluctuaciones exceden de 5%. En la figura 7 se muestra el diagrama de conexión.

Balastro reactor con factor de alta potencia

El balastro reactor se puede corregir para lograr un factor de alta potencia agregándole un capacitor a través de la línea en la forma que se indica en la figura 8. Tanto la corriente como la regulación de la lámpara son esencialmente las mismas que con el reactor con factor de baja potencia. Con el capacitor conectado a través de la línea no se afecta el circuito de la lámpara sino que aumenta el factor de potencia del sistema hasta un grado superior al 90%. Además, reduce el valor de la corriente de entrada bajo las condiciones de arranque y funcionamiento casi 50% por sobre el sistema del factor de baja potencia, lo cual permite el empleo de una cantidad mayor de balastros y de lámparas en una línea de un calibre determinado de alambre.

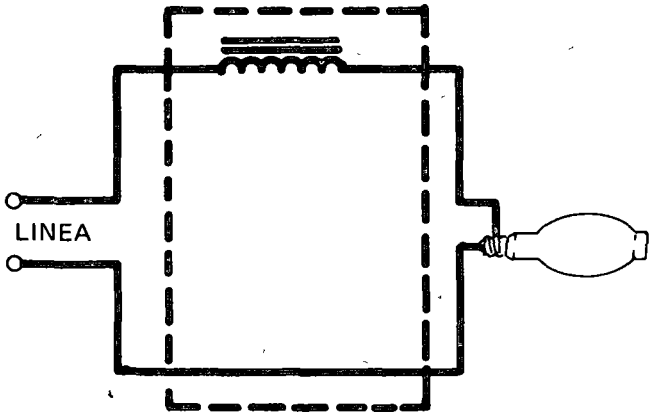


Figura 7. Balastro reactor con factor de baja potencia

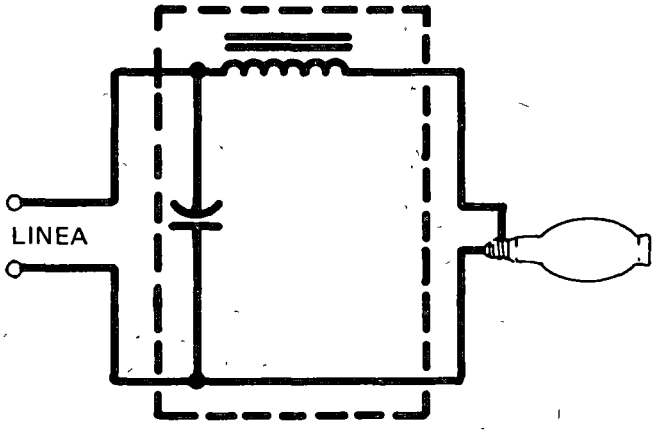


Figura 8. Balastro reactor con factor de alta potencia

sirven para mejorar la correlación del color, sino que también aumentan la emisión lumínica inicial para otros tipos. La lámpara de mercurio Sylvania tipo blanco-brillante de lujo, por ejemplo, tiene un revestimiento de fósforo activado por europio cuyo máximo rendimiento se encuentra en la región de rojo del espectro y también aumenta la eficacia inicial. Además, mejora la apariencia de colores en comparación con las lámparas claras de mercurio. En las figuras 3, 4, 5 y 6 se muestran las curvas de distribución de energía espectral de varios tipos de lámparas de mercurio.

DESIGNACIONES DE LAS LAMPARAS

Todas las lámparas de mercurio tienen sus propias designaciones para identificación totalmente distintas a las que se usan para las lámparas fluorescentes e incandescentes. Este sistema es autorizado y administrado por el "American National Standards Institute" (A.N.S.I.). Todas las designaciones comienzan con la letra "H" del griego hidrargiro, o sea el nombre antiguo del mercurio. Después de dicha letra se agregan números arbitrarios para indicar las características eléctricas de las lámparas y sus balastros (reactores). Si lleva dos números, significa que la lámpara funciona con cualquiera de los dos tipos de balastros. Las dos letras que siguen a esos números, sirven para identificar el tamaño del bombillo, su forma, acabado, así como otras características propias del mismo, con la excepción del color. Cuando la superficie externa del bombillo lleva un revestimiento de fósforo, se le agrega una diagonal (/) y una o más letras para especificar el color. Por ejemplo, la designación que se usa para la lámpara de mercurio blanco-brillante de lujo de 400 vatios, H33-1GL/DX, se descompone como sigue:

H – Indica que es una lámpara de mercurio.

33-1 – Números que se usan para los balastros de 400 vatios.

GL – Dos letras seleccionadas arbitrariamente para describir las características físicas de la lámpara: tamaño del bombillo, forma y acabado.

DX – Indica el color blanco-brillante de lujo. Esta parte de la designación no aparece en las lámparas de color claro.

TIPOS DE LAMPARAS DE MERCURIO

Las lámparas de mercurio de uso general varían en potencia desde 40 hasta 1000 vatios. Las que más se usan son las de 400 y de 1000 vatios. No obstante que las distintas potencias eléctricas de las lámparas de mercurio no pueden separarse exactamente por sus aplicaciones específicas, se pueden hacer los agrupamientos siguientes por vatiajes y usos comunes:

De 40 a 100 vatios (Base media, bombillos tipo A-23, B-21, G-40)

Estas son lámparas de mercurio tipo compacto cuya capacidad se aproxima a la de una lámpara incandescente ordinaria de 150 vatios y proporcionan hasta 2 veces y media la emisión lumínica de las lámparas incandescentes del mismo vatiaje. Resultan ideales para linternas de postes, patios, instalaciones para remolques, áreas de estacionamiento, entradas de edificios y residencias. El tipo G-40 es ideal para usos decorativos cuando el bombillo queda a la vista.

De 100, 175 y 250 vatios (Base Mogul, bombillos tipo BT-25 y BT-28)

Este tipo de lámparas de bajo vatiaje se usa principalmente para la iluminación en general de locales de naves bajas, en zonas residenciales e industriales y en calles secundarias. Cuando se usan como luz negra en los teatros, cabarets o en otros sitios semejantes, se les pone un filtro para absorber la luz visible a las lámparas claras, las cuales se ofrecen en varios tipos con revestimiento de fósforo.

De 400 vatios (Base Mogul, bombillo tipo BT-37)

Esta es la lámpara más popular en la línea de mercurio. Se usa comúnmente para el alumbrado de calles en las zonas comerciales principales y áreas intermedias, iluminación industrial en locales de naves altas y medianas y en estacionamientos. Vienen en varios tipos claros y con revestimiento fosfórico.

De 700 y 1000 vatios (Base Mogul, bombillos tipo BT-46 y BT-56)

La lámpara de mercurio de 1000 vatios se usa mucho más que la de 700 vatios. Entre sus múltiples aplicaciones se cuentan la iluminación de calzadas en zonas de mucho tráfico, de locales industriales de naves altas e iluminación por proyectores de estacionamientos. Estas lámparas se fabrican en tipos claros y con varios revestimientos de fósforo.

PRECAUCION: La lámpara de 1000 vatios se ofrece en dos tipos: el H34-12 de alta corriente y el H36-15 de baja corriente. El primero de ellos tiene una corriente nominal de trabajo de 8 amperios y una duración clasificada promedio de 16.000 horas, en comparación con 4 amperios y 24.000 horas, respectivamente, del segundo. No son intercambiables y, por lo tanto, deberán funcionar con balastros (reactores) diseñados específicamente para ese tipo de lámpara, ya que de otra manera se destruiría la lámpara y el balastro si se intercambiaran las lámparas H34 y la H36.

Lámparas con balastro incorporado

Las lámparas de mercurio con balastro incorporado son producidas por varios fabricantes en distintos vatiajes y formas. Están proyectadas para trabajar directamente en circuitos de 120 o de 220-240 voltios sin necesidad del balastro exterior requerido por las lámparas de mercurio ordinarias. En las lámparas de balastro incorporado, la función propia del balastro requerida por éste, es suministrada por un filamento de tungsteno que funciona en serie con un tubo de arco de cuarzo para controlar la corriente y el voltaje. Las lámparas de ese tipo tienen eficacias considerablemente más bajas y menor duración que las lámparas de mercurio que usan balastros separados debido a la menor eficacia del filamento de tungsteno.

CARACTERISTICAS DE ILUMINACION DE LAS LAMPARAS DE MERCURIO

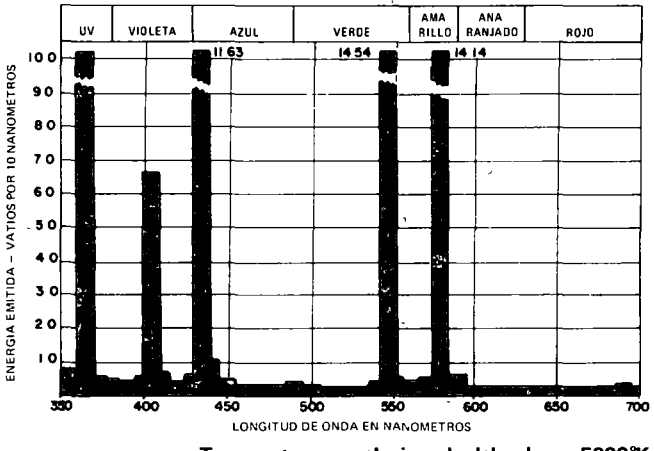
Eficacia

Una de las ventajas importantes de las lámparas de mercurio es su gran emisión luminosa. La eficacia inicial (a 100 horas de trabajo) fluctúa entre 30 y 63 lúmenes por vatio, según el vatiaje y color de la lámpara. Esto no incluye las pérdidas del balastro o reactor que deberán agregarse a los vatios de la lámpara al hacer comparaciones con otras fuentes de luz.

Distribución de energía espectral

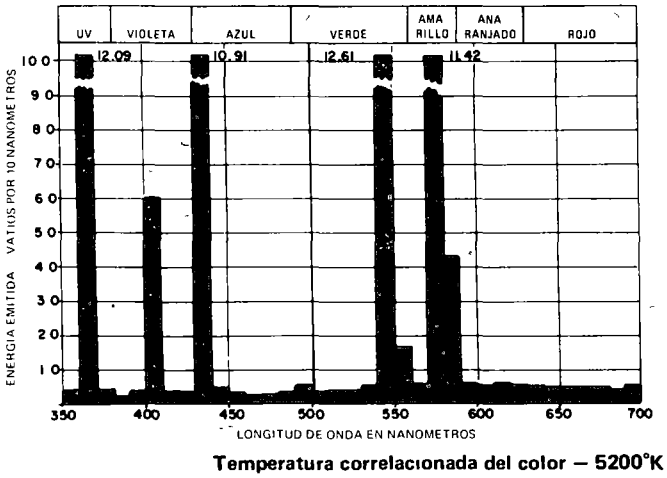
El espectro de las lámparas de mercurio contiene líneas fuertes en las regiones visibles y ultravioleta. La presión contenida en el tubo del arco de cuarzo es en gran parte responsable de la distribución de energía espectral característica de las lámparas de mercurio. La distribución espectral exacta varía enormemente con la presión a que trabaja el tubo del arco. Las lámparas de mercurio de gran intensidad lumínica común y corrientes funcionan a la presión del vapor que se encuentra dentro de la gama de una a diez atmósferas. A dichas presiones el espectro del mercurio consiste en cuatro longitudes de onda principales en el espectro visible: a 404.7, 435.8, 546.1 y a 578.0 nanómetros y en dos en el espectro ultravioleta a 334.2 y a 365.0 nanómetros. El tubo del arco de cuarzo transmite todas las longitudes de onda, pero el bombillo exterior de vidrio corta prácticamente todas las longitudes de onda que están por debajo de los 300 nanómetros y pasa solamente la luz casi ultravioleta y la visible. Las lámparas claras de mercurio producen una luz entre azulada y blanca en la cual no hay virtualmente radiación roja. Debido a las líneas fuertes azules, verdes y amarillas, estos colores en los objetos se realzan notablemente; sin embargo, la falta del color rojo hace que el anaranjado y el rojo aparezcan parduzcos.

El revestimiento de fósforo que va en la superficie interior del bombillo externo mejora enormemente el color de la luz al convertir parte de la energía ultravioleta en luz visible, en la misma manera que se hace con las lámparas fluorescentes. (Ver el Boletín de Ingeniería No. 0-341.) Dichos fósforos no sólo



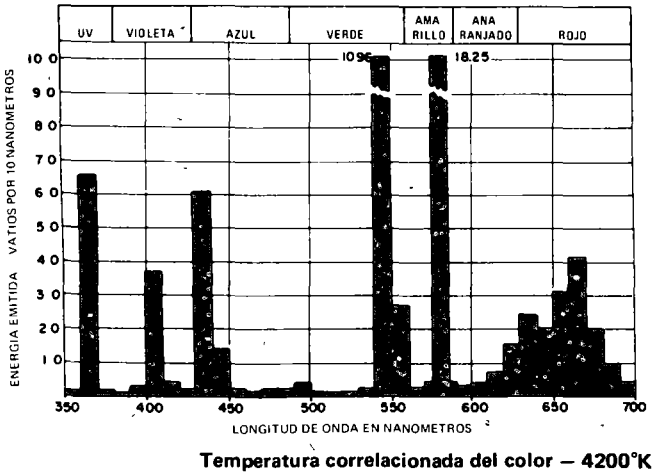
Temperatura correlacionada del color – 5900°K
Indice de apariencia de colores – 22
Cromaticidad CIE* – x = .320 y = .379

Figura 3. Distribución de energía espectral de una lámpara clara de mercurio de 400 vatios (H33-1CD)



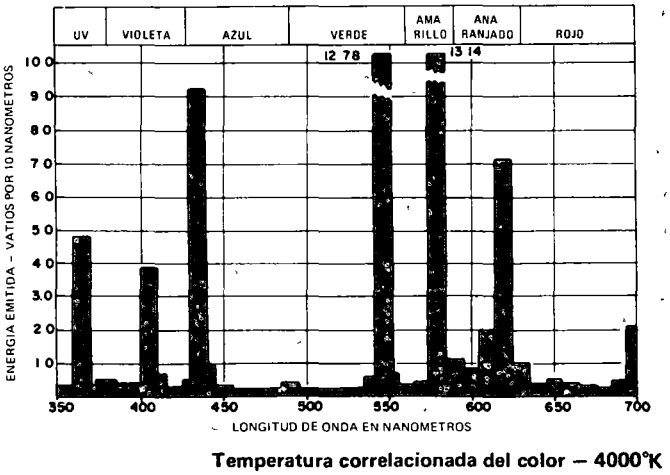
Temperatura correlacionada del color – 5200°K
Indice de apariencia de colores – 30
Cromaticidad CIE* – x = .343 y = .397

Figura 5. Distribución de energía espectral de una lámpara blanca de mercurio de 400 vatios (H33-1GL/W)



Temperatura correlacionada del color – 4200°K
Indice de apariencia de colores – 45
Cromaticidad CIE* – x = .383 y = .419

Figura 4. Distribución de energía espectral de una lámpara de mercurio de color mejorado de 400 vatios (H33-1GL/C)



Temperatura correlacionada del color – 4000°K
Indice de apariencia de colores – 43
Cromaticidad CIE* – x = .382 y = .385

Figura 6. Distribución de energía espectral de una lámpara de mercurio blanco-brillante de lujo de 400 vatios (H33-1GL/DX)

*Commission Internationale de L'eclairage

CONSTRUCCION DE LAS LAMPARAS

En la figura 2 se muestran los componentes básicos de una lámpara de mercurio típica. Aun cuando existen diversos tamaños y formas de lámparas de mercurio, los tipos que más se usan son de dos bombillos con una "cubierta" externa para un bombillo y con un "tubo del arco" para el otro bombillo interno. El tubo del arco está hecho de cuarzo y contiene el arco propiamente dicho, el vapor de mercurio, los electrodos y una pequeña cantidad de gas argón. El bombillo externo, por lo común con relleno de nitrógeno, sirve para proteger el tubo del arco contra el deterioro y la corrosión atmosférica. Sirve también para regular la temperatura de trabajo del tubo del arco y actúa como filtro para absorber la radiación ultravioleta.

Las lámparas de mercurio Sylvania van dotadas de un armazón de montaje para el tubo del arco muy resistente. Este tubo va firmemente sostenido y correctamente puesto en su lugar mediante soportes espaciadores de resorte. La construcción de los electrodos de trabajo es trimetálica lo cual garantiza una emisión alta de electrones y un mantenimiento luménico máximo. Lleva una varilla formada de tungsteno para sostener una bobina de tungsteno espaciada que tiene un compuesto emisivo de óxido trimetálico firmemente incrustado dentro de las bobinas espaciadas y protegidas por una bobina de tungsteno roscada. El bombillo externo está hecho de vidrio (duro) de borosilicato y la base mecánica de latón niquelado tiene la característica de poderse grabar la fecha en que fue instalada la lámpara. En algunas lámparas de mercurio la superficie interna del bombillo externo lleva un revestimiento de fósforo blanco el cual mejora el color al convertir gran parte de la energía ultravioleta radiada por el arco en luz visible, predominantemente en la región roja del espectro.

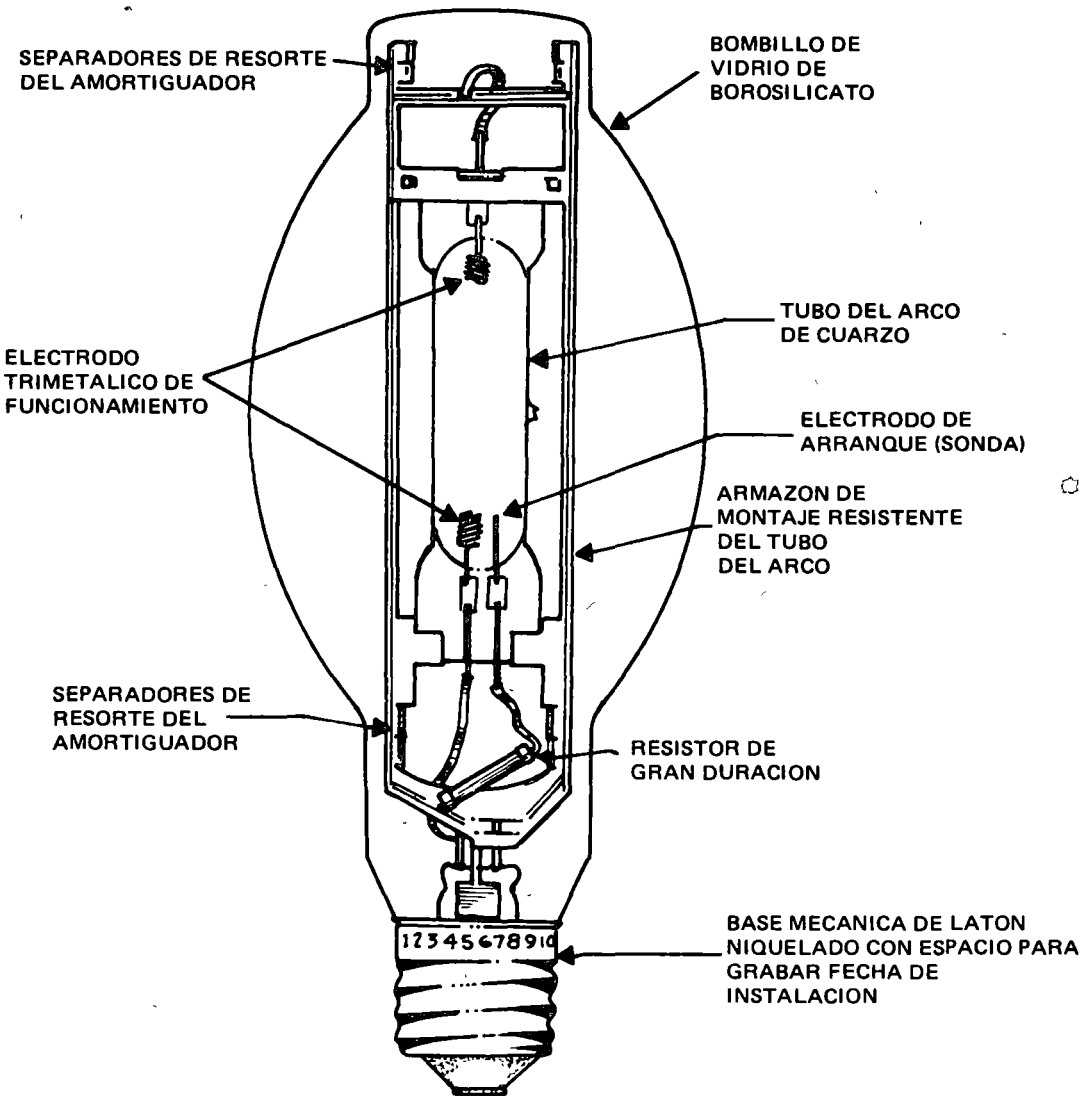


Figura 2. Elementos básicos de una lámpara de mercurio típica

LAMPARAS DE MERCURIO SYLVANIA

TEORIA DE OPERACION

Las lámparas de mercurio pertenecen a la clasificación conocida como lámparas de gran intensidad lumínica. En las lámparas de este tipo, la luz es producida por el paso de una corriente eléctrica a través de un vapor o gas bajo presión, en vez de hacerlo a través de un alambre de tungsteno como en el caso de las lámparas incandescentes.

