

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



ALUMBRADO DE VIAS PUBLICAS

Tesis para Optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Presentado por

Lucy Diana Cabrera Villafuerte

Promoción 1981-1

Lima - Perú

1985

A mis queridos padres
Samuel y Victoria por
el esfuerzo y sacrifi-
cio en la realización
de mi persona.

E X T R A C T O

El tema desarrollado en la presente tesis se refiere al Alumbrado de Vías Públicas en tanto contribuye a una buena visibilidad, cuyos componentes son materia de un prolijo análisis.

Se trata luego de los materiales y equipos que se emplean en el Alumbrado de Vías Públicas; y en lo que se refiere a las luminarias, se estudia en forma especial el control del deslumbramiento atendiendo principalmente a su influencia sobre la visibilidad. En el mismo sentido se analiza la influencia de la naturaleza de la superficie de rodadura de la calzada y sus características reflectoras que se tratan en forma más extensa en el Apéndice B.

Este trabajo pone especial énfasis en el diseño del Alumbrado de Vías Públicas, destacando la información fotométrica que debe estar disponible para poder determinar las características de la iluminación que se pretende obtener. Se complementa este trabajo proponiendo, a nivel de esque-

ma general, los parámetros a tenerse en cuenta para el alumbrado de las vías consideradas como típicas en el Reglamento Nacional de Construcciones. Adicionalmente se aplican los conceptos teóricos a un caso práctico, como es el de la Iluminación de la Av. Abancay de la ciudad de Lima.

Considerando que las condiciones requeridas para una buena visibilidad deben ser mantenidas a través del tiempo, se presentan los factores que afectan a la iluminación en el transcurso de la vida de una instalación, recomendando las acciones que permitan conservarla con las menores pérdidas compatibles con el servicio.

Como varias soluciones son posibles con diferentes fuentes luminosas y luminarias de distintas características, se presenta un programa desarrollado por computadora que analiza 6 alternativas para las que se consideran distintos precios de la energía eléctrica y 2 diferentes tasas financieras anuales, obteniéndose resultados interesantes en este análisis. Se incluye también un esquema para determinar el costo anual del servicio de Alumbrado Público en una ciudad como Lima.

Se concluye analizando algunas situaciones particulares que requieren especial atención en el diseño de su iluminación. Por último aparece un Glosario con los términos empleados en la tesis y su significado, y los Apendices A y B que analizan los balastos y la superficie de la calzada respectivamente.

C O N T E N I D O

	<u>Págs.</u>
INTRODUCCION	1
CAPITULO I ASPECTOS GENERALES	7
1.1 Parámetros que influyen sobre la confiabilidad visual.	9
1.1.1 Luminancia	9
1.1.2 Uniformidad	14
1.1.3 Deslumbramiento	17
1.2 Recomendaciones Internacionales	27
1.2.1 Fundamento para el Alumbrado de Vías Públicas	29
1.2.2 Criterios de diseño para el Alumbrado de Vías Públicas	31
1.2.3 Recomendaciones Oficiales	39
1.2.4 Terminología para los distintos tipos de vías	45
1.3 Recomendaciones Nacionales	47
1.3.1 Clasificación de las Vías Públicas	47
1.3.2 Principales Recomendaciones del Código y Norma Nacionales	49
CAPITULO II MATERIALES Y EQUIPOS EMPLEADOS	
2.1 Lámparas y equipo auxiliar	53
2.1.1 Características principales de las fuentes luminosas	55
2.1.2 Lámparas incandescentes	55
2.1.3 Lámparas de descarga	56
2.1.4 Balastos	86
2.1.5 Arrancadores o ignitores	87
2.2 Luminarias	88
2.2.1 Partes constitutivas de las luminarias empleadas en el Alumbrado de Vías Públicas	89

	<u>Págs.</u>
2.2.2 Características principales de las luminarias	94
2.2.3 Elementos que determinan la elección de la luminaria	99
2.2.4 Documentación fotométrica de las luminarias empleadas en el Alumbrado de Vías Públicas	102
2.2.5 Clasificación fotométrica para las luminarias de Alumbrado de Vías Públicas	
2.3 Superficie de la calzada	
 CAPITULO III DISEÑO DEL ALUMBRADO	
3.1 Cálculos	143
3.1.1 Red de cálculo	144
3.1.2 Posiciones del observador	146
3.1.3 Método gráfico en la solución de problemas	147
3.2 Ejemplo de un diseño de Alumbrado Iluminación de la Av. Abancay	186
3.2.1 Memoria Descriptiva	186
3.2.2 Cálculos Jústificativos	189
3.2.3 Especificaciones Técnicas de Equipos y Materiales	205
3.2.4 Especificaciones Técnicas de Montaje	219
3.3 Adendum - Señalización de los Paraderos de la Av. Abancay	228
3.3.1 Especificaciones Técnicas de Equipos y Materiales	228
3.3.2 Especificaciones Técnicas de Montaje	235
3.4 Método de diseño basado en la uniformidad de luminancia	236
3.5 Esquemas de alumbrado	243

VIII

	<u>Págs.</u>
CAPITULO IV MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES	262
4.1 Depreciación de las instalaciones	263
4.1.1 Rendimiento global de la instalación	264
4.1.2 Influencia de las variaciones de las características de reflexión de la calzada	265
4.1.3 Depreciación del flujo luminoso de la lámpara	265
4.1.4 Acumulación de suciedad sobre las lámparas y envejecimiento de las luminarias	267
4.1.5 Excesiva variación de la temperatura en el interior de la luminaria	268
4.1.6 Causas de vibraciones y distorsión accidental	270
4.1.7 Reducción de la vida del balasto	271
4.1.8 Tensión incorrecta en los terminales de la lámpara o del equipo auxiliar	271
4.1.9 Lámparas falladas	271
4.2 Mantenimiento de las instalaciones	272
4.2.1 Diferentes categorías de inspecciones	274
4.2.2 Limpieza y reemplazo de lámparas	275
4.2.3 Mantenimiento mecánico, eléctrico y óptico	283
4.2.4 Mantenimiento de los postes	284
4.2.5 Mantenimiento de las instalaciones de alumbrado de vías elevadas	285
4.2.6 Mantenimiento del alumbrado con mástiles	286
 CAPITULO V CONSIDERACIONES ECONOMICAS	 289
5.1 Comparación Económica de los Sistemas de Alumbrado	291
5.2 Costo del Servicio de Alumbrado Público	311

	<u>Págs.</u>
CAPITULO VI DISPOSICIONES DE LAS LUMINARIAS	
6.1 Disposiciones de las luminarias en alineamiento	315
6.1.1 Disposiciones básicas de las luminarias	316
6.1.2 Altura de montaje (h)	326
6.1.3 Espaciamiento (S)	327
6.1.4 Proyección de la luminaria en relación al borde de la calzada (P)	327
6.1.5 Inclinación de la luminaria (α°)	328
6.2 Alumbrado en situaciones que requieren tratamiento especial	329
6.2.1 Intersecciones o cruces	329
6.2.2 Pasos peatonales	338
6.2.3 Puentes y pasarelas	342
6.2.4 Vías elevadas	345
6.2.5 Vías de empalme	346
6.2.6 Curvas	347
6.2.7 Plazas	350
6.2.8 Zonas de transición en vías de alta velocidad	353
6.2.9 Rampas y vías con curvas verticales	354
6.2.10 Vías ciegas	354
6.2.11 Vías situadas en la vecindad de un aeropuerto	356
6.2.12 Vías situadas en la vecindad de una vía férrea o de un curso de agua navegable	356
6.2.13 Cruces a nivel	356
6.2.14 Alumbrado de casetas de peaje, paraderos de ómnibus, zonas de estacionamiento, puestos de aduana y estaciones de venta de combustible	357
6.2.15 Vías bordeadas de árboles	357

	Págs.
CONCLUSIONES	360
RECOMENDACIONES	362
BIBLIOGRAFIA	364
GLOSARIO	365
APENDICE A	
Balastos	381
APENDICE B	
Superficie de la calzada	406

I N T R O D U C C I O N

" la luz artificial con
débil proyección propicia la
penumbra que esconde en sus
sombras venganza y traición
"

El conocido vals de Felipe Pinglo Alva denuncia la deficiente iluminación característica de muchos barrios de Lima y las personas entrevistadas en una encuesta ratifican esta deficiencia y señalan sus peligros por el aumento de la delincuencia que esto genera con los consiguientes peligros para la vida y la propiedad. Peligro semejante acecha a los transeúntes que en horas de la noche tratan de cruzar pistas carentes de alumbrado, siendo muchas veces protagonistas de accidentes fatales. Resulta casi innecesario destacar la necesidad e importancia de un buen alumbrado en las Vías Públicas, señalar los requisitos de cantidad y calidad exigibles de acuerdo a normas internacionales de buena práctica, es un asunto importante que debe ser conocido.

En lo que respecta a la seguridad del tránsito nocturno, el alumbrado ayuda efectivamente al conductor mejorando su eficiencia y alertándolo de los peligros que pudiera encontrar.

El costo de un sistema adecuado de iluminación puede ser justificado por el ahorro que representa la reducción de los accidentes. Recientemente se ha determinado que el costo para el país de un accidente de tránsito de cierta magnitud asciende a unos veinte mil U.S. Dólares..... y la mayor parte de tales accidentes ocurren de noche y en vías sin alumbrado o con iluminación deficiente.

El problema es extremadamente complejo, debido a los diferentes tipos de vías, distintos volúmenes de tránsito vehicular y peatonal, variaciones climáticas y condición de los conductores. La tarea de manejar de noche se hace más difícil a causa de una pérdida importante de visibilidad. La posibilidad de ver contribuye a la seguridad y al movimiento ordenado de vehículos en concentraciones compactas.

En las calles urbanas importantes el mayor beneficio del alumbrado es contribuir a salvar la vida de los peatones. En diferentes ciudades se ha podido comprobar que los accidentes han sido reducidos prácticamente a la mitad después de la remodelación del alumbrado.

La iluminación de las vías expresas y las de tránsito rápido ha contribuido a la reducción en número y en gravedad de los accidentes nocturnos. Estudios realizados en otros países destacan la reducción de accidentes tanto en las vías interurbanas como en las urbanas luego de una mejora sustancial en su iluminación.

Sin embargo, las limitaciones económicas y las dificultades financieras por la que atraviesan los Municipios de nuestro país, están retrasando la realización de importantas mejoras en el Alumbrado Público de nuestras principales ciudades.

Un adecuado ordenamiento legal en materia del empleo de las depreciaciones sobre el activo fijo de los bienes destinados al Servicio de Alumbrado Público de las ciudades terminaría con la estrechez económica que actualmente impide a la mayor parte de los Municipios realizar las obras de mejoramiento del Alumbrado Público en sus jurisdicciones.

En lo que respecta a la importancia del alumbrado en la reducción de la delincuencia, históricamente la Iluminación de las Vías Públicas ha tenido como objetivo principal la prevención del crimen. Las estadísticas señalan que un alto porcentaje de ciertos delitos se cometen principalmente de noche y en las zonas sin alumbrado o mal iluminadas; comprobación de lo anterior es la verifi

cación de una significativa reducción de la delincuencia en zonas que han mejorado su iluminación.

La iluminación desalienta o evita la delincuencia de tres modos diferentes:

- La presunta víctima aumenta su probabilidad de ver y/o de evadir a su posible atacante.
- Los sospechosos están más expuestos a ser vistos y reconocidos por los transeúntes.
- Los patrulleros pueden detectar más fácil y rápidamente un asalto que se esté cometiendo o que se intente cometer en perjuicio de un viandante.

Hay cinco zonas donde los efectos del alumbrado sobre la delincuencia pueden ser consideradas en forma separada: calles comerciales, zonas de estacionamiento, calles residenciales, pasos a desnivel, zonas adyacentes y parques. El tipo de iluminación que técnicamente debe ser instalada varía en cada zona.

Es necesario seguir investigando para definir exactamente el efecto de los diferentes niveles de iluminación sobre la reducción de la delincuencia, pues ésto aún no ha sido concluído.

En base a la información disponible parece que el cumplimiento de las Normas de Alumbrado establecidas en base a las exigencias del tránsito vehicular, en los distintos tipos de vías, permiten obtener un componente adicional

para la seguridad de los peatones que transitan por las mismas.

La iluminación de una vía requiere que tanto el diseño como la instalación y el mantenimiento de la misma sean ejecutados adecuadamente.

En la presente tesis se pretende hacer una revisión de los elementos que intervienen en cada una de estas etapas y los requisitos para su correcta ejecución.

La norma elaborada por la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas para el Alumbrado de Vías Públicas cubre las primeras etapas y se encuentra vigente desde Octubre de 1978, sin embargo, instalaciones de Alumbrado Público de cierta importancia ejecutadas con posterioridad a esa fecha no han sido ejecutadas de acuerdo a sus prescripciones.

Nos encontramos pues ante otro problema: la falta de un ordenamiento que señale a los entes responsables, no solamente de la aprobación de los proyectos y recepción de las instalaciones, sino también de vigilar el cumplimiento de las normas, así como de que exista un adecuado mantenimiento que garantice, en el tiempo, la eficiencia del sistema de alumbrado instalado.

El presente trabajo ha sido elaborado contando con la valiosa ayuda del Ingeniero Napoleón Gianoli Helfers, experto en Iluminación en vista de haber dedicado toda su carrera profesional a este arte y ciencia, quien con su talento de docente supo absolver admirablemente y con paciencia todas las inquietudes y dudas que surgieron durante la elaboración de la tesis, motivando en mi formación profesional un vivo interés por seguir desarrollando este interesante y magno tema. Por haber contribuído a que este trabajo se haga realidad le estoy infinitamente agradecida.

Finalmente, espero que los conocimientos teóricos y prácticos vertidos aquí sirvan de base para aquellos alumnos y profesionales que se inician en la especialidad del Alumbrado de Vías Públicas.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

El objeto del Alumbrado de Vías Públicas es proporcionar seguridad y comodidad a los usuarios de la misma. Una buena calidad del alumbrado conlleva a una adecuada confiabilidad visual, reduciendo los accidentes nocturnos y brindando a los conductores un seguro control de su vehículo.

Una instalación de alumbrado vial debe proveer suficiente información al usuario de la vía a fin de que sea capaz de reaccionar adecuadamente y a tiempo ante cualquier circunstancia. Esto sólo será posible si la instalación asegura adecuada confiabilidad visual, en la cual participan dos componentes, a saber, el comportamiento y la comodidad visuales. Estos elementos son determinantes de la calidad del alumbrado y en la práctica están inter-relacionados. Por ejemplo, una percepción fácil sólo se podrá lograr si son satisfactorios tanto el comportamiento como la comodidad visuales.

La iluminancia se refiere a la densidad de flujo luminoso, indica la cantidad de luz que llega por unidad de superfi

cie de la calzada y no debe ser tomada en cuenta como parámetro fundamental del alumbrado debido a que no es esta luz la que impresiona al ojo, sino la luz reflejada por dicha superficie, que llegando a la retina hará posible la visión tanto de la superficie como de los objetos que se encuentren sobre ella. En resumen, como la sensación visual recibida por la retina depende de la distribución de luminancia en el campo visual, los parámetros de calidad del alumbrado deben establecerse en términos de luminancia. Para algunas aplicaciones del alumbrado esto puede ser difícil o aún imposible de resolver, a causa del rango y gran variedad de las propiedades reflectoras de las distintas superficies involucradas.

Sin embargo, de noche el entorno visual para un conductor que transita por una vía está formado por la visión de la vía que tiene por delante. Las propiedades reflectoras de la superficie de la vía pueden ser descritas y medidas con suficiente exactitud para el propósito del cálculo de luminancias, tal como se describirá más adelante. Así, los parámetros de calidad del alumbrado vial, no solamente pueden sino que deberían ser dados, obligatoriamente, en valores de luminancias.

Supongamos dos vías con superficies de diferentes propiedades reflectoras, que son iluminadas por luminarias del mismo tipo y características fotométricas y en las que se obtiene la misma iluminancia sobre las calzadas. No obs-

tante la igualdad de iluminancia en ambos casos, las luminancias pueden ser diferentes y por tanto, determinarán un brillo diferente de la superficie a los ojos del usuario de la vía, lo que demuestra que el comportamiento y la comodidad visuales son influenciados por la luminancia bajo la que se mira la superficie de la vía.

1.1 Parámetros que influyen sobre la confiabilidad visual

Como toda sensación, la sensación visual tiene un umbral que es necesario pasar para que ésta tenga lugar. Para ver, es necesario que haya: luz, un objeto a ser reconocido, un fondo sobre el que se destaque y un cierto tiempo para poder reconocerlo.

1.1.1 Luminancia

Tratándose del Alumbrado de Vías Públicas, el objeto que debe ser visto puede ser un transeúnte o algún obstáculo colocado en la vía, el contraste de luminancia (C) depende de la forma como se realice la visión y es definido por:

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f} \quad (1.1)$$

donde L_o es la luminancia del objeto y L_f es la luminancia del fondo sobre el cual es visto el objeto. Si el objeto es más claro o más oscuro que el fondo se producirán contrastes positivo o negativo respectivamente y así tendremos:

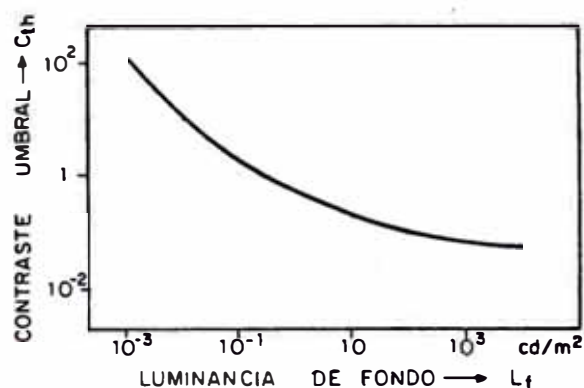


Figura 1.1

El contraste umbral (C_{th}) disminuye a medida que la luminancia de fondo L_f aumenta. El objeto de prueba es un disco de 4 minutos de arco y presentado por 1/5 de segundo en intervalos de 1 segundo.

- Visión de silueta (contraste negativo) cuando ésta aparece oscura sobre un fondo más claro, usualmente es la más empleada, o

Visión del objeto más claro sobre un fondo oscuro (contraste positivo), que permite distinguir mejor un objeto con mayor reflectancia, con las luces del vehículo solamente, prescindiendo prácticamente del alumbrado de la vía (lo que es peor, el contraste será mayor si la iluminancia de la vía es menor).

La luminancia que rodea al objeto determina las condiciones de adaptación del ojo del observador y el "contraste umbral" (contraste de luminancia necesario para que un objeto llegue a ser visible) depende de la luminancia de fondo. A mayor luminancia de fondo, el "contraste umbral" disminuye, lo que hace posible ver con claridad un mayor porcentaje de objetos. La figura 1.1 muestra la relación que existe entre el "contraste umbral" y la luminancia de

fondo para un objeto normal. La utilización de la ecuación 1.1 no implica, necesariamente, que objetos más oscuros y más claros que sus fondos con igual contraste psicofísicamente sean equivalentes. No se puede decir, tampoco, que hay una división definida entre los estados visible e invisible de un objeto. Se acepta, por consiguiente, una zona denominada "zona umbral", dentro de la cual hay un rango de valores para la visibilidad de objetos, este rango se encuentra entre 0 y 1.

Se ha observado que si disminuye la iluminancia vertical de un objeto situado en la superficie de la vía, mejora el comportamiento visual.

Cuando se incrementa la luminancia media de la superficie de la vía, aumenta consecuentemente la luminancia de fondo y por consiguiente, aumenta considerablemente la probabilidad de detectar un mayor número de objetos que se encuentren sobre la vía. Los objetos que no pueden ser vistos, son aquellos que tienen una alta reflectancia y serán fácilmente visibles cuando el contraste sea positivo como consecuencia de la iluminancia vertical producida por los faros del vehículo.

Resumiendo, se afirma que el comportamiento visual mejora con el aumento de la luminancia de la superficie de la vía y con la disminución de la iluminancia vertical. Como la iluminancia vertical es fácilmente controlada, en la calidad del alumbrado de una instalación vial la luminancia me

dia es el primer parámetro que tiene que ser tomado en cuenta.

La comodidad visual del conductor se verá influenciada por la luminancia media de la vía a la que esté adaptado. Un incremento de dicha luminancia media dará seguridad y concentración al conductor para reaccionar rápidamente ante la presencia de cualquier obstáculo. El mejoramiento de la comodidad visual hace que los ojos del conductor no disminuyan su rendimiento, lo que significa que la sensibilidad del contraste se mantiene con la comodidad en el desarrollo de la tarea visual. Se asegurará una mejor comodidad visual cuando se aumente la luminancia media de la superficie de la vía, teniendo cuidado de mantener bajo el nivel de deslumbramiento.

Finalmente, resulta muy útil hacer un cálculo con los valores de iluminancia, ya que la distribución de iluminancia se puede comprobar fácilmente mediante un luxímetro; y además, si se conoce la clase de superficie de la calzada, se tendrá el nexo para hallar la distribución de luminancia. Es por esta razón, que se hará una escueta revisión del concepto de iluminancia.

El lux es la unidad de iluminancia que mide la densidad de la luz sobre una superficie. En un día claro de verano, el sol produce 100,000 lux de iluminancia sobre la superficie de la calzada, mientras que de noche, la luna apenas llega a producir una iluminancia de 0.2 lux sobre la misma.

El ojo humano es realmente maravilloso, pues, en ambos casos, es capaz de ver, aunque no en las mismas condiciones. La lectura de estas líneas sería más cómoda si sobre esta hoja de papel hubiera una iluminancia de 300 lux y la visión de un partido nocturno de fútbol más adecuada, si sobre el campo de juego hubiera una iluminancia de 600 lux.

Sin embargo, los niveles de iluminancia usados en el alumbrado de vías son mucho menores, pues las tareas visuales tanto del conductor como del peatón requieren menos precisión y la exigencia en la percepción de los colores es menos importante. Estamos refiriéndonos a niveles de iluminancia, para calzadas claras, que van desde 1 lux para vías poco importantes hasta niveles de iluminancia del orden de los 20 lux o más para vías primarias importantes, donde la alta velocidad del tránsito vehicular hace imperativo poder distinguir un obstáculo que se encuentre en la vía, con suficiente anticipación, para lo cual evidentemente, se necesita más luz. El nivel de iluminancia requerido para una calzada oscura será aproximadamente el doble que el necesario para una calzada clara, a fin de obtener en ambos casos el mismo nivel de luminancia.

Por lo tanto, el primer parámetro básico del Alumbrado de Vías Públicas es la luminancia media de la superficie de la vía (L_{med}) que influye tanto en el comportamiento visual como en la comodidad visual del usuario de una instalación de alumbrado vial.

1.1.2 Uniformidad

El segundo parámetro que describe el aspecto de la confiabilidad visual de una instalación de alumbrado es la uniformidad. Por muchos años se ha investigado la relación que debe existir entre la luminancia media y la uniformidad requerida en una instalación de alumbrado vial, determinándose que pueden ser toleradas variaciones más grandes de luminancia, cuando se incrementa la luminancia media de la superficie de la vía. Quiere decir que la luminancia, como un parámetro aislado no podría existir a menos que sea analizada en relación con la uniformidad.

Investigadores en el campo del alumbrado han determinado, que la uniformidad longitudinal tiene una relación muy estrecha con el nivel de luminancia. En 1973, Walthert, estableció que la apreciación subjetiva de variaciones aceptables de luminancia era influenciada por el nivel de luminancia, el espaciamiento entre luminarias y su disposición, la velocidad de desplazamiento de los vehículos y el color de la luz de las lámparas.

La uniformidad de luminancia de la superficie de una vía es una componente importante en la calidad de una instalación de alumbrado y hay varias formas de definirla y expresarla. La CIE publicó en 1965 una recomendación acerca de la uniformidad. Los criterios para exigir una determinada uniformidad de luminancia no son fáciles de determinar. Por esta razón, la forma más simple de obtener los parámetros

que determinan la uniformidad está dada en función de la luminancia media (L_{med}), la luminancia mínima (L_{min}) y la luminancia máxima (L_{max}).

1.1.2.1 Uniformidad global U_0 (*)

La uniformidad global (U_0), es la relación que existe entre la luminancia mínima y la luminancia media de una instalación de alumbrado: $U_0 = L_{min} / L_{med}$.

Como ejemplo, para establecer una uniformidad del orden de $U_0=0.4$ en una calzada determinada, para valores de luminancia comprendidos entre 1 y 3 cd/m^2 , se considera que los objetos son percibidos en un 75%, aproximadamente, vistos en un tiempo de 0.1 segundo.

El comportamiento visual se ve influenciado por la uniformidad global, una menor percepción se obtendrá en puntos situados en lugares donde el nivel de luminancia tenga un valor mínimo, lo que producirá el peor contraste, y, por consiguiente, la visión de los objetos en estas zonas será dificultosa y en algunos casos éstos no podrán ser vistos.

Las variaciones de luminancia de la superficie de la vía tienen que ser limitadas debido a que reducen la sensibilidad de contraste del ojo y dan lugar a problemas de adaptación transitoria. Cuando el usuario mira la parte más oscura

(*) Denominada uniformidad media (U_{med}) por el Código Eléctrico del Perú y la Norma DGE-016-78 del MEM.

ra de la vía, las partes más brillosas, es decir, las que tienen la más alta luminancia actuarán como fuentes de deslumbramiento afectando el comportamiento visual, por lo que es necesario limitar la diferencia de luminancias.

Por lo tanto, el segundo parámetro básico del alumbrado que influye en el comportamiento visual es la uniformidad global U_0 .

1.1.2.2 Uniformidad longitudinal U_1

Es la relación que existe entre la luminancia mínima y la luminancia máxima sobre un eje paralelo al eje de la vía que pasa por el punto medio de cada senda: $U_1 = L_{\min}/L_{\max}$.

Este valor es importante desde el punto de vista de la comodidad visual, debido a que el conductor sufrirá alguna perturbación si a su paso encuentra zonas claras y oscuras que se repitan continuamente; la molestia que esto le produce puede ser evitada, en gran parte, si se establece una diferencia mínima entre las luminancias. Esta diferencia mínima está dada por la uniformidad longitudinal, para lo cual, se toma un eje paralelo al eje de la vía que pasa por un observador situado en el punto medio de una senda y se determinan los valores de luminancia mínima y máxima sobre dicho eje.

Como la uniformidad longitudinal depende del tipo de iluminación correspondiente a las características de la vía, se recomienda que en vías urbanas e interurbanas con alta den

sidad de tránsito como las vías expresas y carreteras principales se señale un valor de uniformidad longitudinal más alto que en calles comerciales y vías colectoras.

Por lo tanto, el segundo parámetro básico de alumbrado que tiene influencia en la comodidad visual es la uniformidad longitudinal U_l .

1.1.2.3 Uniformidad transversal U_t

Es la relación que existe entre la luminancia mínima y la luminancia máxima tomada transversalmente a la vía:

$$U_t = L_{\min} / L_{\max}.$$

Esta uniformidad tiene importancia en calles de tiendas si se toma en cuenta el punto de vista de la visibilidad requerida en los cruces peatonales, sin embargo, basta con tener una buena uniformidad general para asegurar cierto grado de visibilidad que podría ser suficiente.

1.1.3 Deslumbramiento

Existen dos tipos de deslumbramiento, a saber, el deslumbramiento molesto y el deslumbramiento perturbador, cada uno de los cuales debe ser controlado. En esta parte se analizarán estos dos tipos de deslumbramiento; en la parte correspondiente a recomendaciones (secciones 1.2 y 1.3) se darán valores límites de deslumbramiento a ser considerados en los proyectos de alumbrado vial y por último en las secciones 3.1.3.7 y 3.1.3.8 se presentará un método que

permite cuantificarlos.

1.1.3.1 Deslumbramiento molesto

Este deslumbramiento afecta la comodidad visual del conductor. El grado de incomodidad que experimentará el conductor dependerá del diseño de la instalación y básicamente de las características fotométricas de las luminarias empleadas.

El siguiente parámetro básico que influye en la comodidad visual es el índice de deslumbramiento (G), que mide el grado de incomodidad que se describirá más adelante.

El método para hacer posible la medición del deslumbramiento molesto se ha basado en trabajos experimentales hechos por muchos investigadores en materia de iluminación. De Boer y Schreuder en 1967, Adrian en 1975, por citar a algunos de ellos, describieron el deslumbramiento molesto en función del índice de deslumbramiento (G), el cual expresa en una escala numérica la apreciación subjetiva del grado de molestia experimentada por sujetos sometidos a determinadas experiencias. Los valores de (G) asociados a diferentes sensaciones fueron clasificados como sigue:

G = 1 Deslumbramiento insoportable

G = 3 Deslumbramiento molesto

G = 5 Deslumbramiento apenas aceptable

G = 7 Deslumbramiento satisfactorio

G = 9 Deslumbramiento imperceptible

Los valores de (G) menores que 1 y mayores que 9 no tienen significado práctico.

La apreciación subjetiva del deslumbramiento y así el valor asociado del índice de deslumbramiento (G), depende de las siguientes magnitudes fotométricas y geométricas de la instalación de alumbrado:

I_{80} , I_{88} = Intensidades luminosas emitidas por las luminarias en direcciones que hacen un ángulo de 80° y 88° con la vertical respectivamente en el plano $C=0^\circ$. Los valores de la intensidad están dados en (cd).

h' = Distancia entre el plano a nivel de los ojos y el plano a nivel de las luminarias, expresada en (m).

F = Superficie emisora de las luminarias proyectada bajo un ángulo de 76° , expresada en (m^2).

L_{ned} = Luminancia media de la superficie de la calzada expresada en (cd/m^2).

p = Número de luminarias por Km de longitud de vía.

c = Factor de corrección para el color de la lámpara: $c=0.4$ para las de sodio de baja presión, $c=+0.1$ para las de sodio de alta presión, $c=-0.1$ para las de mercurio de alta presión y $c=0$ para las demás lámparas.

De lo anterior se deduce que el índice de deslumbramiento (G) no está afectado significativamente por la uniformidad

de luminancia de la calzada. Además, no depende del ancho de la vía ni de la disposición de las luminarias.

En vías urbanas, donde las partes frontales de las edificaciones tienen una luminancia del mismo orden que la de la vía, la luminancia media sigue sirviendo para determinar (G). Sin embargo, en casos donde los alrededores se encuentren ocupados por anuncios luminosos, el estado de adaptación de los ojos del conductor será diferente y (G) no dependerá directamente de la luminancia.

El índice de deslumbramiento puede establecerse por la siguiente relación empírica:

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 \left(\log \frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{\frac{1}{2}} + 0.08 \log \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1.29 \log F + 0.97 \log L_{med} + 4.41 \log h' - 1.46 \log p + c$$

(1.2)

La relación existente entre (G) y la apreciación subjetiva del deslumbramiento se ha basado en un gran número de experiencias de laboratorio llevadas a cabo en un gran número de instalaciones experimentales, y puede calcularse para casos prácticos con un grado de aproximación bastante exacto. Como todos los factores que intervienen en la relación pueden ser obtenidos del proyecto de la instalación, el índice de deslumbramiento puede ser fácilmente determinado como parte del diseño de una instalación vial.

Para que el cálculo de (G) sea confiable, las variables deben encontrarse dentro de los siguientes rangos:

$$50 \leq I_{80} \leq 7000 \dots\dots\dots \text{cd}$$

$$1 \leq \frac{I_{80}}{I_{88}} \leq 50 \dots\dots\dots \text{cd}$$

$$7 \times 10^{-3} \leq F \leq 4 \times 10^{-1} \dots\dots\dots \text{m}^2$$

$$0.3 \leq L_{\text{med}} \leq 7 \dots\dots\dots \text{cd/m}^2$$

$$5 \leq h' \leq 20 \dots\dots\dots \text{m}$$

$$20 \leq p \leq 100$$

La fórmula para (G) debe ser aplicada únicamente para vías de sección recta que tengan una longitud mayor que 300 metros y sólo para las que presenten una disposición regular de las luminarias.

En la fórmula 1.2 se nota que los parámetros I_{80} , I_{88} , c y F son parámetros específicos para una luminaria y pueden juntarse para formar el llamado "índice específico de la luminaria" (SLI), que depende exclusivamente de la luminaria, como se expresa en la siguiente fórmula:

$$\text{SLI} = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + 1.3 \left(\log \frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{\frac{1}{2}} - 0.08 \log \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1.29 \log F + c \dots\dots\dots (1.3)$$

Para simplificar la fórmula 1.2 se reemplaza el valor de (SLI) y la nueva forma para el cálculo de (G) será:

$$G = SLI + 0.97 \log L_{med} + 4.41 \log h' - 1.46 \log p \quad (1.4)$$

1.1.3.2 Deslumbramiento perturbador

El deslumbramiento perturbador tiene efecto negativo sobre el comportamiento visual. El método para la evaluación del deslumbramiento perturbador está basado en la fórmula de Holladay que fue reafirmada y encontrada aplicable incluso para bajos niveles de luminancia.

De acuerdo a esta fórmula, el efecto del deslumbramiento que provoca una pérdida en la confiabilidad visual, se comprenderá mejor si se considera que dentro del ojo existe una dispersión de la luz. La luz proveniente de las fuentes deslumbrantes se esparce en dirección de la retina y actúa como un velo brillante que se superpone a la imagen del objeto observado. La luminancia de este velo se denomina luminancia equivalente de velo y se expresa por la siguiente fórmula empírica:

$$L_v = K \frac{E_v}{\theta^2} \quad (1.5)$$

donde:

$K = 10$, cuando θ se expresa en grados; es un valor representativo para observadores cuya edad oscila entre 20 y 30 años. Se le expresa en $\text{grados}^2/\text{estereoradián}$ por año.

E_v = Iluminancia sobre el ojo del observador producida por

la fuente deslumbrante en un plano perpendicular a la línea de mira. Se expresa en lux.

θ = Angulo entre la dirección visual y el rayo de luz que incide sobre el ojo procedente de la fuente deslumbrante. Se expresa en grados.

Los límites de θ están comprendidos entre 1.5° y 60° , si se encuentra fuera de estos valores su exponente difiere considerablemente del valor dado en la fórmula. Estos límites son aceptados mientras el conductor vea sólo los puntos de la superficie de la vía que estén situados 90 metros delante de él y teniendo en cuenta que el ángulo de apantallamiento del techo del vehículo es de 20° sobre la horizontal (este valor ha sido normalizado por la CIE para el cálculo del deslumbramiento perturbador), lo que significa que sólo se tomarán en cuenta las luminarias que se encuentren dentro de este ángulo.

La luminancia de velo de una fuente para determinada posición del observador, ver figura 1.2, puede ser definida conociendo la iluminancia E_v que se calcula con la siguiente fórmula:

$$E_v = \frac{I}{h'^2} \cos^3 \theta \dots\dots\dots (1.6)$$

donde:

I = Intensidad luminosa en dirección del observador.

h' = (h - 1.5 m). Altura de montaje de la luminaria menos la altura del ojo del observador sobre el pavimento.

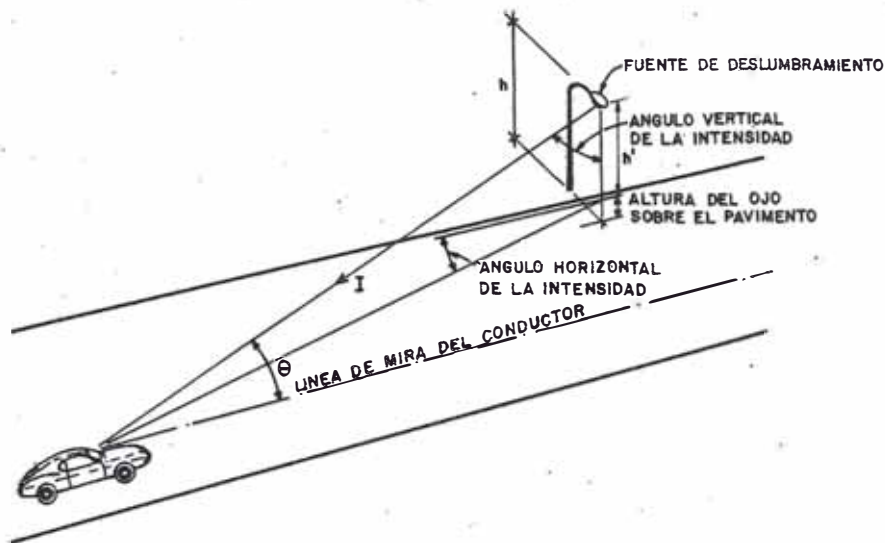


Figura 1.2 Variables que intervienen para el cálculo de la luminancia de velo (L_v) de una fuente y para una posición del observador.

Para una instalación completa, las luminancias equivalentes de velo (L_{v_i}) de cada luminaria tienen que ser sumadas como sigue:

$$L_{v_{total}} = \sum_{i=1}^n L_{v_i} \dots \dots \dots (1.7)$$

El comportamiento visual, por lo tanto, se verá influenciado notablemente por la aparición de la luminancia de velo, la misma que determinará un cambio en la luminancia de fondo y en el contraste.

El efecto total del deslumbramiento sobre el comportamiento visual se determina añadiendo la luminancia equivalente de velo a la luminancia de fondo y a la luminancia del objeto, que forman el contraste del objeto de prueba, notándose dos resultados:

a) El contraste umbral del objeto de prueba decrece debido al incremento de la luminancia efectiva (C_{ef}) de fondo.

$L_f \xrightarrow{\hspace{10em}} L_f + L_v$

b) El contraste decrece de $C = \frac{|L_o - L_f|}{L_f}$ a

$$C_{ef} = \frac{|(L_o + L_v) - (L_f + L_v)|}{L_f + L_v}$$
$$C_{ef} = \frac{|L_o - L_f|}{L_f + L_v} = \frac{L_f}{L_f + L_v} C \dots\dots\dots (1.8)$$

Esto quiere decir que aunque ha habido una disminución en el contraste umbral, ésta no es suficiente para compensar la disminución del contraste efectivo.

El deslumbramiento produce un efecto negativo sobre el comportamiento visual, ya que objetos que apenas pueden ser vistos cuándo no hay deslumbramiento (contraste umbral) no pueden ser vistos debido a la presencia del deslumbramiento a menos que sea incrementado el contraste real. Este efecto es el fundamento de la medida de la pérdida del rendimiento visual debido al deslumbramiento y es llamado incremento de umbral (TI). El incremento de umbral es definido como la cantidad de contraste adicional que se necesita para hacer visible otra vez el objeto bajo condiciones de deslumbramiento, dividido por el contraste efectivo.

$$TI = \frac{C_{th} \text{ cuando hay deslumbramiento} - C_{ef}}{C_{ef}} \times 100 \dots (1.9)$$

Conociendo el valor total de L_v de una instalación, la cantidad de deslumbramiento perturbador puede ser encontrada calculando el valor de TI de un objeto.

Por cada luminancia de fondo diferente, esto es, por cada parte de la superficie de la vía vista por un observador, el efecto del deslumbramiento sobre el comportamiento visual será diferente, y se obtendrá un valor distinto para el incremento de umbral. La CIE, por esta razón, recomienda emplear como una medida total del deslumbramiento perturbador, el incremento de umbral relativo (TI), tomando como luminancia de fondo, la luminancia media de la superficie de la vía.

Como en la práctica, el contraste debido a la aparición de fuentes de deslumbramiento no aumentará, el incremento de umbral indica la pérdida del rendimiento visual debido al deslumbramiento. El valor de TI debe ser referido desde el punto de vista de la seguridad vial.

La relación que existe entre los valores de TI y la seguridad vial no es conocida. Se asume, sin embargo, que el comportamiento visual y la seguridad vial están íntimamente relacionados. Esto significa que un valor determinado de TI puede ser recomendado para una clase de vía cuando se requiere un cierto nivel de seguridad vial. La CIE establece

ce que para el rango de luminancia comprendido entre $0.05 \text{ cd/m}^2 \leftarrow L_f \leftarrow 5 \text{ cd/m}^2$, el incremento de umbral se calcula con la siguiente fórmula:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_{med})^{0.8}} \dots\dots\dots (1.10)$$

donde:

TI = Incremento de umbral relativo (porcentual)

L_v = Luminancia equivalente de velo (en cd/m^2) para un observador mirando directamente hacia adelante en una dirección paralela al eje de la vía y 1° debajo de la horizontal.

L_{med} = Luminancia media de la superficie de la vía (en cd/m^2).

El incremento de umbral con valores más bajos que el 2 % puede ser despreciado.

Se concluye, entonces, que el tercer parámetro básico que influye en el comportamiento visual del usuario de una vía es el incremento de umbral (TI).

1.2 Recomendaciones Internacionales

Las Recomendaciones Internacionales para el Alumbrado de Vías Públicas se basan en trabajos presentados por el Comité Técnico 4-6 de la CIE, los cuales fueron previamente aprobados por los Comités Nacionales de los Países Miembros

Las Recomendaciones Internacionales presentan los principios fundamentales que rigen el Alumbrado de las Vías Públicas y recomiendan ciertos valores y técnicas bien estudiadas para ser incluidas en las Especificaciones y en los Códigos Nacionales de Buena Práctica.

Las técnicas del alumbrado aún varían en los diferentes países; en la práctica los Códigos Nacionales pueden no ser idénticos porque han sido establecidos de acuerdo a determinados requisitos y para ser empleados en circunstancias que han sido consideradas propias de cada país. Sin embargo, progresivamente se van aceptando principios más generales que permitirán una aplicación más generalizada. Los métodos para proveer un alumbrado vial adecuado son numerosos y progresan continuamente. Las Recomendaciones Internacionales incluyen métodos que ya han sido comprobados y que han dado buenos resultados dentro de limitaciones económicas aceptables.

Las Recomendaciones Internacionales pretenden servir de base para la preparación de normas que permitan cierta uniformidad de criterios de iluminación que sirvan de fundamento para la elaboración de proyectos, este acuerdo es requerido por el desarrollo creciente de las relaciones entre todos los países del mundo.

1.2.1 Fundamento para el Alumbrado de Vías Públicas

Una buena percepción visual es el pre-requisito para que el desplazamiento de los usuarios de la vía sea rápido, seguro y agradable.

La tarea visual del conductor de un vehículo es compleja y en ella merecen destacarse 3 aspectos:

- a) Para recorrer una ruta determinada necesita información visual de la dirección que ésta sigue delante de él y de las posibles intersecciones.
- b) Ante la aparición de otros vehículos y la necesidad de evadir los obstáculos que se presenten en su camino debe tomar una decisión rápida, para lo cual necesita información tanto de su posición como de su desplazamiento en la vía.
- c) Debe tomar decisiones muy rápidas en relación a su posición dentro de la masa de tránsito vehicular y de las posibles intrusiones de otros vehículos, para lo cual necesita tener información inmediata de los cambios dentro del ambiente próximo.

Los requisitos de la información visual pueden describirse en términos de la "perceptibilidad de los objetos" relativa, especialmente, a las características de los mismos como su presencia, naturaleza, ubicación, cambios de lugar, etc.

Para que un objeto pueda ser visto sobre la vía, es necesario que ciertas condiciones de iluminación sean satisfechas, pero también hay otros factores que influyen como las actitudes y acciones del observador.

No todos los objetos que se encuentren sobre la vía tendrán importancia para el conductor, éste reaccionará sólo ante la presencia de determinados de ellos, los cuales deben ser visibles a gran distancia para que el conductor sea capaz de tomar una acción a tiempo y evitar así cualquier accidente. Los objetos y/o señales que deben ser tomados en cuenta son los siguientes:

- a) Señales y luces de tránsito y señalización de las vías.
- b) Peatones y ciclistas, carros estacionados, deterioro que pueda presentar el pavimento, etc.
- c) Otros vehículos en marcha y sus luces de señalización.

En vías de tránsito general, en áreas urbanas, la presencia de peatones es una parte muy importante a considerar en el tratamiento de la vía. Los transeúntes son vistos frecuentemente contra el fondo que presentan las zonas alejadas a la vía. Este fondo será, por ejemplo, la parte frontal de un edificio, contra la cual el peatón se verá como una silueta si la luz está dispuesta para obtener este efecto, caso contrario, cuando el fondo sea oscuro, los peatones podrán ser vistos iluminados, presentando un contraste positivo. La luminancia general del campo, en este caso, está compuesta por la luminancia de la misma vía y la

de los alrededores por lo que el efecto del deslumbramiento es menor y los requerimientos para su control pueden ser menos limitados.

En vías con tránsito vehicular de gran velocidad, la disposición de las luminarias es lo que destaca en el campo visual del conductor. En estas vías, el deslumbramiento tiene que estar más restringido porque es necesaria una gran seguridad y una rápida percepción de los vehículos y objetos que se encuentren en ellas, los que deben aparecer muy bien definidos a la vista del conductor.

Los criterios de calidad para el alumbrado vial son:

- a) Adecuado nivel de luminancia y uniformidad en las sendas de la vía.
- b) Adecuado nivel de iluminancia en las zonas aledañas a la vía.
- c) Limitación del deslumbramiento.
- d) Buena orientación visual.

1.2.2 Criterios de diseño para el Alumbrado de Vías Públicas

Una instalación de alumbrado vial debe proveer un grado de confiabilidad visual para todos sus usuarios. Esta confiabilidad se logra si tanto el comportamiento como la comodidad visuales son satisfactorios. Estas dos componentes de la confiabilidad visual son influenciadas por los tres criterios de iluminación resumidos en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Criterios de iluminación que determinan la confiabilidad visual

COMPONENTES DE LA CONFIABILIDAD VISUAL	CRITERIOS DE ILUMINACION		
	NIVEL	UNIFORMIDAD	DESLUMBRAMIENTO
COMPORTAMIENTO VISUAL	Luminancia media de la superficie de la vía L_{med}	Uniformidad Global U_0	Incremento de Umbral TI
COMODIDAD VISUAL	Luminancia media de la superficie de la vía L_{med}	Uniformidad Longitudinal U_1	Indice de Deslumbramiento G

1.2.2.1 Nivel de luminancia

Está dado en función de la luminancia media de la superficie de la vía que se necesita para que el usuario de la misma obtenga la correcta información visual y por tanto se desplace con seguridad.

La luminancia de la superficie de la vía y la luminancia de las zonas aledañas no sólo determinan el estado de adaptación del usuario, sino que forman, además, el fondo contra el cual debe ser visto cualquier objeto.

La luminancia de la superficie de la vía (L_{med}) que se recomienda, se entiende como el valor medio a ser mantenido a través de la vida de la instalación de alumbrado. Este valor es casi totalmente dependiente del tipo de instalación (distribución de la luz y disposición de las lumina-

rias), de las propiedades reflectoras de la superficie de la vía y del tipo de mantenimiento a que esté sometida.

Se recomienda un valor de luminancia de 2 cd/m^2 para vías de mucha importancia porque ha probado ser técnicamente conveniente teniendo en cuenta los requerimientos de visibilidad y las consideraciones económicas. Se recomienda un nivel de luminancia más bajo solamente para vías con densidad y velocidad de tránsito limitadas y/o donde las zonas aledañas oscuras faciliten la concentración visual con menos confusión debida al deslumbramiento del ambiente. El nivel más bajo es del orden de 0.5 cd/m^2 .

Las vías que atraviesan zonas oscuras son diferentes, como una vías rural, de las que atraviesan zonas brillantes, como una calle comercial; en este último caso se necesita un valor más alto de luminancia de la superficie de la vía debido a que la luminancia de los alrededores interfiere con el estado de adaptación normal del ojo, el cual disminuye su sensibilidad de contraste en las partes más oscuras, en este caso la misma calzada. Para compensar esta disminución de contraste, el nivel de luminancia de la superficie de la vía debe ser aumentado. Con este aumento el deslumbramiento será limitado menos estrictamente. Existen métodos para cuantificar el valor de la luminancia y uniformidad debido a la instalación de alumbrado solamente, pero es difícil cuantificar la luminancia de los alrededores. No obstante, para moderados valores de luminancia de los alrededores es aconsejable duplicar el nivel de luminancia nor

malmente recomendado en el Alumbrado de Vías Públicas. En el caso de vías que atraviesan zonas oscuras, los ojos del conductor se concentrarán en la luminancia de la vía y habrá una disminución de la sensibilidad de contraste en las partes más oscuras, en este caso los alrededores, por lo que los objetos de los alrededores no podrán ser fácilmente percibidos. Un incremento de la luminancia de la superficie de la vía contribuirá a la iluminación de las zonas aledañas a la vía haciendo posible la visión de los objetos que se encuentren sobre ellas. El incremento de luz dentro de límites aceptables del deslumbramiento puede ser utilizado para la iluminación de las edificaciones adyacentes, lo cual también puede ser atractivo y orientador.

Es deseable que se iluminen las zonas aledañas a la vía (las veredas, si existieran) con una iluminancia media no menor que el 50% de aquella sobre el mismo ancho (por decir 5 metros) de la calzada adyacente.

1.2.2.2 Uniformidad

La uniformidad de luminancia es requerida para proporcionar visibilidad y comodidad visual al usuario de la vía. La uniformidad está relacionada con el nivel de luminancia y depende además del espaciamiento y disposición de las luminarias. La uniformidad es también influenciada por las condiciones de tiempo. Incluso puede ser que una misma vía tenga buena uniformidad cuando esté seca y una uniformidad muy mala durante las lluvias. Las recomendaciones que aquí

se dan son para vías secas.

Es muy importante la determinación de la uniformidad global (U_0) porque tiene influencia sobre el comportamiento visual. Para que la percepción sea aceptable se recomienda que el valor de la uniformidad global sea mayor que 0.4

En cuanto a la comodidad visual, el efecto negativo de la secuencia continua de puntos brillantes y oscuros sobre la superficie de la vía delante del conductor puede ser limitado especificando un valor mínimo para la uniformidad longitudinal (U_1). Se recomienda que el valor de la uniformidad longitudinal sea mayor que 0.7 .

Para vías secundarias, por razones económicas, pueden ser adoptados parámetros menos exigentes para el alumbrado de las mismas, además se debe tener en cuenta que la comodidad visual es de menor importancia por lo que se recomienda que el valor de la uniformidad longitudinal puede descender hasta 0.5

El comportamiento visual depende más de la uniformidad global que de la uniformidad longitudinal, por lo que alguna reducción de la uniformidad longitudinal puede ser aceptada siempre y cuando se mantenga la uniformidad global.

1.2.2.3 Deslumbramiento

Para su limitación hay que distinguir dos formas de deslumbramiento: el deslumbramiento psicológico o molesto que se establece en términos de la comodidad visual y el deslum-

bramiento fisiológico o perturbador que se establece en términos del comportamiento visual. Schreuden en 1972 mostró que hay una cierta correlación entre estas dos formas de deslumbramiento, pero es tan débil que cada una debe ser tratada individualmente.

Deslumbramiento molesto

El deslumbramiento molesto se ha descrito por el índice de deslumbramiento (G), el cual expresa sobre una escala ordinal la apreciación subjetiva del grado de molestia experimentada por un observador. El valor de G depende de las características fotométricas y geométricas de la instalación de alumbrado. El valor mayor de G implica que el deslumbramiento es mínimo con lo que la comodidad es máxima.

Un control satisfactorio del deslumbramiento molesto se logra con un valor de $G=6$. Para vías secundarias se puede aceptar un valor más bajo, por ejemplo $G=5$.

Para vías que atraviesan zonas relativamente brillantes el índice de deslumbramiento puede ser más bajo que lo normal.

Deslumbramiento perturbador

El grado de deslumbramiento perturbador está dado en función del incremento de umbral (TI). El valor de TI, dado en porcentaje, depende de la luminancia de velo (L_v) y de la luminancia media de la superficie de la vía (L_{med}); se determina empíricamente con la fórmula 1.10 de la sección 1.1.3.2

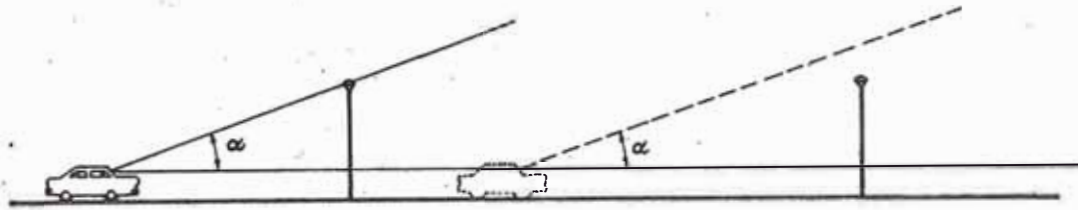


Figura 1.3 El ángulo de apantallamiento (α) ha sido normalizado por la CIE en 20° sobre la horizontal. Las luminarias que se encuentran sobre este ángulo no son tomadas en cuenta. Posición del observador en la cual una lumianria aparece justo dentro de su campo de visión. En este caso el valor de TI es máximo.

El incremento de umbral variará continuamente debido al cambio de posición del conductor con respecto a las luminarias. El valor de TI tiene un límite máximo que debe ser especificado para el máximo valor permitido de la variación de la posición del conductor con respecto a las luminarias.

La posición longitudinal del observador en la cual TI es un máximo dependerá del ángulo de apantallamiento (α) del techo del vehículo. El valor más alto de TI será generalmente para aquella posición del observador donde una lumianria se presente justo dentro de este ángulo, ver figura 1.3.

Naturalmente, es imposible para una instalación de alumbrado que el valor de TI sea igual a cero, sin embargo, es posible obtener valores menores que el 10%, los que serán adecuados para vías primarias. En vías secundarias serán tolerados valores más altos que el 10%.

1.2.2.4 Orientación visual

Los tres criterios de la iluminación dependen de la combinación luminaria-lámpara utilizada, las propiedades de reflexión de la superficie de la vía, la geometría de la instalación y la disposición de las luminarias. La instalación debe ofrecer al usuario de la vía una imagen rápida para la identificación inmediata de su curso y la dirección que seguirá más adelante.

La disposición de las luminarias debe seguir exactamente la dirección de la vía especialmente en puntos de intersección y en curvas. Una buena guía visual asegura un aceptable grado de confiabilidad visual a los usuarios.

El capítulo VI de este trabajo está dedicado a las disposiciones de las luminarias en vías de uso general y en puntos especiales como una curva o una intersección, donde se indica como deben ser ubicadas las luminarias para reconocer claramente el curso de la vía a seguir.

Cualquier distorsión en la línea, color o intensidad de las luminarias necesita interpretación para identificar un cambio del curso de la vía o la aproximación de puntos importantes. Debe notarse claramente la intersección con una vía de mayor jerarquía desde una gran distancia. Las vías deberían diferenciarse por la utilización de sistemas con distinto tipo de lámparas, así se reconocería la importancia y recorrido de las diferentes rutas.

La figura 1.4 muestra como deberían ser diferenciados los colores de las fuentes luminosas para reconocer el recorrido de las vías más importantes de Lima.

1.2.3 Recomendaciones Oficiales

La presentación de las Recomendaciones para el Alumbrado de Vías Públicas puede ser hecha por dos métodos: el primero está basado en la luminancia de la vía, es recomendado por la Comisión Internacional de Alumbrado (CIE), y el segundo, empleado por la Sociedad Norteamericana de Ingeniería de Iluminación (IES), utiliza la iluminancia sobre la vía como base para especificar la calidad del alumbrado.

1.2.3.1 Método de la luminancia

Los requisitos que debe cumplir el alumbrado de vías, para proporcionar la confiabilidad visual que requiere un tránsito rápido y seguro, dependen de la intensidad, velocidad y composición de dicho tránsito y de la complejidad de la red arterial. Estos factores, en combinación, determinan la categoría de la vía.

La tabla 1.2 describe las 5 categorías de vías consideradas por la CIE y sus recomendaciones. La tabla 1.3 toma de dichas recomendaciones resúmenes de los principales criterios de calidad que pueden ser expresados numéricamente. Los valores de la tabla 1.3 para el nivel de luminancia, uniformidad e índice de deslumbramiento son valores mínimos y los concernientes al incremento de umbral son valo-

Tabla 1.2 Clasificación de las vías de acuerdo a la Comisión Internacional de Alumbrado CIE

CATEGORIA DE LA VIA	TIPO Y DENSIDAD DE TRANSITO	TIPOS DE VIAS	EJEMPLOS
A	Tránsito motorizado pesado y de gran velocidad.	Vías con sendas separadas, completamente libres de intersecciones a nivel. Accesos totalmente controlados.	Autopistas Vías expresas
		Vías de tránsito importante solamente para tránsito motorizado, posiblemente con sendas separadas para tránsito lento y/o peatones.	Vías interurbanas Vías principales
B	Tránsito motorizado pesado y de velocidad moderada (*)	Vías urbanas o rurales, importantes y de todo uso.	Vías de circunvalación Vías radiales
C	Tránsito pesado mixto de velocidad moderada.	Calles en ciudades o centros comerciales, de acceso a edificios o zonas oficiales, donde el tránsito motorizado se une al tránsito pesado lento o a peatones.	Vías interurbanas Calles comerciales etc
D	Tránsito mixto de importancia con mayor proporción de tránsito lento o peatonal.	Vías colectoras entre áreas residenciales (calles residenciales) y vías del tipo A hasta la D.	Vías colectoras Calles urbanas, etc
E	Tránsito mixto de velocidad limitada y moderada densidad de tránsito.		

(*) El límite aproximado de la velocidad es de 70 Km/h.

Tabla 1.3 Valores recomendados para el Alumbrado de Vías Públicas (de acuerdo a la publicación Nº 12 de la CIE edición 1977)

CATEGORIA	ALREDEDORES	NIVEL DE LUMINANCIA (*)	UNIFORMIDAD		CONTROL DE DESLUMBRAMIENTO	
			UNIFORMIDAD GENERAL $U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}} \geq$	UNIFORMIDAD LONGITUDINAL $U_0 = \frac{L_{min}}{L_{max}} \geq$	INDICE DE CONTROL DE DESLUMBRAMIENTO G	INCREMENTO DE UMBRAL TI (%)
A	cualquiera	$L_{med} \geq$ (cd/m ²)	0.4	0.7	\geq	\leq
B 1	claros	2	0.4	0.7	5	10
B 2	oscuros	1			6	10 (**)
C 1	claros	2	0.4	0.5	5	20 (**)
C 2	oscuros	1			6	10
D	claros	2	0.4	0.5	4	20
E 1	claros	1	0.4	0.5	4	20
E 2	oscuros	0.5			5	20 (**)

(*) El nivel de luminancia considerado es el valor de L_{med} en servicio. Para obtener este nivel debería considerarse un factor de depreciación mayor que 0.8, dependiendo del tipo de luminaria y contaminación.

(**) De preferencia no debería ser excedido un valor de TI alrededor de los 2/3 del valor indicado.

res máximos. Estas recomendaciones no son dadas para situaciones que requieren tratamiento especial como curvas, puentes, etc. Para aquellos casos donde los alrededores sean mucho más brillantes que la calzada (debido a las vitrinas iluminadas de las tiendas o a los avisos luminosos) no deben ser aplicadas estas recomendaciones. Sin embargo, es generalmente aceptado, que bajo estas condiciones la limitación de deslumbramiento puede ser menos estricta.

Una iluminación adecuada, de óptima calidad, debe ser impuesta especialmente en vías de tránsito motorizado de gran velocidad y en vías de tránsito motorizado y peatonal muy pesado. La buena iluminación de estas vías reducirá los accidentes que ocurren en la noche debido al gran volumen de tránsito y a la alta velocidad.

Para vías menores, donde los accidentes son menos frecuentes debido al pequeño volumen o a la limitada velocidad del tránsito, por razones económicas, puede ser aceptada una menor calidad en el alumbrado. Para mantener una adecuada visibilidad, en estas vías de menor importancia, los requisitos de la comodidad visual U_1 y G pueden ser reducidos antes que los requisitos del comportamiento visual L_{med} , U_0 y $T.I.$

Por estas razones ha sido necesaria la clasificación, para indicar vías de diferente densidad y composición de tránsito, lo que comunmente determina su importancia dentro de la red arterial donde son considerados los requisitos de iluminación.

Estas recomendaciones son aplicables tanto para vías urbanas como para vías rurales.

Se sugiere que tipos similares de vías debieran tener el mismo sistema de iluminación, lo que contribuiría a una más fácil orientación.

1.2.3.2 Método de la iluminancia

Muchos de los Códigos Nacionales de varios países aún no han cambiado las reglas para especificar la calidad en el alumbrado de vías y siguen utilizando la iluminancia y la uniformidad de iluminancia como parámetros de diseño. La Sociedad Norteamericana de Ingeniería de Iluminación sigue esta tendencia, pero ha sido demostrado que es la luminancia de la calzada y no la iluminancia la que determina la confiabilidad visual del usuario de la vía.

Las variaciones en la calidad son mucho mayores con diseños basados en la iluminancia que para aquellos en los que se emplea el concepto de luminancia en concordancia con el sistema propuesto por la CIE para clasificar las superficies de las vías.

1.2.4. Terminología para los distintos tipos de vías

NOMBRE EN INGLÉS	DESCRIPCION DEL TIPO DE VIA	DESIGNACION EN CASTELLANO
Road	Un término general que denota cualquier camino público destinado al tránsito vehicular.	Vía Carretera
Street	Vía que se encuentra parcial o totalmente bordeada por edificaciones a lo largo de uno o ambos de sus lados.	Calle
Motorway	Vía reservada para el tránsito motorizado, accesible solamente desde los intercambios y en la cual, en particular, está prohibido detenerse o estacionarse. Vías de este tipo pueden tener 2 o varias sendas por calzada separadas para cada sentido de tránsito.	Autopista
Express road	Vía similar a la anterior, pero que le faltan algunas características típicas de ésta, por ejemplo: - No tiene una calzada separada para cada sentido de tránsito. - Los accesos no están completamente controlados. - No todas las intersecciones son a desnivel.	Vía Expresa
All purpose road	Vía utilizable para todo tipo de tránsito (incluyendo peatones y ciclistas). Se usa para distinguir las demás vías de las autopistas.	Vía de propósitos múltiples
Trunk road	Vía principal que forma parte del sistema vial nacional.	Vía interurbana Vía principal
Minor road	Vía que tiene, o a la que se le asigna un menor tránsito vehicular que a una vía principal.	Vía secundaria

NOMBRE EN INGLÉS	DESCRIPCION DEL TIPO DE VIA	DESIGNACION EN CASTELLANO
Ring road	Vía alrededor de un área urbana que permite el tránsito sin atravesar el centro de la ciudad.	Anillo de circunvalación
Radial road	Vía que permite comunicación directa entre el centro de la ciudad y su zona periférica.	Ruta radial
Commercial street	Vía bordeada por una gran proporción de oficinas y locales comerciales (usualmente sin vitrinas con alumbrado nocturno), y con una gran proporción de vehículos pesados en su flujo de tránsito.	Calle comercial
Shopping street	Vía bordeada por gran proporción de tiendas y otros locales cuyas vitrinas pueden permanecer encendidos durante la noche y que tiene un tránsito peatonal intenso.	Calle de tiendas
Residential street	Vía urbana en zonas residenciales donde predominan las viviendas uni o multifamiliares	Calle residencial
Collector road Distributor road	Vía de unión entre anillos de circunvalación o rutas radiales y los otros tipos de calles.	Vía colectora Vía distribuidora
Local street	Vía que da acceso directo a edificios y terrenos con un mínimo de tránsito vehicular.	Calle local
Service road	Vía subsidiaria, generalmente paralela a una vía principal y que da acceso a las propiedades.	Calle de servicio
Footway	Porción de vía exclusiva para peatones.	Vereda
Cycle track	Camino o parte de una vía reservada exclusivamente para el uso de bicicletas.	Paso para bicicletas

1.3 Recomendaciones Nacionales

1.3.1 Clasificación de las Vías Públicas

La clasificación de las Vías Públicas se ha hecho de acuerdo al Reglamento Nacional de Construcciones y al Plan Vial de Desarrollo Metropolitano de Lima y Callao, vigente en la fecha de aprobación por la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas de la Norma para el Alumbrado de Vías Públicas.

El Sistema Vial Primario está constituido por las vías expresas y las avenidas, y es un sistema continuo en su estructura. Sirve para permitir el movimiento masivo del tránsito entre los centros importantes de origen y destino de pasajeros y carga.

El Sistema Vial Secundario está conformado por las vías colectoras que deberán tener continuidad sólo en lo que sea necesario para permitir una eficiente estructura de transporte público masivo convencional.

El Sistema Local está constituido básicamente por las calles

Vías Expresas.- Son aquellas que sirven principalmente para el tránsito de paso (origen y destino distantes entre sí) , cuyas intersecciones se encuentran a diferente nivel con el resto de las vías y cuyos accesos y salidas son totalmente controlados mediante rampas de diseño especial.

Las vías expresas sirven también a las propiedades vecinas cuando están provistas de vías laterales a nivel con el sistema de calles.

Arterias Principales.- Sirven también principalmente para el tránsito de paso. Deberán tener vías de servicio laterales para el acceso a las propiedades. Sus intersecciones son a nivel con las vías de importancia menor, pudiendo ser éstas a desnivel cuando se trate de la intersección con otras arterias. Se dividen en:

Arterias Primarias: Son las arterias que poseen ciertos accesos controlados, generalmente son de alta velocidad y el cruce con vías importantes es suficientemente distante de manera que el viaje no sufra interrupciones. Por lo general tienen pistas laterales de servicio.

Arterias Secundarias: Son aquellas vías de gran importancia que tienen gran volumen de tráfico y cumplen la función asignada a las arterias. Debido a los frecuentes cruces que posee el tránsito es lento.

Vías Colectoras.- Son aquellas que sirven principalmente para coleccionar el tránsito de las calles locales y llevarlo a las arterias principales y vías expresas o viceversa. En algunos casos tienen cruces a desnivel con vías de mayor importancia. Se dividen en:

Colectoras Primarias: Son aquellas que por su diseño geométrico (vías con separador central), la longitud y ubicación dentro de la habilitación urbana tiene mayor importanu

cia y volumen de tránsito que las vías colectoras secundarias.

Calles Comerciales.- Son aquellas que se caracterizan por el elevado número de vehículos aparcados y/o la gran cantidad de peatones que circulan por la misma.

Calles Locales.- Son las vías del sector local, que dan servicio directo a las propiedades.

Calles Locales Rurales.- Son aquellas que se encuentran en centros poblados rurales con tránsito vehicular reducido.

Pasajes Peatonales.- Son las vías destinadas exclusivamente al tránsito peatonal.

Vías de Diseño Especial.- Son todas las que no se ajustan a los patrones establecidos anteriormente, y que constituyen: malecones, paseos, etc.

1.3.2 Principales Recomendaciones del Código y Norma Nacionales

En el Tomo IV del Código Nacional de Electricidad - Sistemas de Distribución - y en la Norma de Alumbrado de Vías Públicas (DGE-016-AP-1) de fecha 20-10-78 Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas, son recomendados los valores que deben tener los parámetros para la iluminación de vías de acuerdo al tipo de iluminación correspondiente a las características de la vía, tal como se muestra en la tabla 1.4 (Ver sección 1.3.1).

Tabla 1.4 Tipo de iluminación según las características de la vía

UBICACION	TIPO DE VIA	TIPO DE ILUMINACION RECOMENDADO
INTERURBANA	Vías Expresas	I
	Arterias Principales Primarias	I , II
	Arterias Principales Secundarias	II
URBANA	Arterias Principales Secundarias	II
	Vías Colectoras Primarias	II
	Vías Colectoras Secundarias	II , III
	Calles Locales	III , IV
	Calles Locales Rurales	IV
	Calles Comerciales	II
	Alamedas, Parques Públicos, etc.	V

La tabla 1.5 indica otra forma de determinar el tipo de iluminación, esta vez en función de la velocidad de circulación y del volumen de tránsito, tanto vehicular como peatonal. La Tabla 1.5, de acuerdo al tipo de iluminación, recomienda dentro de qué límites deben ser considerados los parámetros de iluminación, la disposición de las luminarias y el tipo de luminarias adecuado para cada caso.

Cabe destacar que, de acuerdo a las características de la vía, el deslumbramiento será controlado más o menos estrictamente, esto se muestra en la misma tabla 1.5, donde son recomendados tres tipos de control del haz: recortado o apantallado, semi-apantallado y no apantallado. El vector de la intensidad luminosa máxima admisible en cd. por 1000 lúmenes, para una luminarias colocada horizontalmente,

TABLA 1.5 CLASIFICACION DE LOS TIPOS DE ILUMINACION

TIPO DE ILUMINACION	I	II	III	IV	V		
CRITERIOS	Velocidad de Circulación	Media	Media o Reducida	Importante o Medio	Muy Reducida		
	Tráfico Vehicular	Muy Importante o Importante	Muy Importante o Importante	Medio o Reducido	Reducido o Muy Reducido	Muy Reducido	
VALORES EN	Tráfico Peatonal	Muy Reducido	Muy Importante, Importante o Reducido	Medio o Reducido	Reducido	Importante o Medio	
	Reproducción de los Colores	Muy Reducido	Importante	Importante o Medio	Reducido o Muy Reducido	Importante	
	Luminancia Media del Revestimiento Seco, cd/m ²	1.5 - 2	1 - 2	0.5 - 1	-	-	
	Factor de Uniformidad de Luminancia	General	0.25	0.15	-	-	-
		Longitudinal	0.65	0.55	-	-	-
		Transversal	0.40	0.30	-	-	-
		Media	0.55	0.45	-	-	-
	Iluminación Media, Lux	Calzada Clara	15 - 20	10 - 20	5 - 10	2 - 5	1 - 3
		Calzada Oscura	30 - 40	20 - 40	10 - 20	5 - 10	2 - 6
	Factor de Uniformidad Media de Iluminación Emin/Emed	-	-	0.25 - 0.35	0.15	0.15	
Altura de Montaje h (m)	10 - 12	8.5 - 10	8 - 10	7.5 - 10	4 - 12		
Relación S/h	2.5 - 3	3 - 4	3 - 4	3 - 5	4 - 5		
DISPOSICION DE LUMINARIAS	-Disposición Unilateral	Dos Canales de Circulación (Hasta 8m)	A ≤ h			-	
	-Disposición Bilateral en Trespelillo	Tres Canales de Circulación (Hasta 12m)	h < A < 1.5h			-	
	-Disposición Bilateral en Oposición	Cuatro Canales de Circulación (Hasta 16m)	1.5h < A			-	
CARACTERISTICAS DE LA LUMINARIA	Lámpara	Na, Hg	Na, Hg, Fl	Hg, Fl	Hg, Fl	Hg, Fl	
	Haz Apantallado	Recomendable	Recomendable	Admitido	Admitido	No Recomendable	
	Haz Semi-Apantallado	Admitido	Admitido	Admitido	Admitido	Admitido	
	Haz no Apantallado	No Recomendable	No Recomendable	Admitido	Recomendable	Recomendable	

Na = Sodio, Hg = Mercurio o luz mixta, Fl = Fluorescente
 h = Altura de Montaje, S = Separación entre luminarias, A = Ancho de la vía carrozable

emitida en los ángulos $\gamma=90^\circ$ y $\gamma=80^\circ$ debe ser menor a los valores considerados en la tabla 1.6 para los tres tipos de control considerados.

Tabla 1.6 Intensidades luminosas máximas admisibles en cd/1000 lm. para una luminaria colocada horizontalmente

ANGULO GAMMA (γ) (MEDIDO DESDE EL NADIR)	LUMINARIA DE HAZ APANTALLADO	LUMINARIA DE HAZ SEMI-APANTALLADO	LUMINARIA DE HAZ NO APANTALLADO
90°	< 10	< 50	< 1000
80°	< 30	< 100	-----

Esta tabla corresponde a las recomendaciones de la CIE del año 1965, pero debe tenerse en cuenta que estas intensidades luminosas deberán respetarse no sólo para las luminarias colocadas horizontalmente, sino para cualquier ángulo de inclinación que tengan en la instalación considerada.

CAPITULO II
MATERIALES Y EQUIPOS EMPLEADOS

2.1 Lámparas y equipo auxiliar

En el Alumbrado de Vías Públicas la elección de una lámpara se basa fundamentalmente en tres factores, a saber, su costo, su duración y el costo de la energía eléctrica.

Si la tarifa por la energía eléctrica para el Alumbrado Público fuera menor que el costo de producción, entonces un cambio de lámparas de poco rendimiento por unas de mayor eficacia no compensaría el alto costo inicial de éstas. La situación cambia si se considera que el costo real de la energía eléctrica que se emplea para el Alumbrado Público es el adecuado.

Las lámparas eléctricas se pueden clasificar según la forma como se produce la luz en dos grupos principales, ver figura 2.1, como sigue:

- a) Lámparas incandescentes.
- b) Lámparas de descarga.

CLASIFICACION DE LAS LAMPARAS

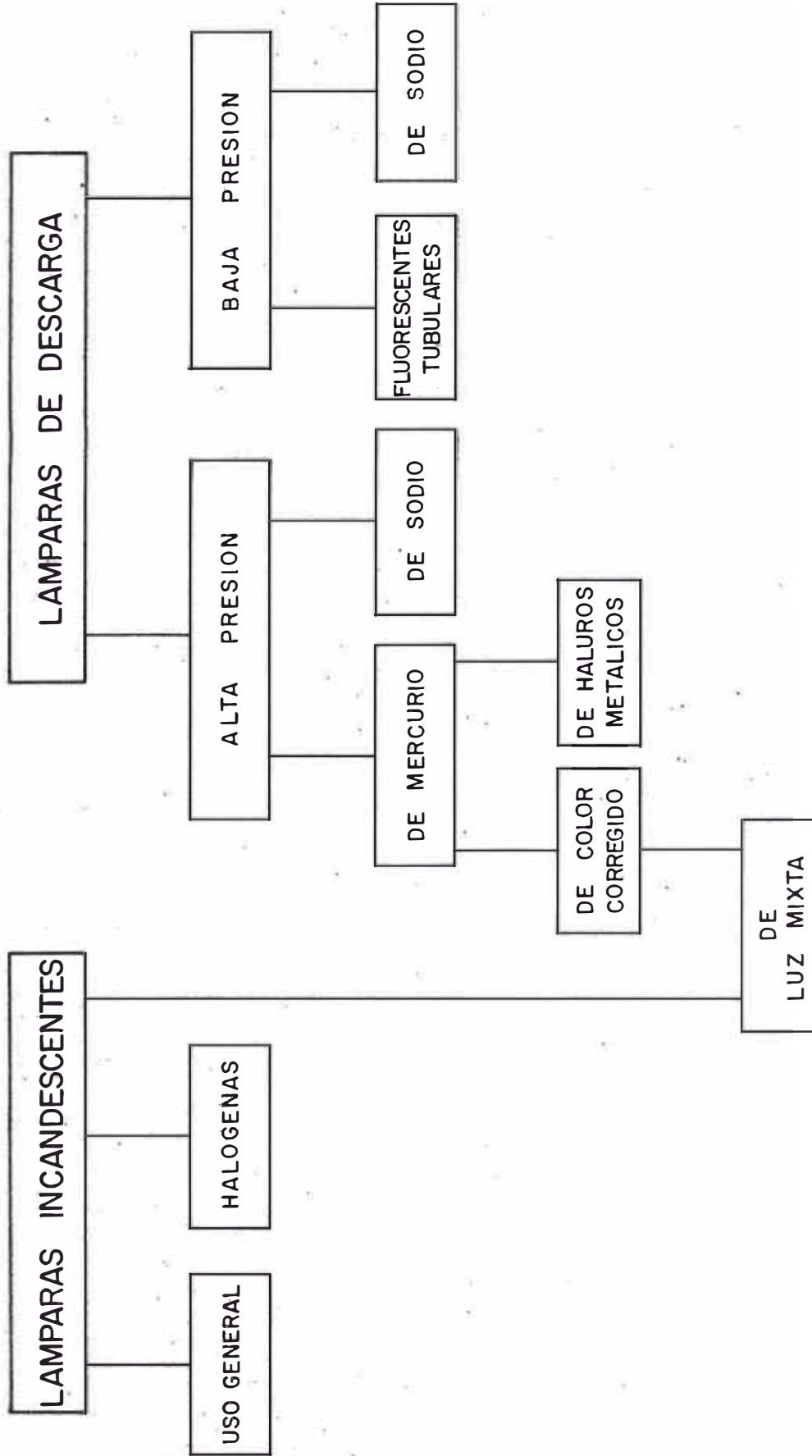


Figura 2.1 Clasificación general de las lámparas eléctricas

2.1.1 Características principales de las fuentes luminosas

- a) Flujo luminoso:(en lúmenes).
- b) Eficacia luminosa:(en lúmenes por vatio). Una mayor eficacia reduce la potencia instalada y el consumo de energía.
- c) Duración: horas de operación promedio para una muestra hasta la supervivencia del 50%. Una larga duración reduce los gastos por reemplazo.
- d) Apariencia en color: la temperatura de color (en °K) indica la impresión de color que capta el ojo humano.
- e) Rendimiento cromático: se expresa mediante el índice de rendimiento en color (R_a).
- f) Dimensiones físicas.
- g) Posiciones permitidas de encendido.
- h) Depreciación del flujo luminoso: pérdida del flujo luminoso a través del tiempo.
- i) Tiempo de calentamiento y de re-encendido (sólo para las lámparas de descarga de alta intensidad).

2.1.2 Lámparas incandescentes

La luz producida por una lámpara incandescente se debe al paso de corriente a través de un filamento de tungsteno que se calienta hasta alcanzar una temperatura tan alta que altera el movimiento electrónico, lo que se traduce en una emisión de radiaciones, algunas de las cuales, de acuerdo a la magnitud de la perturbación, caen en la parte visible del espectro electromagnético. La mayor parte

de las radiaciones, sin embargo, estarán situadas en la región infrarroja del mismo.

Las principales características de estas lámparas son: baja eficacia luminosa (10 a 20 lm/W) y corta vida (máximo 2000 horas a la tensión nominal para lámparas de uso general). Sin embargo, la luz producida tiene un espectro continuo que la hace muy similar a la luz natural.

La aparición de la lámpara halógena ha logrado que tanto la eficacia luminosa como la duración aumenten, pero aún así, estas lámparas no son convenientes para el Alumbrado de Vías Públicas.

En nuestro medio, el uso de las lámparas incandescentes en el alumbrado de vías es muy reducido y tiende a desaparecer.

2.1.3 Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga producen luz debido a la excitación que produce un arco eléctrico en un gas o vapor contenido entre dos electrodos ubicados en los extremos del tubo de descarga.

Tres son los factores que determinan la clase de luz emitida por la lámpara:

- a) La presión a la que se realice la descarga.
- b) La clase de gas que soporta la descarga (mercurio o sodio).

c) La existencia o no de un recubrimiento con material fluorescente en la parte interior de la ampolla de la lámpara.

Las lámparas de descarga tienen una eficacia que va desde los 50 lm/W en las de mercurio hasta los 200 lm/W en las de sodio de baja presión. Tienen una vida que en muchos casos llega a las 24,000 horas. El rendimiento en color, sin embargo, no es tan bueno como el que se obtiene con las incandescentes.

A excepción de las lámparas de luz mixta, todas las lámparas de descarga necesitan de un estabilizador o balasto para operar y un corto tiempo de encendido antes de alcanzar la emisión luminosa de régimen. Hay que considerar además, que requieren de un tiempo para el re-encendido que varía según el tipo de lámpara. En algunos casos puede ser necesario un arrancador externo a la lámpara para proveer el pico de encendido.

2.1.3.1 Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes tubulares son lámparas de descarga de baja presión, las que contienen argón y mercurio entre sus electrodos, el argón sirve para facilitar el encendido. La pared interior del tubo está recubierta por una capa de polvo de material fluorescente.

El paso de la corriente eléctrica a través de estos gases produce una colisión entre los electrones libres y los de

Los átomos de mercurio, que son desplazados de sus orbitas por la energía del impacto. Al retornar a su órbita normal devuelven la energía recibida en forma de radiación ultravioleta; esta radiación ultravioleta es luego transformada en luz visible al excitar la capa de polvo fluorescente.

Las lámparas fluorescentes se ofrecen en distintos colores y en diferentes tonalidades de blanco como blanco cálido, blanco frío y luz del día, que corresponden a distintas temperaturas de color. Para el Alumbrado Público se utiliza generalmente el color blanco frío por su mayor eficacia y su adecuado rendimiento cromático.

La nueva generación de lámparas fluorescentes tienen un menor diámetro y pueden ser empleadas, convenientemente, por su mayor eficacia; sin embargo, hay que tener en cuenta que tienen mayor brillo.

Las lámparas fluorescentes son susceptibles de usarse en el alumbrado de calles residenciales debido a que estas vías no requieren niveles elevados de iluminancia ni un estricto control sobre el flujo que cae sobre la calzada.

