

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

## **CURSOS INSTITUCIONALES**

**DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS URBANOS  
DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.**

**ILUMINACIÓN EFICIENTE DE VIALIDADES  
Y AREAS EXTERIORES.**

**Del 28 de Agosto al 01 de Septiembre del 2000.**

### *APUNTES GENERALES*

**M. en I. Rafael P. Brito Ramírez**  
**Delegación Iztacalco.**  
**Agosto/ 2000**

# ILUMINACION EFICIENTE EN VIALIDADES Y AREAS EXTERIORES.

## I. CARACTERISTICAS DE LA ILUMINACION.

Alumbrado público.

Unidades básicas.

Niveles de iluminación.

Iluminación en vialidades.

Iluminación en áreas exteriores.

## II. SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE ENERGIA.

Distribución múltiple o paralela.

Otros tipos de distribución.

Distribución aérea.- Calculo de conductores.

Distribución subterránea.- Calculo de conductores.

ING. SILVANO JUAN PEREZ.

24/ agosto /2000.

## CARACTERISTICAS DE LA ILUMINACION.

### ALUMBRADO PUBLICO.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999 define al Alumbrado Público como: Sistema de iluminación de lugares o zonas públicas con tránsito vehicular y peatonal, normalmente en exteriores, que proporciona una visión confortable durante la noche o zonas oscuras.

### UNIDADES BASICAS.

Fotometría.- Es la parte de la ingeniería de la iluminación que se ocupa de las mediciones de la luz, y la comparación de las diferentes fuentes luminosas.

Intensidad luminosa (CP). - Es la cantidad de luz que se emite por una fuente; la unidad básica internacional que en la práctica se utiliza es la candela o bujía, una bujía (vela) ordinaria, tiene una intensidad de luz en una dirección aproximadamente de una candela. La Ley Federal de Metrología y Normalización define la bujía decimal que es igual a 1/20 del patrón violle, siendo esta la intensidad luminosa irradiada normalmente por una superficie de un centímetro cuadrado de platino o la temperatura de solidificación.

Flujo luminoso.- Según Steinmetz es la cantidad de energía radiante total emitida por una fuente de luz medida de acuerdo con la sensación visual que produce, la unidad básica es el lumen, que es el flujo emitido en un ángulo sólido unitario por una fuente de luz cuya potencia esférica medida es igual a una bujía. También se define como el flujo incidente sobre una superficie unidad, cuyos puntos estén todos a la distancia unidad de una fuente de luz de una bujía. La Ley Federal sobre Metrología y Normalización lo define como una bujía decimal en el ángulo sólido igual a la unidad.

Ángulo sólido unitario.- Es aquel cuyo vértice se encuentra en el centro de una esfera con un radio unitario y circunscrito en un área unidad en la superficie de la esfera o bien en el área igual al cuadrado del radio.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE 1999 define los parámetros Iluminancia (iluminosidad) y Luminancia (L).

Iluminancia (luminosidad) (E). - La iluminancia en un punto de una superficie, se define como el flujo luminoso que fluye hacia el exterior de un elemento de la superficie, dividido por el área de ese elemento.

Es la relación del flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área, la unidad de medida es el LUX (lx).

Luminancia (L). - La luminancia en un punto de una superficie y en una dirección dada, se define como la intensidad luminosa de un elemento de esa superficie, dividida por el área de la proyección ortogonal de este elemento sobre un plano perpendicular a la dirección considerada. La unidad de medida es la candela por metro cuadrado (cd/m<sup>2</sup>).