La primera lámpara de mercurio de utilidad práctica fue la desarrollada por el científico Peter Cooper-Hewitt en el año 1901. Era una lámpara tubular de 1.22 m (4 pies) de largo y producía una luz clara de un color verde-azulado a una alta eficacia, en comparación con las lámparas incandescentes de esa época. La primera lámpara de mercurio de alta presión, muy parecida a las que se usan ahora, hizo su aparición en el año 1934 y su potencia era de 400 vatios. La potencia de las lámparas actuales fluctúa entre 40 y 1.000 vatios.

En la figura 1 se muestra en forma esquemática el circuito eléctrico de una lámpara de mercurio típica. Se necesitan balastros (reactores) del tamaño y tipo debido para operar las lámparas de mercurio en cualquier circuito eléctrico común y corriente para convertir la tensión o voltaje de distribución del circuito de alumbrado al voltaje de arranque requerido por la lámpara a fin de controlar la corriente durante el funcionamiento de la lámpara. El control de corriente mencionado es necesario debido a que la lámpara de mercurio, igual que todas las fuentes de luz de descarga, tiene una característica de "resistencia negativa." Una vez que arranca, el arco se "fuga" y consume corriente en forma tan excesiva que sería capaz de destruir la lámpara en caso de que no se controlara mediante un dispositivo regulador, tal como un balastro.

Cuando se conecta el interruptor de línea, el voltaje de arranque del balastro es aplicado a través del espacio entre los electrodos en funcionamiento en los extremos opuestos del tubo del arco y también a través del pequeño espacio existente entre el electrodo operativo y el electrodo de arranque. Esto ioniza el gas argón en el espacio intermedio de arranque, pero la corriente queda limitada a un pequeño valor debido a la acción del resistor de arranque. Cuando hay suficiente argón y vapor de mercurio ionizado distribuido a través del tubo del arco, éste golpea entre los electrodos en funcionamiento, acción esta que vaporiza más mercurio haciendo que la lámpara se caliente rápidamente a una condición estable. Después de que el arco principal golpea, el resistor de arranque ocasiona que el potencial a través del espacio intermedio de arranque sea demasiado bajo para poder mantener esa descarga y la corriente de la lámpara fluye entre los electrodos operantes.

Los iones y electrones que comprenden el flujo de corriente o "descarga del arco" se ponen en movimiento a velocidades fantásticas a lo largo del trayecto existente entre los dos electrodos en funcionamiento en los extremos opuestos del tubo del arco. El impacto producido por los electrones y por los iones que viajan a enorme rapidez por el gas o vapor circundante, cambian brevemente su estructura atómica. La luz se produce de la energía emitida por los átomos afectados a medida que se cambian nuevamente a su estructura normal

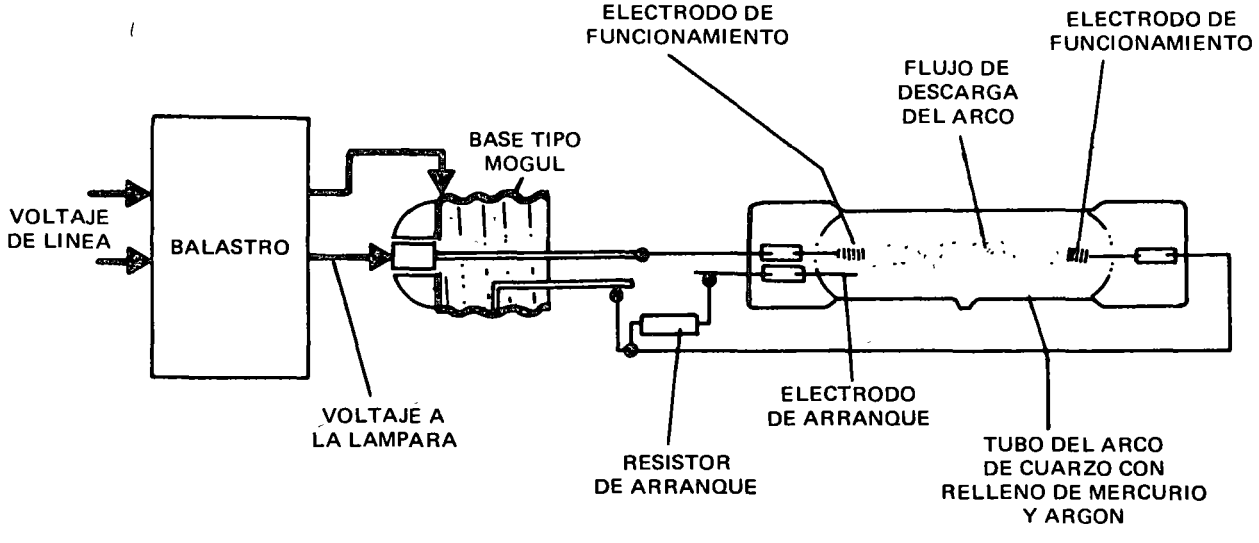


Figura 1. Circuito eléctrico de una lámpara de mercurio típica

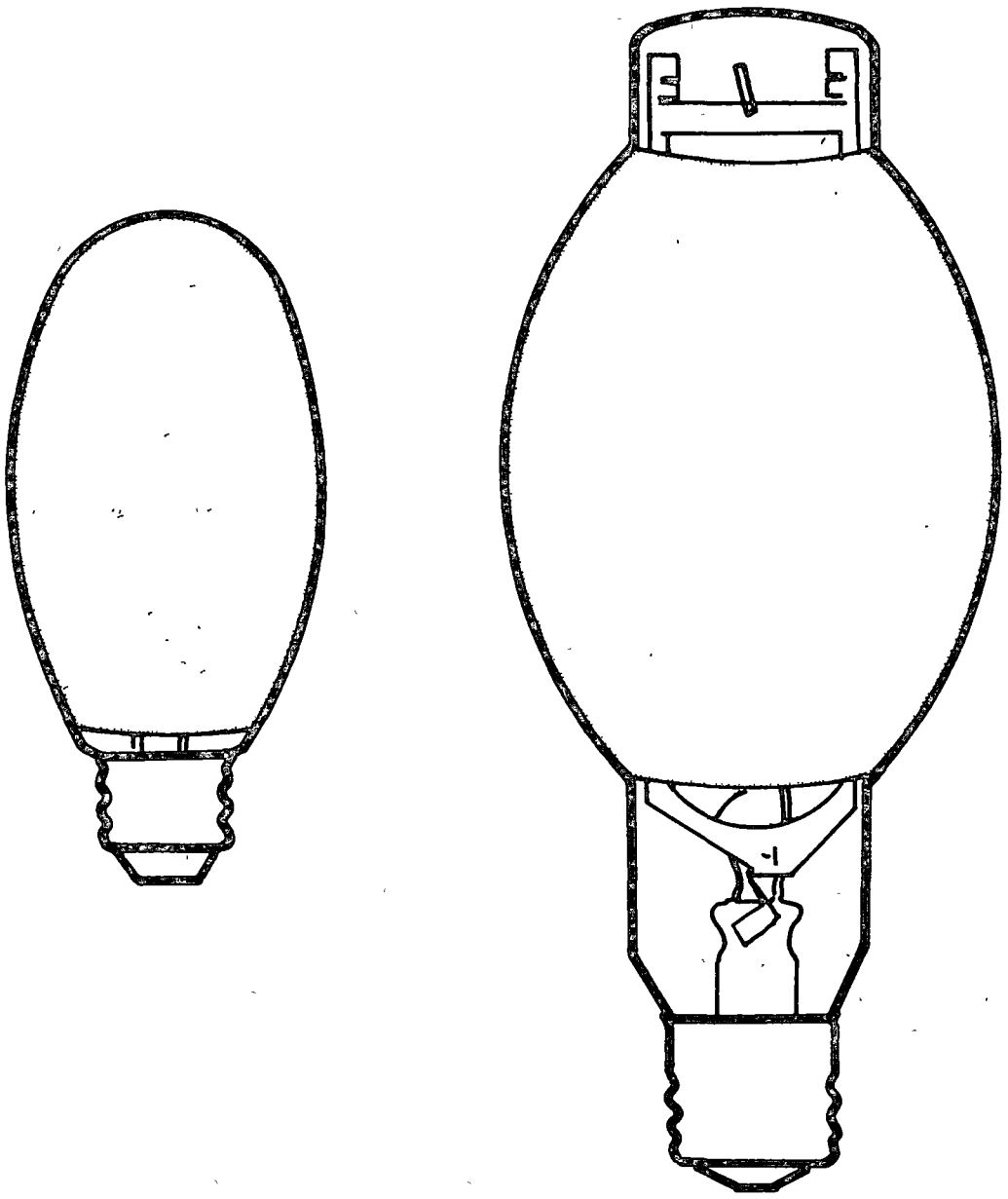
INDICE

	Página No.
Teoría de operación	3
Construcción de las lámparas	4
Características de iluminación de las lámparas de mercurio	5
Eficacia	5
Distribución de energía espectral	5
Designación de las lámparas	6
Tipos de lámparas de mercurio	6
De 40, 75 y 100 vatios	6
De 100, 175 y 250 vatios	6
De 400 vatios	6
De 700 y 1000 vatios	6
Lámparas con balastro incorporado	6
Lámpara de sol con forma de reflector	7
Datos de funcionamiento	7
Tabla de datos de referencia	8-9
Balastros para lámparas de mercurio	7
Balastro reactor con factor de baja potencia	7
Balastro reactor con factor de alta potencia	7
Balastro autotransformador con factor de baja potencia	10
Balastro autotransformador con factor de alta potencia	10
Balastro autotransformador de vatiaje constante	10
Balastro de vatiaje constante perfeccionado	10
Balastro reactor de adelanto y retraso para dos lámparas	11
Balastro de vatiaje constante en serie para dos lámparas	11
Características de funcionamiento de las lámparas de mercurio	11
Duración de la lámpara	11
Mantenimiento de lúmenes	12
Arranque y calentamiento	13
Efecto de la variación del voltaje de línea	13
Posición de funcionamiento de la lámpara	13
Operación con sobrevoltaje	14
Efecto de la temperatura	14
Efecto estroboscópico	14
Funcionamiento con corriente continua	14
Interferencia de radio	14
Formas y tamaños de los bombillos	15

GTE SYLVANIA

BOLETIN DE INGENIERIA NO. 0-346

LAMPARAS DE GRAN INTENSIDAD LUMINICA



LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

TABLA VII

DIVERSOS TIPOS DE BASES PARA LAS LAMPARAS INCANDESCENTES

TIPO DE BASE	LAMPARA QUE USA ESTA BASE
Rosca Mini-Can	250W, T-4, tungsteno halógeno
Candelabro	15W, F-10, decorativa
Intermedia	10W, S-11, letreros
Mediana	100W, A-19, normal
Mediana con manguito (cemento)	250W, G-30, infrarroja
Mediana con manguito (mecánica)	150W, PAR-38, reflector
Mediana con 3 contactos	50-100-150W, A-21, tres luces
Mogul	1.000W, PS-52, normal
Mogul con 3 contactos	100-200-300W, PS-25, 3 luces indirectas
Mediana preenfocada	500W, T-10, proyección
Mogul preenfocada	1.000W, G-40, luz concentrada
Candelabro con bayoneta de 2 contactos	25W, T-8, artefactos domésticos
Disco	40W, T-8, lumilínea
Mediana con contacto lateral	150W, PAR-38, reflector

NOTA: En la lista de precios aparecen las lámparas con un detalle completo de sus bases normales correspondientes.

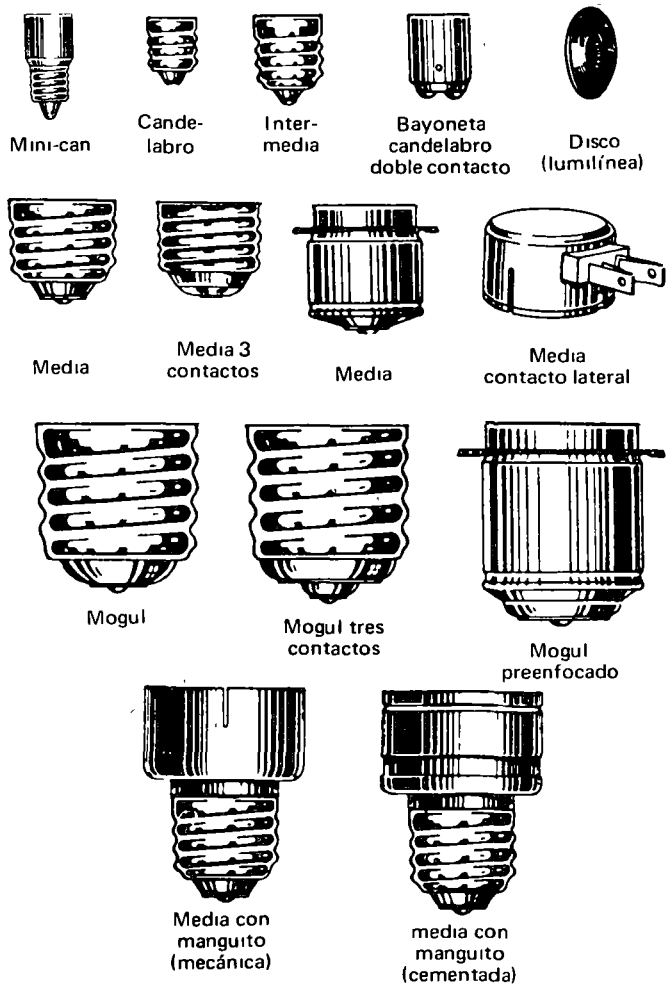


Figura 8. Bases para las lámparas incandescentes

lugar, conduce la electricidad desde el circuito hasta los hilos de conexión de la lámpara. Debido a la inmensa variedad de los usos a que se destinan las lámparas, éstas van dotadas de bases enroscadas de distintos tamaños como los que se muestran en la figura 8. Las bases enroscadas común y corrientes llevan roscas derechas pero las medianas enroscadas se pueden suministrar con roscas izquierdas si así se desea.

En la mayoría de las lámparas incandescentes para alumbrado general, tales como las de tipo candelabro, intermedia, media y mogul, se usa cemento para unir el vidrio del foco al metal de la base. Sin embargo, en las lámparas de alto vatiaje (generalmente las de más de 500 vatios) que someten el cemento a temperaturas muy elevadas, hasta el mejor cemento para ese tipo de bases puede perder parte de su consistencia y aflojar la base. Para garantizar mayor consistencia y duración en las lámparas para alumbrado público y en las de alto vatiaje, se emplea una combinación de cementos especialmente diseñados para resistir altas temperaturas.

En la lámpara de 300 vatios tipo PS-35 se usa una base de la clase mogul como equipo de fábrica, pero también se puede suministrar con una base mediana con manguito encementada en el foco.

Otro tipo de base que se fija al vidrio del foco pero sin cemento, es la del tipo mogul. Se sujeta al foco mediante una mordaza revestida de asbesto, la cual agarra firmemente el foco o bombillo.

Cuando es necesario colocar la fuente de luz en posición exacta con respecto a un cristal o a un reflector, se usa la base mediana o mogul preenfocada con el propósito de garantizar la ubicación correcta del filamento. La base preenfocada consiste esencialmente en una pared interior que se fija al bombillo con cemento y en una pared exterior de latón que se coloca en la posición debida para lograr la distancia exacta del centro de la luz, es decir, la distancia del centro del filamento al extremo de la base. Después de colocarlas en la posición debida, las partes se sueldan entre sí.

La lámpara Sylvania PAR-38 tipo reflector lleva una base mediana con manguito de una pieza solamente la cual va rebordeada cerca de la parte superior con el objeto de sostener el vidrio del bombillo.

La base tipo bayoneta tiene dos clavijas colocadas en lados opuestos para poder introducirlas en las ranuras del portalámparas. Dichas clavijas sujetan la lámpara firmemente y evitan que ésta se afloje demasiado e interrumpa las conexiones eléctricas o se caiga. Las lámparas para artefactos domésticos, tales como máquinas de coser y aspiradoras, están provistas de bases tipo bayoneta con doble contacto para sujetarlas firmemente en el portalámparas. La base mediana tipo bayoneta de doble contacto se usa ampliamente en Europa pero muy poco en los Estados Unidos.

La base de tres contactos se conoce mejor por su aplicación en las lámparas de 50, 100 y 150 vatios, tipo A-21. Gracias a un contacto anular cónico, colocado a un ángulo, se imparte una unión positiva bajo presión con los elementos de contacto del portalámparas. La lámpara cuenta con dos filamentos que pueden trabajar en forma separada o juntos para proporcionar tres niveles de iluminación. La base consiste en un casco exterior roscado, un contacto anular y un contacto central. Un extremo del filamento de bajo vatiaje se conecta al contacto anular; un extremo del filamento de alto vatiaje se conecta al contacto central; y los otros dos extremos de los dos filamentos al alambre común que va sujeto al casco de la base.

La lámpara lumilínea es la única que utiliza dos bases tipo disco en los extremos opuestos del bombillo y cada una de ellas va conectada a un extremo del filamento. Para las lámparas de tungsteno halógeno de doble base se usan bases ahuecadas sencillas y ahuecadas rectangulares sencillas de un solo contacto, con cerámica especial en lugar de metal. En las lámparas de tungsteno halógeno de una base, el tipo de base comúnmente empleado es con rosca Mini-Can.

IMPORTANCIA DEL VOLTAJE CORRECTO DE LAS LAMPARAS

Si bien la mayor parte de las personas reconocen la importancia que tiene el usar una lámpara del vatiaje apropiado que suministre suficiente luz para ver bien, no siempre suele considerarse bien el hecho de usar una lámpara del voltaje correcto para el circuito en donde se va a instalar. Si el voltaje del circuito no es casi igual al voltaje nominal grabado en la lámpara, el consumidor no le está sacando provecho al dinero que le cuesta el alumbrado. Naturalmente que hay excepciones, tales como la práctica por demás común de encender lámparas de 110 voltios en circuitos de 120 para la iluminación de campos deportivos con el objeto de aumentar el nivel de iluminación, sacrificando la duración de la lámpara. Esto se tratará con más amplitud en otra parte. En la mayoría de las instalaciones de alumbrado, las lámparas deben funcionar a su voltaje nominal para lograr la mejor combinación de luz, eficacia y duración. Cabe mencionar que el propósito de este boletín no es el de tratar el asunto relativo a la economía alcanzada al utilizar las lámparas del vatiaje debido, sino más bien señalar los efectos que producen las variaciones de voltaje en las características de funcionamiento.

GAMA DE VOLTAJES

Las clases de voltajes que se mencionan a continuación y que se usan en la actualidad, satisfacen casi todas las necesidades y requisitos de eficacia y seguridad para cada tipo de servicio de iluminación.