Las ventajas que presenta la utilización de una luminaria con dos o tres lámparas fluorescentes de 40 W son:

- La fabricación nacional de las lámparas y de las luminarias.

La mayor seguridad para los usuarios.. Esto debido a que las luminarias no sólo iluminarán la calzada, sino tam-

bién las áreas aledañas como las fachadas de las casas o jardines exteriores, lo que desalentará la delincuencia.

- Buena eficacia de las lámparas, aunque las luminarias sean poco eficientes (factor de utilización relativamente bajo)
- Discriminación cromática aceptable y buen control de deslumbramiento.

Su mayor desventaja es su duración en comparación con las otras lámparas de descarga, lo que se traduce en un mayor recambio de lámparas.

2.1.3.2 Lámparas de vapor de mercurio de alta presión

En esta lámpara, la luz se produce por la acción del arco sobre el vapor de mercurio a una presión de 2,000 torr.

La operación de esta lámpara requiere como equipo auxiliar sólo de un balasto, puesto que un electrodo auxiliar insertado dentro de la ampolla le sirve para el encendido.

Cuando la ampolla de la lámpara es transparente, la luz que produce tiene una apariencia de color blanco verdoso, esto se debe a que la emisión es discontinua, parte de la cual se encuentra en la zona visible del espectro correspondiente a los colores azul, verde y amarillo, notándose ausencia de radiación en la zona correspondiente al rojo. Debido a lo anterior, sus propiedades para la reproducción

de los colores no son buenas, lo que no las hace recomendables para ser usadas en el Alumbrado de Vías Públicas.

2.1.3.3 Lámparas de vapor de mercurio de color corregido

Esta lámpara es exactamente igual a la descrita en el párrafo anterior, pero al ser dotada de un recubrimiento fluorescente en la parte interna de la ampolla, que aprovechando la radiación en la zona ultravioleta, emite una radiación visible que permite corregir los inconvenientes de color anotados anteriormente. La disposición de los diferentes componentes de esta lámpara se muestra en la figura 2.2.

Debido a su mayor eficacia, su duración (24,000 horas) y a la buena reproducción de los colores, esta lámpara es utilizada para el Alumbrado de Vías Públicas. Se le utiliza en potencias que van desde los 80 W hasta 1,000 W.

2.1.3.4 Lámparas de luz mixta

Esta es una lámpara formada por un tubo de arco de mercurio de alta presión y un filamento incandescente. La ampolla exterior está recubierta interiormente con polvo fluorescente. El filamento incandescente está conectado en serie con el tubo de descarga actuando como balasto para el tubo donde se produce la descarga, estabilizando la corriente, por esta razón, la lámpara de luz mixta no requiere ningún equipo auxiliar externo, pudiendo conectarse directamente a la red. Su constitución se muestra en la figura 2.3.

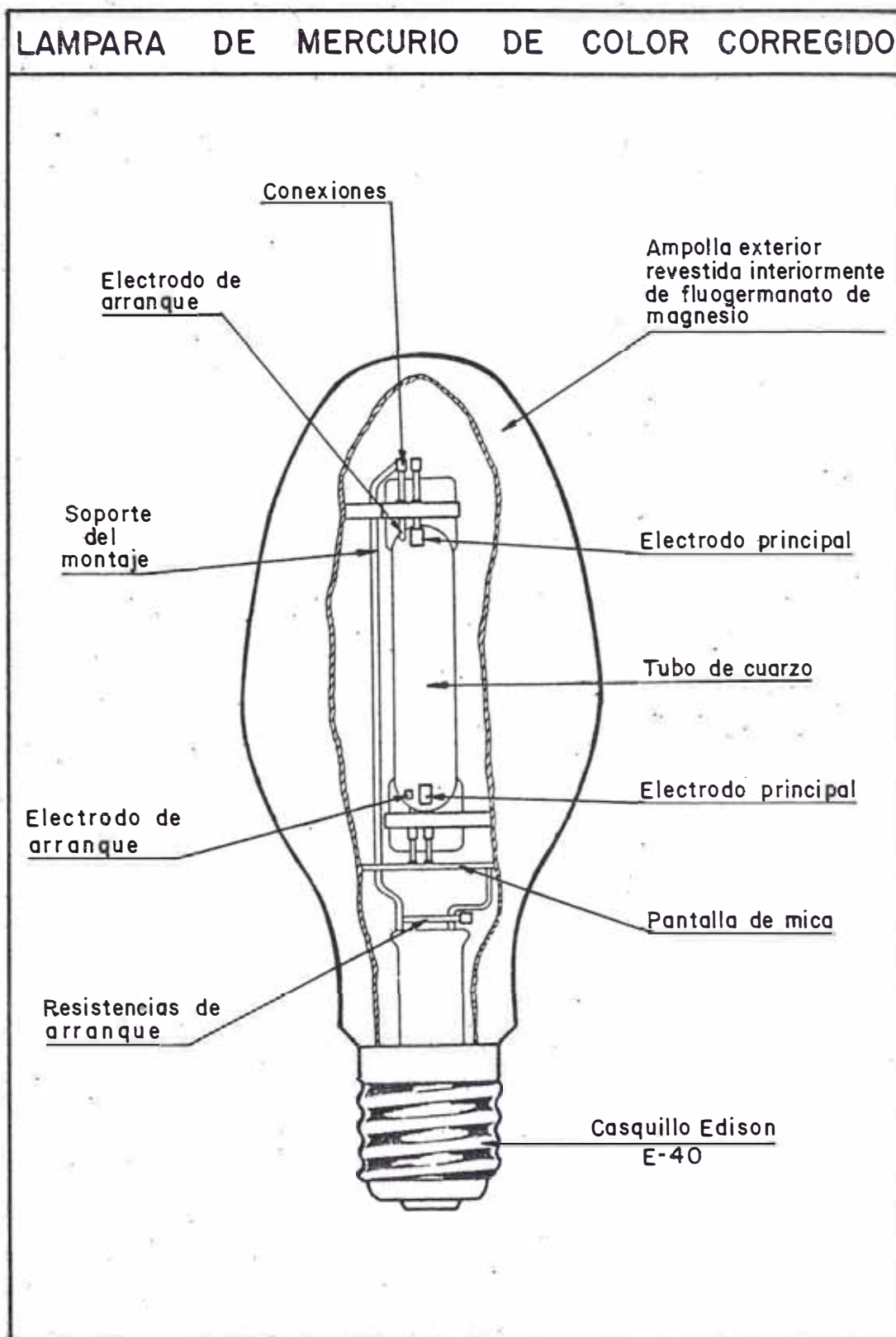


Figura 2.2 Constitución de una lámpara de vapor de mercurio de color corregido.

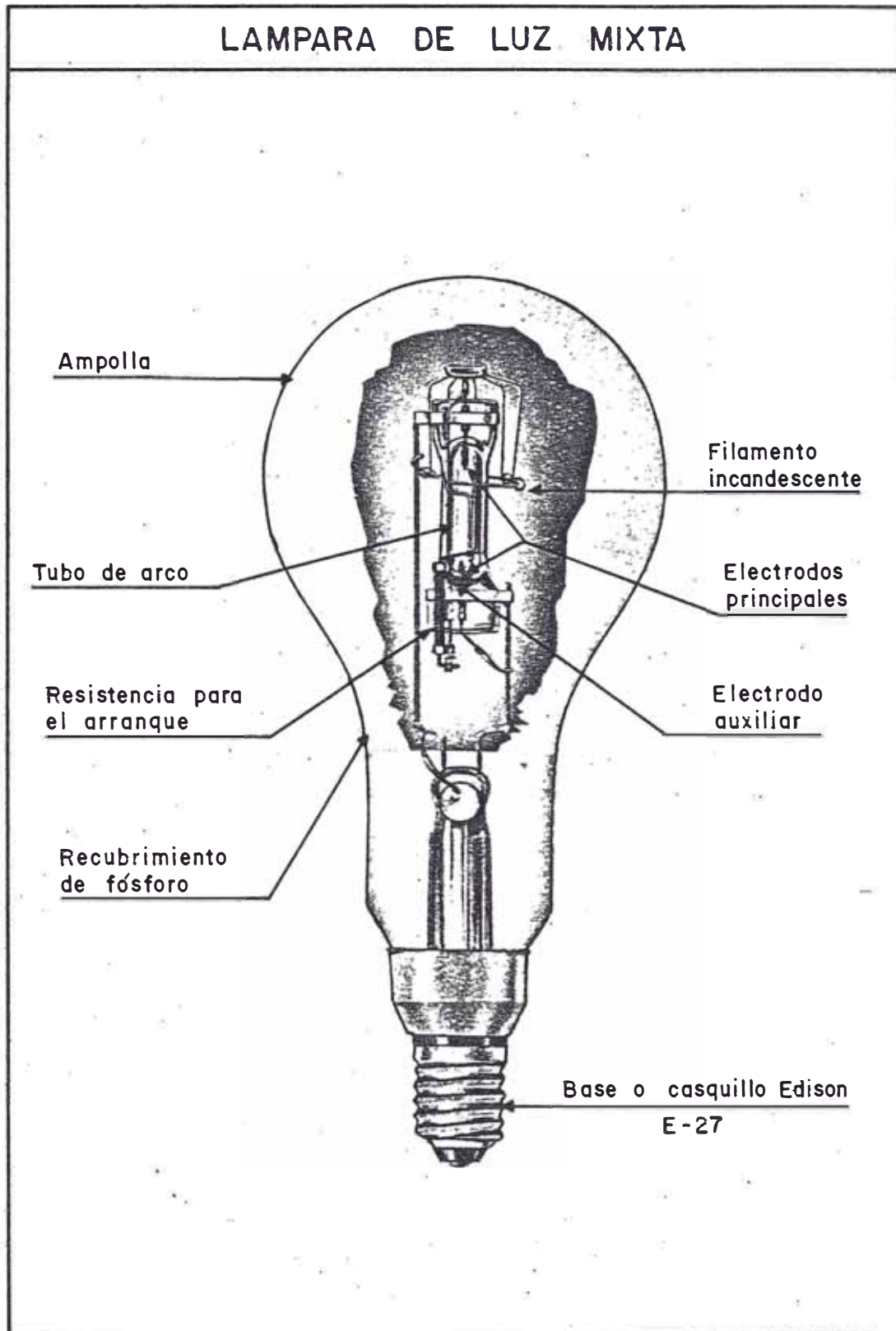


Figura 2.3 Constitución de una lámpara de luz mixta.

En nuestro medio a la fecha, un 80% de las lámparas empleadas en el Alumbrado de Vías Públicas son de luz mixta.

Debido a su menor eficacia y duración, esta lámpara no es la más adecuada para el Alumbrado de Vías Públicas, sin embargo, con la tarifa que se aplica actualmente a la energía eléctrica destinada a este tipo de consumo, el análisis económico determina la factibilidad de su empleo por su menor costo inicial en relación con las otras lámparas, a pesar que su menor duración implica su reemplazo más frecuente.

Las lámparas más empleadas son las de 160 W, 250 W y 500 W.

2.1.3.5 Lámparas de haluros metálicos

Estas lámparas tienen en el tubo de arco de alta presión, además del mercurio, una mezcla de yoduros metálicos (indio, talio, itrio). Esto mejora el rendimiento cromático y la eficacia, aunque la vida se reduce y aumenta la depreciación luminosa con el tiempo.

Usualmente no son empleadas en el Alumbrado de Vías Públicas, por las razones expuestas. Estas lámparas son utilizadas en la iluminación de monumentos así como en el alumbrado industrial y en lugares donde se requiera un buen rendimiento en color como en el alumbrado deportivo, sobre todo cuando deban hacerse transmisiones de T.V.

2.1.3.6 Lámparas de sodio de alta presión

La lámpara de sodio de alta presión contiene en el tubo de descarga que se encuentra sometido a altísima presión, una mezcla de mercurio y sodio vaporizado y una pequeña cantidad de gas inerte para facilitar el encendido. Tiene una alta eficacia (de 100 a 150 lm/W según la potencia) debido a que el sodio da una proporción más alta de radiaciones en el rango visible del espectro, donde el ojo tiene una mayor sensibilidad.

La ampolla puede tener forma tubular o elíptica y ser transparente o difusa para reducir la luminancia y/o sustituir a las de mercurio en las luminarias para éstas. La disposición de los diferentes componentes de esta lámpara se muestra en la figura 2.4.

Todas las lámparas de sodio de alta presión tienen como equipo auxiliar, además del balasto, un arrancador o ignitor que provee el pulso de tensión para el encendido.

La tendencia actual es ir reemplazando las antiguas instalaciones con lámparas poco eficaces por otras con lámparas de sodio de alta presión, de mayor eficacia; el inconveniente es el mayor costo inicial de estas lámparas, aunque el análisis económico es el que determinará cual es la solución más adecuada.

Algunos fabricantes han desarrollado un tipo especial de lámpara de sodio de alta presión cuyo tubo de descarga es

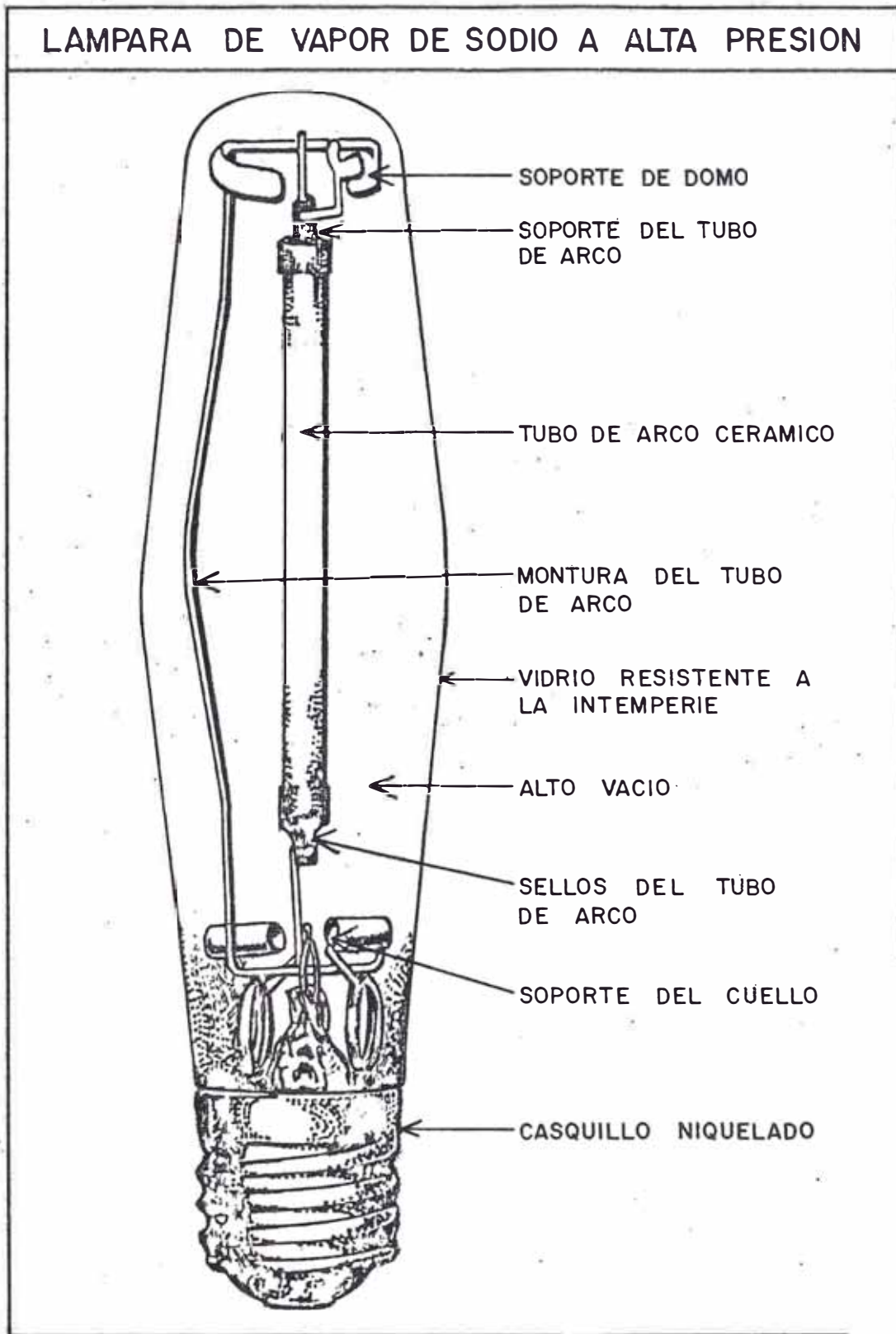


Figura 2.4 Constitución de una lámpara de sodio de alta presión.

más transparente, lo cual redundaría en un mayor flujo luminoso. Han sido desarrolladas también, lámparas de sodio capaces de reemplazar a las de mercurio usando el mismo balasto, para lo cual están provistas de un dispositivo interno para facilitar el arranque. Por ejemplo, una lámpara de mercurio de 125 W puede ser reemplazada por una de sodio de 110 W, obteniéndose con este cambio un mayor flujo luminoso con un menor consumo de potencia.

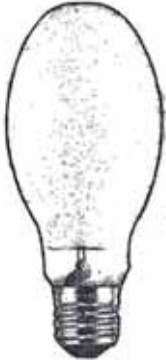
En el Alumbrado de Vías Públicas son usadas lámparas de sodio de alta presión con potencias de 70 W, 150 W, 250 W y 400 W y son aplicadas principalmente en vías importantes.

2.1.3.7 Lámparas de sodio de baja presión

Son de luz monocromática color amarillo, lo que las hace de uso restringido sólo a vías de tránsito vehicular intenso en zonas fuera del radio urbano.

Son las lámparas de mayor eficacia luminosa (200 lm/W). Requieren luminarias de gran tamaño, las que tienen bajo factor de utilización.

LAMPARA DE MERCURIO DE COLOR CORREGIDO DE 175 W

	DATOS DE FUNCIONAMIENTO Lam.Vert. Lam.Horiz a 10 hrs por encendido		
	Flujo luminoso inicial aproximado.....	8,600	8,150
	Vida promedio de régimen.....	24,000	24,000
	Flujo medio a 16000 hr	7,650	7,000
	Flujo media a 24000 hr	7,200	6,500
	Depreciación del flujo luminoso al 70% de su vida media	6,700	5,950
	Tiempo de calentamiento.....	5-7 minutos	
	Tiempo de re-encendido	3-6 minutos	
	Temperatura del color	3,900°K	
	Indice del rendimiento en color CIE aprox....	50	
Coordenadas de cromaticidad CIE.....	x=0.388 y=0.384		

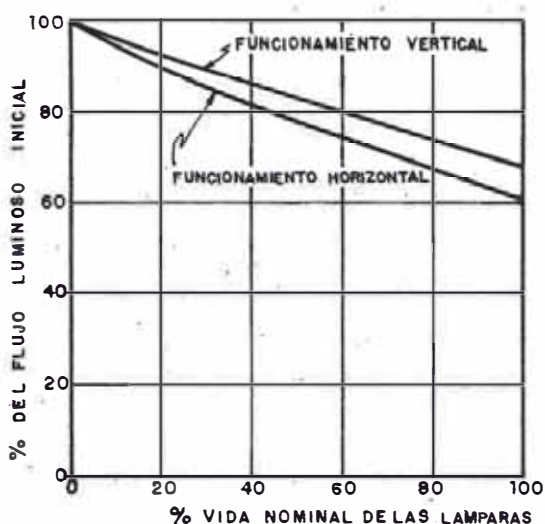
DESCRIPCION FISICA	
Designación de la base (rosca gigante).....	E-39
Designación de la ampolla.....	E-28
Material del tubo de arco.....	Cuarzo
Longitud total máxima.....	210 mm
Longitud al centro de luz.....	127 mm
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°C
Máxima temperatura en la base.....	210°C
Excentricidad máxima:	
De la base a la ampolla.....	4°
Del tubo del arco al eje de la lámpara	3°

CARACTERISTICAS ELECTRICAS		
Potencia nominal de la lámpara.....	175 W	175 W
Tensión nominal de la lámpara.....	130 V	128 V
Intensidad nominal:		
En el arranque.....	2.2 Amp.	2.2 Amp.
En operación.....	1.5 Amp.	1.55 Amp.
Máximo factor de cresta de la corriente.....	2.0	2.0
Tensión mínima del balasto (a circuito abierto para una lámpara simple):		
Temperatura ambiente	RMS	PICO
+10°C	200	283
-17.7°C	210	297
-28.8°C	225	318

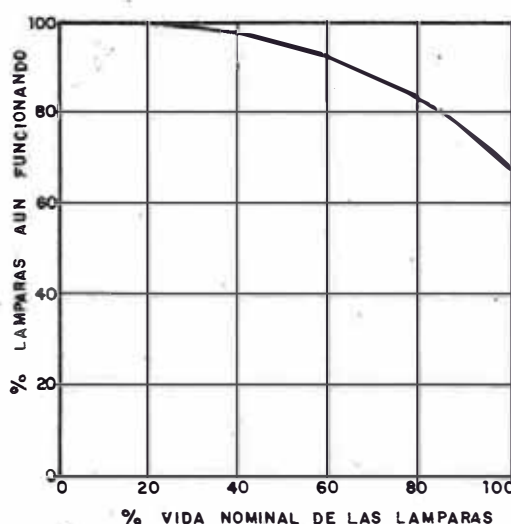
NOTA: Estas lámparas deberán operar satisfactoriamente con balastos tipo H37 de acuerdo a la clasificación de la ANSI.

LAMPARA DE MERCURIO DE COLOR CORREGIDO DE 175 W

DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO



SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS



DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO (VER NOTA *)		DATOS NUMERICOS	
POSICION DE FUNCIONAMIENTO	VERTICAL	HORIZONTAL	
Horas en servicio			
0	8,600 (100%)	8,150 (100%)	
2,000	8,250 (96%)	7,750 (95%)	
4,000	8,100 (94%)	7,500 (92%)	
8,000	7,650 (89%)	7,000 (86%)	
12,000	7,200 (84%)	6,500 (80%)	
16,000	6,800 (79%)	6,050 (74%)	
20,000	6,350 (74%)	5,550 (68%)	
24,000	5,950 (69%)	5,050 (62%)	


SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS		DATOS NUMERICOS	
HORAS EN SERVICIO	% Lámparas aún funcionando a 10 horas/encendido	Operación vertical y horizontal	
0	100 %		
4,000	99 %		
8,000	98 %		
12,000	95 %		
16,000	90 %		
20,000	80 %		
24,000	67 %		

* Datos de la depreciación del flujo luminoso cuando se utilizan balastos con factor de cresta de la corriente 1.4 - 1.5 (típico de los balastos en atraso). La operación con balastos de más alto factor de cresta de la corriente 2.0 (típico de los balastos de potencia cte) puede causar una mayor depreciación del flujo luminoso.

VIDA NOMINAL VS. HORAS/ENCENDIDO	
Horas /encendido	Vida nominal estimada
Cont.	24,000
10	24,000
5	18,000
2.5	13,500
1.2	10,000

Figura 2.5 Curvas características de la lámpara de mercurio de color corregido de 175 W.

LAMPARA DE MERCURIO DE COLOR CORREGIDO DE 250 W

	DATOS DE FUNCIONAMIENTO Lam.Vert. Lam.Horiz a 10 horas por encendido		
	Flujo luminoso inicial aproximado.....	12,100	11,500
	Vida promedio de régimen.....	24,000	24,000
	Flujo medio a 16000 hrs	10,400	9,400
	Flujo medio a 24000 hrs	9,800	8,600
	Depreciación del flujo luminoso al 70% de su vida media.....	8,950	7,700
	Tiempo de calentamiento	5-7 minutos	
	Tiempo de re-encendido	3-6 minutos	
	Temperatura del color	3,900°K	
	Índice del rendimiento en color CIE aprox.....	50	
	Coordenadas de cromaticidad CIE.....	x=0.388 y=0.382	

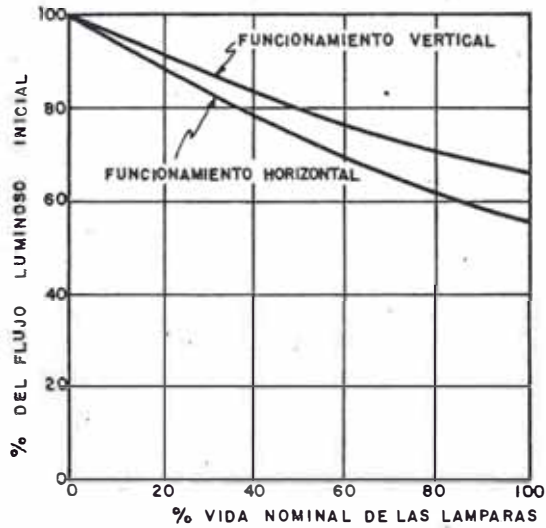
DESCRIPCION FISICA		
Designación de la base (rosca gigante).....	E-39	
Designación de la ampolla.....	E-28	
Material del tubo de arco.....	Cuarzo	
Longitud total máxima.....	210 mm	
Longitud al centro de luz.....	127 mm	
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°C	
Máxima temperatura en la base.....	210°C	
Excentricidad máxima:		
De la base a la ampolla.....	4°	
Del tubo del arco al eje de la lámpara	3°	

CARACTERISTICAS ELECTRICAS		
Potencia nominal de la lámpara.....	250 W	250 W
Tensión nominal de la lámpara.....	130 V	129 V
Intensidad nominal:		
En el arranque.....	3.1 Amp.	3.1 Amp.
En operación.....	2.1 Amp.	2.15 Amp.
Máximo factor de cresta de la corriente.....	2.0	2.0
Tensión mínima del balasto (a circuito abierto para una lámpara):		
Temperatura ambiente	RMS	PICO
+ 10.0°C	190	270
- 17.7°C	210	297
- 28.8°C	225	318

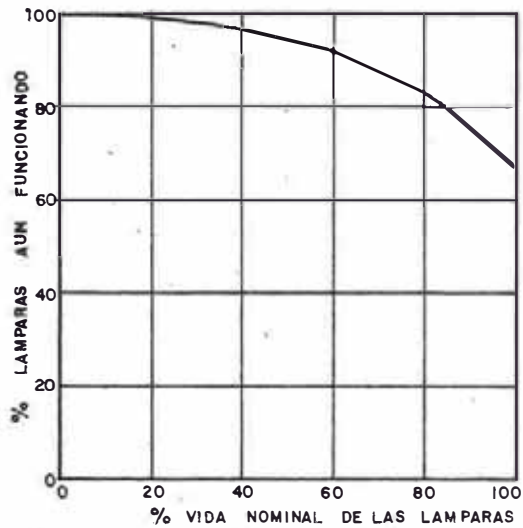
NOTA: El flujo luminoso se ha establecido utilizando balastos con factor de cresta de la corriente 1.4-1.5 (típico de reactores no estabilizados o balastos en atraso). La operación para balastos con más alto factor de cresta de corriente (típico del tipo regulado) puede resultar en más pobre emisión del flujo luminoso.

LAMPARA DE MERCURIO DE COLOR CORREGIDO DE 250 W

DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO



SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS



DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO (VER NOTA *)		DATOS NUMERICOS	
POSICION DE FUNCIONAMIENTO	VERTICAL	HORIZONTAL	
Horas en servicio			
0	12,100 (100%)	11,500 (100%)	
2,000	11,500 (95%)	10,700 (93%)	
4,000	11,100 (92%)	10,200 (89%)	
8,000	10,400 (86%)	9,400 (82%)	
12,000	9,800 (81%)	8,600 (75%)	
16,000	9,100 (75%)	7,800 (68%)	
20,000	8,500 (70%)	7,100 (62%)	
24,000	7,900 (65%)	6,300 (55%)	


SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS		DATOS NUMERICOS	
HORAS EN SERVICIO	% Lámparas aún funcionando a 10 horas/encendido		
	Operación vertical y horizontal		
0	100 %		
4,000	99 %		
8,000	98 %		
12,000	95 %		
16,000	90 %		
20,000	80 %		
24,000	67 %		

* Datos de la depreciación del flujo luminoso cuando se utilizan balastos con factor de cresta de la corriente 1.4 - 1.5 (típico de los balastos no estabilizados o en atraso). La operación con balastos de más alto factor de cresta de la corriente (típico de los balastos de potencia cte) puede causar una mayor depreciación del flujo luminoso.

VIDA NOMINAL VS. HORAS/ENCENDIDO	
Horas/encendido	Vida nominal estimado
Cont.	24,000
10	24,000
5	18,000
2.5	13,500
1.2	10,000

Figura 2.6 Curvas características de la lámpara de mercurio de color corregido de 250 W.

LAMPARA DE MERCURIO DE COLOR CORREGIDO DE 400 W

	DATOS DE FUNCIONAMIENTO Lam.Vert. Lam.Horiz a 10 hrs por encendido				
	Flujo luminoso inicial aproximado.....	22,500		21,500	
	Vida promedio de régi- men.....	24,000		24,000	
	Flujo emitido: Para un factor de cres- ta.....	1.5	2.0	1.5	2.0
	Flujo medio a 16000 hrs	19000	16200	17200	14400
	Flujo medio a 24000 hrs	17500	12800	15700	11200
	Depreciación del flujo luminoso al 70% de su vida media.....	16000	10100	13750	7700
	Tiempo de calentamiento				5-7 minutos
	Tiempo de re-encendido				3-6 minutos
	Temperatura del color				3,900°K
	Índice del rendimiento en color CIE aprox.....				50
	Coordenadas de cromati- cidad CIE.....				x=0.388 y=0.384

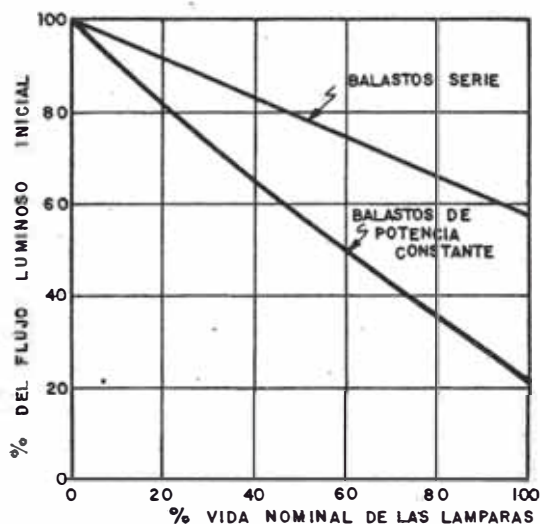
DESCRIPCION FISICA	
Designación de la base.....	E-39
Designación de la ampolla.....	E-37
Material del tubo de arco.....	Cuarzo
Longitud total máxima.....	287.3 mm
Longitud al centro de luz.....	177.8 mm
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°K
Máxima temperatura en la base.....	210°K
Excentricidad máxima:	
De la base a la ampolla.....	4°
Del tubo del arco al eje de la lámpara..	3°

CARACTERISTICAS ELECTRICAS		
Potencia nominal de la lámpara.....	400 W	
Tensión nominal de la lámpara.....	135 V	130 V
Intensidad nominal:		
En el arranque.....	5 Amp.	5 Amp.
En operación.....	3.2 Amp.	3.4 Amp.
Máximo factor de cresta de la corriente.....	2.0	2.0
Tensión mínima del balasto a circuito abierto (para una lámpara):		
<u>Temperatura ambiente</u>	<u>RMS</u>	<u>Pico</u>
+ 10.0°K	190	270
- 17.7°K	210	297
- 28.8°K	225	318

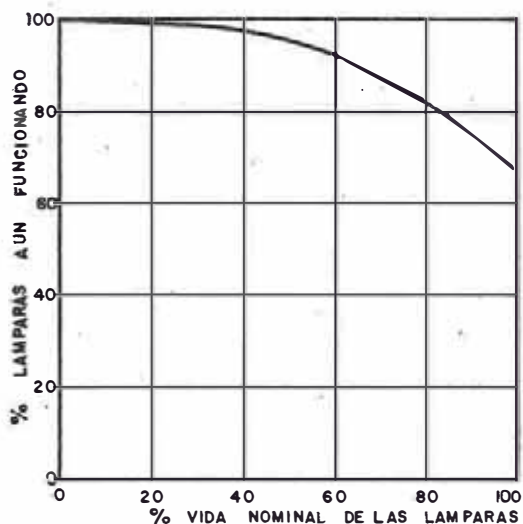
NOTA: El flujo luminoso se ha establecido utilizando balastos con factor de cresta de la corriente 1.4-1.5 (típico de reactores no estabilizados o balastos en atraso); y factor de corriente de cresta 2.0 (típico de balastos del tipo regulado).

LAMPARA DE MERCURIO DE COLOR CORREGIDO DE 400W

DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO



SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS



DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO (VER NOTA *)		DATOS NUMERICOS		
Tipos de balastos	Serie, de atraso y auto-regulado		De potencia constante	
Factor de corriente de cresta	1.4 - 1.5		2.0	
POSICION DE FUNCIONAMIENTO	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
Horas en servicio				
0	22,500	21,500	22,500	21,500
4,000	20,500	19,000	19,400	17,800
8,000	19,100	17,200	16,200	14,400
12,000	17,500	15,700	12,800	11,200
16,000	16,200	14,000	9,900	8,200
20,000	15,100	12,500	7,900	6,000
24,000	13,500	11,000	5,200	3,000

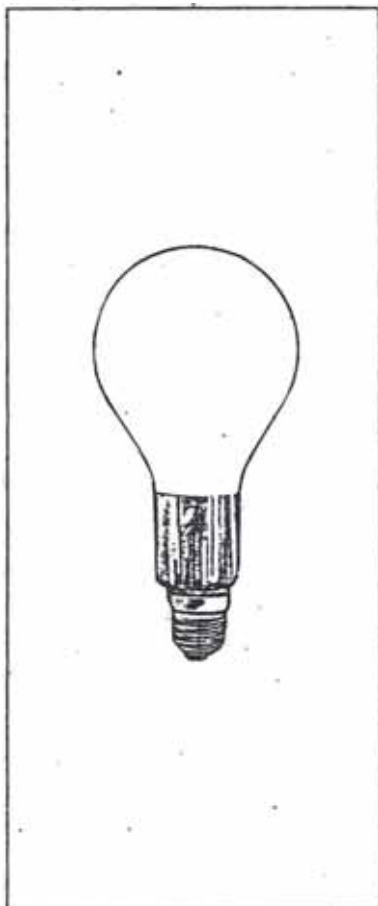
SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS		DATOS NUMERICOS
HORAS EN SERVICIO	% Lámparas aún funcionando a 10 horas/encendido	
	Operación vertical y horizontal	
0	100 %	
4,000	99 %	
8,000	98 %	
12,000	95 %	
16,000	90 %	
20,000	80 %	
24,000	67 %	

* Los datos de la depreciación del flujo luminoso se ha establecido utilizando balastos con factor de cresta de la corriente 1.4 - 1.5 (típico de los balastos serie o balastos en atraso); y factor de cresta de la corriente 2.0 (típico de los balastos de potencia constante).

VIDA NOMINAL VS. HORAS/ENCENDIDO	
Horas/encendido	Vida nominal estimado
Cont.	24,000
10	24,000
5	18,000
2.5	13,500
1.2	10,000

Figura 2.7 Curvas características de la lámpara de mercurio de color corregido de 400 W.

LAMPARA DE LUZ MIXTA DE 160 W



DATOS DE FUNCIONAMIENTO A 10 HORAS POR ENCENDIDO	
Flujo luminoso inicial aproximado.....	3,000 lm
Vida promedio de régimen.....	6,000 hrs
Partida.....	instantánea
Tiempo de calentamiento	4 minutos
Tiempo de re-encendido	3-4 minutos
Temperatura del color	3,900°K

Los datos de funcionamiento de la lámpara son valores aproximados basados en condiciones normales de operación.

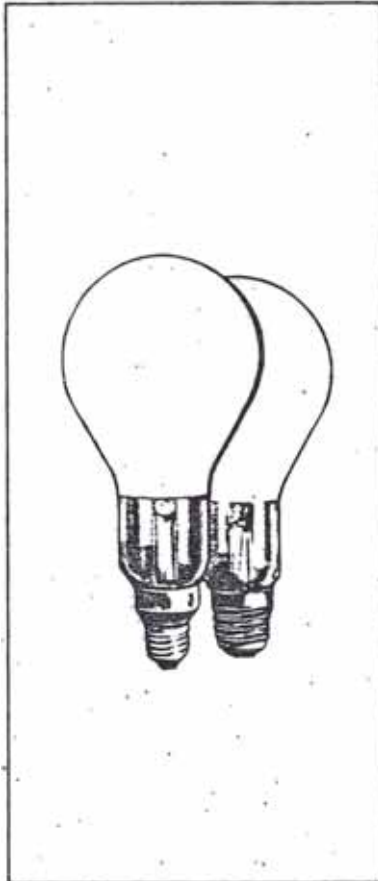
Posición de operación: La base bien teniendo su posición hacia arriba o hacia abajo, debe estar dentro de un ángulo $\pm 30^\circ$ con respecto a la vertical.

Esta lámpara no necesita equipo eléctrico auxiliar externo para su operación debido a que dentro de la ampolla se encuentra el tubo de descarga en serie con un filamento de tungsteno que actúa como balasto para establecer el correcto funcionamiento de la lámpara.

DESCRIPCION FISICA	
Designación de la base.....	E-27
Designación de la ampolla.....	PS-30
Diámetro de la ampolla.....	95.6 mm
Longitud total máxima.....	188 mm
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°C
Máxima temperatura en la base.....	190°C

CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Potencia nominal de la lámpara.....	160 W
Tensión nominal de la lámpara.....	225 V
Intensidad nominal de la corriente.....	0.76 Amp.
Intensidad nominal para el arranque.....	0.96 Amp.
Tensión mínima para el encendido.....	180 V
Frecuencia de la red.....	50-60 Hz
Factor de potencia.....	0.96

LAMPARA DE LUZ MIXTA DE 250 W



**DATOS DE FUNCIONAMIENTO
A 10 HORAS POR ENCENDIDO**

*Flujo luminoso inicial aproximado.....	5,500 lm
Vida promedio de régimen.....	6,000 hrs
Partida.....	Instantánea
Tiempo de calentamiento	4 minutos
Tiempo de re-encendido	3-4 minutos
Temperatura del color	3,900°K

* Este dato es medido después de las primeras 100 horas de funcionamiento para una lámpara en posición vertical.

Los datos de funcionamiento de la lámpara son valores aproximados basados en condiciones normales de operación.

Posición de operación: cualquiera.

Esta lámpara no necesita equipo eléctrico auxiliar externo para su operación debido a que dentro de la ampolla se encuentra el tubo de descarga en serie con un filamento de tungsteno que actúa como balasto para establecer el correcto funcionamiento de la lámpara.

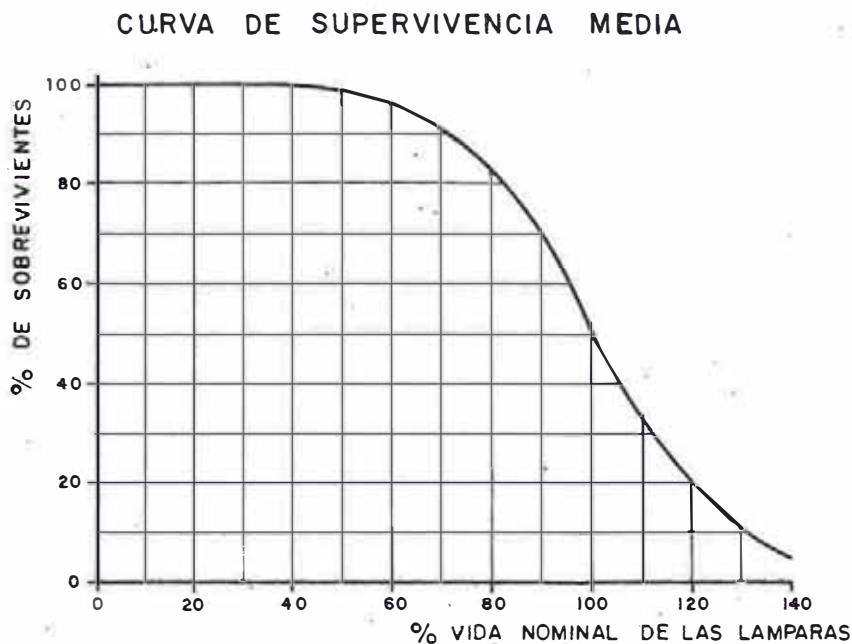
DESCRIPCION FISICA

Designación de la base.....	E-27	E-40
Designación de la ampolla.....	PS-35	
Diámetro máximo de la ampolla.....	11.4 mm	
Longitud total máxima.....	241 mm	235 mm
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°C	
Máxima temperatura en la base.....	190°C	

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Potencia nominal de la lámpara.....	250 W
Tensión nominal de la lámpara.....	225 V
Corriente nominal de la lámpara.....	1.2 A
Intensidad nominal para el arranque.....	1.4 Amp.
Tensión mínima para el encendido.....	180 V
Frecuencia de la red.....	50-60 Hz.
Factor de potencia.....	0.97

LAMPARAS DE LUZ MIXTA DE 160 W y 250W



CURVAS DE LAS CARACTERISTICAS MEDIAS
 % W_L , ϕ_L , I_L

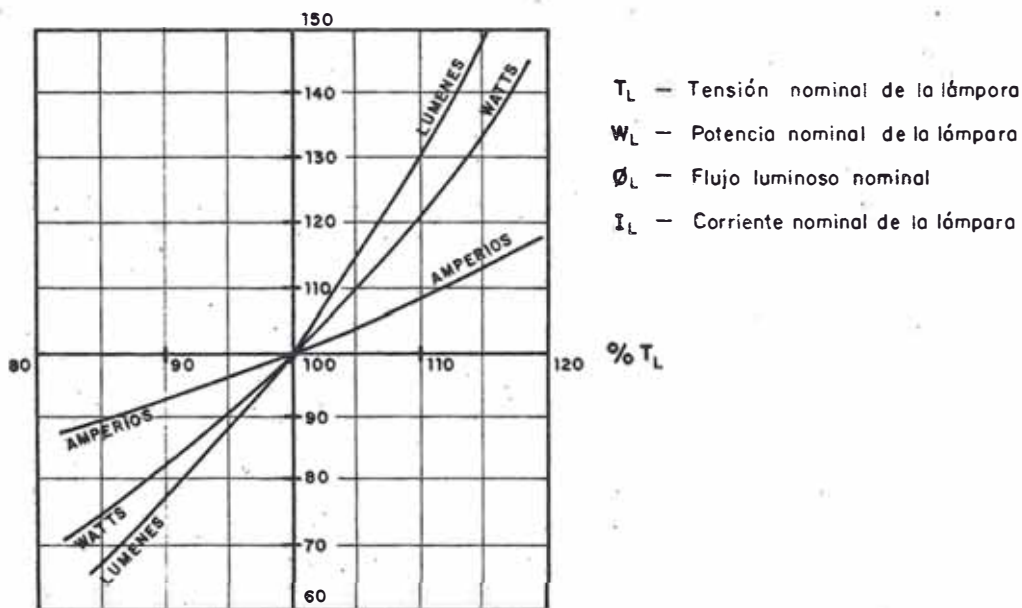


Figura 2.8 Curvas características de las lámparas de luz mixta de 160 W y 250 W.

LAMPARA DE SODIO A ALTA PRESION DE 70 W

	DATOS DE FUNCIONAMIENTO	
	CLARA	PAVONADA
* Flujo luminoso inicial (promedio) a la potencia nominal.....	5,800lm	6,000lm
Vida promedio de régimen a 10 horas de operación por encendido....	16,000 hrs	
**Porcentaje del flujo medio a 10 horas por encendido.....	90 % est.	
Tiempo de calentamiento	3-4 minutos	
Tiempo de re-encendido	5 minutos	
Cromaticidad CIE.....	x=0.535 y=0.404	
Temperatura del color...	1,900 °K	

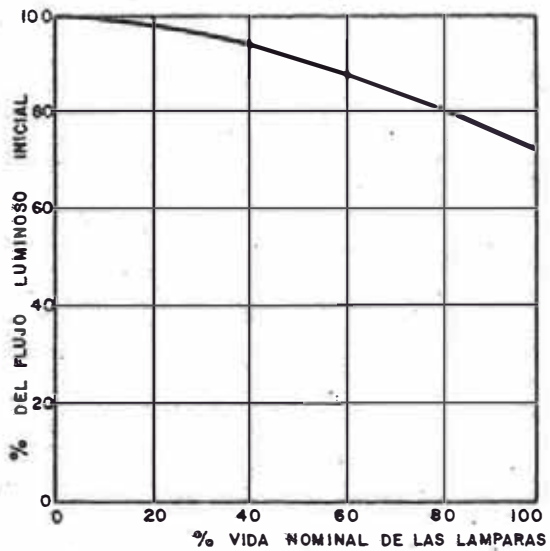
* Los datos del flujo luminoso se refieren a la potencia nominal de la lámpara. La potencia puede variar dependiendo de la curva característica del balasto.
 **Aplicable para balastos para operar lámparas en su régimen normal de operación.

DESCRIPCION FISICA	
Designación de la base.....	Enfaldillada E-27
Designación de la ampolla.....	E-23½
Diámetro de la ampolla.....	75 mm
Longitud total máxima.....	185 mm
Longitud al centro de luz.....	118 mm
Longitud del arco.....	34 mm
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°C
Máxima temperatura en la base.....	150°C
Excentricidad máxima:	
De la base a la ampolla.....	3°
Del tubo del arco al eje de la lámpara....	4 mm

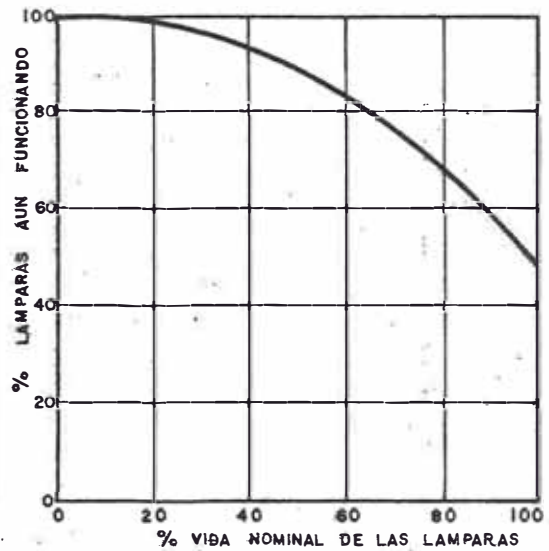
CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Potencia nominal de la lámpara.....	70 W
Tensión nominal de la lámpara.....	90 V
Intensidad nominal de la corriente.....	0.98 Amp.
Máximo factor de cresta de la corriente.....	1.8
Intensidad máxima de arranque.....	1.5 Amp.
Tensión mínima de diseño del balasto (a circuito abierto).....	195 V **
Requerimientos del pulso de arranque.....	No se requiere ignit.ext.
Posición de operación.....	Cualquiera

LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESION DE 70W

DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO¹



SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS



HORAS	DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO a 10 horas/encendido		DATOS NUMERICOS	
	CLARA		DIFUSA	
	%	LUMENES	%	LUMENES
0	100%	6,000	100	5,800
4,000	96	5,750	96	5,550
8,000	90	5,500	90	5,200
12,000	82	4,900	82	4,750
16,000	73	4,400	73	4,250

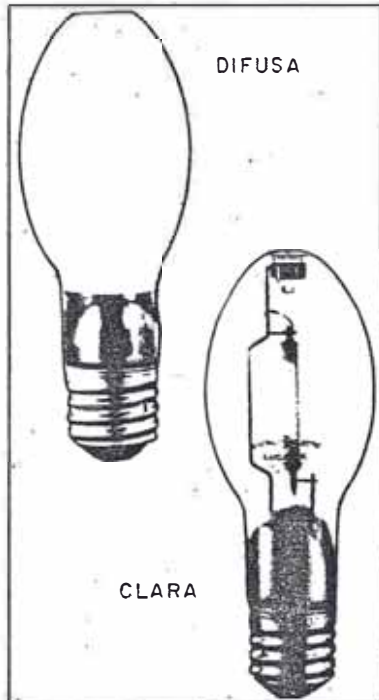
HORAS EN SERVICIO	SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS		DATOS NUMERICOS
	% Lámparas aún funcionando a 10 horas/encendido		
0	100 %		
4,000	97		
8,000	89		
12,000	74		
16,000	50		

¹ Estas curvas son para lámparas que operan a potencia nominal constante. Con la mayoría de los balastos comerciales, la potencia de la lámpara se incrementa inicialmente alcanzando valores máximos algunas veces durante su vida luego se van reduciendo lentamente. Debido a este cambio en su demanda, los sistemas generalmente producen más luz durante las primeras horas y menos luz durante las últimas horas de acuerdo a los datos publicados para las lámparas. Los lúmenes medios de las lámparas con balastos comerciales serán muy cercanos a los valores nominales publicados.

VIDA NOMINAL VS. HORAS/ENCENDIDO	
Horas/encendido	Vida nominal estimada
Cont.	16,000
10	16,000
5	12,000
2.5	9,000
1.2	6,700

Figura 2.9 Curvas características de la lámpara de sodio de alta presión de 70 W.

LAMPARA DE SODIO A ALTA PRESION DE 150 W



DATOS DE FUNCIONAMIENTO	CLARA	PAVONADA
* Flujo luminoso inicial (promedio) a la potencia nominal.....	15,000	16,000lm
*Vida promedio de régimen a 10 horas de operación por encendido.....	24,000	
Porcentaje del flujo medio a 10 horas por encendido.....	90 % est.	
Tiempo de calentamiento	3-4 minutos	
Tiempo de re-encendido	1 minuto	
Cromaticidad CIE.....	x=0.522 y=0.423	
Temperatura del color...	2,100°K	

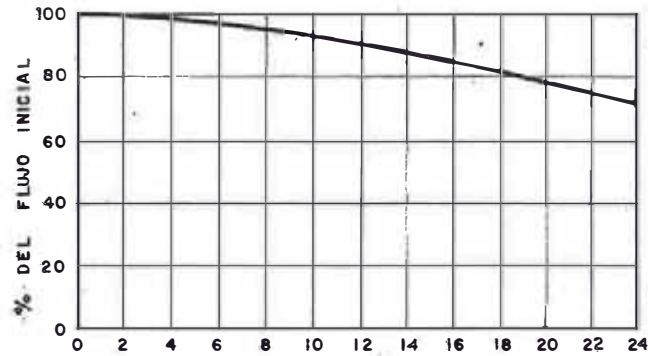
* Los datos del flujo luminoso se refieren a la potencia nominal de la lámpara. La potencia puede variar dependiendo de la curva característica del balasto.
 **Aplicable para balastos para operar lámparas en su régimen normal de trabajo.

DESCRIPCION FISICA	
Designación de la base.....	E-40
Designación de la ampolla.....	E-23½
Diámetro de la ampolla.....	58 mm
Longitud total máxima.....	197 mm
Longitud al centro de luz.....	127 mm
Longitud del arco.....	41 mm
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°C
Máxima temperatura en la base.....	210°C
Excentricidad:	
De la base a la ampolla.....	3°
Del tubo del arco al eje de la lámpara....	4 mm

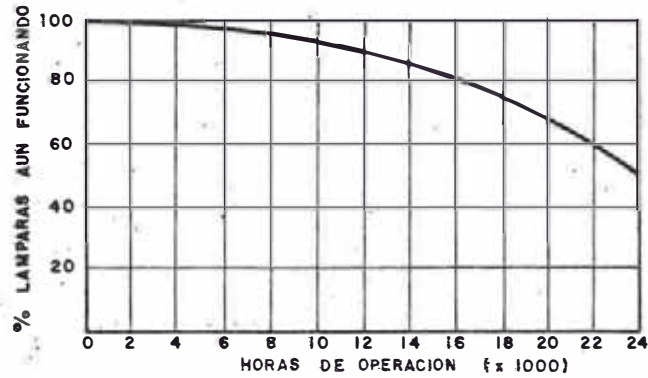
CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Potencia nominal de la lámpara.....	150 W
Tensión nominal de la lámpara.....	55 V
Intensidad nominal de la corriente.....	3.3 Amp.
Máximo factor de cresta de la corriente.....	1.8
Intensidad máxima de arranque.....	5.0 Amp
Tensión mínima de diseño del balasto (a circuito abierto).....	**110 V
Requerimientos del pulso de arranque:	
Tensión de pico mínima.....	2,500 V
Tensión de pico máxima.....	4,000 V
Amplitud del pulso 1 micro-segundo (mín.) a....	2,250 V
Repetición del pulso (mínima).....	50 por seg.
Intensidad de pico del pulso (mínima).....	0.2 Amp.
Posición de operación.....	Cualquiera

LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESION DE 150W

DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO

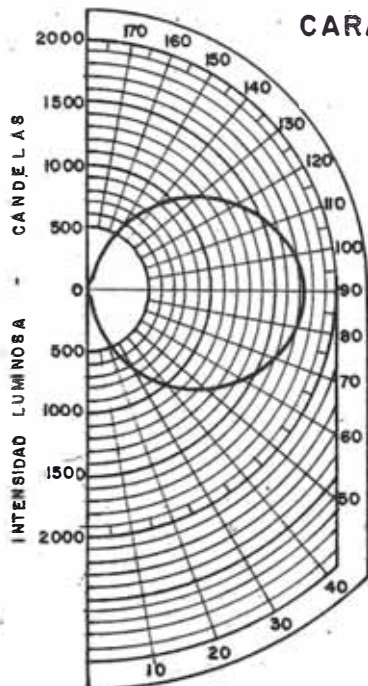


SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS



CARACTERISTICAS FOTOMETRICAS

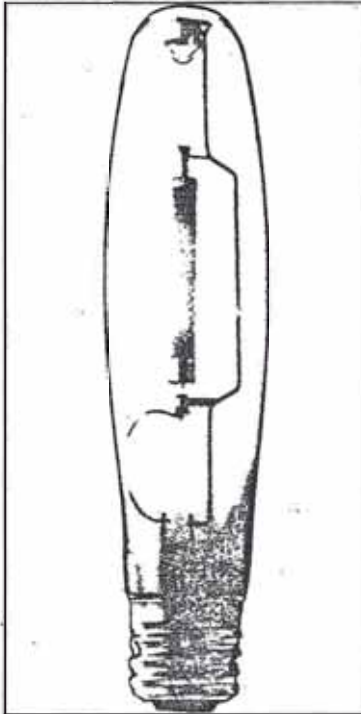
DATOS FOTOMETRICOS PARA UNA LAMPARA CLARA



ZONA	LUMENES	% TOTAL
170 - 180	3.1	.1
160 - 170	33.8	.2
150 - 160	221.0	1.3
140 - 150	490.0	3.1
130 - 140	823.0	5.1
120 - 130	1149.0	7.2
110 - 120	1355.0	8.6
100 - 110	1723.0	10.8
90 - 100	1907.0	11.9
80 - 90	1907.0	11.9
70 - 80	1788.0	11.2
60 - 70	1561.0	9.7
50 - 60	1236.0	7.7
40 - 50	881.0	5.5
30 - 40	545.0	3.4
20 - 30	291.0	1.8
10 - 20	76.8	.45
0 - 10	9.5	.05
0 - 90	8295.1	51.8
90 - 180	7704.9	48.2
0 - 180	16000.0	100.0

Figura 2.10 Curvas características de la lámpara de sodio de alta presión de 150 W.

LAMPARA DE SODIO A ALTA PRESION DE 250 W



DATOS DE FUNCIONAMIENTO	CLARA
* Flujo luminoso inicial (promedio) a la potencia nominal - Horiz...	22,500
- Vert....	22,500
Vida promedio de régimen a 10 horas de operación por encendido.....	10,000 hrs.
**Porcentaje del flujo medio a 10 horas por encendido.....	20,700 (92%)
Tiempo de calentamiento	3-4 minutos
Tiempo de re-encendido	1 minuto
Cromaticidad CIE.....	x=0.505 y=0.410
Temperatura del color...	2,200°K
Indice del rend.en color	65

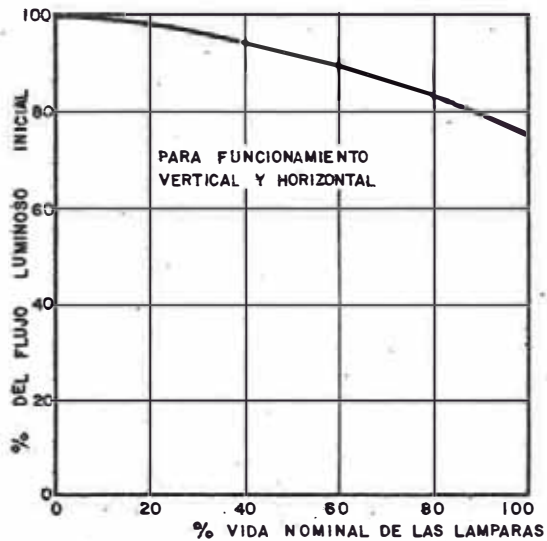
* Medido para la potencia nominal de la lámpara y después de 100 horas de encendida. La potencia puede variar dependiendo de la curva característica del balasto.

DESCRIPCION FISICA	
Designación de la base.....	E-40
Designación de la ampolla.....	E-18
Diámetro de la ampolla.....	57 mm
Longitud total máxima.....	248 mm
Longitud al centro de luz.....	146 mm
Longitud del arco.....	43 mm
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°C
Máxima temperatura en la base.....	210°C
Excentricidad máxima:	
De la base a la ampolla.....	4°
Del tubo del arco al eje de la lámpara...	5 mm

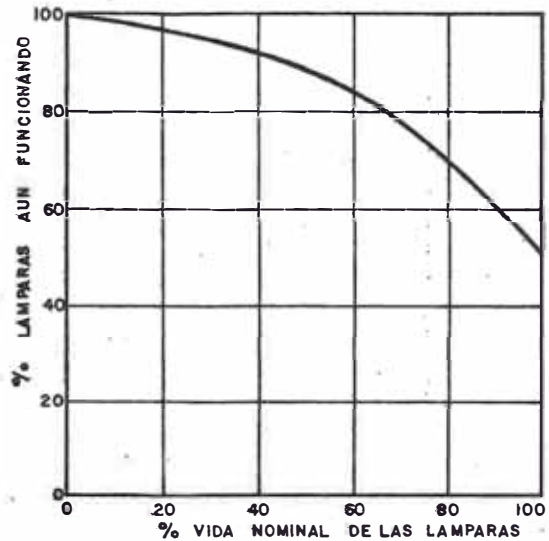
CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Potencia nominal de la lámpara.....	250 W
Tensión nominal de la lámpara.....	100 V
Intensidad nominal de la corriente.....	3.0 Amp.
Máximo factor de cresta de la corriente.....	1.8
Intensidad máxima de arranque.....	4.5 Amp.
Tensión mínima de diseño del balasto (circ.ab)	195 V
Requerimientos del pulso de arranque:	
Tensión de pico mínima.....	2,200 V
Tensión de pico máxima.....	4,000 V
Amplitud del pulso 1 micro-segundo (mín)a	2,250 V
Repetición del pulso (mínima).....	50 por seg.
Intensidad de pico del pulso (mínima)...	0.2 Amp.
Posición de operación.....	Cualquiera

LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESION DE 250W

DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO¹



SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS



DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO a 10 horas / encendido		DATOS NUMERICOS
HORAS	%	LUMENES
100	100 %	22,500
2,000	98	22,000
4,000	94	21,100
6,000	92	20,700
8,000	89	20,000
10,000	85	18,700
10,000	75	16,900

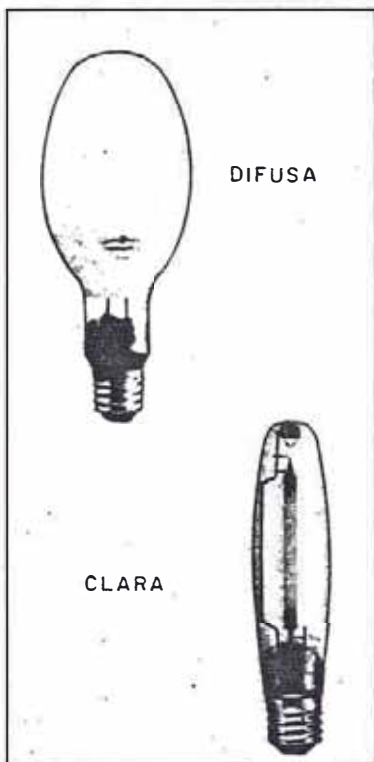
SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS		DATOS NUMERICOS
HORAS EN SERVICIO	% Lámparas aún funcionando a 10 horas/encendido	
	Operación vertical y horizontal	
0	100 %	
2,000	98 %	
4,000	93 %	
6,000	84 %	
8,000	71 %	
10,000	50 %	

¹ Estas curvas son para lámparas que operan a potencia nominal constante. Con la mayoría de los balastos comerciales, la potencia de la lámpara se incrementa inicialmente alcanzando valores máximos algunas veces durante su vida luego se van reduciendo lentamente. Debido a este cambio en su demanda, los sistemas generalmente producen más luz durante las primeras horas y menos luz durante las últimas horas de acuerdo a los datos publicado para las lámparas. Los lúmenes medios de las lámparas con balastos comerciales serán muy cercanos a los valores nominales publicados.

VIDA NOMINAL VS. HORAS/ENCENDIDO	
Horas /encendido	Vida nominal estimada
Cont.	10,000
10	10,000
5	7,500
2.5	5,600
1.2	4,200

Figura 2.11 Curvas características de la lámpara de sodio de alta presión de 250 W.

LAMPARA DE SODIO A ALTA PRESIÓN DE 400 W



DATOS DE FUNCIONAMIENTO	CLARA	PAVONADA
*Flujo luminoso inicial (promedio) a la potencia nominal:		
Horizontal.....	47,500	50,000
Vertical.....	47,500	50,000
Vida promedio de régimen a 10 horas de operación por encendido...	24,000	
*Porcentaje del flujo medio a 10 horas por encendido.....	90 % est.	
Tiempo de calentamiento	3-4 minutos	
Tiempo de re-encendido.....	1 minuto	
Cromaticidad CIE.....	x=0.512 y=0.42	
Temperatura del color..	2,100°K	

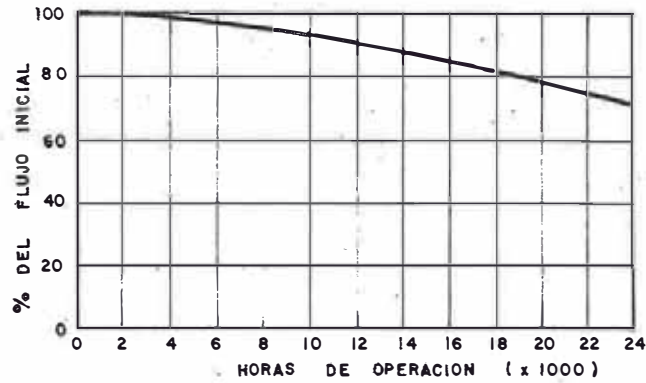
* Los datos del flujo luminoso se refieren a la potencia nominal de la lámpara. La potencia puede variar dependiendo de la curva característica del balasto.

DESCRIPCION FISICA		
Designación de la base.....	E-40	
Designación de la ampolla.....	E-37	E-18
Diámetro de la ampolla.....	117mm	57mm
Longitud total máxima.....	287mm	247mm
Longitud al centro de luz.....	177mm	146mm
Longitud del arco.....	86mm	
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°C	
Máxima temperatura en la base.....	210°C	
Excentricidad máxima:		
De la base a la ampolla.....	4°	
Del tubo del arco al eje de la lámpara....	5mm	

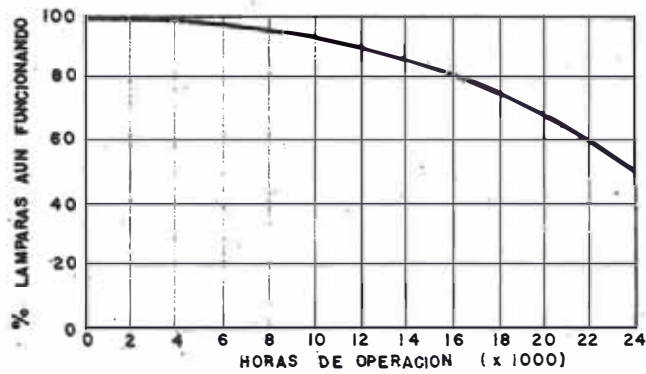
CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Potencia nominal de la lámpara.....	400W
Tensión nominal de la lámpara.....	100V
Intensidad nominal de la corriente.....	4.7Amp.
Máximo factor de cresta de la corriente.....	1.8
Intensidad máxima de arranque.....	7Amp.
Tensión mínima de diseño del balasto (a circuito abierto).....	195V
Requerimientos del pulso de arranque:	
Tensión de pico mínima.....	2,500V
Tensión de pico máxima.....	4,000V
Amplitud del pulso 1 microsegundo (mínimo)a	2,250V
Repetición del pulso (mínima).....	50 por seg.
Intensidad de pico del pulso (mínima).....	0.2Amp.

LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESION DE 400W

DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO

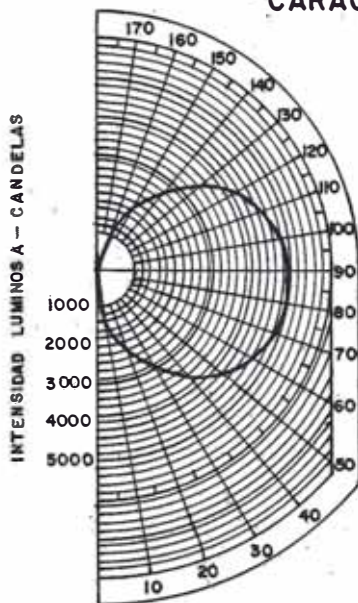


SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS



CARACTERISTICAS FOTOMETRICAS

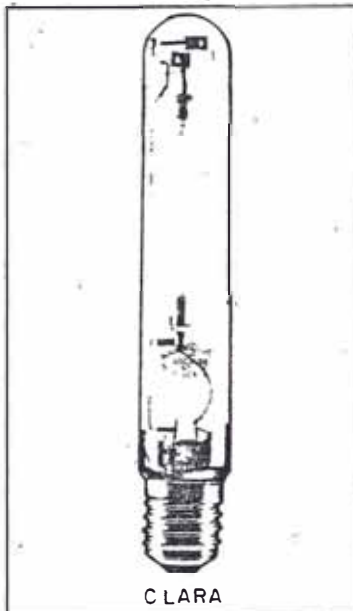
DATOS FOTOMETRICOS PARA UNA LAMPARA CLARA



ZONA	LUMENES	% TOTAL
170 - 180	5	.01
160 - 170	164	.32
150 - 160	722	1.5
140 - 150	1580	3.2
130 - 140	2590	5.2
120 - 130	3635	7.5
110 - 120	4625	9.3
100 - 110	5415	10.9
90 - 100	5740	11.6
80 - 90	5740	11.6
70 - 80	5495	10.5
60 - 70	4725	9.5
50 - 60	3845	7.6
40 - 50	2745	5.5
30 - 40	1755	3.5
20 - 30	894	1.8
10 - 20	221	.44
0 - 10	16.7	.03
0 - 180	50,000	100.00

Figura 2.12 Curvas características de la lámpara de sodio de alta presión de 400 W.

LAMPARA DE SODIO A ALTA PRESION DE 400 W



DATOS DE FUNCIONAMIENTO

* Flujo luminoso inicial (promedio) a la potencia nominal.....	50,000 lm
Vida promedio de régimen a 10 horas de operación por encendido.....	24,000
* Porcentaje del flujo medio a 10 horas por encendido.....	90 % est.
Tiempo de calentamiento....	3-4 minutos
Tiempo de re-encendido.....	1 minuto
Cromaticidad CIE.....	x=0.512 y=0.420
Temperatura del color.....	2,100°K

* Los datos del flujo luminoso se refieren a la potencia nominal de la lámpara. La potencia puede variar dependiendo de la curva característica del balasto.

DESCRIPCION FISICA

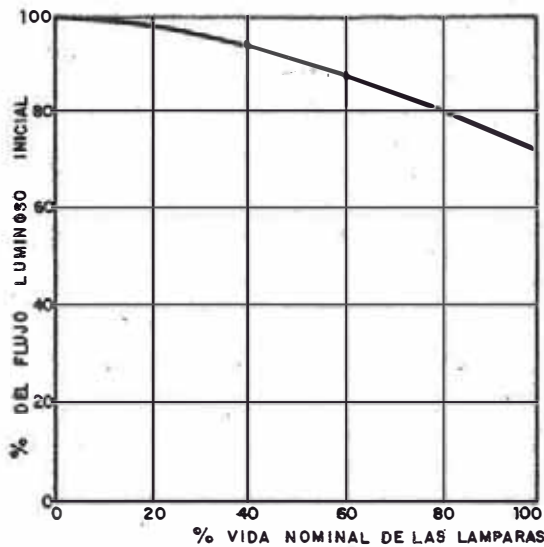
Designación de la base.....	E-40
Designación de la ampolla.....	T14½
Acabado de la ampolla.....	Clara
Diámetro de la ampolla.....	46mm
Longitud total máxima.....	283mm
Longitud al centro de luz.....	180mm
Longitud del arco.....	88mm
Máxima temperatura en la ampolla.....	400°C
Máxima temperatura en la base.....	210°C
Excentricidad máxima:	
De la base a la ampolla.....	4°
Del tubo del arco al eje de la lámpara.....	5mm

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

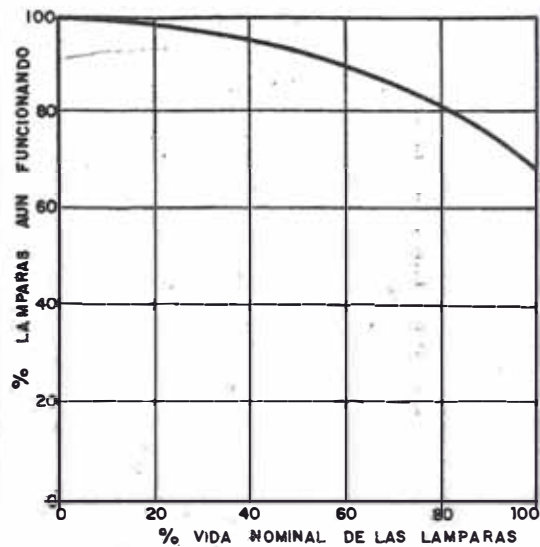
Potencia nominal de la lámpara.....	400 W
Tensión nominal de la lámpara.....	100 V
Intensidad nominal de la corriente.....	4.7Amp.
Máximo factor de cresta de la corriente.....	1.8
Intensidad máxima de arranque.....	7Amp.
Tensión mínima de diseño del balasto (a circ.ab.)	195V
Requerimientos del pulso de arranque:	
Tensión de pico mínima.....	2,500V
Tensión de pico máxima.....	4,000V
Amplitud del pulso 1 micro-segundo (mín.) a..	2,250V
Repetición del pulso (mínima).....	50 por seg.
Intensidad de pico del pulso (mínima).....	0.2Amp.
Posición de operación.....	Cualquiera

LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESION DE 400W

DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO¹



SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS



DEPRECIACION DEL FLUJO LUMINOSO a 10 horas/encendido		DATOS NUMERICOS	
HORAS	CLARA	DIFUSA	
	%	%	
100	100	100	100
4,000	98	98	98
8,000	95	95	95
12,000	90	90	90
16,000	84	84	84
20,000	79	79	79
24,000	73	73	73

SUPERVIVENCIA DE LAS LAMPARAS		DATOS NUMERICOS	
HORAS EN SERVICIO	% Lámparas aun funcionando a 10 horas/encendido		Operación vertical y horizontal
	%		
0	100	100	100 %
4,000	99	99	99 %
8,000	98	98	98 %
12,000	95	95	95 %
16,000	90	90	90 %
20,000	80	80	80 %
24,000	67	67	67 %

¹ Estas curvas son para lámparas que operan a potencia nominal constante. Con la mayoría de los balastos comerciales, la potencia de la lámpara se incrementa inicialmente alcanzando valores máximos algunas veces durante su vida luego se van reduciendo lentamente. Debido a este cambio en su demanda, los sistemas generalmente producen más luz durante las primeras horas y menos luz durante las últimas horas de acuerdo a los datos publicado para las lámparas. Los números medios de las lámparas con balastos comerciales serán muy cercanos a los valores nominales publicados.

VIDA NOMINAL VS. HORAS/ENCENDIDO	
Horas /encendido	Vida nominal estimado
Cont.	24,000
10	24,000
5	18,000
2.5	13,500
1.2	10,000

Figura 2.13 Curvas características de la lámpara de sodio de alta presión de 400 W.

2.1.4 Balastos

Las lámparas de descarga requieren de un elemento que limite la corriente de arco, pues de otro modo ésta crecería hasta destruirlas. Este elemento es el balasto.

El balasto, sin embargo, tiene otras funciones que cumplir que se refieren principalmente a proveer la tensión tanto de encendido como de operación de la lámpara, además de limitar, en algunos casos, el efecto que las variaciones de tensión en la línea pueda producir en la potencia demandada por la lámpara y, por lo tanto, en la emisión de su flujo luminoso y su vida útil de operación.

Las características de las lámparas de mercurio, siendo diferentes de las de sodio de alta presión, determinan condiciones diferentes en la operación de los balastos, ya que en las de sodio la tensión del arco aumenta con el tiempo y esto debe ser cubierto por el balasto dentro de límites precisos que señala el fabricante de la lámpara y que dan origen al "trapezoide", que enmarca los límites aceptables de potencia y de tensión del arco que deben ser satisfechos para que la lámpara tenga el comportamiento esperado y que el fabricante garantiza.

La lámpara de sodio de alta presión para su puesta en operación requiere de un pulso de tensión comprendido entre los 2,500 V y 4,000 V que debe ser provisto por un elemento externo complementario del balasto, pero compatible con él, éste es el arrancador o ignitor.

En cualquier caso, el balasto puede ser tipo serie, en caso que la tensión de la red sea suficiente para la operación de la lámpara o tipo autotransformador en caso contrario. En su versión más simple, estos balastos son de bajo factor de potencia, pero éste puede mejorarse si se coloca un condensador en paralelo con la línea.

Cuando queremos proteger a la lámpara de las fluctuaciones de tensión que puedan presentarse en la red, usamos balastos regulados o de potencia constante. Estos son siempre de alto factor de potencia, pues el condensador va conectado en serie con la lámpara. En el balasto de potencia constante el primario y el secundario están aislados entre sí, lo que no ocurre en el tipo regulado.

Mayor información referente a los balastos se encuentra en el Apéndice A.

2.1.5 Arrancadores o ignitores

Los ignitores o arrancadores son elementos que sirven para proveer el pulso de tensión, comprendido entre 2,500 V y 4,000 V, para iniciar la descarga en las lámparas de sodio de alta presión. El ignitor tiene que ser compatible con el balasto.

2.2 Luminarias

Las luminarias deben:

- a) Distribuir el flujo luminoso emitido por la lámpara sobre la superficie de la vía a iluminar, de acuerdo a un patrón determinado.
- b) Controlar la dirección del flujo luminoso para evitar el deslumbramiento.
- c) Poseer características eléctricas y mecánicas convenientes para asegurar condiciones adecuadas de seguridad y resistencia.
- d) Proteger el compartimiento de los accesorios de las inclemencias atmosféricas (polvo, lluvia, etc); igualmente deberá asegurar una mayor protección al conjunto óptico mediante una junta hermética e incluso de un filtro de carbón activado, a fin de asegurar la permanencia de las propiedades ópticas del reflector a través del tiempo.

La luminaria y la lámpara con la que opera deberá formar un conjunto homogéneo y armónico. El tipo y las características de las lámparas adecuadas deben ser indicados por el fabricante de las luminarias.

La elección de una luminaria debe ser hecha de acuerdo a las condiciones contaminantes del ambiente donde será colocada, teniendo en cuenta que su aspecto debe contribuir al ornato del lugar.

La instalación y el servicio de mantenimiento de las luminarias debe ser simple y de preferencia ejecutado sin la ayuda de herramientas especiales. La ferretería será inoxidable y los empalmes del alambrado del equipo auxiliar de fácil conexión para comodidad de reemplazo o servicio.

Las luminarias para vías urbanas e interurbanas van colocadas generalmente en postes, algunas veces en paredes o suspendidas y deben distribuir su flujo luminoso lo más uniformemente posible a lo largo de la calzada; otra distribución interesante, que asegura esta distribución, es el montaje en catenaria, que a su vez facilita una mejor orientación visual.

2.2.1 Partes constitutivas de las luminarias empleadas en el Alumbrado de Vías Públicas

Una luminaria de buena calidad y cuyas características fotométricas permitan una adecuada distribución y control del flujo luminoso sobre la vía, consta generalmente de las siguientes partes:

2.2.1.1 Cuerpo

El cuerpo o carcasa puede ser de una pieza, en las luminarias abiertas, o estar compuesto de más de un elemento, como en las luminarias cerradas. Puede, en algunos casos, formar parte del sistema óptico. La tapa inferior, cuando la lleva, constituye el porta-protector o el porta-refractor.

Su construcción debe permitir el fácil reemplazo, asegurar la protección de las lámparas y del equipo auxiliar y tener a la vez una adecuada resistencia tanto a la corrosión como al impacto.

El portalámpara deberá asegurar permanentemente que la lámpara conserve su posición, que los contactos eléctricos sean eficientes bajo todas las circunstancias y especialmente cuando estén sujetos a vibraciones. Coloca a la lámpara en su posición correcta para la forma de distribución luminosa adoptada o es adaptado a los diferentes tamaños y/o características de las lámparas que la luminaria puede alojar. El sistema de ajuste debe incluir una indicación de la posición que corresponde a cada tipo de lámpara que puede ser utilizada. Después que el ajuste haya sido efectuado quedará rígidamente asegurado.

2.2.1.2 Sistema óptico

El sistema óptico sirve para modificar la distribución del flujo luminoso emitido por la lámpara. Esta modificación puede ser realizada solamente por el reflector o intervenir adicionalmente el refractor.

Reflectores

Estos elementos utilizan la reflexión especular. Son fabricados generalmente de aluminio abrillantado electrolíticamente y en algunos casos con espejos de vidrio. El vidrio reflector es obtenido por medio de un baño de plata o por

metalización en vacío. Los reflectores de aluminio deben ser de gran pureza, tratados electrolíticamente y anodizados; mecánicamente deben constituir una unidad indeformable que conserve su forma y cualidades fotométricas a través del tiempo. Con las actuales técnicas, el aluminio es cada vez más puro debido a la disminución de impurezas de cobre y hierro que alteran su constitución. Con un aluminio más puro se reduce la corrosión.

El sistema óptico de las luminarias para las lámparas de sodio de alta presión debe ser diseñado de manera tal de evitar que algunos de los rayos reflejados por el sistema óptico crucen el tubo de arco incrementando su temperatura. Esto afecta la amalgama de sodio y mercurio y resulta un cambio en las características de la lámpara. La figura 2.14 muestra la forma especial que tiene el reflector de la lámpara de sodio de alta presión; y la figura 2.15 muestra un reflector para una lámpara de mercurio de alta presión.

Las luminarias, que en mayor proporción se emplean en nuestro medio, utilizan al reflector como carcasa. Las partes constitutivas de una luminaria son varias, pero cuando el reflector hace las veces del cuerpo de la luminaria, hay que considerar adicionalmente el soporte de aluminio fundido que sirve como elemento de unión entre el reflector y el pastoral.