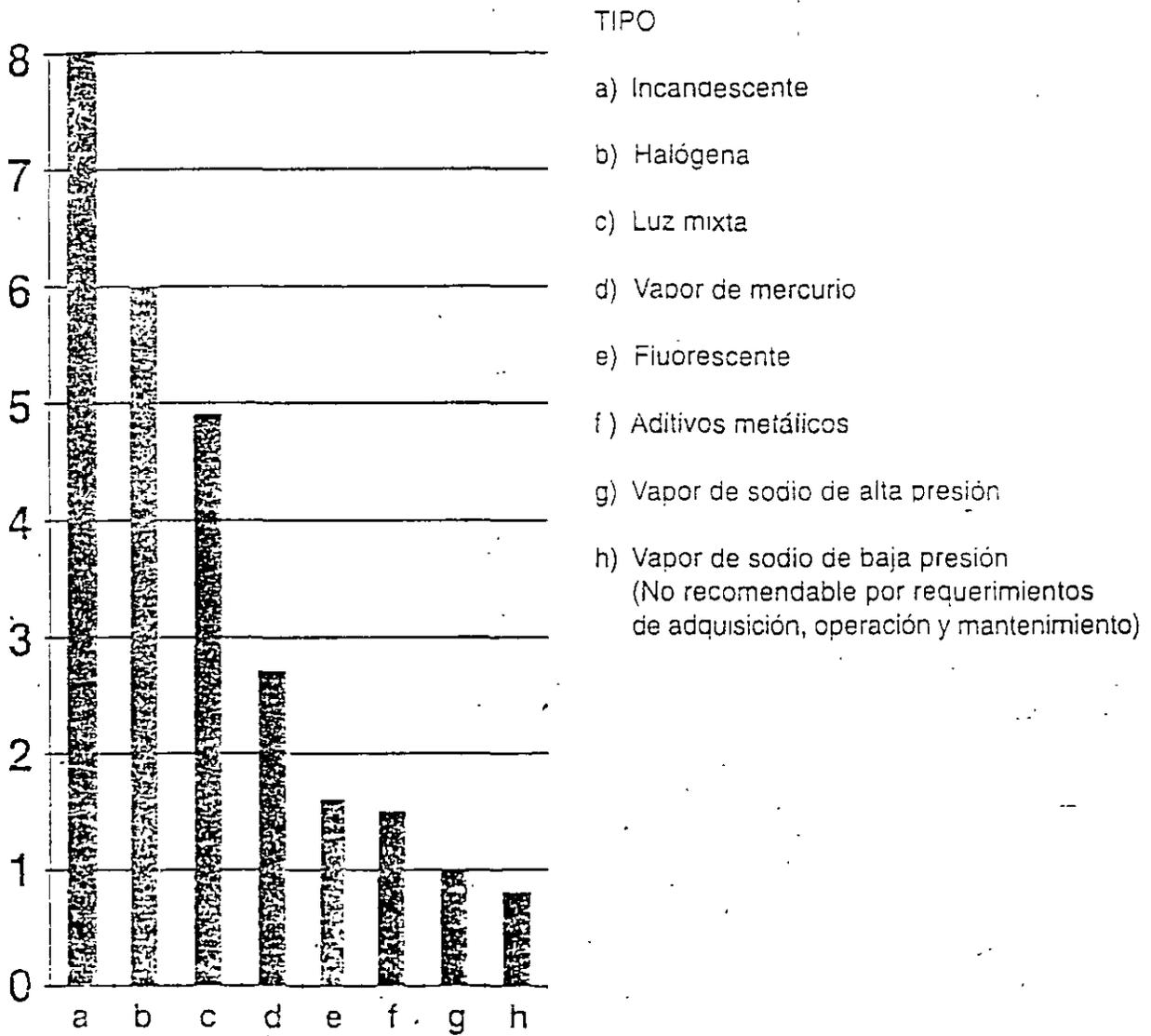
Se consideran algunas otras unidades que influyen en la característica real de la iluminación como incide en la vista del ser humano, ya que realmente una vez que se establece la iluminación es la vista la que percibe su intensidad en calidad y confort por esta razón se introduce la influencia de las superficies en que incide la iluminación y que da un concepto que se llama brillantez (luminance).

Dispositivo de iluminación.- Los dispositivos de iluminación que se utilizan para alumbrado público comprenden: la lámpara, la luminaria, el balastro y el control.

Tipos de lámparas.- Actualmente se usan los siguientes tipos.