1. **Voltaje normal**: de 115, 120 y 125 voltios. Esta es la gama de voltaje o tensión de la mayoría de las lámparas para servicio general, aunque algunas lámparas se proyectan para voltajes de 105, 110 y 130 voltios. Los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en algunas centrales eléctricas en los Estados Unidos revelaron que el servicio prestado es de un voltaje mínimo de 118 y máximo de 125, con un promedio de 123 voltios aproximadamente. La tendencia hacia esos voltajes altos parece ser aparente.
2. **Alto voltaje**: de 220 a 300 voltios. En esta gama se incluyen lámparas de 220, 230, 240, 250, 277, 285 y 300 voltios, pero normalmente las lámparas de 230 y de 250 voltios satisfacen la mayor parte de los requisitos de alto voltaje. En los Estados Unidos la demanda por lámparas de alto voltaje es casi nula, en contraposición con la de Europa que es considerable.
3. **Bajo voltaje**: de 6 a 75 voltios. Las lámparas correspondientes a este grupo se ofrecen para emplearse en varias clases de servicio de iluminación, a los cuales se les suministra energía mediante acumuladores o grupos generadores. Las lámparas para iluminación de trenes están clasificadas para trabajar a 30, 32, 34, 60, 64 y 75 voltios. En realidad, las lámparas de 30 y de 60 voltios se usan en la mayoría de los sistemas de iluminación de vagones de trenes. Existen otras lámparas semejantes denominadas lámparas para casas campestres porque se usan principalmente en los servicios rurales de alumbrado de bajo voltaje y se fabrican solamente en los tipos de 30 voltios. Las lámparas de bajo vatiaje, es decir, las de 6 y de 12 voltios, se usan en los casos en que la energía la suministran acumuladores, por ejemplo en los barcos, aviones, remolques de caseta, así como también en los grupos cargadores de baterías accionados por pequeños molinos de viento.
4. **Voltajes especiales**: en esta categoría se incluyen las lámparas que no corresponden a ninguna de las tres clases precedentes, tales como las de 47, 48, 135, 155 voltios, sin contar las que se usan para alumbrado en serie. Las que se emplean para la iluminación de calles se clasifican así: de 6.6, 7 5, 15 y 20 amperios acompañadas de un transformador de corriente constante. Las lámparas de 120 y de 30 voltios se usan con una fuente de alimentación de 600 voltios para la iluminación de ciertos tipos de ferrocarriles.

EFECTOS DE LA VARIACION DEL VOLTAJE DE LINEA

Casi todo mundo ha notado la forma en que baja la intensidad de la luz de una lámpara incandescente al enchufar cualquier tipo de artefacto doméstico. La fuerte corriente que consumen esos artefactos eléctricos ocasiona una caída en la tensión del circuito, reduciendo así la emisión luminosa de todas las lámparas que están conectadas a ese circuito En otros casos, una tormenta eléctrica puede producir una subida momentánea en

el voltaje haciendo que las lámparas enciendan con mayor brillantez de lo normal. Esos cambios transitorios de voltaje no afectan en forma considerable la duración de la lámpara. Empero, lo que sí la afecta es el funcionamiento constante de la lámpara a voltajes distintos a los clasificados con el consecuente aumento en el costo total de alumbrado. En la figura 9 se muestra la forma en que las variaciones por encima o por debajo de los voltajes normales afectan las características de una lámpara. Se notará, asimismo, que los lúmenes y la duración de la misma cambian enormemente con sólo una ligera variación en el voltaje, mientras que el vatiaje no sufre tan gran modificación. Todo aumento que ocurre en el voltaje hace que circule mayor corriente por el alambre del filamento, aumentando su temperatura y, como resultado, brilla con más intensidad y produce una cantidad mayor de lúmenes. Además, aumenta el vatiaje consumido debido a que los voltios y los amperios son superiores y la resistencia del filamento aumenta porque su temperatura de trabajo es mayor La duración de la lámpara se acorta motivada por la evaporación más rápida del hilo de tungsteno a medida que su temperatura sube. Al contrario, la bajada del voltaje afecta todas las características de la lámpara. Existe una gran diferencia en las variaciones del

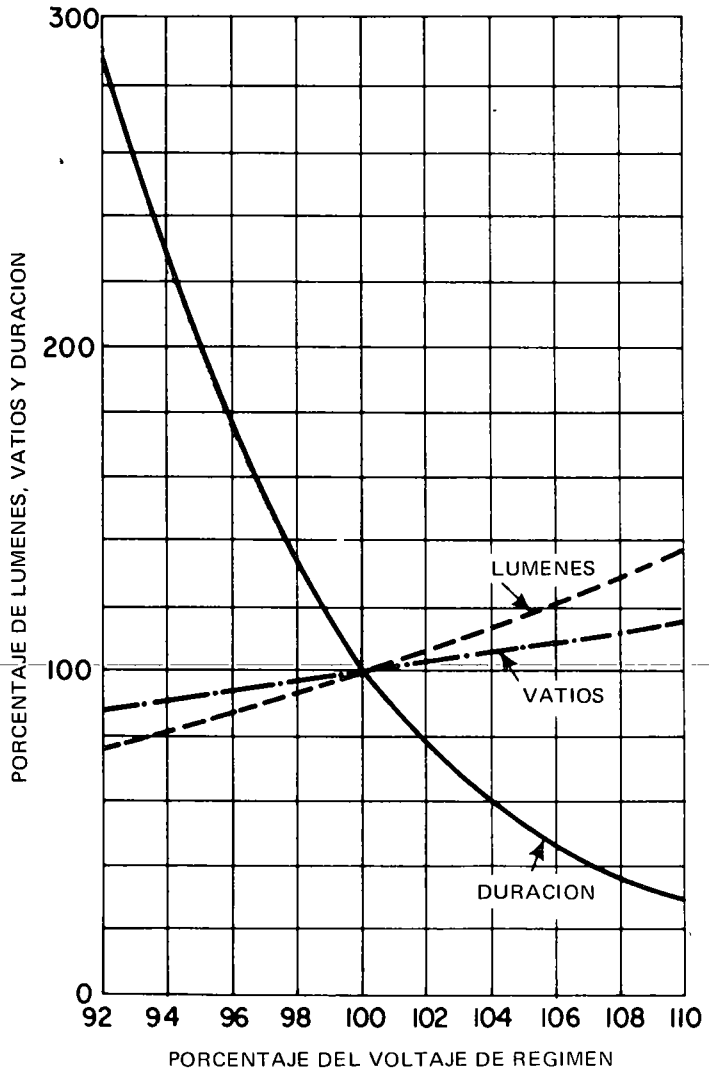


Figura 9. Características de las lámparas incandescentes en función del voltaje

porcentaje de las distintas características. Por ejemplo, si se enciende una lámpara de 120 voltios a 125 voltios, significa aproximadamente

1. 16% más de luz (lúmenes)
2. 7% más de potencia eléctrica (vatios)
3. 42% menos de duración (horas)

Por otra parte, si se enciende una lámpara de 120 voltios a 115 voltios, significa aproximadamente:

1. 15% menos de luz (lúmenes)
2. 7% menos de potencia eléctrica (vatios)
3. 72% más de duración (horas)

EMPLEO DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE LAS LAMPARAS

Las curvas que se ilustran en la figura 9 están calculadas con base en el porcentaje de los valores de régimen en vez del de los valores absolutos, para así poder usar un solo gráfico para diferentes tipos de lámparas. Si bien ese procedimiento bien pudiera parecer confuso al principio, a la larga resulta más útil y conveniente que si tuviéramos que emplear un gráfico para cada lámpara y voltaje nominal o de régimen El empleo de dicho método se puede efectuar fácilmente en cuatro etapas. Supongamos que se desea conocer la emisión luminosa de una lámpara normal de 60 vatios, de 120 voltios, trabajando en un circuito de 125 voltios.

1 Se divide el voltaje del circuito entre el voltaje nominal de la lámpara para determinar el porcentaje del voltaje de régimen, o sea en este caso:

$$\frac{125}{120} \times 100 = 104{,}2\%$$

2. El siguiente paso es el de determinar el porcentaje de la emisión en lúmenes que se debe esperar de una lámpara que está trabajando a 104,2% de su voltaje nominal. Esto se calcula localizando el 104,2% en la curva de voltaje de régimen en la parte inferior del gráfico y se sigue desde ese punto una línea vertical hasta encontrar la curva de los lúmenes. Del punto de intersección se traza una línea horizontal hacia la escala del porcentaje de lúmenes que aparece a la izquierda del gráfico El resultado nos dará el porcentaje de lúmenes nominales, o sea de 116% en nuestro caso.
3. Con base en la información que aparece en el catálogo o lista de precios, la emisión nominal de una lámpara de 60 vatios y voltaje normal, es de 855 lúmenes.
4. Se multiplican los lúmenes de régimen o nominales por el porcentaje de lúmenes normales para obtener la emisión luminosa que es de esperarse de una lámpara de ese tipo. O sea

   855 lúmenes X 116% = 992 lúmenes

   En otras palabras, si instalamos una lámpara de 60 vatios y 120 voltios en un circuito de 125 voltios, esperamos obtener un rendimiento luménico de 992 unidades
5. De igual forma, se traza una línea horizontal hacia el punto en que la línea vertical se encuentra con la curva marcada "duración". Dicha línea horizontal se encuentra con la curva marcada "porcentaje de duración" en cuyo punto se indica la duración esperada de la lámpara. En el ejemplo que nos ocupa es de 58% y como la duración normal de una

lámpara de 60 vatios es de 1.000 horas, la duración de la misma será igual a un 58% o a 580 horas si funciona en un circuito de 125 voltios.

En el gráfico antes mencionado se indican solamente las curvas correspondientes al "porcentaje de lúmenes nominales" y al "porcentaje de duración nominal" de las lámparas. Sin embargo, se sigue el mismo método para cualquier otro tipo de curvas como las que se ilustran en los gráficos de ese tipo.

DEPRECIACION DE LAS LAMPARAS

En el gráfico de la figura 10(a) se muestra la forma en que se deprecia lentamente una lámpara incandescente instalada en un circuito compuesto durante la duración de la misma y cómo va consumiendo lentamente menor cantidad de vatios, produciendo así menos lúmenes con una eficacia menor a medida que las horas de uso aumentan. Conforme el filamento arde, se evapora lentamente y su diámetro se hace más pequeño (pero mayor en resistencia), permitiendo que fluya menos corriente por él, reduciendo así la energía consumida. Asimismo, el rendimiento luménico merma porque la temperatura de trabajo del filamento es menor debido a que el ennegrecimiento del bombillo es mayor.

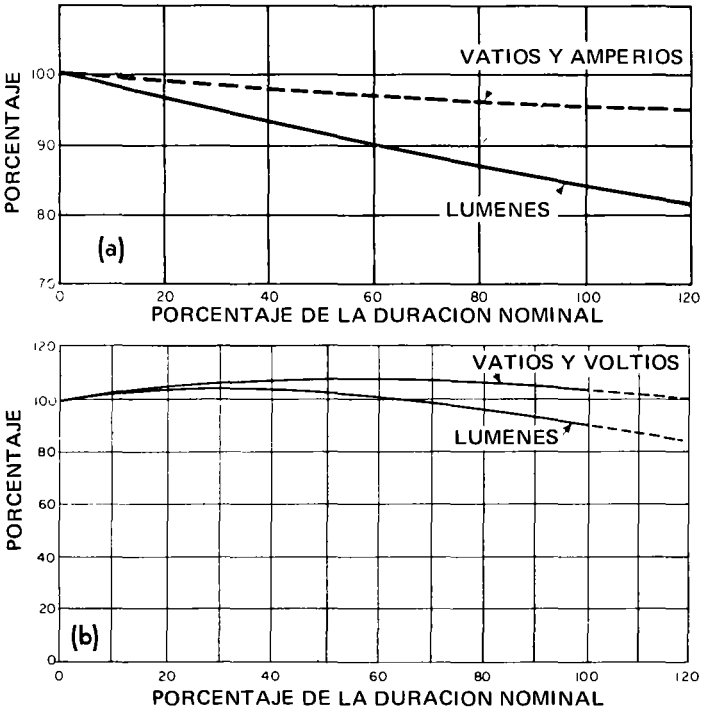


Figura 10. Cambios en las características de una lámpara durante su período de duración

(a) Lámparas en múltiple **(b) Lámparas en serie**

Las características funcionales de las lámparas conectadas en serie en los circuitos de corriente constante difieren de las conectadas en múltiple. Con el aumento en la resistencia del filamento durante la vida de la lámpara, aumenta el voltaje a través de la lámpara con el consecuente aumento de vatios y voltios. El rendimiento luménico también aumenta muy al principio, pero disminuye después al quedar contrarrestada la ganancia debido a la absorción de la luz producida por el ennegrecimiento del foco. No obstante, la emisión luminosa se mantiene a un nivel relativamente constante. En la figura 10(b) se indican dichos cambios ocurridos en las lámparas de gran amperaje conectadas en serie.

REEMPLAZO MULTIPLE DE LAMPARAS

En un sistema de alumbrado se pueden cambiar las lámparas ya sea en forma individual a medida que se vayan fundiendo o bien en grupos en una sola operación. Como se indica en la curva de la figura 11, la duración prevista de toda lámpara incandescente empieza a mermar con mayor rapidez después de alcanzar un 70% de su vida nominal. Además, la emisión luminosa comienza a disminuir a medida que crece el ennegrecimiento del bombillo. En consecuencia, se puede obtener un ahorro considerable si se cambian todas las lámparas al llegar al 70% o al 85% de su vida nominal, pues el costo de la mano de obra es menor.

DURACION DE LAS LAMPARAS

Como resultado de las ligeras variaciones durante el proceso de fabricación de las lámparas y de los materiales utilizados, sería casi imposible lograr que todas y cada una de las lámparas funcionaran durante todo el tiempo asignado. Por esa razón, la duración de las lámparas se especifica en base al promedio de vida de un grupo considerable de ellas. Al fin de su vida nominal especificada, aproximadamente cincuenta por ciento de las lámparas en un grupo considerable se habrá fundido y el cincuenta por ciento restante seguirá ardiendo según se muestra en la curva de la figura 11.

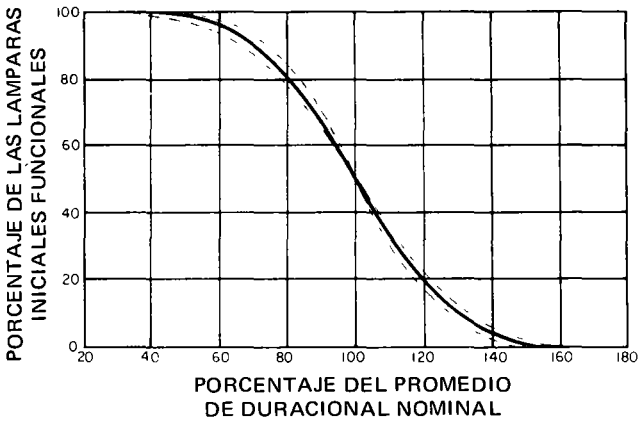


Figura 11. Gama de las curvas típicas de la duración prevista o agotamiento de las lámparas incandescentes

LAMPARAS PARA ILUMINACION DE CAMPOS DEPORTIVOS

Una excepción a la consideración usual del voltaje de las lámparas la ofrece la iluminación de campos deportivos. La mayor parte de las actividades deportivas, tanto profesionales como no profesionales, exigen un buen nivel de iluminación en una superficie vertical u horizontal. En las instalaciones de alumbrado de ese tipo, las cuales necesitan haces de reflectores bien controlados, suelen emplearse lámparas incandescentes convencionales En las instalaciones donde se requiere el empleo de haces laterales más anchos, se empiezan a usar lámparas tubulares de tungsteno y halógeno con bastante éxito. Muchas de las instalaciones más pequeñas se pueden iluminar fácilmente mediante lámparas tipo PAR de 2.000 horas, de 75,

150, 300 o de 500 vatios o con lámparas tipo R de 500, 1.000 o de 1.500 vatios. Sin embargo, los campos deportivos de superficies mayores, se iluminan generalmente instalando lámparas de 750, 1.000, 1.500 o de 2.000 vatios en equipos idóneos.

La cantidad total de horas de encendido por temporada de los equipos de alumbrado correspondientes a la clasificación antes mencionada es, por lo general, muy pequeña; a menudo en el orden de 100 o de 200 horas. Como resultado de una temporada relativamente corta como la antes mencionada, se ha comprobado que la solución más económica al problema del tipo de lámpara que se debe usar, es mediante el empleo de lámparas incandescentes que trabajen aproximadamente 10% por encima de su voltaje nominal. Trabajando las lámparas a ese voltaje, se obtiene mayor emisión luménica a la vez que se logra la iluminación que el cliente necesita utilizando una cantidad menor de lámparas y de artefactos. Una lámpara que trabaje en la forma descrita tendrá una emisión luménica de 138% aproximadamente de su emisión nominal y su duración será como 28% de lo normal. El acortamiento del período de duración de las lámparas no constituye un problema serio por lo que respecta al alumbrado de campos deportivos, puesto que vá de acuerdo con el consumo que se haya hecho durante el tiempo que dure la temporada. No obstante, se deberá limpiar completamente todo el equipo al volverlo a utilizar en la temporada siguiente, en cuyo caso resultaría conveniente reemplazar las lámparas de toda la instalación.

ALGUNOS DE LOS TIPOS PRINCIPALES DE LAMPARAS INCANDESCENTES

LAMPARAS PARA SERVICIO RUDO Y VIBRACIONES

Las lámparas propias para prestar servicio en sitios sujetos a sacudidas o a vibraciones, resisten y duran más que las lámparas normales destinadas a otros servicios. Como es natural, las lámparas en cuestión están construidas para proporcionar dos clases distintas de servicio y, como tal, sólo se deben usar para el fin a que se destinan. Es decir, las lámparas para servicio de vibración no sirven para servicio rudo, ni viceversa. Ninguno de los dos tipos se recomiendan tampoco para usarse en las instalaciones de alumbrado general, debido a que las eficacias que tienen son muy bajas y las posiciones en que deben arder son limitadas, sobre todo las de servicio sujeto a vibraciones.

LAMPARAS PARA SERVICIO VIBRATORIO

Las vibraciones producidas por las máquinas industriales que funcionan a altas velocidades o las vibraciones semejantes de alta frecuencia destruyen los filamentos de las lámparas ordinarias Por ejemplo, las lámparas para prestar servicio general de alumbrado llevan filamentos enrrollados hechos de alambre de tungsteno provistos de una estructura de cristal a prueba de flexión. Sin embargo, como dicho alambre no resiste el castigo impuesto por la vibración, se rompe dando como resultado un acortamiento en el período de duración de la lámpara.

Las lámparas de vibración usan un alambre de tungsteno más flexible. El filamento se afloja cuando vibra pero no se rompe tan fácilmente como cuando el alambre no flexiona. En vista de que se permite que el alambre se cuelgue, se necesitan más soportes, los cuales aumentan la pérdida térmica, reducen la eficacia y contribuyen a aumentar el costo de fabricación. Sin embargo, esos puntos de contacto quedan altamente compensados con la mayor duración obtenida bajo las condiciones de vibración. Se recomienda que las lámparas de vibración no se enciendan en posición horizontal, en vista de que los alambres del filamento podrían hacer contacto entre sí y causar un corto circuito. Todas las lámparas Sylvania de este tipo van provistas de filamentos tipo C-9, según se puede apreciar en la figura 12.

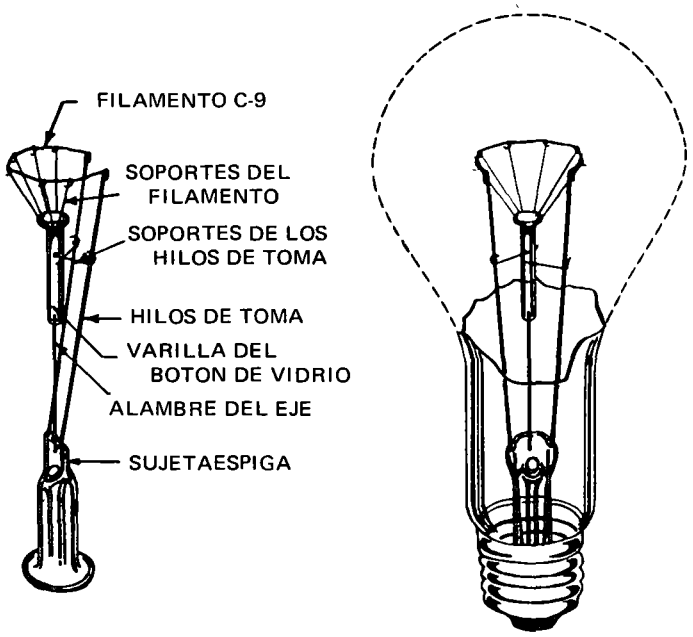


Figura 12. Lámpara típica para servicio vibratorio

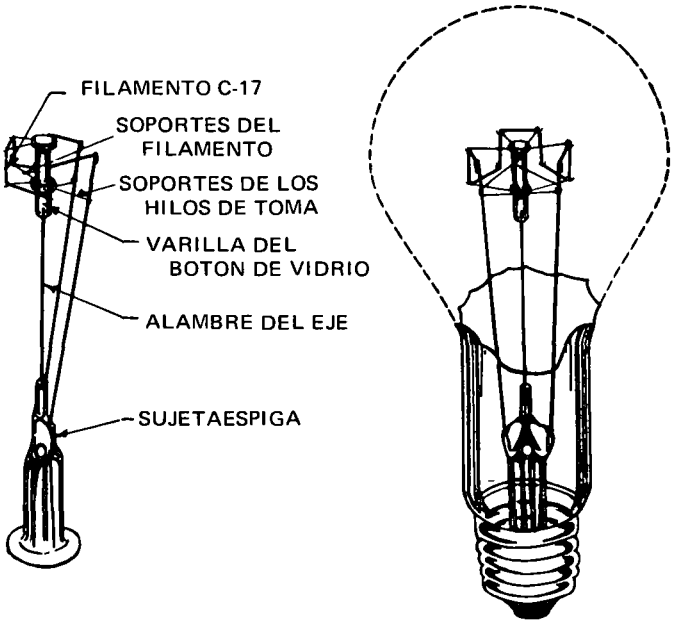


Figura 13. Lámpara típica para servicio rudo

LAMPARAS PARA SERVICIO RUDO

Las lámparas para servicio rudo están hechas en forma de resistir golpes, sacudidas y maltratos, como en el caso de una lámpara con un cordón de extensión como las que se usan en los garajes o talleres mecánicos. Sin embargo, no están proyectadas para resistir vibraciones de ninguna especie. Sus filamentos están hechos con alambre que no cuelgan, como en el caso de las lámparas normales, pero se arrollan utilizando mandriles muy pequeños para formar arrollamientos relativamente largos. Los filamentos para las lámparas de servicio rudo van cuidadosamente montados y sostenidos por varios soportes según se muestra en la figura 13. Como en el otro tipo de lámparas, los soportes adicionales contribuyen a aumentar el costo pero aumentan la vida de la lámpara bajo condiciones de golpes y sacudidas.