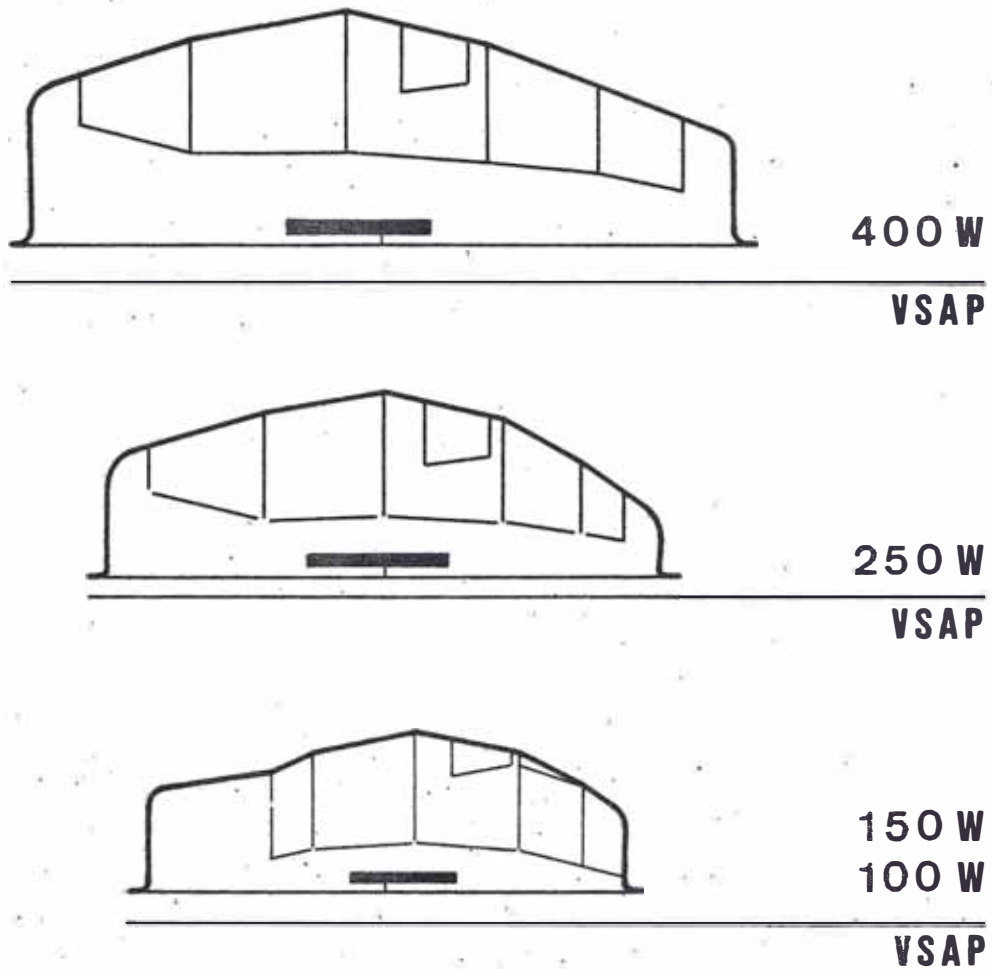


Figura 2.14 Los reflectores para las lámparas de sodio de alta presión tienen una sección quebrada, para evitar que el flujo energético sea re-dirigido al tubo de arco, afectando la amalgama de sodio y mercurio, lo que produce un cambio en las características de la lámpara.

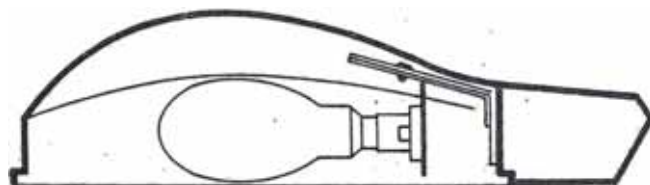


Figura 2.15 Forma del reflector para una lámpara de mercurio de alta presión.

Refractores

Estos elementos, que pueden ser de vidrio o de plástico, utilizan las leyes de la refracción de los cuerpos transparentes. Los de vidrio, utilizan generalmente vidrio prensado, moldeado o soplado; y los de plástico, materiales termoplásticos como el metacrilato de metilo o el policarbonato. Estos materiales deben ser suficientemente resistentes a los choques mecánicos y térmicos y sus cualidades no deben disminuir con el tiempo.

Difusores

Estos elementos translúcidos son utilizados para reducir la luminancia de la luminaria, mejorando de este modo la comodidad visual. Se utilizan cuando el aspecto estético es particularmente importante.

2.2.1.3 Dispositivo de cierre

El dispositivo de cierre sólo es utilizado en las luminarias de tipo cerrado.

Las luminarias de tipo cerrado protegen al sistema de acuerdo a la calidad del cierre hermético que asegura al sistema. El dispositivo de cierre llevará una empaquetadura que sirva de sello entre el reflector y el refractor o la cubierta protectora. Si el cierre hermético es defectuoso, el polvo se acumulará en la cubierta incrementando la cantidad de flujo luminoso absorbido. Ciertos artefactos son equipados con un filtro de carbón activado que previe-

ne la introducción de polvo e insectos y al mismo tiempo mantiene una presión igual tanto en el interior como en el exterior de la luminaria. La figura 2.16 muestra las partes de una luminaria.

2.2.2 Características principales de las luminarias

2.2.2.1 Fotométricas

Distribución de la intensidad luminosa y rendimiento

La distribución espacial de la intensidad luminosa se logra gracias a la reflexión y refracción de los rayos de luz. El control del deslumbramiento, producto de los mismos, se logra mediante un apantallamiento adecuado. La mayor proporción del flujo emitido por la luminaria en relación al de la lámpara, determina el rendimiento de la luminaria. Para efectos del alumbrado de vías nos interesa el flujo útil que cae sobre la calzada, que será mayor, cuanto mayor sea la relación entre el ancho de la vía y la altura de montaje de la luminaria.

Luminancia de la luminaria

Es una magnitud muy útil para apreciar la comodidad visual. El área de emisión luminosa de la fuente de luz tiene relación íntima con el diseño de su sistema óptico. Si nos encontráramos con una fuente puntual, una posición incorrecta en relación al sistema óptico haría variar considerablemente la dirección y distribución del haz luminoso, y una pequeña irregularidad en la forma y textura del reflector

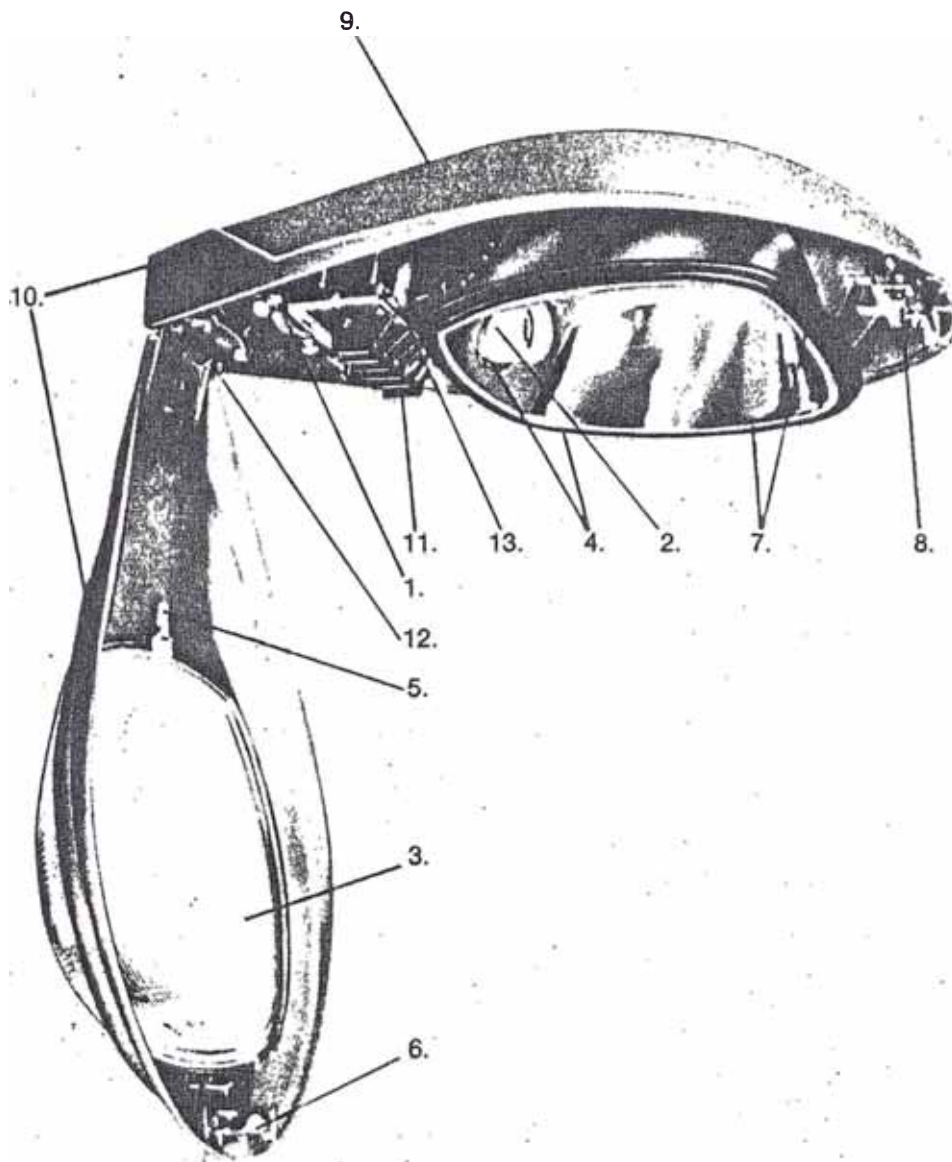


FIGURA 2.16 PARTES DE UNA LUMINARIA CERRADA

- 1.- Grapa Universal de fijación al pastoral
- 2.- Portalámpara ajustable
- 3.- Cubierta transparente : refractor
- 4.- Empaquetaduras que sirven de sello entre el reflector y el refractor.
- 5.- Grapa de sujeción del refractor
- 6.- Enganche de sujeción de la cubierta inferior
- 7.- Reflector
- 8.- Picaporte para sujetar la cubierta inferior
- 9.- Alojamiento para instalar el control fotoeléctrico
- 10.- Cuerpo o carcasa de la luminaria
- 11.- Regleta de terminales de conexión
- 12.- Bisagra
- 13.- Alojamiento para el balasto y condensador (ignitor, cuando es necesario)

o refractor produciría irregularidades en la luminancia de la vía. Es por esta razón, que en el Alumbrado de Vías Públicas, las fuentes de luz que se utilizan deben tener un área de emisión pequeña, de manera que la distribución de la luz pueda ser mejor controlada, sin embargo, un área de emisión mayor producirá una menor luminancia.

2.2.2.2 Mecánicas

Una luminaria debe ser un cuerpo indeformable capaz de resistir tanto a los esfuerzos internos como a los impactos externos y a la acción de los agentes atmosféricos, en condiciones normales de trabajo. Las luminarias son clasificadas según el impacto que resistan, tal como se indica en la última columna de la tabla 2.2.

2.2.2.3 Térmicas

La luminaria debe ser capaz de radiar el calor producido por la lámpara, a fin de que ésta opere a su temperatura de diseño. Las diferentes partes de la luminaria deben alcanzar temperaturas inferiores a las máximas correspondientes a las condiciones normales de trabajo de los materiales y equipos que aloje. Los contactos y otras partes conductoras serán diseñadas para asegurar buenos contactos eléctricos para que al paso de la corriente no produzcan una inaceptable elevación de la temperatura.

2.2.2.4 Eléctricas

Las normas NFC 71 110 dividen a las luminarias en 4 grupos de acuerdo a su grado de protección contra contactos indirectos. Los terminales de conexión deben ser de tipo normalizado y la sección de los conductores y su aislamiento adecuados para la intensidad de la corriente que llevan y la tensión que soportan.

La tabla 2.1 muestra la clasificación de las luminarias de la CEI/CEE, de acuerdo al tipo de protección eléctrica.

2.2.2.5 Mantenimiento

El mantenimiento es indispensable no sólo para preservar el valor de las instalaciones, sino también para garantizar su eficiencia a través del tiempo. El mantenimiento debe ser preventivo y estar sujeto a una programación.

2.2.2.6 Estética

El aspecto diurno que presentan las instalaciones de alumbrado debe ser objeto de un cuidadoso examen. Las luminarias y los postes deben armonizar con las características arquitectónicas de la zona donde serán instaladas.

2.2.2.7 Resistencia al ataque y contaminación atmosférica

Los gases corrosivos y humos de los ómnibus ante la presencia de vapores húmedos, formarán compuestos altamente corrosivos, por lo que, la luminaria debe ser construida con

Tabla 2.1 Clasificación de las luminarias de acuerdo al tipo de protección eléctrica.

CLASE DE LUMINARIA	PROTECCION ELECTRICA
0	* Luminaria con aislamiento normal, pero sin toma de tierra ni aislamiento de conjunto doble o reforzado.
I	Estas luminarias tienen al menos un aislamiento normal de conjunto y toma de tierra, y para luminarias diseñadas para conexión con cable flexible o manguera, provistas, bien sea con enchufe hembra con toma de tierra, o con cable flexible inseparable o manguera con conductor de tierra y enchufe con contacto de tierra.
II	Con doble aislamiento o aislamiento reforzado de conjunto sin toma de tierra.
III	Diseño especial para conexión de circuitos de muy baja tensión, sin otros circuitos internos o externos que operen a otras tensiones distintas a la mencionada.

Esta clasificación ha sido hecha por la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) y la Comisión Internacional de Normas para la Aprobación de Equipo Eléctrico (CEE).

* Las luminarias de la clase "0" no deberían ser utilizadas para el Alumbrado de Vías Públicas por lo que no tienen toma de tierra.

materiales resistentes a la corrosión. Las luminarias cerradas protegen al sistema óptico contra la corrosión y la suciedad, lo que no ocurre con las luminarias abiertas.

Sin embargo, al encender la lámpara en una luminaria cerrada habrá un aumento de temperatura del aire que hay en su interior, lo que producirá una elevación de la presión, de modo que, las empaquetaduras deberían permitir desahogar.

Al apagarse la luminaria a tempranas horas de la mañana, el

enfriamiento provocará un vacío que tenderá a que los gases corrosivos, humedad y suciedad sean aspirados hacia el interior de la misma, por lo que, las empaquetaduras deberán evitar este ingreso para impedir la corrosión y el ensuciamiento del sistema óptico. El uso de un filtro de carbón activado puede ser la mejor solución.

La tabla 2.2 muestra la clasificación de las luminarias contra la penetración de polvo, humedad y daños de origen mecánico, de acuerdo a las normas NFC 71 110 y NFC 20 020.

2.2.3 Elementos que determinan la elección de la luminaria

Son numerosos y dependen de varios factores que deben ser cuidadosamente examinados. La elección, en definitiva, dependerá del lugar de instalación y de la contaminación ambiental que en él exista.

En el plano técnico

a) Necesidad o no de una luminaria de tipo cerrado.

b) Desde el punto de vista óptico:

Tipo y potencia de la lámpara que aloje.

Forma deseada de la distribución del flujo luminoso.

Factor de utilización.

Características del sistema óptico.





Conservación en el tiempo de las características ópticas requeridas.

Tabla 2.2 Clasificación de las luminarias según el grado de protección contra la penetración del polvo, humedad y los daños de origen mecánico, según las normas NFC 71 110 y NFC 20 020

Primera cifra : Penetración de cuerpos extraños sólidos. Grado de protección de las personas contra los contactos con las partes sometidas a tensión o con las piezas interiores en movimiento o grado de protección de los equipos contra la penetración de cuerpos extraños sólidos y polvo.

Segunda cifra : Grado de protección contra la penetración de líquidos.

Tercera cifra : Grado de protección contra los daños de origen mecánico.

PRIMERA CIFRA	SEGUNDA CIFRA	TERCERA CIFRA
1 Protegido contra los cuerpos sólidos superiores a 50 mm.	 1 Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua.	1 Energía de choque expresada en Joules 0.225 J.
2 Protegido contra los cuerpos sólidos superiores a 12 mm.	2 Protegido contra las caídas de gotas de agua hasta 15º de la vertical.	2 Energía de choque expresada en Joules 0.375 J.
3 Protegido contra los cuerpos sólidos superiores a 2.5 mm.	 3 Protegido contra el agua de lluvia.	3 Energía de choque expresada en Joules 0.5 J.
4 Protegido contra los cuerpos sólidos superiores a 1 mm.	 4 Protegido contra las proyecciones de agua.	
5 Protegido contra el polvo.	 5 Protegido contra el agua a presión.	5 Energía de choque expresada en Joules 2 J.
6 Totalmente protegido contra el polvo.	6 Protegido contra los golpes de mar y las proyecciones similares.	

c) Desde el punto de vista eléctrico y térmico:

Calidad y seguridad de los contactos.

Protección contra el sobrecalentamiento excesivo.

Calidad del material aislante.

Calidad de los accesorios eléctricos.

d) Desde el punto de vista mecánico:

Dimensiones de la luminaria.

Características de los materiales utilizados.

Resistencia de los accesorios al envejecimiento.

Simplicidad y seguridad en el ajuste y montaje.

Resistencia a la corrosión y vibraciones.

Protección de las lámparas y accesorios.

En el plano estético

a) Armonía con el medio ambiente.

b) Simplicidad y sobriedad.

En el plano económico

a) Costo de la instalación:

Costo de las luminarias y su equipo auxiliar.

Costo de la instalación (fácil montaje y conexión a la red).

b) Gastos de mantenimiento y explotación:

Fácil reemplazo de las lámparas.

Fácil limpieza de las luminarias.

La magnitud de los gastos depende de la disposición de las luminarias y varían según el tipo de instalación.

2.2.4 Documentación fotométrica de las luminarias empleadas en el Alumbrado de Vías Públicas

Los datos acerca de la distribución luminosa de la luminaria son necesarios para que el Ingeniero de Iluminación pueda elegir la más conveniente para satisfacer los requisitos de una instalación.

Esta información debe ser clara para facilitar la identificación del tipo de luminaria a que se refiere.

Estos datos son proporcionados por el fabricante y consisten esencialmente en una gama de valores de la intensidad luminosa en diferentes direcciones, obtenidos de mediciones hechas en un laboratorio fotométrico.

Sistema de coordenadas utilizado por la Comisión Internacional de Alumbrado CIE.

El sistema, especificado en la Publicación CIE 34 TC-4.6 - 1977, que sirve para definir el espacio alrededor de una luminaria, es el sistema C- γ (planos C y ángulos gamma), como se muestra en la figura 2.17.

El centro del sistema de coordenadas coincide con el centro del sistema óptico de la luminaria. El eje vertical del sistema está formado por la línea perpendicular bajada

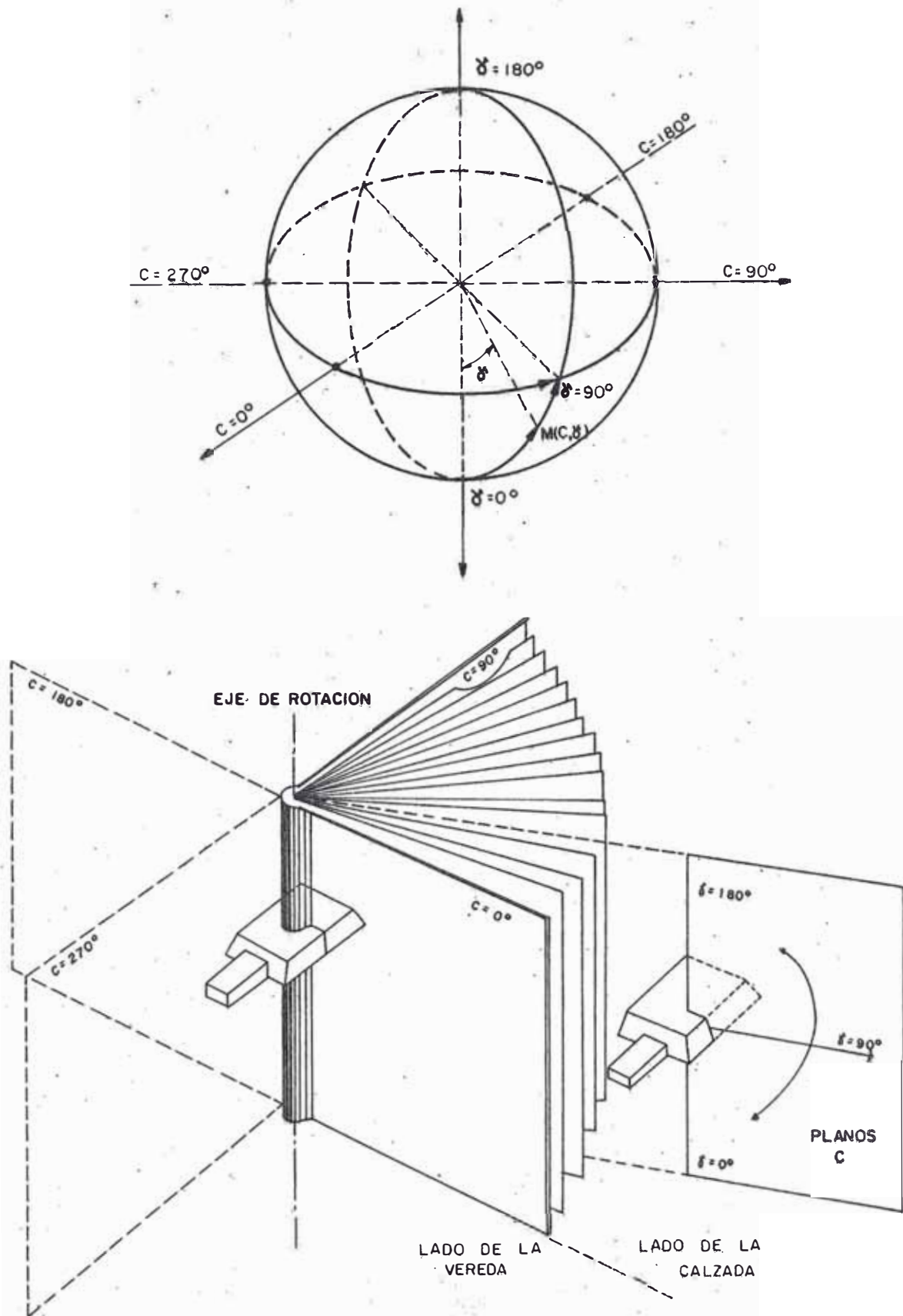


Figura 2.17 Sistema de coordenadas (C- δ) utilizado por la CIE.

desde el centro de la luminaria hacia el plano horizontal, independiente de una posible inclinación de la luminaria.

Los semiplanos verticales rotan alrededor del eje vertical. Los semiplanos paralelos al eje longitudinal de la vía son definidos por los ángulos $C=0^\circ$ y $C=180^\circ$, mientras que los semiplanos perpendiculares al eje longitudinal de la vía son definidos por $C=90^\circ$ y $C=270^\circ$ sobre el lado de la vereda.

Los ángulos de elevación en estos planos están indicados por " γ " y se incrementan desde $\gamma=0^\circ$ verticalmente hacia arriba hasta $\gamma=180^\circ$.

2.2.4.1 Distribución de la intensidad luminosa

Como los cálculos de luminancia generalmente son hechos en la computadora, la distribución de la intensidad luminosa de la luminaria empleada debe ser dada en forma de tablas. Estas tablas dan la intensidad luminosa como una función del ángulo horizontal correspondiente a los planos "C" y del ángulo vertical " γ ".

Si la distribución de luz es simétrica alrededor de los semiplanos $C=90^\circ$ y $C=270^\circ$, una tabla que sólo cubra los planos "C" de 90° a 270° es aceptable.

Los valores de intensidad luminosa deberán ser dados en candelas por cada 1,000 lúmenes de emisión luminosa de la lámpara.

Si no se cuenta con una computadora, debe ser empleado el método gráfico en forma de contornos isocandela sobre un diagrama, o gráficos polares de intensidad en planos específicos.

2.2.4.2 Diagrama isocandela

Si se trata de una luminaria simétrica, un hemisferio debe ser proyectado, con el centro del diagrama en la dirección de la vía ($\gamma = 90^\circ$, $C = 0^\circ$ ó $C = 180^\circ$) y deben ser insertados contornos isocandela para diferentes porcentajes de la intensidad luminosa máxima (90% de I_{\max} , 80% de I_{\max} , etc).

Diagrama isocandela sobre una malla rectangular

Presenta líneas verticales igualmente espaciadas representando a los planos "C" y líneas horizontales igualmente espaciadas representando a los ángulos " γ ", como se muestra en la figura 2.18.

Diagrama isocandela sobre una malla circular

Generalmente es el más utilizado y su representación espacial es más realista (ver figura 2.19).

Áreas iguales en el diagrama representan ángulos sólidos iguales en el espacio y el flujo luminoso en una zona puede ser calculado utilizando la fórmula:

$$\phi = \frac{2 A}{\quad} \quad (2.1)$$

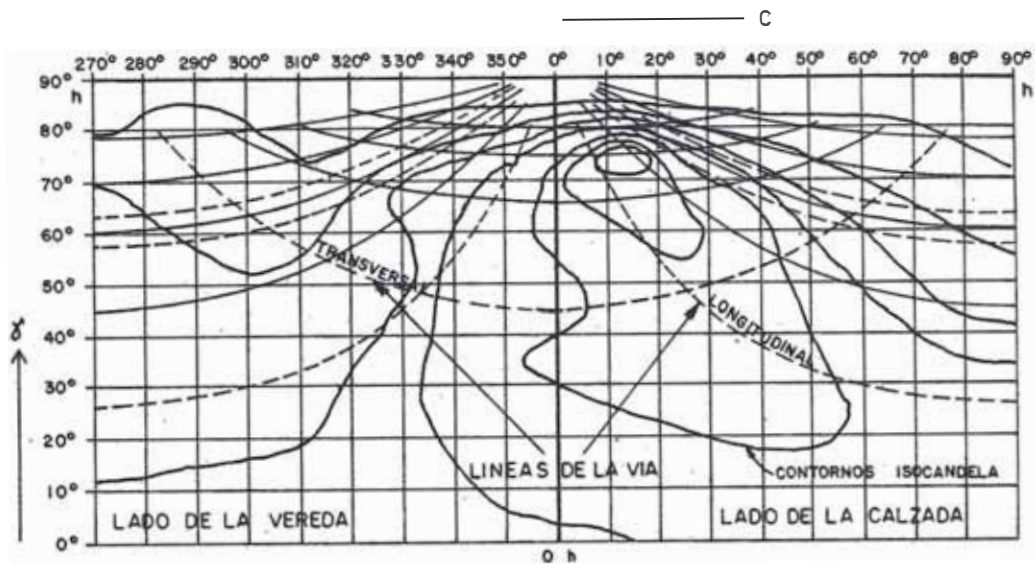


Figura 2.18 Diagrama isocandela sobre una malla rectangular. El hemisferio opuesto es simétrico.

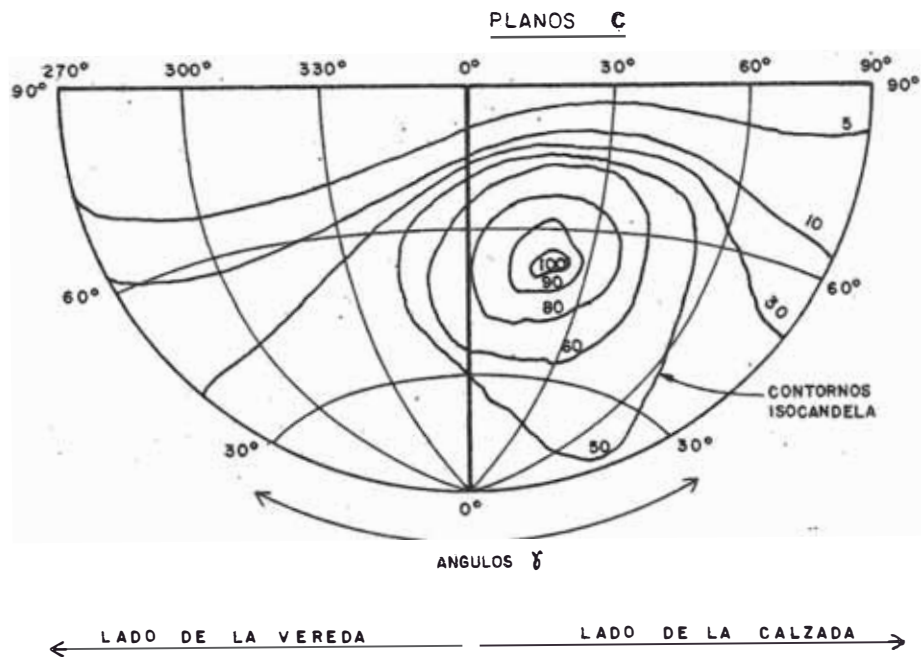


Figura 2.19 Diagrama isocandela sobre una malla circular. Este diagrama muestra una representación espacial más realista que el diagrama sobre una malla rectangular.

donde:

Φ = Flujo luminoso en la zona (en lm).

A = Area de la zona sobre el diagrama (en cm).

r = Radio del diagrama (en cm).

I = Intensidad luminosa promedio en la zona (en cd).

Cada radio en el diagrama circular representa una línea paralela a la vía, denominada línea longitudinal de la vía (LLV).

El efecto de inclinación de una luminaria por un ángulo " α " en el plano $C=90^\circ$ se obtiene simplemente haciendo rotar el contorno isocandela alrededor del centro del diagrama por " α° ".

Diagrama isocandela sobre un plano horizontal

Los contornos isocandela son proyectados sobre un plano horizontal de la vía. Puede ser empleado para la construcción de un diagrama isoluminancia para cualquier posición del observador (ver figura 2.20).

2.2.4.3 Diagrama polar

Las características más saltantes de las luminarias se presentan completamente en los gráficos polares de la intensidad luminosa, dados en planos; 4 planos son los más significativos, a saber:

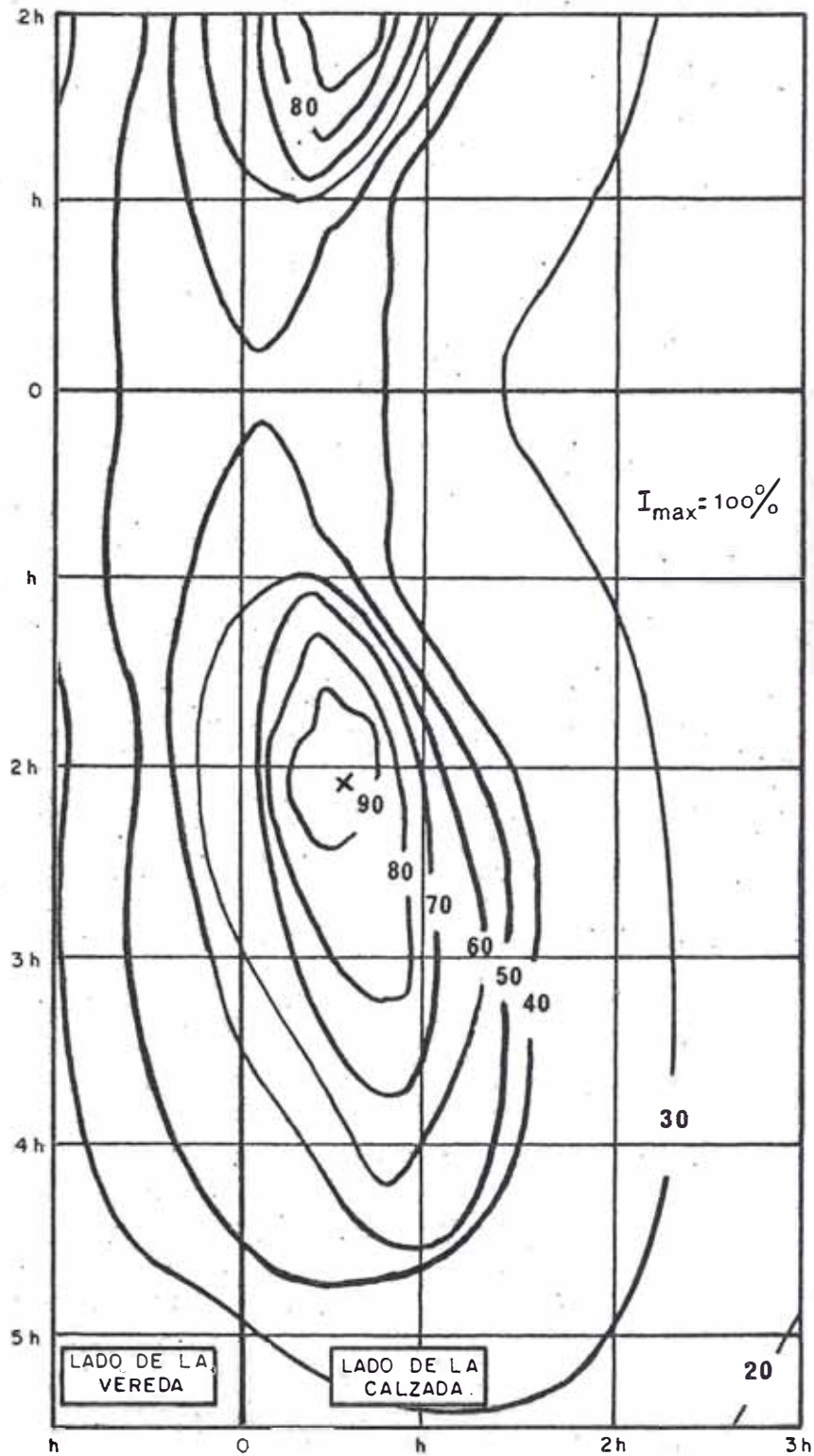


Figura 2.20 Diagrama isocandela sobre un plano horizontal. Los contornos isocandela son proyectados sobre la superficie de la vía. El centro óptico de la luminaria se encuentra en el punto 0,0.

Plano vertical principal

Contiene la intensidad máxima. El ángulo "C" de este plano debe ser enunciado (ver figura 2.21).

Plano vertical longitudinal $C=0^\circ$

Se enuncia cuando el plano vertical principal no está en $C=0^\circ$, y es importante para los efectos del deslumbramiento molesto en la instalación (ver figura 2.22).

Plano vertical transversal $C=90^\circ$

Se compara con la distribución de intensidades para $C=0^\circ$ (ver figura 2.22).

Superficie cónica principal

Esta es una superficie cónica que nos muestra como se distribuye la intensidad luminosa alrededor de la luminaria tomando constante el ángulo " γ " determinado por la intensidad máxima. " γ " debe ser enunciado (ver la figura 2.24).

2.2.4.4 Diagrama isolux

La iluminancia en cualquier punto debida a una luminaria especificada puede ser calculada utilizando el diagrama isolux de dicha luminaria (ver figura 2.25).

La uniformidad de iluminancia para un cierto espaciamiento entre luminarias también puede ser hallado utilizando este diagrama. Los contornos isoiluminancia generalmente son da

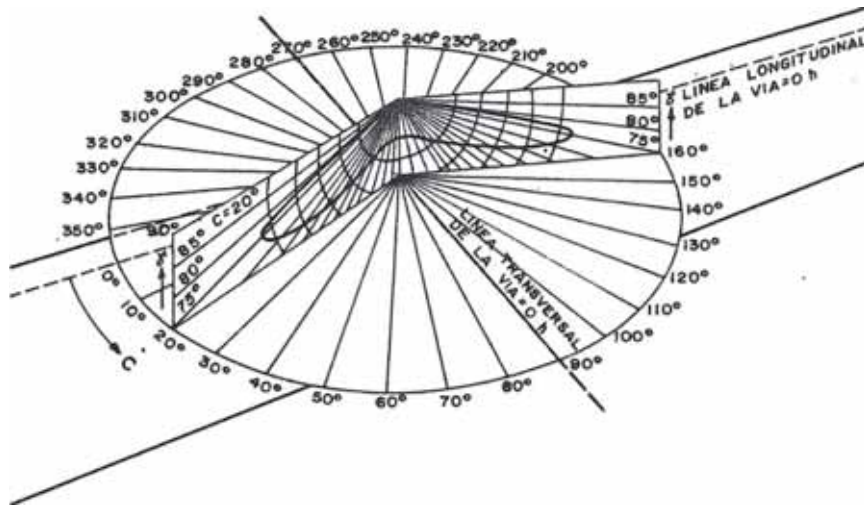


Figura 2.21 El plano vertical principal contiene la máxima intensidad luminosa. El ángulo "C" debe ser enunciado. En el ejemplo, el plano $C=20^\circ$ contiene la máxima intensidad luminosa.

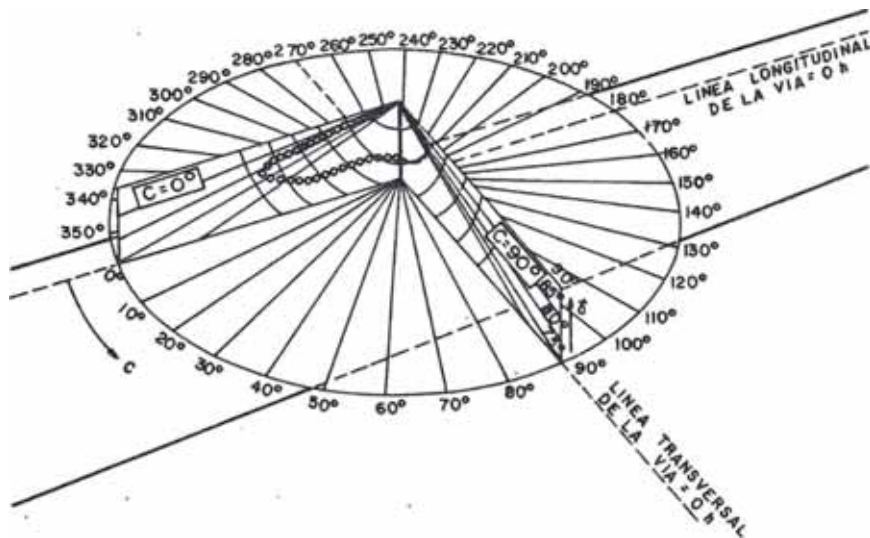


Figura 2.22 En esta figura se muestran el plano vertical longitudinal $C=0^\circ$ y el plano vertical transversal $C=90^\circ$.

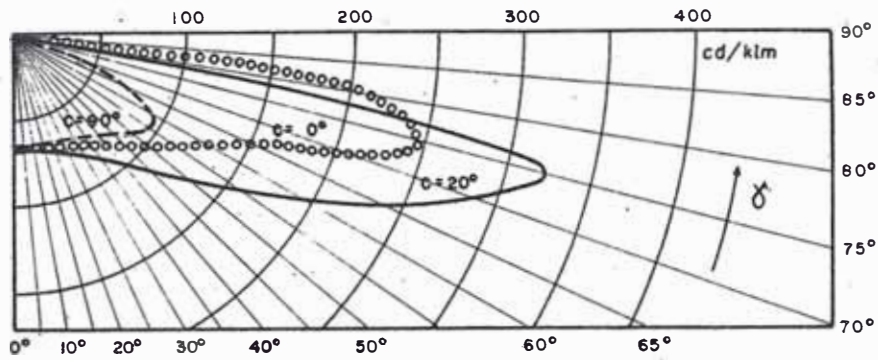


Figura 2.23 Los diagramas polares muestran la distribución de la luz: en un plano paralelo al eje de la vía, éste es el plano vertical longitudinal $C=0^\circ$; en un plano perpendicular al eje de la vía, éste es el plano vertical transversal $C=90^\circ$; y en un plano en el que se encuentra la intensidad máxima I_{max} , éste es el plano vertical principal que en el ejemplo I_{max} está en $C=20^\circ$.

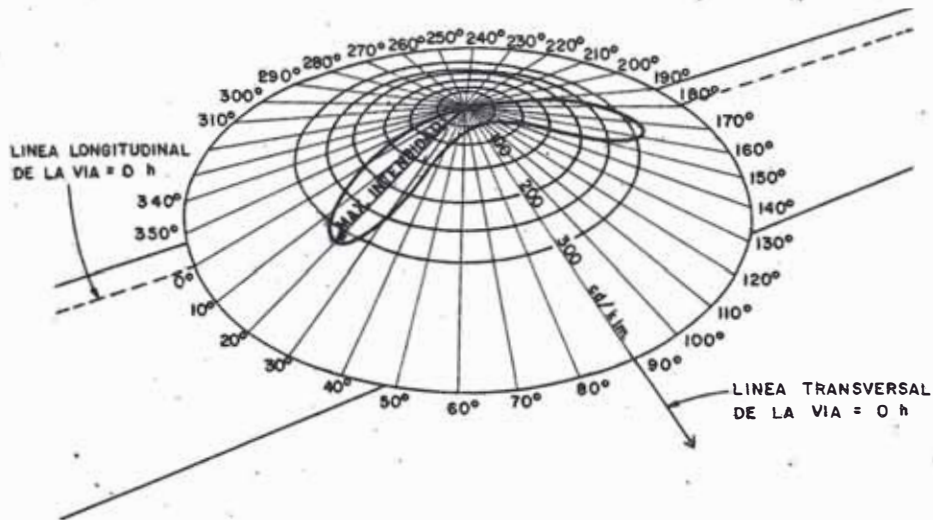


Figura 2.24 La superficie cónica principal muestra la distribución de la intensidad luminosa alrededor de la luminaria. El ángulo " δ " determinado por la intensidad máxima debe ser enunciado. En el ejemplo, $\delta = 75^\circ$.

dos en lux y representan un porcentaje de la iluminancia máxima. Los valores de iluminancia puntuales dependen de la altura de montaje y del flujo de la lámpara.

2.2.4.5 Diagrama del factor de utilización

El factor de utilización evalúa el flujo luminoso de una luminaria expresado como aquella fracción del flujo que viniendo de la luminaria llega directamente a la superficie de la vía. Este diagrama da el factor de utilización de una luminaria como función del ancho de la vía, la cual es especificada en términos de la altura de montaje para que el diagrama pueda ser utilizado para cualquier altura de montaje, como lo muestra la figura 2.26.

Como referencia se toma el plano $C=0^\circ$ y a partir de él se suma el flujo luminoso emitido en la zona subtendida por este plano y el plano de inclinación que toca una línea longitudinal de la vía. La línea longitudinal de la vía puede definirse por el ángulo lateral (ángulo " δ " en el plano $C=90^\circ$) o por la distancia lateral que hay entre el eje vertical de la luminaria y la línea longitudinal de la vía expresada como una fracción de la altura de montaje de la luminaria.

El diagrama de la distancia lateral se prefiere para usos prácticos, pero el diagrama del ángulo lateral permite que el efecto de la inclinación de la luminaria sea evaluado más fácilmente.

Figura 2.25 Diagrama isolux. Este diagrama muestra los contornos isoiluminancia sobre la superficie de la vía. El centro de la luminaria se encuentra en el punto 0,0.

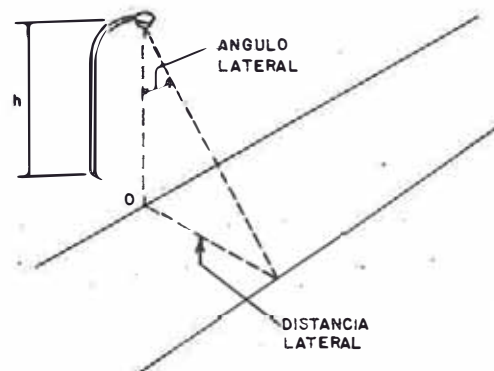
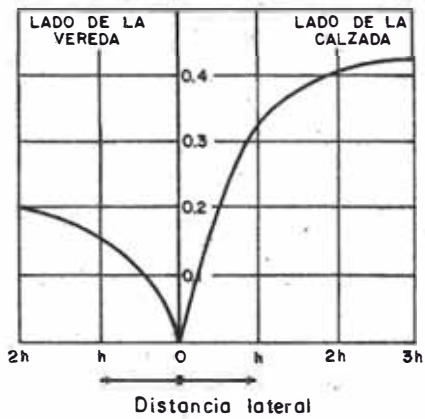
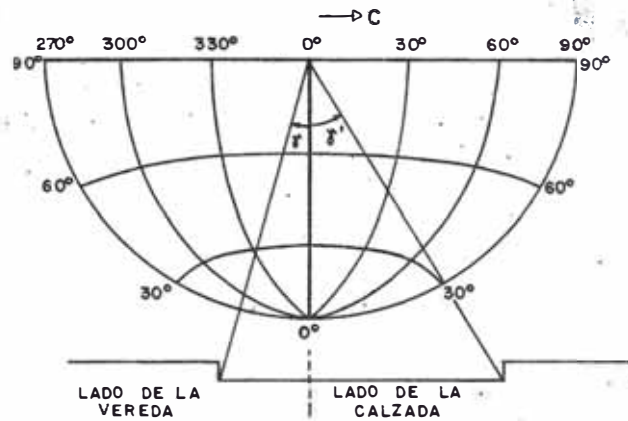
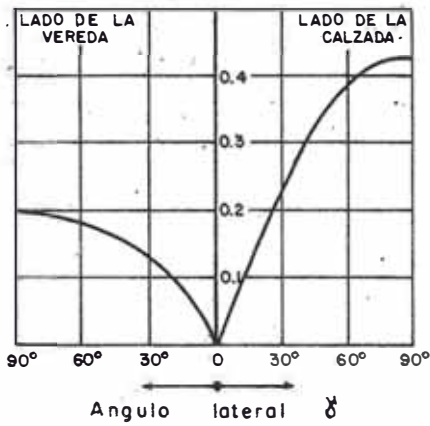
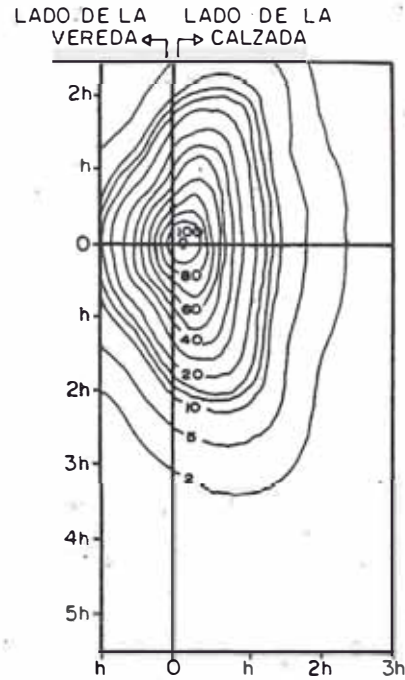


Figura 2.26 Diagrama del factor de utilización.

La suma de los factores de utilización asintóticos sobre el lado de la vía y sobre el lado de la calzada da el rendimiento de la luminaria.

2.2.4.6 Diagrama del rendimiento en luminancia

La luminancia media puede ser calculada utilizando este diagrama, tal como se describió el cálculo de la iluminancia media utilizando el diagrama del factor de utilización. Los gráficos del rendimiento en luminancia son hechos para franjas longitudinales utilizando ángulos laterales o distancias laterales para definir el borde de una franja. El factor del rendimiento en luminancia (η_L) se representa entonces en función de la distancia que existe entre el eje vertical del sistema coordenado "C- δ " y cada una de las partes de la calzada expresadas en múltiplos de h. El observador se sitúa a 10 h de la luminaria (algunas veces a 13.5 h).

El factor del rendimiento en luminancia no es característica sólo de la luminaria, sino que depende de toda la instalación. Es común en estos diagramas utilizar determinados tipos de superficies de vías, siendo cada gráfico válido sólo para un tipo de superficie de vía y para una posición particular de observación, debido a que la luminancia es afectada por las propiedades de reflexión de la superficie de la vía y la dirección de la visión del observador (ver figura 2.27).

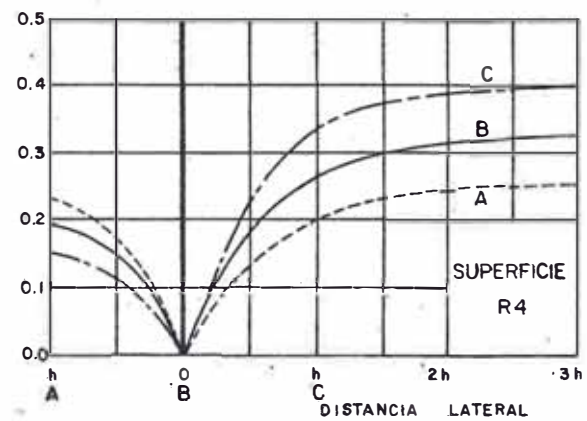
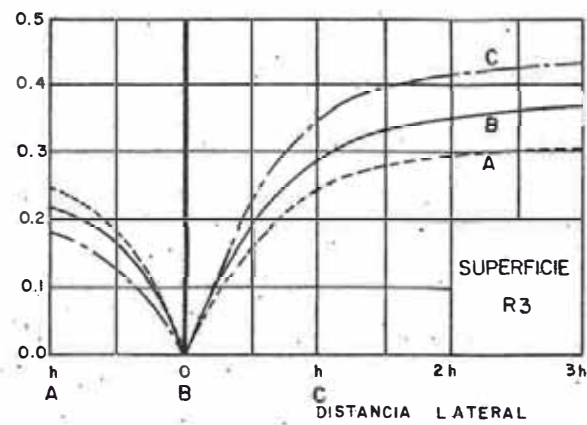
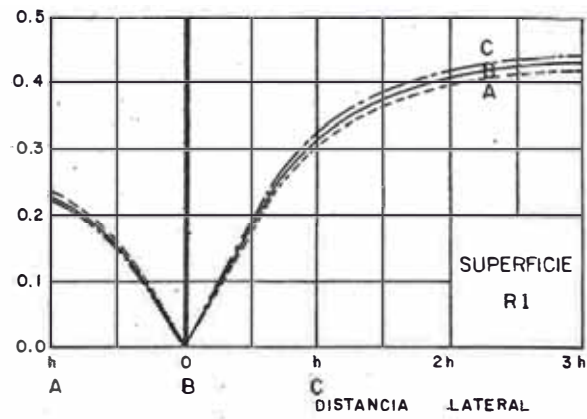


Figura 2.27 Diagrama del rendimiento en luminancia.
Posición de la visión del observador:
A = Observador situado a una distancia lateral h sobre el lado de la vereda
B = Observador situado en la prolongación de la hilera de luminarias.
C = Observador situado a una distancia lateral h sobre el lado de la calzada.

El factor del rendimiento en luminancia para una disposición unilateral es dado por:

$$n_L = S \times L_{med} \times \frac{x}{Q_0 \times \phi_L \times F.M.} \dots\dots (2.2)$$

donde:

n_L = Factor del rendimiento en luminancia de una franja longitudinal de la vía.

S = Espaciamiento entre luminarias (en m).

L_{med} = Luminancia media de la superficie de la vía de una franja longitudinal (en cd/m^2).

x = Ancho de la franja (en m).

Q_0 = Coeficiente medio de luminancia de la vía.

ϕ_L = Flujo de la lámpara desnuda (en lm)

Se aprecia que el producto " $S \times L_{med}$ " es constante para un tipo definido de luminaria.

2.2.4.7 Diagrama isoluminancia

Se utiliza principalmente para obtener la uniformidad de luminancia para determinadas posiciones del observador.

Estos diagramas están conformados por contornos iso- cd/m^2 , relativos para un determinado tipo de superficie y luminaria y pueden aplicarse para cualquier altura de montaje de la luminaria. Las luminancias son generalmente determinadas como un porcentaje de la luminancia máxima. El valor absoluto de la luminancia máxima está dado en función de la

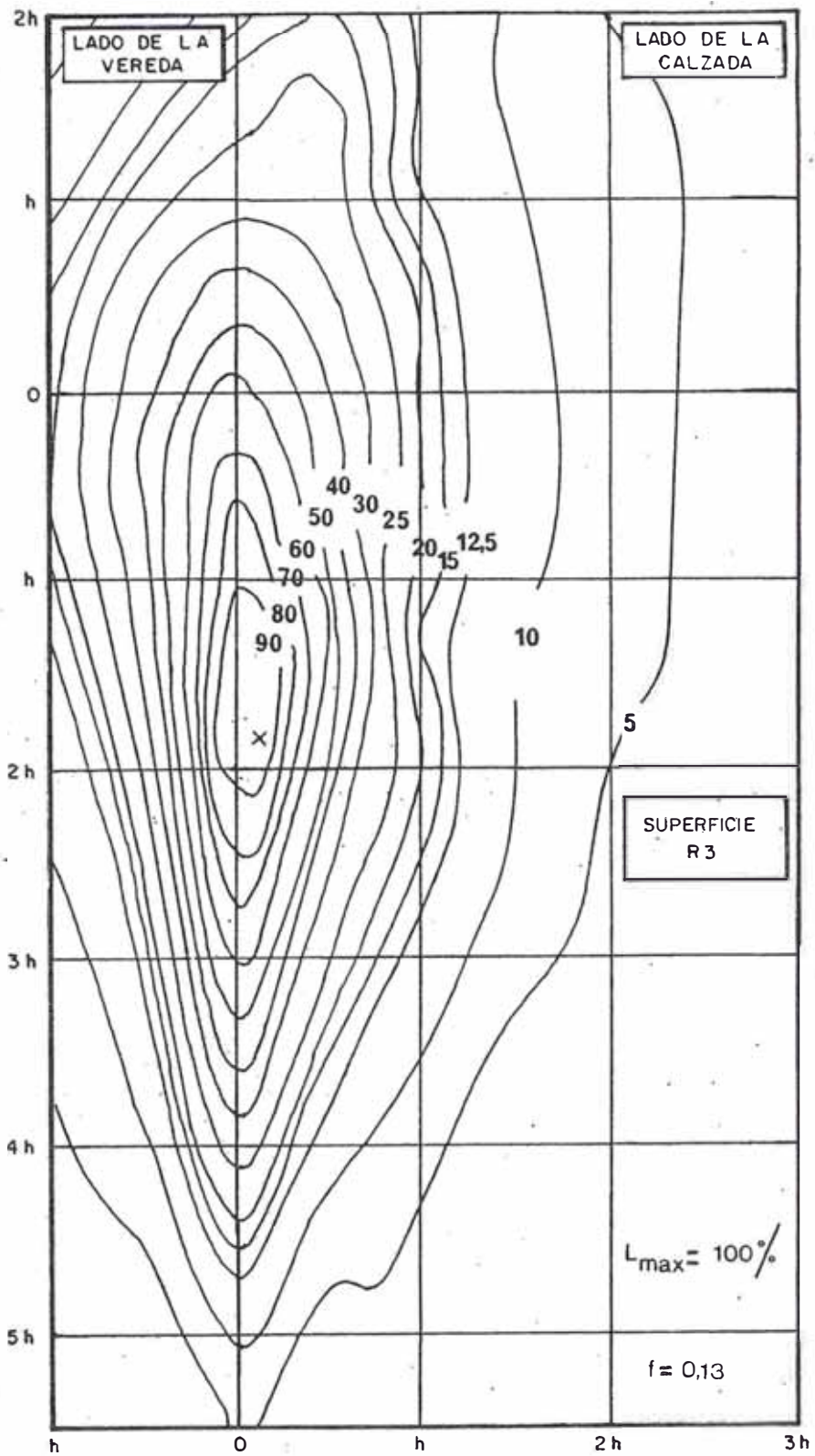


Figura 2.28 Diagrama isoluminancia .

altura de montaje; flujo luminoso y coeficiente medio de luminancia (Q_0). Estos diagramas se presentan por lo menos para 2 tipos de vías.

Estos diagramas se han elaborado para un observador que se encuentra en el plano $C=0^\circ$, alineado con las hileras de luminarias, a una distancia $10h$ de la luminaria (algunos diagramas son dados para una distancia $13.5h$). Ver figura 2.28.

Sistema de coordenadas utilizado por la Sociedad Norteamericana de Ingeniería de Iluminación IES.

Difiere del adoptado por la CIE, principalmente, por la ubicación de los ángulos horizontales. En la figura 2.29 se muestra la orientación de las luminarias con respecto a la calzada.

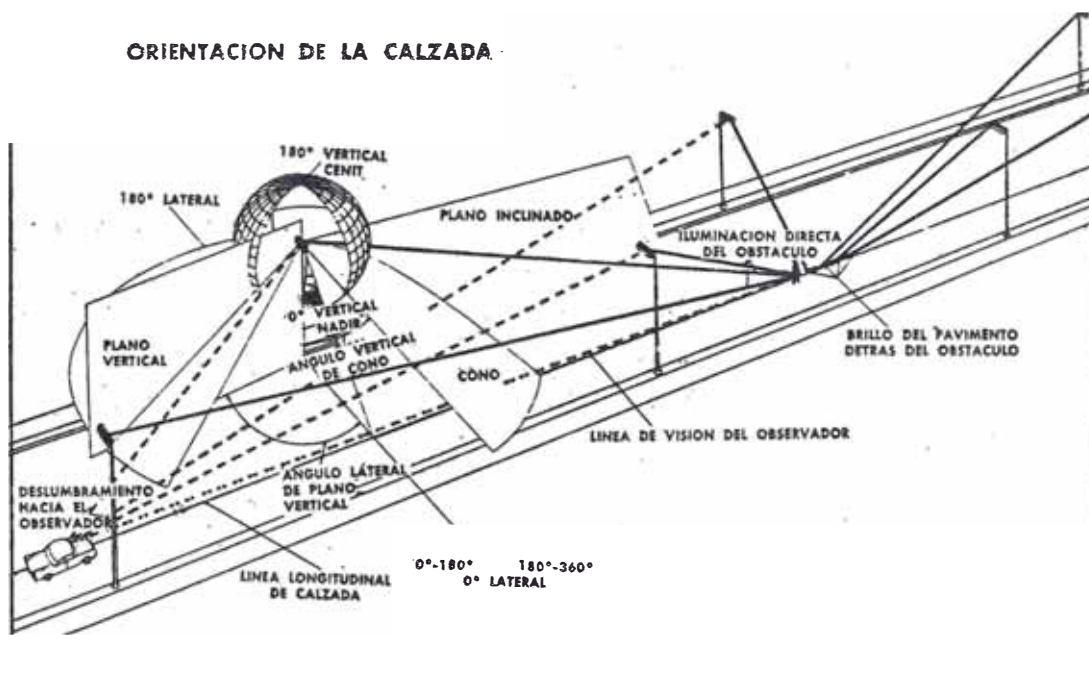


Figura 2.29 Orientación de las luminarias con respecto a la calzada.

En la figura 2.30 se muestra una luminaria en el centro de un hemisferio. En la superficie de la esfera correspondiente se mide la intensidad luminosa con una fotocélula y se determina la distribución de la intensidad luminosa con respecto a la orientación de la calzada.

Se asume que la superficie de la esfera tiene meridianos de longitud, paralelos de latitud y polos norte y sur para localizar puntos específicos.

En el plano horizontal que pasa por el centro de la luminaria se sitúa el ángulo 0° en la dirección perpendicular a la calzada, a partir del cual se incrementa en el sentido horario estando los ángulos de 90° y 270° orientados paralelos al eje de la vía y el ángulo de 180° detrás de la luminaria. Los ángulos verticales se miden desde el nadir, 0° debajo de la luminaria y se incrementan verticalmente hacia arriba. El ángulo vertical de 90° está en el plano horizontal.

Si se moviera la fotocélula por la superficie de la esfera de manera tal que siguiera un meridiano de longitud, la intensidad de luz resultante presentaría la de un plano vertical que pasa por la luminaria. Del mismo modo, si se moviera la fotocélula por un paralelo de latitud la curva de intensidad luminosa resultante sería la de un cono.

Muchas luminarias son simétricas. Las luminarias diseñadas para tramos rectos de calzada tienen la misma distribución en ambos sentidos de la calzada, por lo que sólo se consi-

dera la mitad de la esfera, y si se tiene en cuenta que la luz emitida por la luminaria es despreciable en la parte superior, se considerará sólo la mitad del hemisferio correspondiente a la parte inferior. La figura 2.31 muestra un diagrama isocandela sobre una red sinusoidal, donde los paralelos de latitud permanecen en línea recta.

El diagrama isocandela también puede ser representado sobre una red rectangular, como en la figura 2.32. En estos 2 últimos diagramas los contornos isocandela se han obtenido uniendo puntos de igual intensidad.

Las líneas de referencia longitudinal y transversal son aquellas que pasan justo debajo de la luminaria paralela y perpendicularmente a la vía respectivamente. Las líneas paralelas a la línea de referencia longitudinal son conocidas como las líneas longitudinales de la vía (LLV); del mismo modo, las líneas paralelas a la línea de referencia transversal son conocidas como las líneas transversales de la vía (LTV). Estas líneas pueden proyectarse sobre la superficie de la esfera imaginaria tomando como referencia para sus posiciones la altura de montaje de la luminaria siendo las líneas de referencia longitudinal y transversal igual a cero veces la altura de montaje (ver figura 2.33).

Si la altura de montaje de la luminaria es de 10 m por ejemplo, una LLV=1 h significa una línea longitudinal de la vía paralela a la línea de referencia longitudinal que está a 10 m de ella.

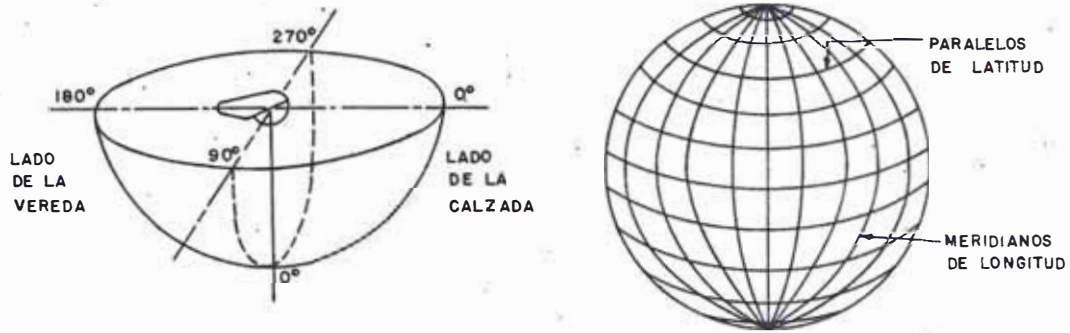


Figura 2.30 Sistema de coordenadas adoptado por la IES para determinar la intensidad luminosa.

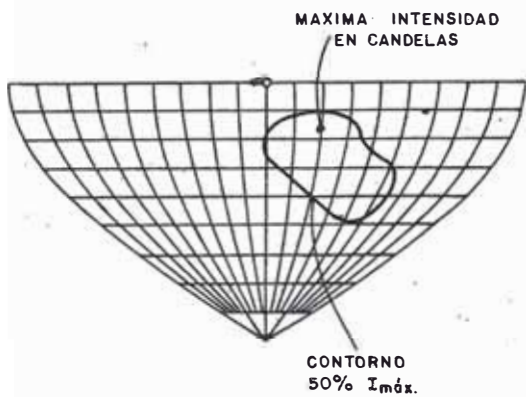


Figura 2.31 Diagrama isocandela sobre una red sinusoidal.

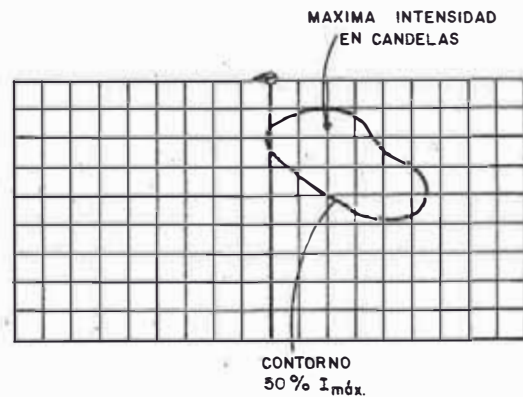


Figura 2.32 Diagrama isocandela sobre una red rectangular.

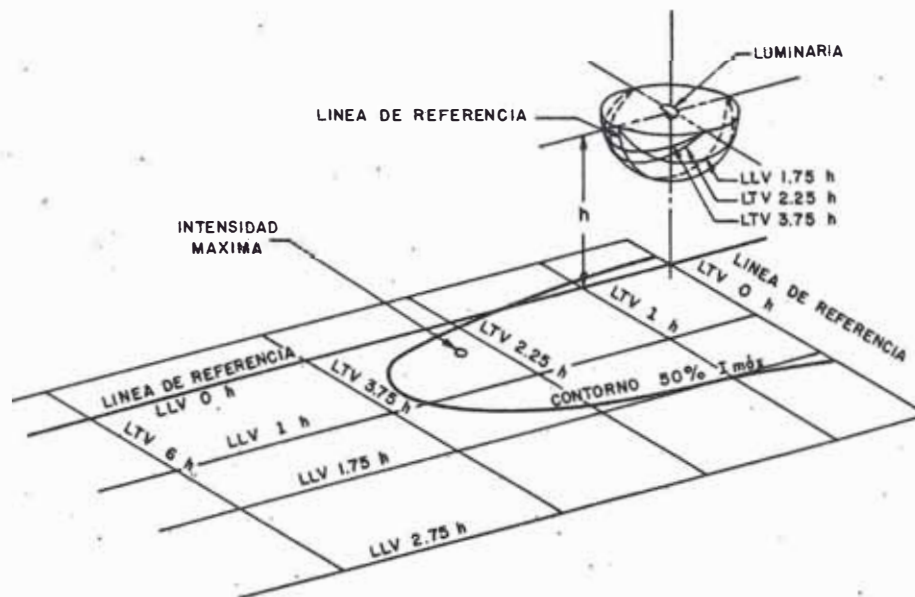


Figura 2.33 La clasificación fotométrica de las luminarias según la IES se facilita con el trazo de las LLV y las LTV en múltiplos de h.
 LLV = Líneas longitudinales de la vía.
 LTV = Líneas transversales de la vía.

Para comprender mejor la formación de las líneas longitudinales y transversales de la vía sobre una red sinusoidal, es necesario visualizar la vía desde la luminaria. En efecto, la figura 2.34 muestra dicha red vista desde la luminaria. Las LLV y las LTV están dadas en múltiplos de h .

El diagrama isocandela sobre una red rectangular tiene superpuestas las líneas longitudinales y las líneas transversales de la vía en múltiplos de h (ver figura 2.35). En este diagrama se puede ubicar el cono máximo y el plano vertical correspondientes a la máxima intensidad luminosa.

2.2.5 Clasificación fotométrica para las luminarias de Alumbrado de Vías Públicas.

La distribución del flujo luminoso de las luminarias se diseña para un rango típico de condiciones como el ancho de la vía y la altura de montaje de la luminaria.

Las distribuciones de la luz deben ser numerosas y diferentes para iluminar efectivamente anchos de vías distintos, empleando varios espaciamientos entre luminarias para una altura de montaje particular de la luminaria.

Es por esta razón, que la clasificación de las luminarias es importante debido a que facilita la elección de la más conveniente para una instalación determinada.

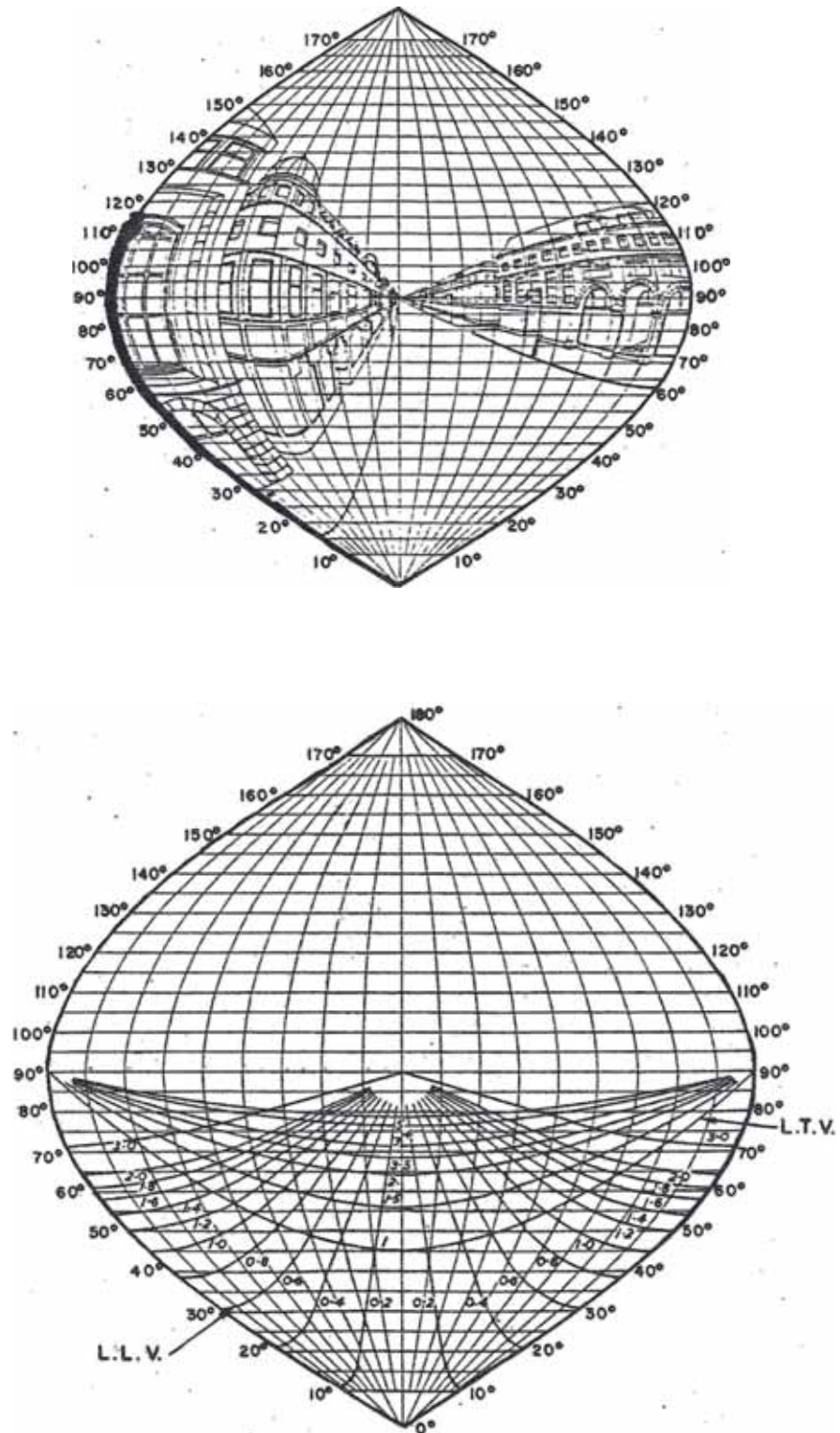


Figura 2.34 Esta figura muestra un red sinusoidal vista desde la luminaria. Las líneas longitudinales de la vía (LLV) tienen forma de cortinas y las líneas transversales de la vía (LTV) tienen forma de hamacas. Ambas están dadas en múltiplos de h .

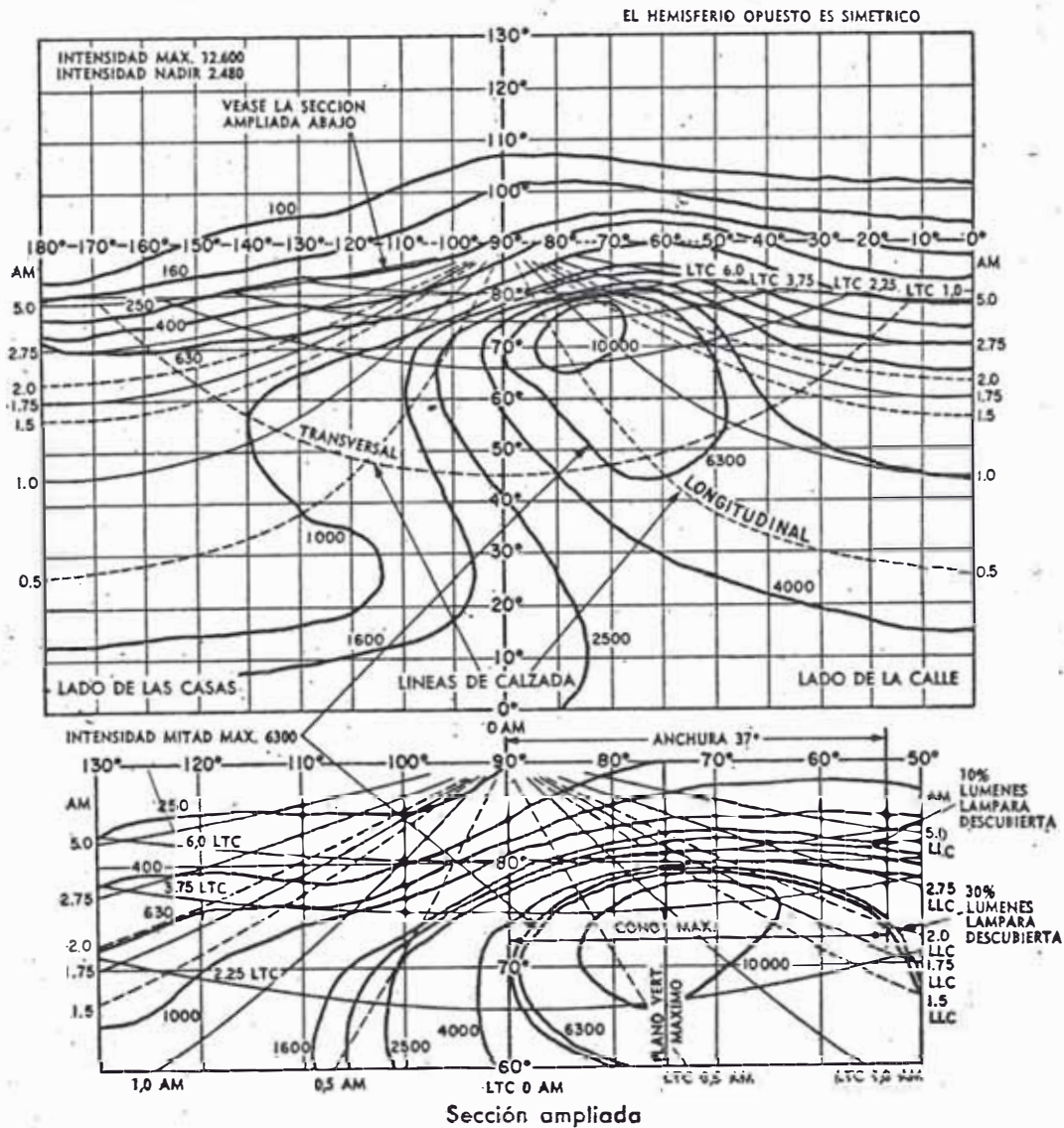


Figura 2.35: El diagrama isocandela muestra sobre una red rectangular los contornos isocandela, y las líneas longitudinales y transversales de la vía en múltiplos de h. En este ejemplo, el cono máximo es igual a 72.5° y el plano vertical que contiene la intensidad máxima es igual a 75° .

2.2.5.1 Sistema de clasificación de la CIE

Un sistema descriptivo para las luminarias considera 3 características fundamentales. La comisión Internacional de Alumbrado (CIE) dió las siguientes definiciones para la clasificación de las luminarias.

Alcance

Es la extensión de la luz a lo largo de la calzada. El alcance está definido por el ángulo de elevación (medido desde el nadir hacia arriba) del centro del haz de la luminaria. Es determinado del diagrama isocandela como se muestra en la figura 2.36, siendo el promedio de los 2 ángulos de elevación del contorno 90% I_{max} en el plano vertical principal. Se definen 3 grados de alcance: corto, intermedio y largo.

Tabla 2.3 Grados de alcance

ALCANCE	ANGULO MEDIO DE ELEVACION " δ_{max} "
corto	< 60º
intermedio	60º - 70º
largo	> 70º

Las luminarias de alcance corto no son convenientes para montajes bajos, a menos que el espaciamiento entre luminarias tenga menor longitud. Las de alcance largo son convenientes para montajes altos, lo que permite un mayor espaciamiento, pero hay que tener cuidado con el control de deslumbramiento.

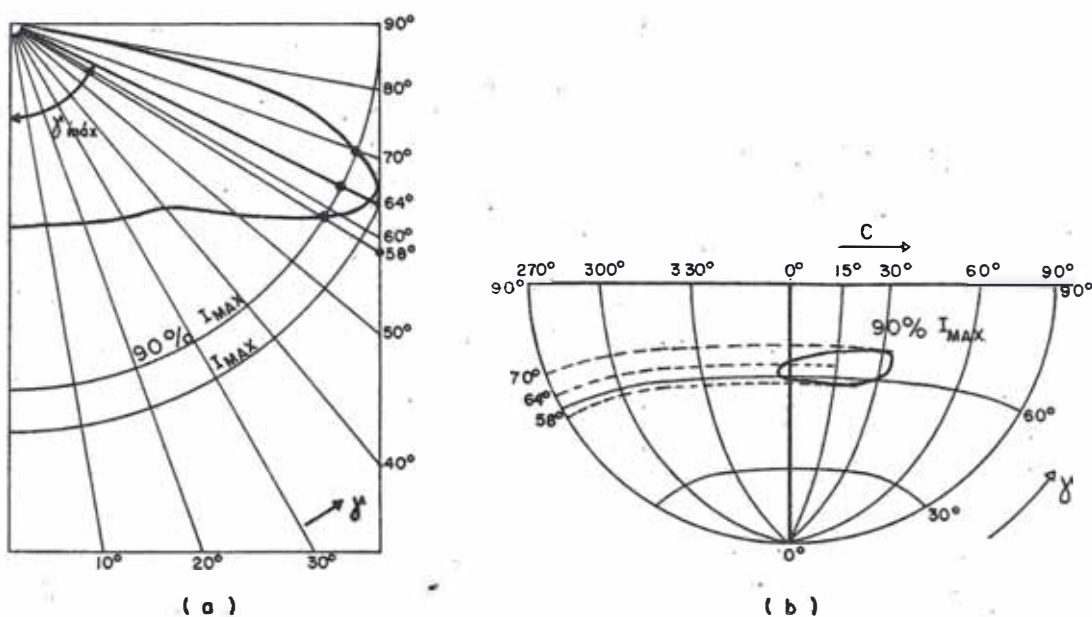
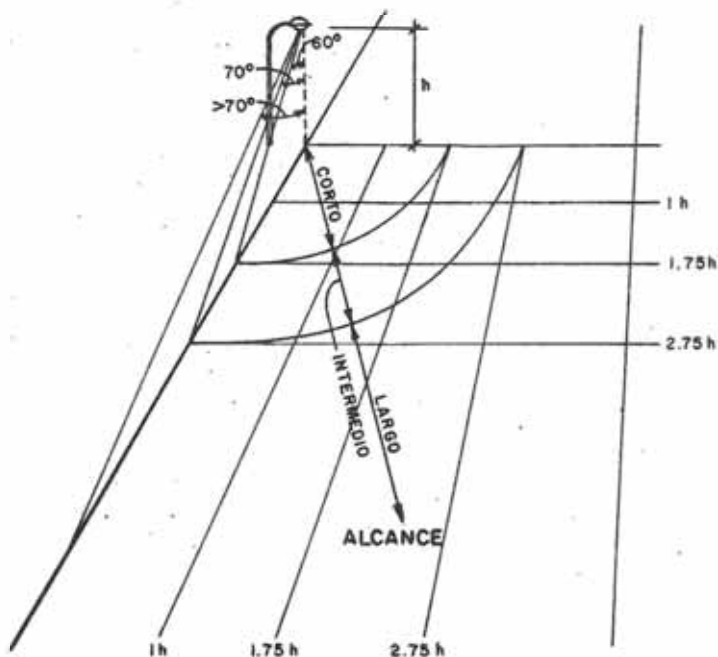


Figura 2.36 (a) Distribución de la intensidad luminosa de una luminaria de Alumbrado de Vías Públicas en el plano vertical principal. El ángulo " γ_{max} " es el promedio de los 2 ángulos de elevación del contorno 90% I_{max} en el plano vertical principal. El ángulo " γ_{max} " define el alcance de la luminaria. En el ejemplo $\gamma_{max}=64^\circ$.

(b) Diagrama isocandela sobre una malla circular. El alcance también puede ser determinado de este diagrama. En el ejemplo, $\gamma_{max}=64^\circ$ indica un alcance intermedio.

Figura 2.37 Grados de alcance según la CIE : CORTO, INTERMEDIO y LARGO.

h es la altura de montaje de la luminaria.



Dispersión

Es el grado de amplitud de la luz en el sentido transversal de la calzada. La dispersión está definida por la posición de la línea longitudinal de la vía más distante sobre el lado de la calzada que es tangente al contorno 90% I_{max} en la calzada. Esto se muestra en el diagrama isocandela de la figura 2.38. La dispersión es el ángulo " γ " de esta tangente en el plano $C=90^\circ$. Se definen 3 grados de dispersión: estrecha, media y ancha.

Tabla 2.4 Grados de dispersión

DISPERSION	ANGULO $\gamma_{90\% I_{max}}$
estrecha	$< 45^\circ$
media	$45^\circ - 55^\circ$
ancha	$> 55^\circ$

Las luminarias que tienen dispersión estrecha convendrían ser utilizadas en vías angostas para montajes altos.

Figura 2.38 La dispersión es determinada trazando la línea longitudinal de la vía más distante sobre el lado de la calzada (en este diagrama son los radios) que es tangente al contorno 90% I_{max} en la calzada. En el ejemplo, $\delta_{90}=50^\circ$ indica una dispersión media.