TIPO	USO	EFICIENCIA
Incandescentes	sólo se justifican en poblaciones aisladas, en forma provisional o en casos especiales; no es recomendable.	BAJA
Fluorescentes	Recomendado ocasionalmente para pasos a desnivel y túneles, uso limitado a áreas abiertas.	MEDIA/ALTA
descarga de alta intensidad: intensidad: sodio de alta presión	Alumbrados exteriores, ocasionalmente en locales interiores grandes; si es recomendable	ALTA

## INDICE DEL COSTO DE OPERACION UNITARIO PARA UN MISMO NIVEL DE ILUMINACION



Lámparas incandescentes.- Son las más comunes y como sabemos producen la luz al calentarse un filamento por el paso de la corriente eléctrica a través de él todo ello sometido en un vacío o en una atmósfera de gas inerte dentro de una cápsula de vidrio.

Lámparas fluorescentes.- Las lámparas fluorescentes fueron las primeras lámparas de descarga que se fabricaron y que consisten en un bulbo tubular con electrodos en sus terminales cuya luz es producida predominantemente por la fosforescencia de fósforo activado por la energía ultra violeta de arco de mercurio, las paredes interiores de estos bulbos se encuentran impregnados con sustancias fluorescentes, Estas unidades tienen su encendido por medio de un alto voltaje generado por una unidad que se llama balasto.

Lámparas de vapor de mercurio y lámparas de vapor de sodio.- Tanto la lámpara de mercurio como la lámpara de sodio son conocidas como lámparas de descarga de alta intensidad debido a que se produce la luz al pasar la descarga de la corriente eléctrica a través de vapor o gas y que se produce a través de electrodos localizados en dos terminales extremas de la lámpara, este gas es producido por medio de una descarga de alta tensión que se produce a través de un dispositivo que se llama balastro y que genere esta alta tensión inicialmente.

Soporte de las unidades de iluminación.- Existe una gran variedad de soportes para las unidades de iluminación que se acaban de describir cuya selección depende del lugar en el que se utilicen, y también de la unidad que se selecciona, se utilizan desde los postes sencillos de las zonas rurales hasta los postes con cuidado arquitectónico para las áreas de las grandes ciudades.

## **NIVELES DE ILUMINACIÓN.**

Como habíamos dicho con anterioridad las unidades que se definieron dan los parámetros de medición para diseñar tanto la cantidad de luz, su calidad y su confort.

## **CURVAS DE DISTRIBUCIÓN.**

La definición y concepto mencionado son aplicables en las características comerciales de las iluminaciones que se utilizan en el alumbrado público: por lo cual se desarrollan los diversos tipos de curvas de distribución.

Una unidad luminosa se considera envuelta por un espacio esférico y se divide esta superficie en la bóveda inferior con ángulo de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  y en la bóveda superior con ángulo de  $90^\circ$  a  $180^\circ$ .

La superficie de la esfera de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  es  $4\pi r^2$  como factor  $4\pi = 12.57$  para un valor unitario de  $r$ , por lo que una fuente emitiendo una candela uniforme en todas las direcciones produce un total de 12.57 lumens.

Los valores y las gráficas que se indican en la figura 1 son el resultado de graficar la distribución de la luminancia (luxes) es en equivalente americano foot candle,  $\text{lux} = 0.0929 \text{ foot candle}$ .

Correspondiente a una lámpara incandescente de 300 watts de 6000 lumens emitiendo en la bóveda inferior de 8 % del flujo luminoso 479m lumens en la bóveda superior 76 % del flujo luminoso 4563 lumens. La eficiencia de la lámpara es  $479 + 4563 / 6000 \times 100$ , o sea 84 %.

#### DIAGRAMA ISOLUX O ISOFOOT CANDLE.

Las curvas de distribución mencionadas dan la característica básica de una unidad de iluminación, permitiendo graficar la distribución del flujo luminoso en toda la superficie esférica a partir de la potencia luminosa, lo que permite la evaluación de la lámpara y la iluminación; sin embargo lo que se utiliza en el diseño de la iluminación es lo que se recibe en las superficies de estudio, para tal objeto se utilizan las curvas isolux o isofoot candle.