Las lámparas para servicio rudo, de 50 vatios, de alto voltaje y las del tipo convencional emplean todas filamentos C-22. Este filamento tiene 16 soportes. Los soportes centrales sujetan firmemente el filamento para evitar el deslizamiento producido por golpe repentino. Los filamentos C-9 y C-17 como los que se usan en los otros tipos de lámparas para servicio rudo, no van firmemente sostenidos por ninguno de los alambres de soporte. Sin embargo, esas lámparas encienden en cualquier posición que se pongan; pero aún así no se recomiendan para iluminación general debido a que cuestan más y sus eficacias son menores que las de las lámparas normales.

LAMPARAS EN SERIE PARA ALUMBRADO DE CALLES

Uno de los sistemas de alumbrado de calles de uso común lleva lámparas conectadas en serie diseñadas especialmente para funcionar en circuitos de corriente constante. El sistema más común usa 6,6 amperios regulados automáticamente para mantener ese valor. Ese tipo de lámparas están clasificadas en lúmenes y en amperios y vienen en tres tipos de duración característicos de 2.000, 3.000 y 6.000 horas. Las de dos mil horas de duración por regla general no se usan para el reemplazo múltiple programado de las lámparas. Las de tres mil y seis mil horas se usan para el reemplazo múltiple cada dos años y cada año, respectivamente.

LAMPARAS EN PARALELO PARA ALUMBRADO DE CALLES

Las lámparas para alumbrado de calles con circuito múltiple vienen clasificadas en lúmenes nominales y difieren de las lámparas ordinarias de voltaje normal en que están proyectadas en forma tal que el promedio de lúmenes habrá de corresponder por toda la duración de las mismas aproximadamente con el promedio de lúmenes de las lámparas conectadas en serie que tengan el mismo régimen nominal inicial. Para producir la emisión luménica deseada, se necesitan vatiajes impares. Las lámparas con 1.500 horas de duración se usan principalmente para el reemplazo individual. Las de 3.000 y 6.000 horas sirven para el reemplazo múltiple cada dos años y cada año, respectivamente.

LAMPARAS PARA SEMAFOROS

Las lámparas para semáforos o señales de tráfico están sujetas a condiciones de servicio más severas que la mayoría de las lámparas incandescentes Su construcción es compatible con los requisitos de diseño de los sistemas ópticos de las señales de tráfico convencionales. Entre los tipos disponibles se cuentan las de 2.000, 3.000, 4.000 y 6.000 horas de duración.

LAMPARAS DE LARGA DURACION

Hay algunos comerciantes que ofrecen lámparas de larga duración ó garantizadas y afirman que duran más. Esta aseveración suele ir acompañada de un aumento en el precio No se necesita ninguna ciencia especial para diseñar una lámpara con un período de duración mayor. Como ya se dejó establecido al principio de este boletín, es posible proyectar una lámpara incandescente cuyo filamento es capaz de arder indefinidamente, pero a costa de reducir enormemente su emisión luminosa. La elección del diseño es sencillamente una cuestión que depende de la cantidad de luz que el cliente está dispuesto a sacrificar.

LAMPARAS DE SERVICIO PROLONGADO

En los sitios donde los costos de mantenimiento preventivo constituyen el factor principal, se recomienda el empleo de lámparas de servicio prolongado con vida nominal de 2.500 horas Por otra parte, cuando se trata de instalaciones difíciles de alcanzar, el reemplazo de las lámparas puede resultar laborioso y costoso. Como ejemplo se puede citar una sala de calderas o el techo de un auditorio.

La larga duración de una lámpara de servicio prolongado se obtiene mediante la reducción de la emisión luminosa y de la eficacia. La emisión lumínica es casi 15% menor que la de las lámparas normales que tienen períodos de duración de 750 y de 1 000 horas. Se ofrecen en tamaños que van desde 15 vatios hasta 1.500 vatios.

LAMPARAS REFLECTORAS

Las lámparas reflectoras del tipo R son de vidrio soplado de una sola pieza y se destinan primordialmente para usarse en instalaciones interiores. Se fabrican también con vidrio grueso para usarse a la intemperie. Vienen en tamaños distintos, desde 30 vatios (R-20), hasta 1.500 vatios (R-80).

Las lámparas reflectoras del tipo PAR tienen un bombillo parabólico hecho de vidrio moldeado de dos piezas fundido en una sola unidad. Aun cuando se fabrican con vidrio grueso para usarse principalmente a la intemperie, a menudo se emplean en instalaciones interiores debido al control preciso de sus haces luminosos. Se ofrecen en tamaños desde 75 vatios (PAR-38), hasta 500 vatios (PAR-64).

LAMPARAS REFLECTORAS DICROICAS

Merced al revestimiento dicroico que lleva la superficie interior del lente del reflector, se puede controlar la energía radiante de las lámparas reflectoras PAR. En las lámparas dicroicas coloreadas PAR, por medio de varias capas delgadas cuidadosamente controladas, que van en la superficie interna del lente, se puede obtener el color que se desee reflejando cada uno de los colores con excepción del que transmite el revestimiento. El material dicroico se define como un elemento que separa la energía radiante en bandas espectrales, de las cuales algunas son transmitidas y otras reflejadas desde la superficie Las lámparas dicroicas coloreadas PAR producen colores brillantes de un alto índice de eficiencia. La lámpara PAR-38 de 150 vatios se fabrica en cinco colores.

Puesto que la mayor parte de la energía que se encuentra en el haz de una lámpara ordinaria PAR es en forma de calor, es preferible instalar una lámpara con menos calor en el haz. Las lámparas PAR Cool-Lux llevan un revestimiento dicroico especial de varias capas en la superficie del reflector la cual refleja la luz en forma eficiente, pero transmite calor. Este envía los rayos de luz por la parte delantera de la lámpara y transmite los rayos caloríficos indeseables por detrás del reflector, quitándole al haz como 65% de calor. Por esa razón, las lámparas Cool-Lux se deben usar solamente con artefactos diseñados en forma de permitir que escape el calor Las lámparas PAR Cool-Lux se fabrican en tamaños de 75, 150 y 300 vatios.

Tanto en las listas de precios como en otros boletines se puede encontrar información más detallada sobre la mayoría de los tipos de lámparas incandescentes como las arriba descritas.

LAMPARAS DE TUNGSTENO Y HALOGENO

Otro tipo de lámpara que viene a sumarse a la creciente línea de lámparas incandescentes, es la de tungsteno y halógeno. Esta fuente hace uso del ciclo regenerativo del halógeno. El halógeno es el nombre que se aplica a la clasificación de ciertos elementos constitutivos, entre los cuales se incluye el bromo, cloro, flúor, yodo y cianógeno. El ciclo regenerativo reduce el ennegrecimiento de la lámpara, porque no permite que gran parte del tungsteno evaporado se asiente en el bombillo.

Debido a las altas temperaturas que se necesitan para el funcionamiento del ciclo, las lámparas de tungsteno y halógeno se fabrican usando filamentos de tungsteno en cuarzo tubular; generalmente se clasifican T-3, T-4 y T-6. Durante su fabricación se introduce un gas halógeno, tal como yodo. Mientras la lámpara permanece encendida, las partículas de tungsteno, al evaporarse del filamento, se combinan con el gas halógeno dentro de la lámpara. Esta nueva mezcla de materiales es conducida hasta la pared del tubo de cuarzo por las corrientes de convección pero no se depositan debido a la alta temperatura y entonces regresa al filamento. En ese punto el calor de extremadamente alta temperatura libera el gas halógeno y las partículas de tungsteno se depositan en el filamento Este ciclo se repite una y otra vez y la lámpara, como resultado de esa acción, se limpia por sí misma, se ennegrece mucho menos y produce máxima emisión luminosa durante todo el tiempo de su duración. En teoría, las lámparas podrían durar eternamente si se lograra que el tungsteno se volviera a depositar uniformemente sobre el filamento. Sin embargo, en la práctica el depósito de tungsteno es más pesado en algunos puntos que en otros y de ahí que tarde o temprano las secciones más delgadas del alambre se rompan La mayoría de las lámparas de tungsteno y halógeno común y corrientes se fabrican para durar 2.000 horas.

Para obtener mayores datos sobre otros tipos de lámparas de tungsteno y halógeno disponibles actualmente, se recomienda consultar la lista de precios correspondiente o los otros boletines existentes.

LA ALTA CALIDAD DE LAS LAMPARAS SYLVANIA

Sylvania se siente orgullosa de la calidad de sus productos ya que emplea solamente materiales de primerísima calidad, ejecutados por trabajadores especializados en la fabricación de lámparas de la mejor calidad. Si bien las máquinas para la fabricación de lámparas son en su mayoría automáticas o semiautomáticas, son muy precisas y están ajustadas con sumo cuidado. Los ajustes iniciales son efectuados por un grupo de ingenieros y capataces expertos en la materia. En seguida inspeccionan minuciosamente el primer lote de lámparas terminadas para determinar si las máquinas están trabajando en la forma debida.

A todos los obreros se les estimula mediante un programa vigoroso denominado "Defecto Cero", para que su productividad laboral no contenga errores. Dicho programa consiste en un esfuerzo mancomunado llevado a cabo por la gerencia y sus empleados con el propósito de alentarlos a que alcancen óptima perfección en su trabajo.

Sin embargo, ni con la mejor maquinaria ni con los mejores esfuerzos por parte de los trabajadores podría hacerse una lámpara de óptima calidad si las partes que se meten en las máquinas están defectuosas. Todos los bombillos o focos de vidrio, así como también las bases para las lámparas Sylvania se fabrican con apego a especificaciones muy severas. El control de calidad comienza en el departamento de inspección a la llegada de la materia prima.

Quizá la parte más importante de una lámpara incandescente la constituya el filamento de alambre de tungsteno. En las de bajo vatiaje es tan fino que apenas si se distingue por mejor vista que se tenga y resulta muy difícil medir su diámetro valiéndose de métodos convencionales. Puesto que la duración y eficacia de una lámpara depende en gran parte del diámetro y longitud del filamento, es indispensable que esos dos elementos se conserven dentro de límites sumamente estrictos. Por ejemplo, una variación de 1/100.000 parte de una pulgada en el diámetro de algunos filamentos bastaría para que la duración de una lámpara se redujera a la mitad. En Sylvania se pesan con exactitud las longitudes ya medidas del alambre para los filamentos hasta cuarenta millonésimas de una libra como parte de la comprobación del diámetro. El tamaño del mandril donde se arrolla el filamento ha de determinarse cuidadosamente ya que un cambio de sólo 1/10.000 parte de una pulgada en el diámetro podría disminuir la vida útil de una lámpara hasta en un setenta y cinco por ciento. La precisión de la separación del paso del bobinado se comprueba cuidadosamente para evitar errores que pudieran variar la duración de las lámparas en las mismas cantidades. Los filamentos de alambre de tungsteno manufacturados por Sylvania se someten a una serie de pruebas, inspecciones y comprobaciones en el departamento de inspección de alambres.

En la fábrica de lámparas, el departamento de control de calidad de elaboración desempeña un papel de vital importancia en el sentido de garantizar que el acabado de las lámparas sea uniforme y de óptima calidad. En donde lo han permitido las circunstancias, Sylvania ha instalado en los equipos automáticos controles y calibradores tales como células fotoeléctricas, y unidades detectoras de corriente y de continuidad. Dichas unidades se encargan de rechazar todo material defectuoso, así como de indicar al personal encargado de los equipos que éstos no están funcionando conforme a las especificaciones de elaboración establecidas

Además de los dispositivos antes mencionados, se mantienen programas especiales de tomar muestras que sirven para el control de elaboración en cada etapa de fabricación, con el objeto de detectar cualquier cambio en las dimensiones o defectos visibles.

La conformación y moldeo del vidrio para la espiga y el sello de la lámpara constituye en sí un proceso muy crítico en la fabricación de lámparas. Tomando muestras periódicas de cada una de las máquinas y mediante el empleo de un polariscopio y de un polarímetro, se puede controlar el patrón del esfuerzo de deformación del vidrio dentro de límites especificados, durante el proceso de fabricación.

Todas las lámparas Sylvania se encienden e inspeccionan como paso final de fabricación. Aparentemente ya no se necesita hacer pruebas ni inspecciones adicionales después de haberlas encendido y empacado. Es posible que enciendan bien en ese momento y no aparentar ningún defecto. Sin embargo, pueden acusar imperfecciones que afecten su eficiencia, duración o resistencia.

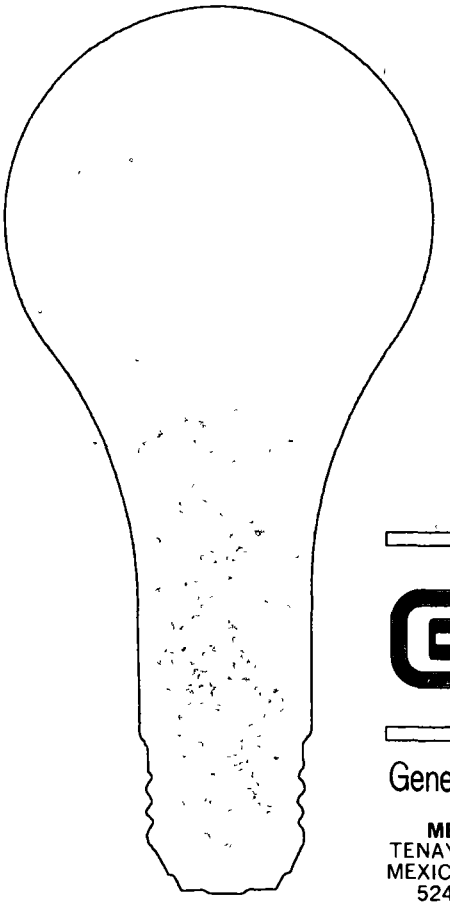
Como ejemplo se puede mencionar una lámpara con una "fuga" y sin embargo encendió satisfactoriamente al probarla en la máquina originalmente pero se fundió inmediatamente después de trabajar por espacio de unas cuantas horas debido a la presencia de aire que se filtró en el bombillo por una minúscula rajadura o agujero. Para reducir al mínimo la cantidad de defectos importantes, se seleccionan lámparas como muestra de la línea de producción de cada turno de trabajo para someterlas a pruebas y a inspecciones.

Todas las lámparas que se toman para ese fin se sujetan a numerosas pruebas e inspecciones al final de la producción del día. Se examinan meticulosamente en busca de defectos mecánicos o estructurales y se vuelven a prender para averiguar si tienen imperfecciones que pudieran afectar su rendimiento. Los inspectores de Sylvania manejan millones de lámparas al año al efectuar tales pruebas.

Al comprobar la calidad de las lámparas, dichos inspectores también efectúan pruebas fotométricas y de duración en decenas de millares de lámparas al año. También se utiliza una enorme cantidad de lámparas en las pruebas de duración, contra sacudidas y golpes violentos, así como en otras pruebas de calidad. Los resultados revelan que las lámparas incandescentes Sylvania superan los requisitos impuestos por el Bureau of Standards (Dirección de Control de Normas) por lo que a la duración y eficiencia se refiere.

Los esfuerzos de Sylvania encaminados a suministrar a sus clientes las mejores lámparas que se pueden adquirir, no cesan jamás. Cabe añadir, que se seleccionan enormes cantidades de lámparas de los almacenes de depósito para volverlas a encender, inspeccionar y probar. Sylvania siempre se ha esforzado en servir el interés de sus clientes en la mejor forma posible, así como también los de la industria relacionada con la fabricación de lámparas a través de programas de desarrollo de investigaciones. En esa forma, el cliente queda satisfecho pues recibe más luz por el dinero que paga. La compañía gasta cientos de miles de dólares al año en investigaciones y ensayos para garantizar que las lámparas Sylvania cumplan con los requisitos más estrictos respecto a resistencia, gran rendimiento y larga duración. Se necesita realizar un esfuerzo y cuidado considerable para fabricar una lámpara de calidad, de ahí que se lleven a cabo tantas pruebas e inspecciones que sirvan para respaldar y mantener esa alta calidad

donde las nuevas ideas son luminosas



GTE SYLVANIA

General Telephone & Electronics International, S. A. de C. V.

MEXICO
TENAYUCA 475
MEXICO 13, D F.
524-46-50

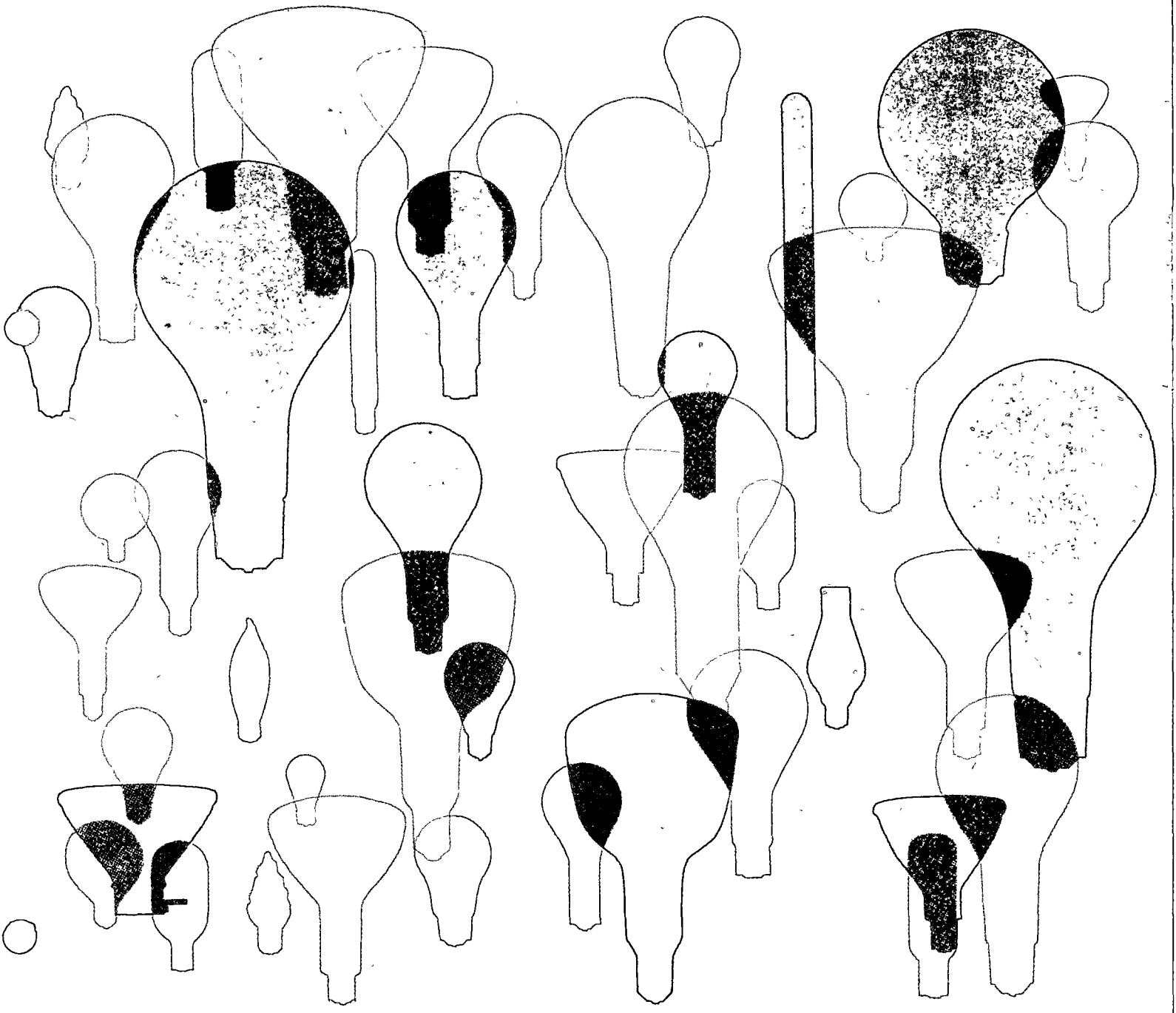
MONTERREY
J E GONZALEZ 250 SUR
MONTERREY, N L
46-31-68 y 46-11-92

GUADALAJARA
MIGUEL BLANCO 1164
GUADALAJARA, JAL
14-38-08 y 13-41-28

GTE SYLVANIA

BOLETIN DE INGENIERIA NO. 0-324

LAMPARAS INCANDESCENTES



BOMBILLO (FOCO)
Generalmente se usa vidrio blando en su fabricación. En algunos tipos de lámparas se usa vidrio duro para resistir altas temperaturas y lograr protección contra roturas debido a la humedad. También se fabrican en diferentes formas y acabados.