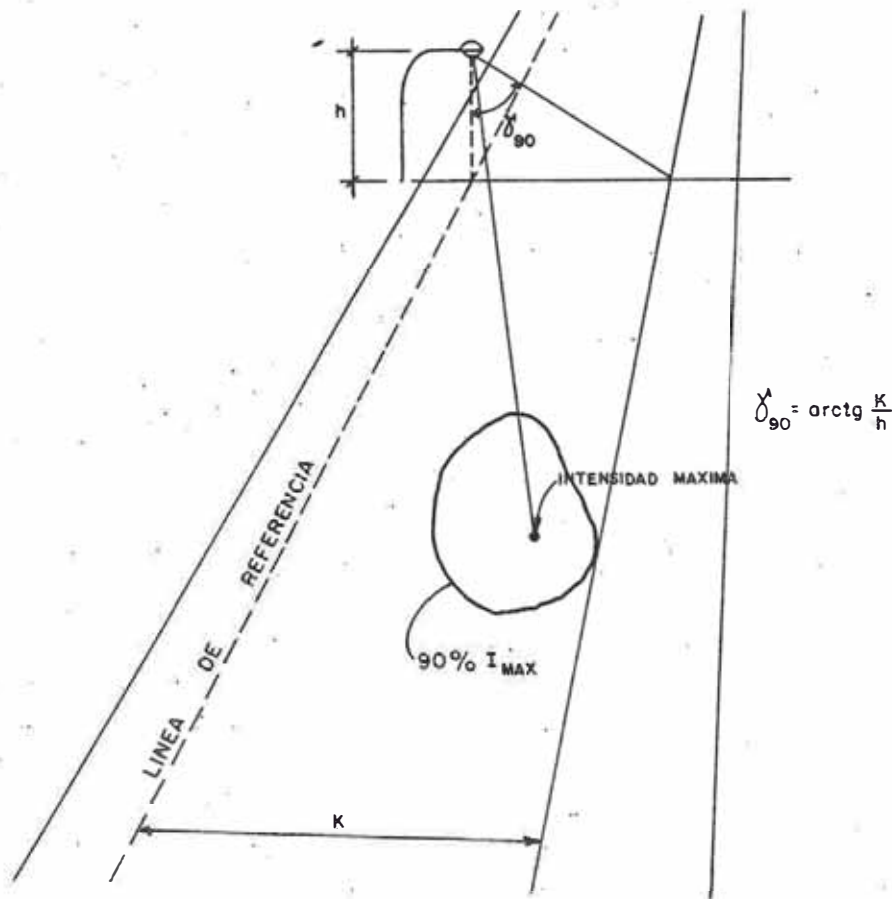
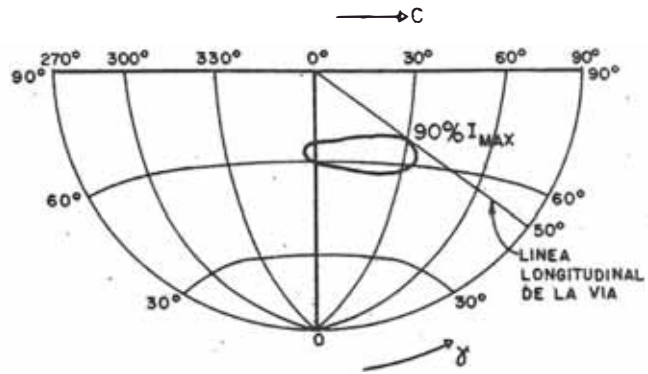


Figura 2.39 El diagrama isocandela sobre el plano de la vía muestra el contorno isocandela 90% I_{max} y la línea longitudinal de la vía más distante sobre el lado de la calzada que es tangente al contorno 90% I_{max} . La dispersión es el ángulo δ_{90} correspondiente a esta tangente en el plano $C=90^\circ$, o sea en el plano perpendicular al eje de la vía.

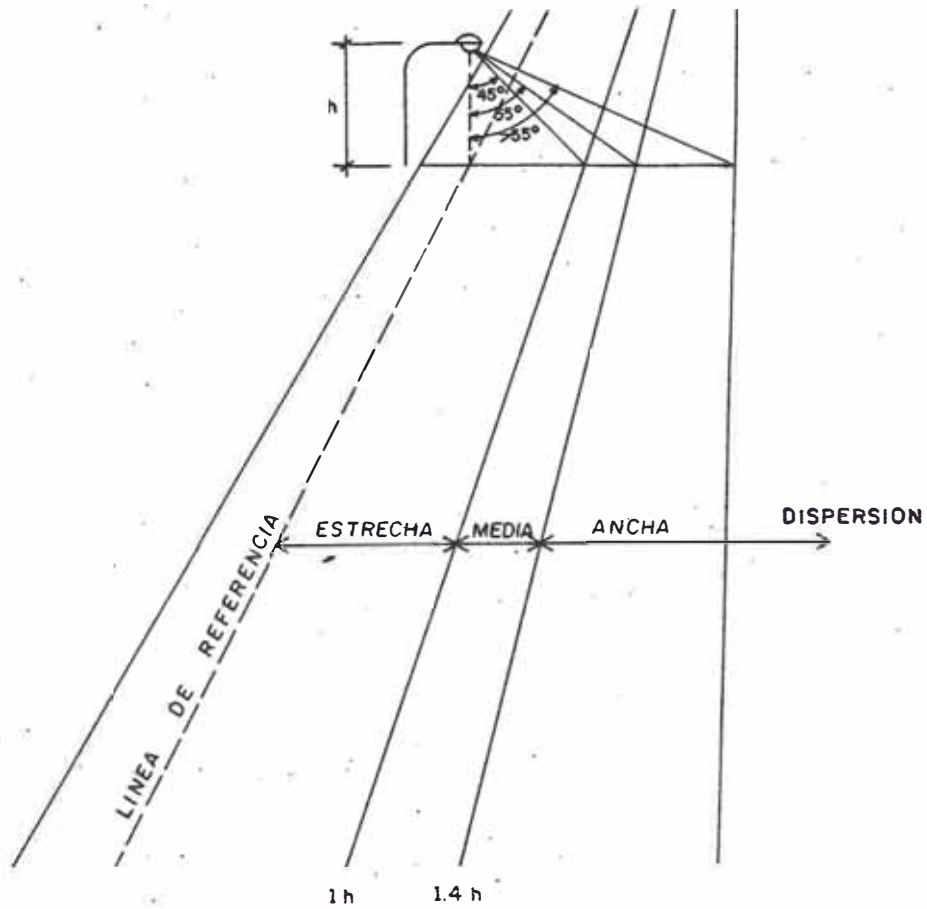


Figura 2.40 Grados de dispersión según la CIE: ESTRECHA , MEDIA y ANCHA.

Control

Es la capacidad de controlar el deslumbramiento producido por los rayos de luz de la luminaria en ángulos altos. El control se define por el índice específico de la luminaria (SLI) determinado por las características de la luminaria (SLI fue definido por la fórmula 1.3). El índice específico de la luminaria consiste de aquellos parámetros que intervienen en el índice de deslumbramiento (G) tratado en la sección 1.1.3.1.

Tabla 2.5 Grados de control de deslumbramiento

CONTROL	SLI
limitado	< 2
moderado	2 - 4
intenso	> 4

Si el valor de SLI es bajo en una instalación cuya altura de montaje es relativamente alta, el control de deslumbramiento será mejor que si se tuviera un valor más alto de SLI en una instalación con una altura de montaje normal.

2.2.5.2 Sistema de clasificación de la IES

La información mínima que debe tenerse en cuenta para la clasificación de las luminarias de Alumbrado de Vías Públicas es la que aparece en la figura 2.33, donde las líneas longitudinales de la vía (LLV) y las líneas transversales de la vía (LTV) sirven como patrones de clasificación.

La distribución adecuada del flujo luminoso de las luminarias es uno de los factores esenciales en la eficacia del alumbrado de vías. Generalmente, la distribución de la luz se selecciona para un rango determinado de condiciones.

Es necesario disponer de distintas distribuciones de luz para iluminar vías de diferentes anchos, con lo que el espaciamiento entre luminarias puede variar para una determinada altura de montaje de la luminaria.

La distribución de la luz de una luminaria puede ser clasificada según su:

- a) Distribución vertical o longitudinal
- b) Distribución lateral.
- c) Grado de control de deslumbramiento.

Para distintas relaciones espaciamiento/altura de montaje se pueden seleccionar diferentes tipos de distribución vertical. Igualmente, según sea el ancho de la vía en relación a la altura de montaje, se podrán tener en cuenta las distintas distribuciones laterales del flujo luminoso.

Mayores ángulos verticales de la intensidad máxima son necesarios para obtener una uniformidad de iluminancia dada, cuando existen grandes espaciamientos entre luminarias. La emisión luminosa en ángulos verticales mayores produce sobre la calzada una luminancia adecuada, la misma puede ser necesaria para producir el efecto silueta cuando el volumen de tránsito es relativamente pequeño.

Menores ángulos verticales de la intensidad máxima deben ser seleccionados para reducir el deslumbramiento; esto se recomienda cuando el flujo luminoso de las lámparas es intenso. Este tipo de distribución requiere que el espaciamiento entre luminarias sea menor, a fin de obtener la uniformidad de iluminancia deseada:

Distribución vertical o longitudinal de la luz

Se considera que la distribución vertical de la luz puede ser: corta, media o larga. Una luminaria es clasificada en uno de estos grupos de acuerdo a la ubicación del punto de la intensidad luminosa máxima en una zona limitada por ciertas líneas transversales de la vía indicadas en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Distribución vertical de la luz

DISTRIBUCION VERTICAL	ZONA TRANSVERSAL DONDE SE ENCUENTRA UBICADA LA INTENSIDAD LUMINOSA MAXIMA EN CANDELAS "TANTAS" VECES LA ALTURA DE MONTAJE (h)
corta	Entre 1.00 y 2.25 h
media	Entre 2.25 y 3.75 h
larga	Entre 3.75 y 6.00 h

La figura 2.41 muestra la relación del espaciamiento (S) a la altura de montaje (h) para luminarias con reflector, y la figura 2.42 señala los límites de la distribución vertical de la luz, recomendada por la IES, sobre un diagrama isocandela rectangular.

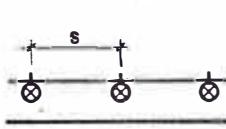
Distribución lateral de la luz

Se divide en 2 grupos, basados en la ubicación de la luminaria con relación al área a iluminarse. Solamente los contornos del 50% I_{max} que estén comprendidos en el rango de las distribuciones verticales de la luz (corta, media o larga) serán utilizados para establecer la clasificación

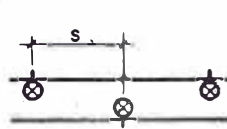


* Las intensidades máximas de las luminarias adyacentes deberían encontrarse sobre la superficie de la vía.

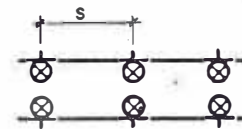
ESPACIAMIENTO MAXIMO (S) **		
DISTRIBUCION LONGITUDINAL	LUMINARIA	
	CON REFRACTOR	SIN REFRACTOR
corta	< 4.5 h	< 3.0 h
mediana	< 7.5 h	< 3.5 h
larga	< 12.0 h	< 4.0 h



DISPOSICION UNILATERAL



DISPOSICION EN TRESBOLILLO



DISPOSICION EN OPOSICION

Figura 2.41 Distribuciones típicas de alumbrado que muestran la relación del espaciamiento (S) a la altura de montaje (h).

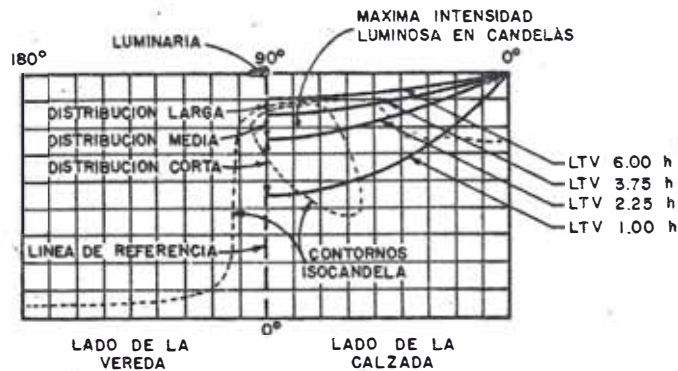


Figura 2.42 Distribución vertical de la luz. La localización del punto de máxima intensidad en candelas en estas zonas transversales, determina la clasificación de acuerdo a la IES. De acuerdo a la ubicación de la intensidad máxima (I_{max}) la distribución vertical puede ser: corta, media o larga.

de la distribución lateral de la luminaria. Esta es la clasificación de los "Tipos", que se establece localizando el contorno $50\% I_{\max}$ en el diagrama isocandela y notando su posición relativa con respecto a las líneas longitudinales de la vía. La figura 2.43 muestra las distribuciones laterales sobre una red rectangular.

Las luminarias en el centro o cerca del centro del área a iluminarse tienen una distribución luminosa igual a ambos lados de la línea de referencia longitudinal, es decir, tienen igual distribución de luz tanto hacia el lado de la calzada como hacia el lado de la vereda. En la figura 2.44 se aprecia que pertenecen a este grupo el Tipo I, Tipo I - 4 vías y el Tipo V, el cual se caracteriza por tener simetría circular en la distribución de la intensidad luminosa siendo esencialmente la misma en todos los ángulos laterales alrededor de la luminaria.

El segundo grupo de clasificaciones está conformado por luminarias montadas a un costado del área a iluminarse. Estas clasificaciones varían de acuerdo al ancho del rango de distribución sobre el lado de la calzada de la línea de referencia longitudinal. El contorno $50\% I_{\max}$ debe estar en el rango de las distribuciones verticales y en general es preferible que permanezca cerca a la línea de referencia longitudinal pudiendo cruzarla o no. Pertenecen a este grupo los Tipos II, III, IV y el Tipo II - 4 vías, éste último se deriva del Tipo II (ver figura 2.44).

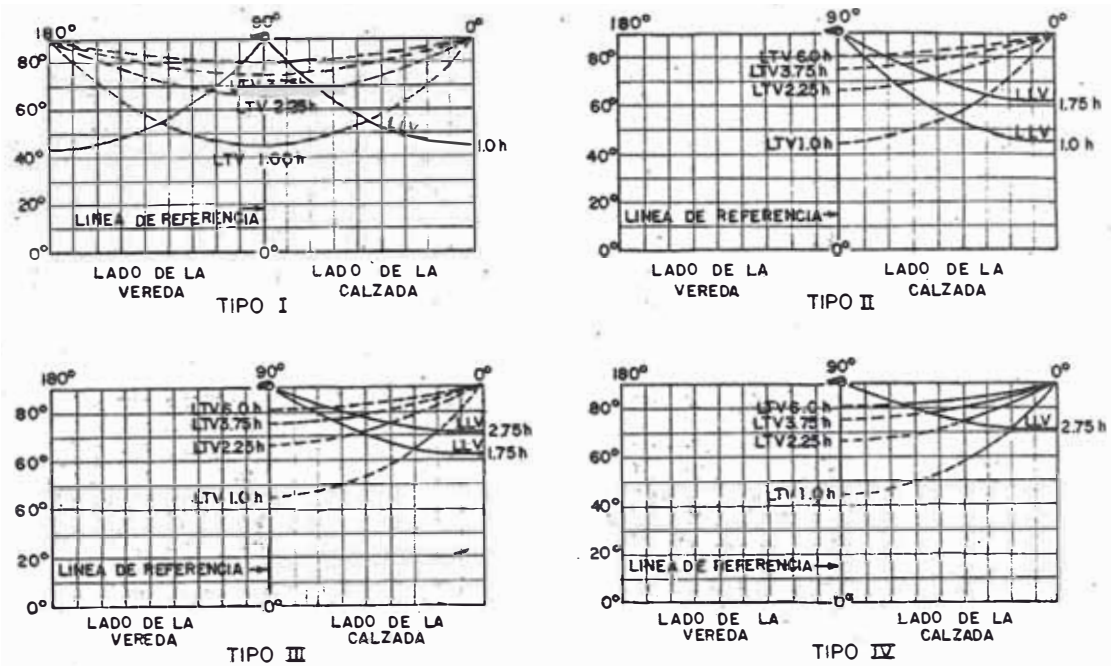


Figura 2.43 Distribución lateral de la luz. El tipo es definido por la ubicación del contorno 50% I_{max} con respecto a las líneas longitudinales de la vía (LLV), en el diagrama isocandela sobre una red rectangular.

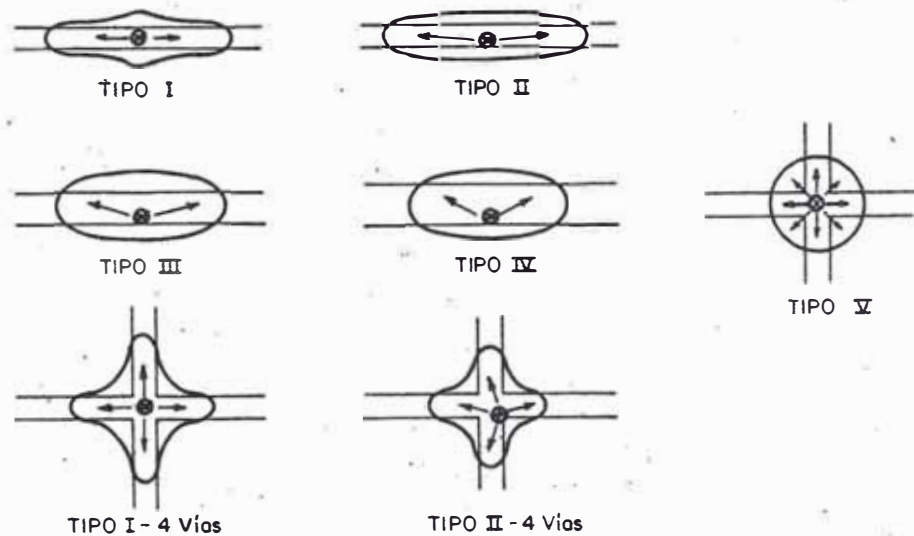


Figura 2.44 Tipos de la clasificación de la IES para la distribución lateral de la luz.

La tabla 2.7 define los diferentes tipos de la clasificación de la IES para la distribución lateral de la luz.

Tabla 2.7 Distribución lateral de la luz

TIPO I	El contorno 50% I_{max} se encuentra a ambos lados de la línea de referencia $LLV=0h$, pero no cruza las líneas longitudinales de la vía $LLV=1h$ tanto hacia el lado de la calzada como hacia el lado de la vereda en el rango de distribución vertical (corta, media o larga).
TIPO II	El contorno 50% I_{max} no cruza la $LLV=1.75h$ hacia el lado de la calzada en el rango de distribución vertical.
TIPO III	El contorno 50% I_{max} está limitado por la $LLV=1.75h$ y la $LLV=2.75h$ hacia el lado de la calzada en el rango de distribución vertical.
TIPO IV	El contorno 50% I_{max} cruza la $LLV=2.75h$ hacia el lado de la calzada en el rango de distribución vertical.

La figura 2.45 muestra la distribución vertical y lateral dada por la IES.

Grado de control del deslumbramiento

La emisión luminosa en ángulos verticales mayores incrementa generalmente la luminancia de la calzada, pero a la vez produce un incremento en los deslumbramientos de incapacidad e incomodidad. Sin embargo, el incremento y decremento de estos factores no son iguales, por lo que, se necesitan variados diseños para hacer una elección adecuada de la luminaria. En consecuencia, se requieren grados

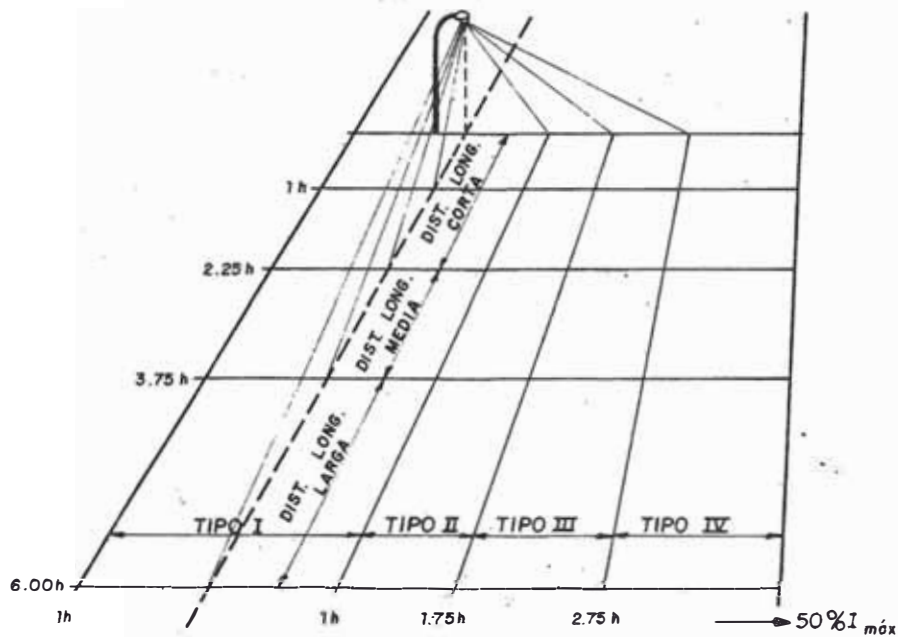
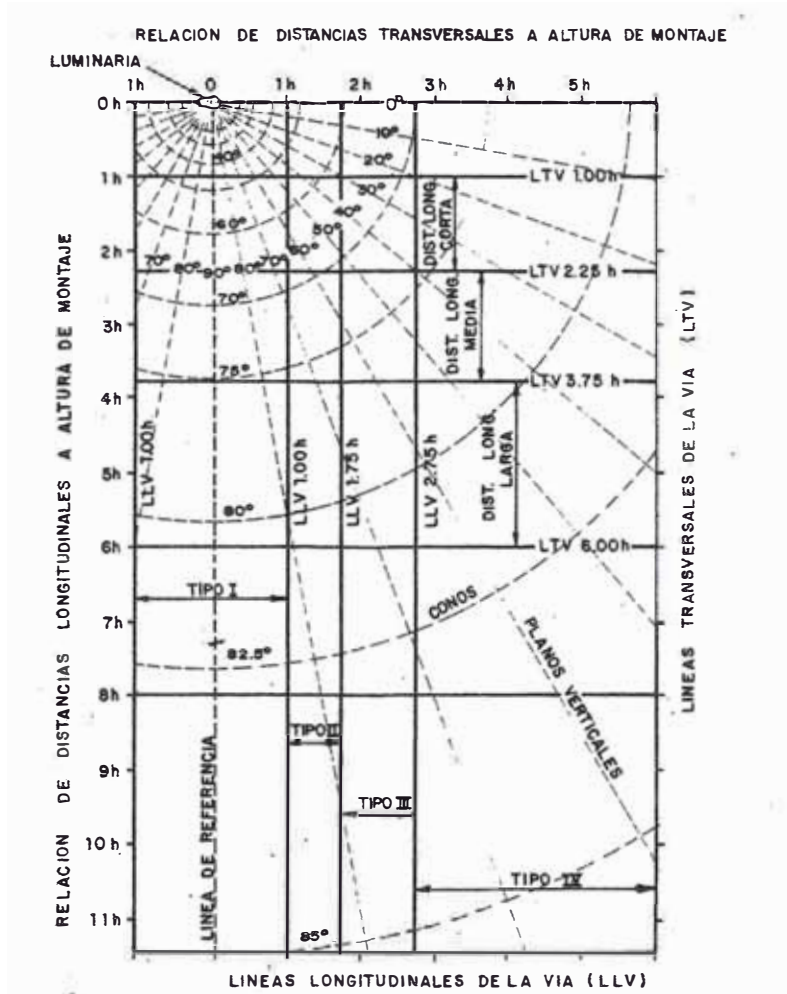


Figura 2.45 Clasificación de la IES. Tres grados de distribución vertical (posición de I_{max}) y cuatro grados de distribución lateral (posición del contorno $50\% I_{max}$).

variables de control de la intensidad luminosa en ángulos verticales mayores.

El grado de control del deslumbramiento es definido fácilmente en términos de la intensidad luminosa por cada 1,000 lúmenes de la lámpara en 80° y 90° sobre el nadir. Se divide en 3 categorías como sigue en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Control del deslumbramiento.

CLASIFICACION SEGUN EL GRADO DE CONTROL DEL DESLUMBRAMIENTO	MAXIMO VALOR PERMITIDO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA EMITIDA EN UN ANGULO DE ELEVACION DE:	
	80°	90°
CUTOFF (apantallado o haz recortado)	100 cd / 1,000 lm	25 cd / 1,000 lm
SEMICUTOFF (semi-apantallado o haz semi-recortado)	200 cd / 1,000 lm	50 cd / 1,000 lm
NONCUTOFF (no apantallado o haz no recortado)	cualquiera	cualquiera

2.3 Superficie de la calzada

La aplicación de la técnica de la luminancia en el Alumbrado de Vías Públicas requiere el conocimiento de las características de reflexión de la calzada.

Han sido desarrolladas bases teóricas para describir las propiedades reflectoras de las superficies de las calzadas y han sido establecidos sistemas de clasificación para superficies secas, de acuerdo a sus propiedades fotométricas, dando valores a ciertos parámetros.

Los conceptos más importantes para describir las propiedades reflectoras de la superficie de una calzada, así como los 3 parámetros que representan las características de reflexión de las superficies de las calzadas se encuentran en el Apéndice B de este mismo trabajo.

Las tablas de reflexión dan una descripción completa de las propiedades de reflexión de la superficie de una calzada.

El grupo de trabajo 8 del Comité Técnico TC 4-6 de la CIE ha hecho investigaciones para clasificar las superficies de las vías. Primeramente se propusieron 2 clasificaciones la N y la R, siendo la clasificación R característica de la mayor cantidad de superficies de vías encontradas en la práctica.

La tabla 2.9 nos muestra los valores característicos de las 4 clases R.

Tabla 2.9 Clasificación de las superficies de las calzadas

CLASE	LIMITES DE S1	PATRON S1	VALOR MEDIO Q_0	TIPO DE REFLEXION
RI	$S1 < 0.42$	0.25	0.10	casi difusa
RII	$0.42 \leq S1 < 0.85$	0.58	0.07	ligeramente difusa
RIII	$0.85 \leq S1 < 1.35$	1.11	0.07	ligeramente brillante
RIV	$1.35 \leq S1$	1.55	0.08	brillante

F. Burghout propuso una nueva clasificación de las calzadas, la que fue aceptada por el Subcomité TC 4-6-4 "Superficies de calzadas", del Comité Técnico TC 4-6 "Alumbrado de Vías" de la CIE.

Esta clasificación comprende sólo 2 grupos:

CI con $P(2,0) \leq 0.4$

CII con $P(2,0) > 0.4$

donde:

$P(2,0) = S1$

Las superficies de vías mayormente encontradas en la práctica tienden a agruparse en las clases RII y RIII de la CIE.

Se ha llegado a determinar que los concretos asfálticos pertenecen a las clases RII y RIII con tendencias a RIII,

por lo que la proposición de F. Búrghout de clasificar las superficies de las calzadas en sólo 2 clases es muy acertada, estando los concretos asfálticos agrupados mayormente en la clase CII.

Es muy importante destacar que cuando se quiera desarrollar un proyecto de alumbrado para una superficie nueva aplicando el criterio de la luminancia, las mediciones de las características de reflexión no se efectúen en el mismo terreno, sino que se hagan en otra vía que tenga similares características, pero que haya sido usada por lo menos 6 meses, ya que las características de reflexión cambian a preciablemente durante los primeros meses de uso.

La implementación de un Laboratorio en la Universidad Nacional de Ingeniería, permitiría la clasificación de las calzadas que existen en nuestro país, y así poder desarrollar los cálculos de luminancia de acuerdo a las recomendaciones de la CIE para cualquier proyecto de alumbrado vial.

Por el momento se tendrá una idea aproximada de las propiedades de reflexión de una superficie conociendo los materiales que la componen. La Publicación CIE Nº 30 (CIE, 1976a) da una tabla, que es reproducida a continuación (tabla 2.10), con ejemplos de materiales usados en la construcción de superficies de calzadas, ordenados de acuerdo a la probable clase a la que pertenecen. O sea que se puede establecer una relación entre los materiales que componen una vía (tabla 2.10) y la clase R (tabla 2.9) que la

caracterizan. Los concretos asfálticos pertenecen a la clase RIII mayormente, o CII según F. Burghout.

Tabla 2.10 Ejemplos de las 4 clases R de las superficies de las calzadas.

CLASE	MATERIALES
RI	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie de calzada de tipo asfáltico, con un 15% por lo menos de abrillantador artificial o al menos con un 30% de anortositas muy brillantes. - Revestimientos superficiales que contienen grava que cubre más del 80% de la superficie de la calzada, en los que la grava consta principalmente de abrillantadores artificiales o son al 100% de anortositas muy brillantes. - Superficies de calzada de hormigón.
RII	<ul style="list-style-type: none"> - Revestimientos superficiales que tienen una estructura áspera y contienen agregados normales. - Superficies asfálticas que contienen del 10 al 15% de abrillantadores artificiales. - Hormigón asfáltico grueso y áspero, rico en grava (máximo del 60%) de tamaños de 10 mm o más. - Asfalto de cemento de reacondicionamiento.
RIII	<ul style="list-style-type: none"> - Hormigón asfáltico (asfalto en frío, asfalto de cemento) con grava de gran tamaño, hasta 10 mm, pero de textura muy áspera (similar al papel de lija). - Revestimientos superficiales de textura gruesa, pulidos.
RIV	<ul style="list-style-type: none"> - Asfalto de cemento al cabo de varios meses de uso. - Superficies de calzada que tengan una textura bastante suave y pulida.

CAPITULO III

DISEÑO DEL ALUMBRADO

3.1 Cálculos

El diseño del alumbrado vial sirve para obtener la solución más apropiada que permita una visibilidad cómoda, rápida y segura a los usuarios de la vía durante la noche.

Los cálculos del alumbrado pueden ser ejecutados por medio de programas de cómputo (ver Tesis titulada "Cálculo de iluminación de exteriores por computadora" del Bach. Cipriano Guillén), sin embargo, cuando no se tiene al alcance la información requerida para hacer uso de este medio, se puede utilizar el método gráfico, en cuyo caso se debe tener información fotométrica de las luminarias para las condiciones normales del diseño.

Para condiciones especiales, como el caso de una curva pronunciada, también resulta útil el empleo de dichos datos fotométricos.

Con el método gráfico se puede calcular la iluminancia y la luminancia media, la uniformidad y el deslumbramiento.

Por último, los esquemas de alumbrado son muy útiles a nivel de anteproyecto y aún a nivel de solución básica cuando no se posee un programa de cálculo de luminancias puntuales. Para las secciones típicas más frecuentes se presentan algunos esquemas de iluminación. El proyectista debe ubicar el esquema de alumbrado que se asemeje más al requerido, y a partir de allí, aplicar un criterio sólido en la selección final de los elementos más apropiados de la solución definitiva.

3.1.1 Red de cálculo

La red de cálculo se encuentra entre 60 y 160 metros delante del conductor y cubre por lo menos el área comprendida entre 2 luminarias sucesivas a un mismo lado de la vía. Esta red sirve para el cálculo de la luminancia e iluminancia puntuales.

La CIE recomienda que si el espaciamiento entre luminarias no excede los 50 metros, se tomarán 10 filas transversales de puntos de cálculo igualmente espaciadas a lo largo de la vía y 5 puntos de cálculo por cada fila a través de cada senda de tránsito con un punto ubicado en el centro de cada senda. Si la uniformidad global $U_0 \geq 0.4$, los cálculos se pueden basar en 3 puntos en lugar de 5. Los 2 puntos extremos deben estar a 1/10 del ancho de la senda desde el extremo de la senda.

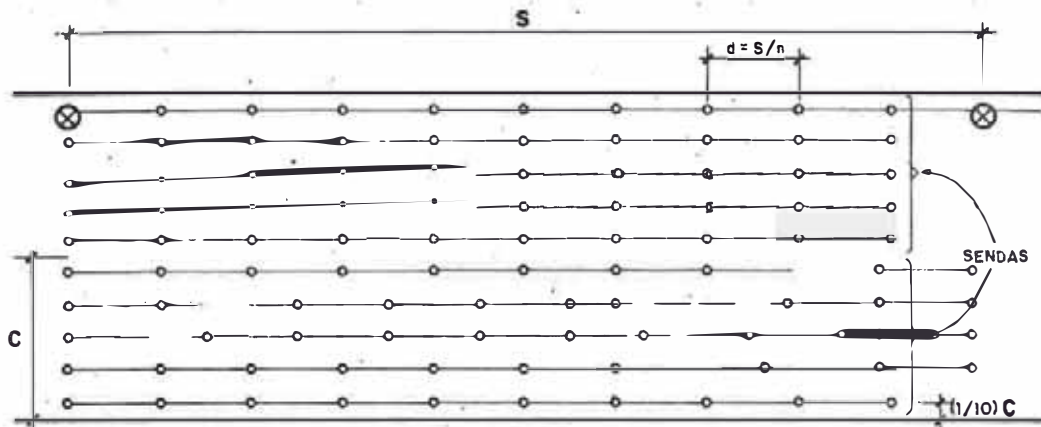


Figura 3.1 Esta es la red de cálculo recomendada por la CIE.
S = espaciamiento, d = distancia longitudinal entre puntos de cálculo,
n = número de filas transversales, C = ancho de cada senda.
Si $S \leq 50$ m, $n = 10$. Si $S > 50$ m, n es entero para el que $d \leq 5$ m.

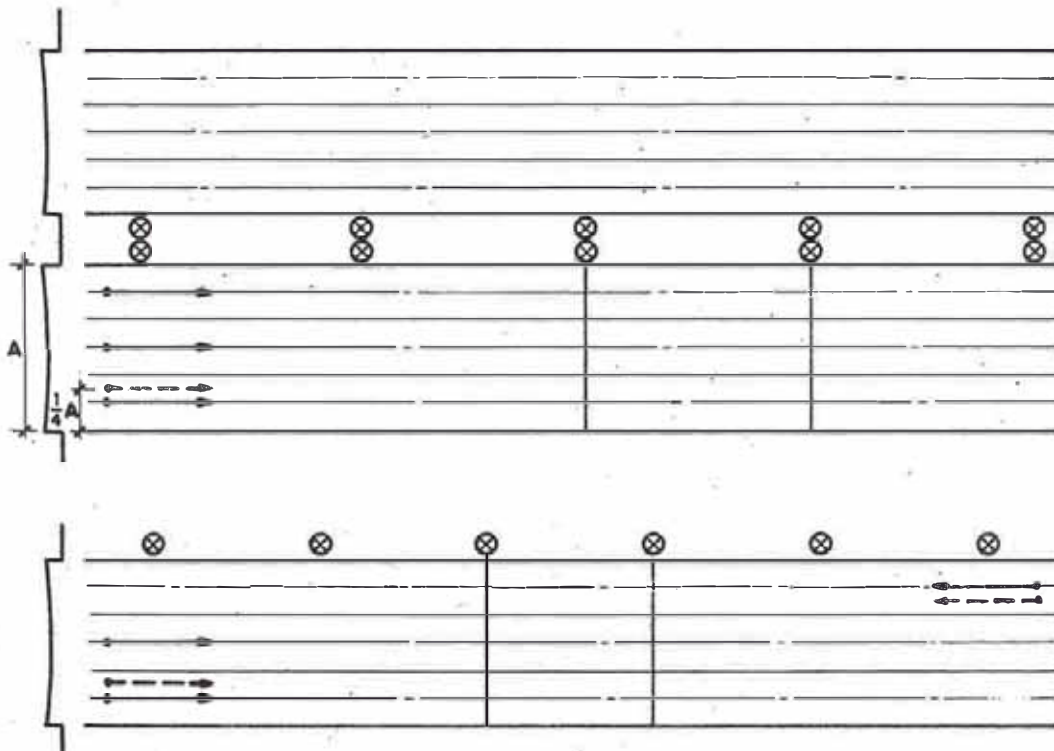


Figura 3.2 Ejemplo de posiciones de observación para secciones rectas.
-----> Puntos de observación (a 1/4 del ancho de la calzada) para el cálculo de la luminancia media y la uniformidad global.
———— Puntos de observación (en el eje de cada senda) para el cálculo de la uniformidad longitudinal.

3.1.2 Posiciones del observador

La posición más probable del observador debe ser conocida para hacer los cálculos de luminancia y deslumbramiento.

La posición del observador se fija especificando la altura del ojo del observador (la CIE define esta altura como 1.5 metros sobre la vía), su distancia al comienzo de la red de cálculo (posición longitudinal) y su distancia al borde de la vía (posición lateral).

3.1.2.1 Posición longitudinal

El observador se ubica a 60 m del comienzo de la red de cálculo. Sin embargo, para el cálculo del valor del incremento de umbral (TI), la posición longitudinal del observador será aquella que permita obtener el más alto valor de TI.

3.1.2.2 Posición lateral

La CIE define la posición lateral de acuerdo al cálculo que se quiera ejecutar. Para el cálculo de la luminancia media y uniformidad global, se considera al observador situado a 1/4 del ancho de la vía desde el extremo de la calzada. Esta posición es la "posición lateral normalizada del observador". Para el cálculo de la uniformidad longitudinal se considera una línea que pasa a través de un observador situado en el punto medio del ancho de la senda y frente a la dirección del flujo de tránsito.

3.1.3 Método gráfico en la solución de problemas

Este método se utiliza para calcular la iluminancia horizontal y la luminancia en los puntos de la red de cálculo, así como la iluminancia y luminancia media para cualquier disposición y sección de vía, utilizando los datos fotométricos dados para los distintos tipos de luminarias.

Iluminancia

El valor de la iluminancia horizontal relativa en un punto P sobre la vía es igual a la suma de las iluminancias parciales producidas sobre el punto P por todas las luminarias. En la práctica se toman en cuenta las 3 ó 4 luminarias más cercanas al punto considerado. Las demás contribuyen muy poco y pueden ser despreciadas. La iluminancia puntual se calcula con la siguiente fórmula:

$$E_p = \sum_{i=1}^n \frac{I_{\gamma C}}{h^2} \cos^3 \gamma \dots \dots \dots (3.1)$$

donde:

$I_{\gamma C}$ = Intensidad luminosa de la luminaria que llega al punto P.

n = Número de luminarias.

El valor de la iluminancia media sobre un área como la que se describió en la sección 3.1.1 puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

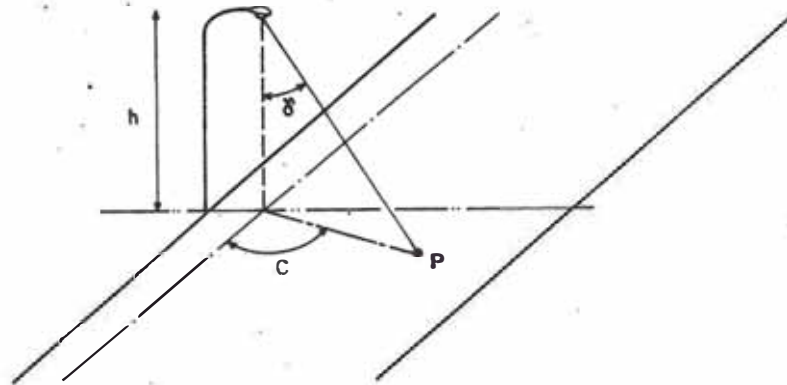


Figura 3.3 Iluminancia sobre un punto de la calzada.

$$E_{med} = \frac{\sum E_p}{n} \dots\dots\dots (3.2)$$

donde:

E_p = Iluminancia en cada punto P considerado.

n = Número de puntos regularmente distribuidos sobre el área.

En el método gráfico se utilizan los diagramas de la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Diagramas utilizados para el cálculo de la iluminancia.

CALCULO	DIAGRAMAS UTILIZADOS POR EL METODO GRAFICO
ILUMINANCIA EN UN PUNTO Y UNIFORMIDADES.	- Diagrama isoiluminancia (ISOLUX)
ILUMINANCIA MEDIA	- Diagrama del factor de utilización

3.1.3.1 Iluminancia en un punto

Se calcula del diagrama isoiluminancia como el mostrado en la figura 2.25 (diagrama isolux). El diagrama está especificado en términos de la altura de montaje de la luminaria por lo que es válido para todo valor de h .

Para obtener la iluminancia en un punto P se coloca el plano de la calzada dibujado en papel transparente sobre el diagrama isoiluminancia, el plano de la calzada debe estar a la misma escala que el diagrama con las distancias en múltiplos de la altura de montaje, la posición y orientación de la primera luminaria tiene que coincidir con el origen del diagrama tal como se muestra en la figura 3.4(a) La contribución hecha por esta luminaria a la iluminancia relativa en el punto P se lee directamente del diagrama. Se procede del mismo modo con las otras luminarias y se suman todos los valores leídos correspondientes a las luminarias que se encuentren más cerca del punto P .

El resultado se multiplica por un factor (K) para obtener el valor real de la iluminancia en el punto P de acuerdo a las condiciones dadas.

K dependerá del flujo luminoso real de la lámpara, de la altura de montaje real de la luminaria y tendrá que afectarse por el factor de mantenimiento (F.M.). K se calcula entonces por la siguiente relación:

$$K = \frac{(\varnothing_{\text{real de la lámpara}})}{(\varnothing_{\text{curva fotométrica}})} \times \frac{(h_{\text{curva fotométrica}})^2}{(h_{\text{real}})^2} \times \text{F.M.} \dots (3.3)$$

Otra forma de obtener la iluminancia en el punto P es colocando el plano de la calzada sobre el diagrama haciendo coincidir el punto P con el punto central del diagrama, pero girado 180°, tal como se aprecia en la figura 3.4 (b), leyéndose directamente del diagrama las contribuciones de todas las luminarias en sus respectivas proyecciones de L₁ a L₃ ó L₄ sin cambiar la posición del plano de la calzada. Se suman los valores leídos y se multiplican por el factor K para obtener el valor absoluto de la iluminancia en el punto P.

Con este método se puede determinar además las relaciones de uniformidad de iluminancia para lo cual se calcula la iluminancia de los puntos de la red de cálculo recomendada por la CIE (ver figura 3.1). Con la práctica solamente será necesario resolver unos cuantos puntos para conocer la iluminancia mínima y máxima de toda la instalación.

La uniformidad media o global ($E_{\text{min}}/E_{\text{med}}$) se calcula dividiendo la iluminancia mínima de toda la instalación por la iluminancia media cuyo valor se obtendrá aplicando el método de la sección 3.1.3.2.

La uniformidad longitudinal ($E_{\text{min}}/E_{\text{max}}$) de cada senda se obtiene dividiendo la iluminancia mínima por la iluminancia máxima de los puntos que pasan por el centro de la senda.

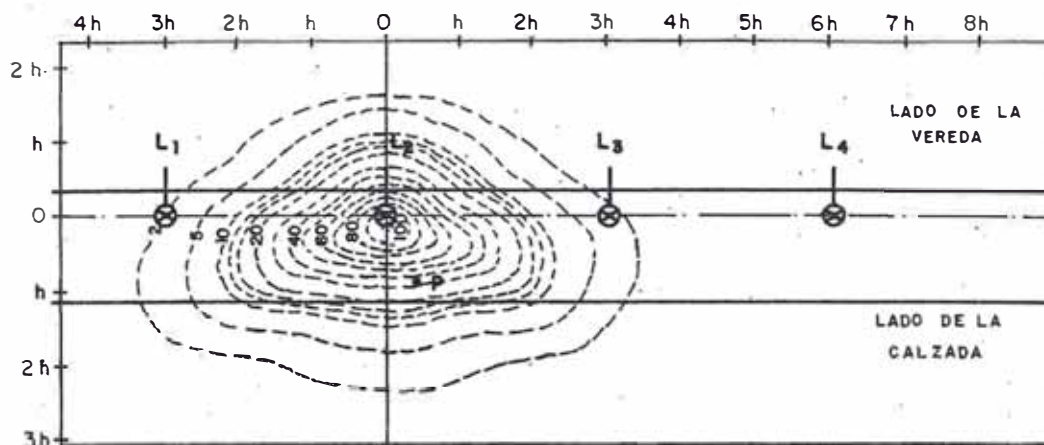


Figura 3.4 (a) El diagrama isoiluminancia debe ser situado sobre el plano de la calzada a la misma escala que éste, con su punto central sobre la proyección de la primera luminaria. Debe notarse la correcta orientación del lado de la vereda y del lado de la calzada del diagrama. La contribución de la primera luminaria a la iluminancia relativa en el punto P se lee directamente del diagrama.

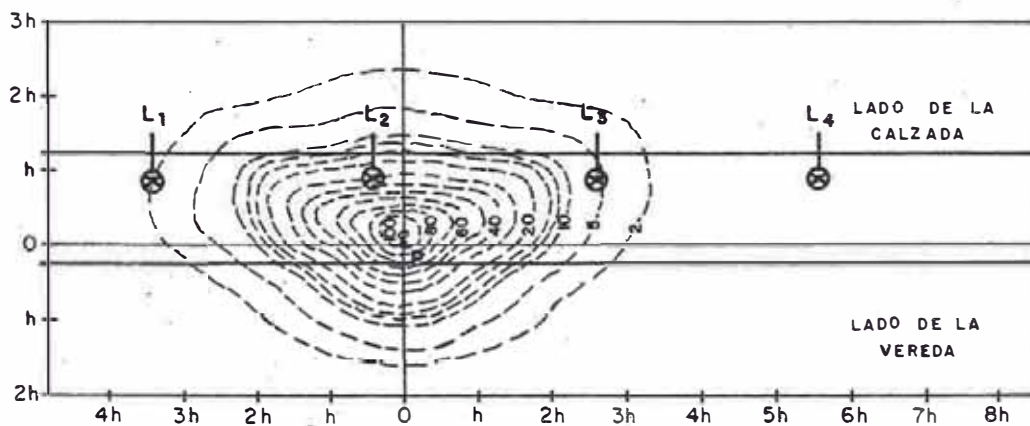


Figura 3.4 (b) El diagrama isoiluminancia se coloca con su punto central en el punto P girado 180° sobre el plano de la calzada. Las contribuciones de L1, L2 y L3 son leídas directamente en el mismo diagrama. Este método es más rápido que el descrito en la parte (a).

3.1.3.2 Cálculo de la iluminancia media por el método del factor de utilización

La iluminancia media para una vía recta de longitud infinita puede ser calculada rápida y fácilmente utilizando el diagrama del factor de utilización descrito en la sección 2.2.4.5.

El factor de utilización se define como la relación entre el flujo útil que llega a la calzada y el flujo emitido por la lámpara:

$$F.U. = \frac{\phi_{\text{útil}}}{\phi_L} \dots\dots\dots (3.4)$$

El valor del factor de utilización para una determinada sección de vía se lee directamente del diagrama de la figura 3.5 y luego se calcula la iluminancia media:

$$E_{\text{med}} = \frac{n \times \phi_L \times F.U. \times F.M.}{A \times S} \dots\dots\dots (3.5)$$

donde:

n = Número de lámparas por luminaria.

ϕ_L = Flujo luminoso inicial de una lámpara (en lm).

F.U. = Factor de utilización para una sección dada.

* A = Ancho de la calzada (en m).

* S = Espaciamiento entre luminarias (en m).

** F.M. = Factor de mantenimiento.

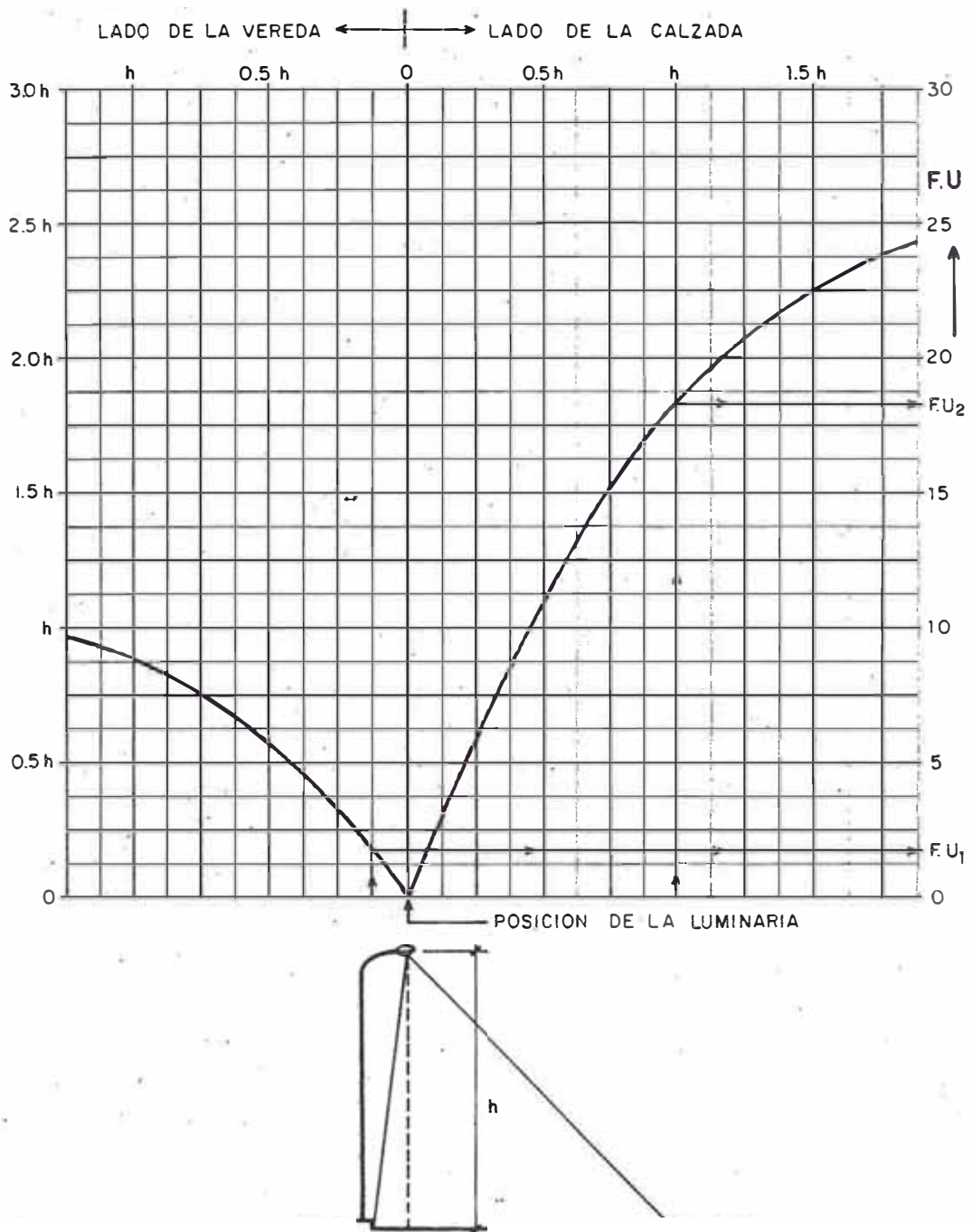


Figura 3.5 Diagrama del factor de utilización

$F.U_1$ = Factor de utilización hacia el lado de la vereda
 $F.U_2$ = Factor de utilización hacia el lado de la calzada.
 $F.U.$ = $F.U_1 + F.U_2$ = Factor de utilización total.
En el ejemplo $F.U.$ = 1.75% + 18.25% = 20.00%

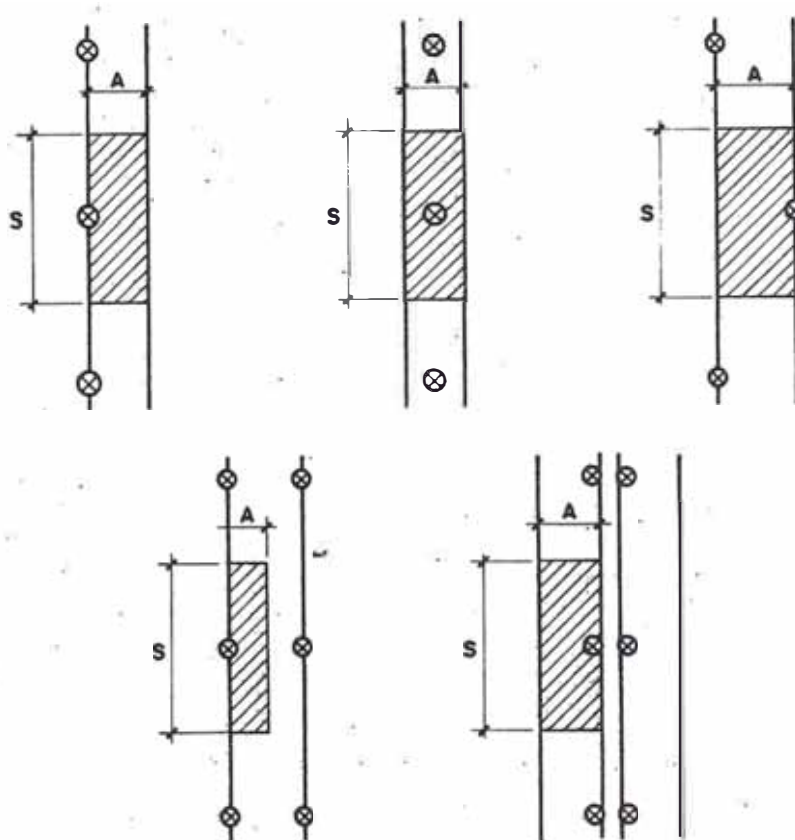


Figura 3.6 El producto $A \times S$ es el área promedio (área sombreada) que le corresponde iluminar a cada luminaria.

- * Es muy importante notar que el producto $A \times S$ es el área promedio que le corresponde iluminar a una luminaria (ver sección 6.1 "Disposiciones básicas de las luminarias") y sólo involucra el área correspondiente a las sendas, por consiguiente, no se debe incluir el área de las bermas, separadores centrales o laterales, etc.

La figura 3.6 muestra el área que debe ser considerada en la fórmula 3.5 para algunas disposiciones de las luminarias.

** El factor de mantenimiento (F.M.) incluye:

Factor de depreciación del flujo luminoso debido al envejecimiento de la lámpara

Casi al 70% de la vida media de la lámpara la pérdida del flujo luminoso es como se muestra en la tabla 3.2 , (valores aproximados).

Tabla 3.2 Factor de depreciación del flujo luminoso debido al envejecimiento de la lámpara. Depreciación al 70% de la vida media:

TIPO DE LAMPARA	FACTOR RECOMENDADO
Sodio de alta presión	0.85
Mercurio de alta presión	0.75
Luz mixta	0.74
Fluorescente tubular	0.85

Factor de conservación por suciedad

Depende de la acumulación de polvo y suciedad tanto en la parte interna como en la parte externa de las luminarias, por lo que se tomarán en cuenta las condiciones ambientales del lugar (sucio, limpio, etc) donde se encuentren instaladas, la clase de luminaria (abierta o cerrada) y el ciclo de limpieza de las mismas.

Los resultados de las investigaciones realizadas para determinar la disminución del flujo luminoso de la lumi

naria con el tiempo, se muestran en la tabla 3.3. Esta tabla proporciona valores de la depreciación para luminarias de diferentes tipos que tienen un ciclo anual de limpieza.

Tabla 3.3 Factor de depreciación para la luminaria.

TIPO DE LUMINARIA	FACTOR RECOMENDADO
Cerrada en alrededores limpios	0.88
Cerrada en alrededores sucios	0.80
Abierta en alrededores limpios	0.80
Abierta en alrededores sucios	0.75 - 0.55

Factor de la lámpara

Es la relación que existe entre el flujo emitido por la lámpara en la posición en que se instala y el flujo que emite en la posición vertical. En la práctica se puede asumir un valor de 0.95 únicamente cuando la lámpara se instala en posición próxima a la horizontal.

Otros factores que deben ser considerados son el factor del balasto y la tensión de la red que afectará al flujo luminoso en forma diferente según el tipo de balasto que se emplee.

El factor de depreciación para la "luminaria + lámpara" es el resultado de multiplicar estos factores. Los fabricantes dan valores aproximados del factor de mantenimiento (F.M.) en la información concerniente a las luminarias.

3.1.3.3 Cálculo de la iluminancia media por el método de los 9 puntos

El método de los 9 puntos sirve para calcular la iluminancia media de una instalación, haciendo uso de un luxímetro para determinar la iluminancia en determinados puntos sobre una pista de prueba o instalación existente. Se puede determinar la iluminancia media en 2 situaciones diferentes:

Primera

La primera, consiste en instalar una luminaria en una pista de prueba y marcar una red de puntos de medida tal como lo muestra la figura 3.7.

Como referencia se toman las LLV (líneas longitudinales de la vía) B, C y D ; y las LTV (líneas transversales de la vía) 1,2,3... para ubicar cualquier punto de la red.

Las LLV B y D se sitúan en los bordes de la calzada o filos de las veredas si éstas existen y la LLV C coincide con el eje de la vía. La LTV 1 pasa debajo de la luminaria, la LTV 2 está a una distancia $S/4$ de la luminaria y la LTV 3 está a una distancia $S/2$ de la misma.

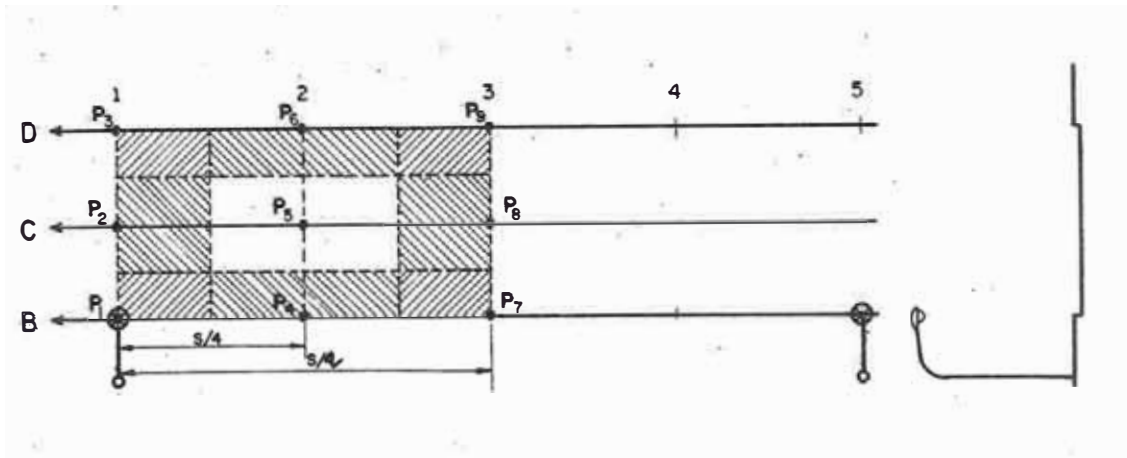


Figura 3.7 Red de puntos de medida, distribuidos regularmente sobre la calzada para obtener la iluminancia media de la instalación.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
B												
C												
D												

Figura 3.8 Los valores de la matriz indicada son leídos directamente con un luxímetro.

Se verifica que la tensión de alimentación sea la adecuada y con un luxímetro se toman las medidas que requiere la matriz de la figura 3.8.

Como la iluminancia horizontal en cualquier punto de la vía es igual a la suma de las iluminancias parciales producidas por las luminarias más cerca al punto dado, para las disposiciones más conocidas, las figuras 3.9 a 3.12 muestran que la iluminancia en cualquier punto P es igual a una sumato -

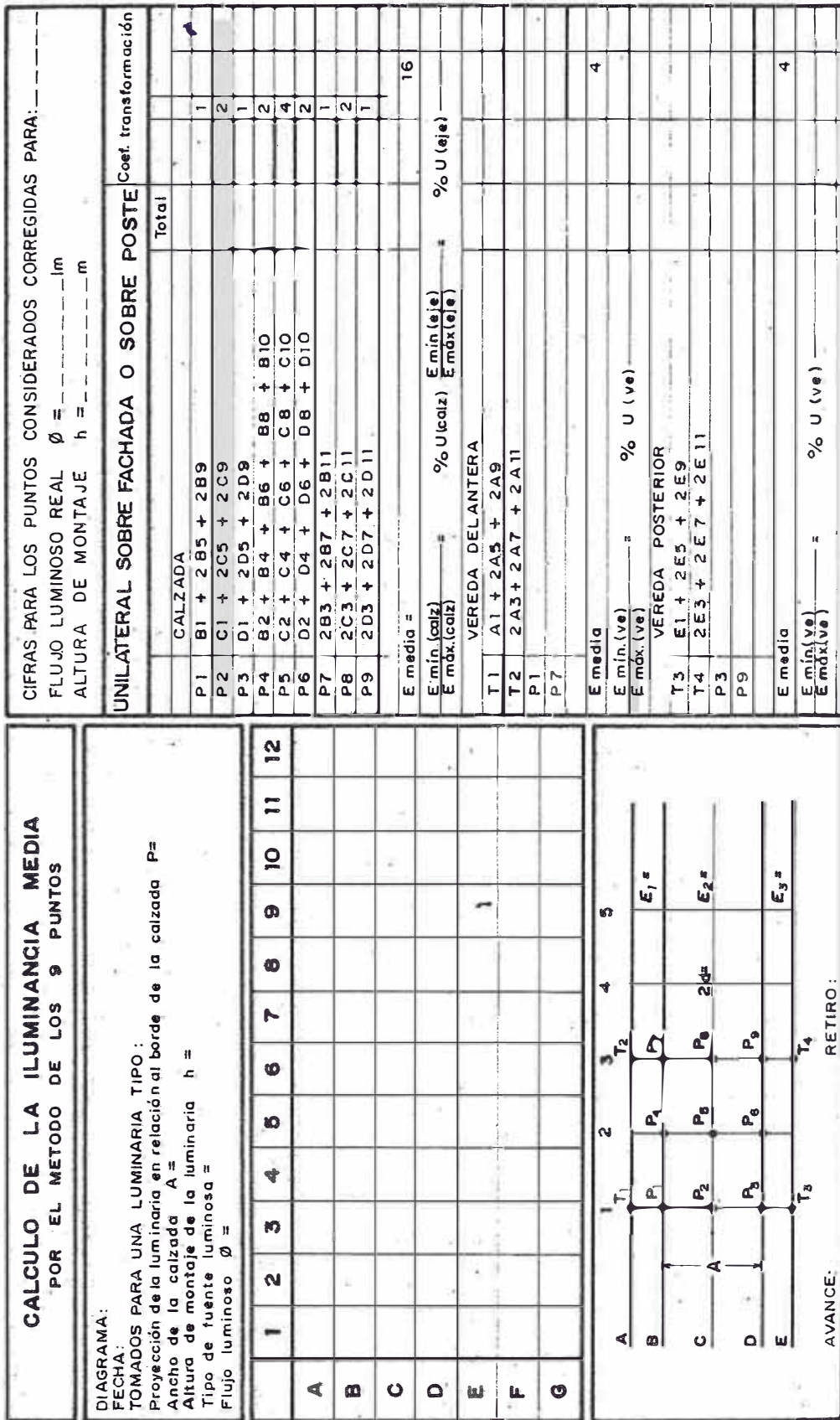


Figura 3.9 Cálculo de la iluminancia media por el método de los 9 puntos para una disposición unilateral

CALCULO DE LA ILUMINANCIA MEDIA POR EL METODO DE LOS 9 PUNTOS												
DIAGRAMA: FECHA: _____ TOMADOS PARA UNA LUMINARIA TIPO: _____ Proyección de la luminaria en relación al borde de la calzada P = _____ Ancho de la calzada A = _____ Altura de montaje de la luminaria h = _____ Tipo de fuente luminosa = _____ Flujo luminoso ϕ = _____												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A												
B												
C												
D												
E												
F												
G												

TRESBOLILLO											
CIFRAS PARA LOS PUNTOS CONSIDERADOS CORREGIDAS PARA: _____ FLUJO LUMINOSO REAL ϕ = _____ lm ALTURA DE MONTAJE h = _____ m											
											Total
CALZADA											
P1	B1 + 2D5 + 2B9										
P2	C1 + 2C5 + 2C9										
P3	D1 + 2B5 + 2D9										
P4	B2 + D4 + D6 + B8 + B10										
P5	C2 + C4 + C6 + C8 + C10										
P6	D2 + B4 + B6 + D8 + D10										
P7	B3 + B3 + B7 + D7 + B11										
P8	2C3 + 2C7 + 2C11										
P9	D3 + B3 + D7 + B7 + D11										
E media = _____											
E min (eje) = _____ E max (eje) = _____											
E min (ve) = _____ E max (ve) = _____											
E min (eje) = _____ E max (eje) = _____											
E min (ve) = _____ E max (ve) = _____											
VEREDA DELANTERA											
T1	A1 + 2E5 + 2A9										
T2	A3 + E3 + A7 + E7										
P1											
P7											
E media = _____											
E min (ve) = _____ E max (ve) = _____											
E min (eje) = _____ E max (eje) = _____											
VEREDA POSTERIOR											
T3											
T4											
P3											
P9											
E media = _____											
E min (ve) = _____ E max (ve) = _____											
E min (eje) = _____ E max (eje) = _____											
E min (ve) = _____ E max (ve) = _____											

Figura 3.10 Cálculo de la iluminancia media por el método de los 9 puntos para una disposición en tresbolillo

CALCULO DE LA ILUMINANCIA MEDIA POR EL METODO DE LOS 9 PUNTOS

DIAGRAMA:

FECHA: _____

TOMADOS PARA UNA LUMINARIA TIPO: _____

Proyección de la luminaria en relación al borde de la calzada P = _____

Ancho de la calzada A = _____

Altura de montaje de la luminaria h = _____

Tipo de fuente luminosa = _____

Flujo luminoso ϕ = _____

CIFRAS PARA LOS PUNTOS CONSIDERADOS CORREGIDAS PARA: _____

FLUJO LUMINOSO REAL ϕ = _____ lm

ALTURA DE MONTAJE h = _____ m

BILATERAL EN OPOSICION O BIAIXIAL												Coef transformación	
												Total	
CALZADA													
P1	P1 + P3			Unilateral									
P2	2P2			"									
P3	P1 + P3			"									
P4	P4 + P6			"									
P5	2P5			"									
P6	P4 + P6			"									
P7	P7 + P9			"									
P8	2P8			"									
P9	P7 + P9			"									
E media = _____													
E min.(calz) = _____													
E max.(calz) = _____													
VEREDA DELANTERA													
T1	A1 + E1 + 2A5 + 2E5 + 2A9 + 2E9												
T2	2A3 + 2E3 + 2A7 + 2E7 + 2A11 + 2E11												
P1	P1 + P3			Unilateral									
P7	P7 + P9			"									
E media = _____													
E min.(ve) = _____													
E max.(ve) = _____													
VEREDA POSTERIOR													
T3	A1 + E1 + 2A5 + 2E5 + 2E9 + 2A9												
T4	2A3 + 2E3 + 2A7 + 2E7 + 2A11 + 2E11												
P3	P1 + P3			Unilateral									
P9	P7 + P9			"									
E media = _____													
E min.(ve) = _____													
E max.(ve) = _____													

CALCULO DE LA ILUMINANCIA MEDIA POR EL METODO DE LOS 9 PUNTOS											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L

AVANCE:

RETIRO:

Figura 3.11 Cálculo de la iluminancia media por el método de los 9 puntos para una disposición en oposición

CALCULO DE LA ILUMINANCIA MEDIA POR EL METODO DE LOS 9 PUNTOS

DIAGRAMA:

FECHA:

TOMADOS PARA UNA LUMINARIA TIPO:

Proyección de la luminaria en relación al borde de la calzada P =

Ancho de la calzada A =

Altura de montaje de la luminaria h =

Tipo de fuente luminosa =

Flujo luminoso ϕ =

CIFRAS PARA LOS PUNTOS CONSIDERADOS CORREGIDAS PARA: _____

FLUJO LUMINOSO REAL ϕ = _____ lm

ALTURA DE MONTAJE h = _____ m

AXIAL														
											Total	Coef transformación		
CALZADA														
P1-3	B1	+	B5	+	B9									
P2	C1	+	C5	+	C9									
P4-6	B2	+	B4	+	B6	+	B8	+	B10					
P5	C2	+	C4	+	C6	+	C8	+	C10					
P7-9	2B3	+	2B7											
P8	2C3	+	2C7											
E medio =												16		
E min. (calz)												% U (calz)	E min. (eje)	
E max. (calz)												% U (eje)	E max. (eje)	
VEREDA DELANTERA														
T1	A1	+	2A5	+	2A9									
T2	2A3	+	2A7	+	2A11									
P1														
P7														
E medio												4		
E min. (ve)												% U (ve)	E min. (ve)	
E max. (ve)												% U (ve)	E max. (ve)	
VEREDA POSTERIOR														
T3	E1	+	2E5	+	2E9									
T4	2E3	+	2E7	+	2E11									
P3														
P9														
E medio												4		
E min. (ve)												% U (ve)	E min. (ve)	
E max. (ve)												% U (ve)	E max. (ve)	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	T ₁											
B	P ₁	P ₄	T ₂	P ₇								E ₁
C	P ₂	P ₅	P ₈	2A ₃								E ₂
D	P ₃	P ₆	P ₉									E ₃
E	T ₃		T ₄									

AVANCE:

RETRO:

Figura 3.12 Cálculo de la iluminancia media por el método de los 9 puntos para una disposición axial

ria cuyos valores parciales deben ser extraídos de la matriz de la figura 3.8.

La iluminancia media será obtenida de la siguiente fórmula:

$$E_{med} = \frac{(P_1 + P_3 + P_7 + P_9) + 2(P_2 + P_4 + P_6 + P_8) + 4(P_5)}{16} \quad (3.6)$$

De esta manera se comprueba si las características de una luminaria corresponden con lo señalado en las curvas fotométricas dadas por el fabricante, principalmente en lo que concierne a la curva del factor de utilización.

Siguiendo el mismo procedimiento, se puede medir además la iluminancia en ciertos puntos, los necesarios para hallar las uniformidades y así comprobar si la separación de diseño entre luminarias es la adecuada o hay que hacer alguna modificación.

Las figuras 3.9 a 3.12 muestran además los puntos considerados para el cálculo de la iluminancia media sobre las veredas.

El método de los 9 puntos puede hacerse extensivo para hallar la E_{med} de una instalación considerando más puntos, lo que daría mayor exactitud.

Segunda

La segunda, cuando la instalación existente es nueva, la iluminancia se mide sólo en los 9 puntos P de la figura 3.7

Cada medición es el resultado de la iluminancia producida por todas las luminarias más cerca del punto considerado por lo que no se necesita la matriz, y la aplicación directa de la fórmula 3.6 dará la iluminancia media de toda la instalación. En este caso el factor de mantenimiento prácticamente es la unidad.

Se puede hallar el factor de mantenimiento de una instalación dada comparando los valores de iluminancia medidos después de cierto tiempo con los valores que tuvo la instalación cuando estaba nueva. Se pueden tomar lecturas cada 6 meses por ejemplo, y determinar cuando un reemplazo o limpieza es necesario, teniendo en cuenta la depreciación mínima que la Norma Nacional recomienda.

Luminancia

La luminancia de un punto sobre la superficie de una vía es igual a la suma de las luminancias parciales producidas por las luminarias en ese punto. La luminancia total del punto P es:

$$L_P = \sum q(\beta, \delta) \cos^3 \delta \frac{I(C, \delta)}{h^2} \quad (3.7)$$

$$L_P = \sum r(\beta, \delta) \frac{I(C, \delta)}{h^2} \quad (3.8)$$

donde:

$I(C, \delta)$ = Intensidad luminosa de la luminaria en dirección al punto P indicada por los ángulos C y δ .

El cálculo de la luminancia puede determinarse por métodos gráficos de 2 formas. Su elaboración y aplicación se resume como sigue:

- a) El método del punto por punto permite el cálculo de la luminancia en puntos definidos; la luminancia media se obtiene promediando todas estas luminancias puntuales. El método utiliza 2 diagramas, uno representa a la distribución de la intensidad luminosa de la luminaria y el otro representa a las características de reflexión de la superficie de la vía.

El segundo método combina los efectos de la luminaria con una superficie de vía específica utilizando en primer lugar, el diagrama isoluminancia de una luminaria, a fin de calcular luminancias puntuales y uniformidades, y en segundo lugar, el diagrama del rendimiento en luminancia que permite hallar la luminancia media de vías rectas fácil y rápidamente.

Tabla 3.4 Diagramas utilizados para el cálculo de la luminancia.

CALCULO	DIAGRAMAS UTILIZADOS POR EL METODO GRAFICO
LUMINANCIA DE UN PUNTO Y UNIFORMIDADES.	- Diagrama isocandela Diagrama iso-r - Diagrama isoluminancia (iso cd/m^2)
LUMINANCIA MEDIA	- Diagrama del rendimiento en luminancia

3.1.3.4 Luminancia de un punto utilizando el método del punto por punto

Se necesitan 3 diagramas:

- a) Diagrama iso-r (también conocido como diagrama de reflexión o diagrama del coeficiente reducido de luminancia), que muestra las características de reflexión de la superficie de la vía (ver figura 3.13).
- b) Diagrama isocandela con la distribución de la intensidad luminosa de la luminaria proyectada sobre un plano horizontal (ver figura 3.14). Este diagrama debe estar a la misma escala que el diagrama iso-r y se recomienda que la altura de montaje (h) sea igual a 20 ó 10 mm. Las intensidades luminosas relativas son dadas por cada 1,000 lúmenes de la lámpara o como un porcentaje de la intensidad luminosa máxima.
- c) Plano de la vía (ver figura 3.15), con la ubicación de las luminarias (de 1 a 6), la posición "0" del observador y una red de puntos para los cuales los valores de luminancia tienen que ser calculados. El plano de la vía debe estar a la misma escala que el diagrama isocandela expresado en las mismas unidades de h.

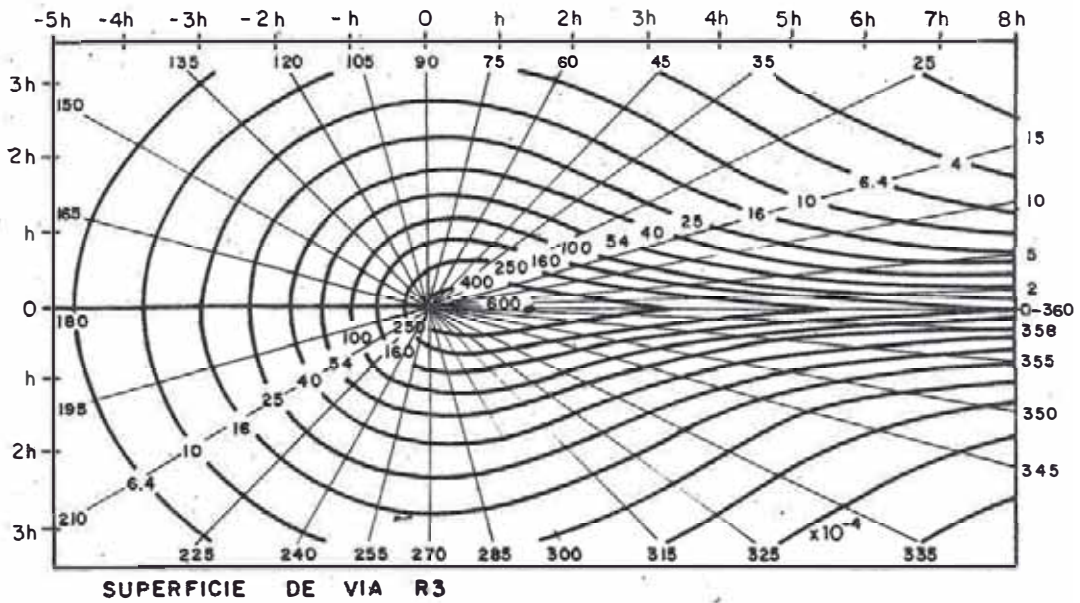


Figura 3.13 Diagrama iso-r (conocido también como diagrama del coeficiente reducido de luminancia o diagrama de reflexión de la calzada)

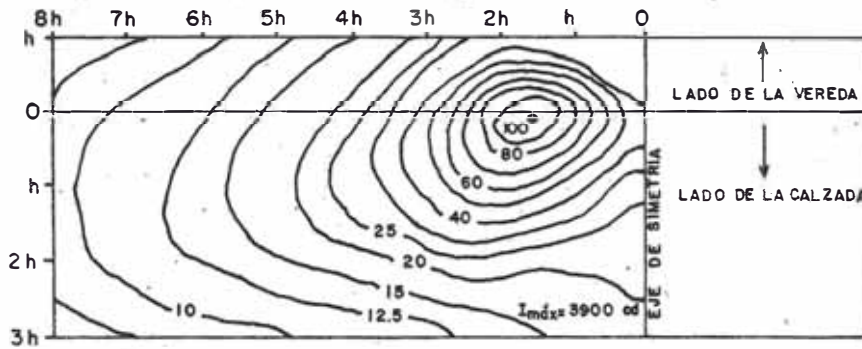


Figura 3.14 Diagrama isocandela de una luminaria dada.

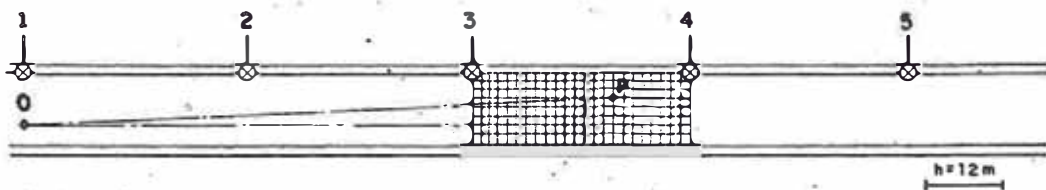


Figura 3.15 El plano de la vía debe estar a la misma escala que el diagrama iso-r y el diagrama isocandela.

La contribución de una luminaria (por ejemplo, la luminaria L_3 en la figura 3.16) a la luminancia en un punto P dado y para la posición "0" del observador se calcula como sigue:

El origen (0,0) del diagrama iso-r se ubica en el punto P y el eje principal del diagrama se orienta hacia la posición "0" del observador. Los valores de r (coeficiente reducido de luminancia) se encuentran en las posiciones de las luminarias L_1, L_2, L_3 , etc. Para la luminaria L_3 se observa que $r(P)=35 \times 10^{-4}$.

El origen (0,0) del diagrama isocandela se ubica en la posición de la luminaria (como ejemplo en L_3) y se orienta el diagrama en la misma forma que la luminaria (ver figura 3.17). La intensidad luminosa se lee directamente en el punto P . En el ejemplo, $I(P)=90\% I_{\max}=3,510$ cd.

El producto $r(P)$ por $I(P)$ dividido por h^2 da la contribución de luminancia en el punto P debido a la luminaria L_3 . Por consiguiente, la luminancia en P debido a la luminaria L_3 es:

$$\frac{35 \times 10^{-4} \times 3,510}{h^2} = 0.085 \text{ cd/m}^2$$

Este proceso debe ser repetido para todas las luminarias que contribuyen a la luminancia en el punto P (usualmente se consideran 2 luminarias hacia el observador y 3 ó 4 luminarias opuestas al mismo). La suma de todos estos valo-

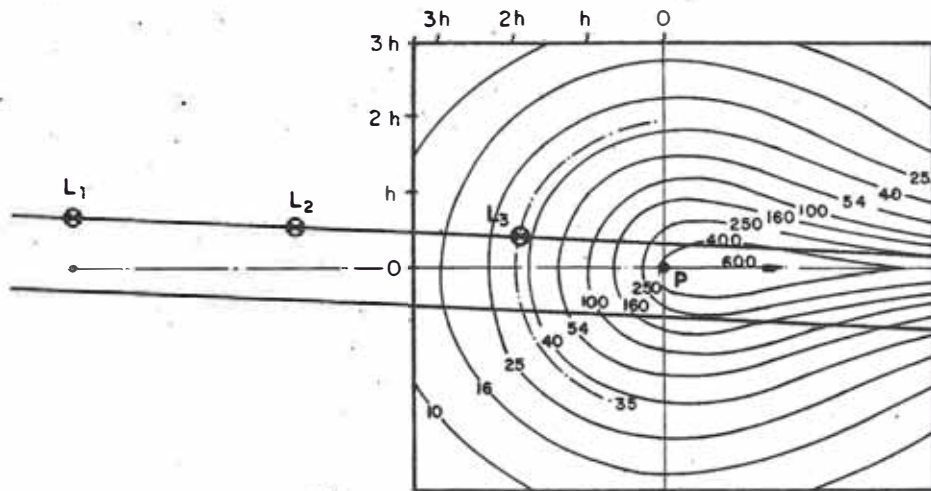


Figura 3.16 El origen (0,0) del diagrama iso-r se ubica en el punto P y el eje principal del diagrama se orienta hacia la posición "0" del observador. Para la luminaria L_3 se encuentra que $r(P)=35 \times 10^{-4}$.

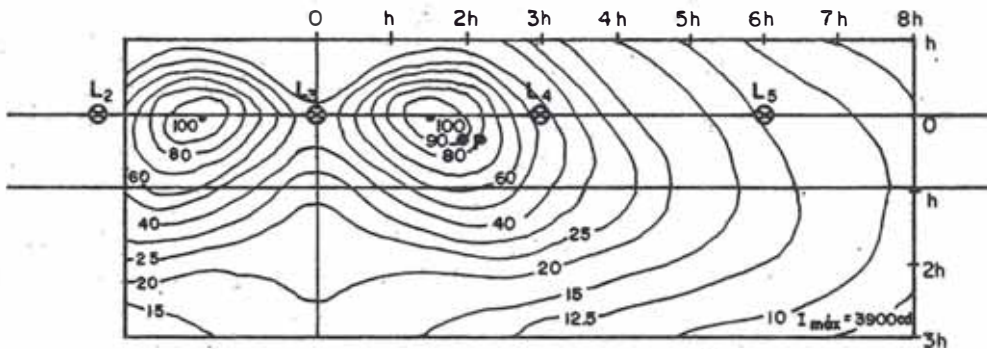


Figura 3.17 El origen (0,0) del diagrama isocandela se ubica en la posición de una luminaria (como ejemplo, en L_3) orientado en la misma forma que la luminaria. La intensidad luminosa se lee directamente en el punto P. En el ejemplo, $I(P)=90\% I_{\max}=3,510 \text{ cd}$.

res obtenidos determinan la luminancia total del punto P. El cálculo debe repetirse para obtener la luminancia de todos los puntos de la red con lo cual se permitirá hallar las uniformidades y la luminancia media de la superficie de la vía.

3.1.3.5 Luminancia de un punto y uniformidades utilizando el diagrama isoluminancia

Para encontrar las uniformidades se tiene que calcular una red patrón de valores de luminancia. El método del punto por punto descrito anteriormente demanda mucho tiempo para ser llevado a cabo manualmente, por lo que es posible calcular primero una luminancia patrón para una luminaria simple (diagrama isoluminancia) para determinadas posiciones del observador, tal como se describió en la sección 2.2.4.7 figura 2.28. Con la ayuda de este diagrama para una luminaria y superficie especificadas, la luminancia patrón de cualquier instalación de alumbrado puede ser fácilmente encontrada así:

a) Observador en la prolongación de la hilera de luminarias (observador en el plano $C=0^\circ$)

Como el diagrama isoluminancia ha sido hecho para un observador situado en el plano $C=0^\circ$, el método se aplica directamente.

Un plano visual de la vía con las posiciones de las luminarias y el observador se dibuja sobre una hoja

transparente a la misma escala que la utilizada por el diagrama isoluminancia.

- La posición de una luminaria en el plano de la calzada - en el ejemplo L_3 de la figura 3.18 (a) - se ubica sobre el origen (0,0) del diagrama isoluminancia, con el eje longitudinal de la vía en paralelo con el del diagrama. La luminancia de los puntos de interés se leen directamente del diagrama.

La luminancia de P_1 debido a la luminaria L_3 es:

$$L_{P_1} = 12.8\% L_{max}$$

La luminancia de P_2 debido a la luminaria L_3 es:

$$L_{P_2} = 6\% L_{max}$$

- Se repite el procedimiento para las otras luminarias, se suman los resultados obtenidos del diagrama isoluminancia obteniéndose la luminancia total de cada uno de los puntos considerados.
- Finalmente para encontrar el valor absoluto de la luminancia en cada punto P se aplica la siguiente fórmula:

$$L_p = L_r \times L_{max} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$L_p = L_r \times \frac{f \times \phi_L \times Q_0}{h^2} \dots\dots\dots (3.10)$$

donde:

L_p = Luminancia total relativa (L_r) multiplicada por la luminancia máxima (L_{max}) correspondiente a una luminaria.

f = Factor correspondiente al tipo de luminaria utilizada, dado en el mismo diagrama isoluminancia.

ϕ_L Flujo luminoso inicial de la lámpara desnuda.

Q_0 = Coeficiente medio de luminancia.

h Altura de montaje de la luminaria.

Para luminarias montadas en el lado de la mano derecha se debe tener cuidado de la correcta orientación del lado de la calzada y del lado de la vereda del diagrama:

b) Observador situado en un punto fuera de la hilera de luminarias

La luminancia de un punto situado entre el observador y la luminaria depende además de la distribución luminosa de la luminaria, de la posición del punto en relación al observador y luminaria.

El caso es diferente para un punto situado detrás de la luminaria cuya luminancia depende casi íntegramente de la distribución luminosa de la luminaria y en grado mínimo de la posición del observador, por lo que:

- Para puntos situados detrás de la luminaria, el diagrama isoluminancia se utilizará tal como se descri -

bió en (a), puesto que la luminancia en dichos puntos depende en grado mínimo de la posición del observador.

- Para puntos situados entre el observador y la luminaria, el eje longitudinal del diagrama debe cruzar la posición del observador, esto quiere decir que el diagrama isoluminancia debe girarse hasta que su eje longitudinal se alinie con la posición del observador, esto se muestra en la figura 3.18 (b), donde la luminancia relativa se lee directamente del diagrama, procediéndose para los cálculos en la misma forma que en el caso anterior.

La luminancia de P_1 debido a la luminaria L_4 es:

$$L_{P_1} = 100\% L_{max}$$

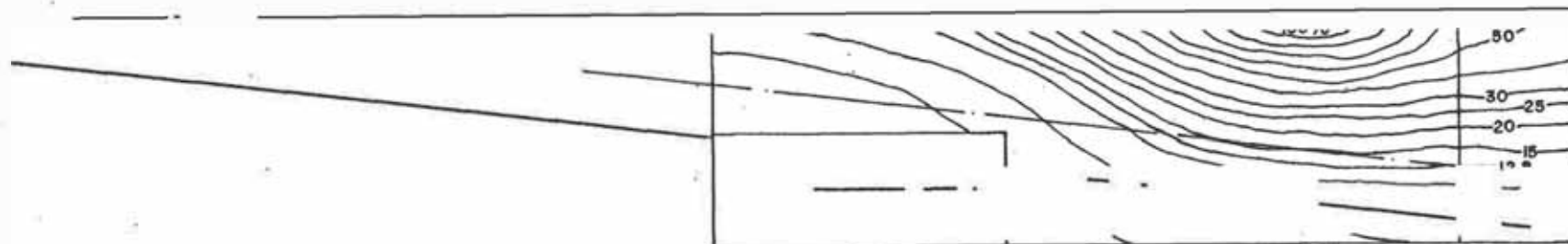
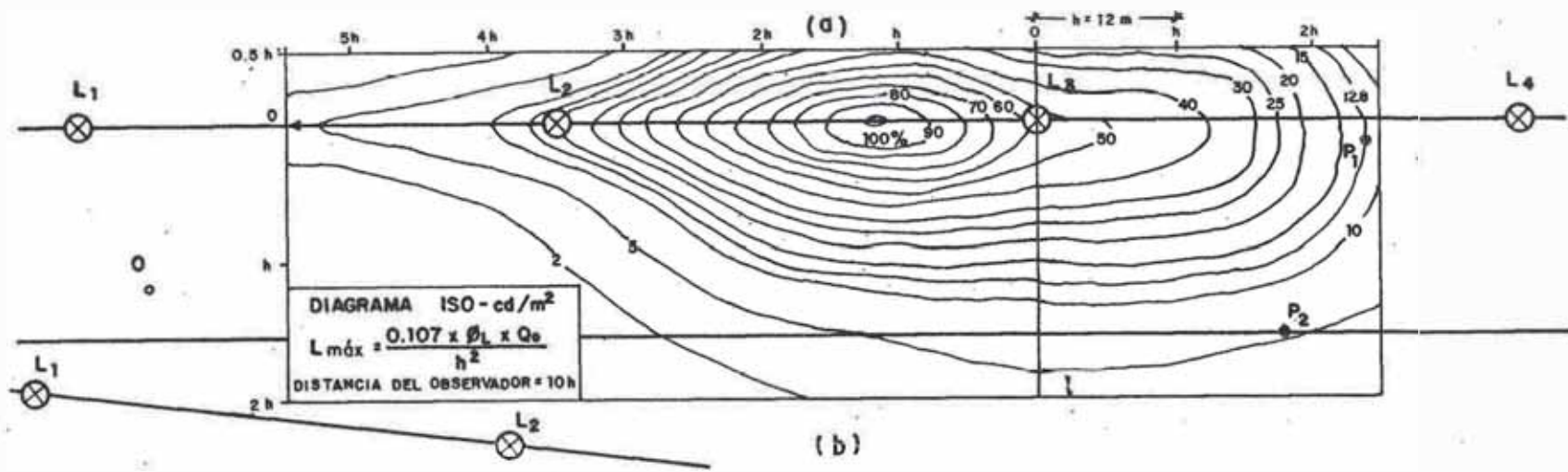
La luminancia de P_2 debido a la luminaria L_4 es:

$$L_{P_2} = 7\% L_{max}$$

El error que se comete con este método es del $\pm 10\%$ para un ángulo de giro que sea como máximo $\varphi = 5^\circ$. Si el observador se encuentra a una distancia $10 h$ de la luminaria, entonces no deberá alejarse más de $0.875 h$ del plano $C = 0^\circ$.

La luminancia de los puntos P_1 y P_2 debido a las luminarias L_1 y L_2 será:

	Punto P_1	Punto P_2
Debido a L_3 :	12.8% L_{max}	6.0% L_{max}
Debido a L_4 :	100.0% L_{max}	7.0% L_{max}
Luminancia total:	$L_{P_1} = 112.8\% L_{max}$	$L_{P_2} = 13.0\% L_{max}$



Para hallar la luminancia media de toda la instalación se puede calcular la luminancia de la red de puntos recomendada por la CIE (ver figura 3.1) y luego aplicar la siguiente fórmula:

$$L_{med} = \frac{\sum L_p}{n} \dots\dots\dots (3.11)$$

donde:

L_p = Luminancia de cada punto P.

n = Número de puntos considerados.

Este es un trabajo muy tedioso para ser hecho a mano, por lo que la luminancia media será calculada, preferiblemente, utilizando el método de la siguiente sección.

3.1.3.6 Luminancia media utilizando el diagrama del rendimiento en luminancia

El diagrama del rendimiento en luminancia permite el cálculo de la luminancia media de la superficie de una vía recta, o la determinación de la distancia entre luminarias para la cual cierto valor del nivel de luminancia requerido se satisficará.

El diagrama del rendimiento en luminancia se deriva de la luminancia media de la superficie de la vía encontrada en pequeñas zonas de 60 a 160 m de distancia de un observador. Normalmente el diagrama contiene 3 curvas para 3 posiciones laterales del observador (ver figura 2.27). El diagrama del rendimiento en luminancia es válido para un superfi

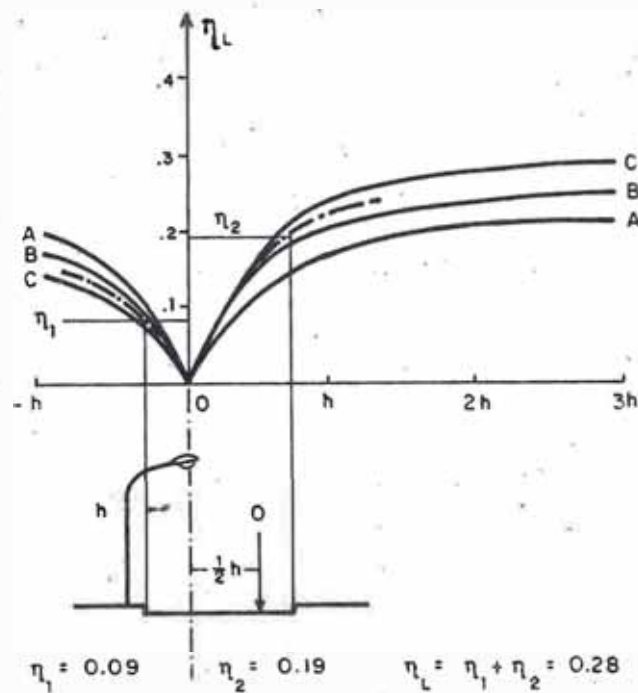


Figura 3.19 Para encontrar el factor del rendimiento en luminancia (η_L) se suman las contribuciones hacia el lado de la vereda y hacia el lado de la calzada.

cie particular de vía, si ésta pertenece a una clase normalizada, entonces el diagrama es típico para todas las vías pertenecientes a esta clase.

Para utilizar el diagrama se debe conocer la sección de la vía, la posición de la luminaria y la posición lateral del observador. Si la posición lateral del observador no coincide con una de las curvas dadas, la curva correcta puede ser hallada interpolando estas curvas (ver figura 3.19). Para encontrar el factor del rendimiento en luminancia (η_L) para una situación dada, se suman las contribuciones hacia el lado de la vereda y hacia el lado de la calzada. Para luminarias montadas a la mano derecha se debe comprobar la

correcta orientación del lado de la vereda y del lado de la calzada del diagrama. La luminancia media se obtendrá con la siguiente fórmula:

$$L_{med} = \frac{\eta_L \cdot \phi_L \cdot Q_0 \cdot F.M.}{S \cdot A} \dots\dots\dots (3.12)$$

donde:

η_L = Factor del rendimiento en luminancia.

ϕ_L = Flujo inicial de la lámpara (lm).

Q_0 = Coeficiente medio de luminancia (cd/lm).

F.M.= Factor de mantenimiento. Valor menor que 1.

3.1.3.7 Cálculo del Índice de Deslumbramiento (G)

El valor del deslumbramiento molesto está en función del índice de deslumbramiento (G), tal como se describió en la sección 1.1.3.1.

G puede ser calculado de dos formas diferentes. El primer método es una aplicación directa de la fórmula 1.2, este cálculo es tedioso cuando se ejecuta a mano, pudiendo ser fácilmente programado por la computadora; el segundo método es un diagrama que permite una rápida solución gráfica.

Las ventajas del método gráfico son las siguientes: no se necesita la computadora ni un cálculo especial; algunas indicaciones en relación a las relaciones funcionales entre las variables son directamente declaradas y; el gráfico indica directamente los límites de la aplicación de esta fórmula.

Ejemplo

Sea una instalación de alumbrado que utiliza luminarias con lámparas de mercurio de color corregido de 400 W ($\phi_L = 21,500 \text{ lm}$), con los siguientes datos:

$$I_{80} = 516 \text{ cd} = 5.16 \times 10^2 \text{ cd}$$

$$F = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I_{80}/I_{88} = 3.7$$

$$L_{\text{med}} = 1 \text{ cd/m}^2$$

$$h' = (h - 1.5 h) \text{ m} = (10 - 1.5) \text{ m} = 8.5 \text{ m}$$

$$S = 30 \text{ m}$$

El diagrama de la figura 3.20 sirve para hallar G así:

Ubicar el valor de la intensidad luminosa I_{80} (que se encuentra en la escala lateral derecha de la figura) de la luminaria empleada y trazar una línea horizontal desde este punto que se intersectará con una línea vertical trazada desde el valor F correspondiente al área emisora de luz de la luminaria. Este punto de intersección es el punto A en la figura. Del punto A se traza una línea que sigue paralelamente a las líneas inclinadas hasta llegar a la segunda zona correspondiente a la relación I_{80}/I_{88} . Hacer lo mismo para las 3 zonas restantes hasta llegar a la escala lateral izquierda, donde el valor G será ubicado. En el ejemplo, $G=5.58$ corresponde para un valor $c=0$, pero para una lámpara de mercurio de alta presión $c=-0.1$, por lo que el verdadero valor del índice de deslumbramiento para nuestro ejemplo es $G=5.58-0.1=5.48$ (deslumbramiento apenas aceptable)

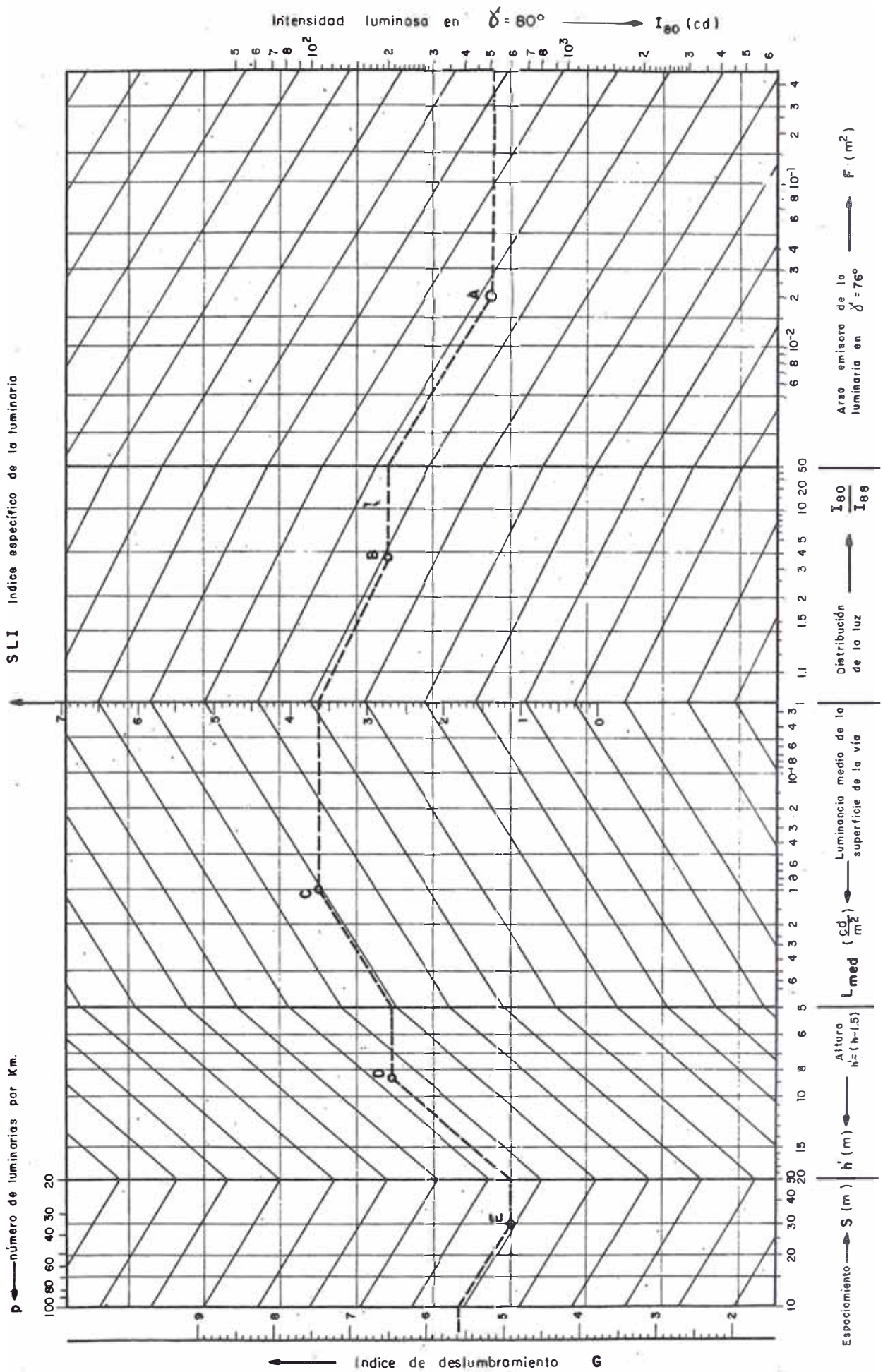


Figura 3.20 DIAGRAMA PARA HALLAR EL ÍNDICE DE DESLUMBRAMIENTO **G**

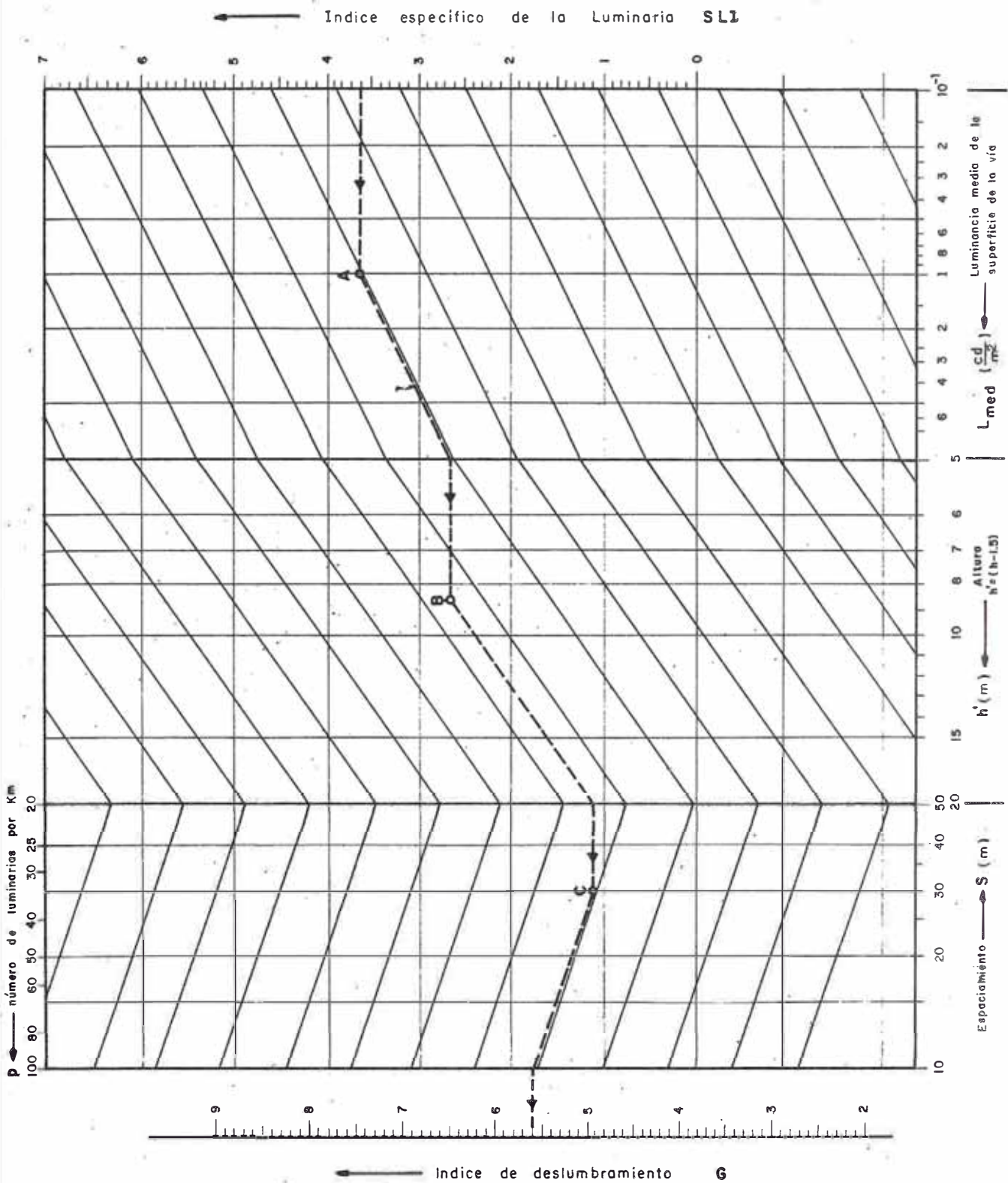


Figura 3.21 Diagrama para hallar el índice de deslumbramiento (G) cuando se conoce el índice específico de la luminaria (SLI).

Debe observarse que el valor SLI está a la mitad del diagrama en la escala graduada de 0 a 7. En el ejemplo, el valor de SLI es 3.63. Si el fabricante proporciona este valor, la figura 3.21 es más útil ya que permite una mayor aproximación de G.

3.1.3.8 Cálculo del Incremento de Umbral (TI)

El deslumbramiento perturbador está en función del incremento de umbral (TI) tal como se describió en la sección 1.1.3.2.

Ejemplo

Sea una instalación con los siguientes datos:

$$\begin{aligned}L_{\text{med}} &= 1 \text{ cd/m}^2 \\h &= 10 \text{ m} \\S &= 33 \text{ m} \\ \varnothing_L &= 9,600 \text{ lm}\end{aligned}$$

La distribución de la intensidad luminosa es como sigue:

θ C=0°	65	70	75	80	83	85	87	88	89	90
I cd/Klm	238	123	77	42	28	23	17	15	13	10

Para cuantificar el valor del deslumbramiento perturbador, primeramente se halla la luminancia de velo utilizando la figura 3.22 como sigue:

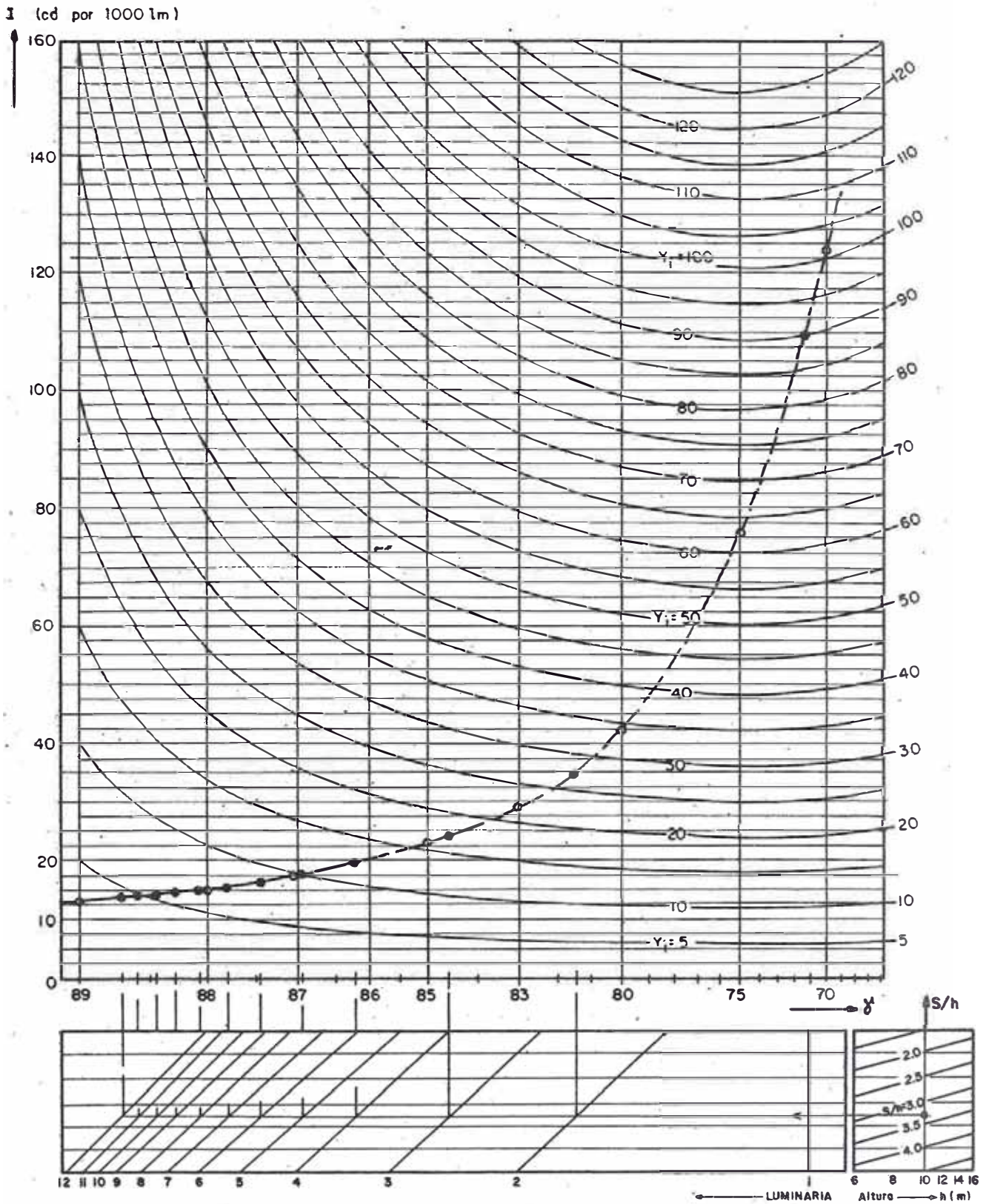
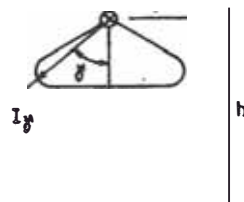


Figura 3.22 Diagrama para hallar la luminancia de velo (L_V).

- S = Espaciamiento en (m)
- h = Altura de montaje en (m)
- γ = Angulo medido desde el nadir



En el gráfico superior, la distribución de la intensidad luminosa en cd/Klm se traza como una función del ángulo γ para la luminaria en el plano $C=0^\circ$ (curva punteada).

Este método es válido sólo cuando el observador se encuentra ubicado en el plano $C=0^\circ$ y la primera luminaria que él ve aparece en una elevación angular de 20° para la dirección visual. Esto es equivalente a 19° con respecto a la horizontal o $\gamma=71^\circ$ respectivamente.

El pequeño gráfico inferior sirve para leer la posición angular de las luminarias para cualquier geometría dada. Se toman en cuenta 12 luminarias. Se ubica a la mano derecha la relación espaciamiento / altura de montaje y se traza una línea horizontal desde el punto S/h. Se proyectan los puntos, formados por la intersección de esta línea horizontal con las líneas sesgadas, verticalmente hacia arriba hasta cortar la curva punteada del gráfico superior. Con los 12 valores de Y_i de la escala lateral superior se obtiene el valor de L_v utilizando la siguiente fórmula:

$$L_v = \left(\frac{2.8 \times 10^{-3}}{(h - 1.5)^2} \right) \varnothing_L \sum Y_i \dots \dots \dots (3.13)$$

donde:

\varnothing_L = Flujo luminoso de la lámpara desnuda (en Klm).

Y_i = Valores tomados del diagrama de la figura 3.22.

Con los datos del ejemplo se obtiene:

LUMINARIA	Y_i
1	90.0
2	27.5
3	17.5
4	12.0
5	10.0
6	8.5
7	7.0
8	6.5
9	6.0
10	5.5
11	5.0
12	4.5

$$\sum Y_i = 200.0$$

De 3.12:

$$L_v = \frac{2.8 \times 10^{-3}}{(10 - 1.5)^2} \times 9.6 \times 200 = 0.075 \text{ cd/m}^2$$

Conocida la luminancia de velo (L_v), el incremento de umbral (TI) puede ser calculado utilizando la fórmula 1.10.

Gráficamente se puede utilizar la figura 3.23, donde la luminancia de velo $L_v=0.075$ da origen a un incremento aproximado de 4.9% en el umbral para una luminancia media de 1 cd/m^2 .

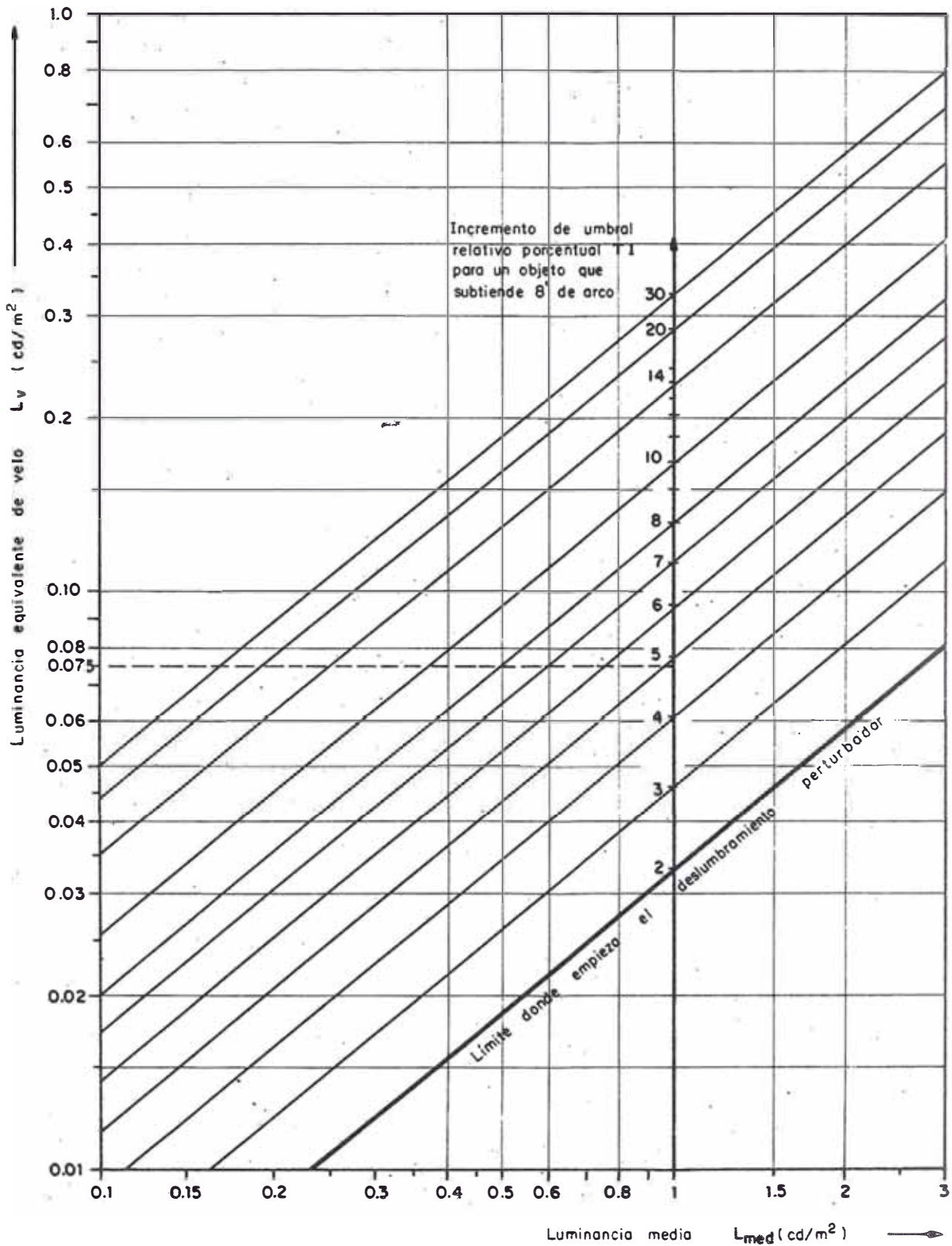


Figura 3.23 El incremento de umbral relativo (TI) se expresa como una función de L_v y L_{med} . En el ejemplo, para $L_v=0.075 \text{ cd}/\text{m}^2$ y $L_{\text{med}}=1 \text{ cd}/\text{m}^2$ el incremento de umbral será $\text{TI}=4.9\%$.

3.2 Ejemplo de un diseño de Alumbrado

Iluminación de la Avenida Abancay

3.2.1 Memoria Descriptiva

3.2.1.1 Generalidades

El presente proyecto se refiere a la sustitución de la actual iluminación bilateral con los postes ubicados en las veredas por otra más adecuada con postes, con 2 luminarias cada uno, ubicados en la berma central de la Av. Abancay, entre el Puente Ricardo Palma y la Av. Emancipación de la ciudad de Lima, que realiza el Municipio por intermedio de su ente financiero el INVERMET.

En el tramo considerado, la antigua iluminación comprendía 75 unidades de alumbrado con lámparas de luz mixta de 500W, en luminarias abiertas, y por lo tanto, expuestas a la contaminación producida por el escape de los vehículos de transporte colectivo. En tal situación, el nivel de iluminancia media en servicio, difícilmente podría exceder los 3 lux, con una regularidad muy por debajo de la prescrita en la Norma y Código Nacionales para este tipo de vía.

La potencia demandada con la instalación anterior (37.5KW) excede en algo más del 50% a la potencia requerida por la nueva instalación (24 KW), lo que significa alrededor de 5 millones de soles de economía anual por concepto de consumo de energía eléctrica a las tarifas actuales.

Los gastos de mantenimiento y reemplazo de lámparas se verán igualmente reducidos, no sólo por tratarse de menor número de unidades, sino también porque las lámparas a emplearse tienen una duración aproximadamente 4 veces mayor que aquellas a las que reemplazan.

La nueva instalación, además, producirá una iluminancia en servicio, entre 8 y 10 veces mayor que la producida por la instalación anterior.

3.2.1.2 Alcance

El proyecto comprende:

- a) Retiro de la instalación existente (bilateral desde las veredas).
- b) Preparación de los postes para ser colocados en la jardinera ubicada en la berma central.
- c) Alimentación eléctrica desde las redes existentes a los postes ubicados en cada cuadra.
- d) Instalación en la berma central de las unidades de alumbrado con 2 luminarias cada una.
- e) Instalación de 4 luminarias adicionales:
 - Una sobre el poste existente en el lado del Ministerio de Economía y Finanzas, que da frente al Jr. Miró Quesada.

- Las otras 3 irán colocadas sobre postes de 12 m, ubicados como se indica en planos: en el Jr. Miro Quesada, sobre Emancipación y en el Jr. Cusco.

Adendum

Adicionalmente al proyecto de Alumbrado Público, pero sin formar parte de él, ha sido prevista la instalación de una señalización luminosa en los paraderos de ómnibus, la misma que consta de un pequeño poste de sección cuadrada, de 3 m de altura, sobre cuyo brazo descansa un cubo luminoso en el que aparecen calados y en colores los números de las Líneas de Transporte que paran en dicho lugar. En su interior irá una lámpara de vapor de mercurio de 125 W y su correspondiente equipo auxiliar.

La alimentación eléctrica para la señalización luminosa de los paraderos se conectará a la actual red subterránea de Alumbrado Público existente debajo de las veredas.

Planos que forman parte del Proyecto:

PLANO	FECHA	TITULO	TAMAÑO
TG-01	Nov'84	Plano de ubicación-Módulo 2764	A3
TG-02	Nov'84	Poste de Alumbrado	A3
TG-03	Nov'84	Luminaria	A3
TG-04	Nov'84	Detalle de anclaje	A3
TG-05	Nov'84	Distribución de postes (1/6) Jr. Amazonas - Jr. Ancash	A3
TG-06	Nov'84	Distribución de postes (2/6) Jr. Ancash - Jr. Junín	A3
TG-07	Nov'84	Distribución de postes (3/6) Jr. Junín - Jr. Huallaga	A3
TG-08	Nov'84	Distribución de postes (4/6) Jr. Huallaga - Jr. Ucayali	A3
TG-09	Nov'84	Distribución de postes (5/6) Jr Ucayali Jr. Miró Quesada	A3
TG-10	Nov'84	Distribución de postes (6/6) Jr. Miró Quesada Jr. Cusco	A3

3.2.2 Cálculos Justificativos

Los cálculos de iluminación se han efectuado teniendo en cuenta las Normas DGE-02-AB-3, DGE-013-CS-1 y DEG-016-AP-1 aprobadas por la Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas y el Código Nacional de Electricidad - Tomo IV: Sistemas de Distribución.

3.2.2.1 Características de la vía

Vía de doble sentido con 4 sendas de 3.25 m. por calzada (ancho total por calzada $A=13.00$ m), separador central de 1.20 m.

Entre los factores que influyen en la determinación de la iluminación se consideran como los más importantes los siguientes:

a) Velocidad de circulación

Para este caso se considera entre 30 y 60 Km/hr.

b) Volumen de tránsito vehicular

Se estima que es importante (entre 500 y 1,000 vehículos/hora).

c) Tránsito peatonal

Se considera como muy importante.

3.2.2.2 Tipo de iluminación

De las apreciaciones anteriores y del hecho de estimar que la Av. Abancay es una vía colectora primaria que canaliza el tránsito hacia y del Rimac y hacia y de la zona central este de la Lima cuadrada, se concluye que dicha iluminación corresponde al TIPO II señalado en la Norma y Capítulo respectivo del Código Eléctrico del Perú.

3.2.2.3 Revestimiento de la calzada

El acabado de la calzada es asfáltico oscuro correspondiente a la clasificación RIV (clase de superficie, según la CIE).

3.2.2.4 Nivel de iluminación

Las precripciones antes señaladas indican para esta clase de calzada los siguientes valores:

Nivel de luminancia en servicio L_{med} : 1 a 2 cd/m^2

Nivel de iluminancia en servicio E_{med} : 20 a 40 lux

Valor elegido de luminancia:

$$L_{med} = 1.5 \text{ cd/m}^2$$

Como se ha elegido una luminaria de haz semi-apantallado y el revestimiento es asfáltico oscuro, se tendrá aproximadamente un coeficiente de luminancia $q=0.055$, por lo tanto, la iluminancia requerida bajo estas condiciones es de:

$$E_{med} = L_{med} / q = 27.27 \text{ lux}$$

3.2.2.5 Proyección de la luminaria en relación al borde de la calzada

$P = 0.00$ m.

3.2.2.6 Altura de montaje de la luminaria

$h = 12.00$ m.

3.2.2.7 Separación media entre postes

Espaciamiento mínimo $S_{\min} = 30.00$ m.

Espaciamiento máximo $S_{\max} = 44.50$ m.

$\bar{S} = 35.7$ m.

3.2.2.8 Disposición de las luminarias

Biaxial (postes colocados en el separador central).

3.2.2.9 Tipo de lámpara

Tubular de sodio de alta presión con ampolla transparente.

3.2.2.10 Tipo de luminaria

De acuerdo a la clasificación de la Comisión Internacional de Alumbrado (CIE) se ha especificado una luminaria con las siguientes características:

Alcance : γ_{\max} entre 60° y 70° (Intermedio) Ver figura 3.24.

Dispersión : γ_{90} entre 45° y 55° (Media) Ver figura 3.25.

Control SLI entre 2 y 4. Ver figuras 3.26 y 3.27.

SLI = Índice específico de la luminaria.

El índice de deslumbramiento (G) se calcula con la fórmula 1.2. Gráficamente se calcula de acuerdo a la sección 3.1.3.7 (ver figura 3.27). En el gráfico, $G=5.22$, pero para una lámpara de sodio de alta presión $c=+0.1$, por lo que el verdadero valor del índice de deslumbramiento será: $G=5.32$, que corresponde a un deslumbramiento apenas aceptable.

Según las prescripciones del Código Eléctrico del Perú, dichas características corresponden a una luminaria de haz semi-apantallado.

3.2.2.11 Inclinación de la luminaria

$$\alpha = 50$$

3.2.2.12 Factor de utilización

Ha sido determinado del diagrama respectivo. Ver figuras 3.28 y 3.29.

$$F.U. = 0.543$$

3.2.2.13 Factor de mantenimiento

Aunque la determinación más precisa de este factor está ligada al programa de limpieza de las luminarias (una vez al año) y del reemplazo de lámparas a las 16,000 horas (cada 4 años), se ha considerado un factor de mantenimiento de

DIAGRAMA POLAR DE LA INTENSIDAD LUMINOSA PARA LA LUMINARIA TIPO Z21N

CUBIERTA INFERIOR: PROTECTOR DE VIDRIO PULIDO
 PLANO VERTICAL PRINCIPAL: C = 25° - 155°
 REFLECTOR: DE ALUMINIO ABRILLANTADO Y ANODIZADO
 FUENTE: LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESION TUBULAR
 POTENCIA: 250 WATTS

DIAGRAMA TRAZADO PARA UN FLUJO DE 1,000 LUMENES
 $I_{MAX} = 505 \text{ cd}$ $90\% I_{MAX} = 455 \text{ cd}$

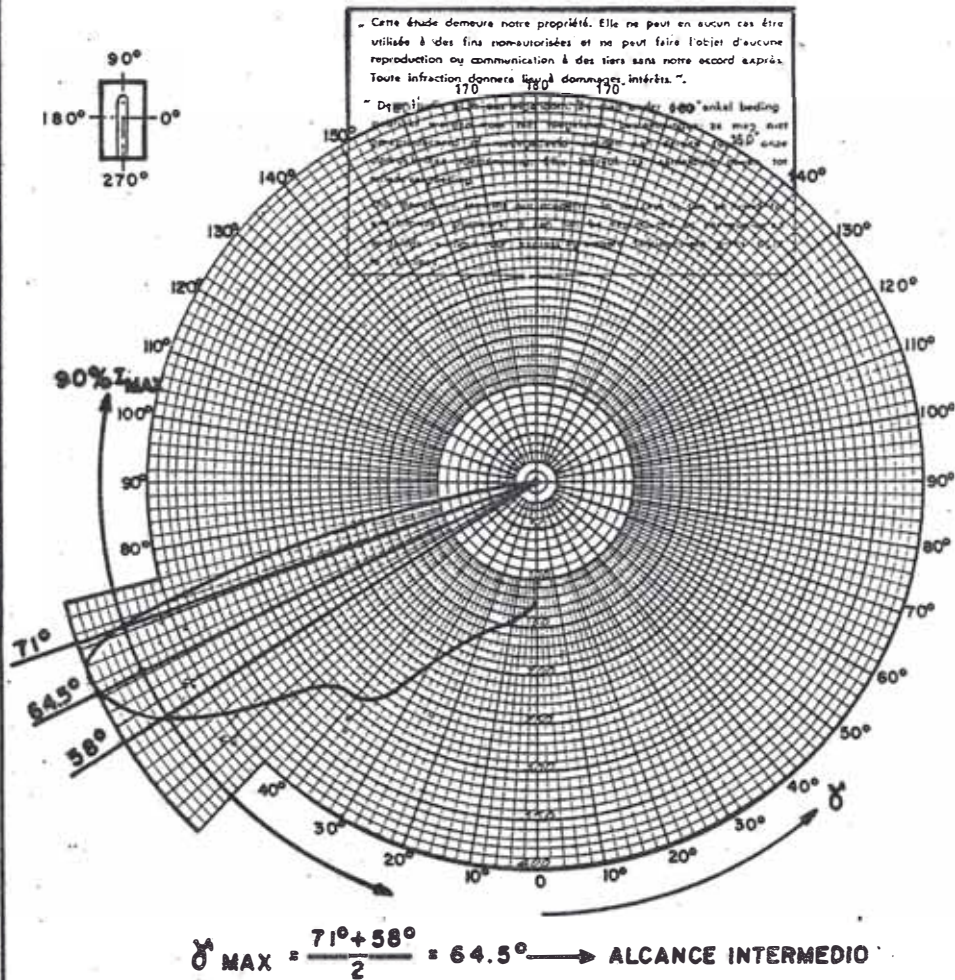


Figura 3.24 El ángulo γ_{max} es el promedio de los 2 ángulos de elevación del contorno $90\% I_{max}$ en el plano vertical principal. γ_{max} define el alcance de la luminaria. En nuestro caso para $\gamma_{max} = 64.5^{\circ}$ le corresponde un alcance intermedio de acuerdo a la CIE.

DIAGRAMA ISOCANDELA SOBRE UNA RED SINUSOIDAL PARA LA LUMINARIA TIPO Z2IN

CUBIERTA INFERIOR: PROTECTOR DE VIDRIO PULIDO INCLINACION: 5°
 REFLECTOR: DE ALUMINIO, ABRILLANTADO Y ANODIZADO FUENTE: LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESION TUBULAR
 POTENCIA: 250 WATTS
 DIAGRAMA TRAZADO PARA UN FLUJO DE 1,000 LUMENES I MAX = 505 cd 90% I MAX = 455 cd

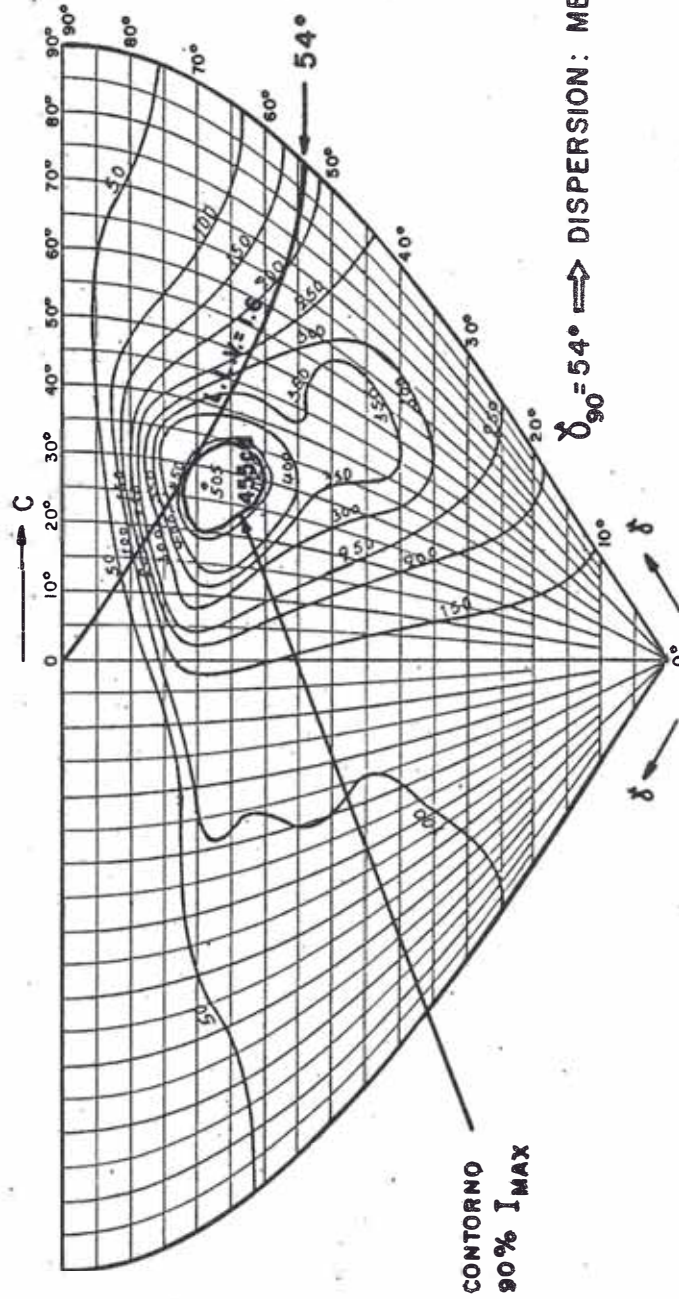


Figura 3.25 La línea longitudinal de la vía más distante sobre el lado de la calzada (LLV=1.6) es tangente al contorno 90% I_{max}. La dispersión es el ángulo δ' de esta tangente en el plano C=90°. En nuestro caso, para $\delta'_{90}=54^\circ$ le corresponde una dispersión media de acuerdo a la CIE.

DIAGRAMA POLAR DE LA INTENSIDAD LUMINOSA PARA LA LUMINARIA TIPO Z21N

CUBIERTA INFERIOR: PROTECTOR DE VIDRIO PULIDO

PLANO VERTICAL LONGITUDINAL: $C = 0^\circ - 180^\circ$

PLANO VERTICAL TRANSVERSAL: $C = 90^\circ - 270^\circ$

REFLECTOR: DE ALUMINIO ABRILLANTADO Y ANODIZADO

FUENTE: LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESION TUBULAR

POTENCIA: 250 W

DIAGRAMA TRAZADO PARA UN FLUJO DE 1,000 LUMENES

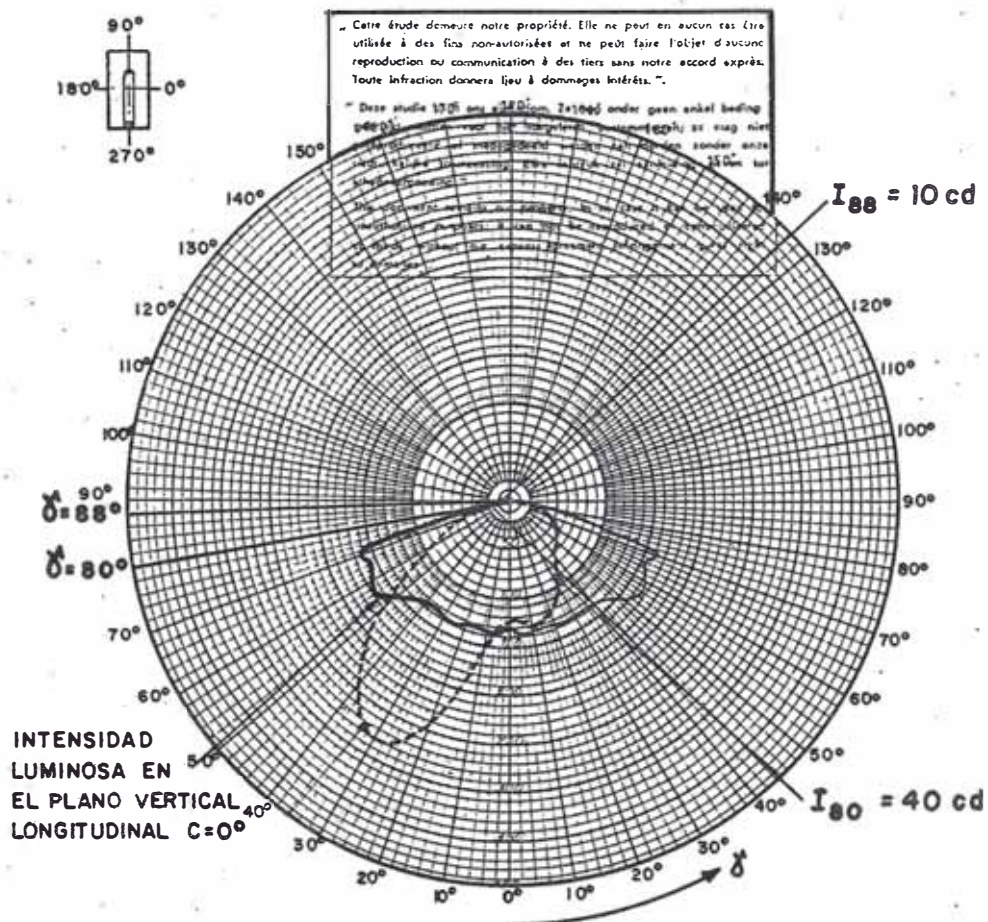


Figura 3.26 El control de la luminaria se define por el índice específico de la luminaria (SLI), el que depende de la intensidad luminosa en un ángulo de elevación $\theta = 80^\circ$ y $\theta = 88^\circ$ en el plano $C=0^\circ$. En nuestro caso, para una lámpara de sodio de alta presión de 250W, $\Phi = 30,000 \text{ lm}$: $I_{80} = 1,200 \text{ cd}$ e $I_{88} = 300 \text{ cd}$.

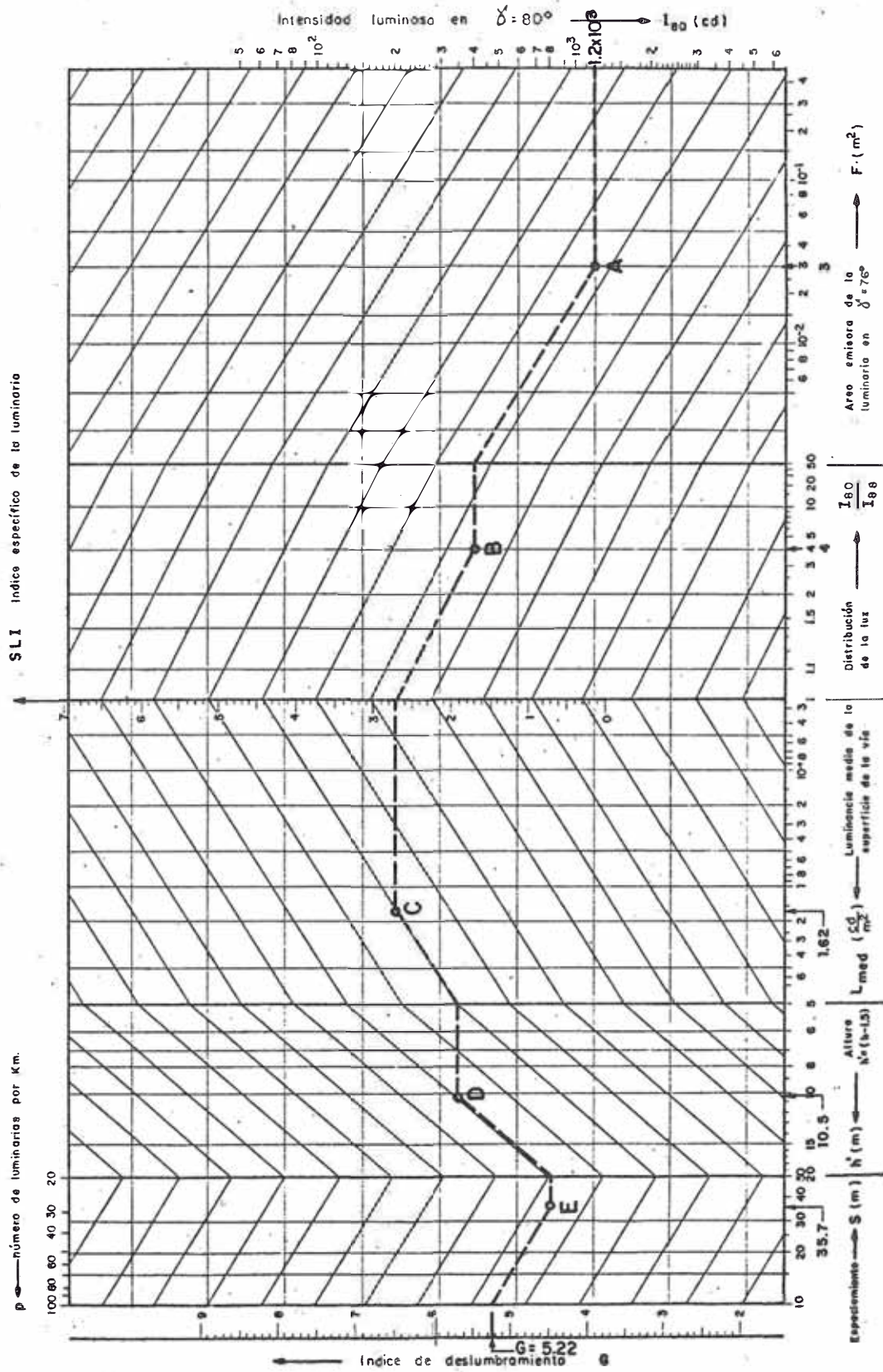


Figura 3.27 SLI=2.7 (ver escala del centro de la figura). $G=5.22+0.1=5.32$ es un deslumbramiento apenas aceptable.

85% teniendo en cuenta las características de la luminaria (factor de depreciación para la luminaria con filtro de carbón activado igual a 0.95 y factor de depreciación luminosa de la lámpara igual a 0.90 a las 16,000 horas de servicio).

$$F.M. = 0.95 \times 0.90 = 0.855$$

3.2.2.14 Flujo luminoso de la lámpara

El flujo luminoso de la lámpara que se necesita es:

$$\Phi_L = \frac{E \times A \times S}{F.U. \times F.M.} = \frac{27.27 \times 13.00 \times 35.70}{0.543 \times 0.855} = 27,722 \text{ lm.}$$

La lámpara más cercana a este valor es la de sodio de alta presión de 250 W mejorada, que tiene un flujo luminoso inicial de 30,000 lúmenes, es decir, el 108.21% del valor teórico determinado, lo que significa que el nivel medio de iluminancia será 29.51 lux, o sea 8% mayor que el previsto, lo que es correcto. El nivel de luminancia media será mayor: $L_{med} = 1.62 \text{ cd/m}^2$, lo que también es correcto.

3.2.2.15 Uniformidades

Para este tipo de vía son especialmente importantes la uniformidad media y la uniformidad transversal. Los cálculos efectuados con el empleo de la luminaria especificada, garantizan valores superiores a las uniformidades media, general, transversal y longitudinal señaladas en las Normas tanto Nacional como Internacional, salvo para esta última en las 2 sendas más cercanas al separador central, lo cual

se considera aceptable para el tipo de tránsito considerado. La figura 3.30 muestra una vista de planta de la vía, a la misma escala que el diagrama isolux sobrepuesto sobre la calzada.

De la misma figura 3.30 se obtienen los valores de la matriz siguiente:

	1	2	3	4	5	6	7
B	125	75	30.0	13.0	5.8	1.5	
C	175	100	40.0	16.5	7.0	2.0	
D	150	130	55.0	22.0	9.0	3.0	
E	100	100	54.0	26.0	11.0	3.5	1
B'	112	54	21.0	9.0	5.0	1.0	
C'	68	39	17.0	7.6	3.6		
D'	35	25	13.0	6.6	2.0		
E'	20	15	9.3	5.4	1.0		

Como la iluminancia horizontal en cualquier punto es igual a la suma de las iluminancias parciales producidas por las luminarias más cercanas al punto dado, la iluminancia en cada punto P, de la figura 3.31, se calcula como sigue:

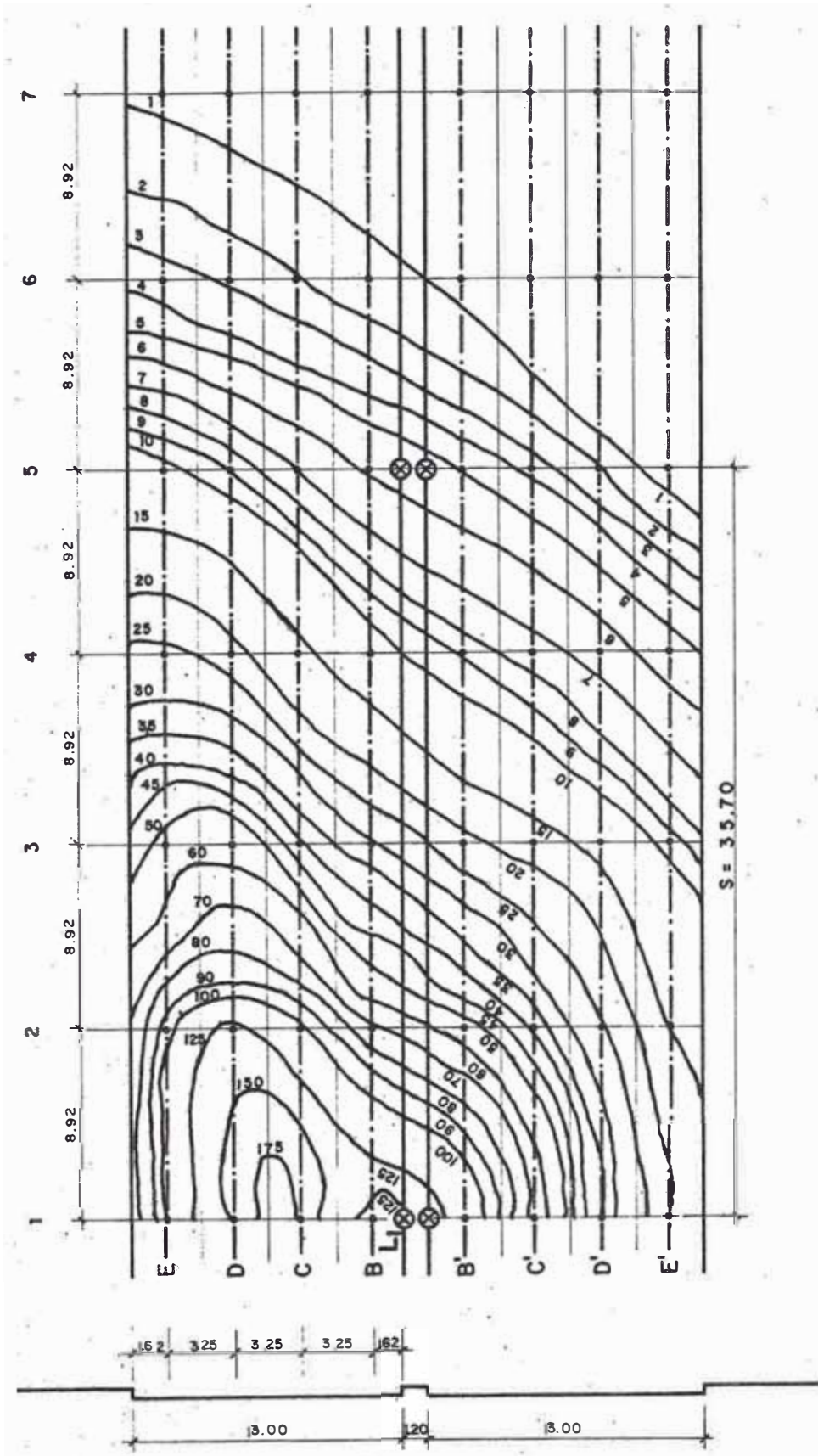


Figura 3.30 Vista de planta de las calzadas. El diagrama isolux se encuentra sobrepuesto sobre las mismas. Ambos dibujos deben estar a la misma escala.

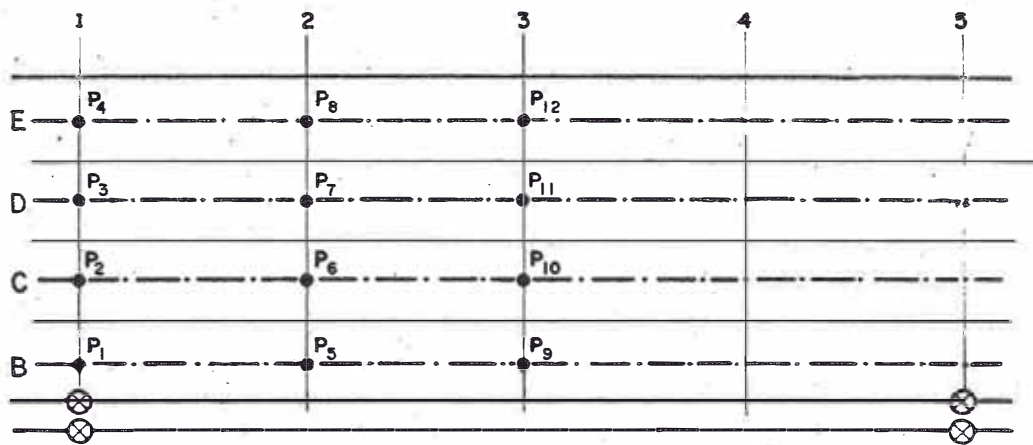


Figura 3.31 Puntos P considerados para el cálculo de la iluminancia.

$$\begin{aligned}
 P_1 &= B1 + 2B5 + B'1 + 2B'5 = 258.6 \\
 P_2 &= C1 + 2C5 + C'1 + 2C'5 = 264.2 \\
 P_3 &= D1 + 2D5 + D'1 + 2D'5 = 207.0 \\
 P_4 &= E1 + 2E5 + E'1 + 2E'5 = 144.0 \\
 P_5 &= B2 + B4 + B6 + B'2 + B'4 + B'6 = 153.5 \\
 P_6 &= C2 + C4 + C6 + C'2 + C'4 + C'6 = 165.1 \\
 P_7 &= D2 + D4 + D6 + D'2 + D'4 + D'6 = 186.6 \\
 P_8 &= E2 + E4 + E6 + E'2 + E'4 + E'6 = 149.9 \\
 P_9 &= 2B3 + 2B7 + 2B'3 + 2B'7 = 102.0 \\
 P_{10} &= 2C3 + 2C7 + 2C'3 + 2C'7 = 114.0 \\
 P_{11} &= 2D3 + 2D7 + 2D'3 + 2D'7 = 136.0 \\
 P_{12} &= 2E3 + 2E7 + 2E'3 + 2E'7 = 128.6
 \end{aligned}$$

Para obtener el valor real de la iluminancia en cada punto P, se aplica la fórmula 3.3:

$$\text{Factor de corrección de } k = \left(\frac{30,000}{1,000} \right) \times \left(\frac{1}{12^2} \right) \times 0.855 = 0.1781$$

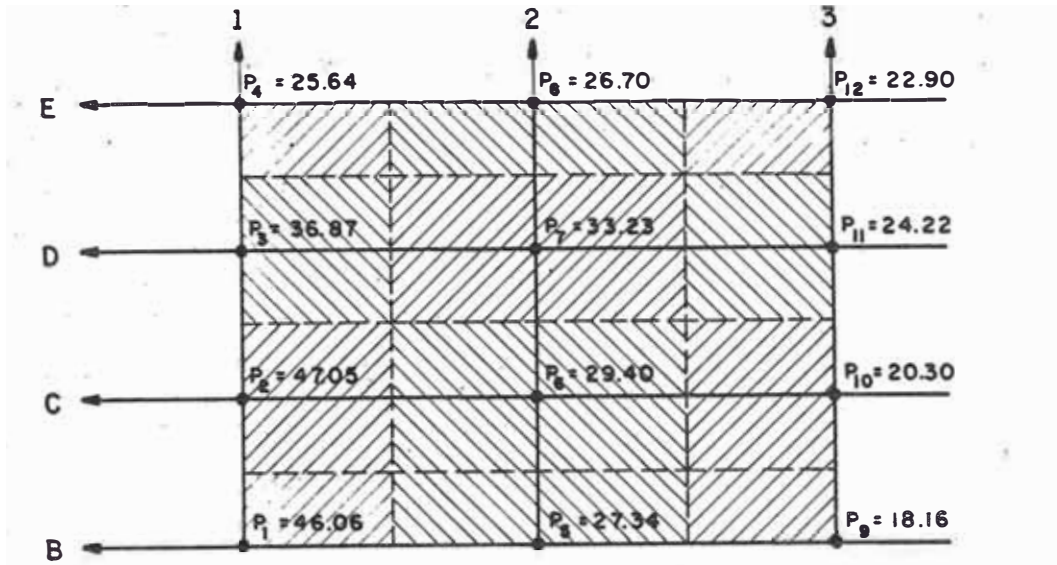


Figura 3.32 Valores de iluminancia en los puntos P considerados.

$$P_1 = 258.6 \times 0.1781 = 46.06 \text{ lux}$$

$$P_2 = 264.2 \times 0.1781 = 47.05 \text{ lux}$$

$$P_3 = 207.0 \times 0.1781 = 36.87 \text{ lux}$$

$$P_4 = 144.0 \times 0.1781 = 25.64 \text{ lux}$$

$$P_5 = 153.5 \times 0.1781 = 27.34 \text{ lux}$$

$$P_6 = 165.1 \times 0.1781 = 29.40 \text{ lux}$$

$$P_7 = 186.6 \times 0.1781 = 33.23 \text{ lux}$$

$$P_8 = 149.9 \times 0.1781 = 26.70 \text{ lux}$$

$$P_9 = 102.0 \times 0.1781 = 18.16 \text{ lux}$$

$$P_{10} = 114.0 \times 0.1781 = 20.30 \text{ lux}$$

$$P_{11} = 136.0 \times 0.1781 = 24.22 \text{ lux}$$

$$P_{12} = 128.6 \times 0.1781 = 22.90 \text{ lux}$$

$$E_{med} = \frac{P_1 + P_4 + P_9 + P_{12} + 2(P_2 + P_3 + P_5 + P_8 + P_{10} + P_{11}) + 4(P_6 + P_7)}{24}$$

$$E_{med} = 30.34 \text{ lux} \quad (*)$$

(*) Este valor es 2.8% mayor que el calculado anteriormente (29.51 lux), lo que es aceptable.

Uniformidad media o global

$$U_{med} = E_{min}/E_{med} = 18.16 / 30.34 = 0.59 \quad 0.45 (**)$$

Uniformidad transversal

$$U_{t\text{ eje 1}} = E_{min}/E_{max} = 25.64 / 47.05 = 0.54 \quad 0.30 (**)$$

Uniformidad general

$$U_g = E_{min}/E_{max} = 18.16 / 47.05 = 0.39 \quad 0.15 (**)$$

Uniformidad longitudinal

$$U_{l\text{ eje D}} = E_{min}/E_{max} = 24.22 / 36.87 = 0.65 \quad 0.55 (**)$$

$$U_{l\text{ eje E}} = E_{min}/E_{max} = 22.90 / 26.70 = 0.85 \quad 0.55 (**)$$

(**) Corresponde a los valores mínimos señalados en el Código Nacional de Electricidad (Tabla 5-IV) y Norma de Alumbrado de Vías Públicas DGE-016-A0-1 (Tabla IV). La Tabla 1.5, de este mismo trabajo, muestra dichos valores.

3.2.3 Especificaciones Técnicas de Equipos y Materiales

3.2.3.1 Conductores

Los conductores serán de cobre electrolítico de temple blando, con 100% de conductividad y las siguientes características a 20°C:

Resistividad	0.01724 Ohm-mm ² /m
Densidad	8.89 gr/cm ³
Coeficiente térmico de resistencia	0.00393 por °C
Coeficiente lineal de expansión	17 x 10 ⁻⁶ por °C
Punto de fusión	1,083°C
Esfuerzo de tensión último (aprox)	25.3 Kgr/mm ²
Módulo de elasticidad	entre 9 y 10.5 ton./mm ²

Los cables para el Alumbrado Público serán de tipo NYY, adecuados para una tensión de servicio de hasta 1,000 V, unipolares, en conformación Duplex y Triplex, con aislamiento de PVC, colores: blanco, negro y rojo, y con las siguientes características:

Sección	3-1x10 mm ²	3-1x6 mm ²	2-1x6 mm ²
Conductor	sólido	sólido	sólido
(*) Corriente	60 A	44 A	48 A
Peso	562 Kg/Km	420 Kg/Km	280 Kg/Km

(*) Para las condiciones de instalación previstas.

Normas de fabricación

Para los conductores ASTM. B3 y B8

Para el aislamiento CEI 20-1.

3.2.3.2 Postes

Los postes para el Alumbrado Público serán de hierro acera do, tubulares, de 6" de diámetro por 13.50 m de longitud, de 4 cuerpos con las siguientes características:

Primer cuerpo	3.00 m	de	6"	de diámetro.
Segundo cuerpo	5.00 m	de	5"	de diámetro.
Tercer cuerpo	3.00 m	de	4"	de diámetro.
Cuarto cuerpo.	2.50 m	de	3"	de diámetro.

El espesor en toda su longitud no será menor que 4.5 mm.

El poste en la parte superior estará provisto de prisioneros, que permitan sujetar el embone invertido, que servirá para la fijación de las luminarias. Ver plano N° TG-02.

Los postes deberán llevar a la altura de 2.80 m sobre el nivel del terreno, un hueco con tapa de hierro, para la colocación de un cortacircuitos portafusibles bipolar, tal como se indica en el plano respectivo.

En la parte inferior, a 1.70 m de fondo, llevará una ranura de 25 mm de ancho x 100 mm de longitud para el ingreso del cable de derivación.

El poste deberá ser capaz de resistir un esfuerzo de 250 Kgr. en el tope y un esfuerzo cortante de 400 Kgr. en la base.

Para su cimentación, el poste será colocado en el hueco de 200 mm de diámetro dejado en el macizo de concreto median-

te una tubería de PVC que se prolongará en el dado de concreto de 70 x 70 cm que llegará hasta 1.20 m debajo del nivel de la calzada y sobre el cual sobresaldrá 30 cm formando parte de la jardinera a construirse en la berma central de la avenida.

Los postes previstos para este proyecto serán los que actualmente se encuentran instalados a ambos lados de la pista sobre las veredas de la Av. Abancay, los cuales serán previamente acondicionados para su instalación en la berma central en la forma indicada.

3.2.3.3 Luminarias

La luminaria especificada para el Alumbrado Público constará, principalmente, de una cubierta superior o carcasa de aleación de aluminio moldeada por inyección y pintada al horno, dividida en 2 compartimientos completamente separados, uno para el sistema óptico y el otro para el equipo auxiliar. Ver plano N° TG-03.

El compartimiento para el equipo auxiliar irá en la parte posterior y llevará una placa para el montaje de dicho equipo, que se fijará a la luminaria por medio de tornillos. Esta disposición asegurará una mayor vida para el balasto. La cubierta protectora será de acrilonitrilo poliestireno, resistente al envejecimiento y a la radiación ultravioleta. La fijación de esta cubierta se hará por medio de un sujetador a presión. En este compartimiento se ubicarán: el ter

minal de puesta a tierra, los conectores, la entrada para el cable y un sujetador de nylon para el mismo.

El compartimiento para el sistema óptico estará conformado por un reflector de aluminio de alta pureza, abrillantado y anodizado electrolíticamente y sujeto a la cubierta en 3 puntos. El tipo de reflector para la lámpara de sodio de alta presión de 250 W, debe evitar que la energía se refleje sobre el tubo de arco de la lámpara, lo que afectaría la amalgama de sodio y mercurio, que produciría un cambio en las características especificadas de la lámpara.

El portalámpara de porcelana será de tipo antivibrante, con rosca gigante para casquillo E-40, capaz de soportar un pulso de hasta 5,000 V. Este portalámpara podrá posicionarse a fin de obtener diferentes distribuciones fotométricas del flujo luminoso de la lámpara.

La cubierta inferior de la luminaria llevará un protector de vidrio pulido, mecánicamente fuerte y térmicamente resistente, cuya unión con la parte superior se hermetizará por medio de una empaquetadura de neoprene.

Con el objeto de evitar el ingreso de impurezas al compartimiento óptico, la luminaria estará provista de un filtro de carbón activado para garantizar el alto factor de mantenimiento considerado en los cálculos. La luminaria, por lo tanto, será de tipo cerrado, adecuada para utilizarse con lámpara de sodio de alta presión de 250 W y adecuada

para el alumbrado de vías urbanas de tránsito vehicular y peatonal intenso; su montaje podrá ser vertical sobre el extremo del poste, horizontal sobre pastoral o sobre soportes "ad hoc" colocados en la pared.

En cuanto a normas de hermeticidad, la luminaria deberá satisfacer:

IP 55 - En el compartimiento óptico, de acuerdo a la norma CEI 598.

IP 44 En el compartimiento para el montaje del equipo auxiliar, de acuerdo a la norma CEI 529.

En lo que se refiere a protección eléctrica, la luminaria deberá cumplir con lo indicado para la Clase I, de acuerdo a la CEI y CEE.

Se ha especificado una luminaria de alcance intermedio, dispersión media y control moderado, de acuerdo a la CIE. Según el Código y Norma Nacionales, dicha especificación, en lo que a control se refiere, corresponde a una luminaria de haz semi-apantallado.

3.2.3.4 Balastos

a) Generalidades

Deben satisfacer las características correspondientes al S50 de la ANSI o las normas señaladas por el fabricante de las lámparas, que garanticen una operación den

tro del trapecoide determinado para las mismas, de acuerdo a las variaciones esperadas de la tensión de la red.

El balasto será de tipo Regulador, capaz de encender y mantener en servicio una lámpara de descarga de alta intensidad de vapor de sodio de 250 W, a la tensión nominal de $208 \pm 10\%$. El balasto, incluyendo el dispositivo de arranque, debe estar protegido contra fallas normales de la lámpara. El balasto debe ser capaz de operar por un periodo hasta de 6 meses con la lámpara en circuito abierto o en cortocircuito, sin pérdida apreciable de su vida operativa. La tensión mínima a circuito abierto deberá ser 195 V.

b) Aislamiento

Los balastos para las lámparas de sodio de alta presión tendrán bobinas tropicalizadas, con devanados de gran precisión y aislamiento tipo H (para 180°C).

c) Potencia de la lámpara

Para tensiones nominales de la red y de la lámpara, el punto medio de diseño del balasto no variará más de 5% de la potencia nominal de la lámpara.

Potencia nominal demandada de la red: 305 W.

d) Regulación

Para cualquier tensión de la lámpara, desde la nominal hasta la que pueda presentarse a lo largo de su vida,

la amplitud de regulación de la potencia de la lámpara a la tensión correspondiente, no variará más del 18% para una variación de la tensión de la red de $\pm 10\%$.

$$\text{Amplitud de Regulación} = \frac{\text{Potencia máxima} - \text{Potencia mínima}}{\text{Potencia nominal}} \times 100$$

Deberá suministrarse la información técnica que permita verificar que el fabricante del balasto cumple con los requisitos de tensión / potencia de la lámpara a lo largo de su vida, tanto para la tensión nominal de la red como para variaciones de $\pm 10\%$ de dicho valor.

Regulación de la potencia de la lámpara según ANSI C78.1351.

e) Requisitos de encendido

El balasto deberá encender y operar la lámpara, a través de su vida, con temperatura ambiente hasta de -20°C .

La corriente primaria del balasto en el encendido, no deberá exceder la corriente normal de operación.