GAS
Generalmente se usa en las lámparas de 40 vatios o más una mezcla de nitrógeno y argón con el objeto de retardar la evaporación del filamento.

FILAMENTO
Generalmente el material que se emplea es tungsteno. Puede consistir en un alambre recto, en espiral sencillo o doble.

ALAMBRES DE SOPORTE
Hechos de molibdeno y sirven para sostener el filamento.

HILOS DE TOMA
Hechos de cobre desde la base hasta el prensado del tapón y de cobre niquelado o de níquel desde este último hasta el filamento; conducen la corriente hasta el filamento y desde él.

BOTON
El vidrio se calienta durante la fabricación y se colocan los alambres de soporte y de retención dentro del mismo.

VARILLA DEL BOTON
Sirve para sostener el botón.

ALAMBRES DE RETENCION
Hechos de molibdeno y sirven para sostener los hilos de toma o de entrada.

DESVIADOR DE CALOR
Se usa en las lámparas de servicio general de alto vatiaje ỹ en otros tipos de lámparas cuando es necesario reducir la circulación de los gases calientes dentro del cuello del bombillo o foco.

PRENSADO DEL TAPON
Los hilos de toma van herméticamente sellados en el vidrio y están hechos de una combinación de una aleación de níquel-hierro en su núcleo y un manguito de cobre (alambre Dumet), a fin de garantizar casi el mismo coeficiente de dilatación que el vidrio.

FUSIBLE
Protege la lámpara y el circuito al fundirse, si se producen arcos en el filamento.

TUBO DE ESCAPE
Se usa para extraer el aire e introducir gases inertes durante la fabricación. Originalmente el tubo sobresale del bombillo pero después se sella y se corta debidamente para cubrirlo con la base.

BASE
Modelo típico roscado. Uno de los hilos de toma va soldado al contacto central y el otro al borde superior de la base de latón o de aluminio.

Figura 1. Lámpara incandescente típica.

LAMPARAS INCANDESCENTES

La lámpara incandescente se compone de un filamento de alambre que va colocado en un montaje adecuado y encerrado en un bombillo o foco de vidrio relleno de gas o al vacío. Al conectarse la lámpara a un circuito eléctrico, la corriente que pasa por el alambre del filamento tiene que superar su resistencia y la energía consumida calienta el filamento al punto de incandescencia, haciéndolo que destelle. La primera lámpara de resultados satisfactorios lograda por Tomás Alba Edison – la cual tenía un filamento de carbón – funcionaba a una eficacia de sólo 1,4 lúmenes por vatio (abreviado lpw). El rendimiento de las lámparas fue mejorando paulatinamente al obtenerse nuevos diseños y materiales en el filamento, habiendo logrado alcanzar en 1911 un valor de 10 lpw al utilizarse por primera vez un filamento estirado de tungsteno. La introducción en el mercado en el año 1913 de las lámparas rellenas de gas mejoró el rendimiento hasta alcanzar 14 lpw y a partir de esa fecha, debido a las constantes innovaciones, se ha logrado una eficacia hasta de 23 lpw en los tipos grandes comerciales que se usan hoy en día. Algunas lámparas que se usan para fines especiales, tales como proyección, cuentan con eficacias hasta de 33 lpw, y las fotográficas llegan hasta 36 lpw. En la figura 1 se ilustra una lámpara de incandescencia típica con sus elementos componentes.

FILAMENTOS

Edison experimentó con cientos de materiales antes de dar con el filamento que resultara más adecuado para su primera lámpara fructuosa. Finalmente escogió el carbón por tener el punto de fusión[1] más alto de todos los elementos conocidos (6422°F) Si bien el carbón se empleó como único material en los filamentos por muchos años, su uso no era del todo satisfactorio debido a que se evapora rápidamente a altas temperaturas y, en consecuencia, no se podía lograr la eficacia deseada. Esto reducía enormemente la duración de la lámpara. Se substituyó parcialmente por osmio y tantalio, pero al perfeccionarse un método para estirar el tungsteno, éste reemplazó casi universalmente al carbón. El tungsteno tiene una gran intensidad y es muy durable. Sin embargo, la razón primordial por haberlo seleccionado como el mejor material para filamentos, estriba en el hecho de que puede arder a un punto muy cercano al de fusión (6120°F) sin evaporarse rápidamente.

A medida que la temperatura de funcionamiento del filamento aumenta, la emisión luminosa y la eficacia pasa a ser mayor, según se muestra en la Tabla I. En teoría, el tungsteno debería tener una eficacia de 52 lpw en su punto de fusión, pero en la práctica es como de 36 lpw debido a las pérdidas que se verifican dentro de la lámpara. No obstante, para lograr esa eficacia, la duración de las lámparas se reduce a sólo ocho o diez horas, como en el caso de las lámparas que trabajan con voltaje mayor que el normal.

DISTRIBUCION DE ENERGIA ESPECTRAL

Las lámparas incandescentes emiten únicamente un porcentaje pequeño de la energía total proveniente del filamento en la región visible. La mayor porción de la energía es infrarroja, con una cantidad muy pequeña producida en la región ultravioleta.

[1] En realidad el carbón no se funde sino que va directamente desde el estado sólido hasta el gaseoso.

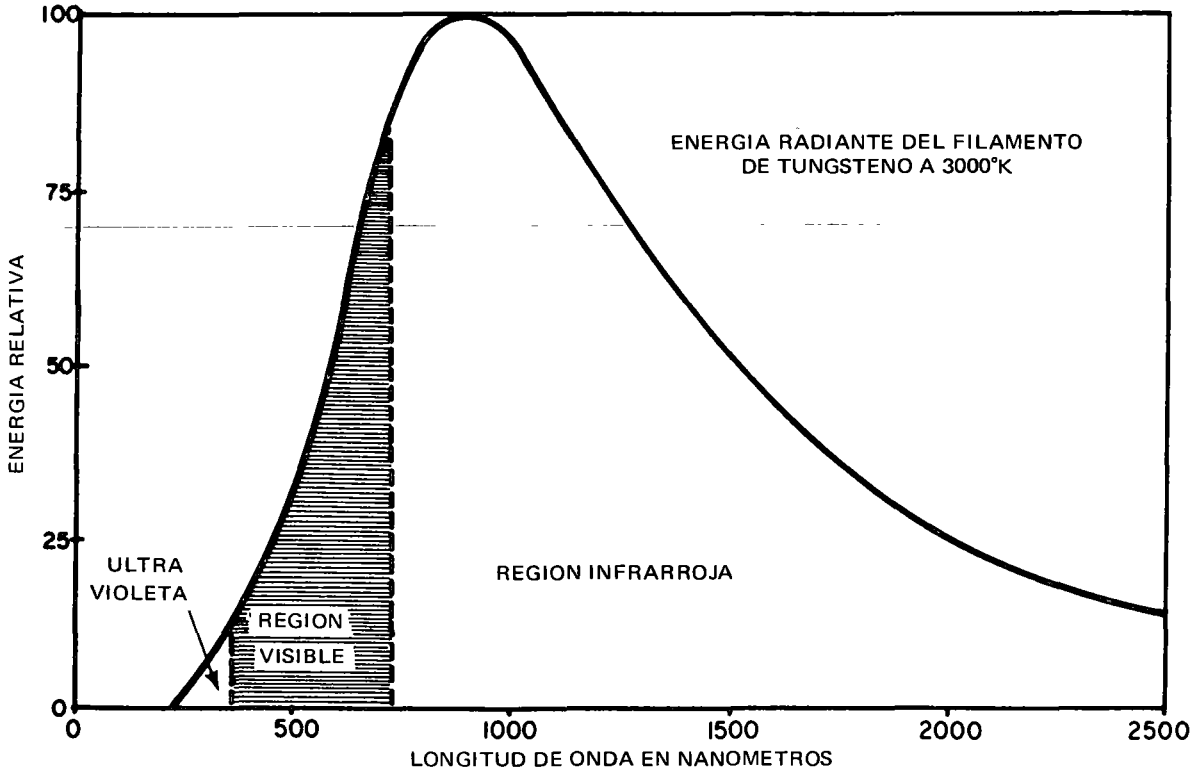


Figura 2. Distribución de energía espectral para una lámpara de 1000 vatios con temperatura del color aproximada de 3000°K

En la figura 2 se muestra la distribución de energía espectral producida por una lámpara con filamento de tungsteno trabajando a 3000°K. Conforme aumenta la temperatura del filamento de tungsteno, la radiación en la región visible aumenta más rápidamente que en la región infrarroja, subiendo así la eficacia luminosa.

Como se puede observar en la figura 3, la temperatura del color no sólo es mayor para las lámparas de alta eficacia, sino que para cualquier lámpara en particular la temperatura del color aumenta con el voltaje de la línea en forma proporcional. En este ejemplo se usa una lámpara de 200 vatios, tipo A-23.

TABLA I
TEMPERATURAS DEL FILAMENTO Y EFICACIA DE LAS LAMPARAS INCANDESCENTES DE 120 VOLTIOS

Lámpara al vacío	Tamaño del bombillo	Resistencia en caliente ohmios	Temperatura del filamento °F	Filamento	Temperatura del color °K	Lúmenes iniciales aproximados	Eficacia en lúmenes por vatio
6*	S-14	2400	3860	C-9	2370	40	6.7
10*	S-14	1440	3900	C-9	2450	81	8.1
25*	A-19	576	4190	C-9	2550	266	10.6
40	A-19	360	4470	C-9	2770	470	11.8
60	A-19	240	4530	CC-6	2800	855	14.3
100	A-19	144	4670	CC-8	2870	1720	17.2
150	A-21	96	4710	CC-8	2900	2760	18.3
200	A-23	72	4760	CC-8	2930	3800	19.0
300	PS-30	48	4830	C-9	2940	6000	20.0
500	PS-35	29	4840	CC-8	2960	10250	20.5
1000	PS-52	14	4980	CC-8	3030	23300	23.3
1500	PS-52	10	5010	C-7A	3070	33000	22.0

*Al vacío.

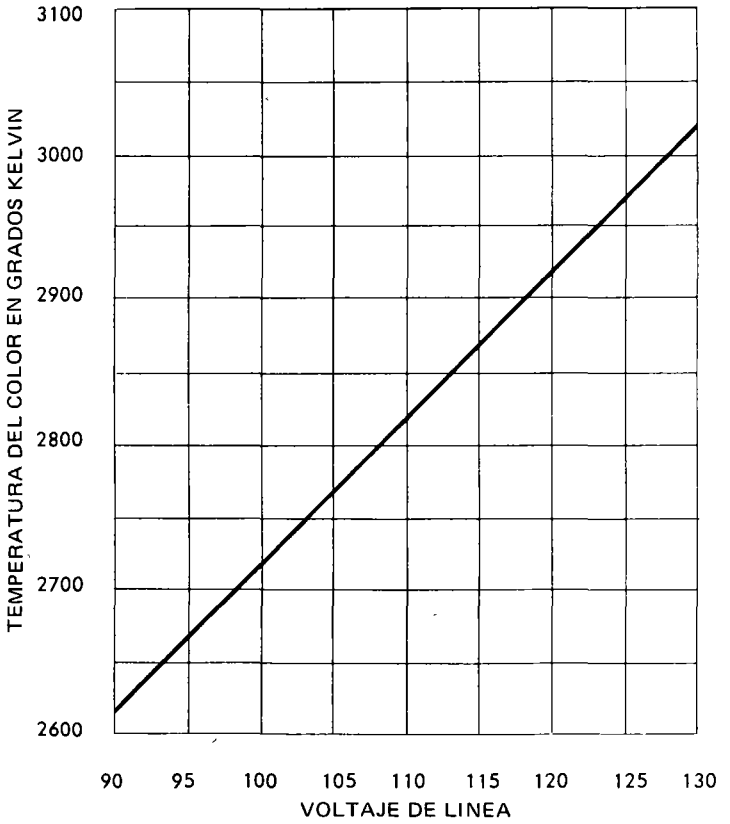


Figura 3. Cambio de la temperatura del color con relación al voltaje de línea de una lámpara incandescente A-23 de 200 vatios y voltaje nominal de 120 voltios.

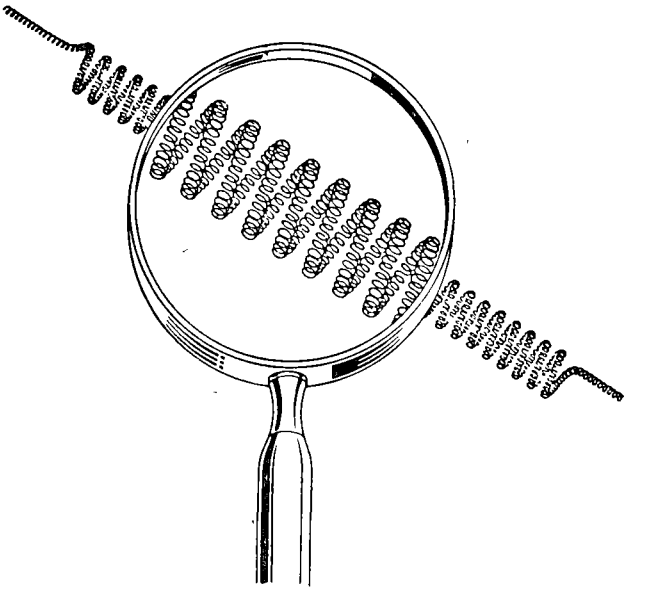


Figura 4. Filamento de doble espiral.

LAMPARAS RELLENAS DE GAS Y AL VACIO

Como se puede observar en la Tabla I, todas las lámparas menores de 40 vatios suelen ser del tipo al vacío. Todas las restantes anotadas son rellenas de gas. Antes de la aparición de las lámparas rellenas de gas en el año 1913, éstas se hacían con bombillos o focos al vacío a fin de evitar que el filamento ardiese al hacer contacto con el oxígeno. En la mayor parte de las lámparas el gas que se introduce en el bombillo ejerce una presión sobre el filamento la cual reduce la evaporación de este último y permite que las lámparas trabajen a temperaturas más elevadas en el filamento de las mismas. El gas que se usó al principio era nitrógeno, pero en la actualidad en la mayoría de las lámparas modernas se utiliza una combinación de argón y nitrógeno en proporción al vatiaje de las lámparas. Tanto el argón como el nitrógeno son gases inertes que no se combinan químicamente con el tungsteno. Generalmente se introducen en el foco como a 80% de la presión atmosférica la cual sube aproximadamente hasta la presión atmosférica cuando la lámpara trabaja a su voltaje nominal. Sin embargo, las lámparas para proyección y las de cuarzo usan una presión de gas superior a la atmosférica. Las lámparas rellenas de gas se designan Clase C y las al vacío Clase B. En las listas de precio se indica la clase de cada una de las lámparas. Resulta interesante destacar que existe un tipo de gas que puede conducir calor desde el filamento en forma más lenta que el nitrógeno o el argón. Se trata del gas criptón, cuyo uso es capaz de producir una ganancia de 20 a 25 por ciento en la eficacia de las lámparas de 40 vatios, con menor ganancia para las lámparas de mayor vatiaje. Desafortunadamente, el gas criptón es muy escaso y costoso para ser usado en la actualidad en las lámparas de servicio general.

DISEÑO DE LOS FILAMENTOS

Los filamentos se fabrican en varias formas para distintos usos según se muestra en la figura 5 y en la Tabla III. La designación de los mismos se hace mediante una letra para indicar el tipo de construcción del alambre y con un número seleccionado arbitrariamente para identificar la forma de dicho filamento. Si es recto sería (S), de espiral simple (C) y de espiral doble (CC). En otras palabras, un filamento C-9 sería un filamento espiral simple en forma de 9.

Se podrían diseñar filamentos para lámparas incandescentes capaces de permanecer encendidos casi indefinidamente, pero a costa de reducir en grado sumo la eficacia de la lámpara. El largo, diámetro y forma de un filamento se determinan mediante cuidadosa consideración de su uso, vatiaje y duración deseada. El propósito primordial es el de diseñar una fuente que produzca luz al menor costo posible para el fin perseguido El filamento recto que se usaba en todas las lámparas, requiere muchos soportes debido a su largo excesivo, de ahí que se emplee tan poco en las lámparas hoy en día. Arrollando el alambre en forma de espiral disminuye las pérdidas por calor y aumenta su eficacia. La construcción del filamento de doble espiral consiste en enrollar nuevamente en forma de espiral un alambre que ya había sido enrollado originalmente, según se muestra en la figura 4. Este tipo de doble espiral da por resultado una concentración todavía mayor del calor, lo cual aumenta como un diez por ciento la eficacia de una lámpara de 60 vatios. En la Tabla II se indica el largo de los filamentos arrollados y sin arrollar pertenecientes a algunos tipos de lámparas convencionales.

TABLA II
DIMENSIONES DE LOS FILAMENTOS DE LAS LAMPARAS INCANDESCENTES

Lámpara vatios	Tamaño del bombillo	Voltios	Filamento	Largo (en pulgds.) del filamento sin arrollar	Largo (en pulgds.) del filamento arrollado	Diámetro (en pulgds.) del alambre del filamento
25	A-19	120	C-9	23.9	2.1	.0012
40	A-19	120	C-9	18.0	1.6	.0014
60	A-19	120	CC-6	20.9	.8*	.0019
100	A-23	30	C-9	7.7	1.1	.0060
100	A-19	120	CC-8	22.2	.9*	.0025
100	A-21	230	C-9	35.7	2.0	.0016
150	A-21	120	CC-8	26.8	1.0*	.0033
200	A-23	120	CC-8	30.6	1.0*	.0042
300	PS-30	120	C-9	29.7	3.0	.0051
500	PS-40	120	C-9	36.1	3.0	.0073
1000	PS-52	120	CC-8	42.1	2.1*	.0112
1500	PS-52	120	C-7A	47.6	6.8	.0146

*De doble espiral

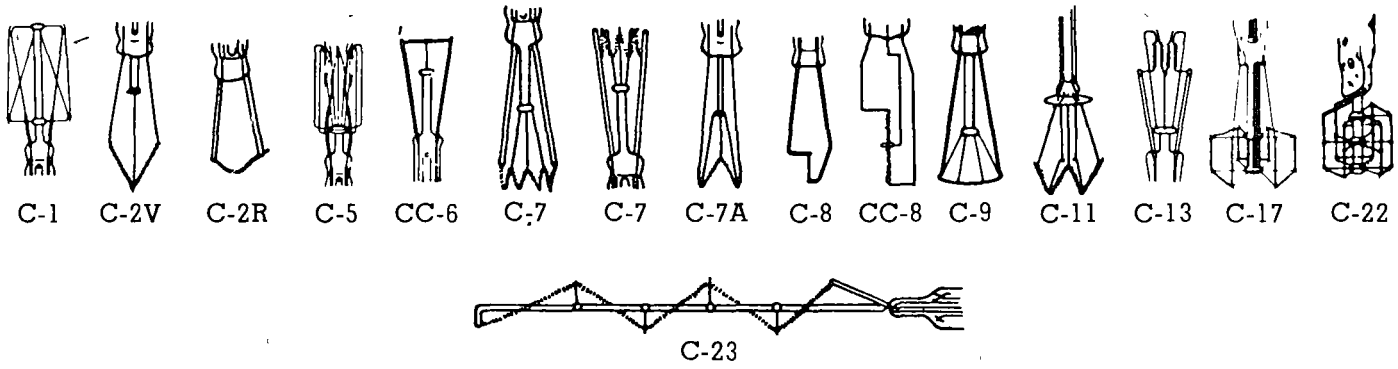


Figura 5. Designación de los filamentos de las lámparas incandescentes

TABLA III

DIVERSOS TIPOS DE FILAMENTOS PARA LAMPARAS INCANDESCENTES

Designación del filamento	Descripción	Tipo de lámpara que usa este filamento
C-1	Filamento de espiral sencillo relativamente largo, bien sostenido	15W, S-11, 75V, para trenes
C-2V	Filamento de espiral sencillo relativamente corto, que requiere un soporte	6000 lúmenes, PS-40, para alumbrado público en serie
C-2R (redondeado)	Filamento corto, ligeramente redondeado, que no requiere ningún soporte	30 voltios, A-21, para tranvías
C-5	Filamento concentrado para pequeñas fuentes de luz	500W, G-40, para reflectores
C-6	Filamento corto de espiral sencillo, que requiere pocos o ningún soporte	50W, A-21, 6 voltios
CC-6	Filamento corto de doble espiral, que requiere pocos soportes	60W, A-19
C-7	Filamento relativamente largo sostenido arriba para encendido ascendente desde la base	10.000 lúmenes, PS-40, de la base hacia arriba 20 amps., para alumbrado público en serie
C-7	Filamento relativamente largo sostenido abajo para encendido descendente desde la base	10.000 lúmenes, PS-40, de la base hacia abajo 20 amps., para alumbrado público en serie
C-7A	Filamento largo sostenido arriba y abajo para encendido universal	500W, PS-40, 230 voltios
C-8	Filamento de espiral sencillo, montado a lo largo del eje del bombillo. Puede ser alargado como en las lámparas de iluminación lineal	25W, T-10, para escaparates
CC-8	Filamento corto de doble espiral, montado a lo largo del eje del bombillo	100W, A-19
C-9	Filamento de longitud media, bien sostenido, semicircular. Se usa también en sitios sujetos a vibraciones	25W, A-19
C-11	Filamento concentrado de cierta longitud, bien sostenido, en forma de "M"	250W, G-30, para lámparas infrarrojas
C-13	Filamento monoplano, altamente concentrado, para equipos de proyección	500W, T-20, para reflectores
C-17	Filamento largo que necesita una cantidad de soportes superior a la normal	100W, A-21, para servicio rudo
C-22	Filamento largo provisto de soportes extra para resistir sacudidas físicas	50W, A-19, para servicio rudo
C-23	Filamento de espiral sencillo, montado a lo largo del eje del bombillo, alternado también a lo largo de su longitud	40W, T-8, para escaparates

NOTA: Ver la lista de precios de las lámparas para obtener datos sobre la forma de los filamentos y los diversos tipos de las mismas.

MONTAJE AXIAL

Una mejora lograda en el diseño que originalmente se utilizaba en las lámparas para alumbrado de calles, corresponde al montaje axial del filamento a lo largo del eje vertical de la lámpara como se muestra en la figura 6. Mediante este método se logra que el filamento haga más contacto con el flujo de gases calientes que circulan dentro de la lámpara cuando arde con la base hacia arriba o hacia abajo. Esto da como resultado una disminución en el ennegrecimiento del bombillo y un aumento en la emisión luminosa durante el tiempo que dure la lámpara. Asimismo, el montaje axial permite el empleo de bombillos o focos más pequeños y compactos. La combinación del montaje axial con el filamento de doble espiral proporciona un aumento importante en la emisión luminosa, o sea 6% más de luz en las lámparas de 100 vatios y de 12 a 15 por ciento más de luz en las de 300 a 1.000 vatios.

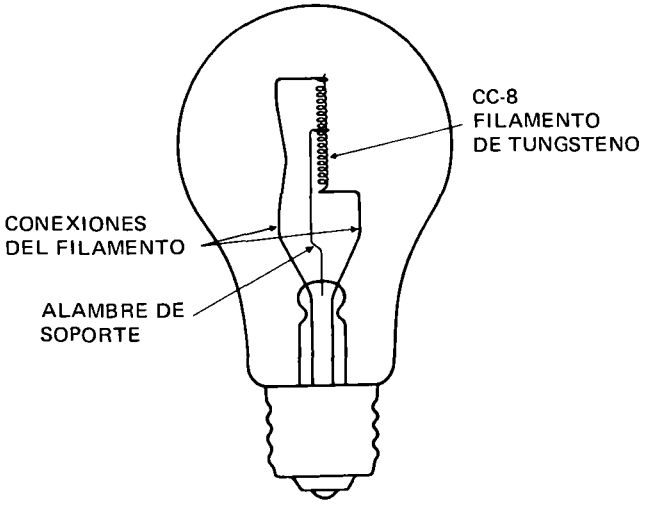


Figura 6. Filamento axial

EFICACIAS RELATIVAS

En la Tabla II se anotan las lámparas de 100 vatios, de 30 y de 230 voltios, con el objeto de indicar que el filamento de bajo voltaje es más corto y de mayor diámetro que el filamento de voltaje normal, mientras que el de alto voltaje es más largo pero de diámetro menor. Un filamento diseñado para trabajar a bajo voltaje necesita una corriente más alta y una resistencia más baja para el mismo vatiaje. Al lograr dicha reducción en la resistencia acortando el filamento, el área total de contacto se reduce y la temperatura aumenta puesto que tiene que disiparse la misma cantidad de vatiaje de una superficie de contacto menor. El aumento de temperatura de la superficie produce un aumento en la eficacia. Otro efecto inherente digno de mención es que el filamento más corto necesita menos soportes reduciendo en consecuencia las pérdidas producidas por el calor.

Por otra parte, si el filamento se fabricara más corto, su temperatura alcanzaría el punto de fusión del tungsteno y, además, tendría pérdidas en sus extremos debido al efecto de enfriamiento de los alambres alimentadores o de entrada. En consecuencia, la disminución de la resistencia se obtiene por una parte reduciendo el largo del filamento y, por la otra, aumentando su superficie.

A la inversa, el diámetro más corto de un filamento de alto voltaje reduce su eficacia y la longitud mayor necesita más soporte, aumentando así las pérdidas por calor y la reducción de su eficacia queda también afectada. En la Tabla IV se indica la forma en que la eficacia de los varios tipos de lámparas de 100 vatios varía con relación al voltaje y servicio.

TABLA IV
EFICACIA DE LAS LAMPARAS DE 100 VATIOS

Voltaje	Tipo de servicio	Eficacia inicial Lúmenes por vatio	Duración en horas
277	Iluminación general	11.8	1.000
120	Rudo	12.3	1.000
230	Iluminación general	12.6	1.000
120	Vibración	14.0	1.000
120	Iluminación general	17.2*	750
30	Iluminación de trenes	18.5	1.000
120	Prolongado	13.7**	2.500

*Se logra mayor eficacia diseñándola para obtener una duración de 750 horas.

**Se logra menor eficacia diseñándola para obtener una duración de 2.500 horas.

NOTA: Las lámparas especiales para servicio rudo y tipo vibración necesariamente tienen que fabricarse con un tipo especial de filamento lo cual reduce su eficacia y por ende no se recomiendan para prestar servicio de iluminación general. En párrafos aparte se tratarán más en detalle.

RESISTENCIA DEL FILAMENTO Y CORRIENTE DE ENTRADA

El filamento de tungsteno aumenta en su resistencia al flujo de la corriente eléctrica a medida que su temperatura de trabajo sube. Sin embargo, el filamento de carbón muestra características totalmente opuestas puesto que presenta mayor resistencia cuando está frío que cuando está caliente. Dado que la resistencia fría del filamento de tungsteno es considerablemente menor que la caliente, la corriente de entrada será por lo tanto mucho mayor que la corriente de trabajo. Conviene recordar que la resistencia fría del filamento en las lámparas comunes y corrientes es aproximadamente de una quinceava parte de la resistencia caliente ardiendo a un voltaje de régimen. No obstante que el valor mencionado puede variar ligeramente según el tamaño de la lámpara, no deja de representar una buena aproximación. En la Tabla I se indican algunas resistencias en caliente con sus valores establecidos en ohmios.

FORMAS DE LOS BOMBILLOS

En la figura 7 se indican las formas de los bombillos o focos que más se emplean en las lámparas incandescentes Sylvania. Dichas formas se establecen mediante letras cuyos significados se indican a continuación: La mayor parte de las tiendas, oficinas, fábricas y hogares usan para su iluminación lámparas en forma de A y de PS. La diferencia primordial entre ellas estriba en que los focos en forma de PS tienen el cuello recto desde su base hasta el punto en que toma la forma de una pera, mientras que en la que tiene forma de A, el cuello lo tiene ligeramente curvo. Las lámparas más comunes de 15 a 200 vatios se usan principalmente para la iluminación de hogares y tienen forma de A. Comúnmente se les denomina lámparas de la línea A. Las convencionales en forma de PS y con capacidad de 150 a 2.000 vatios se usan generalmente en instalaciones industriales, comerciales, escolares y también para alumbrado público.

La razón por las formas denominadas llama (F) y tubular (T) es evidente, considerando el uso a que se destinan, pero algunas de las otras formas ameritan una explicación. Cuando existían solamente lámparas al vacío, el bombillo en forma de S era el que se usaba universalmente. Al desarrollarse las lámparas rellenas de gas, hubo que alejar más el filamento de las paredes de vidrio y de la base. En el bombillo en forma de PS se usa un cuello largo y recto para lograr ese fin.

Los bombillos en forma de C, de 10 vatios, llevan un filamento especial proyectado para resistir moderadas vibraciones y sacudidas cuando se emplea en las máquinas de coser, de lavar o de usos industriales. Los de 7 vatios se utilizan como luces de situación (indicadoras), en consolas, artefactos eléctricos y en tableros de control o luminosos.

Conforme se iban fabricando las lámparas de poco vatiaje del tipo de gas, fue menester buscar una nueva forma de bombillo que fuera más atractivo, lográndose esto con la línea A Se hizo necesario conservar la forma PS en los tipos de mayor vatiaje de manera que el cuello angosto de la lámpara cupiera en los artefactos eléctricos que ya estaban en uso.

La forma G se agregó con fines decorativos primordialmente, pero dicha forma también tiene aplicación útil en ciertos tipos de lámparas de haz concentrado y de proyección que arden ya sea con la base hacia abajo u horizontalmente.

Las lámparas con bombillos en forma de F o de G, junto con los CA y GT, suelen emplearse para producir efectos decorativos. Dichas formas no sólo son de aspecto agradable para iluminación residencial sino que también son ideales para distintas aplicaciones comerciales tales como en restaurantes, moteles y hoteles. Queda pues establecido que los bombillos en forma de G de mayor capacidad, se usan en lámparas de haz concentrado y de proyección, mientras que los en forma de P se utilizan en las lámparas para los faros delanteros de las locomotoras y de los tranvías. Los que vienen en forma de S encuentran su mayor empleo en el alumbrado decorativo y en los de letreros.

Los bombillos en forma de T presentan una gran variedad de aplicaciones. Por ejemplo, se pueden instalar en reflectores muy angostos para la iluminación de escaparates o en los reflectores de uso doméstico tales como en las aspiradoras y en las máquinas de coser. Los bombillos tubulares se utilizan también en las lámparas de proyección debido al limitado espacio disponible para la fuente de luz en ese tipo de aparatos. La forma T se usa también en las lámparas lumilíneas aptas para efectos decorativos y para iluminar los espejos instalados en los baños.

Los bombillos tipo PAR y R se usan como reflectores de haz concentrado y de luz difusa y para alumbrado industrial para naves altas. El tipo R se usa comúnmente ahora en las lámparas reflectoras secadoras por rayos infrarrojos.

Las lámparas del tipo PAR y R llevan un reflector incorporado, con una capa de aluminio puro o de plata sellada herméticamente dentro de la lámpara, con el objeto de controlar científicamente la distribución de la luz y a la vez proporcionar un amplio haz para iluminación proyectada y uno angosto para iluminación concentrada. Debido a la superficie de reflexión hermética construída dentro de la lámpara, está protegida contra el polvo y la tierra. Además, la emisión luminosa de la misma permanece alta durante la vida de la lámpara.

En el diseño de las lámparas se toma en cuenta el tamaño y la forma del bombillo, pues de ello depende el vatiaje, el uso a que será destinado, así como la temperatura de trabajo del vidrio y de la base. Las temperaturas máximas deseables son seleccionadas por la industria en general y se encuentran muy por debajo de las temperaturas máximas admisibles a que podría trabajar el bombillo de vidrio sin ablandarse.

ENNEGRECIMIENTO DEL BOMBILLO

El ennegrecimiento del bombillo es el resultado de la evaporación normal del filamento producida por el depósito de partículas de tungsteno en la superficie interna del bombillo. Por otra parte, en una lámpara al vacío dicho ennegrecimiento ocurre en forma uniforme por todo el interior del bombillo. En las lámparas rellenas de gas, las corrientes de convección formadas por los gases calientes conducen hacia arriba las partículas de tungsteno para ser depositadas en la copa del bombillo cuando la lámpara está ardiendo con la base hacia abajo o en el cuello cuando arde con la base hacia arriba En algunas lámparas se le aplica al filamento un material activo absorbente durante la fabricación con el objeto de reducir la presión de gas residual y aclarar la atmósfera al encender la lámpara por primera vez. En las lámparas al vacío, dicho material absorbente o desgaseador sirve para reducir el ennegrecimiento durante la duración de la lámpara

TABLA V

DIFERENTES FORMAS DE BOMBILLOS PARA LAMPARAS INCANDESCENTES

Forma del bombillo	Significado	Lámpara típica que usa este bombillo
A	Normal	60W, A-19, interior deslustrado
C	Cónico	7W, C-7, piloto
CA	Tipo vela	15, 25, 40 y 60W, CA-9, decorativa
F	Tipo llama	15W, F-10, decorativa
G	Redondo	40W, G-25, decorativa
GT	Redondo, tubular	60W, GT-19, chimenea
P	En forma de pera	150W, P-25, locomotoras
PAR	Reflector parabólico	150W, PAR-38, proyector
PS	En forma de pera, cuello recto	500W, PS-40, reflector
R	Reflector	150W, R-40, reflector
S	De lado recto	11-W, S-14, avisos y decoración
T	Tubular	25-W, T-10, escaparates
T	Tubular (lumilínea)	40-W, T-8, lumilínea

NOTA: Para obtener una lista completa de las lámparas y la forma de sus bombillos, consulte la Lista de Precios.

La letra que identifica la forma del bombillo va seguida de un número que designa el diámetro máximo del foco en octavos de pulgada. Es decir, que el foco G-30 identifica a una lámpara redonda con un diámetro de 30/8 de pulgada, o sea 3-3/4".

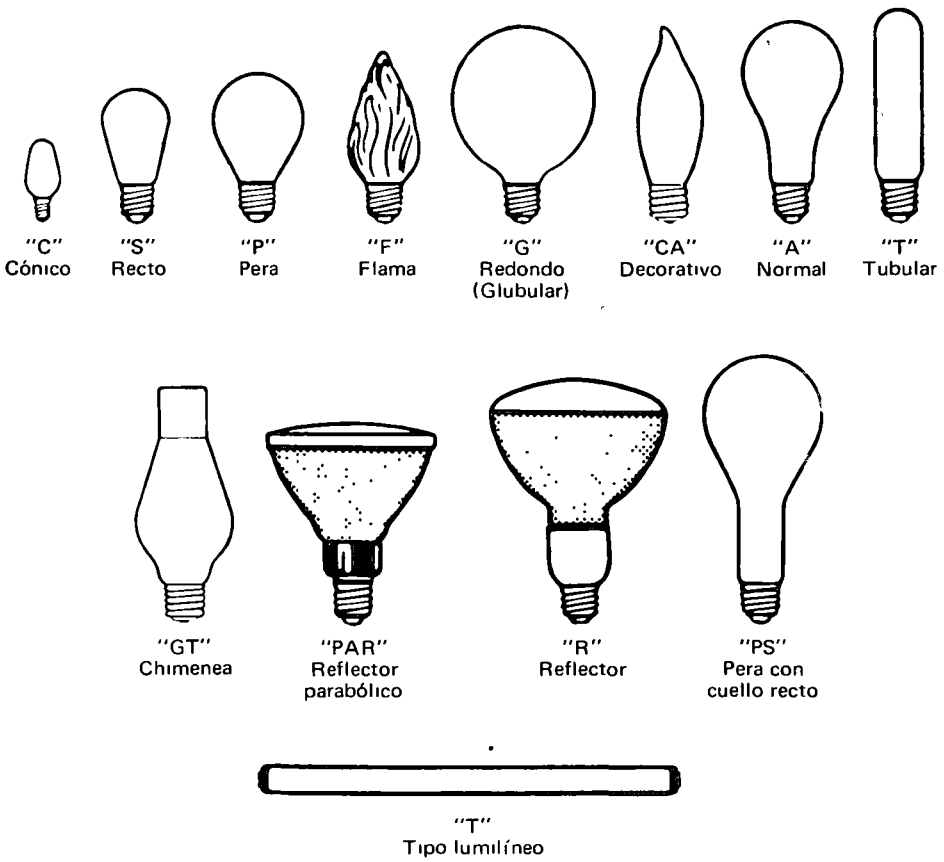


Figura 7. Formas de los bombillos de las lámparas incandescentes

LAMPARAS COLOREADAS

Las lámparas coloreadas vienen en una variedad de colores y en los siguientes siete tipos de acabados (1) cerámico, (2) coloreado exterior, (3) coloreado interior, (4) coloreado natural, (5) dicroico, (6) coloreado transparente, y (7) vidrio coloreado. Las lámparas de coloreado exterior se deberán usar adentro más no a la intemperie debido a que la superficie de las mismas acumula una gran cantidad de polvo y tierra y son muy difíciles de limpiar. Sin embargo, para la industria de anuncios luminosos se ha diseñado una lámpara transparente con revestimiento coloreado exterior la cual se adapta en forma excepcional para empleo a la intemperie. Las lámparas tipo coloreado interior y cerámico cuentan con una superficie exterior suave y son fáciles de limpiar. Las de vidrio coloreado natural llevan el pigmento en el vidrio y se usan mayormente en aquellos casos en que la pureza y la permanencia del color son de vital importancia Como ejemplo se puede citar el empleo de coloreado natural rojo encendido en las lámparas para cuartos de revelado fotográfico.

Las lámparas PAR de vidrio coloreado y las dicroicas con revestimiento en el cristal constituyen una magnífica fuente para iluminación proyectada y concentrada de escaparates. Más adelante se describen con mayor número de detalles las lámparas dicroicas

VIDRIO PARA BOMBILLOS

La mayor parte de los bombillos se fabrican con un tipo de vidrio conocido como vidrio blando o cálcico el cual cuenta con una temperatura máxima segura de 700°F aproximadamente antes de que se torne quebradizo y falle. Por otra parte, las lámparas de proyección que se hacen con vidrio duro, tienen una temperatura máxima segura de funcionamiento de 885°F. Los bombillos que se manufacturan con vidrio "Pyrex" para las lámparas reflectoras PAR, pueden resistir con seguridad temperaturas hasta de 975°F. El vidrio duro se necesita cuando se desean tener bombillos más pequeños pero con vatiajes más altos, así como también cuando se desea evitar la rotura del vidrio debido a la humedad o a los insectos cuando se instalan las lámparas a la intemperie. No obstante que la temperatura máxima de los bombillos reviste singular importancia, no determina, empero, la temperatura máxima segura de trabajo para las lámparas. Esto obedece al hecho de que la temperatura es controlada por diversos factores, entre los cuales se puede contar la temperatura de rotura del cemento o la del punto de fusión de la soldadura. En la actualidad, las lámparas proyectadas para usarse en los hornos pueden funcionar con seguridad absoluta a temperaturas hasta de 475°F.

ACABADO DE LOS BOMBILLOS

El acabado normal de los bombillos normales es como sigue: claro, deslustrado interior, luz de día (claro y deslustrado interior), blanco suave, rosado suave, globular blanco, globular plateado, y luz fresca.

El acabado más común es el de deslustrado interior porque esparce la imagen del filamento y difunde parcialmente la luz. Este tipo de acabado disminuye el deslumbramiento en las instalaciones al descubierto, así como también el efecto de sombra y brillo cuando se emplean con artefactos de iluminación. Sin embargo, dichas lámparas todavía producen cierto brillo molesto cuando se encienden descubiertas. Para evitar en lo posible esa molestia, algunos tipos están provistos de un recubrimiento interior blanco que les imparte mayor poder de difusión con sólo una pérdida de 3% de emisión luminosa Ese recubrimiento oculta completamente el filamento y produce una bola de luz del tamaño de la lámpara.