Corriente de arranque	0.65 A.
Corriente de operación	1.60 A.
Fusible recomendado	5.0 A.

f) Factor de cresta de la corriente

El factor de cresta de la corriente de la lámpara no excederá 1.8 para variaciones de la tensión de la red de

$\pm 10\%$ para cualquier tensión de la lámpara a lo largo de su vida.

g) Factor de potencia

El factor de potencia del conjunto balasto-lámpara, no deberá ser menor de 90% para variaciones de la tensión de la red de $\pm 10\%$ para cualquier tensión de la lámpara a través de su vida.

El alto factor de potencia (mayor de 95%) se obtiene mediante 2 condensadores de 14 micro-Faradios cada uno: 28 micro-Faradios $\pm 3\%$.

h) Influencia de la variación de la capacidad de los condensadores

El diseño de los balastos será tal, que la tolerancia normal de $\pm 6\%$ considerada por los fabricantes de condensadores no causará una variación mayor de $\pm 8\%$ en la regulación a través de toda la vida de la lámpara, a la tensión nominal de la red.

3.2.3.5 Ignitores

Los ignitores para el Alumbrado Público serán compatibles con los balastos, de preferencia, ambos serán de un mismo fabricante o responderán a las normas de su país de origen, lo cual deberá ser comprobado.

3.2.3.6 Lámparas

a) Generalidades

Las lámparas para el Alumbrado Público serán de descarga de alta intensidad de vapor de sodio, tubulares, con ampolla transparente, de potencia nominal de 250 W, y con el tubo de arco, de diseño especial, más transparente que el standard, lo que optimizará la emisión luminosa en relación con la energía consumida. Estas lámparas serán adecuadas para operar en cualquier posición.

b) Datos de funcionamiento

Flujo luminoso inicial (promedio) a la potencia nominal (*)	30,000 lm
Vida promedio nominal a 10 horas de operación por encendido	24,000 horas
Porcentaje del flujo medio a 10 horas por encendido	90% aprox.
Temperatura de color	2,100 μ K
Tiempo de calentamiento	3-4 minutos
Tiempo de re-encendido	1 minuto
Cromaticidad CIE	x = 0.512 y = 0.420

(*) Flujo luminoso a la potencia nominal. La potencia efectiva de la lámpara puede variar dependiendo de la curva característica del balasto.

c) Descripción física

Designación de la base	E-40
Designación de la ampolla	E-18
Material de la ampolla (acabado transparente)	Vidrio-Plomo Borosilicato
Diámetro de la ampolla	57 mm (2-1/4")
Longitud total máxima	248 mm (9-3/4")
Longitud al centro de luz	146 mm (5-3/4")
Longitud del arco	64 mm (2.52")
Máxima temperatura en la ampolla	400 °C
Máxima temperatura en la base	210 °C
Excentricidad máxima:	
De la base a la ampolla	49
Del tubo de arco al eje de la lámpara	5 mm

d) Características eléctricas

1. Potencia

Potencia nominal de la lámpara	250 W
Rango de operación permitido para la vida nominal de la lámpara.....	Mínimo 175 W Máximo 370 W

2. Tensión

Tensión nominal de la lámpara (valor de diseño)	100 V
Rango de tensión admisible (a las 100 horas)	90-115 V

Tensión máxima de la lámpara
al final de su vida nominal 160 V

3. Corriente

Corriente de operación 3.0 Amperios

Corriente durante el calentamiento. Mínima 3.0 A

Máxima 4.5 A

Máximo factor de cresta de
la corriente 1.8

4. Requerimientos del pulso de arranque

Tensión de pico mínima 2,500 V

Tensión de pico máxima 4,000 V

Amplitud del pulso a 2,250 V Mínimo 1 μ seg.

Máximo 15 μ seg.

Repetición del pulso (mínima) 50 por seg.

Intensidad de pico del pulso 0.2 A

5. Límites de operación

Tensión mínima del balasto a
circuito abierto (RMS) 195 V

Límite de aumento de la
tensión de la lámpara 7 V (**)

(**) Límite de aumento de la tensión de la lámpara
El límite de aumento de la tensión de la lámpara es 7 V, entre la operación estabilizada de la lámpara desnuda y la operación estabilizada

en la luminaria en la que será instalada.

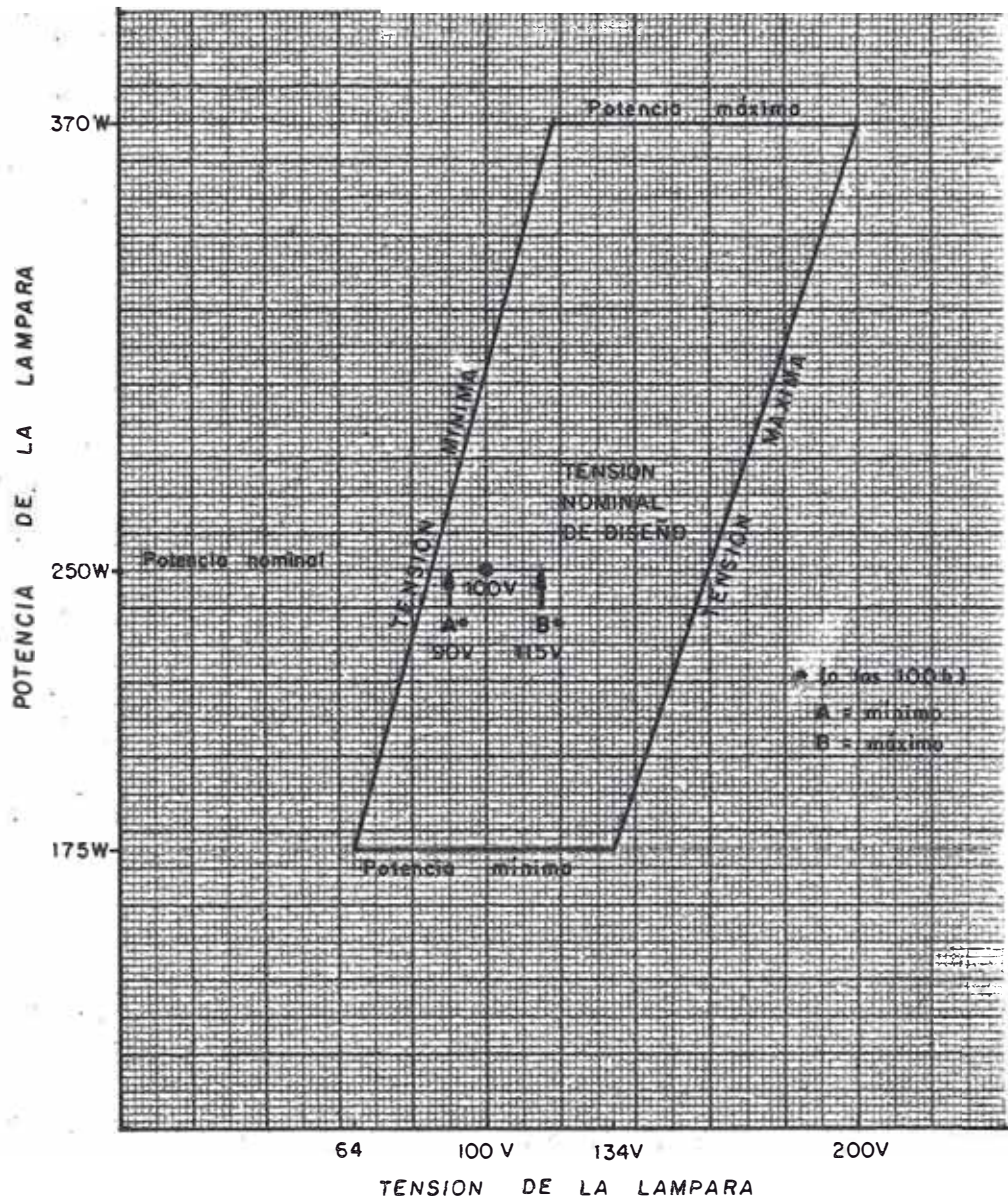
El bulbo exterior al tubo de arco de la lámpara la hace insensible a la temperatura ambiente.

Sin embargo, debe tenerse cuidado en el diseño de la luminaria, a fin de evitar que la energía radiada por la lámpara sea reflejada sobre el tubo de arco. Esto afecta la amalgama de sodio y mercurio, lo que produce un cambio en las características de la lámpara.

6. Tensiones límites de la lámpara para establecer los vértices del trapecoide

La figura 3.33 ilustra los límites de la relación tensión-potencia de la lámpara. Para que un balasto satisfaga los requerimientos de operación de la lámpara, sus curvas características deben intersectar cada una de las líneas que marcan la tensión límite de la lámpara, en puntos comprendidos entre los límites de la potencia, y deben permanecer dentro de esa área a través de todo el rango de tensión de la lámpara. Cada curva característica para el rango de tensiones de la red de diseño del balasto deberá alcanzar su pico dentro de los confines del trapecoide y tendrá una pendiente en declive antes de pasar por la línea límite de tensión máxima.

Tensión límite a máxima potencia	118 / 200 V
Tensión límite a mínima potencia	64 / 134 V



TRAPEZOIDE FORMADO CON LOS VALORES LIMITE ESTABLECIDOS PARA UNA LAMPARA DE 250W DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION

Figura 3.33 Límites de la relación tensión-potencia de la lámpara.

3.2.3.7 Empalmes y puntas muertas

Los empalmes a la red existente se harán en mangas de plomo de 60 mm de diámetro por 350 mm de largo, entorchando el cable de menor sección sobre el mayor, con un número de espiras no menor de 6 y perfectamente soldados. La manga debe quedar herméticamente cerrada y a prueba de filtraciones, siguiéndose las normas de buena práctica en lo que a masa aislante y separadores de fase se refiere.

Los empalmes entre los cables de Alumbrado Público, así como las derivaciones a las unidades correspondientes serán ejecutados con uniones moldeables de resina o empleando tubos termocontráctiles.

Las derivaciones a los postes que serán retirados terminarán en puntas muertas empleando capuchones termocontráctiles o la manga de plomo tradicional.

3.2.4 Especificaciones Técnicas de Montaje

3.2.4.1 Instalación de los cables

Desde el empalme a la red actual de Alumbrado Público, los cables de la nueva red irán por los ductos libres de las cruzadas existentes hasta el eje del separador central de la Av. Abancay.

La derivación al poste así como los empalmes que pudieran ser necesarios serán ejecutados en una caja abierta de concreto de 50 cm x 30 cm x 50 cm de profundidad prevista al

pie de cada poste. El recorrido del cable entre cajas de derivación será por una de las vías del ducto de cemento que irá empotrado en el concreto que forma la base de la jardinera (ver plano N° TG 04 - Detalle de anclaje).

3.2.4.1 Cimentación de los postes

Los postes para el Alumbrado Público irán sobre un macizo de concreto de 0.70 x 0.70 m que sobresale 0.30 m sobre el nivel de la calzada, pero que se prolongará hacia abajo -1.20 m con la misma sección.

El detalle del módulo terminado, con la caja de empalme incluida, se muestra en el plano N° TG 04 ya mencionado.

A continuación se encuentran los planos concernientes a la distribución de postes desde el plano TG 5 al TG 10:

TG 05	Distribución de postes (1/6) Jr Amazonas - Jr. Ancash
TG 06	Distribución de postes (2/6) Jr. Ancash - Jr. Junín
TG 07	Distribución de postes (3/6) Jr. Junín - Jr. Huallaga
TG 08	Distribución de postes (4/6) Jr. Huallaga - Jr. Ucayali
TG 09	Distribución de postes (5/6) Jr. Ucayali - Jr. Miró Quesada
TG 10	Distribución de postes (6/6) Jr. Miró Quesada - Jr. Cusco

3.3 Adendum

Señalización de los paraderos de la Av. Abancay

3.3.1 Especificaciones Técnicas de Equipos y Materiales

3.3.1.1 Cables para la alimentación de los postes de señalización de los paraderos

Estos cables serán del tipo NKY para una tensión de servicio de hasta 1,000 V, bipolares, de sección mínima, con conductores sólidos redondos, aislamiento con cintas de papel de celulosa pura, impregnados en aceite "no migrante" chaqueta interior de aleación de plomo y protección exterior con una chaqueta de PVC color negro que le proporciona resistencia a ácidos, grasas, aceites y a la abrasión.

Normas de fabricación

Para los conductores ASTM. B3 y B8

Para el aislamiento CEI 20-1

3.3.1.2 Postes

Los postes para el soporte de los cubos luminosos para la señalización de los paraderos serán de fierro, de 3.00 m de longitud, con sección cuadrada de 100 mm x 100 mm x 3 mm de espesor como mínimo. Llevarán a 2.80 m sobre el nivel de la vereda, una perforación circular con tapa para la colocación del portafusible. El poste estará provisto de un brazo del mismo material, de 600 mm de largo, de sección rectangular de 50 mm x 100 mm en cuyo extremo irá el sopor

3.3 Adendum

Señalización de los paraderos de la Av. Abancay

3.3.1 Especificaciones Técnicas de Equipos y Materiales

3.3.1.1 Cables para la alimentación de los postes de señalización de los paraderos

Estos cables serán del tipo NKY para una tensión de servicio de hasta 1,000 V, bipolares, de sección mínima, con conductores sólidos redondos; aislamiento con cintas de papel de celulosa pura, impregnados en aceite "no migrante" chaqueta interior de aleación de plomo y protección exterior con una chaqueta de PVC color negro que le proporciona resistencia a ácidos, grasas, aceites y a la abrasión.

Normas de fabricación

Para los conductores ASTM. B3 y B8

Para el aislamiento CEI 20-1

3.3.1.2 Postes

Los postes para el soporte de los cubos luminosos para la señalización de los paraderos serán de fierro, de 3.00 m de longitud, con sección cuadrada de 100 mm x 100 mm x 3 mm de espesor como mínimo. Llevarán a 2.80 m sobre el nivel de la vereda, una perforación circular con tapa para la colocación del portafusible. El poste estará provisto de un brazo del mismo material, de 600 mm de largo, de sección rectangular de 50 mm x 100 mm en cuyo extremo irá el sopor

te de 300 mm de longitud, con sección circular de 100 mm de diámetro para el cubo luminoso, que a su vez permitirá el alojamiento del equipo auxiliar de la lámpara que irá en el interior del cubo.

3.3.1.3 Luminarias

El cubo luminoso para la señalización de los paraderos estará formado por una estructura metálica con perfiles de fierro y de aluminio de 600 mm de lado, en cuyas 4 caras laterales llevará planchas termoformadas de butirato de alto impacto color blanco lechoso de 4.5 mm de espesor, en las que se indicará el número de las Líneas de Transporte correspondientes. La tapa superior será de aluminio anodizado, color natural, de 3 mm como mínimo.

Cada número calado en acrílico transparente, del color que determine la oficina Municipal de Transporte Urbano, irá sobrepuesto y fijado a la plancha de butirato de alto impacto mediante un pegamento adecuado, resistente a las inclemencias del tiempo. Ver plano Nº TG-11.

En la parte inferior, sobre el soporte de fijación al cilindro porta-equipo, llevará una plancha lisa de butirato de las mismas características que el empleado en las caras laterales.

El conjunto será hermético al polvo y a la lluvia, debiendo llevar empaquetaduras de neoprene para asegurar dicha hermeticidad.

En el interior del cubo irá una lámpara de vapor de mercurio de color corregido de 125 W con base E-40, cuyo centro deberá coincidir con el del cubo.

El portalámpara será de porcelana de tipo antivibrante, con pernería de bronce.

3.3.1.4 Balastos

a) Generalidades

Deberán satisfacer plenamente las características de operación señaladas por el fabricante de lámparas, facilitando tanto el encendido como la operación estable de las mismas, a fin de garantizar la vida media útil esperada.

El balasto tipo Reactor deberá operar una lámpara de descarga de alta intensidad de vapor de mercurio de 125 Watts, conectado a la red de Alumbrado Público de 220 V con una variación de la tensión nominal de $\pm 5\%$, sin producir una variación en la potencia de la lámpara superior a $\pm 12\%$.

b) Aislamiento

Los balastos para las lámparas de mercurio de alta presión tendrán bobinas tropicalizadas con aislamiento tipo H (para 180°C).

c) Potencia nominal demandada de la red

150 W.

d) Corriente de la línea

0.75 A.

e) Requisitos de encendido

El balasto deberá proveer una corriente de encendido elevada para que la lámpara se caliente rápidamente.

f) Factor de cresta de la corriente

1.4

g) Factor de potencia

Su operación con alto factor de potencia (mayor de 95%) se obtiene mediante el empleo de condensadores de 10 micro-Faradios, adecuados para operar a 250 V.

La temperatura máxima de los condensadores será de 90°C.

h) Tensión a circuito abierto

220 V.

i) Tensión de extinción de la lámpara

190 V.

3.3.1.5 Lámparas

a) Generalidades

Las lámparas a ser empleadas en los cubos luminosos, para la señalización de los paraderos, serán de descarga de alta intensidad, de vapor de mercurio de 125 W de po

tencia nominal y adecuadas para operar en cualquier posición.

b) Datos de funcionamiento

Flujo luminoso inicial	6,500 lm
Vida promedio nominal	24,000 horas
Flujo medio a las 16,000 horas	5,460 lm
Temperatura de color	3,900°K
Tiempo de calentamiento	1:5 minutos
Cromaticidad CIE	x = 0.388 y = 0.384

c) Descripción física

Designación de la base	E-40
Designación de la ampolla	E-24
Material de la ampolla	Vidrio-Plomo Borosilicato
Acabado de la ampolla	Material fluo - rescente blanco de lujo.
Diámetro de la ampolla	77 mm
Longitud total máxima	177 mm

d) Características eléctricas

Potencia nominal	125 W
Tensión nominal	125 V
Tensión mínima de arranque a 5°C	180 V
Corriente nominal	1.5 A
Máximo factor de cresta de corriente..	2.0

3.3.2 Especificaciones Técnicas de Montaje

Los pequeños postes de 3.00 m de sección cuadrada que soportan en su brazo lateral los cubos luminosos de los paraderos irán empernados a las varillas de anclaje de 15 mm de diámetro (5/8"Ø) por 600 mm (24") que sobresalen 50 mm del macizo de anclaje de 0.50 m x 0.50 m x 0.90 m cuyo borde superior quedará a -0.10 m debajo del nivel de la vereda. Deberá quedar un electroducto de 1" de diámetro para el pase del cable alimentador.

En la parte superior una depresión de aproximadamente 150 mm de diámetro por 50 mm de profundidad permitirá alojar el extremo inferior del poste que sobresale de la placa de anclaje a la que irá soldado por ambos lados de ésta. Ver plano N° TG-11 - Poste de Señalización.

3.4 Método de diseño basado en la uniformidad de luminancia

El Código y Norma Nacionales recomiendan valores de los parámetros de iluminación, disposición y luminaria a emplearse en un Proyecto de Alumbrado de acuerdo al Tipo de Iluminación de la vía. Dichos valores se encuentran resumidos en la Tabla 1.5 y sirven de guía para el desarrollo de un proyecto de alumbrado; el que deberá observar el procedimiento siguiente:

- a) Determinar el tipo de iluminación de acuerdo a las características de la vía (ver sección 1.3).
- b) Establecer la clase de superficie de calzada que tiene la vía (ver Apéndice B y sección 2.3).
- c) Seleccionar en base a (a) el nivel de luminancia (L_{med}).
- d) Escoger la proyección de la luminaria en relación al borde de la calzada (P).
- e) Seleccionar la altura de montaje (h) teniendo en cuenta el ancho de la vía.
- f) Establecer la disposición de las luminarias (ver sección 6.1).
- g) Escoger el tipo de lámpara.
- h) Según (g) elegir el tipo de luminaria.

- i) Inclínación de la luminaria.
- j) Factor de mantenimiento, que estará dado de acuerdo a la depreciación del flujo luminoso de la lámpara por envejecimiento y a la depreciación por suciedad de la luminaria.
- k) De acuerdo a las uniformidades recomendadas en la Norma, utilizando el diagrama isoluminancia se determina el espaciamiento entre luminarias, tal como se hará en el ejemplo siguiente (ver sección 3.1.3.5).
- l) Del diagrama del rendimiento en luminancia, hallar el factor del rendimiento en luminancia (ver sección 3.1.3.6).
- ll) Hallar el flujo de la lámpara (Φ_L) empleando la fórmula 3.11 (ver sección 3.1.3.6).

Puede ser que el flujo hallado no coincida con un valor real, para lo cual podrán ser ajustados los valores Φ_L , L_{med} y S , por ejemplo.

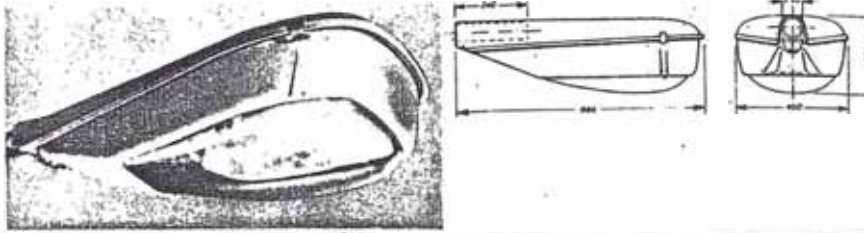
- m) Se determina el control del deslumbramiento (ver secciones 3.1.3.7 y 3.1.3.8). Como ejemplo, ver el cálculo del deslumbramiento molesto para la Iluminación de la Av. Abancay, sección 3.2.2 Cálculos Justificativos.

Ejemplo

Se quiere iluminar una vía colectora primaria, de doble sentido, con 4 sendas por calzada (el ancho de la calzada es $A=13.00\text{m}$), separador central de 1.20 m, veredas de 6.00 m y superficie de rodadura de la calzada de concreto asfáltico (Clase RIII).

Siguiendo los pasos dados por este método tendremos:

- a) Tipo de Iluminación: II
- b) Concreto asfáltico: Clase RIII ó CII.
- c) Luminancia media: $L_{med} = 1.5 \text{ cd/m}^2$
- d) Avance = 2.00 m (El avance debe ser a lo más 1/3 de la altura del poste).
- e) Altura de montaje: $h = 12.00 \text{ m}$.
- f) Disposición de las luminarias : Bilateral en oposición.
- g) Lámpara: Mercurio de color corregido.
- h) Luminaria: Se ha elegido la luminaria HRP (ver figura 3.34) cuyas principales características son las siguientes:



LUMINARIA PARA LAMPARA DE MERCURIO		
DESIGNACION DEL TIPO	HRP 012/1400	HRP 012/1700
FUENTES LUMINOSAS	mercurio	mercurio
Designación	1 x HPL 400 W	1 x HPL 700 W
DIMENSIONES Y PESO		
Largo L, mm	886	886
Ancho B, mm	400	400
Altura H, mm	280	280
Peso, Kg	15.7	9.5
PROPIEDADES ELECTRICAS		
Balasto incluido en la luminaria	si	--
Balasto separado	--	si
Tensión nominal, V	220	220
Corriente de encendido, I	5.2	8.8
Corriente nominal, I _n	3.2	5.4
Cos ϕ	0.60	0.65
Con condensador:	2x13F	40F
Corriente de encendido, I	3.5	6.2
Corriente nominal, I _n	2.1	3.6
Cos ϕ	0.90	0.90
Mínima temperatura ambiente, °C	-15	-15
Potencia total demandada (inc.bal.)	422	732
PROPIEDADES FOTOMETRICAS		
Angulo de inclinación	0°	0°
Flujo luminoso inicial de la lámp.	23,000	42,500
Flujo luminoso de la luminaria, lm.	14,000	25,000
Intensidad luminosa (por 1000 lm de flujo luminoso de la lámpara):		
Intensidad en 90°, cd/1000 lm	5	3
Intensidad en 80°, cd/1000 lm	24	15
Area de emisión luminosa en 80°, m ²	0.02	0.02
I ₈₀ /I ₈₈	3.7	3.5
Intensidad en 0°, cd/1000 lm	214	190
Intensidad máxima, cd/1000 lm	275	220
Factor de mantenimiento ap.(limpio)	0.77	0.77
Factor de mantenimiento ap.(sucio)	0.70	0.70

Figura 3.34 Características de la luminaria.

- i) Inclinación de la luminaria: $\alpha = 0^\circ$
- j) Factor de mantenimiento: F.M. - 0.77 (ambiente limpio).
- k) Uniformidad media recomendada por la Norma Nacional:

$$U_{med} \cong \frac{L_{min}}{L_{med}} = 0.45$$

Un plano de la vía a la misma escala que el diagrama isoluminancia se muestra en la figura 3.35.

Ancho de la calzada $13.00/12.00 = 1.08$ h

Ancho del separador central $1.20/12 = 0.1$ h

Avance $2.00/12.00 = 0.17$

El punto de observación "0" está situado a 13.50 h de las luminarias L_1 y L_2 y a 2.00 m (0.17 h) del sardinel

Un diagrama isoluminancia de la luminaria elegida es situado con su origen en L_1 y con su eje alineado en la dirección de "0" (diagrama de línea llena en la figura 3.35) y el otro diagrama con su origen en L_2 y con su eje también alineado en la dirección de "0" (diagrama de línea punteada en la misma figura)

La CIE recomienda que para un valor

$$L_{min} > a \quad \text{corresponde un} \quad a^2 < \frac{L_{min}}{L_{max}} < a^{1.5}$$

Si el procedimiento de diseño se basa en:

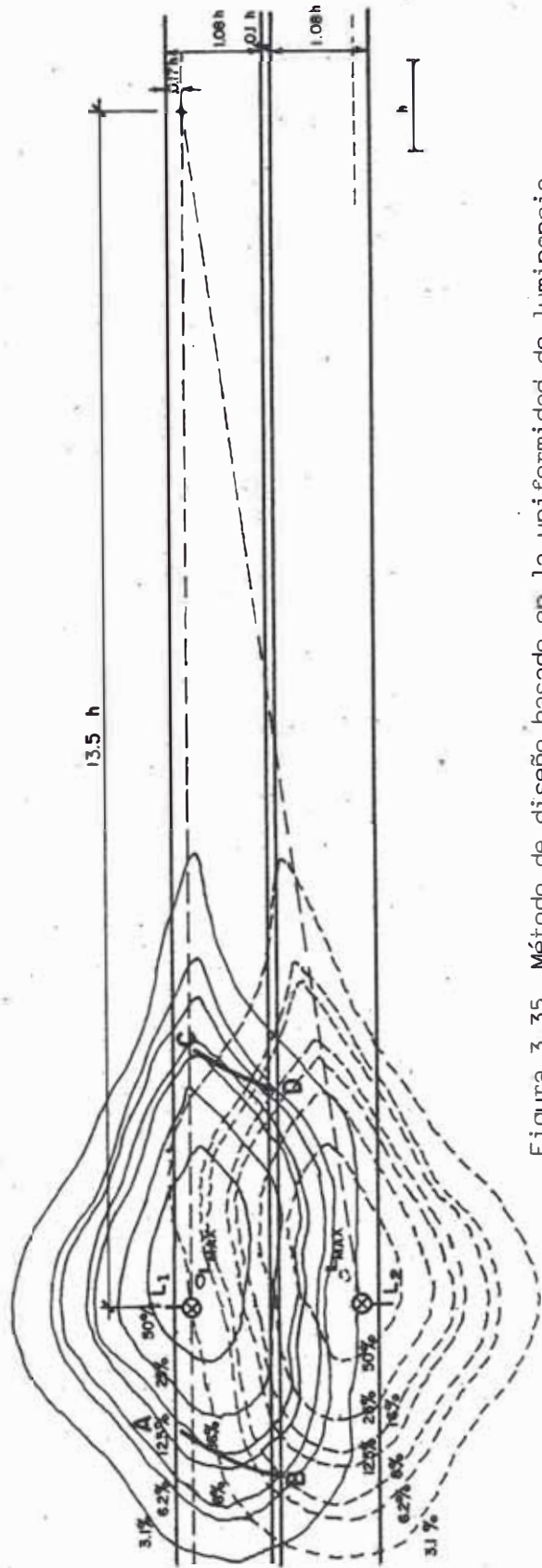
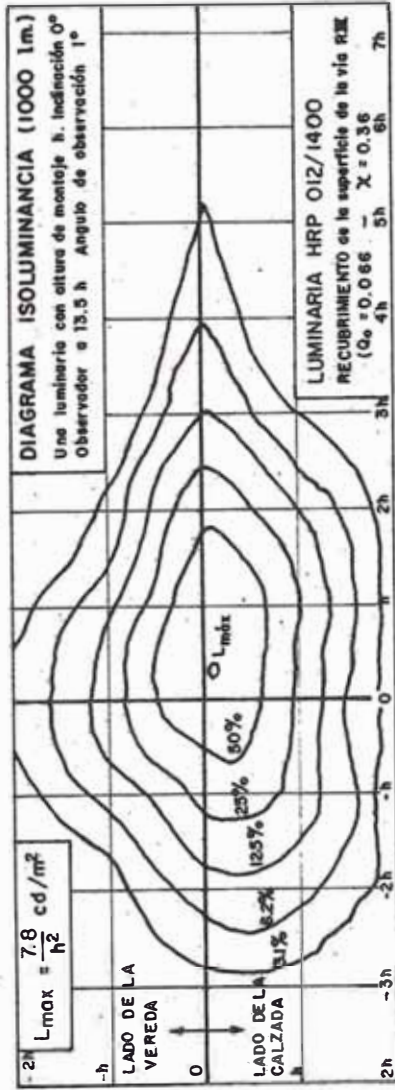


Figura 3.35 Método de diseño basado en la uniformidad de luminancia.

$$\frac{L_{\min}}{L_{\max}} = a^{1.5} \quad \text{siempre se cumplirá que la relación}$$

$$\frac{L_{\min}}{L_{\text{med}}} > a$$

Por lo tanto para el ejemplo:

$$(0.45)^2 < \frac{L_{\min}}{L_{\max}} < (0.45)^{1.5}$$

$$0.20 < \frac{L_{\min}}{L_{\max}} < 0.30$$

Tomando el límite superior para asegurar que U_{med} será mayor que 0.45, tenemos:

$$\frac{L_{\min}}{L_{\max}} = 0.30$$

La luminancia máxima (L'_{\max}) de las 2 luminarias de la figura 3.35 es $L'_{\max} = L_{\max} + 0.046 L_{\max} = 1.046 L_{\max}$

$$0.30 L'_{\max} = 0.30 \times 1.046 L_{\max} = 0.32 L_{\max}$$

Esto quiere decir que la luminancia mínima es igual a $0.32 L_{\max}$. Para que se cumpla esta condición, el espaciamiento entre luminarias debe ser igual a la menor distancia que exista entre las 2 líneas que tengan una luminancia (producida por las 2 luminarias) igual a $0.16 L_{\max}$.

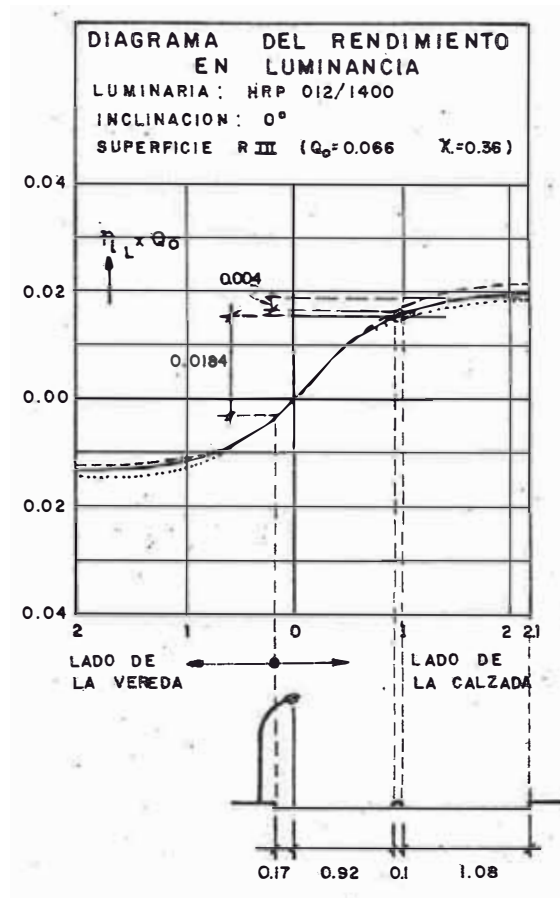


Figura 3.36 Diagrama del rendimiento en luminancia para una luminaria y superficie especificadas.

Estas 2 líneas de $0.16 L_{max}$ son las líneas AB y CD en la figura 3.35. El espaciamiento (menor distancia medida paralela al eje de la vía) es la longitud $BD = 4.2 h = 50$ m.

- 1) El diagrama del rendimiento en luminancia para este tipo de calzada y para esta luminaria se muestra en la figura 3.36. El rendimiento en luminancia para la fila de luminarias que siguen a L_1 (luminarias de la mano derecha) se lee de la curva llena (posición del observador bajo la fila de luminarias):

Hacia el lado de la vereda

$$\frac{2.00}{12} = 0.17$$

$$\eta_L Q_0 = 0.0024 (+)$$

Hacia el lado de la calzada

$$\frac{11.00}{12} = 0.92$$

$$\eta_L Q_0 = 0.016 (+)$$

} *
0.0184

El rendimiento en luminancia para la fila de luminarias de la mano izquierda se lee de la curva punteada (posición del observador sobre el lado de la vereda):

Hacia el lado de la calzada

$$\frac{25.2}{12} = 2.1$$

$$\eta_L Q_0 = 0.0185 (+)$$

$$\frac{12.2}{12} = 1.02$$

$$\eta_L Q_0 = 0.0145 (-)$$

} **
0.004

Sumando (*) + (**) se obtiene el rendimiento en luminancia multiplicado por Q_0 , como se muestra en la figura 3.36, siendo este producto igual a 0.0224

11) El flujo de la lámpara, empleando la fórmula 3.12 es:

$$\phi_L = \frac{1.5 \times 50 \times 13}{0.0224 \times 0.77} = 56,528 \text{ lm}$$

Se utilizará por lo tanto la lámpara de mercurio de color corregido de 700 W, y para mantener el nivel de luminancia, el espaciamiento entre luminarias será variado a:

$$S = \frac{42,500}{56,528} \times 50 = 37.50 \text{ m.}$$

Lo que asegurará una buena uniformidad.

3.5 Esquemas de alumbrado

Los esquemas de alumbrado presentan proyectos ejecutados con datos fotométricos de determinados reflectores.

Es evidente, que utilizando para un proyecto dado, un reflector diferente de aquel considerado en los cálculos, se obtendrán resultados fotométricos diferentes.

Por otra parte, es posible utilizar los esquemas de alumbrado tanto para el Alumbrado de Vías Públicas en zonas rurales como en vías urbanas a condición de hacer abstracción de las fuentes de luz parásitas.

Este método permite evaluar la iluminancia media sobre la calzada así como el nivel de luminancia media que corresponde a la cantidad de luz reflejada sobre la calzada. Ahora bien, esta luz reflejada no está igualmente repartida, y por lo tanto, es indispensable a nivel de un proyecto de alumbrado conocer no solamente la luminancia media de la calzada, sino también y sobre todo la uniformidad de luminancia media o global y la uniformidad longitudinal.

Los 3 parámetros de alumbrado, a saber, luminancia, uniformidad y deslumbramiento deben satisfacerse de acuerdo al Código Nacional de Electricidad Tomo IV Capítulo V y a la Norma de Alumbrado de Vías Públicas DGE-016-AP-1 del Ministerio de Energía y Minas (ver sección 1.3). Convendría comparar estos valores con los correspondientes a las Recomendaciones Internacionales (ver sección 1.2).

Los esquemas de alumbrado sirven a nivel de anteproyecto sumario, ya que permiten al proyectista determinar el número de puntos luminosos a instalar.

A nivel de solución básica, estos esquemas, permiten por medio de una simple inspección definir inmediatamente las características de la instalación que se proyecta y de estimar su costo aproximado.

Ejemplo

Sea una vía colectora de doble sentido, con 3 sendas por calzada, separador central de 2 m y superficie de la calzada de concreto. Determinar sus parámetros de iluminación.

a) Elementos de selección:

- Tipo de iluminación recomendado: II

Nivel de luminancia (L_{med}) En la Norma del MEM se recomienda un rango de 1 a 2 cd/m^2 ; se escoge para este tipo de vía una luminancia media en servicio:

$$L_{med} = 1.2 \text{ cd/m}^2$$

- Tipo de calzada: RIII

Disposición: Bilateral en oposición.

b) Pasos a seguir:

- Observar las tablas 3.5 a 3.9. Estas Tablas han sido calculadas para un nivel de iluminación inicial. Para las condiciones ambientales del lugar se asume un factor de mantenimiento F.M.=0.8, por lo que la luminancia inicial es $L_{med_{in}} = 1.2/0.8 = 1.5 \text{ cd/m}^2$.

TABLA 3.5 VIA DE DOBLE SENTIDO CON 3 SENDAS POR CALZADA, SEPARADOR CENTRAL DE 2m

DISPOSICION BILATERAL EN OPOSICION		TIPO DE LAMPARA		POTENCIA DE LAMPARA		ALTURA DE MONTAJE		RETIRO DE LA LUMINARIA											
		TUBULAR SODIO ALTA PRESION		250W		10 m		4 m											
Calzada	Espaciamiento	INCLINACION 0°						INCLINACION 5°						INCLINACION 20°					
		E _{med}	L _{med}	U ₀	U ₁	F.U	G	E _{med}	L _{med}	U ₀	U ₁	F.U	G	E _{med}	L _{med}	U ₀	U ₁	F.U	G
R2	30.00	20,10	1,30	0,39	0,74	0,24	6,20	23,60	1,50	0,41	0,78	0,29	6,30	31,60	1,90	0,61	0,76	0,38	6,70
	32.50	18,60	1,20	0,37	0,68	0,24	6,20	21,80	1,40	0,42	0,73	0,29	6,40	29,30	1,80	0,61	0,76	0,38	6,70
	35.00	17,30	1,10	0,34	0,64	0,24	6,20	20,40	1,30	0,42	0,72	0,29	6,40	27,40	1,70	0,59	0,81	0,38	6,70
	37.50	16,10	1,00	0,34	0,60	0,24	6,20	18,90	1,20	0,40	0,68	0,29	6,40	25,40	1,60	0,59	0,81	0,38	6,70
	40.00	15,10	1,00	0,34	0,58	0,24	6,20	17,70	1,10	0,38	0,66	0,29	6,40	23,80	1,50	0,60	0,77	0,38	6,70
R3	30.00	20,10	1,10	0,38	0,72	0,24	6,10	23,60	1,30	0,41	0,79	0,29	6,30	31,60	1,70	0,62	0,82	0,38	6,60
	32.50	18,60	1,10	0,37	0,65	0,24	6,10	21,80	1,20	0,41	0,71	0,29	6,30	29,30	1,60	0,63	0,84	0,38	6,60
	35.00	17,30	1,00	0,33	0,57	0,24	6,20	20,40	1,10	0,42	0,66	0,29	6,30	27,40	1,50	0,61	0,86	0,38	6,60
	37.50	16,10	0,90	0,31	0,53	0,24	6,20	18,90	1,10	0,39	0,61	0,29	6,30	25,40	1,40	0,61	0,87	0,38	6,70
	40.00	15,10	0,90	0,31	0,50	0,24	6,20	17,70	1,00	0,36	0,56	0,29	6,40	23,80	1,30	0,61	0,85	0,38	6,70

TABLA 3.6 VIA DE DOBLE SENTIDO CON 3 SENDAS POR CALZADA, SEPARADOR CENTRAL DE 2 m

DISPOSICION BILATERAL EN OPOSICION		TIPO DE LAMPARA TUBULAR SODIO ALTA PRESION		POTENCIA DE LAMPARA 250W		ALTURA DE MONTAJE 1.2 m		RETIRO DE LA LUMINARIA 2 m										
INCLINACION 20°				INCLINACION 5°				INCLINACION 0°										
E _{med}	L _{med}	U ₀	U ₁	F.U	G	E _{med}	L _{med}	U ₀	U ₁	F.U	G	E _{med}	L _{med}	U ₀	U ₁	F.U	G	Espaciamiento Calzada
29,9	1,90	0,82	0,78	0,44	7,20	27,0	1,70	0,52	0,81	0,39	6,90	24,7	1,60	0,48	0,75	0,36	6,80	36,00
27,8	1,80	0,78	0,77	0,44	7,20	24,9	1,60	0,52	0,78	0,39	6,90	22,7	1,50	0,44	0,70	0,36	6,80	39,00
25,7	1,60	0,76	0,80	0,44	7,20	23,1	1,50	0,50	0,71	0,39	6,90	21,1	1,40	0,41	0,64	0,36	6,80	42,00
24,0	1,50	0,78	0,81	0,44	7,20	21,5	1,40	0,47	0,67	0,39	6,90	19,7	1,30	0,40	0,62	0,36	6,80	45,00
22,4	1,40	0,81	0,76	0,44	7,20	20,1	1,30	0,47	0,64	0,39	7,00	18,4	1,20	0,40	0,60	0,36	6,90	48,00
29,9	1,80	0,80	0,79	0,44	7,10	27,0	1,60	0,49	0,80	0,39	6,90	24,7	1,50	0,43	0,75	0,36	6,80	36,00
27,8	1,60	0,76	0,81	0,44	7,20	24,9	1,50	0,47	0,75	0,39	6,90	22,7	1,40	0,39	0,66	0,36	6,80	39,00
25,7	1,50	0,74	0,75	0,44	7,20	23,1	1,40	0,44	0,68	0,39	6,90	21,1	1,30	0,36	0,58	0,36	6,80	42,00
24,0	1,40	0,75	0,71	0,44	7,20	21,5	1,30	0,41	0,60	0,39	6,90	19,7	1,20	0,34	0,54	0,36	6,80	45,00
22,4	1,30	0,73	0,69	0,44	7,20	20,1	1,20	0,40	0,55	0,39	7,00	18,4	1,10	0,34	0,51	0,36	6,80	48,00

TABLA 3.7 VIA DE DOBLE SENTIDO CON 3 SENDAS POR CALZADA, SEPARADOR CENTRAL DE 2m

DISPOSICION BILATERAL EN OPOSICION		TIPO DE LAMPARA TUBULAR SODIO ALTA PRESION		POTENCIA DE LAMPARA 250W		ALTURA DE MONTAJE 12 m		RETIRO DE LA LUMINARIA 4 m											
		INCLINACION 0°				INCLINACION 5°				INCLINACION 20°									
Calzada	Espaciamiento	E _{med}	L _{med}	U ₀	U ₁	F.U	G	E _{med}	L _{med}	U ₀	U ₁	F.U	G	E _{med}	L _{med}	U ₀	U ₁	F.U	G
R2	36,00	18,50	1,20	0,47	0,73	0,27	6,70	21,30	1,30	0,50	0,79	0,31	6,80	26,70	1,60	0,75	0,77	0,39	7,10
	39,00	17,00	1,10	0,43	0,68	0,27	6,70	19,60	1,20	0,50	0,76	0,31	6,80	24,80	1,50	0,72	0,76	0,39	7,10
	42,00	15,80	1,00	0,40	0,64	0,27	6,70	18,20	1,10	0,48	0,71	0,31	6,90	23,00	1,40	0,71	0,80	0,39	7,10
	45,00	14,80	0,90	0,39	0,62	0,27	6,70	17,00	1,10	0,45	0,69	0,31	6,90	21,40	1,30	0,69	0,79	0,39	7,20
	48,00	13,90	0,90	0,39	0,61	0,27	6,70	15,90	1,00	0,45	0,66	0,31	6,90	20,10	1,20	0,71	0,75	0,39	7,20
R3	36,00	18,50	1,10	0,44	0,73	0,27	6,60	21,30	1,20	0,48	0,79	0,31	6,80	26,70	1,50	0,73	0,79	0,39	7,10
	39,00	17,00	1,00	0,40	0,65	0,27	6,60	19,60	1,10	0,48	0,75	0,31	6,80	24,80	1,40	0,73	0,82	0,39	7,10
	42,00	15,80	0,90	0,37	0,58	0,27	6,70	18,20	1,00	0,45	0,67	0,31	6,80	23,00	1,30	0,71	0,86	0,39	7,10
	45,00	14,80	0,90	0,35	0,55	0,27	6,70	17,00	1,00	0,42	0,62	0,31	6,80	21,40	1,20	0,69	0,83	0,39	7,10
	48,00	13,90	0,80	0,34	0,53	0,27	6,70	15,90	0,90	0,40	0,57	0,31	6,80	20,10	1,10	0,67	0,80	0,39	7,10

TABLA 3.9 VIA DE DOBLE SENTIDO CON 3 SENDAS POR CALZADA, SEPARADOR CENTRAL DE 2m

DISPOSICION BILATERAL EN OPOSICION		TIPO DE LAMPARA TUBULAR SODIO ALTA PRESION		POTENCIA DE LAMPARA 400W		ALTURA DE MONTAJE 1.4 m		RETIRO DE LA LUMINARIA 4 m											
		INCLINACION 0°				INCLINACION 5°				INCLINACION 20°									
Calzada	Espaciamiento	E _{med}	L _{med}	U _o	U ₁	F.U	G	E _{med}	L _{med}	U _o	U ₁	F.U	G	E _{med}	L _{med}	U _o	U ₁	F.U	G
R2	42.00	37.40	2.20	0.60	0.69	0.34	7.30	39.70	2.30	0.78	0.80	0.37	7.40	38.50	2.30	0.83	0.87	0.35	7.60
	45.50	34.50	2.00	0.59	0.68	0.34	7.30	36.70	2.10	0.77	0.79	0.37	7.40	35.60	2.10	0.83	0.85	0.35	7.60
	49.00	32.10	1.90	0.59	0.68	0.34	7.30	34.10	2.00	0.77	0.79	0.37	7.40	33.00	1.90	0.82	0.84	0.35	7.60
	52.50	30.00	1.80	0.59	0.70	0.34	7.30	31.80	1.90	0.78	0.75	0.37	7.40	30.80	1.80	0.80	0.82	0.35	7.60
	56.00	28.10	1.60	0.61	0.67	0.34	7.30	29.80	1.70	0.79	0.71	0.37	7.40	28.90	1.70	0.77	0.78	0.35	7.60
R3	42.00	37.40	1.90	0.53	0.63	0.34	7.20	39.70	2.00	0.69	0.73	0.37	7.30	38.50	2.00	0.87	0.84	0.35	7.50
	45.50	34.50	1.80	0.51	0.60	0.34	7.20	36.70	1.90	0.68	0.71	0.37	7.30	35.60	1.80	0.86	0.85	0.35	7.50
	49.00	32.10	1.60	0.51	0.59	0.34	7.20	34.10	1.70	0.67	0.70	0.37	7.40	33.00	1.70	0.86	0.84	0.35	7.50
	52.50	30.00	1.50	0.50	0.58	0.34	7.20	31.80	1.60	0.67	0.69	0.37	7.40	30.80	1.60	0.83	0.82	0.35	7.60
	56.00	28.10	1.40	0.51	0.60	0.34	7.30	29.80	1.50	0.68	0.71	0.37	7.40	28.90	1.50	0.81	0.77	0.35	7.60

- Revisando la columna de la luminancia media inicial L_{med} se constata que hay 9 formas de obtener el valor 1.5 cd/m^2 como lo indica la siguiente tabla 3.10.

Tabla 3.10 Soluciones posibles que cumplen con $L_{med}=1.5 \text{ cd/m}^2$

SOLUCION	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TABLA	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9
ESPACIAMIENTO	35	42	39	36	36	42	52.5	56	56
INCLINACION	20°	20°	5°	0°	20°	20°	0°	5°	20°
E_{med}	27.4	25.7	24.9	24.7	26.7	24.7	30.0	29.8	28.9
L_{med}	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
U_0	0.61	0.74	0.47	0.43	0.73	0.85	0.50	0.68	0.81
U_1	0.86	0.75	0.75	0.75	0.79	0.81	0.58	0.71	0.77
F.U.	0.38	0.44	0.39	0.36	0.39	0.42	0.34	0.37	0.35
G	6.60	7.20	6.90	6.80	7.10	7.50	7.20	7.40	7.60

Siguiendo la columna de la uniformidad media (U_0) se comprueba las soluciones que cumplan con $U_0 \geq 0.45$ eliminándose la solución 4.

- Siguiendo la columna de la uniformidad de luminancia longitudinal (U_1) se puede comprobar que todas cumplen con la condición $U_1 \geq 0.55$
- Para el tipo de iluminación II las luminarias de haz no apantallado no son recomendables (ver tabla 1.5), por lo que se eliminarán las soluciones cuya lumina

ria tenga una inclinación de 20°. Resultan eliminadas las soluciones N°1, N°2, N°5, N°6 y N°9.

- Entre las 3 soluciones restantes la N°7 y N°8 tienen que descartarse debido a que no es posible obtener un retiro de 4 m para esa vía urbana.

La solución elegida es la N° 3, la cual tendrá las siguientes características:

- * Disposición bilateral en oposición.
- * Lámpara de sodio de alta presión tubular de 250 W.
- * Altura de montaje de la luminaria (h): 12 m.
- * Retiro de la luminaria (P): 2 m.
- * Inclinación de la luminaria (α): 5°
- * Espaciamiento entre luminarias (S): 39 m.
- * Nivel de iluminancia media en servicio (E_{med}): 19.9 lux
- * Nivel de luminancia en servicio (L_{med}): 1.2 cd/m²
- * Uniformidad media de luminancia (U_0): 0.47
- * Uniformidad longitudinal de luminancia (U_1): 0.75
- * Factor de utilización (F.U.): 0.39
- * Índice de deslumbramiento (G): 6.90

A continuación se presentan las propuestas básicas para la iluminación de las secciones de vías normalizadas en el Reglamento Nacional de Construcciones.

Nota: Los valores indicados corresponden a los de servicio.

CAPITULO IV

MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES

El propósito de este capítulo es analizar las diferentes causas de deterioro y depreciación de las instalaciones de Alumbrado de Vías Públicas, y dar una conclusión en cuanto a las características que deben tener los materiales empleados y a la determinación de los métodos más convenientes para conservar en buen estado las diferentes clases de instalaciones.

La Publicación CIE Nº 33 B (TC-4.6) 1977 "Depreciación de las Instalaciones y su Mantenimiento" es la base para el desarrollo de este capítulo.

Se debe poner especial cuidado en la selección del equipo de toda instalación con miras a reducir el mantenimiento, por afectar apreciablemente en el costo anual de operación. El valor del sistema de alumbrado dependerá de lo bien que se lleve a cabo el programa de mantenimiento.

La conservación de la instalación es fundamental para que la vía cumpla con dar una confiabilidad visual permanente

a los usuarios de la misma y para que alcance el tiempo de vida para la que fue diseñada.

4.1 Depreciación de las instalaciones

Las características de una instalación de alumbrado vial se ven deterioradas con el tiempo debido a la influencia de ciertas causas, entre las cuales las principales son:

- a) Reducción progresiva del flujo luminoso de las fuentes luminosas.
- b) Acumulación de suciedad en y sobre las luminarias.
- c) Envejecimiento de los componentes del sistema óptico: reflectores, refractores, etc.
- d) Fallas prematuras de algunas lámparas o sus equipos auxiliares.
- e) Vibraciones impuestas sobre el material y esfuerzos causados por los accidentes.
- f) Excesivo aumento o disminución de la temperatura dentro de la luminaria que puede afectar el rendimiento de la lámpara.
- g) Fallas prematuras de los equipos auxiliares.
- h) Tensión incorrecta en los bornes de los portalámparas.

La calidad y el rendimiento de una instalación de Alumbrado Público y la rapidez con que se deteriora dependen en gran parte de la correcta selección de la luminaria, de la lámpara y de su equipo auxiliar y en el modo más o menos perfecto en que estos equipos se adaptan los unos a los otros.

Por lo tanto, todas las indicaciones que aquí se señalan han sido formuladas sobre la hipótesis que todos estos elementos han sido juiciosamente seleccionados en función de las necesidades y condiciones de toda clase que caracterizan la instalación, e igualmente de acuerdo unos con otros.

Casi todos los factores deteriorantes mencionados pueden ser total o parcialmente mitigados por el reemplazo periódico de elementos deteriorados y por la limpieza de las partes sucias. Por el contrario, poco podrá hacerse en relación con los factores (c) y (f) una vez que la instalación haya sido terminada.

4.1.1 Rendimiento global de la instalación

Es el resultado de considerar el rendimiento inicial afectado por el producto de todos los factores de depreciación, esto quiere decir que en ausencia de cualquier reemplazo o limpieza el rendimiento de la instalación tendería rápidamente a cero. Esto se refleja en la importancia que tales operaciones presentan desde el doble punto de vista de la economía y la seguridad.

Aún en el caso de un mantenimiento sistemático, los valores medios integrados de la iluminancia así como los de la luminancia de una instalación son en efecto inferiores en 20% a 30% de los valores inicialmente calculados. Por esta razón, en muchos países las Normas o los Códigos de Buena Práctica recomiendan que la instalación sea diseñada para

dar inicialmente, por lo menos, los niveles de iluminancia (E_{med}) y luminancia (L_{med}) multiplicados por:

$$\frac{1}{1 - 20\%} = 1.25 \quad \text{a} \quad \frac{1}{1 - 30\%} = 1.43$$

4.1.2 Influencia de las variaciones de las características de reflexión de la calzada

Las características reflectoras de la superficie de la calzada cambian lentamente desde su puesta en servicio. Este cambio es significativo durante los primeros 6 meses después de los cuales disminuye lentamente.

4.1.3 Depreciación del flujo luminoso de la lámpara

El flujo luminoso de la mayoría de las lámparas decrece regularmente desde su puesta en servicio, esta disminución no sólo depende del tipo y potencia de la lámpara, sino también de otros factores, tales como la temperatura ambiente, fluctuación de la tensión, posición de encendido etc.

La información de la depreciación del flujo luminoso para cada tipo de lámpara en particular debe ser obtenida de su fabricante. La figura 4.1 muestra curvas de la depreciación del flujo luminoso debido al envejecimiento de las lámparas más empleadas en el Alumbrado de Vías Públicas.

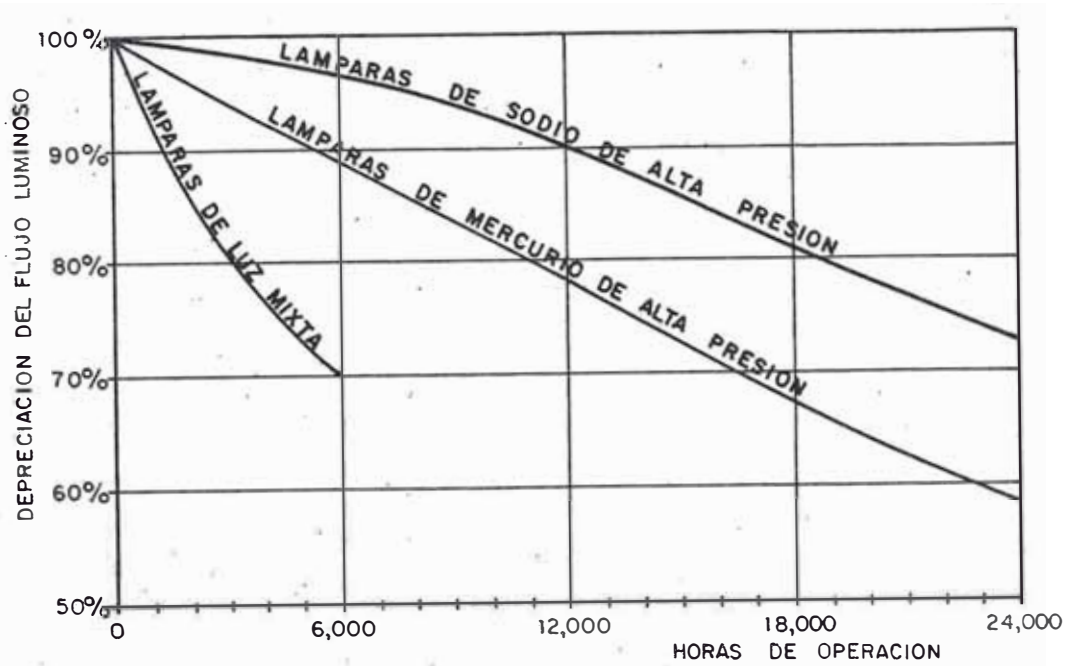


Figura 4.1 Curvas de depreciación del flujo luminoso de las lámparas en función del número de horas de operación de las mismas. El flujo disminuye con la edad de las lámparas en proporciones diferentes según el tipo de lámpara.

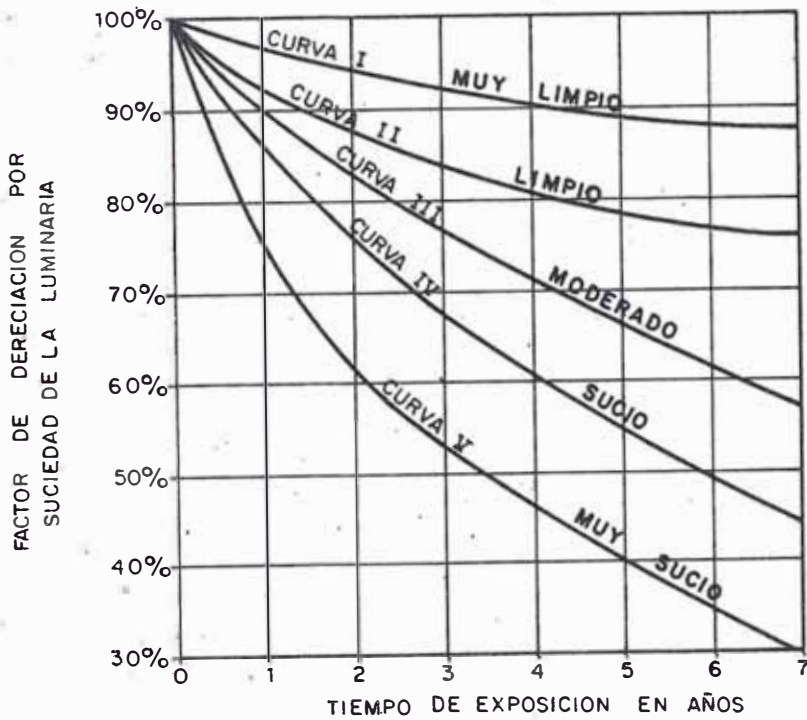


Figura 4.2 Factor de depreciación por suciedad de la luminaria (de acuerdo al grado de contaminación de la atmósfera), para una luminaria abierta con una altura de montaje de 10-12 m.

4.1.4 Acumulación de suciedad sobre las lámparas y luminarias y envejecimiento de las luminarias

La rapidez y severidad de la acumulación de suciedad sobre las lámparas y luminarias varía considerablemente de acuerdo a la naturaleza y tipo de construcción de las mismas (abiertas o cerradas, con empaquetaduras herméticas o sin ellas), altura de montaje, y sobre todo del grado de humedad y nivel de contaminación del ambiente en que se encuentran y que comprende entre otros factores el volumen y la naturaleza del tránsito, clima, lugar en que se encuentre ubicada la instalación, etc.

Como ejemplo, la figura 4.2 muestra el factor de depreciación por suciedad de la luminaria (de acuerdo a los diferentes grados de contaminación de la atmósfera), para una luminaria abierta colocada a una altura de montaje de 10 a 12 metros.

Curva I, muy limpio.- Corresponde a las condiciones siguientes: no existen humos o suciedad generados por las actividades realizadas en su vecindad, bajo nivel de contaminación ambiental, tránsito moderado y no tan rápido, ausencia de vehículos pesados, áreas rurales y calles residenciales.

Curva II, limpio.- Como para la curva I, pero con volumen de tránsito más importante, algunos vehículos pesados, vías primarias fuera de áreas urbanas.

Curva III, moderado.- Tránsito más importante, vías de circunvalación.

Curva IV, sucio.- Tránsito vehicular muy pesado, vías primarias en zonas urbanas y comerciales de alta densidad.

Curva V, muy sucio.- Zonas densamente pobladas con tránsito pesado, presencia de contaminación industrial (plantas de gas, plantas térmicas, industrias químicas, etc). Del gráfico se observa que para las condiciones más desfavorables, el flujo luminoso después de siete años puede ser reducido al 30% de su valor inicial.

4.1.5 Excesiva variación de la temperatura en el interior de la luminaria

Las variaciones de la temperatura en el interior de la luminaria resultan de la periodicidad anual de las sucesivas estaciones, de la periodicidad diaria debido a la sucesión del día y de la noche y del tiempo que permanece encendida o apagada la lámpara.

Estas diferencias en la temperatura interior varían de acuerdo a la ubicación de las horas que la lámpara permanece encendida o apagada con respecto a las horas del día y de la noche.

Las diferencias de temperatura en el interior de la luminaria pueden presentar un cuádruple inconveniente:

- a) El calor excesivo y el eventual enfriamiento, pueden deteriorar rápidamente las partes de plástico, la pintura, el aislamiento y las empaquetaduras.
- b) Pueden destruir un elemento esencial de la lámpara.
- c) Pueden ocasionar una reducción en el flujo luminoso de la lámpara si ésta funciona a una temperatura demasiado alejada de la temperatura para la cual fue diseñada. Esta reducción es muy importante tratándose de tubos fluorescentes y de lámparas de sodio de alta presión.
- d) La baja presión debido al enfriamiento después de apagarse la lámpara en el caso de luminarias cerradas, puede dar lugar a condensación.

Es posible reducir apreciablemente estas diferencias recurriendo a las siguientes precauciones:

- a) En países cálidos, mediante el empleo de luminarias abiertas. Cuando las luminarias sean cerradas deben tener un tamaño apropiado.
- b) Para todas las luminarias, equipo auxiliar, condensadores y aislantes utilizados en países cálidos, mediante el empleo de materiales tropicalizados resistentes al calor excesivo y a la humedad.
- c) Para lámparas de alta potencia, por el uso de luminarias con dimensiones suficientemente grandes con respecto a las dimensiones de las lámparas.

- d) Para una luminaria abierta, la preferencia por un modelo con circulación de aire que permita su propia limpieza por las corrientes de aire de convección.

4.1.6 Causas de vibraciones y distorsión accidental

Los componentes de la instalación de alumbrado como los postes, luminarias, lámparas, equipo auxiliar, etc soportan vibraciones: regularmente, debido al paso de vehículos pesados, e irregularmente, debido a los vientos. Por razones de inercia estos movimientos están propensos a causar daño e incluso la destrucción de los materiales.

Las serias consecuencias debido a las vibraciones pueden ser limitadas mediante ciertas precauciones:

- a) Fijación de la lámpara por medio de un portalámpara antivibratorio. Esta precaución evita que la lámpara se a floje progresivamente del portalámpara bajo los efectos de las vibraciones. Sujeción apropiada del portalámpara que podría variar su posición con respecto al sistema óptico y modificar la distribución de la luminancia sobre la calzada, si las vibraciones pudieran originar su desplazamiento.
- b) Fijación del pastoral al poste por medio de una sujeción fuerte y sencilla.
- c) Selección de una luminaria que tenga especial resistencia a las vibraciones y a los choques.

4.1.7 Reducción de la vida del balasto

Normalmente, la vida media de los balastos en operación continua es de 10 años, pero un aumento de 10°C sobre la temperatura asumida en relación a su vida de diseño, reduce la vida del balasto en un 50%.

4.1.8 Tensión incorrecta en los terminales de la lámpara o en los terminales del equipo auxiliar

La tensión en los terminales de la lámpara no conforme con la tensión de diseño, se traducirá en una apreciable variación del flujo luminoso emitido. La tensión disminuye cuando aumenta la corriente en el cable alimentador.

4.1.9 Lámparas falladas

Es imposible predecir cuando fallará una lámpara. Esto se debe a que la vida de las lámparas de descarga utilizadas en el Alumbrado Público se ve afectada por factores como: el tipo de balasto, la temperatura ambiente, la tensión de operación, las fluctuaciones de la tensión en la red, posición de operación, etc.

Los fabricantes proporcionan las curvas de supervivencia para tipos específicos de lámparas. Cada curva indica la proporción de lámparas de un tipo particular que aún funcionan a medida que aumenta el número de horas de operación. De aquí surge el concepto de "vida media" de la lámpara que se define como el número de horas de operación para el cual el 50% de las lámparas están funcionando.

Más importante que este último concepto, desde el punto de vista del costo del alumbrado, es tener un conocimiento acerca del número de horas de operación correspondientes a la más baja relación de mortalidad, por lo que, en el sistema europeo, los fabricantes comunmente dan las curvas de supervivencia para las primeras 10,000 horas de operación.

En el sistema Americano, la curva de supervivencia se da para el 100% de la vida media considerada, notándose que para el caso específico de una lámpara de mercurio de 175 Watts, por ejemplo (ver figura 2.5), el 95% de lámparas sobrevive después de las 12,000 horas de operación, lo que indica que muy pocas lámparas fallan en la primera mitad de su vida media considerada.

La figura 4.3 muestra las curvas de supervivencia de los 3 tipos de lámparas más empleadas en el Alumbrado Público.

4.2 Mantenimiento de las instalaciones

El efecto total de los diversos factores que afectan la depreciación, dependerá de la naturaleza de las operaciones de mantenimiento y de la frecuencia con que se realicen.

Debido a los costos elevados para las operaciones de mantenimiento, es cada vez más y más necesario agrupar las operaciones de inspección, mantenimiento, limpieza y reemplazos en la forma de visitas periódicas y reducir a un mínimo los recorridos hechos fuera de programa.

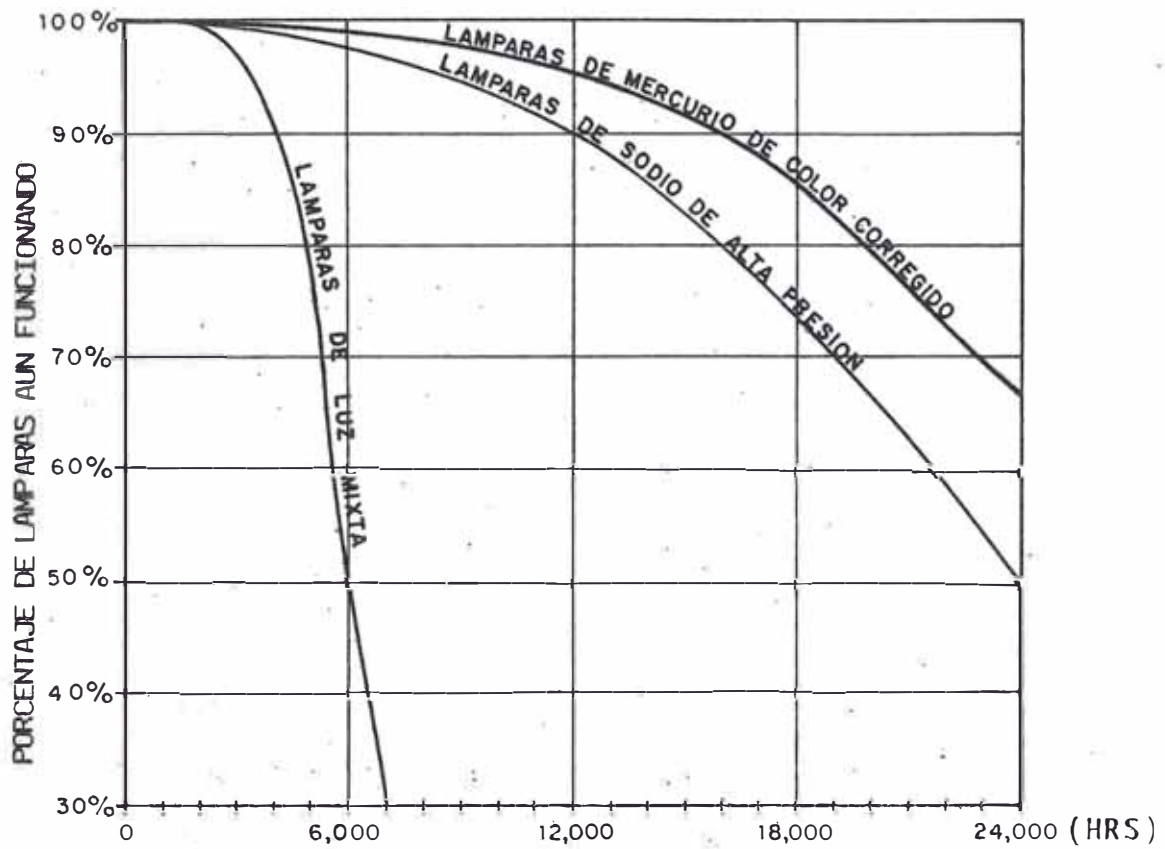


Figura 4.3 Curvas de supervivencia que muestran el comportamiento de las lámparas de descarga más utilizadas en el Alumbrado Público. Estas curvas varían de fabricante a fabricante por lo que sólo deben utilizarse con fines referenciales.

Se asume que el ciclo anual de operación es el mismo para todas las lámparas (4,000 horas de operación al año).

Es imposible indicar, en una recomendación general, datos precisos concernientes a la frecuencia con que se deben llevar a cabo las diferentes operaciones de mantenimiento. Estas deben ser calculadas para cada caso particular en base a datos reales.

4.2.1 Diferentes categorías de inspecciones

Estas se refieren a los siguientes puntos:

- a) Reemplazo de lámparas, y donde sea necesario, de equipos auxiliares; estar seguros que la base o casquillo de la lámpara se adapta perfectamente al portalámpara (no conjundir el casquillo E-39 con el E-40, por ejemplo).
- b) Comprobación del funcionamiento correcto de las lámparas; comprobación del funcionamiento correcto del telecomando para el Alumbrado Público (en caso de que exista); detección de fallas eléctricas y daños accidentales.
- c) Limpieza de las lámparas y de los sistemas ópticos. Es tos últimos serán limpiados, en algunos casos, más fácilmente en el taller.
- d) Podado de árboles, para permitir la completa emisión luminosa en el cono de la máxima intensidad de cada luminaria.
- e) Pintado periódico de los elementos que lo requieran.

4.2.2 Limpieza y reemplazo de lámparas

Debido a la mayor o menor congestión total de un gran número de vías y a la larga vida de las lámparas de descarga, hay un interés cada vez mayor en eliminar, o por lo menos, reducir las inspecciones para detectar las lámparas apagadas (excepto en vías importantes, donde los reemplazos individuales de lámparas no puedan dejar de efectuarse), y hacer un reemplazo por grupo de todas las lámparas en la misma vía o sector, después de un cierto número de horas de servicio suficientemente menor que la vida media, para asegurar una menor proporción de lámparas apagadas. Este método presupone que no es posible atender a las demandas locales concernientes a la falla prematura de una lámpara, y en principio, no atender ningún reemplazo de una lámpara fuera del cronograma establecido.

Sin embargo, en este caso, al final de las 100 horas de operación, un recorrido para cambiar las lámparas que hayan fallado a tan poco tiempo de estar en servicio, es una precaución acertada.

En tales condiciones, el reemplazo por grupo constituye el método más económico y el más práctico, puesto que puede llevarse a cabo durante el día y así evitar que el personal de mantenimiento esté expuesto a los peligros del tránsito nocturno y que el costo sea mayor por el pago de salarios nocturnos. También, es más adecuado desde el punto de vista de la seguridad, puesto que no hay que trabajar con

la red energizada. La ventaja de hacer el reemplazo por grupo, es que se puede dar mantenimiento completo, tales como: limpieza de la lámpara, enfoque correcto de la lámpara, limpieza de la luminaria y particularmente del sistema óptico, comprobación del equipo auxiliar, verificación de las partes mecánicas de la luminaria, etc.

En lo que se refiere al número óptimo de horas de servicio, al final de las cuales las lámparas deben ser reemplazadas, el fabricante debe proporcionar la información correspondiente a cada tipo de lámpara en particular.

4.2.2.1 Reemplazo por grupo

Para determinar cuál es, desde el punto de vista económico, el número óptimo de horas de operación después de las cuales debe hacerse el reemplazo por grupo de las lámparas, se debe investigar para qué tiempo de operación, entre 2 reemplazos por grupo, el flujo luminoso emitido (en lúmenes-hora) es el de menor costo.

Ahora, el costo total de los lúmenes-hora se obtiene de considerar los elementos siguientes:

- a) El costo de la energía eléctrica.
- b) El costo del reemplazo de un grupo más la limpieza y comprobación de su operación hechas en ocasión del reemplazo del grupo (limpieza y enfoque de la lámpara, limpieza del sistema óptico de la luminaria, comproba-

- cción del equipo auxiliar y verificación de las partes mecánicas de la luminaria).
- c) El costo de las operaciones suplementarias de limpieza hechas eventualmente entre 2 reemplazos por grupo.
- d) El costo del reemplazo de las lámparas que hayan fallado durante este intervalo de tiempo.

Sea:

c = Costo de un KW-hr.

p = Potencia demandada por una lámpara, incluyendo la potencia del equipo auxiliar y las pérdidas en la línea por lámpara (todo expresado en Watts).

N = Número de lámparas en la instalación.

T = Número de horas de operación de la instalación entre 2 reemplazos por grupo..

El costo de la energía consumida durante estas T horas es:

$$\frac{c \times p \times N \times T}{1,000}$$

y siendo además $\bar{q}(T)$ el "flujo medio" en lúmenes emitido por una lámpara durante este tiempo T , la cantidad de luz emitida por toda la instalación entre 2 reemplazos por grupo será:

$$N \times \bar{q}(T) \times T \text{ lúmenes}$$

Sea " R_s " el costo por lámpara de un reemplazo por grupo y de las operaciones hechas en ocasión de este reemplazo (incluyendo el costo de la mano de obra, herramientas y lámpara), el costo total de un reemplazo por grupo para toda la instalación será:

$$R_s \times N$$

Sea " P " el costo de la limpieza de una luminaria, si dentro de 2 reemplazos por grupo, se hacen " n " limpiezas, ellas costarán:

$$n \times P \times N$$

Sea " R_{oc} " el costo por lámpara de un reemplazo ocasional, el que incluye:

- a) El costo de la mano de obra.
- b) El costo de las herramientas.
- c) El costo de selección entre las lámparas retiradas durante el reemplazo por grupo anterior, de una lámpara cuyo flujo residual supere un porcentaje dado del flujo inicial.

Sea $p(T)$ el porcentaje de lámparas que fallan durante el periodo T , el costo de los reemplazos ocasionales hechos durante este periodo será:

$$\frac{p(T)}{100} \times N \times R_{oc}$$

El costo total de la energía, del reemplazo de las lámparas, de la limpieza, etc para un periodo de T horas de servicio será:

$$\frac{c \times p \times T}{1,000} + R_s + n \times P + \frac{p(T) \times R_{oc}}{100}$$

$$\bar{q}(T) \times T$$

Debe notarse que la función p(T) no coincide con la curva de supervivencia de la lámpara en cuestión (ver las curvas de supervivencia de la figura 4.3). En efecto, la curva de supervivencia indica las lámparas que fallan dentro de un grupo dado, entonces el número de lámparas en ese grupo de crece por la misma cantidad. De otro lado, la función p(T) indica el número de lámparas que fallan en un grupo de un total que se mantiene constante, por cuanto las lámparas quemadas son reemplazadas tan pronto como fallan, por lámparas que todavía pueden funcionar.

Por lo tanto, la función p(T) puede ser determinada sólo empíricamente basada en instalaciones suficientemente grandes.

El número de limpiezas suplementarias hechas entre 2 reemplazos por grupo varía, naturalmente, con el grado de contaminación en la atmósfera y el lapso del periodo T. La frecuencia de las limpiezas varía generalmente entre 6 y 18 meses.

Observaciones

Es por lo tanto, imposible recomendar una frecuencia de reemplazo por grupo que sea el más apropiado en cada caso, (referida solamente a la naturaleza y potencia de las lámparas). Las diferencias considerables que existen entre los regímenes ideales, particularmente se originan (para un tipo dado de lámpara) en los factores siguientes:

a) El costo de la energía

En países donde el precio de la energía para el Alumbrado Público es bajo, se practican generalmente largos periodos de T y se aceptan numerosos reemplazos individuales de lámparas falladas entre 2 reemplazos por grupo.

b) La disminución en el nivel de la instalación comparado con el inicial

Esta disminución varía no solamente de acuerdo a las características de las vías, sino también de acuerdo a los diferentes países.

c) El porcentaje tolerado de lámparas fuera de servicio

El intervalo aceptable entre 2 reemplazos por grupo será naturalmente mucho mayor si uno es más tolerante para los 2 primeros factores descritos anteriormente.

d) La procedencia de las lámparas

De acuerdo a esta procedencia, la curva de superviven -

cia de un tipo dado de lámpara puede variar significativamente, lo mismo que la curva de la depreciación del flujo luminoso.

Por esta razón, el diseñador debería recurrir al fabricante de las lámparas antes de calcular el intervalo T óptimo entre 2 reemplazos por grupo.

4.2.2.2 Limpieza

En general y particularmente en zonas de alta contaminación y en vías de gran tránsito, no es posible confiar únicamente en las limpiezas realizadas durante los reemplazos por grupo. En estos casos debe adoptarse periodos intermedios de limpieza dentro del ciclo de reemplazo por grupo.

A pesar de tener el mantenimiento más cuidadoso y metódico, una instalación nunca recupera completamente el flujo inicial medido a la fecha de su puesta en servicio. Asumiendo que el reemplazo de las fuentes luminosas se efectuara cada 6,000 horas, la figura 4.4 (tomada del Código Belga), muestra la pérdida anual de cierto porcentaje del flujo luminoso.

La figura 4.5, tomada también del Código Belga, muestra cómo varía el flujo luminoso emitido por las lámparas de una instalación, en la cual la limpieza de las luminarias se realiza entre cada 2 reemplazos por grupo. Los reemplazos por grupo, en este caso, son realizados al final de las 8,000 horas, por lo tanto, las limpiezas se efectúan cada año.

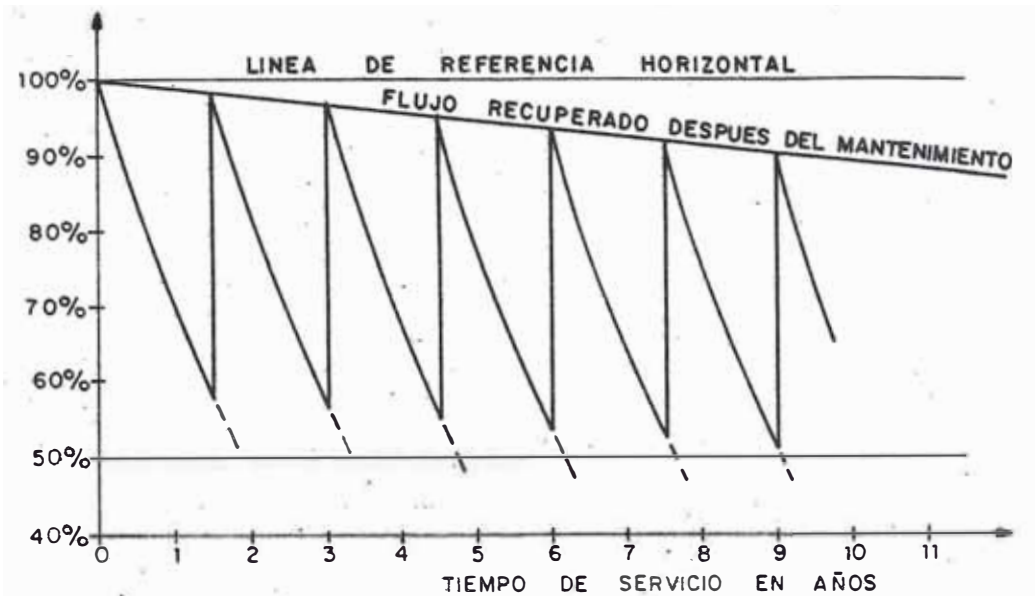


Figura 4.4 Años transcurridos después de la puesta en servicio de la instalación. (Luminarias cerradas de acuerdo a la norma IP 55). El reemplazo de las fuentes luminosas se efectúa cada 6,000 horas.