TABLA VI

TEMPERATURAS MAXIMAS DE LOS BOMBILLOS SIMPLES DE LAS LAMPARAS INCANDESCENTES CONVENCIONALES*

Vatios	Bombillo	°Fahr.
25	A-19	110
40	A-19	260
60	A-19	255
100	A-19	300
150	A-23	280
200	A-23	345
300	PS-30	385
500	PS-35	415
1000	PS-52	480
1500	PS-52	510

*Se entiende con las lámparas simples funcionando verticalmente con la base hacia arriba.

En la Tabla VI se indica que las temperaturas de los bombillos están muy por debajo de la temperatura máxima de trabajo admisible del vidrio blando, la cual es de 700°F.

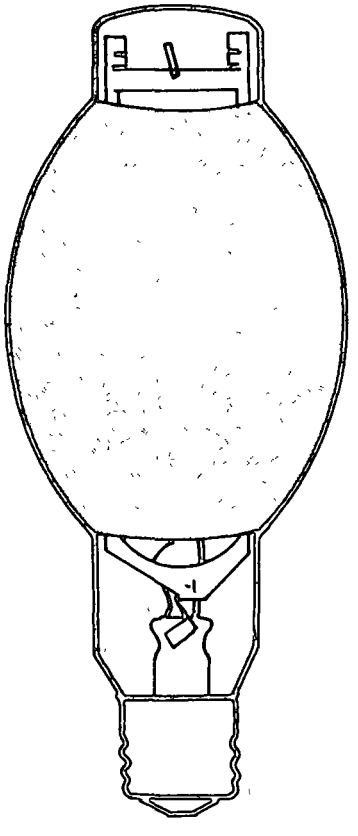
Las lámparas con distribución espectral parecida a la luz del día producen una luz cuyo color se asemeja muchísimo a la de la luz del día debido al empleo de bombillos de vidrio azul y verde que absorben algunas de las ondas rojas y amarillas del haz de luz Dicha absorción causa una pérdida aproximadamente de 35% en la eficacia de la lámpara. Una norma que vale la pena recordar es que se necesita una lámpara de luz del día de un vatiaje inmediatamente superior al de la lámpara para producir la misma cantidad de luz que la de una lámpara deslustrada interiormente. En otras palabras, una lámpara de luz del día de 300 vatios tiene aproximadamente la misma emisión liminosa que una lámpara con interior deslustrado de 200 voltios.

Las lámparas tipo copa o globo de color blanco llevan un recubrimiento blanco también en la superficie interior del bombillo frente a la base, con el objeto de dirigir como 80% de la luz hacia arriba y 20% a través del globo. A menudo este tipo de lámparas se utiliza en los reflectores abiertos de tipo industrial para iluminación directa con el propósito de atenuar el brillo y suavizar las sombras.

Las lámparas con globos plateados llevan un acabado de plata pura que va depositado en la mitad inferior del bombillo, con un revestimiento aluminizado en la superficie exterior.

TIPOS DE BASES

La base correspondiente a una lámpara incandescente desempeña dos funciones muy importantes. En primer lugar, sujeta firmemente la lámpara en el portalámparas y, en segundo



donde las nuevas ideas son luminosas

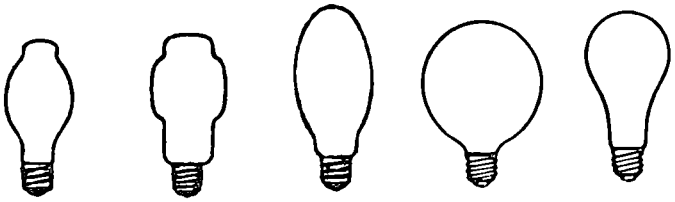
GTE SYLVANIA
S. A. de C. V.

MEXICO
TENAYUCA 475 ESQUINA
AVE. POPOCATEPETL
5-24-46-50 MEXICO 13, D F

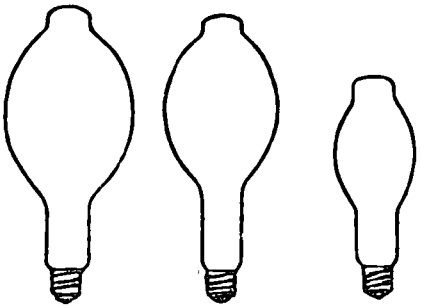
MONTERREY
J E GONZALEZ 250 SUR
46-31-68 46-11-92
MONTERREY, N L

GUADALAJARA
MIGUEL BLANCO 316
14-38-08
GUADALAJARA, JAL

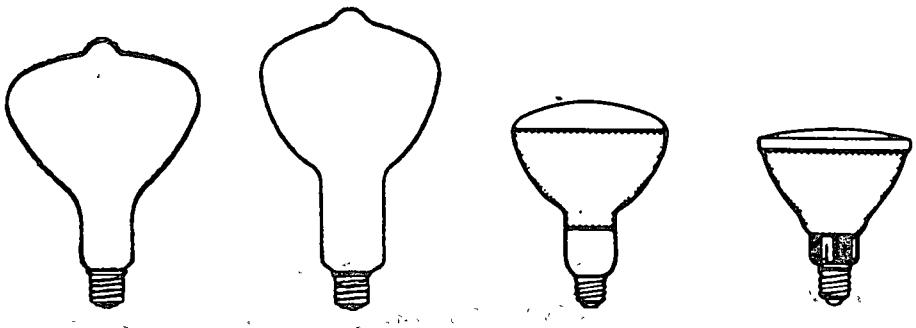
LAMPARAS DE MERCURIO SYLVANIA
Formas y tamaños de los bombillos



BT-28 BT-25 B-21 G-40 A-23



BT-56 BT-46 BT-37



R-60 R-57 R-40 PAR-38

Operación con sobrevatiaje

No se recomienda el funcionamiento de las lámparas de mercurio a vatiajes superiores a los indicados. Aun cuando aumentaría la emisión luminosa, los electrodos y los tubos del arco se someten a temperaturas excesivas quedando, por lo tanto, afectados el mantenimiento de lúmenes y la duración de la lámpara en forma adversa.

Sin embargo, en algunas instalaciones de alumbrado de campos deportivos se usan lámparas de mercurio tipo H36-15 de 1.000 vatios dotadas de balastros especiales que hacen funcionar la lámpara a 1.500 vatios. Como se indica en la Tabla I, con ello se aumenta la emisión luminosa inicial desde 57.500 hasta 85.000 lúmenes pero disminuye el promedio de vida desde 24.000 hasta 2.000 horas. Esta corta duración es aceptable para la iluminación de campos deportivos debido a que las horas de encendido por temporada son comparativamente pocas y el reemplazo colectivo de las lámparas a intervalos regulares es generalmente económico.

Efecto de la temperatura

A diferencia de las lámparas fluorescentes, la emisión luminosa de las lámparas de mercurio no es afectada significantemente por los cambios en la temperatura ambiente porque el otro bombillo actúa como aislador para el tubo del arco. No obstante, para garantizar un arranque satisfactorio a bajas temperaturas, se necesitan balastros que suministren voltajes de arranque más altos. En la Tabla I se anotan los voltajes de arranque mínimos para asegurar la confiabilidad de arranque dada a 50°F, a 0°F y a −20°F. Para el arranque a extremadamente bajas temperaturas, se puede utilizar un balastro para lámparas Metalarc. Las temperaturas excesivas en la base o en el bombillo (por encima de 210°C en la base mogul con rosca o por encima de 400°C en la parte interior del bombillo) pueden hacer fallar la lámpara o que su desempeño no sea satisfactorio debido al deterioro del tubo del arco, del bombillo exterior, del cemento de la base o de otras partes de la lámpara. Las luminarias con reflectores que concentran el calor y los rayos de luz ya sea en el bombillo externo o en el tubo del arco interno, pueden ocasionar problemas muy serios.

Efecto estroboscópico

El arco en una lámpara de mercurio que funcione con una corriente alterna de 60 hertzios se extingue completamente 120 veces por segundo. La luz de la lámpara clara también se extingue completamente, pero con las lámparas con revestimiento fosfórico hay cierta acción fosforescente, es decir, que el revestimiento continúa destellando por un corto tiempo después de que la radiación del arco se corta. Sin embargo, hay una variación rápida en la emisión luminosa la cual, bajo ciertas circunstancias, puede producir lo que se denomina efecto estroboscópico. Debido a dicho efecto, un objeto que se mueve a una velocidad uniforme puede dar la impresión de moverse bruscamente. Bajo las condiciones más extremas, un objeto giratorio, tal como un volante, podría parecer estar inmóvil o girar en dirección inversa. A menudo el efecto estroboscópico pasa desapercibido, y en la mayoría de las instalaciones no constituye ningún problema. Se puede reducir haciendo funcionar las lámparas en pares con balastros del tipo adelanto y retardo o con tres lámparas en fases separadas de un circuito trifásico. Muchas de las instalaciones de lámparas de mercurio funcionan en forma satisfactoria en zonas donde se desarrollan movimientos rápidos o bruscos, tales como en talleres de construcciones mecánicas, gimnasios, canchas de tenis y en otras áreas de deportes.

Funcionamiento con corriente continua

No obstante que las lámparas de mercurio están diseñadas para trabajar con corriente alterna, pueden funcionar perfectamente bien con corriente continua si se usa el circuito de regulación adecuado. El voltaje de c-c deberá ser suficientemente alto para hacer arrancar la lámpara. Asimismo, se deberá conectar en serie con la lámpara un resistor del tamaño correcto con el fin de limitar la corriente de la lámpara. El régimen de trabajo establecido para la emisión luminosa, el mantenimiento de lúmenes y la duración, no se aplica a las lámparas de mercurio cuando funcionan en circuitos de corriente continua. La polaridad de la corriente continua se deberá invertir cada vez que se use la lámpara con el objeto de evitar el bombardeo excesivo de un cátodo con menor mantenimiento contingente y duración.

Interferencia de radio

Las lámparas de mercurio que funcionan normalmente no causarán ninguna interferencia con la recepción de señales de televisión ni de radio, con la posible excepción de un corto período durante el arranque. Si el ruido de radiofrecuencia parece ser causado por una lámpara, generalmente se puede atribuir a un circuito o balastro defectuoso.

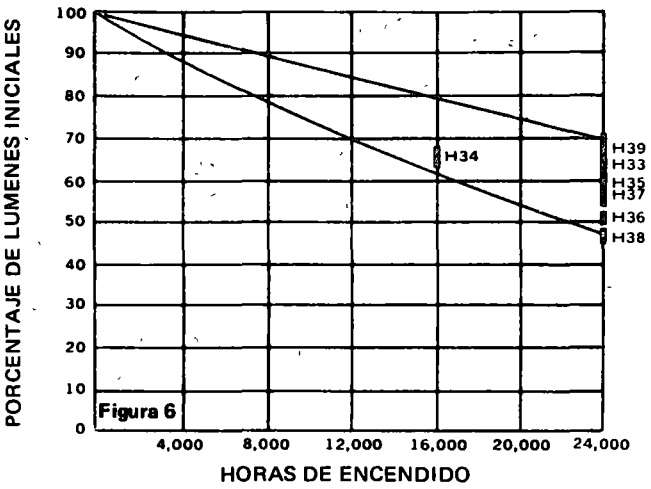


Figura 20. Mantenimiento de lúmenes aproximados de las lámparas de mercurio de color mejorado funcionando horizontalmente

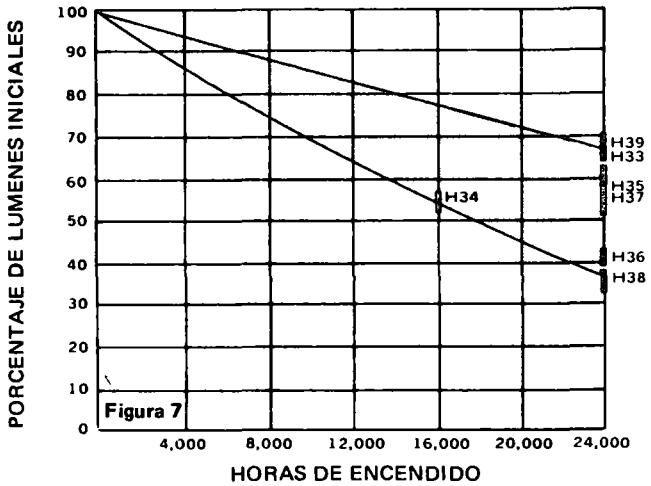


Figura 21. Mantenimiento de lúmenes aproximados de las lámparas de mercurio blancas y blancas-brillantes de lujo funcionando horizontalmente

Arranque y calentamiento

Durante el período de arranque y calentamiento de una lámpara de mercurio existen variaciones en el voltaje, corriente, vatiaje y emisión lumínica de las lámparas. Tanto la amplitud como el tiempo de tales variaciones se controlan mediante distintas condiciones, tales como el tipo de lámpara, de balastro, de voltaje de línea, artefacto tipo abierto o encerrado, temperatura ambiental y velocidad del viento. Los valores normales de funcionamiento se alcanzan generalmente tras un período de calentamiento de cuatro a cinco minutos. Con una lámpara de mercurio típica de 400 vatios que trabaja con un reactor o balastro autotransformador, la corriente baja y el voltaje sube durante el período de calentamiento hasta alcanzar el punto de estabilización, según se indica en la figura 22.

Efecto de la variación del voltaje de línea

Si el balastro de una lámpara de mercurio está derivado, es muy importante igualar la conexión de derivación con el voltaje de línea medido en el balastro para lograr el desempeño óptimo de la lámpara. Algunos balastros se derivan para acomodar más de un voltaje de línea, como por ejemplo 120 ó 240, y algunas tienen derivaciones para voltajes de línea que son diferentes de los valores nominales, tales como 110 y 120. Las variaciones en el voltaje de línea al balastro harán aumentar o disminuir los vatios de la lámpara en varias cantidades, según el tipo de balastro que se use. Ver la figura 23.

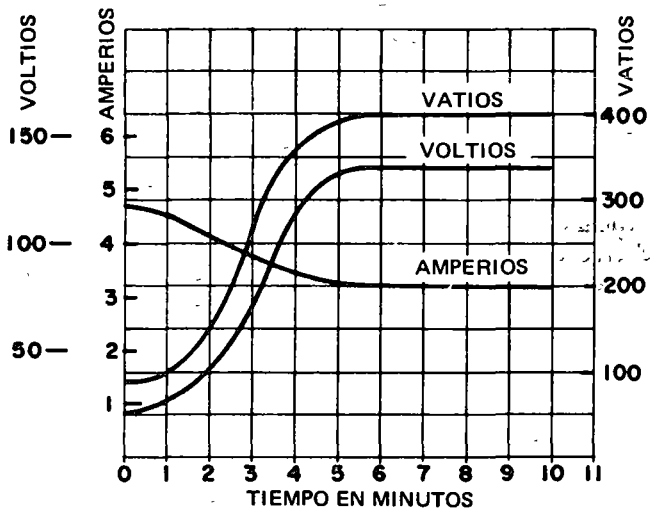


Figura 22. Variaciones en voltios, amperios y vatios de una lámpara de mercurio típica durante el período de calentamiento funcionando con un reactor o balastro autotransformador

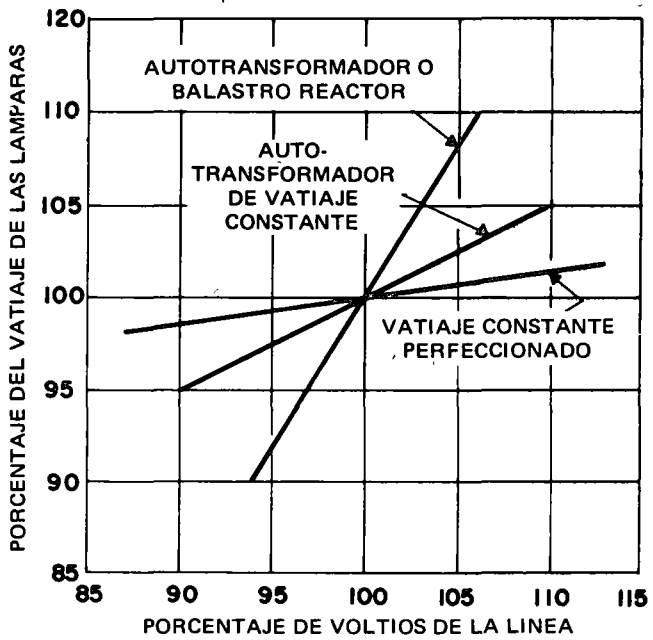


Figura 23. Efecto de la variación del voltaje de línea en los vatios de la lámpara con varios tipos de balastros

Posición de funcionamiento de la lámpara

La clasificación de la emisión luminosa publicada relativa a las lámparas de mercurio se establece con las lámparas funcionando en posición vertical. Cuando trabajan horizontalmente, el vatiaje, la emisión luminosa y la eficacia disminuyen ligeramente. La razón estriba en que el arco estando en la posición horizontal tiende a doblarse hacia arriba y queda más cerca de la pared del tubo del arco de cuarzo enfriador, reduciendo ligeramente la presión del vapor en el arco. En la Tabla I se anota el régimen de trabajo de la emisión luménica separada para el funcionamiento vertical y horizontal.

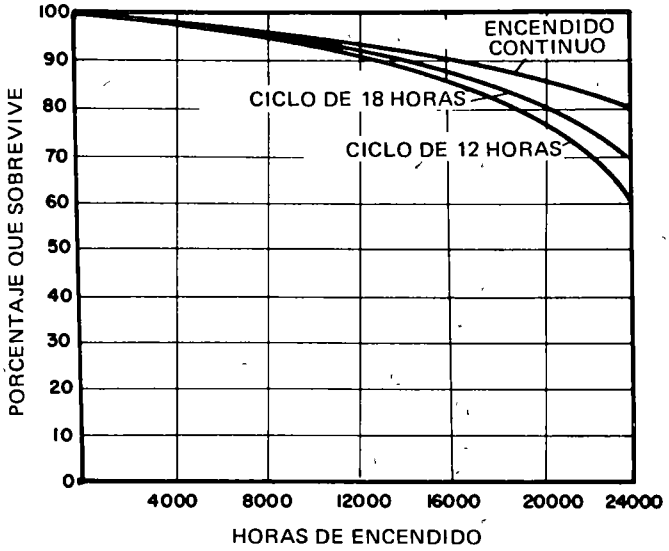


Figura 15. Vida útil o curvas de supervivencia típicas de las lámparas de mercurio de 175, 400 y 1000 vatios a distintos ciclos de encendido

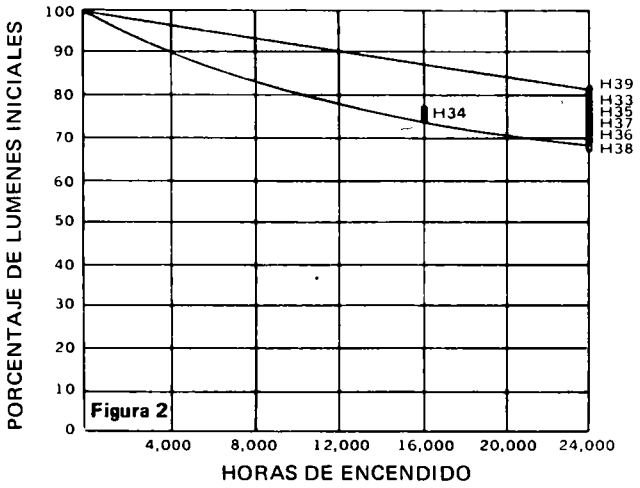


Figura 16. Mantenimiento de lúmenes aproximado de las lámparas claras de mercurio funcionando verticalmente

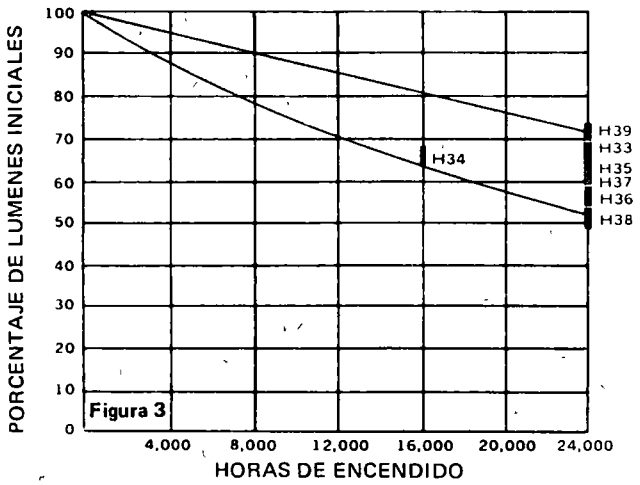


Figura 17. Mantenimiento de lúmenes aproximados las lámparas de mercurio de color mejorado funcionando verticalmente

Mantenimiento de lúmenes

En igual forma que con las otras fuentes de luz eléctrica, la emisión luminosa de las lámparas de mercurio disminuye gradualmente a todo lo largo de su vida, principalmente como resultado del depósito de los materiales de emisión (incluyendo el tungsteno) proveniente de los electrodos en el interior del bombillo del arco de cuarzo. El punto de régimen de trabajo de todas las lámparas de mercurio es a 100 horas de operación debido a que gran parte de la "limpieza" de impuresas se lleva a cabo durante las primeras cien horas de funcionamiento. Después de ese período, las lámparas del mismo diseño básico tienden a estabilizarse en sus características de operación y la disminución en la emisión lumínica entonces pasa a ser más gradual.