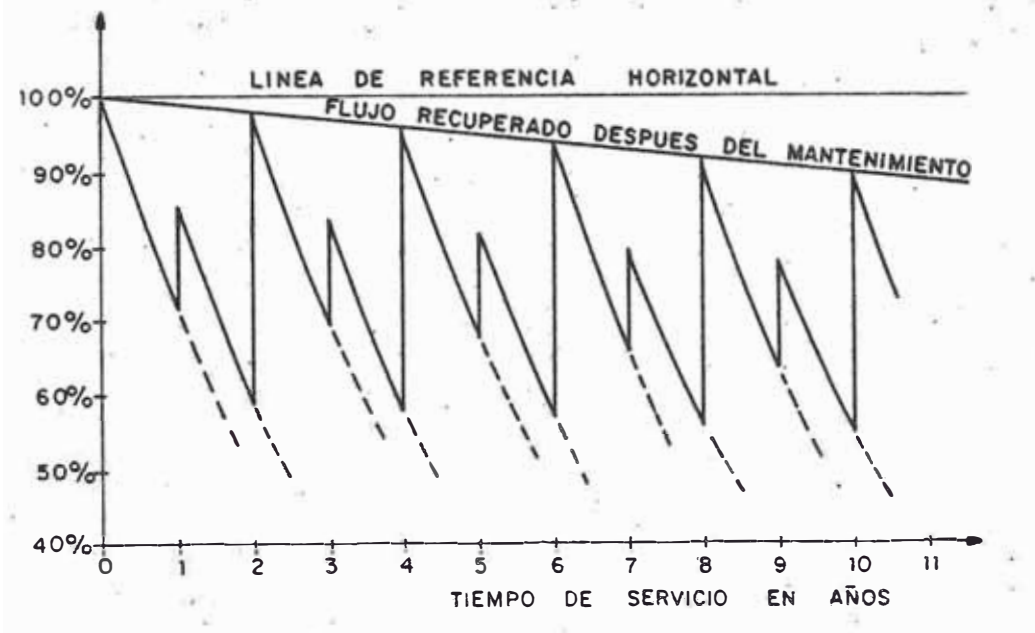


Figura 4.5 Años transcurridos después de la puesta en servicio de la instalación. (Luminarias cerradas de acuerdo a la norma IP 55). Los reemplazos por grupo se efectúan cada 8,000 horas y las limpiezas tienen lugar cada año (4,000 horas).

4.2.3 Mantenimiento mecánico, eléctrico y óptico

Esto comprende un conjunto de comprobaciones y operaciones de las cuales las principales son:

4.2.3.1 Mantenimiento mecánico

Comprobación periódica, (alrededor de una vez al año) de las cimentaciones y perpendicularidad del poste, estado de la tapa y de los portafusibles, orientación del pastoral y revisión de todas las demás partes mecánicas de la luminaria, incluyendo pernos y tornillos.

4.2.3.2 Mantenimiento eléctrico y óptico

- a) Comprobar cada 12 ó 18 meses el estado de la puesta a tierra del poste, pastoral y luminaria.
- b) Comprobar el buen aislamiento de las zonas energizadas de todos los elementos metálicos de la instalación, incluyendo las luminarias.
- c) Comprobación periódica (cada 2 años) del buen estado de todos los conductores dentro del poste y pastoral hasta la lámpara. Esta comprobación debe incluir: regletas de empalme, relojes *, relevadores *, sistemas de telemando *, contactores *, transformadores, bobinas, equipo auxiliar, fusibles, portalámparas y verificación del aislamiento y reparaciones de fallas eventuales.

* En caso de existir.

- d) Verificación del enfoque correcto de las lámparas y de la buena orientación de las luminarias.
- e) Medición periódica de la luminancia o de la iluminancia sobre la calzada.
- f) Mantenimiento de la señalización luminosa que pueda estar conectada al Alumbrado Público.

4.2.4 Mantenimiento de los postes

Para los postes de acero, un tratamiento completo y efectivo se obtiene por medio de la inmersión total del poste en un baño galvanizado en caliente, para este fin el galvanizado debe ser de muy buena calidad.

Tal operación podría ser innecesaria para proteger la base del poste contra la corrosión, si se logra un mayor espesor de la parte enterrada.

Es necesario establecer un programa sistemático de prevención contra la corrosión y del cuidado de la pintura. Este programa comprende, incluyendo la base del poste de acero, lo siguiente:

- a) Repintado completo cada 5 a 7 años, incluyendo:
 - * Limado riguroso de todas las superficies oxidadas.
 - * Cuidadosa aplicación de una capa de protección anticorrosiva a todas las superficies perfectamente pulidas.
 - * Aplicación de una capa de pintura alcalina.
 - * Tratamiento apropiado de todas las superficies pintadas.

b) Renovación de la pintura cada 3 años, que se limita a la aplicación de una capa de pintura alcalina después de un tratamiento de protección de las superficies corroídas. Esta intervención realizada metódicamente, a menudo posibilita el dejar de repintar hasta por 8 ó 10 años, siempre y cuando la corrosión se haya tratado adecuadamente desde su primera aparición.

La pintura aplicada a todas las partes metálicas debería estar precedida por la aplicación de una capa de óxido de plomo rojo más una capa de pintura anticorrosiva. Una buena pintura podría durar alrededor de 7 años en climas húmedos.

En lo que concierne a los postes de concreto, prácticamente no requiere protección o mantenimiento durante los primeros 8 a 10 años. Después de este tiempo pueden aparecer algunos desprendimientos de cemento alrededor de la base del portafusibles.

Los postes de aluminio o de material plástico prácticamente no necesitan ninguna conservación.

No se recomienda ningún periodo para estas operaciones, ya que dependen de las condiciones atmosféricas.

4.2.5 Mantenimiento de las instalaciones de alumbrado de vías elevadas

Los puentes y vías elevadas por ser estructuras costosas, se construyen solamente cuando el tránsito previsto justi-

fica su gasto. Por lo tanto, las operaciones de mantenimiento necesariamente serán hechas durante las horas de poco tránsito, lo cual hace que el servicio sea caro, consecuentemente, debe elegirse para el alumbrado de estas estructuras, materiales sólidos y durables, de fácil mantenimiento y realizados en grandes intervalos de tiempo sin deterioro del comportamiento de la instalación.

4.2.6 Mantenimiento del alumbrado con mástiles

Las unidades de alumbrado de gran altura, generalmente comprenden de un mástil con varias luminarias o reflectores, y una plataforma fija o móvil, ubicada al tope del mástil sosteniendo las luminarias o los reflectores.

En lo que respecta al mástil, el mantenimiento debe efectuarse según las recomendaciones de las secciones 4.2.3 y 4.2.4. Como la mayor altura hace que el servicio sea más difícil, los mástiles deberían estar fabricados preferiblemente de un material que requiera poca conservación. Cuando los mástiles se instalan lejos de las vías, es necesario construir, para cada uno de ellos, una vía de acceso para los vehículos de mantenimiento.

El mantenimiento de las luminarias y lámparas debería incluir todas las operaciones periódicas descritas en 4.2.2 y 4.2.3.

4.2.6.1 Cuando la plataforma es fija

El acceso a las luminarias debe hacerse con todas las precauciones de seguridad: sea con una escalera interna o externa. En cualquier caso deberían haber plataformas a intervalos regulares para permitir al personal de mantenimiento tomar un descanso. Esta gente también debería estar provista de un cinturón de seguridad con freno-paracaídas.

La plataforma en sí debería tener un pasamano u otro sistema de seguridad que permita al personal de mantenimiento asegurarse contra caídas, acondicionando un elemento para fijar el gancho del cinturón de seguridad.

También puede usarse una grúa móvil para permitir al personal de mantenimiento colocarse en el tope del mástil.

4.2.6.2 Cuando la plataforma es móvil

Permite bajar las luminarias hasta el nivel del piso. Esta solución es, por mucha diferencia, la más segura. Es más costosa como inversión inicial, pero más barata como costo de operación, ya que elimina la necesidad de comprar un vehículo especial de mantenimiento y entrenar al personal.

La plataforma móvil debe ser equipada con un sistema de descenso completamente seguro que prevenga la caída de la misma, particularmente, en zonas urbanas o de gran tránsito. Los distintos elementos de la plataforma deberán estar sólidamente unidos: su ensamblaje deberá resistir las vibraciones.

La ubicación de los mástiles debe ser tal, que el mantenimiento de la plataforma a nivel del piso pueda ser ejecutado sin interferir con el tránsito.

Una instalación adecuada no debería requerir una verificación con mayor frecuencia que cada 2 ó 5 años. Pero los contactos eléctricos en el extremo superior del mástil deberían ser comprobados anualmente, así como debería ser accionado el equipo móvil, bajándolo y subiéndolo, por lo menos, cada 3 meses.

CAPITULO V

CONSIDERACIONES ECONOMICAS

Para hacer una evaluación económica de diferentes alternativas que puedan ser consideradas en la Iluminación de Vías Públicas, es necesario señalar para una determinada altura de montaje, el nivel de iluminación requerido en servicio.

El empleo de distintas fuentes luminosas en diferentes luminarias podrá significar diversos factores de utilización y de mantenimiento según las características fotométricas y mecánicas de la luminaria y el comportamiento de la lámpara determinará su emisión luminosa de acuerdo a las características del equipo auxiliar en función de las variaciones de la tensión de la red.

Determinado el nivel de iluminación en servicio y la uniformidad requerida (media, longitudinal, transversal y general) de acuerdo a lo estipulado en la Norma y Código Nacionales, se analizarán las curvas fotométricas de las luminarias a emplearse con cada tipo de lámpara, a fin de de

terminar la potencia de ésta y el espaciamiento entre luminarias, para la disposición seleccionada, que satisfagan los requisitos de diseño de la instalación.

En cada caso, el espaciamiento entre luminarias nos permite determinar el número de unidades de alumbrado por Km. de vía a iluminar.

La información anterior nos lleva a calcular el costo de la Inversión Inicial correspondiente a la instalación de las unidades de alumbrado que hay por Km. de vía. Este costo incluye la red, que puede ser aérea o subterránea, las unidades completas de alumbrado (sin lámparas) y su conexión a la red, más el costo de las lámparas.

a) El Costo Financiero Anual está constituido por:

- La Rentabilidad sobre el Activo Fijo Neto Inmovilizado.
- La Depreciación.

b) El Costo Anual de Operación comprende:

- El Costo Anual de la Energía.
- El Costo Anual de Mantenimiento:
 - * Materiales: lámparas y equipo auxiliar.
 - * Mano de obra: para el reemplazo de las lámparas y la limpieza de las luminarias, así como el reemplazo eventual de equipos y/o luminarias debido al desgaste y/o vandalismo.

La suma del Costo Financiero Anual (a) más el Costo Anual de Operación (b) determinarán para cada alternativa el Costo Total Anual de Explotación.

5.1 Comparación Económica de los Sistemas de Alumbrado

A continuación se muestra la aplicación de un programa que ha servido para la comparación económica del alumbrado de 1 Km. de vía local, utilizando para el caso las siguientes variables:

a) A1, B1, C1, A2, B2..... (10 soluciones) formadas por las diferentes combinaciones "lámpara-luminaria", como se muestra en la figura 5.1.

b) 2 tasas para las cargas financieras:

12 %

- 15 %

c) 3 precios para la energía eléctrica:

- US\$ 0.020

- US\$ 0.045

US\$ 0.090

Por lo tanto, cada solución tiene 6 alternativas posibles (debido a las 2 tasas y a los 3 precios de la energía eléctrica), como se muestra en las Tablas 5.1 a 5.10, donde se observa que cada columna es una alternativa.





		TIPO DE LUMINARIA			
		(A)	(B)	(C)	(D)
					
		PANTALLA	ABIERTA	CERRADA CON REFRACTOR	FIBRA DE VIDRIO
TIPO DE LAMPARA	(1) DE LUZ MIXTA	A1	B1	C1	
	(2) DE MERCURIO	A2	B2	C2	
	(3) DE SODIO DE ALTA PRESION	A3	B3	C3	
	(4) FLUORESCENTE				D4

Figura 5.1 La matriz indica las 10 soluciones posibles A1, B1, C1.... formadas por las diferentes combinaciones "lámpara-luminaria", para hacer la comparación económica del alumbrado de 1 Km. de una vía local.

Las tablas 5.11 a 5.15 muestran el resultado de la comparación de cada alternativa en las 10 soluciones obtenidas. En cada columna de dichas tablas se listan los resultados del caso más favorable al más desfavorable para los siguientes ITEMS del programa:

a) Costo Relativo de la Inversión Inicial
(ITEM 23).

b) Costo Financiero Relativo
(ITEM 27)

c) Costo Relativo de Operación
(ITEM 41)

d) Costo Relativo de Explotación
(ITEM 43)

e) Costo Relativo de Explotación / lux
(ITEM 45)

PROGRAMA PARA LA COMPARACION ECONOMICA DE
LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO

I DESCRIPCION DEL SISTEMA

- 1.- TIPO DE LAMPARA DATO
- 2.- CARACTERISTICA DE LA LAMPARA DATO
- 3.- TIPO DE LUMINARIA DATO
- 4.- LAMPARAS POR LUMINARIA DATO

II DATOS BASICOS

- 5.- EMISION LUMINOSA DE LAS LAMPARAS POR LUMINARIA DATO
- 6.- VIDA NOMINAL DE LAS LAMPARAS DATO
- 7.- POTENCIA POR LUMINARIA DATO
- 8.- FACTOR DE UTILIZACION DATO
- 9.- FACTOR DE MANTENIMIENTO DATO
- 10.- NIVEL DE ILUMINANCIA MEDIA EN LUX DATO
- 11.- NUMERO DE LUMINARIAS / KM. DATO
- 12.- COSTO DE LA ENERGIA (\$/KWH) DATO
 - CONSIDERAR 3 ALTERNATIVAS : \$ 0.020/KWH
 - \$ 0.045/KWH
 - \$ 0.090/KWH
- 13.- HORAS ANUALES DE OPERACION DATO

III COSTO DE LA INVERSION INICIAL

- 14.- COSTO POR LUMINARIA DATO
- 15.- COSTO DEL EQUIPO AUXILIAR POR LUMINARIA DATO
- 16.- COSTO DEL POSTE INCLUIDA LA CIMENTACION DATO
- 17.- COSTO DE LA CONEXION A LA RED POR LUMINARIA (\$10/KW/METRO DE ESPACIAMIENTO) (\$10)*7/11
- 18.- COSTO DE CADA LAMPARA DATO
- 19.- COSTO DE LAS LAMPARAS POR LUMINARIA ... 4*18
- 20.- MAND DE OBRA DE LA COLOCACION DE UN POSTE, EMPALME A LA RED Y MONTAJE DE LUMINARIA DATO
- 21.- COSTO DE LA INVERSION INICIAL POR UNIDAD DE ALUMBRADO 14+15+16+17+19+20
- 22.- COSTO DE LA INVERSION INICIAL / KM ... 21*11
- 23.- COSTO RELATIVO DE LA INVERSION INICIAL 22/&
" & " MENOR VALOR DE 22. DE ESTA ALTERN.

IV COSTO FINANCIERO ANUAL

24.-	COSTO INICIAL POR UNIDAD DE ALUMBRADO (SIN LAMPARA)	14+15+16+17+20
25.-	COSTO TOTAL INICIAL SIN LAMPARAS / KM	24*11
26.-	COSTO FINANCIERO ANUAL / KM	
 12%(25) PRIMERA ALTERNATIVA	
 15%(25) SEGUNDA ALTERNATIVA	
27.-	COSTO FINANCIERO RELATIVO	26/&
	"&" MENOR VALOR DE 26 DE ESTA ALTERN.	

V COSTO ANUAL DE OPERACION

28.-	REEMPLAZO DE LAMPARAS/KM/ANO	4*11*13/6
29.-	COSTO ANUAL DE REEMPLAZO DE LAMPARAS / KM	28*18
30.-	COSTO ANUAL DE REEMPLAZO DE ACCESORIOS / KM	5%(11*15)
31.-	COSTO DE LA MANO DE OBRA (\$/HOMBRE-HORA)	DATO
32.-	TIEMPO DE REEMPLAZO DE UNA LAMPARA ..	DATO
33.-	COSTO DE LA MANO DE OBRA POR REEMPLA- ZO DE UNA LAMPARA	31*32
34.-	TIEMPO DE LIMPIEZA DE UNA LUMINARIA ..	DATO
35.-	COSTO DE LIMPIEZA DE UNA LUMINARIA ...	31*34
36.-	COSTO DE LA MANO DE OBRA POR REEMPLA- ZO DE LAMPARAS / KM	11*33
37.-	COSTO DE LA MANO DE OBRA POR LIMPIE- ZA DE LUMINARIAS / KM	11*35
38.-	COSTO ANUAL DE LA MANO DE OBRA POR MANTENIMIENTO / KM	36+37
39.-	COSTO ANUAL DE LA ENERGIA (3 ALTERNATIVAS)	7*11*12*13/1000.
40.-	COSTO ANUAL DE OPERACION / KM	29+30+38+39
41.-	COSTO RELATIVO DE OPERACION	40/&
	"&" MENOR VALOR DE 40 DE ESTA ALTERN.	

VI COSTOS TOTALES Y RELATIVOS

42.-	COSTO TOTAL ANUAL DE EXPLOTACION / KM.	26+40
43.-	COSTO RELATIVO DE EXPLOTACION	42/&
	"&" MENOR VALOR DE 42 DE ESTA ALTERN.	
44.-	COSTO TOTAL ANUAL DE EXPLOTACION / KM / LUX	42/10
45.-	COSTO RELATIVO DE EXPLOTACION / LUX ..	44/&
	"&" MENOR VALOR DE 44 DE ESTA ALTERN.	

Tabla 5.1

		SOLUCION A1					
		TASA 12 %			TASA 15 %		
		0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA
2	250	250	250	250	250	250	250
3	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA
4	1	1	1	1	1	1	1
5	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700
6	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
7	250	250	250	250	250	250	250
8	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
9	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
10	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49
11	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	10	10	10	10	10	10	10
15	0	0	0	0	0	0	0
16	200	200	200	200	200	200	200
17	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24	61.24
18	15	15	15	15	15	15	15
19	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
20	60	60	60	60	60	60	60
21	346.24	346.24	346.24	346.24	346.24	346.24	346.24
22	14133.70	14133.70	14133.70	14133.70	14133.70	14133.70	14133.70
23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
24	331.24	331.24	331.24	331.24	331.24	331.24	331.24
25	13521.39	13521.39	13521.39	13521.39	13521.39	13521.39	13521.39
26	1622.57	1622.57	1622.57	2028.21	2028.21	2028.21	2028.21
27	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
28	27.21	27.21	27.21	27.21	27.21	27.21	27.21
29	408.20	408.20	408.20	408.20	408.20	408.20	408.20
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	6	6	6	6	6	6	6
32	10	10	10	10	10	10	10
33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
34	15	15	15	15	15	15	15
35	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
36	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82
37	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23
38	102.05	102.05	102.05	102.05	102.05	102.05	102.05
39	816.40	1836.90	3673.80	816.40	1836.90	3673.80	3673.80
40	1326.65	2347.15	4184.05	1326.65	2347.15	4184.05	4184.05
41	2.02	2.31	2.68	2.02	2.31	2.68	2.68
42	2949.22	3969.72	5806.61	3354.86	4375.36	6212.25	6212.25
43	1.27	1.48	1.79	1.22	1.41	1.70	1.70
44	845.05	1137.45	1663.79	961.28	1253.68	1780.02	1780.02
45	2.42	2.82	3.53	2.33	2.69	3.34	3.34

Tabla 5.2

SOLUCION : B1						
TASA 12 %			TASA 15 %			
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA
2	160	160	160	160	160	160
3	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO	ABIERTO
4	1	1	1	1	1	1
5	3000	3000	3000	3000	3000	3000
6	6000	6000	6000	6000	6000	6000
7	160	160	160	160	160	160
8	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
9	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
10	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62	7.62
11	47.62	47.62	47.62	47.62	47.62	47.62
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	35	35	35	35	35	35
15	0	0	0	0	0	0
16	200	200	200	200	200	200
17	33.60	33.60	33.60	33.60	33.60	33.60
18	13	13	13	13	13	13
19	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
20	60	60	60	60	60	60
21	341.60	341.60	341.60	341.60	341.60	341.60
22	16266.95	16266.95	16266.95	16266.95	16266.95	16266.95
23	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
24	328.60	328.60	328.60	328.60	328.60	328.60
25	15647.89	15647.89	15647.89	15647.89	15647.89	15647.89
26	1877.75	1877.75	1877.75	2347.18	2347.18	2347.18
27	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
28	31.75	31.75	31.75	31.75	31.75	31.75
29	412.71	412.71	412.71	412.71	412.71	412.71
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	6	6	6	6	6	6
32	10	10	10	10	10	10
33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
34	20	20	20	20	20	20
35	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
36	47.62	47.62	47.62	47.62	47.62	47.62
37	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24
38	142.86	142.86	142.86	142.86	142.86	142.86
39	609.54	1371.45	2742.91	609.54	1371.45	2742.91
40	1165.10	1927.02	3298.48	1165.10	1927.02	3298.48
41	1.77	1.90	2.11	1.77	1.90	2.11
42	3042.85	3804.77	5176.22	3512.28	4274.20	5645.66
43	1.31	1.42	1.60	1.28	1.38	1.54
44	399.32	499.31	679.29	460.93	560.92	740.90
45	1.14	1.24	1.44	1.12	1.21	1.39

Tabla 5.3

		SOLUCION			C1		
		TASA 12 %			TASA 15 %		
		0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA	LUZ MXTA
2	160	160	160	160	160	160	160
3	CERRADO	CERRADO	CERRADO	CERRADO	CERRADO	CERRADO	CERRADO
4	1	1	1	1	1	1	1
5	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
6	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
7	160	160	160	160	160	160	160
8	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
9	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
10	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71
11	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	80	80	80	80	80	80	80
15	0	0	0	0	0	0	0
16	200	200	200	200	200	200	200
17	44.81	44.81	44.81	44.81	44.81	44.81	44.81
18	13	13	13	13	13	13	13
19	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
20	60	60	60	60	60	60	60
21	397.81	397.81	397.81	397.81	397.81	397.81	397.81
22	14205.62	14205.62	14205.62	14205.62	14205.62	14205.62	14205.62
23	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
24	384.81	384.81	384.81	384.81	384.81	384.81	384.81
25	13741.39	13741.39	13741.39	13741.39	13741.39	13741.39	13741.39
26	1648.97	1648.97	1648.97	2061.21	2061.21	2061.21	2061.21
27	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
28	23.81	23.81	23.81	23.81	23.81	23.81	23.81
29	309.49	309.49	309.49	309.49	309.49	309.49	309.49
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31	6	6	6	6	6	6	6
32	20	20	20	20	20	20	20
33	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
34	30	30	30	30	30	30	30
35	31.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
36	71.42	71.42	71.42	71.42	71.42	71.42	71.42
37	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13
38	178.55	178.55	178.55	178.55	178.55	178.55	178.55
39	457.09	1028.45	2056.89	457.09	1028.45	2056.89	2056.89
40	945.12	1516.48	2544.93	945.12	1516.48	2544.93	2544.93
41	1.44	1.49	1.63	1.44	1.49	1.63	1.63
42	2594.09	3165.45	4193.89	3006.33	3577.69	4606.14	4606.14
43	1.11	1.18	1.30	1.09	1.15	1.26	1.26
44	454.31	554.37	734.48	526.50	626.57	806.68	806.68
45	1.30	1.38	1.56	1.28	1.35	1.51	1.51

Tabla 5.4

SOLUCION : A2						
	TASA 12 %			TASA 15 %		
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO
2	125	125	125	125	125	125
3	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA
4	1	1	1	1	1	1
5	6250	6250	6250	6250	6250	6250
6	24000	24000	24000	24000	24000	24000
7	150	150	150	150	150	150
8	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
9	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
10	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83
11	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	10	10	10	10	10	10
15	23	23	23	23	23	23
16	200	200	200	200	200	200
17	36.75	36.75	36.75	36.75	36.75	36.75
18	30	30	30	30	30	30
19	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
20	60	60	60	60	60	60
21	359.75	359.75	359.75	359.75	359.75	359.75
22	14684.86	14684.86	14684.86	14684.86	14684.86	14684.86
23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
24	329.75	329.75	329.75	329.75	329.75	329.75
25	13460.26	13460.26	13460.26	13460.26	13460.26	13460.26
26	1615.23	1615.23	1615.23	2019.04	2019.04	2019.04
27	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
28	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
29	204.10	204.10	204.10	204.10	204.10	204.10
30	46.94	46.94	46.94	46.94	46.94	46.94
31	6	6	6	6	6	6
32	15	15	15	15	15	15
33	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
34	15	15	15	15	15	15
35	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.
36	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23
37	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23
38	122.46	122.46	122.46	122.46	122.46	122.46
39	489.84	1102.14	2204.28	489.84	1102.14	2204.28
40	863.34	1475.64	2577.78	863.34	1475.64	2577.78
41	1.31	1.45	1.65	1.31	1.	1.65
42	2478.57	3090.87	4193.01	2882.38	3494.68	4596.82
43	1.06	1.15	1.30	1.05	1.13	1.26
44	647.15	807.02	1094.78	752.58	912.45	1200.21
45	1.85	2.00	2.32	1.83	1.96	2.25

Tabla 5.5

SOLUCION : B2						
	TASA 12 %			TASA 15 %		
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO
2	80	80	80	80	80	80
3	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA
4	1	1	1	1	1	1
5	3500	3500	3500	3500	3500	3500
6	24000	24000	24000	24000	24000	24000
7	100	100	100	100	100	100
8	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
9	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
10	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67	4.67
11	47.62	47.62	47.62	47.62	47.62	47.62
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	50	50	50	50	50	50
15	22	22	22	22	22	22
16	200	200	200	200	200	200
17	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
18	20	20	20	20	20	20
19	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
20	60	60	60	60	60	60
21	373.00	373.00	373.00	373.00	373.00	373.00
22	17762.23	17762.23	17762.23	17762.23	17762.23	17762.23
23	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
24	353.00	353.00	353.00	353.00	353.00	353.00
25	16809.83	16809.83	16809.83	16809.83	16809.83	16809.83
26	2017.18	2017.18	2017.18	2521.47	2521.47	2521.47
27	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
28	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94
29	158.73	158.73	158.73	158.73	158.73	158.73
30	52.38	52.38	52.38	52.38	52.38	52.38
31	6	6	6	6	6	6
32	15	15	15	15	15	15
33	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
34	20	20	20	20	20	20
35	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
36	71.43	71.43	71.43	71.43	71.43	71.43
37	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24
38	166.67	166.67	166.67	166.67	166.67	166.67
39	380.96	857.16	1714.32	380.96	857.16	1714.32
40	758.74	1234.94	2092.10	758.74	1234.94	2092.10
41	1.15	1.22	1.34	1.15	1.22	1.34
42	2775.92	3252.12	4109.28	3280.22	3756.42	4613.57
43	1.19	1.21	1.27	1.19	1.21	1.26
44	594.42	696.39	879.93	702.40	804.37	987.92
45	1.70	1.73	1.87	1.71	1.73	1.85

Tabla 5.6

		SOLUCION			C2		
		TASA 12 %			TASA 15 %		
		0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO	MERCURIO
2	80	80	80	80	80	80	80
3	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
4	1	1	1	1	1	1	1
5	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
6	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000
7	100	100	100	100	100	100	100
8	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
9	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
10	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67
11	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	80	80	80	80	80	80	80
15	22	22	22	22	22	22	22
16	200	200	200	200	200	200	200
17	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
18	20	20	20	20	20	20	20
19	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
20	60	60	60	60	60	60	60
21	410.00	410.00	410.00	410.00	410.00	410.00	410.00
22	14641.21	14641.21	14641.21	14641.21	14641.21	14641.21	14641.21
23	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
24	390.00	390.00	390.00	390.00	390.00	390.00	390.00
25	13927.02	13927.02	13927.02	13927.02	13927.02	13927.02	13927.02
26	1671.24	1671.24	1671.24	2089.05	2089.05	2089.05	2089.05
27	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
28	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95
29	119.03	119.03	119.03	119.03	119.03	119.03	119.03
30	39.28	39.28	39.28	39.28	39.28	39.28	39.28
31	6	6	6	6	6	6	6
32	30	30	30	30	30	30	30
33	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
34	30	30	30	30	30	30	30
35	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
36	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13
37	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13
38	214.26	214.26	214.26	214.26	214.26	214.26	214.26
39	285.68	642.78	1285.56	285.68	642.78	1285.56	1285.56
40	658.25	1015.35	1658.13	658.25	1015.35	1658.13	1658.13
41	1.00	1.00	1.06	1.00	1.00	1.06	1.06
42	2329.50	2686.60	3329.37	2747.31	3104.41	3747.19	3747.19
43	1.00	1.00	1.03	1.00	1.00	1.03	1.03
44	349.25	402.79	499.16	411.89	465.43	561.80	561.80
45	1.00	1.00	1.06	1.00	1.00	1.05	1.05

Tabla 5.7

SOLUCION A3						
	TASA 12 %			TASA 15 %		
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	S A P	S A P	S A P	S A P	S A P	S A P
2	70	70	70	70	70	70
3	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA	PANTALLA
4	1	1	1	1	1	1
5	5800	5800	5800	5800	5800	5800
6	24000	24000	24000	24000	24000	24000
7	94	94	94	94	94	94
8	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
9	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
10	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55
11	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82	40.82
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	10	10	10	10	10	10
15	33	33	33	33	33	33
16	200	200	200	200	200	200
17	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03
18	76	76	76	76	76	76
19	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
20	60	60	60	60	60	60
21	402.03	402.03	402.03	402.03	402.03	402.03
22	16410.78	16410.78	16410.78	16410.78	16410.78	16410.78
23	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
24	326.03	326.03	326.03	326.03	326.03	326.03
25	13308.46	13308.46	13308.46	13308.46	13308.46	13308.46
26	1597.01	1597.01	1597.01	1996.27	1996.27	1996.27
27	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
28	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
29	517.05	517.05	517.05	517.05	517.05	517.05
30	67.35	67.35	67.35	67.35	67.35	67.35
31	6	6	6	6	6	6
32	15	15	15	15	15	15
33	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
34	15	15	15	15	15	15
35	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
36	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23
37	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23	61.23
38	122.46	122.46	122.46	122.46	122.46	122.46
39	306.97	690.67	1381.35	306.97	690.67	1381.35
40	1013.83	1397.54	2088.21	1013.83	1397.54	2088.21
41	1.54	1.38	1.34	1.54	1.38	1.34
42	2610.85	2994.55	3685.23	3010.10	3393.81	4084.48
43	1.12	1.11	1.14	1.10	1.09	1.12
44	735.45	843.54	1038.09	847.92	956.00	1150.56
45	2.11	2.09	2.20	2.06	2.05	2.16

Tabla 5.8

SOLUCION B3

	TASA 12 %			TASA 15 %		
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	S A P	S A P	S A P	S A P	S A P	S A P
2	50	50	50	50	50	50
3	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA	ABIERTA
4	1	1	1	1	1	1
5	3600	3600	3600	3600	3600	3600
6	24000	24000	24000	24000	24000	24000
7	70	70	70	70	70	70
8	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
9	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
10	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80
11	47.62	47.62	47.62	47.62	47.62	47.62
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	50	50	50	50	50	50
15	31	31	31	31	31	31
16	200	200	200	200	200	200
17	14.70	14.70	14.70	14.70	14.70	14.70
18	66	66	66	66	66	66
19	66.00	66.00	66.00	66.00	66.00	66.00
20	60	60	60	60	60	60
21	421.70	421.70	421.70	421.70	421.70	421.70
22	20081.34	20081.34	20081.34	20081.34	20081.34	20081.34
23	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
24	355.70	355.70	355.70	355.70	355.70	355.70
25	16938.42	16938.42	16938.42	16938.42	16938.42	16938.42
26	2032.61	2032.61	2032.61	2540.76	2540.76	2540.76
27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
28	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94	7.94
29	523.82	523.82	523.82	523.82	523.82	523.82
30	73.81	73.81	73.81	73.81	73.81	73.81
31	6	6	6	6	6	6
32	15	15	15	15	15	15
33	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
34	20	20	20	20	20	20
35	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
36	71.43	71.43	71.43	71.43	71.43	71.43
37	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24	95.24
38	166.67	166.67	166.67	166.67	166.67	166.67
39	266.67	600.01	1200.02	266.67	600.01	1200.02
40	1030.97	1364.31	1964.32	1030.97	1364.31	1964.32
41	1.57	1.34	1.26	1.57	1.34	1.26
42	3063.58	3396.92	3996.93	3571.73	3905.07	4505.08
43	1.32	1.26	1.24	1.30	1.26	1.23
44	638.25	707.69	832.69	744.11	813.56	938.56
45	1.83	1.76	1.77	1.81	1.75	1.76

Tabla 5.9

SOLUCION : C3

	TASA 12 %			TASA 15 %		
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	S A P	S A P	S A P	S A P	S A P	S A P
2	50	50	50	50	50	50
3	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA	CERRADA
4	1	1	1	1	1	1
5	3600	3600	3600	3600	3600	3600
6	24000	24000	24000	24000	24000	24000
7	70	70	70	70	70	70
8	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
9	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
10	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86
11	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	80	80	80	80	80	80
15	31	31	31	31	31	31
16	200	200	200	200	200	200
17	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60
18	66	66	66	66	66	66
19	66.00	66.00	66.00	66.00	66.00	66.00
20	60	60	60	60	60	60
21	456.60	456.60	456.60	456.60	456.60	456.60
22	16305.27	16305.27	16305.27	16305.27	16305.27	16305.27
23	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
24	390.60	390.60	390.60	390.60	390.60	390.60
25	13948.41	13948.41	13948.41	13948.41	13948.41	13948.41
26	1673.81	1673.81	1673.81	2092.26	2092.26	2092.26
27	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
28	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95
29	392.81	392.81	392.81	392.81	392.81	392.81
30	55.35	55.35	55.35	55.35	55.35	55.35
31	6	6	6	6	6	6
32	30	30	30	30	30	30
33	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
34	30	30	30	30	30	30
35	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
36	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13
37	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13	107.13
38	214.26	214.26	214.26	214.26	214.26	214.26
39	199.98	449.95	899.89	199.98	449.95	899.89
40	862.40	1112.37	1562.31	862.40	1112.37	1562.31
41	1.31	1.10	1.00	1.31	1.10	1.00
42	2536.20	2786.17	3236.12	2954.66	3204.63	3654.57
43	1.09	1.04	1.00	1.08	1.03	1.00
44	369.71	406.15	471.74	430.71	467.15	532.74
45	1.06	1.01	1.00	1.05	1.00	1.00

Tabla 5.10

SOLUCION D4

	TASA 12 %			TASA 15 %		
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	FLUORESC	FLUORESC	FLUORESC	FLUORESC	FLUORESC	FLUORESC
2	40	40	40	40	40	40
3	FBRA VID	FBRA VID	FBRA VID	FBRA VID	FBRA VID	FBRA VID
4	2	2	2	2	2	2
5	6000	6000	6000	6000	6000	6000
6	12000	12000	12000	12000	12000	12000
7	100	100	100	100	100	100
8	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
9	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
10	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
11	57.14	57.14	57.14	57.14	57.14	57.14
12	0.020	0.045	0.090	0.020	0.045	0.090
13	4000	4000	4000	4000	4000	4000
14	20	20	20	20	20	20
15	10	10	10	10	10	10
16	200	200	200	200	200	200
17	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50
18	3	3	3	3	3	3
19	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
20	60	60	60	60	60	60
21	313.50	313.50	313.50	313.50	313.50	313.50
22	17913.43	17913.43	17913.43	17913.43	17913.43	17913.43
23	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
24	307.50	307.50	307.50	307.50	307.50	307.50
25	17570.59	17570.59	17570.59	17570.59	17570.59	17570.59
26	2108.47	2108.47	2108.47	2635.59	2635.59	2635.59
27	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
28	38.09	38.09	38.09	38.09	38.09	38.09
29	114.28	114.28	114.28	114.28	114.28	114.28
30	28.57	28.57	28.57	28.57	28.57	28.57
31	6	6	6	6	6	6
32	30	30	30	30	30	30
33	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
34	20	20	20	20	20	20
35	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
36	171.42	171.42	171.42	171.42	171.42	171.42
37	114.28	114.28	114.28	114.28	114.28	114.28
38	285.70	285.70	285.70	285.70	285.70	285.70
39	457.12	1028.52	2057.04	457.12	1028.52	2057.04
40	885.67	1457.07	2485.59	885.67	1457.07	2485.59
41	1.35	1.44	1.59	1.35	1.44	1.59
42	2994.14	3565.54	4594.05	3521.26	4092.66	5121.17
43	1.29	1.33	1.42	1.29	1.32	1.40
44	374.27	445.69	574.26	440.16	511.58	640.15
45	1.07	1.11	1.22	1.07	1.10	1.20

Tabla 5.11

ITEM 23						
TASA 12 %			TASA 15 %			
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	A1 1.00	A1 1.00	A1 1.00	A1 1.00	A1 1.00	A1 1.00
2	C1 1.01	C1 1.01	C1 1.01	C1 1.01	C1 1.01	C1 1.01
3	C2 1.04	C2 1.04	C2 1.04	C2 1.04	C2 1.04	C2 1.04
4	A2 1.04	A2 1.04	A2 1.04	A2 1.04	A2 1.04	A2 1.04
5	B1 1.15	B1 1.15	B1 1.15	B1 1.15	B1 1.15	B1 1.15
6	C3 1.15	C3 1.15	C3 1.15	C3 1.15	C3 1.15	C3 1.15
7	A3 1.16	A3 1.16	A3 1.16	A3 1.16	A3 1.16	A3 1.16
8	B2 1.26	B2 1.26	B2 1.26	B2 1.26	B2 1.26	B2 1.26
9	D4 1.27	D4 1.27	D4 1.27	D4 1.27	D4 1.27	D4 1.27
10	B3 1.42	B3 1.42	B3 1.42	B3 1.42	B3 1.42	B3 1.42

COSTO RELATIVO DE LA INVERSION INICIAL

Tabla 5.12

ITEM 27						
TASA 12 %			TASA 15 %			
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	A3 1.00	A3 1.00	A3 1.00	A3 1.00	A3 1.00	A3 1.00
2	A2 1.01	A2 1.01	A2 1.01	A2 1.01	A2 1.01	A2 1.01
3	A1 1.02	A1 1.02	A1 1.02	A1 1.02	A1 1.02	A1 1.02
4	C1 1.03	C1 1.03	C1 1.03	C1 1.03	C1 1.03	C1 1.03
5	C2 1.05	C2 1.05	C2 1.05	C2 1.05	C2 1.05	C2 1.05
6	C3 1.05	C3 1.05	C3 1.05	C3 1.05	C3 1.05	C3 1.05
7	B1 1.18	B1 1.18	B1 1.18	B1 1.18	B1 1.18	B1 1.18
8	B2 1.26	B2 1.26	B2 1.26	B2 1.26	B2 1.26	B2 1.26
9	B3 1.27	B3 1.27	B3 1.27	B3 1.27	B3 1.27	B3 1.27
10	D4 1.32	D4 1.32	D4 1.32	D4 1.32	D4 1.32	D4 1.32

COSTO FINANCIERO RELATIVO

Tabla 5.13

		ITEM 41					
		TASA 12 %			TASA 15 %		
		0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	C2	1.00	C2 1.00	C3 1.00	C2 1.00	C2 1.00	C3 1.00
2	B2	1.15	C3 1.10	C2 1.06	B2 1.15	C3 1.10	C2 1.06
3	C3	1.31	B2 1.22	B3 1.26	C3 1.31	B2 1.22	B3 1.26
4	A2	1.31	B3 1.34	A3 1.34	A2 1.31	B3 1.34	A3 1.34
5	D4	1.35	A3 1.38	B2 1.34	D4 1.35	A3 1.38	B2 1.34
6	C1	1.44	D4 1.44	D4 1.59	C1 1.44	D4 1.44	D4 1.59
7	A3	1.54	A2 1.45	C1 1.63	A3 1.54	A2 1.45	C1 1.63
8	B3	1.57	C1 1.49	A2 1.65	B3 1.57	C1 1.49	A2 1.65
9	B1	1.77	B1 1.90	B1 2.11	B1 1.77	B1 1.90	B1 2.11
10	A1	2.02	A1 2.31	A1 2.68	A1 2.02	A1 2.31	A1 2.68

COSTO RELATIVO DE OPERACION

Tabla 5.14

		ITEM 43					
		TASA 12 %			TASA 15 %		
		0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$
1	C2	1.00	C2 1.00	C3 1.00	C2 1.00	C2 1.00	C3 1.00
2	A2	1.06	C3 1.04	C2 1.03	A2 1.05	C3 1.03	C2 1.03
3	C3	1.09	A3 1.11	A3 1.14	C3 1.08	A3 1.09	A3 1.12
4	C1	1.11	A2 1.15	B3 1.24	C1 1.09	A2 1.13	B3 1.23
5	A3	1.12	C1 1.18	B2 1.27	A3 1.10	C1 1.15	A2 1.26
6	B2	1.19	B2 1.21	A2 1.30	B2 1.19	B2 1.21	C1 1.26
7	A1	1.27	B3 1.26	C1 1.30	A1 1.22	B3 1.26	B2 1.26
8	D4	1.29	D4 1.33	D4 1.42	B1 1.28	D4 1.32	D4 1.40
9	B1	1.31	B1 1.42	B1 1.60	D4 1.28	B1 1.38	B1 1.54
10	B3	1.32	A1 1.48	A1 1.79	B3 1.30	A1 1.41	A1 1.70

COSTO RELATIVO DE EXPLOTACION

Tabla 5.15

ITEM 45							
TASA 12 %				TASA 15 %			
	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	0.020 \$	0.045 \$	0.090 \$	
1	C2 1.00	C2 1.00	C3 1.00	C2 1.00	C2 1.00	C3 1.00	
2	C3 1.06	C3 1.01	C2 1.06	C3 1.05	C3 1.00	C2 1.05	
3	D4 1.07	D4 1.11	D4 1.22	D4 1.07	D4 1.10	D4 1.20	
4	B1 1.14	B1 1.24	B1 1.44	B1 1.12	B1 1.21	B1 1.39	
5	C1 1.30	C1 1.38	C1 1.56	C1 1.28	C1 1.35	C1 1.51	
6	B2 1.70	B2 1.73	B3 1.77	B2 1.71	B2 1.73	B3 1.76	
7	B3 1.83	B3 1.76	B2 1.87	B3 1.81	B3 1.75	B2 1.85	
8	A2 1.85	A2 2.00	A3 2.20	A2 1.83	A2 1.96	A3 2.16	
9	A3 2.11	A3 2.09	A2 2.32	A3 2.06	A3 2.05	A2 2.25	
10	A1 2.42	A1 2.82	A1 3.53	A1 2.33	A1 2.69	A1 3.34	

COSTO RELATIVO DE EXPLOTACION / LUX

Conclusiones de la Comparación Económica

a) Con la tarifa actual de la energía eléctrica (2 ¢ de US dólar) para el Alumbrado Público, la solución más económica considerando el costo total anual de explotación por unidad de iluminancia, es la que corresponde al empleo de lámparas de mercurio de color corregido en luminarias cerradas con refractor (solución C2); esto, tanto para un costo financiero anual (rentabilidad + depreciación) del 12% como del 15%. Ver figura 5.2.

b) Si el precio del KW-hr para el Alumbrado Público fuera igual a 4.5 ¢ de US dólar (costo promedio aproximado a nivel nacional) para un costo financiero anual del 15%, nos encontraríamos frente a un punto de equilibrio entre el empleo de lámparas de mercurio de color corregido en luminarias cerradas con refractor (solución C2) y lámparas de sodio de alta presión también en luminarias cerradas con refractor (solución C3), es decir que sería indiferente el empleo de cualquiera de ellas.

Si el costo financiero anual baja al 12%, el punto de equilibrio se encontrará para las mismas soluciones anteriores (C2 y C3) para un precio de 5 ¢ de US dólar el KW-hr para el Alumbrado Público. Ver figura 5.2.

c) Para el costo marginal de la energía eléctrica (estimado en 9 ¢ de US dólar), la solución con menor costo anual de explotación es la que corresponde al empleo de

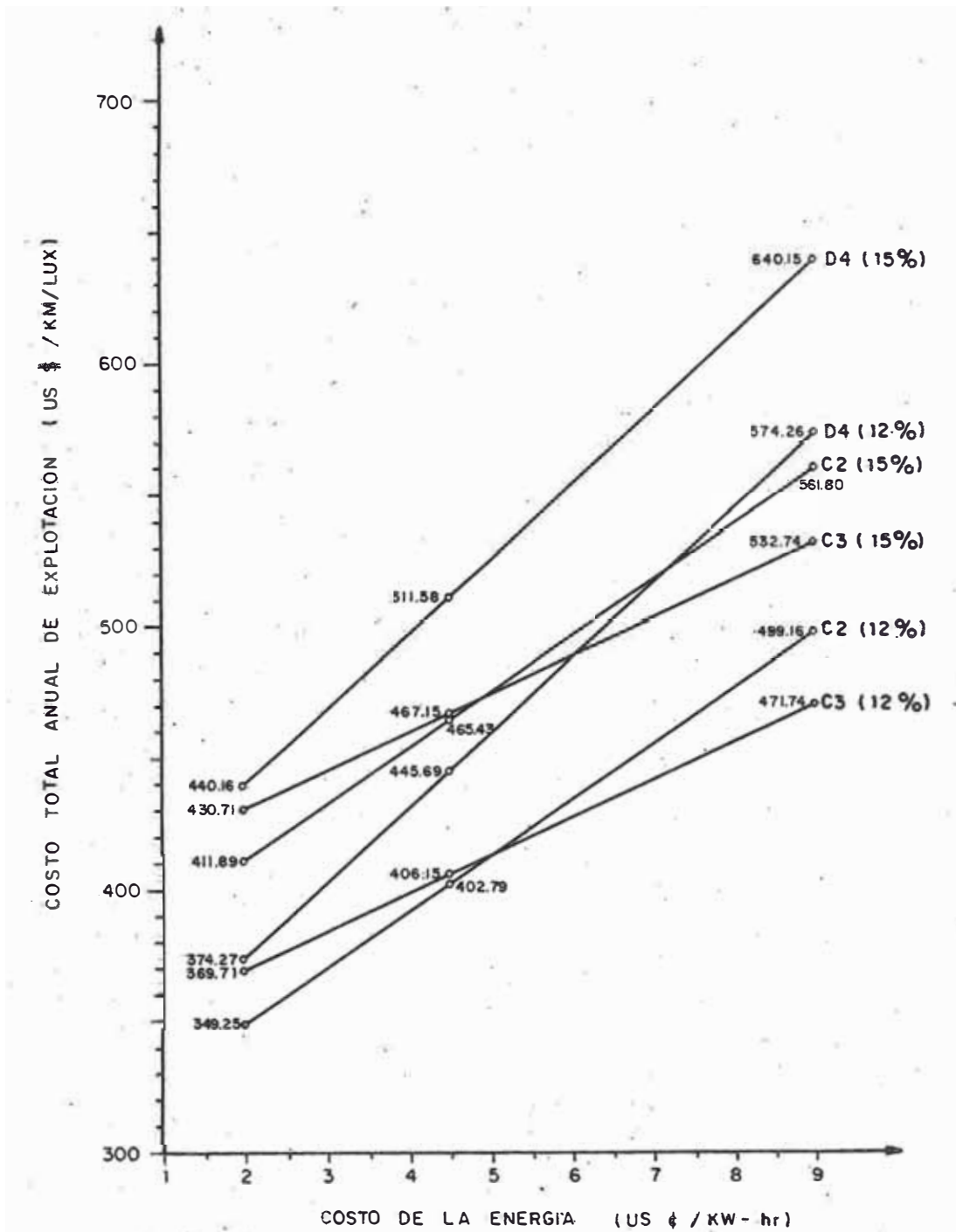


Figura 5.2 Variación del Costo Total Anual de Explotación (US \$ / Km./lux) para una iluminancia promedio aproximada de 5.5 lux.

lámparas de sodio de alta presión en luminarias cerradas con refractor (solución C3), tanto para un costo financiero anual del 12% como del 15%, tal como se puede apreciar en la figura 5.2 antes mencionada.

5.2 Costo del Servicio de Alumbrado Público

En una ciudad como Lima, donde existen cerca de 200,000 puntos de luz de 250 W de potencia media aproximada, se consumen 200 GW-hr al año a través de 1,500 Km. de redes subterráneas y 200 Km. de líneas aéreas.

El valor a nuevo de las inversiones correspondientes alcanzaría los 50 millones de US \$, mientras que el Activo Fijo Neto Inmovilizado sólo llegaría a los 25 millones de US \$. El costo del Servicio de Alumbrado Público se puede calcular como sigue:

5% de Depreciación Anual (20 años de vida media útil) (sobre los 50 millones de US \$)	US \$	2'500,000.=
6% de Rentabilidad Anual (sobre los 25 millones de US \$)	US \$	1'500,000.=
COSTO FINANCIERO ANUAL	US \$	4'000,000.= (1)
Costo Anual de la Energía consumida (200 GW-hr a 2 ¢ US\$/KW-hr)	US \$	4'000,000.=
Costo Anual de Mantenimiento (Materiales y Mano de Obra) (Aprox. igual al Costo Anual de la Energía)	US \$	4'000,000.=
COSTO ANUAL DE OPERACION	US \$	8'000,000.= (2)

COSTO ANUAL DE EXPLOTACION

sumando (1) + (2) US \$ 12'000,000.=

El Costo Anual de Explotación de US \$ 12'000,000.= representa 6 ¢ de US dólar por cada KW-hr consumido en Alumbrado Público. El precio que pagan los Municipios por este servicio no alcanza a cubrir la tercera parte de su costo.

Se propone para remediar la situación, que 1/3 (costo financiero anual: Depreciación más Rentabilidad) sea incorporado al precio de la energía vendida para los otros servicios, que 1/3 siga cargándose en los recibos por consumo de Energía Eléctrica como arbitrio, tal como se hace actualmente, y que el 1/3 restante sea abonado directamente por los Municipios, en tanto se optimice el consumo de energía mediante el empleo de fuentes más eficaces en luminarias más eficientes.

Renovado que se haya hecho el cambio, se espera una reducción del 50% en el Costo de la Energía Eléctrica y en el Costo de Mantenimiento y un posible 25% de aumento en el Costo Financiero Anual, con lo que el Costo Anual de Explotación quedaría reducido a 9 millones de US \$.

Si se mantiene el arbitrio (4 millones de US \$) éste cubriría el Costo Anual de Operación, quedando 5 millones de US \$ para ser incorporados al Costo Financiero Anual del Alumbrado Público, que se agregaría al total de los Costos del Servicio, pero que sería llevado en una cuenta aparte para

permitir atender el Servicio de la deuda (amortización más intereses) ocasionados por las nuevas inversiones en Alumbrado Público.

A continuación, la figura 5.3 muestra el esquema para la determinación del Costo Anual de Explotación del Servicio de Alumbrado Público en una ciudad como Lima Metropolitana.

CAPITULO VI

DISPOSICIONES DE LAS LUMINARIAS

Este capítulo está dividido en 2 partes: la primera, se refiere a los sistemas de alumbrado en alineamiento, que son los más comunes y facilitarán la elección más adecuada para una situación específica; y la segunda, tratará del alumbrado en situaciones que requieren tratamiento especial, es decir, de los problemas del alumbrado de ciertos puntos particulares tales como intersecciones, curvas, etc.

6.1 Disposiciones de las luminarias en alineamiento

En el diseño de una instalación de alumbrado vial existen muchas variables como la luminaria y su altura de montaje, la disposición de las unidades de alumbrado y su espaciamiento, la proyección del foco de la fuente de luz en relación al borde de la calzada (avance o retiro) y la inclinación de la luminaria. Para estas variables el número de soluciones es infinito, sin embargo, dadas las características e importancia de una vía (dada también por su sección transversal, se establecen ciertos rangos de elección

que deben estar de acuerdo con los Códigos y Normas de Buena Práctica. En la presente sección nos referiremos a estas variables con excepción de las lámparas y luminarias que fueron tratadas anteriormente.

6.1.1 Disposiciones básicas de las luminarias

6.1.1.1 Disposición unilateral

Este tipo de disposición se muestra en la figura 6.1, donde se aprecia que la ubicación de las luminarias es a un solo lado de la vía.

Para cumplir con una adecuada uniformidad media, esta disposición será utilizada sólo para alturas de montaje aproximadamente iguales o mayores que el ancho efectivo de la vía.

El ancho efectivo de la vía (A_{ef}) es la distancia horizontal entre la proyección del centro de la luminaria sobre el terreno y el borde de la vereda más alejada de dicho punto, como se muestra en la figura 6.2.

Con esta disposición la orientación visual es buena, pero la apreciación del alumbrado será diferente según el sentido de tránsito.

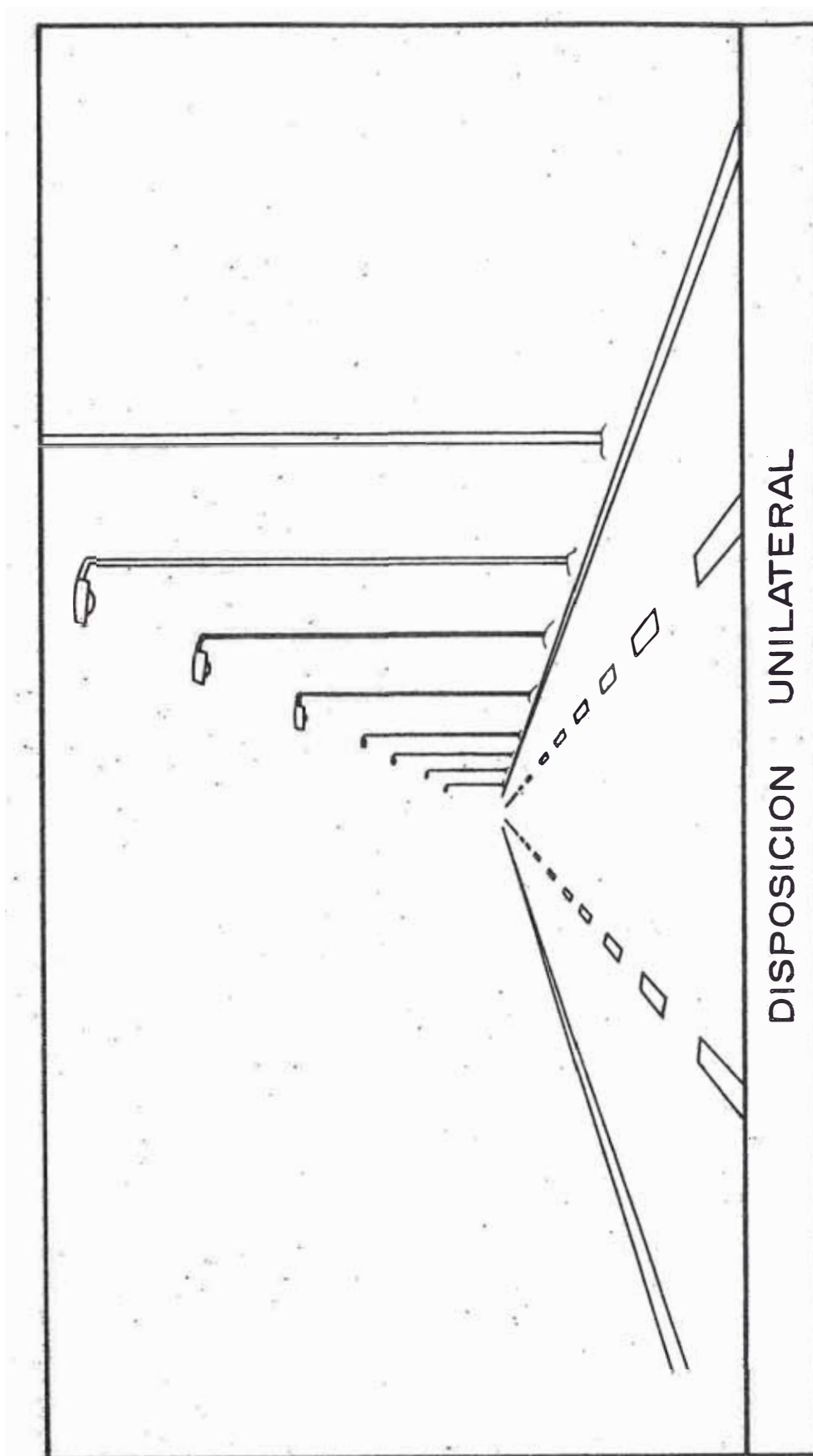
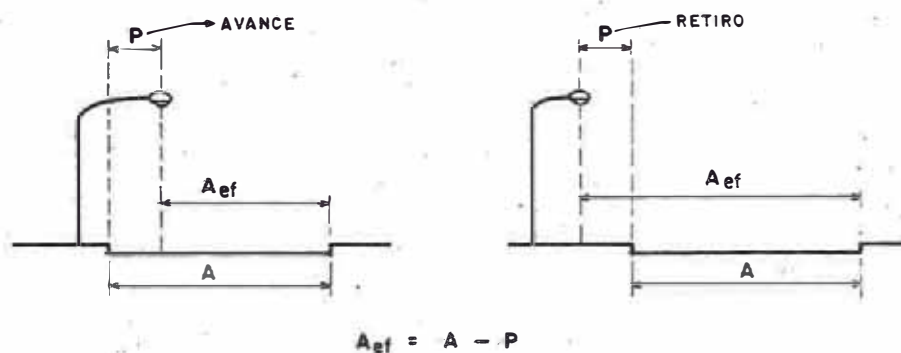


Figura 6.1 Ejemplo de una disposición unilateral de luminarias para una vía con 3 sendas.



A = Ancho de la vía.

A_{ef} = Ancho efectivo

P = Proyección de la luminaria en relación al borde de la calzada. Puede ser positivo (avance) o negativo (retiro).

Figura 6.2 El ancho efectivo (A_{ef}) es igual al ancho de la vía (A) menos la proyección de la luminaria en relación al borde opuesto de la calzada.

6.1.1.2 Disposición en tresbolillo

Esta disposición se muestra en la figura 6.3, donde se aprecia que las luminarias están ubicadas sobre cada lado de la vía en forma alternada.

Para obtener una adecuada uniformidad media, esta disposición es utilizada sólo para alturas de montaje iguales a por lo menos $2/3$ del ancho efectivo de la vía.

Para esta disposición, la uniformidad media es generalmente baja, por lo que se debe seleccionar un adecuado espaciamiento entre luminarias para evitar el efecto desagradable del serpenteo producido por las alternadas zonas claras y oscuras; y se debe tener en cuenta además, que no contribuye a una buena orientación visual. Por estas razones en lugar de utilizar una disposición en tresbolillo po

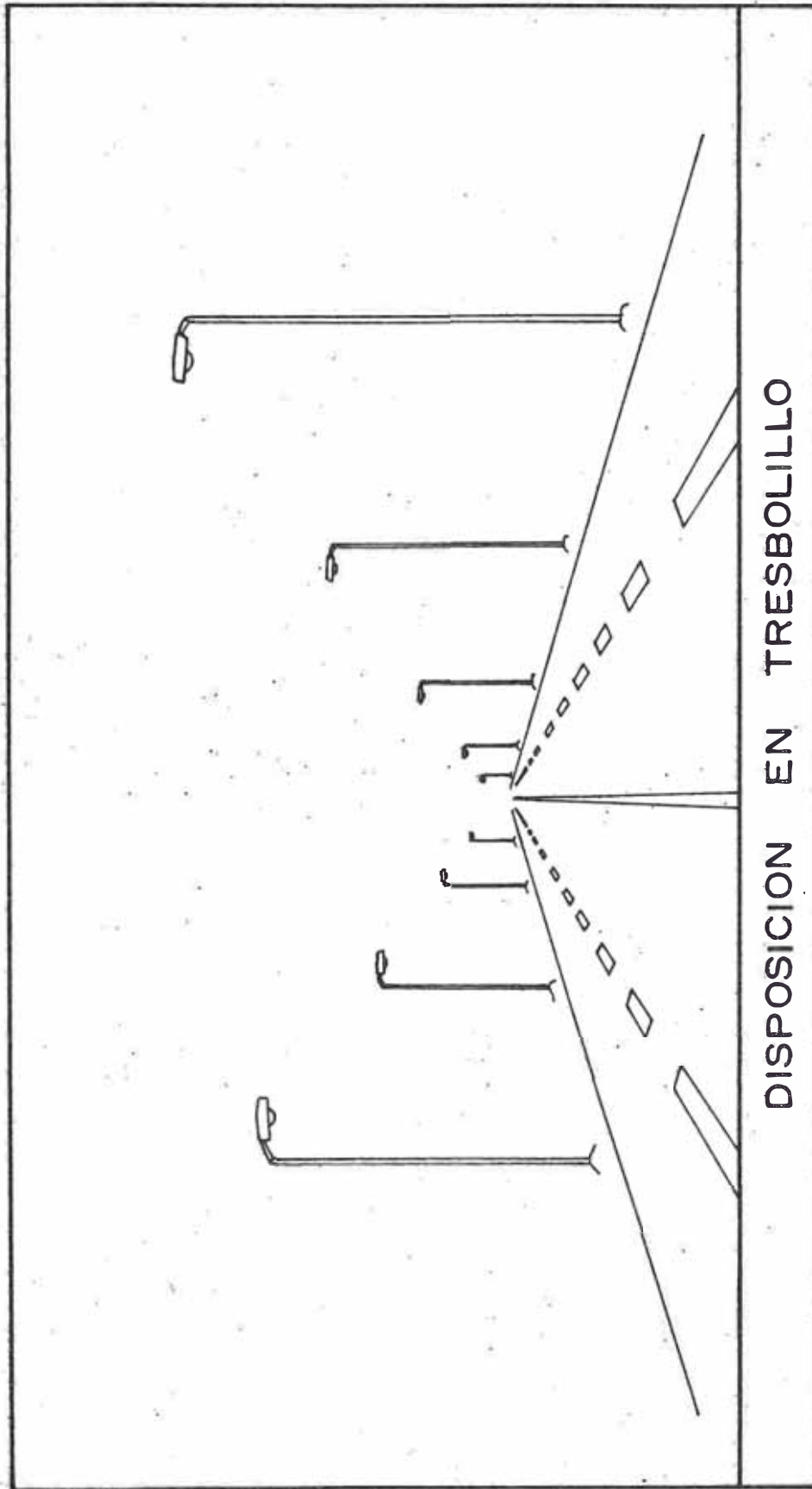


Figura 6.3 Ejemplo de una disposición en tresbolillo para una vía de doble sentido con 2 sondas por calzada

dría utilizarse una unilateral utilizando postes más altos.

6.1.1.3 Disposición en oposición

Esta disposición se muestra en la figura 6.4, donde las luminarias están a ambos lados de la vía, unas frente a otras.

Para cumplir con una adecuada uniformidad media esta disposición es empleada cuando la altura de montaje de la luminaria es menor que los $2/3$ del ancho efectivo de la vía.

6.1.1.4 Disposición axial

En esta disposición las luminarias están ubicadas a lo largo del eje de la vía.

Luminarias suspendidas de cables que cruzan la vía

Esta disposición será empleada para alturas de montaje menores que 6m a 8m, en casos especiales donde no se pueda utilizar la disposición unilateral, como en vías estrechas rodeadas de edificios; los cables de suspensión son anclados en dichos edificios. La distribución de la luz se encuentra concentrada a lo largo de la vía.

Disposición en catenaria

En esta disposición las luminarias están suspendidas de un cable (la catenaria) tendido entre postes espaciados a gran distancia a lo largo del separador central. La distribución de la luz de las luminarias está dirigida -predomi-

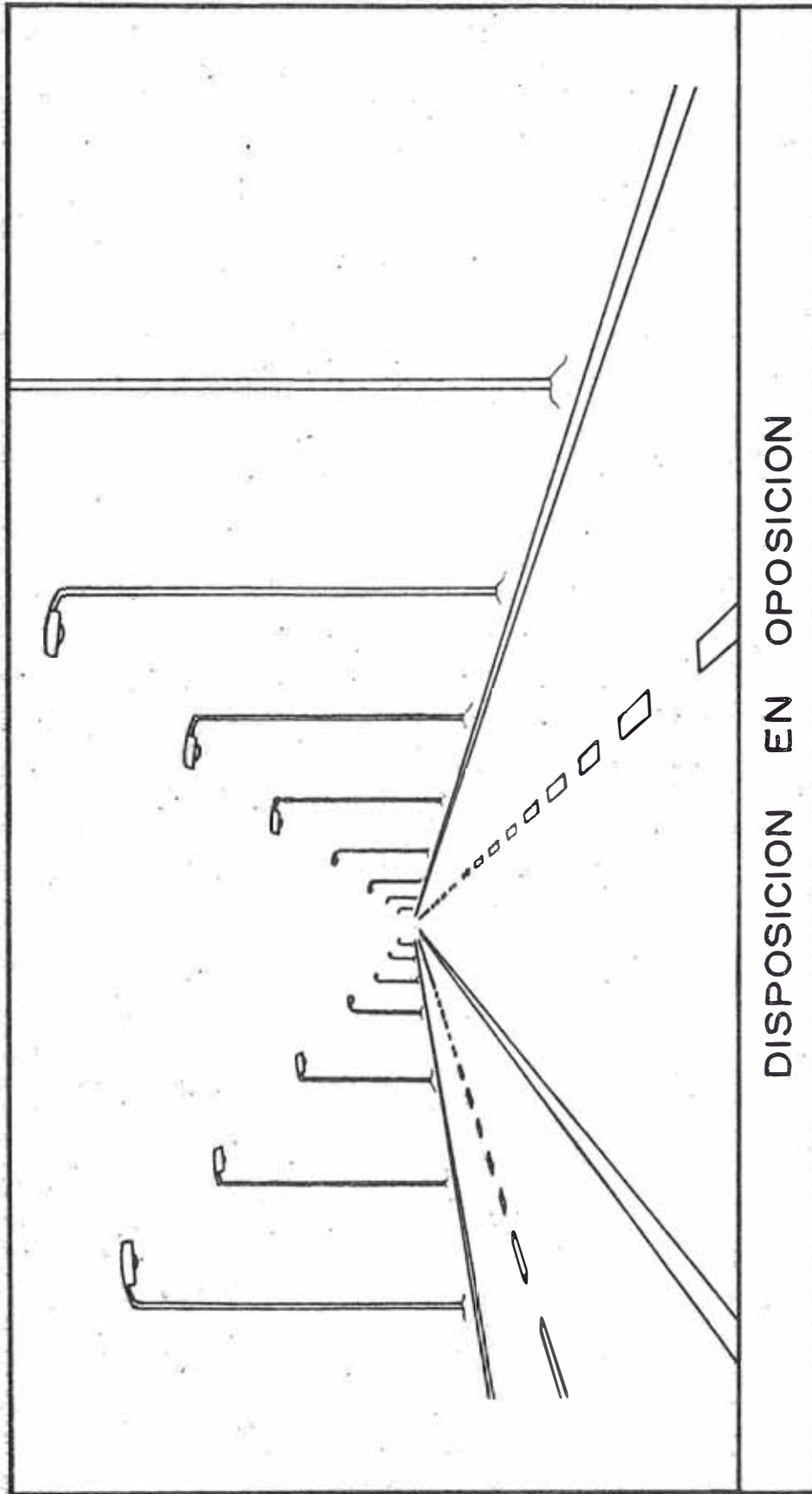


Figura 6.4 Ejemplo de una disposición bilateral en oposición para una vía de doble sentido, con 2 sendas por calzada.

nantemente a lo ancho de la vía, por lo que el espaciamiento entre luminarias debe ser menor (10 a 20 m) y para obtener una uniformidad media adecuada la relación espaciamiento / altura de montaje debe ser alrededor de 1.5

Estas instalaciones combinan una buena uniformidad de luminancia con una buena orientación visual. Además, el deslumbramiento que producen es bajo debido a que la distribución de luz de sus luminarias está dirigido más hacia el ancho de la vía que a lo largo de la misma, lo que producirá a la vez un rendimiento más bajo que para las otras disposiciones. Así, para producir la misma luminancia sobre la superficie de la vía, la instalación en catenaria necesitará una iluminancia horizontal mayor que la que se requiere para cualquier otra disposición.

6.1.1.5 Disposición biaxial

Luminarias suspendidas de cables que cruzan la vía

Esta disposición puede emplearse cuando no sea posible o deseable el uso de postes, como el caso de vías arboladas a ambos lados, donde la ubicación de postes es difícil y la presencia misma de los árboles impide la correcta distribución de la luz de las luminarias sobre la superficie de la vía. Las consideraciones básicas que determinan la elección de esta disposición son las descritas en las secciones 6.1.1.2 y 6.1.1.3.

Luminarias montadas sobre postes

Esta disposición es empleada para vías de doble sentido, como se muestra en la figura 6.5, donde las unidades de alumbrado tienen forma de "T".

Se podría decir que se trata de 2 disposiciones unilaterales que dirigen su flujo luminoso sobre cada una de las vías laterales, por lo que para cumplir con una adecuada uniformidad media, la altura de montaje de las luminarias debe ser igual o mayor que el ancho efectivo de la vía.

En esta disposición el flujo luminoso, tanto hacia el lado de la calzada como hacia el lado de la vereda de la luminaria, contribuye a la luminancia de la superficie. Esta es una ventaja sobre la disposición en oposición, donde sólo la emisión luminosa hacia el lado de la calzada contribuye a la luminancia de la calzada, siendo por esta razón la disposición axial la más eficiente de las 2.

6.1.1.6 Disposiciones combinadas

Las disposiciones señaladas anteriormente pueden ser combinadas para obtener un determinado nivel de iluminación.

Las reglas que gobiernan la elección de la disposición deben cumplirse en la misma forma que para las disposiciones anteriores. Por ejemplo, la combinación de las disposiciones biaxial y en oposición puede ser tratada como una disposición en tresbolillo para cada una de las calzadas. La figura 6.6 muestra todas las disposiciones básicas de las luminarias.

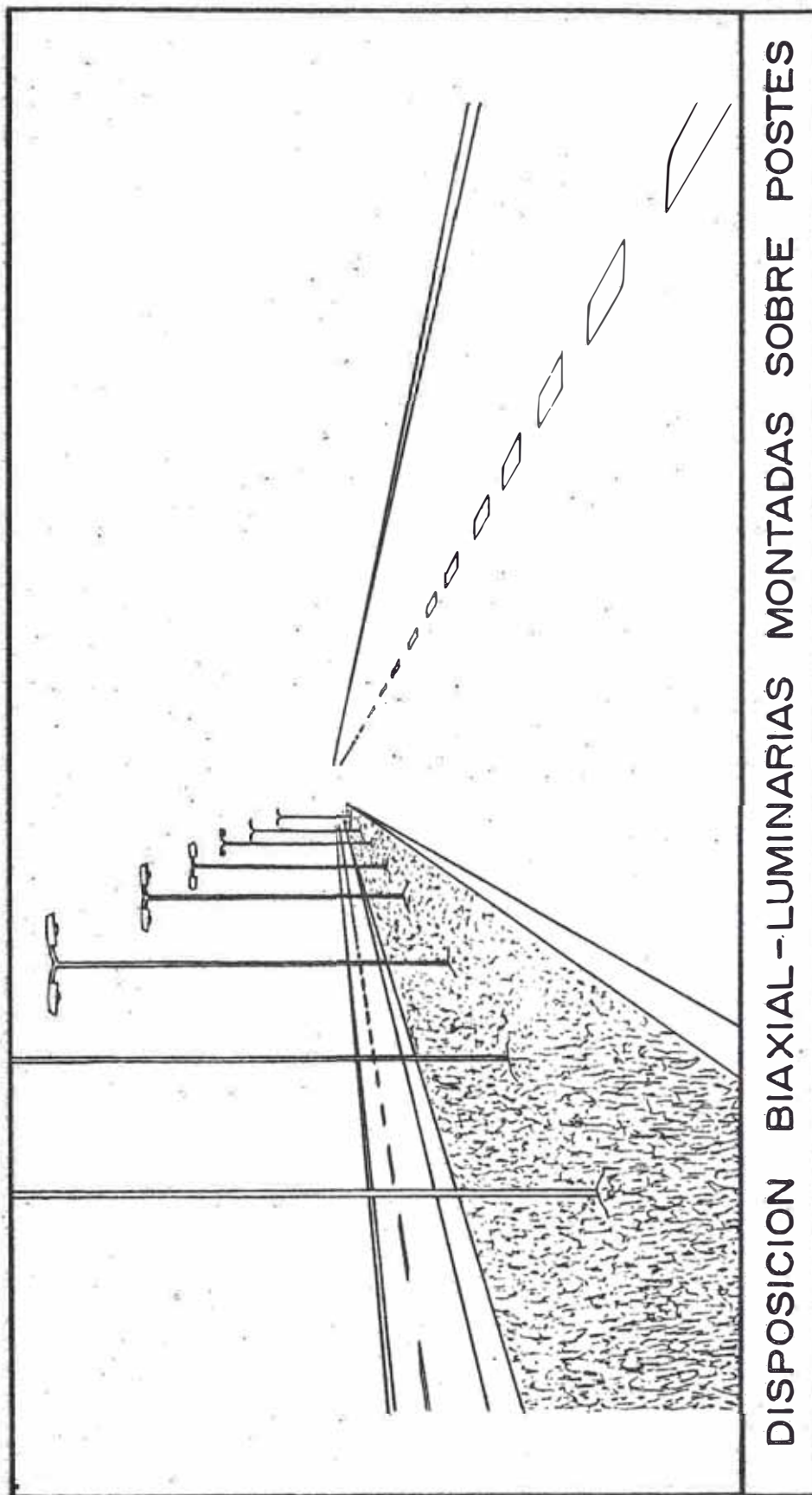


Figura 6.5 Ejemplo de una disposición biaxial con luminarias sobre postes en el separador central para una vía de doble sentido con 2 sendas por calzada.

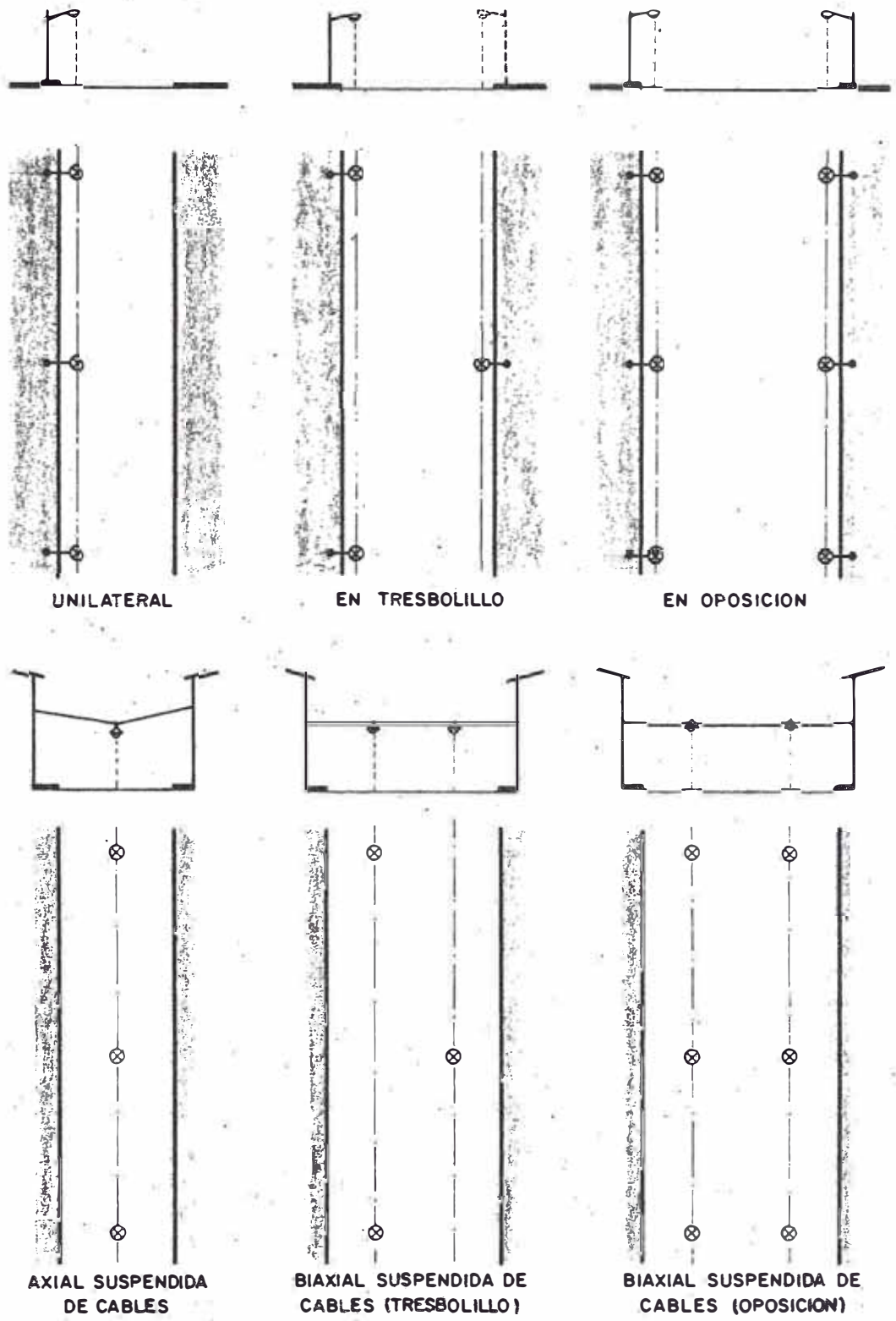


Figura 6.6 Disposiciones básicas de las luminarias.

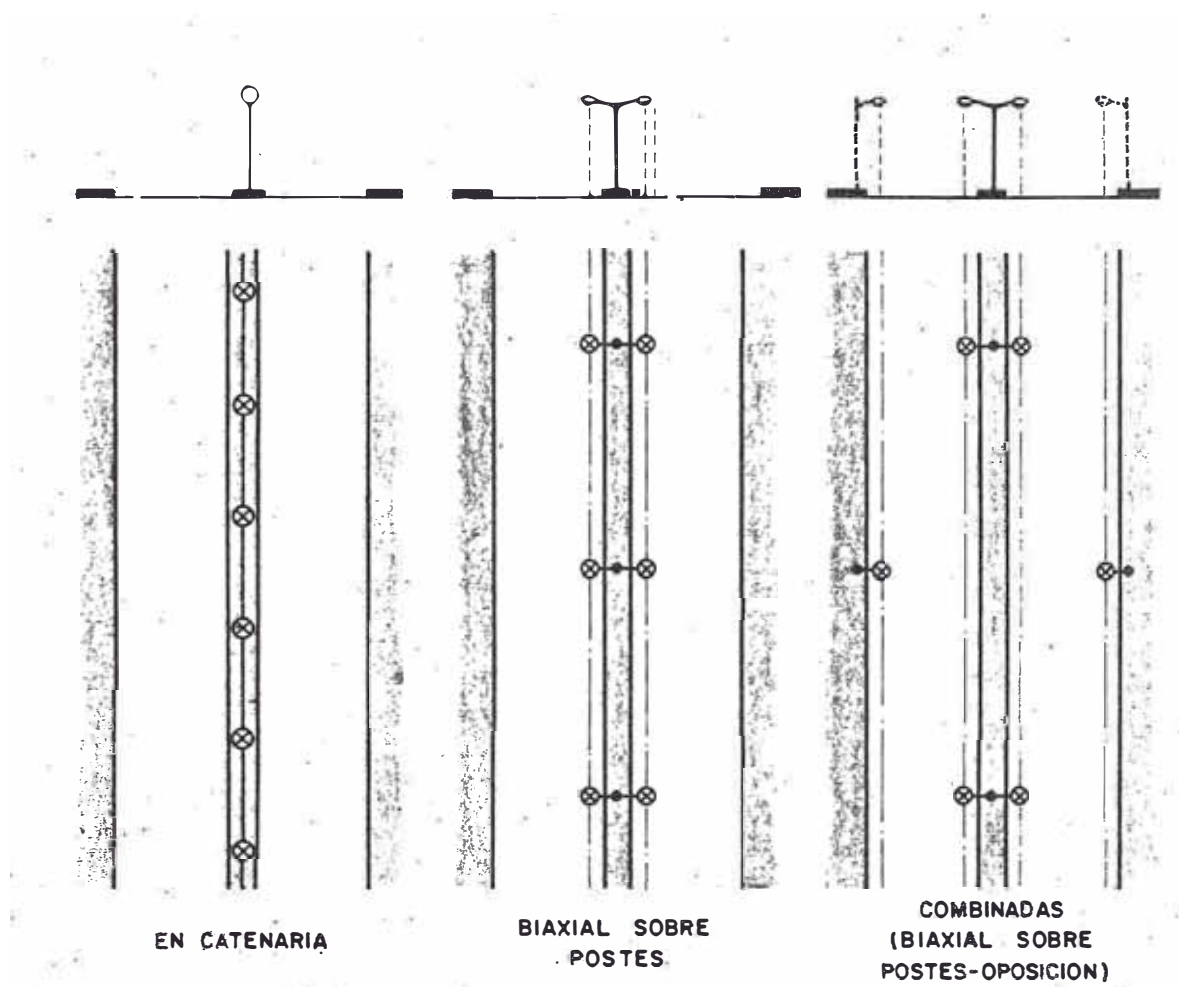


Figura 6.6 Disposiciones básicas de las luminarias.