En las figuras 16 al 21 se ilustra la disminución en lúmenes de las lámparas de mercurio Sylvania desde el punto de régimen de trabajo de 100 horas hasta el tiempo de encendido seleccionado en los gráficos. Se observará que el mantenimiento de lúmenes es mejor para las lámparas claras que para las de color en sus tipos correspondientes y es ligeramente mejor para el funcionamiento vertical que para el horizontal. Los lúmenes medios aproximados para los distintos tipos, que se determinan integrando las curvas de mantenimiento de lúmenes a 16.000 y a 24.000 horas, se anotan en la Tabla I.

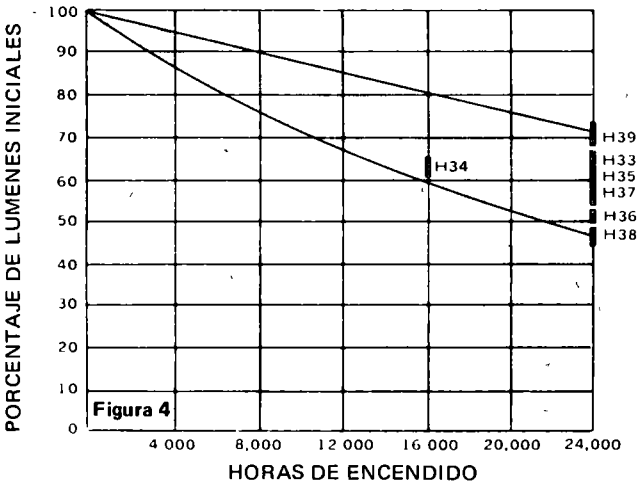


Figura 18. Mantenimiento de lúmenes aproximados de las lámparas de mercurio blancas y blancas-brillantes de lujo funcionando verticalmente

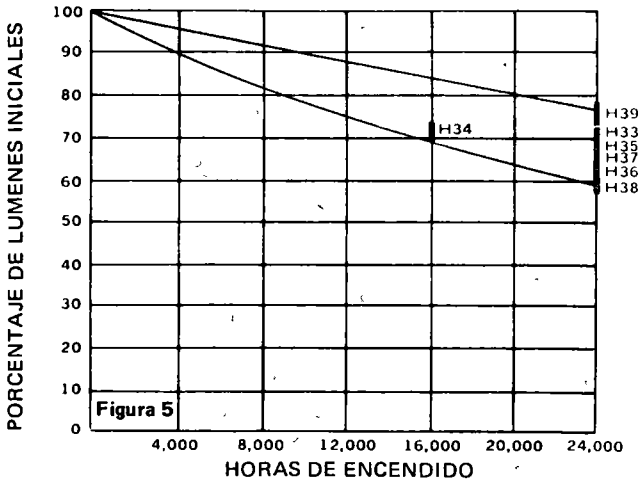


Figura 19. Mantenimiento de lúmenes aproximados de las lámparas de mercurio claras funcionando horizontalmente

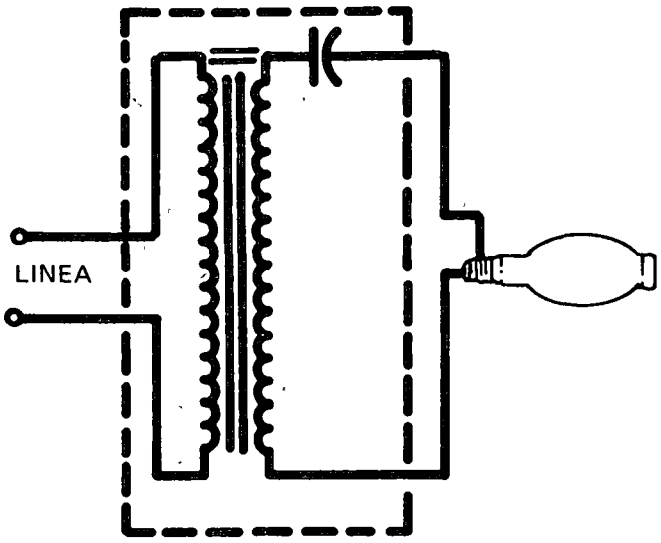


Figura 12. Balastro de vatiaje constante perfeccionado

Balastro reactor de adelanto y retraso para dos lámparas

Suele acostumbrarse operar dos lámparas de mercurio de 400 vatios o dos de 1000 vatios con un balastro reactor de adelanto y retraso para dos lámparas el cual consiste en dos circuitos independientes. Una de las lámparas funciona con un reactor y la otra con un reactor y con un capacitor conectado en serie tal como se muestra en la figura 13. Cada lámpara trabaja en forma independiente y continúa funcionando aunque la otra falle. El balastro reactor de adelanto y retraso para dos lámparas suministra un factor de alta potencia y reduce el efecto estroboscópico.

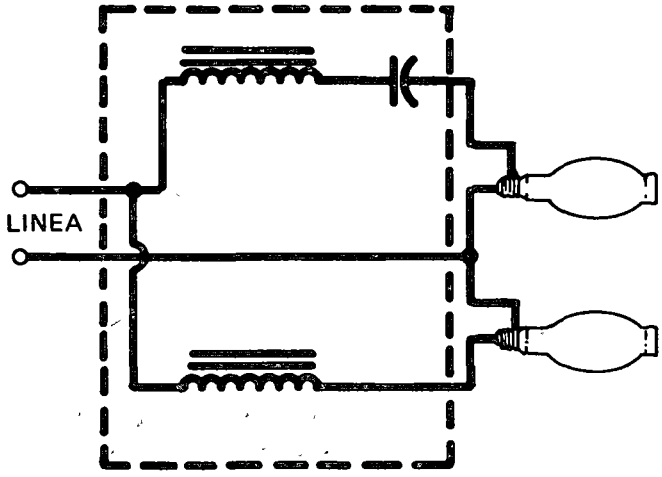


Figura 13. Balastro reactor de adelanto y retraso para dos lámparas

Balastro de vatiaje constante en serie para dos lámparas

Las lámparas de mercurio de 400 vatios de uso interior con frecuencia llevan balastros de vatiaje constante conectados en serie para dos lámparas. El circuito es básicamente el mismo que el del circuito convencional de vatiaje constante para una sola lámpara, excepto que acciona dos lámparas conectadas en serie en un devanado secundario aislado, como se ilustra en la figura 14. Las características eléctricas son parecidas a las del balastro convencional de vatiaje constante para una sola lámpara salvo por la regulación que es igual a la del tipo autotransformador de vatiaje constante.

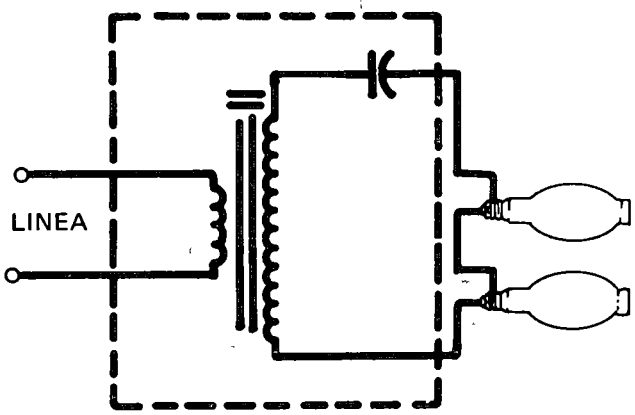


Figura 14. Balastro de vatiaje constante en serie (aislado) para dos lámparas

El promedio de pérdidas de vatiaje del balastro de las lámparas de mercurio es como del 10% de los vatios de la lámpara propiamente dicha, según el tipo de balastro y de lámpara que se use.

Las corrientes de arranque de la lámpara son considerablemente superiores para los balastros inductivos (autotransformador o reactor) que para los balastros autotransformadores de vatiaje constante o de vatiaje constante solamente. Al seleccionar el calibre apropiado de alambre para las líneas del circuito de alimentación o en derivación, es sumamente importante tomar en cuenta las corrientes de arranque. Es conveniente consultar la información suministrada por los fabricantes de balastros respecto a los valores específicos.

CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS DE MERCURIO

Duración de la lámpara

La larga duración es una de las características sobresalientes de las lámparas de mercurio. Casi todas las lámparas de mercurio para iluminación general, con potencias desde 100 hasta 1000 vatios, tienen una duración clasificada promedio de 24.000 horas cuando menos. Las lámparas de 40, 75 y de 100 vatios con base media, tienen una clasificación de vida de 16.000 horas. La duración normal de las lámparas tipo A-23 y G-40 es de 10.000 horas.

En la figura 15 se muestran las curvas de supervivencia típicas de las lámparas de mercurio de 175, 400 y 1000 vatios. La duración real en servicio depende, en gran parte, de las condiciones de operación y siempre es mayor con el encendido continuo que con los ciclos de encendido más cortos. La vida de la lámpara también es afectada por otras condiciones de funcionamiento, tales como la temperatura ambiental excesivamente alta, el voltaje de la línea y el diseño del balastro.

Balastro autotransformador con factor de baja potencia

Cuando el voltaje de línea está por debajo del voltaje mínimo de arranque de la lámpara, se usa un transformador junto con un reactor para elevar el voltaje de línea. Normalmente, este tipo de operación se lleva a cabo combinando un devanado secundario conectado en serie, con un devanado primario formando un autotransformador de una sola pieza, conocido también como balastro de alta reactancia. Este circuito tiene un factor de potencia de 50% aproximadamente, y las mismas ventajas y desventajas que el circuito reactor con factor de baja potencia. En la figura 9 se ilustra un balastro de ese tipo.

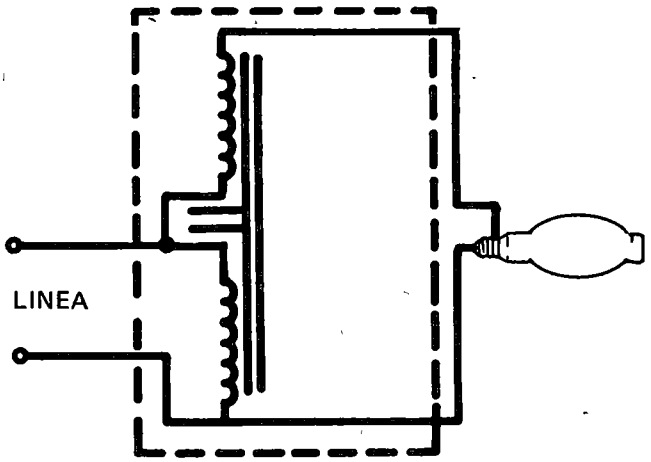


Figura 9. Balastro autotransformador con factor de baja potencia

Balastro autotransformador con factor de alta potencia

El balastro autotransformador se puede dotar de un factor de alta potencia agregándole un capacitor al circuito primario en la forma indicada en la figura 10. Con el objeto de lograr un sistema más económico, el autotransformador con factor de alta potencia suele diseñarse con un devanado capacitor extra. Esta combinación de devanados alargados y el capacitor, aumenta el factor de potencia del sistema en un 90% aproximadamente. El efecto en la corriente de entrada es el mismo que con el reactor con factor de alta potencia. El desempeño de la lámpara, el rendimiento y la regulación también permanecen iguales.

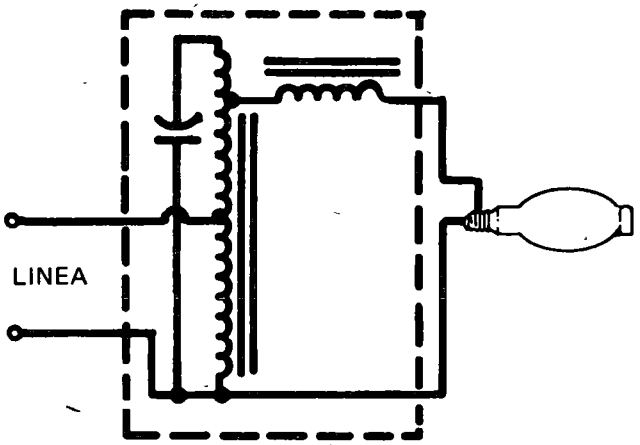


Fig ra 10. Balastro autotransformador con factor de alta potencia

Balastro autotransformador de vatiaje constante

En aquellos casos en que se necesita una emisión lumínica estabilizada con voltajes de línea variantes, se deberá usar un balastro de tipo regulado o de vatiaje constante. El balastro que suministra un grado razonable de regulación y que también tiene un tamaño pequeño económico, es el denominado autotransformador de vatiaje constante. Otros de los beneficios derivados del uso de ese tipo de balastro son: factor de alta potencia, voltaje bajo de extinción de línea y corrientes de arranque de línea que son más bajas que las corrientes de operación.

La diferencia eléctrica básica entre el balastro autotransformador de vatiaje constante y el balastro autotransformador con factor de alta potencia estriba en que el capacitor se usa conectado en serie con la lámpara, según se muestra en la figura 11, en vez de en paralelo. Con este tipo de arreglo, se permite que la lámpara trabaje con mejor estabilidad de vatiaje cuando fluctúa el voltaje en el circuito derivado (ramal). Cuando el capacitor realiza una función reguladora importante, como lo hace con el balastro autotransformador de vatiaje constante, el circuito se denomina circuito en adelanto. En los circuitos en retardo, la inductancia sirve como impedancia de regulación, tal como sucede con el reactor y el balastro autotransformador de alta reactancia. El capacitor que se usa en el circuito de retardo es simplemente un componente corrector del factor de potencia y no tiene ninguna propiedad regulante.

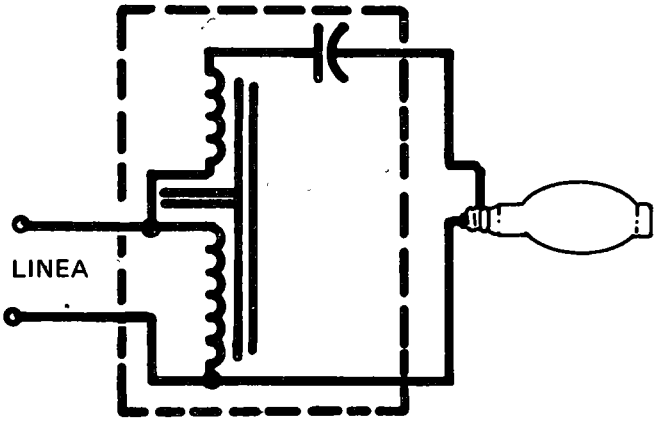


Figura 11. Balastro autotransformador de vatiaje constante

Balastro de vatiaje constante perfeccionado

Cuando sea necesario usar una emisión lumínica más estable con voltajes de entrada variantes, se recomienda el balastro de vatiaje constante. Dicho balastro, como el de vatiaje constante ya descrito, emplea un circuito en adelanto; pero a diferencia del autotransformador de vatiaje constante, el balastro convencional de vatiaje constante, está construido como un transformador de aislamiento, según se describe en la figura 12. El balastro de vatiaje constante tiene la ventaja de contar con regulación de emisión lumínica mejorada y circuito de carga aislada por sobre el balastro autotransformador de vatiaje constante. También tiene las mismas ventajas del balastro autotransformador de vatiaje constante, tales como un factor de alta potencia, bajo voltaje de extinción de línea y corrientes de arranque de línea.

A I

IPARAS DE MERCURIO SYLVANIA

Operación vertical			Operación horizontal			Voltios mínimos de arranque para garantizar la seguridad funcional de arranque dada a la temperatura indicada			Voltios nominales para la operación de la lámpara		Corriente (amperios) nominal de funcionamiento de la lámpara		Duración promedio especificada (horas) (E)
Lúmenes iniciales (100 horas) (C)	Lúmenes medios aproximados como porcentaje inicial para la duración indicada (E)		Lúmenes (100 horas) iniciales (C)	Lúmenes medios aproximados como porcentaje inicial para la duración indicada (E)		98% (D) +50°F	90% (D) 0°F	90% (D) −20°F	Vert.	Horiz.	Vert.	Horiz.	
	16000 Hr	24000 Hr.		16000 Hr	24000 Hr								
1200 1350	No hay datos actualmente		1145	No hay datos actualmente		150*	170*	180	90	88	0.53	.54	16000
2800 3150	87 78	No	2650	87	No	200*	210*	225	130	135	0 64	0.65	16000
4400	81	–	4200	–	–	200	210	225	130	130	0.85	0.88	10000
4100 4000 4400	90 86 81	Aplicable	3800 3800 4200	87 85 68.0	Aplicable	200*	210*	225	130	130	0.85	0.88	16000
4100 4100 4400 4500	82.5 79.0 74.5 74.5	78.0 70.5 66.0 66.0	3900 3900 4200 4200	82.0 78.0 73.0 73 0	76.0 68.5 64.5 64.5	200*	210*	225	130	130	0.85	0.88	24000
4600	–	–	4400	–	–	200	210	225	130	130	0 85	0.88	10000
7850 7850 8500 8000 8500	93.5 91.0 89.0 89.0	90.3 86.5 84.5 84.5	7450 7450 8000 7500 8000	92.0 90.0 87.0 87.0	88.0 85.0 82.0 82.0	200	210	225	130	128	1.50	1.55	24000
12000 11850 13000 13000	90.8 89.0 85.0 85.0	86.5 82.0 78.0 78.0	11400 11250 12300 12300	87.5 85 79.5 79.5	82.5 78.5 73.0 73.0	190*	210	225	130	129	2.1	2.15	24000
19500	No aplicable		18500	No aplicable									12000
20500 20500 23000 21000 23000	91.2 90.6 87.5 87.5	87.5 85.0 81.5 81.5	19500 19500 21750 20000 21750	89.5 86.5 82.0 82.0	85.0 81.5 76.5 76.5	190*	210	225	135	130	3.2	3.4	24000
41000 41000 44500 44500	91.0 89.0 85.5 85.5	87.0 82.5 79.0 79.0	39000 39000 42000 42000	89.0 86.0 81.0 81.0	84.0 80.0 75.0 75.0	215*	325*	375*	265	250	2.8	3.05	24000
55000 55000 61000 55000 61000	85.0 84.0 77.0 84.0 77.0	No aplicable	52000 52000 58000 52000 58000	81.0 79.0 70.0 80 70.0	No aplicable	200*	325	375	135	134	8.0	8.1	16000+
57500 57500 63000 57500 62000 63000	88.0 86.0 77.0 87.0 77.0 77.0	83.5 78.5 70.5 82.0 76.5 70.5	54500 54500 60000 54500 59000 60000	84.5 81.0 73.0 80.0 73.0 73.0	79.0 74.0 65.5 75.5 65.5 65.5	215*	325*	375*	265	252	4.0	4.3	24000
85000 85000	Lúmenes medios para 2000 horas de vida = 76000 Lúmenes medios para 2000 horas de vida = 76000					No hay datos o no es aplicable							2000

(D) Los voltios mínimos de arranque necesarios para garantizar la seguridad funcional de arranque estipulada a la temperatura indicada denota, por ejemplo, que el 90% de las lámparas de 400 vatios encenderá y se estabilizará hasta un 95% de su voltaje mínimo de régimen en cuestión de 15 minutos. Aun cuando el voltaje más bajo de un circuito abierto puede encender la lámpara, se necesitará el voltaje de un circuito abierto más alto que ése mínimo para el debido calentamiento, estabilización y seguridad funcional de arranque por toda la vida de la lámpara. Ver (*) nota.

(E) La duración normal de régimen y los lúmenes medios se basan en un tiempo de operación de 10 horas por arranque

*Se necesitará un voltaje más alto para mantener la operación de la lámpara.

**Fabricados en México