6.1.2 Altura de montaje (h)

La altura de montaje seleccionada depende del ancho efectivo de la vía. Una altura de montaje mayor implica un mayor costo de instalación y al mismo tiempo un mantenimiento con mayores dificultades. Sin embargo, se debe tener presente que tanto el deslumbramiento de incapacidad como el deslumbramiento molesto disminuyen a medida que aumenta la altura de montaje.

6.1.3 Espaciamiento (S)

El espaciamiento entre luminarias es dependiente de la altura de montaje (h). De acuerdo a la disposición y distribución de luz de la luminaria, el espaciamiento debe ser tal que cumpla con las relaciones de uniformidad dadas en el Código y Norma Nacionales.

6.1.4 Proyección de la luminaria en relación al borde de la calzada (Avance o Retiro de la luminaria) (P)

La longitud del avance o retiro de una luminaria determina el ancho efectivo de la vía (A_{ef}) y en cierto modo la altura mínima de montaje para las luminarias.

El avance o retiro de la luminaria puede ser variado si es necesario, para brindar una buena orientación visual a los usuarios de la vía, permitiendo que las luminarias formen una línea uniforme a lo largo de la misma. Por ejemplo, en el caso de que la vía sea ensanchada para proveer espacio para un paradero de ómnibus, este receso hará que los postes estén ubicados más atrás, lo que conducirá necesariamente a variar el avance de la luminaria en esta zona para mantener las luminarias en línea.

La Norma Nacional recomienda para la disposición en oposición y en tresbolillo, que las luminarias estén alineadas siguiendo dos paralelas al eje de la vía y distantes de los bordes un ancho inferior o igual a $1/5$ del ancho de la calzada, lo que producirá zonas claras e inducirá al con-

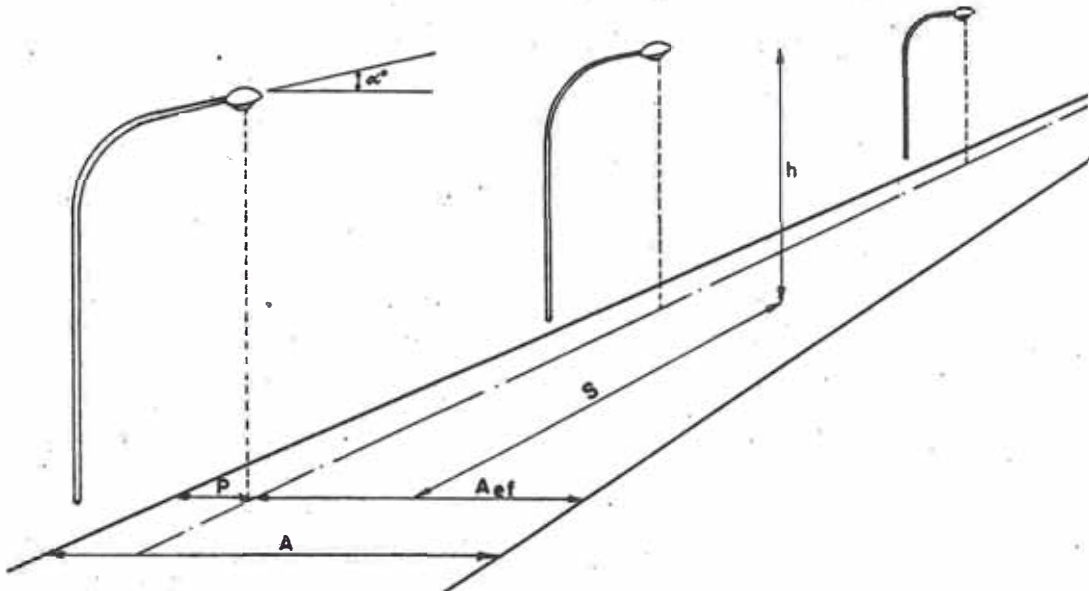
ductor a conservar la línea de la calzada.

6.1.5 Inclinación de la luminaria (α°)

La inclinación de la luminaria sobre la horizontal se hace para alcanzar un ancho mayor de vía con una determinada altura de montaje (ver figura 6.7). Pero esta solución no es conveniente ni es efectiva. Cuando el ancho efectivo de la vía es grande comparado con la altura de montaje de la luminaria, la inclinación de las luminarias incrementará la cantidad de luz que cae en el lado más alejado de la vía, pero la luminancia en este lugar no será incrementada en la misma proporción. Esto es debido al ángulo desfavorable de luz incidente relativa al conductor que se aproxima.

La CIE recomienda un ángulo de inclinación máximo de 10° siendo preferible limitarlo a sólo 5° .

La Norma Nacional recomienda una inclinación hasta de 10° para luminarias de haz apantallado y semi-apantallado y una inclinación de 10° a 20° para luminarias de haz no apantallado, lo que parece excesivo si se tiene en cuenta el control de deslumbramiento.



- h = ALTURA DE MONTAJE.**
- S = ESPACIAMIENTO.**
- P = PROYECCION DE LA LUMINARIA EN RELACION AL BORDE DE LA CALZADA.**
- α° = INCLINACION DE LA LUMINARIA**
- A = ANCHO DE LA VIA.**
- A_{ef} = ANCHO EFECTIVO DE LA VIA**

Figura 6.7 Elementos que deben tomarse en cuenta en el diseño del Alumbrado de Vías Públicas.

6.2 Alumbrado en situaciones que requieren tratamiento especial

6.2.1 Intersecciones o cruces

Las intersecciones deben estar necesariamente iluminadas en los casos siguientes:

- a) Si la intersección en cuestión es de una complejidad tal, que el alumbrado es indispensable desde el punto

de vista de la seguridad.

- b) Si está ubicada dentro de una zona con iluminación.
- c) Si está ubicada en una zona donde la niebla es frecuente.
- d) Si al menos una de las vías involucradas tiene iluminación y es de tráfico importante.

6.2.1.1 Intersección de una vía iluminada con otra vía no iluminada

Puesto que los vehículos que circulan por una vía no iluminada se hacen visibles a través de sus propios faros delanteros, sólo es necesario que los vehículos que circulan por la vía iluminada sean vistos por los conductores que viniendo por la vía no iluminada lleguen a la intersección, para este fin, la ubicación de los postes debe hacerse de acuerdo a una de las 3 disposiciones mostradas en la figura 6.8.

6.2.1.2 Intersección de 2 vías iluminadas de la misma importancia

La luminaria se deberá colocar al lado derecho y justo más allá de la intersección, a continuación de la franja peatonal, como se muestra en la figura 6.9.

6.2.1.3 Unión en "T" de 2 vías iluminadas

Cuando una vía desemboca en otra formando una "T", como se muestra en la figura 6.10, se ubicará una luminaria en el eje de circulación de la vía transversal pasando el cruce.

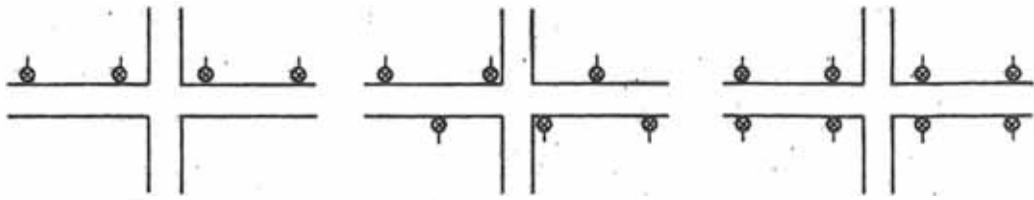


Figura 6.8 Disposiciones que se recomienda para el alumbrado de la intersección de una vía iluminada con otra vía no iluminada.

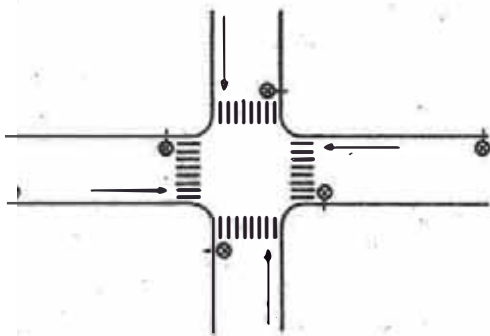


Figura 6.9 Disposición de luminarias que se recomienda para el alumbrado de la intersección de 2 vías iluminadas de la misma importancia.

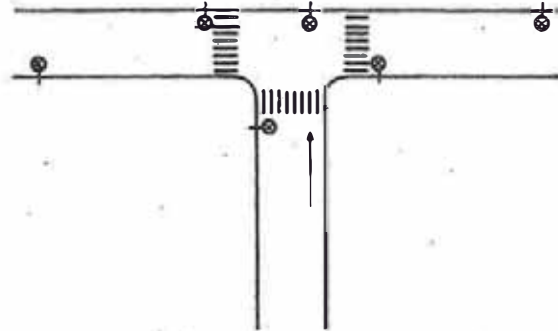


Figura 6.10 Ubicación de las luminarias para una unión en "T" de dos vías iluminadas.

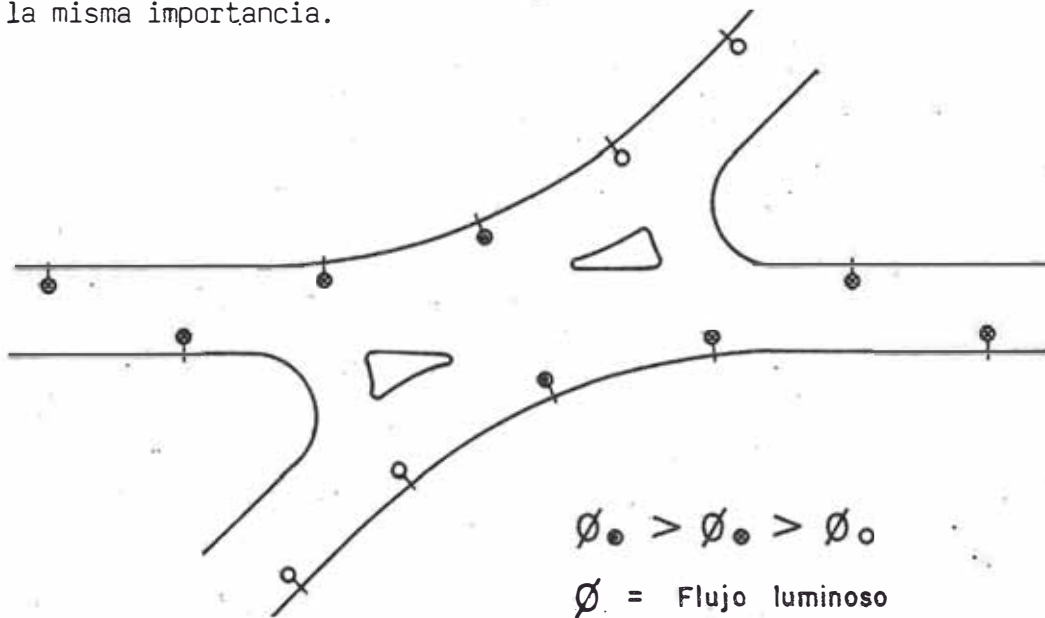


Figura 6.11 Intersección de una vía primaria con una vía secundaria cuando existen islas. La vía primaria puede estar iluminada con una disposición en oposición o tresbolillo y la secundaria con una disposición unilateral. El alumbrado de la intersección puede ser reforzado por los puntos de luz indicados por " ϕ "

6.2.1.4 Intersección de 2 vías con islas

Si la intersección es de una vía primaria con una vía secundaria, la ubicación recomendada será la mostrada en la figura 6.11. En tal caso la vía primaria puede estar iluminada con una disposición en tresbolillo o en oposición y la vía secundaria puede estar iluminada con una disposición unilateral. Los postes pueden estar situados sobre las islas cuando éstas tengan suficiente tamaño. El alumbrado de la intersección puede ser reforzado (puntos de luz indicados por "o" en la figura 6.11).

6.2.1.5 Intersección oblicua "Y" de 2 vías primarias

En la vecindad de una intersección en "Y" los 2 sentidos de circulación son generalmente separados por islas de considerables dimensiones. La figura 6.12 muestra cómo deben ser ubicadas las luminarias en este caso.

6.2.1.6 Intersecciones complejas a nivel

En lo que respecta a intersecciones complejas, se debería empezar a tratar cada una de las uniones elementales en X, Y o T, siguiendo las recomendaciones dadas para cada una de ellas. Entonces se procedería a reducir el número total de fuentes de luz al mismo tiempo que se podría mantener, generalmente, espaciamientos menores que para una vía normal. Se recomienda que las fuentes de luz tengan la misma altura de montaje sobre el íntegro de la intersección, y que por razones estéticas sean del mismo modelo o apariencia externa.

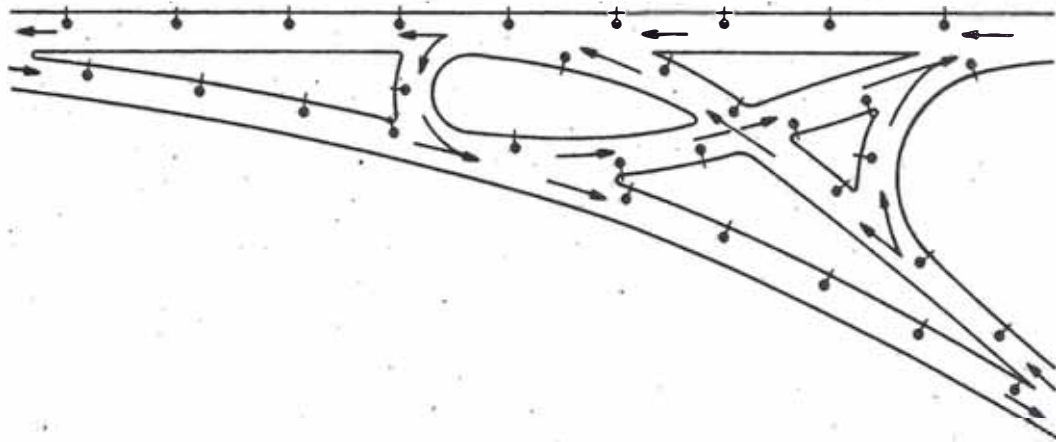


Figura 6.12 Intersección oblicua "Y" de 2 vías primarias.

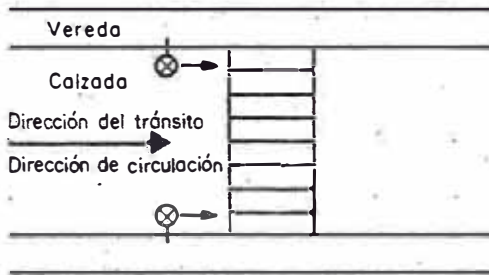


Figura 6.13 Posición de las luminarias para el alumbrado de un paso peatonal en una calle de un solo sentido.

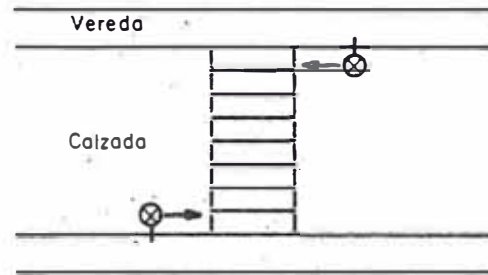


Figura 6.14 Posición de las luminarias para el alumbrado de un paso peatonal en una calle de doble sentido.

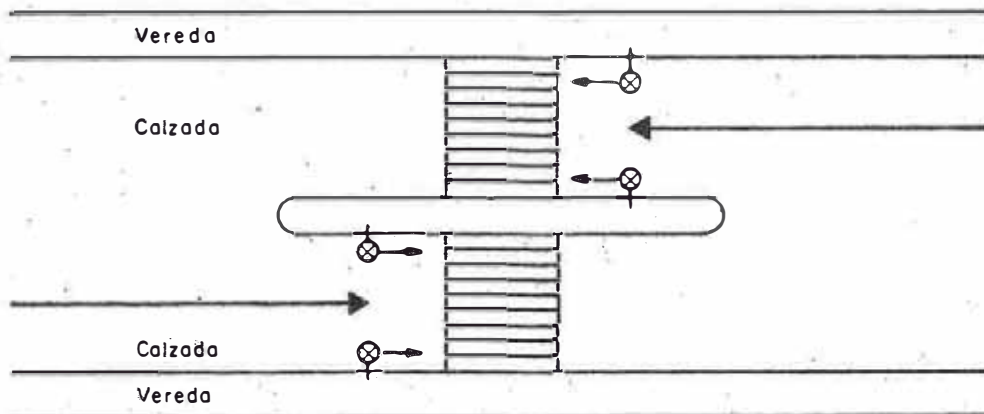


Figura 6.15 Posición de las luminarias para el alumbrado de un paso peatonal en una calle de doble sentido. Disposición con 4 luminarias para vías anchas con refugio axial.

No es recomendable acudir, para este caso, a una iluminación con mástiles de gran altura o en catenaria.

La visibilidad de las islas y señales de tránsito se deben asegurar para todas las posiciones normales de los conductores.

6.2.1.7 Intersecciones a diferentes niveles - Intercambios

Para iluminar estas intersecciones se pueden utilizar postes de altura normal o mástiles altos. Las partes bajas y los puentes también se deben iluminar.

Iluminación o señalización de los bordes e islas y señalización de la vía

En todos los espacios, sea por razones del bajo nivel de iluminancia o por razones del patrón complejo de las sendas de tránsito, la posición y forma de las islas y el patrón de las señales viales pueden no ser claramente vistas y con la debida anticipación por los conductores. Por esta razón, es justificable tener que mejorar su visibilidad añadiendo algunas luminarias con el mismo grado de limitación del deslumbramiento que las otras luminarias o rodeando las islas por balizas reflectantes, o mejor aún, pintando los bordes de blanco.

Las islas y la señalización de la vía deben ser visibles para todas las posiciones normales de los conductores.

a) Condiciones generales requeridas para la iluminación y la selección del método

En adición a una apropiada señalización de la vía, el alumbrado de un conjunto de uniones a diferente nivel, deberá tanto como sea posible:

- Tener un nivel de luminancia aproximadamente igual a la suma de los niveles de las vías que concurren a ellas.
- Asegurar, incluso en mal tiempo y cuando el flujo de tránsito sea intenso, buena orientación visual. Indicando, sin lugar a error, la línea de la ruta a seguirse: por un lado; cuando el conductor llega a un punto de 200 m a 300 m del intercambio; y por el otro, cuando está dentro del intercambio.
- Producir en el ambiente una luminancia suficientemente alta sin causar deslumbramiento molesto.
- No necesitar demasiadas fuentes luminosas cuya multiplicidad generaría confusión.
- No requerir ubicar postes en puntos peligrosos ni en lugares donde el mantenimiento sea imposible causando serias interrupciones en el flujo del tránsito.
- Ser realizada en condiciones satisfactorias desde el punto de vista de la estética, tanto en consideración con el diseño y los materiales utilizados, como en su armonía con el lugar.

En efecto, cada intersección compleja a diferentes niveles constituye un caso particular que justifica un estudio individual. Dada la dificultad de la realización de una instalación de alumbrado que satisfaga todas las condiciones indicadas, frecuentemente es muy útil hacer un estudio preliminar sobre un modelo.

b) Alumbrado por medio de postes cuya altura no exceda los 20 metros.

Este tipo de alumbrado es generalmente preferible cuando la ubicación de los postes no da lugar a confusiones.

La instalación debe ser hecha con luminarias con una buena limitación del deslumbramiento. Si la vía primaria es una vía de doble sentido con pistas muy anchas la disposición en oposición con postes situados a ambos lados de la vía es recomendable y mejor aún la disposición biaxial. Las vías que emergen de la vía primaria deben, en principio, tener un alumbrado unilateral como se ve en la figura 6.12. Debe tenerse cuidado que las luces a lo largo de la vía inferior no causen deslumbramiento a los conductores que circulen por la vía superior.

En la vecindad de secciones elevadas, el uso de postes de reducido tamaño puede contribuir a evitar el deslumbramiento.

Los pasos inferiores a desnivel, como túneles cortos, deben ser iluminados, así como los pasos superiores cuya configuración sea como puentes cortos o como vías elevadas (ver secciones 6.2.3.1 y 6.2.4).

c) Alumbrado por medio de mástiles de gran altura

Si la solución del tipo (b) conduce a una confusión en la distribución de postes impidiendo la orientación visual, puede resultar interesante el empleo de un sistema de alumbrado de zona utilizando fuentes de alta intensidad ubicadas sobre mástiles de gran altura (20 m a 40 m). Entonces la relación espaciamiento / altura de montaje y la distribución fotométrica de las luminarias deben ser tales que el deslumbramiento sea cuidadosamente restringido.

El deslumbramiento perturbador puede ser determinado de acuerdo al método gráfico de la sección 3.1.3.8.

El método gráfico para el cálculo del deslumbramiento molesto no puede ser aplicado en este caso, puesto que sólo es válido para instalaciones normales de alumbrado de geometría definida.

d) Alumbrado en catenaria

Una instalación compleja de intersecciones también puede ser iluminada por una instalación en catenaria. Aunque las interrupciones locales pueden ser inevitables ,

un alumbrado de este tipo, donde sea apropiado, tiene la ventaja de proveer una excelente orientación visual.

6.2.2 Pasos peatonales

El alumbrado de los pasos peatonales tiene que alertar a los conductores con suficiente anticipación de la presencia de los mismos y hacer visibles a los peatones que están o se disponen a cruzar la calzada. También debería permitir a los peatones que van a cruzar la calzada reconocer fácilmente la localización y límites del paso, y apreciar la dirección, distancia, velocidad y tipo de vehículos que se dirigen al paso.

En general, si el alumbrado existe sobre una sección suficiente antes y después del paso, en concordancia con las recomendaciones de la CIE, no es necesario un alumbrado especial del paso. Sin embargo, en algunas situaciones, el entorno de la vía requiere un alumbrado adicional, por ejemplo, cuando el paso está situado sobre una curva horizontal muy pronunciada o sobre una cuesta.

Las figuras 6.13, 6.14 y 6.15 indican las disposiciones recomendadas de las luminarias en la vecindad de los pasos peatonales, para el alumbrado, en diferentes casos.

En general se prefieren para este propósito, luminarias con una distribución asimétrica y control moderado del deslumbramiento. Las figuras antes mencionadas indican la posición de las luminarias y la dirección de la máxima intensidad.

Para evitar que estas luminarias causen deslumbramiento de incomodidad en el tránsito, se dan las siguientes recomendaciones:

- a) La intensidad luminosa en $\gamma = 80^\circ$ no debe exceder 30 cd/1000 lm en la dirección del tránsito.
- b) La intensidad luminosa en $\gamma = 90^\circ$ no debe exceder 10 cd/1000 lm en la dirección opuesta al tránsito.

Las flechas indican la dirección de la intensidad máxima de la luminaria. Si para indicar la presencia de un paso peatonal se emplea una señal de tránsito, se recomienda la iluminación interior de dicho símbolo.

Para calles estrechas una luminaria puede ser suficiente a condición que:

- La iluminancia horizontal sobre el paso y la iluminancia vertical a una altura de 1 m sobre el paso sea por lo menos 5 veces la iluminancia media proporcionada por la instalación general, y en cualquier caso por lo menos igual a 40 lux.
- La uniformidad del alumbrado sea tal, que en el paso la iluminancia horizontal sea por lo menos la tercera parte de la iluminancia horizontal media, y que la iluminancia vertical sea por lo menos una décima parte de la iluminancia vertical media.

Medidas para mejorar la visibilidad de un paso peatonal

Existe un cierto número de medidas que son capaces de mejorar la visibilidad de un paso peatonal y la de los peatones que puedan encontrarse allí y así incrementar su seguridad.

- a) Pintar rayas en la pista, rectas o curvas, alternativamente blancas y negras, paralelas a los ejes

La visibilidad de las marcas se incrementa si las rayas negras tienen una textura más rugosa que las blancas.

- b) Instalar un refuerzo de alumbrado sobre el paso peatonal

Siempre que el nivel medio de luminancia de la vía sea bajo y las condiciones generales de visibilidad un poco pobres, se pueden obtener buenos resultados con alumbrado suplementario, utilizando luminarias apantalladas y una fuente de luz de diferente color para el alumbrado general. Por ejemplo, el alumbrado suplementario puede estar conformado por lámparas de sodio, donde el alumbrado de la vía es de mercurio de color corregido.

Sin embargo, la manera más eficiente de asegurar la visibilidad de los peatones en el punto de cruce, es dirigir sobre ellos una fuente de luz. Tal alumbrado es útil también, cuando hay ausencia de un fondo de superficie de vía contra el que los peatones deberían ser vistos como siluetas, por ejemplo, en un punto elevado. Esta iluminancia vertical debe ser igual por lo menos a 5

veces la iluminancia horizontal media del paso peatonal sin ser menor que 40 lux (ese es el objetivo de las instalaciones mostradas en las figuras 6.13, 6.14 y 6.15). Se ha demostrado que la dirección del flujo luminoso que proporciona la mayor visibilidad de los peatones es aquella que tiene un ángulo alrededor de 30° a 40° con el plano vertical perpendicular al eje de la vía.

c) Haces centellantes

En algunos países, se encuentra muy útil señalar todos los pasos peatonales por medio de haces centellantes preferiblemente de color amarillo. Estos haces tras lúcidos sostenidos por pequeños postes de 2' a 3 m de altura y situados sobre las veredas a uno y otro lado del paso peatonal, pueden ser equipados con lámparas incandescentes con emisión en una frecuencia de 60 por minuto. La distancia de visibilidad para tal disposición es alrededor de 120 m si el tránsito es alto, y alrededor de 180 m si éste es moderado.

d) Balizas iluminadas

Estas son apropiadas si están situadas a cada extremo del paso peatonal y si el ancho de la calzada no excede los 12 m.

e) Balizas iluminadas en el separador central

Cuando la vía es ancha, el paso de peatones se facilita grandemente con la presencia de un separador central,

preferiblemente compuesto de balizas iluminadas debidamente protegidas. La visibilidad y seguridad de un cruce también puede mejorarse con la presencia de barreras de seguridad colocadas sobre las veredas.

f) Señalización luminosa con 3 colores

La instalación de señales luminosas es prácticamente indispensable cuando el volumen de vehículos o de peatones excede un cierto límite durante las horas pico.

6.2.3 Puentes y pasarelas

Cabe advertir, que sea cualesquiera la importancia y longitud de la estructura, todos los puentes y pasarelas en caballete deberían ser iluminados observando las precauciones concernientes a las prominencias y caballetes.

6.2.3.1 Puentes cortos

El alumbrado de puentes cortos, esto es, aquellos cuya longitud no exceda los 60 m aproximadamente, presenta pequeñas dificultades. Si el resto de la vía se encuentra iluminada, ellos pueden iluminarse en la misma forma, teniendo cuidado que la entrada y salida de la estructura y el eje del paso peatonal sean claramente visibles, especialmente si el puente tiene una vía más angosta que la vía abierta. Se puede ubicar una fuente de luz en cada entrada hacia el puente (si la disposición es unilateral o en tresbolillo) o 2 fuentes de luz opuestas (si la disposición es en opo*si*

ción) haciendo correcciones en la ubicación de las demás fuentes de luz si fuera necesario.

6.2.3.2 Puentes largos

Con el progreso en el arte del diseño y construcción de puentes largos, no se debe estropear la buena apariencia de éstos con la instalación de muchos postes.

Sin perjuicio de las condiciones normales que deberían ser satisfechas por un buen Alumbrado Público, el alumbrado de estas estructuras debería cumplir con 2 requisitos adicionales:

- a) Proveer sobre la estructura total, un nivel medio de luminancia ligeramente superior a aquel existente a ambos lados del puente.
- b) Satisfacer los requisitos de estética en lo que concierne a la apariencia del puente durante las horas del día.

Para este fin, es deseable utilizar una disposición en oposición y no en tresbolillo. Además, el espaciamiento entre postes, si se usan, debe ser un submúltiplo de las dimensiones de los arcos. Cuando los arcos son largos (tal como 50 m o más), una buena solución consiste en situar los postes a $1/4$ y $3/4$ de los extremos del tramo total de los arcos en lugar de colocarlos a la mitad o en los extremos. Si el puente está situado sobre una vía de doble sentido iluminada por una disposición biaxial con lumina-

rias montadas sobre postes, se debe iluminar el puente en la misma forma.

Si el perfil del puente tiene un lomo pronunciado, las luminarias utilizadas en la instalación deben tener buena limitación del deslumbramiento.

El alumbrado en catenaria puede ser utilizado cuando el puente tenga separador central.

6.2.3.3 Pasarelas peatonales

Cualquiera que sea la ubicación y alrededores, en los cuales se encuentre una pasarela, la instalación de alumbrado debe combinarse armoniosamente en la escena total.

Los cables de alimentación y los equipos auxiliares no deben ser numerosos. Se deben tomar todas las precauciones contra el robo y vandalismo.

Si la pasarela se encuentra sobre una vía no iluminada, la iluminación de ésta no debe perturbar a los usuarios de la vía.

Cuando la pasarela peatonal se encuentre sobre rieles del ferrocarril, su alumbrado debe adecuarse a las condiciones impuestas en este caso.

En cualquier caso, el alumbrado de la superficie de una pasarela debe estar por encima de los 6 lux, y debe reducir lo más que se pueda, los riesgos de error y accidentes.

6.2.4 Vías elevadas

El alumbrado de una vía elevada no puede ser diseñada como para un puente largo. En efecto, tal vía se diferencia de un puente largo en los siguientes aspectos:

- a) Su longitud es varias veces más grande.
- b) El alineamiento es a menudo sinuoso.
- c) Hay vías paralelas ubicadas debajo de ella.
- d) Presencia de vías de entrada y salida con rampas.
- e) La fluidez de tránsito es muy alta, lo que crea un riesgo creciente de accidentes.
- f) Adicionalmente, la ausencia de escaleras y de vehículos para el personal de mantenimiento, hace que las operaciones de mantenimiento sean extremadamente difíciles teniendo que elegirse una instalación de alumbrado en función de tales servicios.

Las características dadas anteriormente conducen a las siguientes recomendaciones generales:

- El alumbrado de vías elevadas debe estar en concordancia con los requerimientos para rutas de tránsito pesado.
- La orientación visual debe ser excelente y el método que se utilice para ubicar las fuentes de luz debe ser el mismo a través de toda la longitud de la vía.

- La elección de postes y luminarias debe ser satisfactoria desde el punto de vista de la estética y de la facilidad para el mantenimiento, en vista de la falta de zonas de parqueo para los vehículos de servicio.
- Las dificultades para el mantenimiento de estas instalaciones ejercen, por lo tanto, decisiva influencia sobre el diseño y los materiales a utilizarse en el alumbrado de vías elevadas.

En el caso de vías elevadas, franqueadas por vías paralelas situadas a nivel del piso, hay un serio riesgo de molestia o de deslumbramiento de la instalación de alumbrado de una vía a los usuarios de la otra. A esto debe añadirse el riesgo de confusión cuando existen vías de acceso entre los 2 niveles. Una instalación de alumbrado común compuesta por mástiles de gran altura puede ser la mejor forma de evitar errores y asegurar una buena visibilidad de todos los vehículos que entran a las diversas bifurcaciones. La altura de los mástiles debe ser grande con respecto a la diferencia de niveles de las dos vías y deben, en lo posible, estar ubicados entre las dos vías.

6.2.5 Vías de empalme

Estas vías deberían, en general, estar dotadas de su propio diseño de alumbrado para asegurar una excelente orientación visual y no causar ningún deslumbramiento, en particular a los usuarios de las vías elevadas; esto requiere

del uso de luminarias con deslumbramiento limitado. La ubicación de las fuentes de luz en los empalmes con las vías primarias debe ser objeto de un detallado estudio y muchas veces se hace necesario la utilización de un modelo. La señalización de la vía y la ubicación de las barreras de seguridad también deben ser estudiadas con cuidado.

El alumbrado por medio de mástiles de gran altura frecuentemente proporciona la mejor solución, porque evita una multiplicidad de diferentes fuentes de luz a diferentes niveles. Estos deben estar situados fuera de las vías más bajas, siendo necesario un alumbrado complementario para eliminar las sombras que puedan producir las vías elevadas y de empalme sobre las vías a menor nivel.

6.2.6 Curvas

6.2.6.1 Curvas en vías ordinarias

Las curvas de radio grande, del orden de los 1,000 m, pueden ser tratadas como rectas.

Para curvas de menor radio, un estudio de las perspectivas se muestra en la figura 6.16 (a), donde se aprecia los postes situados, principalmente, en la parte exterior de la curva. La vía tiene una luminancia más uniforme con esta disposición.

Cuando la curva sea muy pronunciada, el espaciamiento debe ser progresivamente reducido para lograr una adecuada lumi

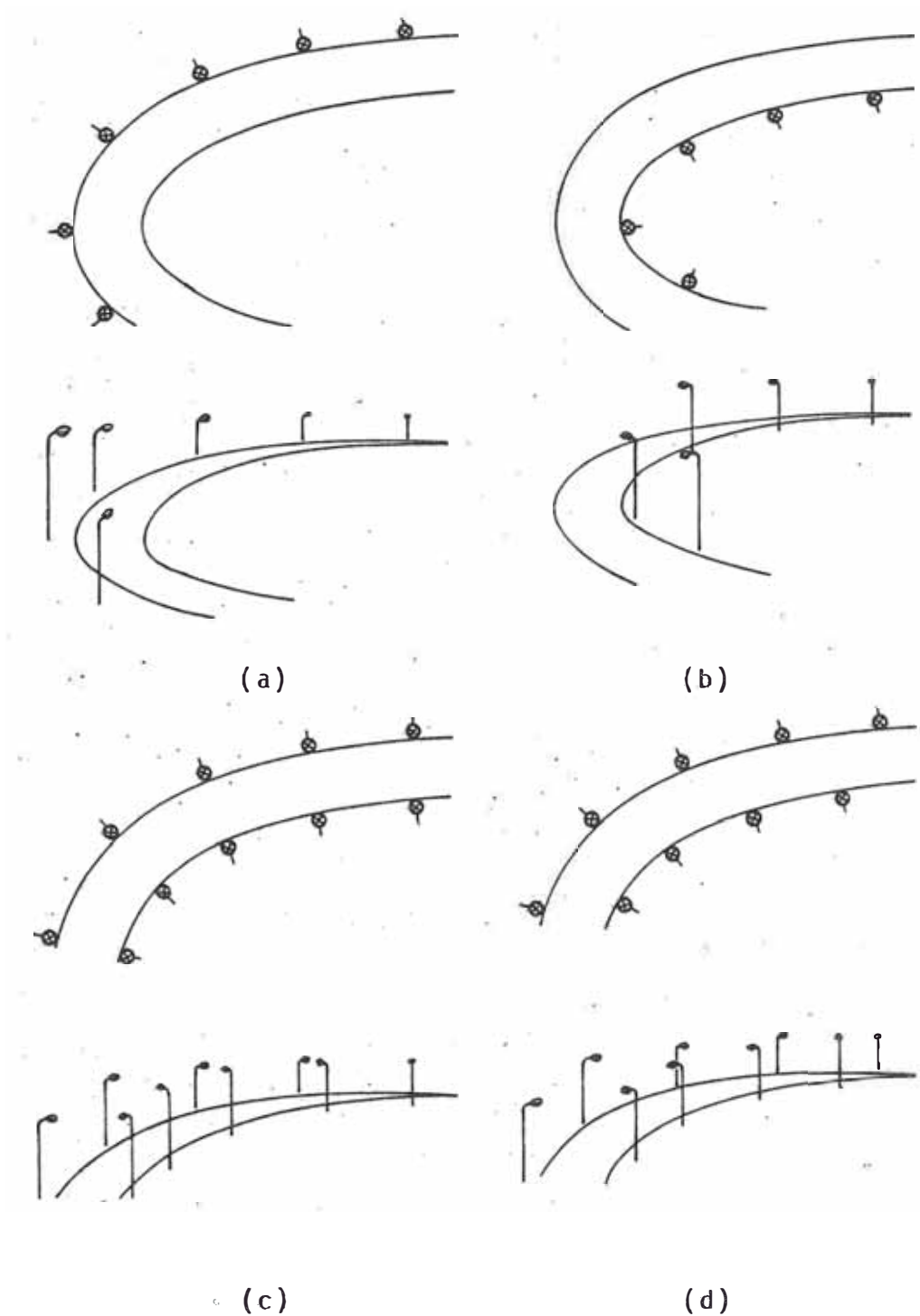


Figura 6.16 Disposición recomendada para luminarias sobre una curva. La disposición unilateral sobre el lado exterior de la curva (a) se recomienda debiendo evitarse la disposición unilateral sobre el lado interior de la curva (b). La disposición en oposición (c) se recomienda debiendo evitarse la disposición en tresbolillo (d).

nancia. Por razones similares, la proyección de la luminaria en relación al borde de la calzada no debe ser excesiva. En este caso la disposición unilateral, obviamente, es la más indicada, a causa de que da además una excelente orientación visual. La disposición en tresbolillo tiene que evitarse en este caso, porque no solamente desaparece la orientación visual, sino que el conductor puede ser inducido a pensar que existe una vía lateral.

En curvas donde el ancho sea mayor que 1.5 veces la altura de montaje la disposición bilateral en oposición es la más recomendable (ver figura 6.16 (c)), aunque hay un pequeño riesgo de malentender el patrón de las luces.

6.2.6.2 Curvas en vías expresas

Las curvas en las vías expresas pueden ser iluminadas con una disposición unilateral en la parte exterior de la curva, como se muestra en la figura 6.16 (a); para vías que tengan un gran número de sendas se requieren alturas de montaje mucho mayores.

Algunas veces es necesario utilizar una disposición bilateral en oposición (ver figura 6.16 (c)) para asegurar una suficiente uniformidad transversal sobre el ancho total de la vía. Una superficie rugosa ayuda a cumplir con una aceptable uniformidad.

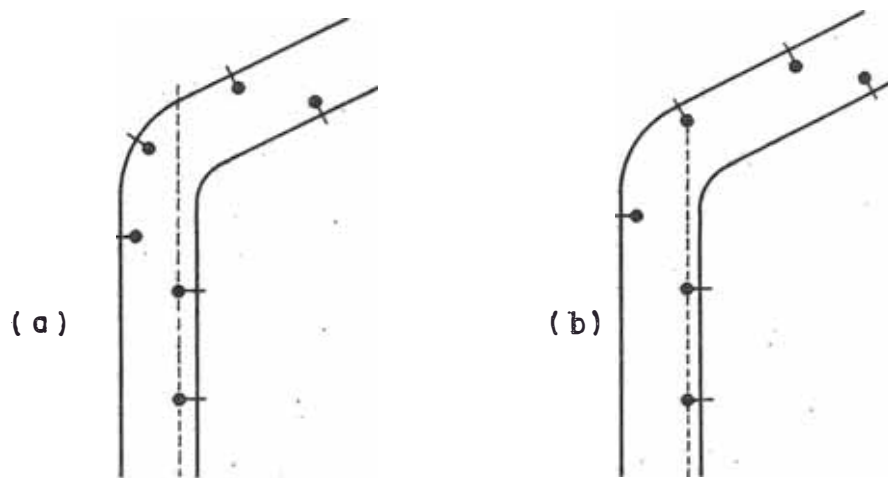


Figura 6.17 En la curva, las luminarias deben situarse como en (a) debiendo evitarse la ubicación como en (b), donde la segunda luminaria sobre la parte exterior de la curva está en línea con las luminarias situadas sobre la parte recta de la vía lo que puede producir una falsa impresión del curso de la vía.

6.2.7 Plazas

La iluminación de una plaza deberá ser por lo menos igual al de la vía más importante que llega a ella:

La instalación debe señalizarse para advertir, con bastante anticipación, el obstáculo que en sí constituye la presencia misma de la plaza. Debe señalizarse además, la localización de las salidas de las diferentes vías y la ubicación y forma de las islas de tránsito. El uso de balizas iluminadas es recomendable para patrones complejos. Además, debe marcarse claramente el borde de la calzada en toda la periferia de la plaza. El nivel general de la instalación debe producir una clara percepción de los vehículos por iluminación directa, debido a que la disposición de la vía

y fuentes luminosas, generalmente, no permiten un contraste negativo (efecto silueta) como en las secciones rectas.

En adición, el alumbrado se debería extender hacia las vías no iluminadas, suficientemente lejos de la plaza, para que los conductores que lleguen a la misma tengan tiempo de identificarla, e inversamente, para permitir a todos los conductores que dejan la plaza acostumbrarse a la oscuridad. Esto lleva a iluminar alrededor de 60 m de pista desde la salida de la plaza.

6.2.7.1 Disposición general de las fuentes luminosas

Si el diámetro de la isla central es pequeño, será suficiente situar las fuentes luminosas alrededor de la periferia. Por lo tanto, será ventajoso dar relieve a la isla central, por ejemplo, por medio de plantas.

Si el diámetro de la isla central lo justifica, pueden ubicarse balizas iluminadas de baja intensidad luminosa detrás del sardinel, a lo largo de la línea de cada vía de salida (ver figura 6.18). Estas balizas pueden ser reemplazadas también por sardineles luminosos.

Si la pista circular de la plaza es muy ancha, puede ser necesario ubicar postes en el perímetro de la parte central. Estos deberían equiparse con luminarias con fuerte control del deslumbramiento. Ver figura 6.18. Una o más fuentes de luz deberían ser ubicadas sobre el borde exterior de la plaza para permitir al conductor identificar

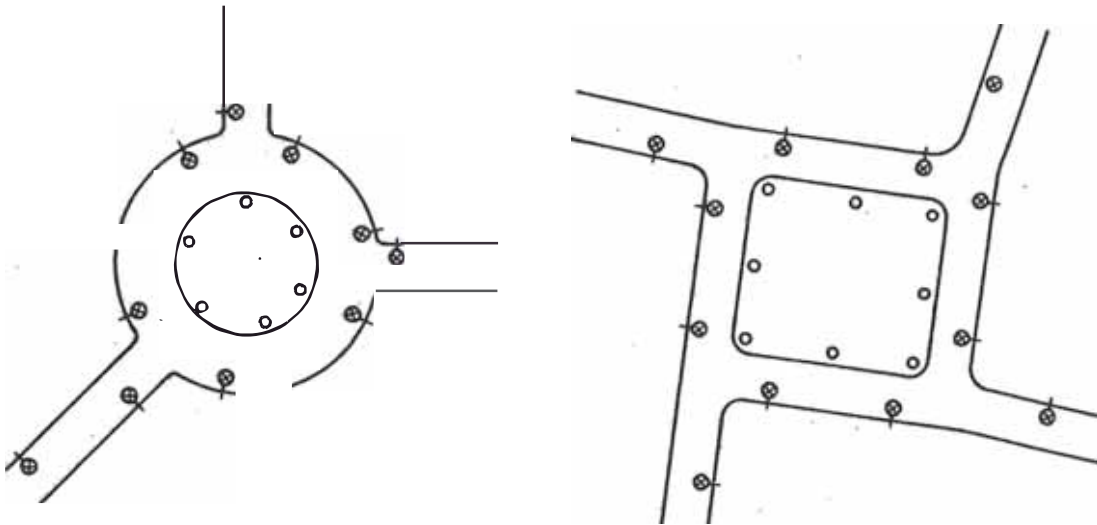


Figura 6.18 Disposición de las luminarias para iluminar una plaza.

las diferentes salidas que se le presentan mientras está circulando por la plaza.

Las plazas pequeñas o medianas pueden ser iluminadas por medio de uno o dos mástiles de gran altura.

En una intersección compleja a nivel es deseable que todas las fuentes luminosas tengan la misma altura y forma.

6.2.7.2 Alumbrado de las islas

Si la plaza es muy importante y ciertos accesos son muy anchos y están provistos de islas, puede resultar ventajoso situar un poste de alumbrado sobre cada isla. En cualquier caso, los sardineles en las islas deben ser muy visibles.

6.2.8 Zonas de transición en vías de alta velocidad

Para permitir a los conductores adaptarse más confortablemente a condiciones de visibilidad en las que prevalezca solamente el alumbrado por medio de sus faros, puede disponerse de una zona de transición en la que la luminancia de la pista sea reducida.

Sobre una sección de vía donde la luminancia media sea de 2 cd/m^2 se ha establecido que las zonas de transición, donde la luminancia media sea sólo de 0.3 cd/m^2 , aún proporcionan condiciones de visibilidad comparables a aquella dada por las luces bajas de los faros de los vehículos.

En vías primarias rápidas, la zona de transición debería tener una longitud de por lo menos 200 m y ser iluminada con un nivel de luminancia de 0.3 cd/m^2 .

Se recomienda mantener la misma altura de montaje y el mismo espaciamiento en toda la longitud de la zona de transición. La reducción de la luminancia de la calzada puede ser obtenida, por ejemplo, empleando una disposición unilateral simple, con las fuentes luminosas ubicadas en el lado izquierdo para los conductores que se están alejando de la zona iluminada.

En vías menos rápidas las longitudes mencionadas anteriormente pueden ser reducidas apreciablemente.

6.2.9 Rampas y vías con curvas verticales

6.2.9.1 Rampas

En rampas de pendiente constante, las luminarias deben ser orientadas en tal forma, que su plano transversal de simetría sea perpendicular a la superficie de la calzada. Esto es particularmente importante para luminarias que tienen alcance corto.

6.2.9.2 Vías con curvas verticales

Estas deben ser tratadas con gran cuidado, incluso si la curva vertical no es muy pronunciada, a causa de la ausencia de fondo sobre el cual el obstáculo, si existe, debería ser delineado. Las fuentes luminosas que están distantes parecen tener una altura de montaje muy baja y frecuentemente impiden al conductor lograr una clara visión del campo visual.

Es esencial emplear luminarias con un fuerte control de deslumbramiento y consecuentemente con espaciamientos muy cortos cuando la curva vertical sea muy pronunciada. Deben tomarse precauciones similares para el alumbrado de puentes con curvas verticales.

6.2.10 Vías ciegas

El alumbrado de una vía ciega, tal como un terminal en "T", debe indicar muy claramente a los conductores la ubicación exacta del final de la vía. Además, la vía y todos los al-

rededores deben estar suficientemente iluminados para permitir a los conductores ejecutar las maniobras, frecuentemente complicadas, que son necesarias para voltear en "U". El sardinel de las veredas y las islas deben ser visibles, y el deslumbramiento debe ser limitado (ver figura 6.19).

En principio, el nivel de iluminación de la calzada debe ser del orden de los 20 lux.

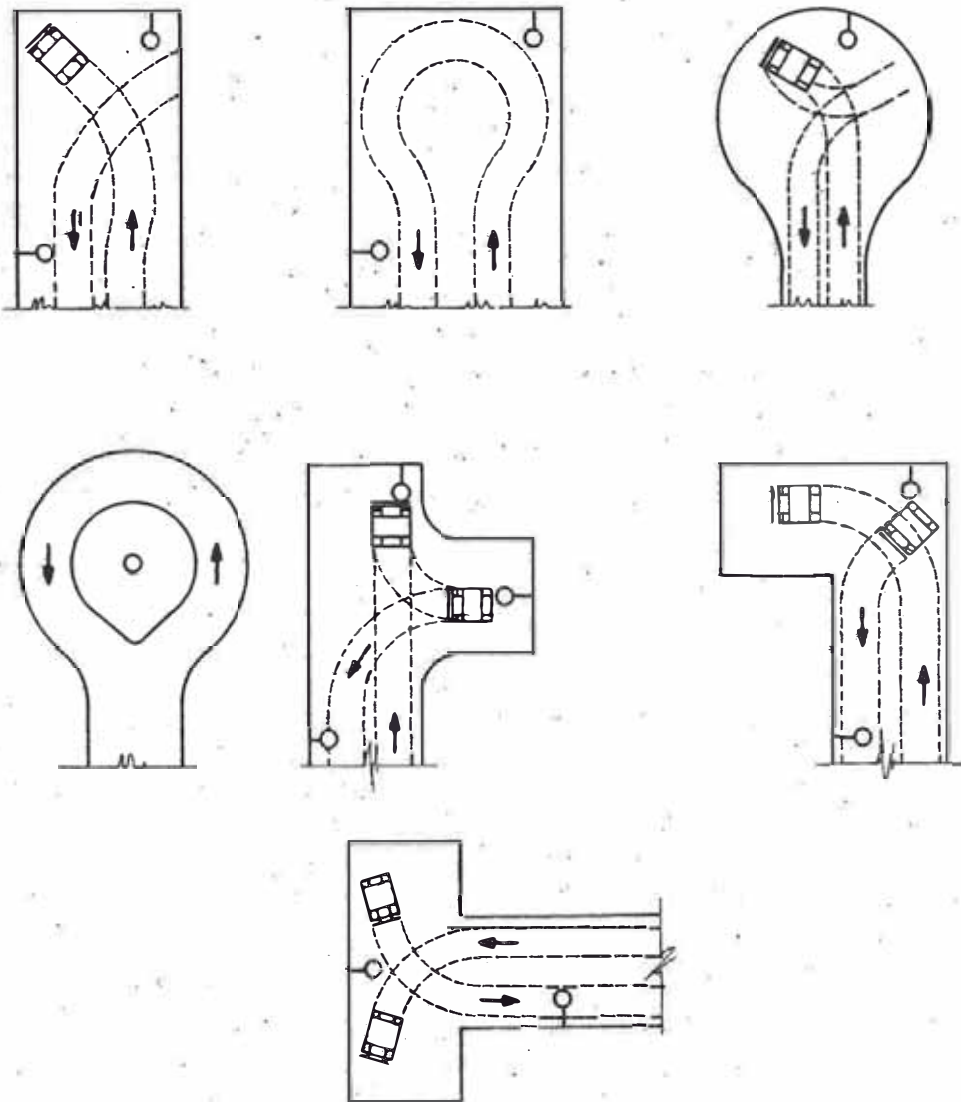


Figura 6.19 Alumbrado de vías ciegas. Ubicación de las luminarias.

6.2.11 Vías situadas en la vecindad de un aeropuerto

Cuando una vía está situada cerca a un aeropuerto, es particularmente importante asegurarse que las luces no puedan ser confundidas con las luces de balizaje. También, la altura de los postes no debería exceder los límites autorizados. Las autoridades responsables de los aeropuertos deberían ser consultadas acerca de las precauciones a tomarse en cuenta cuando las vías pasan cerca de la pista de aterrizaje.

6.2.12 Vías situadas en la vecindad de una vía férrea o de un curso de agua navegable

Para vías situadas en la vecindad de una vía férrea o de un curso de agua navegable, es necesario asegurarse que las luces no puedan, a causa de su color, ser confundidas con las luces de señalización de la vía férrea o del curso de agua, ni estorbar la visión.

Si la vía está bordeada por agua (lago, río o canal) y si el alumbrado está en disposición unilateral, se recomienda que los postes estén situados, cuando sea posible, en el lado del agua.

6.2.13 Cruces a nivel

Cuando los cruces a nivel sean iluminados su alumbrado debe permitir revelar la existencia del cruce a una distancia suficiente como para proporcionar una clara visión de las barreras, así como de las señales que identifican el

cruce, aunque éstas carezcan de iluminación propia.

- a) Si el cruce está ubicado sobre una vía iluminada, éste debe ser iluminado en la misma forma que la vía.
- b) Si el cruce está ubicado sobre una vía no iluminada y es posible que una hilera de vehículos pueda acumularse en el cruce, la vía debe ser iluminada en una longitud de 40 m a cada lado.

Las fuentes de luz utilizadas no deben dar lugar a ser confundidas con la señalización ferroviaria.

6.2.14 Alumbrado de casetas de peaje, paraderos de ómnibus, zonas de estacionamiento, puestos de aduana y estaciones de venta de combustible

El alumbrado de estas instalaciones se hace esencialmente para permitir a los conductores el cambio de atención difusa a concentrada. Si estas instalaciones son iluminadas, es deseable que la vía sea alumbrada en una longitud de 200 m a cada lado. El deslumbramiento causado por las instalaciones de alumbrado que rodean la vía deberá ser limitado.

6.2.15 Vías bordeadas de árboles

Los árboles constituyen un aspecto importante en muchas vías. Ellos, sin embargo, crean un problema en lo que concierne a la iluminación. El grado de obstrucción depende de la especie de árbol, su edad y la cantidad de poda. Debido a la variedad de árboles, no es posible especificar

tipos particulares de luminarias, alturas de montaje, o proyecciones de las luminarias en relación al borde de la calzada.

Cuando deben plantarse árboles o se planean nuevas instalaciones de alumbrado con árboles (o ambas), el ingeniero de Alumbrado y el experto en árboles deberán trabajar lo más estrechamente posible para obtener la mejor distribución de ambos, luminarias y árboles, a fin de minimizar las obstrucciones de éstos sobre la luz. No es necesario que los árboles estén igualmente espaciados para dar una buena apariencia.

La figura 6.20 ilustra una disposición adecuada de árboles que reduce las sombras sobre la vía a un mínimo y las suaviza sobre las veredas.

La importancia de proveer un alumbrado adecuado sobre las veredas y evitar las sombras pronunciadas no debería descuidarse. En algunos casos, tales como en alamedas importantes, puede ser necesario un alumbrado adicional sobre las veredas.

Donde ya existen árboles (ver figura 6.21), podría ser necesario efectuar un podado adecuado. El método de podado debería ser tal, que limite, si fuera posible, el futuro crecimiento en las zonas donde la obstrucción del alumbrado pudiera constituir un obstáculo para el tránsito.

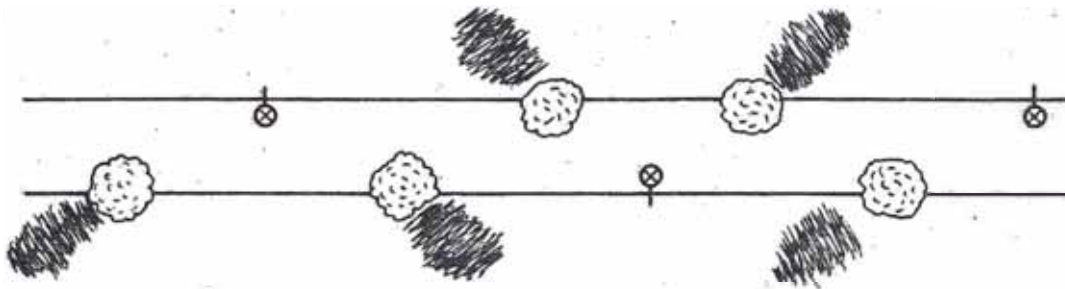
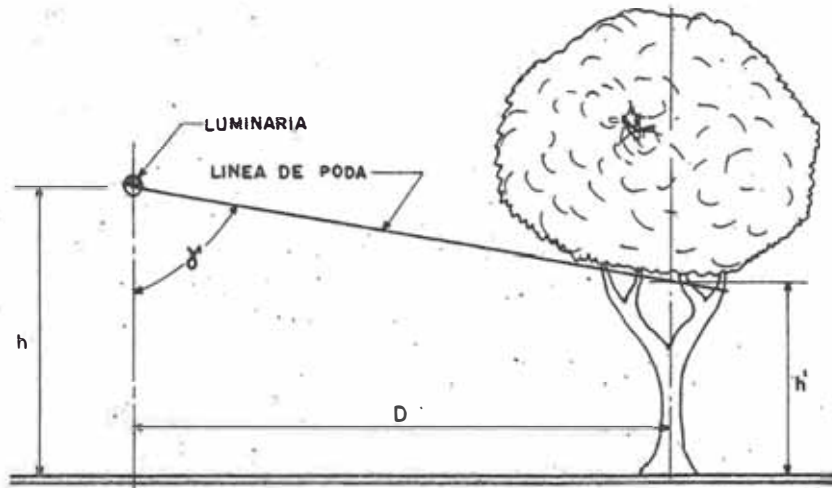


Figura 6.20 La disposición más conveniente de árboles reduce las sombras sobre la vía a un mínimo y las suaviza sobre las veredas.



ANGULO " γ "	ALTURA MINIMA h'
70°	$h' = h - 0.36 D$
75°	$h' = h - 0.26 D$
80°	$h' = h - 0.17 D$

h = ALTURA DE MONTAJE DE LA LUMINARIA

D - DISTANCIA DE LA LUMINARIA A LA COPA DEL ARBOL

h' = ALTURA DE LA COPA DEL ARBOL O ALTURA DE PODA

Figura 6.21 Los árboles deben ser podados para permitir que la luz que viene de las luminarias ilumine la calzada y no sea obstruída por los árboles, lo que produciría sombras sobre la calzada que serían un inconveniente para el tránsito.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La calidad del alumbrado y su influencia en la visibilidad y comodidad visual, sólo pueden lograrse usando la luminancia y su uniformidad como parámetros de diseño, a lo que habría que agregarse un adecuado control del deslumbramiento producido por las fuentes de luz; en ese sentido habría que actualizar la Norma de Alumbrado de Vías Públicas (DGE-016-AP-1) de fecha 20-10-78 Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas.
2. Para realizar lo anterior se requiere conocer la distribución espacial de la intensidad luminosa de las fuentes y las características reflectoras de la superficie de la calzada, labor que podría desarrollar el Comité Nacional Peruano de Alumbrado (CNPA).
3. Los fabricantes de las luminarias deberían contribuir proporcionando la información fotométrica requerida para los cálculos y algún laboratorio especializado determinar las características de reflexión de nuestros pavimentos en diferentes condiciones atmosféricas (secos, húmedos y con lluvia). Ambas mediciones podrían ser realizadas en un laboratorio perteneciente a la Universidad Nacional de Ingeniería a construirse en un futuro no muy lejano.

4. El efecto de la iluminación de las vías sobre los usuarios debería ser evaluado y al mismo tiempo debería ser verificado el cumplimiento de las normas de diseño.
5. Debe establecerse un programa de limpieza y recambio por grupo de las lámparas para un mejor aprovechamiento de las instalaciones.
6. Las mediciones de la luminancia y de la iluminancia en forma periódica permitirá establecer factores de mantenimiento acordes con el nivel de contaminación de la zona, con la calidad de las luminarias y con el programa de limpieza y reemplazo de lámparas que pudiera haber sido establecido.
7. Debe establecerse para que valor de la energía deben ser ejecutados los estudios económicos de las fuentes alternativas, ya que el precio actual de la venta de la energía eléctrica no refleja ni el verdadero costo de ésta, ni el costo de la Prestación del Servicio en su forma más completa.

RECOMENDACIONES

1. La Norma para el Alumbrado de Vías Públicas elaborada por la Dirección General del Ministerio de Energía y Minas debiera ser actualizada cada cierto tiempo para recoger las últimas recomendaciones que periódicamente se establecen a nivel mundial.
2. Alguno de los organismos involucrados en la problemática del alumbrado en general y del Alumbrado de las Vías Públicas en particular (Comité Nacional Peruano de Alumbrado - Facultad de Ingeniería Eléctrica de la UNI : Cátedra de Ingeniería de Iluminación - Municipalidad de Lima Metropolitana - Empresa Pública de Electricidad) debería contar con los equipos necesarios para verificar la exactitud de los cálculos vs los resultados obtenidos en las nuevas instalaciones, así como la permanencia en el tiempo de dichos valores.
3. Los fabricantes de luminarias debieran disponer de información fotométrica que permita procesar electrónicamente dicha información, a fin de facilitar el empleo de esta herramienta de cálculo y con ello el estudio de las alternativas.
4. La Universidad Nacional de Ingeniería debería contar con un Laboratorio Fotométrico capaz de verificar la información producida por los fabricantes o contribuir a que puedan proporcionarla.

5. El Instituto de Normas Técnicas debiera señalar las normas a que se sujete la fabricación de luminarias y equipo auxiliar en lo que respecta a resistencia mecánica, hermeticidad, nivel de aislamiento y temperatura de operación.
6. La Norma de Alumbrado de Vías Públicas debiera señalar la obligatoriedad por parte de los fabricantes de luminarias de suministrar información fotométrica del tipo y calidad que la norma establezca, certificada por el Laboratorio de la Universidad en cuanto sea aplicable.
7. La Comisión de Tarifas Eléctricas debiera señalar el valor del costo marginal de la energía eléctrica a ser tenida en cuenta en los cálculos económicos de las alternativas en proyectos de Alumbrado Público.

BIBLIOGRAFIA

- Public Lighting : J.B. de Boer - editor
Road Lighting: W.J.M. van Bommel - J.B. de Boer
Street Lighting: J.M. Waldram
- IES Lighting Handbook - John E. Kaufman, PE, FIES - editor - Volumen de Referencia 1981
- IES Lighting Handbook - John E. Kaufman, PE, FIES - editor - Volumen de Aplicación 1981
- International Lighting Vocabulary - Publication CIE N° 1.1 (1957).
- Recommendations for the Lighting of Roads for Motorized traffic - Publication CIE N° 12-2 (TC-4.6) 1977
- An analytic Model for Describing the Influence of Lighting Parameters upon Visual Performance - Publication CIE N° 19/2.1 (TC-3.1) 1981
- An Analytic Model for Describing the Influence of Lighting Parameters upon Visual Performance - Publication CIE N° 19/2.2 (TC-3.1) 1981
- Photometry of Luminaires for Street Lighting - Publication CIE N° 27 (TC-2.4) 1973
- Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting - Publication CIE N° 30-2 (TC-4.6) 1982
Glare and Uniformity in Road Lighting Installations
Publication CIE N° 31 (TC-4.6) 1976
- Lighting in Situations Requiring Special Treatment
Publication CIE N° 32 B (TC-4.6) 1977

- Depreciation of Installations and their Maintenance
Publication CIE Nº 33 B (TC-4.6) 1977
- Road Lighting Lantern and Installation Data-Photometrics
Classification and Performance - Publication CI Nº 34
(TC-4.6) 1977
- Lighting Research & Technology - Incorporating Transactions
of the Illuminating Engineering Society Vol 6 Nº2
- Lighting Research & Technology - Incorporating Transactions
of the Illuminating Engineering Society Vol 8 Nº 4
- Lighting Research & Technology - Volume 11 Number 2 1979
- Alumbrado Urbano - Emilio Carranza C 1978

G L O S A R I O .

Este glosario ha tomado como base principal para su desarrollo el vocabulario y las definiciones dadas por la Comisión Internacional de Iluminación CIE, con sede en París, Francia.

ACOMODACION

ajuste de la distancia focal del ojo, para ver un objeto situado a una distancia determinada.

ADAPTACION

acostumbramiento del ojo a las condiciones de luminancia o de color en el campo visual.

Estado final de este proceso. En particular, los términos adaptación a la luz o a la oscuridad se utilizan de acuerdo a si la luminancia es de algunas candelas/m² o más, o inferior a algunos centésimos de candela/m².

ADAPTACION CROMATICA

- 1.- El proceso que ocurre cuando el ojo se acostumbra a la luz de color.
- 2.- El estado final del proceso que ocurre cuando el ojo se acostumbra a la luz de color.

AGUDEZA VISUAL

- 1.- Cualitativamente: es la capacidad para ver claramente objetos que se encuentran muy juntos.
- 2.- Cuantitativamente: es el recíproco del valor, en minutos de un arco, de la separación angular de dos objetos vecinos (puntos o líneas) que los ojos pueden ver como separados.

ALTURA DE MONTAJE

distancia vertical que existe entre la superficie de la vía y el centro de la fuente de luz.

ANCHO EFECTIVO DE LA VIA

distancia horizontal entre la vertical que pasa por el centro de la luminaria y el borde de la vereda más alejada de ella.

ANGULO VISUAL

ángulo subtendido por un objeto en el punto de observación. Usualmente se mide en minutos de arco

APARIENCIA DE COLOR

expresión general para la sensación cromática percibida cuando se mira una fuente de luz.

ARRANCADOR

dispositivos para encender una lámpara de descarga que provee el precalentamiento necesario de los electrodos y/o causa una sobretensión momentánea en combinación con un balasto en serie.

BALASTO

dispositivo utilizado con lámparas de descarga para estabilizar la corriente en las mismas.

BASTONCILLOS

elementos receptores de la retina cuya función primordial se supone que es la percepción de estímulos lumínicos cuando el ojo está adaptado a la

oscuridad (visión escotópica); probablemente los bastoncillos no intervienen en la discriminación de estímulos cromáticos.

BRILLO

propiedad de la sensación visual según la cual una fuente luminosa parece emitir mayor o menor cantidad de luz.

CAMPO VISUAL

extensión angular del espacio dentro del cual se puede percibir un objeto cuando la cabeza y los ojos se mantienen fijos enfocando un punto situado directamente en frente. El campo puede ser monocular o binocular.

CANDELA

es la intensidad luminosa en una dirección dada de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz y cuya intensidad energética en esa dirección es de $1/683$ de vatio por estereoradián.

Conferencia General de Pesas y Medidas. Octubre de 1,979.

CANTIDAD DE LUZ

el producto del flujo luminoso por el tiempo durante el cual se mantiene.

CLARIDAD

atributo de la sensación visual por medio del cual un cuerpo parece transmitir o reflejar una proporción más o menos grande de la luz incidente.

COEFICIENTE MEDIO DE LUMINANCIA Q_0

una medida de la luminosidad en la superficie de una calzada y definida por el valor promediado de el coeficiente de luminancia q sobre un ángulo sólido especificado de incidencia de luz.

COMODIDAD VISUAL

el grado de satisfacción visual producido por el entorno luminoso.

CONTRASTE

el efecto subjetivo de la diferencia en la apariencia de dos partes de un campo de visión vistas simultánea o sucesivamente. En consecuencia hay contraste de luminosidad, contraste de claridad, contraste de color, contraste simultáneo y contraste sucesivo.

CONTRASTE DE LUMINANCIA C

entre dos partes del campo visual es la diferencia relativa de luminancia de estas partes:

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f}$$

L_o es la luminancia del objeto.

L_f es la luminancia del fondo.

CONTRASTE DE UMBRAL

es el mínimo contraste perceptible en un determinado estado de adaptación visual.

CONTROL DE DESLUMBRAMIENTO G

es un número que indica el grado en que está controlado el deslumbramiento molesto en una instalación de alumbrado viario.

CROMATICIDAD

la calidad de color de una luz definible por sus coordenadas de cromaticidad, o por su longitud de onda dominante (o complementaria) y su pureza tratadas como conjunto.

CURVA DE DISTRIBUCION DE LUMINANCIA

curva que representa la luminancia de una lumina

ria en un plano vertical como función del ángulo desde el nadir.

CURVA ISOCANDELA

curva trazada en una esfera imaginaria con la fuente de luz en su centro que une todos los puntos que corresponden a aquellas direcciones en las cuales la intensidad luminosa tiene el mismo valor o la proyección plana de esta curva.

CURVA ISOLUMINANCIA

lugar geométrico de puntos de una superficie donde la luminancia tiene el mismo valor para determinadas posiciones del observador y de la fuente o fuentes de luz con relación a la superficie.

CURVA ISOLUX

lugar geométrico de puntos de una superficie donde la iluminación tiene el mismo valor.

DESLUMBRAMIENTO

una condición de la visión en la cual hay incomodidad o una reducción de aptitud para distinguir los objetos o ambas, debido a una distribución o cantidad de luminancia inadecuadas o a contrastes excesivos en el espacio o tiempo.

DESLUMBRAMIENTO MOLESTO

deslumbramiento que causa molestia o incomodidad sin reducir necesariamente la visión de los objetos.

DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR

deslumbramiento que disminuye la visión de los objetos sin causar necesariamente molestia.

DESLUMBRAMIENTO CEGADOR

deslumbramiento tan intenso que durante un tiempo apreciable no permite ver ningún objeto.

DETECCION

reconocimiento de la presencia de algo sin que sea necesariamente identificado.

DIAGRAMA DE INTENSIDAD LUMINOSA

intensidad luminosa presentada en forma de diagrama polar, o tabla, por cada 1,000 lúmenes de flujo luminoso de la lámpara. Este diagrama sirve para:

- tener cierto conocimiento de la distribución luminosa de la luminaria.
- calcular la iluminancia en un punto especificado
- calcular la distribución de luminancias de la luminaria.

DIFUSION

la alteración de la distribución espacial de un rayo de luz, el cual después de reflejarse en una superficie o pasar a través de un medio, se propaga en múltiples direcciones.

DIFUSOR

un objeto que se utiliza para alterar la distribución espacial del flujo luminoso de una fuente, y utiliza esencialmente el fenómeno de la difusión.

DISPERSION

la separación de las componentes monocromáticas de una radiación compuesta.

DISTANCIA DE FRENADO

distancia total recorrida por un vehículo hasta que se detiene completamente y desde que el conductor tiene la oportunidad para percatarse que debe parar el vehículo.

DISTRIBUCION DE LA INTENSIDAD LUMINOSA

de una lámpara o de una luminaria según las diferentes direcciones o radio vectores, cuyo origen es el centro de la luminaria.

DISTRIBUCION ESPECTRAL

- el valor que una magnitud fotométrica (flujo luminoso, intensidad luminosa, etc) tiene para cada valor de la longitud de onda correspondiente el valor de una magnitud radiométrica (flujo radiante, intensidad de radiación, etc) que corresponde a cada valor de la longitud de onda pertinente.

Generalmente se toman estos valores con relación a un valor arbitrario que se toma como referencia.

DISTRIBUCION ESPECTRAL DE LA LUZ DE UNA RADIACION

descripción del carácter espectral de una radiación mediante la distribución relativa espectral de alguna cantidad fotométrica.

DISTRIBUCION SIMETRICA DE LA INTENSIDAD LUMINOSA

distribución para la cual la superficie de las distribuciones de intensidades luminosas puede ser generada mediante la rotación de la curva polar de intensidad luminosa alrededor de un eje en el plano meridiano correspondiente.

EFICACIA LUMINOSA DE UNA FUENTE DE LUZ

el cociente del flujo luminoso total emitido, entre la potencia total consumida. Expresada en lúmenes/watt.

FACTOR DE LUMINANCIA Q

la relación, para una dirección especificada de observación y luz incidente, entre la luminancia sobre un elemento de una superficie de la vía dada y la iluminancia sobre dicho elemento. Unidad:

candela por metro cuadrado por lux, $\text{cd/m}^2/\text{lux}$.

FACTOR DE MANTENIMIENTO O DE CONSERVACION

relación entre la iluminancia media en el plano de trabajo después de que una instalación de alumbrado ha estado en uso durante un período especificado y la iluminancia media de una instalación nueva en las mismas condiciones.

FACTOR DE UNIFORMIDAD DE LA ILUMINANCIA EN UN PLANO

la relación de la iluminancia mínima a la iluminancia media sobre una superficie dada. También se utiliza la relación de la iluminancia mínima a la iluminancia máxima.

FACTOR DE UTILIZACION

relación entre el flujo útil y el flujo emitido por las lámparas.

FACTOR ESPECULAR S_1 y S_2

factor que representa el grado de reflexión especular de una calzada.

FLUJO LUMINOSO Φ

cantidad derivada del flujo radiante mediante una evaluación de la radiación según su efecto sobre un receptor selectivo cuya sensibilidad espectral está definida por las eficiencias luminosas espectrales normalizadas. Unidad lumen, lm.

FLUJO UTIL

flujo luminoso que cae sobre el plano de referencia.

FOTOMETRIA

medición de cantidades relativas a la radiación valuadas de acuerdo con el efecto visual que producen y basadas en ciertas recomendaciones.

IGNITOR

dispositivo generalmente compuesto de semiconductores que provee las condiciones necesarias para la descarga o puesta en marcha de una lámpara de descarga.

ILUMINANCIA E

en un punto de una superficie: el cociente del flujo luminoso incidente sobre un elemento infinitesimal de la superficie que contiene al punto considerado entre el área de ese elemento. Unidad lux, lx.

ILUMINANCIA EN SERVICIO

iluminancia sobre el plano de trabajo después de un período de uso especificado de la instalación, o sea, el producto de la iluminancia inicial de la instalación nueva por el factor de mantenimiento

INCLINACION DE LA LUMINARIA

inclinación hacia arriba que la luminaria hace con respecto a la horizontal.

INCREMENTO DE UMBRAL TI

cifra que indica el grado en que está limitado en una determinada luminaria el deslumbramiento perturbador.

INDICE DEL RENDIMIENTO EN COLOR R_a

de una fuente de luz: medida del grado para el cual colores psicofísicos de los objetos iluminados por un determinado iluminante se aproximan a los colores de los mismos objetos iluminados por un iluminante patrón en condiciones determinadas.

INDICE ESPECIFICO DE LA LUMINARIA SLI

parte del control del deslumbramiento G que es inherente a la propia luminaria, y por tanto, inde-

pendiente de la altura de montaje y de la luminancia de la calzada.

INTENSIDAD LUMINOSA I

de una fuente en una dirección dada: cociente del flujo luminoso que sale de una fuente difundido en un cono infinitesimal que contiene la dirección dada, entre el ángulo sólido de ese cono.
Unidad la candeja, cd.

LAMPARA DE DESCARGA

una lámpara que depende de la descarga eléctrica a través de gas o un vapor metálico o una mezcla de varios gases o vapores, directamente o mediante fósforos.

LAMPARA DE LUZ MIXTA

lámpara que contiene dentro de la misma ampolla un tubo de descarga igual al de las lámparas de mercurio y un filamento de lámpara incandescente conectado en serie, la ampolla puede ser difusora o con capa fluorescente.

LAMPARA DE MERCURIO DE ALTA PRESION

el funcionamiento de la lámpara está sometido a una presión parcial del vapor aproximadamente de 10^5 N/m².

LAMPARA DE MERCURIO DE BAJA PRESION

la presión parcial del vapor en funcionamiento no excede de 100 N/m².

LAMPARA DE MERCURIO FLUORESCENTE

lámpara de mercurio a alta presión en la cual se produce la luz en parte por el vapor de mercurio y en parte por la capa de material fluorescente depositada en la superficie interior de la ampolla exterior excitada por la radiación ultravioleta de la descarga.

LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESION

en funcionamiento la presión del vapor es del orden de 10^4 N/m².

LAMPARA DE SODIO DE BAJA PRESION

en funcionamiento la presión parcial de vapor no excede de 5 N/m².

LAMPARA FLUORESCENTE

lámpara de descarga en la cual la mayor parte de luz es emitida por una capa de material fluorescente excitada por la radiación ultravioleta de la descarga.

LUMINANCIA L

en un punto de una superficie y en una dirección dada: el cociente de la intensidad luminosa en una dirección dada, de un elemento infinitesimal de la superficie que contiene al punto considerado entre el área de la proyección ortogonal del elemento sobre un plano perpendicular a la dirección dada. Unidad candelas por metro cuadrado, cd/m²

LUMINANCIA EQUIVALENTE DE VELO

luminancia que tiene que sumarse, por superposición, tanto a la luminancia de fondo como a la del objeto con el fin de que la diferencia umbral de luminancias en ausencia de deslumbramiento perturbador sea igual que la obtenida en presencia de dicho deslumbramiento.

LUMINARIA

un aparato el cual distribuye, filtra o controla la luz dada por una lámpara o lámparas y el cual incluye todos los accesorios necesarios para fijar, proteger y operar estas lámparas y para conectarlas al circuito de abastecimiento.

LUMINARIA A PRUEBA DE GOTEÓ

luminaria construída de tal forma que, resiste gotas de agua que le caen en dirección fundamentalmente vertical.

LUMINARIA A PRUEBA DE LLUVIA

luminaria construída para resistir la penetración de la lluvia y para usarla a la intemperie.

LUMINARIA A PRUEBA DE POLVO

luminaria construída de manera que el polvo de un tipo y grano especificado no puede penetrarla en una cantidad suficiente para perjudicar su funcionamiento satisfactorio en una atmósfera con polvo.

LUMINARIA PARA CATENARIA

luminaria diseñada para ser suspendida de un cable con su plano de distribución perpendicular al eje de la calzada.

LUMINARIA SUSPENDIDA

luminaria provista con un cordón, cadena, etc, que permite suspenderla desde el techo u otro soporte.

LUZ

cualquier radiación capaz de causar sensaciones visibles directamente (ejemplo, radiación visible).

ORIENTACION VISUAL

es la totalidad de medidas tomadas para dar al usuario de la vía el reconocimiento inmediato y no ambiguo del curso de la vía que está delante de él

PANTALLA

parte de una luminaria diseñada para impedir que las lámparas sean directamente visibles fuera de determinada gama de ángulos. Actúa como elemento controlador de la luz.

PASTORAL

es la parte que une la luminaria con el poste. En

algunos casos se fija en forma independiente.

POSTE

es un soporte generalmente empleado para sostener a la luminaria y facilitar la alimentación eléctrica a la misma.

PROYECCION DE LA LUMINARIA EN RELACION AL BORDE DE LA CALZADA

es la distancia, entre el pie de la perpendicular bajada desde el centro de la fuente de luz al borde interior de la calzada o al borde del sardinel cuando éste exista. Se llama avance cuando la perpendicular bajada desde el centro de la luminaria cae sobre la calzada y se llama retiro en caso contrario.

RADIACION

emisión o transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas.

RADIACION MONOCROMATICA

radiación caracterizada por una sola frecuencia o longitud de onda.

RADIACION ULTRAVIOLETA

cualquier radiación cuyas componentes monocromáticas tengan sus longitudes de onda menores que las de la radiación visible y superiores a un nanómetro.

RADIACION VISIBLE

cualquier radiación capaz de causar sensaciones visuales directamente. El alcance de la longitud de onda de esa radiación puede considerarse, para fines prácticos, estar entre 380 y 780 nanómetros

REFLECTANCIA O FACTOR DE REFLEXION

relación entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente.

REFLECTOR ESPECULAR

dispositivo utilizado por una luminaria, que formando parte de ella refleja el flujo luminoso de las lámparas en determinadas direcciones mediante la reflexión especular.

REFLEXION

devolución de radiación por una superficie sin cambio de frecuencia de los componentes monocromáticos que la integran.

REFRACCION

el cambio en la dirección de la propagación de una radiación, determinada por el cambio en la velocidad de propagación al pasar a través de un medio ópticamente no homogéneo, o al pasar de un medio a otro.

REFRACTOR

dispositivo en el cual el fenómeno de la refracción se usa para alterar la distribución espacial del flujo luminoso de una fuente.

RENDIMIENTO EN COLOR

el efecto que tiene la característica espectral de una luz en el aspecto de los objetos de color iluminados por ella.

El rendimiento en color puede ser representado con la ayuda de la distribución del flujo radiante o del flujo luminoso entre las ocho bandas espectrales de la CIE

RENDIMIENTO LUMINOSO DE UNA LUMINARIA

es la relación entre el flujo luminoso emitido por una luminaria medido bajo condiciones específicas de trabajo y la masa total del flujo luminoso de las lámparas funcionando fuera de la luminaria (en condiciones determinadas).

RENDIMIENTO LUMINOSO HACIA ABAJO. EFICACIA DE LUMINARIA

razón del flujo emitido por debajo de un plano horizontal que pasa por la luminaria al flujo total emitido por las lámparas, o lámpara.

SISTEMA VISUAL

conjunto formado por el ojo, el nervio óptico y algunas partes del cerebro que transforman el estímulo luminoso en un complejo de excitaciones nerviosas cuyo resultado subjetivo es la percepción visual.

TASA DE MORTALIDAD

número de horas de funcionamiento transcurridas hasta que falla un determinado porcentaje de lámparas.

TEMPERATURA DE COLOR

temperatura del cuerpo negro que emite una radiación de la misma cromaticidad que la radiación considerada. Unidad grados Kelvin, $^{\circ}\text{K}$.

TONO

atributo de la sensación visual que ha dado lugar a los nombres de colores como el azul, rojo, etc pero con exclusión de colores en la gama blanco, gris, negro.

TRANSMISION

paso de radiación a través de un medio sin cambio de frecuencia en los componentes monocromáticos que la integran.

TRANSMISION DIFUSA

la transmisión en donde la luz es dispersada en muchas direcciones, en la escala macroscópica, independientemente de las leyes de refracción.

UNIFORMIDAD GLOBAL U_0

razón de la luminancia mínima de un determinado tramo de calzada a la luminancia media del mismo.

UNIFORMIDAD LONGITUDINAL U_1

razón de la luminancia mínima a la máxima a lo largo de una línea paralela al eje de la calzada pasando por la posición del observador.

VELOCIDAD DE PERCEPCIÓN

valor recíproco del tiempo mínimo que ha de estar expuesto un objeto para que sea detectada su presencia.