Las curvas isolux se trazan en las coordenadas rectilíneas permitiendo graficar la iluminación en la superficie de uso; para lo anterior se utilizan puntos diferentes de la esfera lo que da las curvas con valores iguales de iluminancia.

Obteniéndose curvas como las siguientes:

#### ILUMINACION EN VIALIDADES.

El propósito principal de la iluminación en vialidades es para facilitar la circulación vehicular y peatonal en estas vías durante la noche; con una iluminación adecuada con las siguientes ventajas:

- Reducción de accidentes de vehículos y peatones durante la noche.
- Se ayuda a combatir la delincuencia.
- Se promueven los negocios comerciales e industriales durante la noche.
- Se apoya a una mejor respuesta cívica y al crecimiento.

Para tener una iluminación adecuada es esencial que la instalación sea bien planeada de acuerdo con las prácticas recomendadas por las normas aplicables y considerando los siguientes aspectos:

- Clasificación de las áreas y de las vialidades.
- Un nivel y uniformidad en la luminancia o en la iluminación o relación uniforme de iluminancia, requeridos de acuerdo con la clasificación de la vialidad.
- Una clasificación de la reflectancia del pavimento.

Después de considerar estos aspectos es posible seleccionar a través de un proceso de varias alternativas las luminarias, las fuentes de iluminación y el arreglo geométrico (altura de montaje), los brazos de las luminarias, y los espacios entre los postes, los cuales deben conducir al criterio más económico.

#### CLASIFICACION DE VIALIDADES.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999 "INSTALACIONES ELECTRICAS (UTILIZACION)", clasifica las vialidades de la siguiente forma:

- a) Autopistas.- Vialidades con alto tránsito vehicular de alta velocidad con control total de acceso y sin cruces al mismo nivel.
- b) Carreteras.- Vialidades que interconectan dos poblaciones con cruces al mismo nivel.
- c) Vías principales y ejes viales.- Vialidades que sirven como red principal para el tránsito de paso; conecta áreas de generación de tráfico y vialidad importante de acceso a la ciudad. Generalmente tiene alto tránsito peatonal y vehicular nocturno y puede tener circulación vehicular en contra flujo. Típicamente no cuenta con pasos peatonales.
- d) Vías colectoras o primarias.- Son vialidades que sirven para conectar el tránsito entre las vías principales y las secundarias.
- e) Vías secundarias.- Vialidades usadas fundamentalmente para acceso directo a zonas residenciales, comerciales e industriales. se clasifican a su vez en:

TIPO A.- Vía de tipo residencial con alto tránsito peatonal nocturno, tránsito vehicular de moderado alto, y con moderada existencia de comercios.

TIPO B.- Vía de tipo residencial con moderado tránsito peatonal nocturno, tránsito vehicular de bajo a moderado y con moderada existencia de comercios.

TIPO C.- Vía de acceso industrial que se caracteriza por bajo tránsito peatonal nocturno, moderado tránsito vehicular y baja actividad comercial.

#### CLASIFICACION DE AREAS.

Comercial.- Area de negocios donde normalmente hay muchos peatones durante la noche.

Intermedio.- Aquellas áreas con moderada actividad peatonal durante la noche.

Residencial.- Una combinación de residencias y comercios con pocos peatones durante la noche.

#### CLASIFICACION DE LA DISTRIBUCION DE LAS LUMINARIAS.

La adecuada distribución de la iluminancia de las luminarias es uno de los esenciales factores en la eficiencia de la iluminación. La luz emanada de las luminarias es controlada direccionalmente y proporcionada de acuerdo con la anchura de la vía, espacio entre las luminarias y la ubicación de dichas luminarias.

La distribución de la luz de la luminaria se puede clasificar de acuerdo a los 3 criterios siguientes:

1. - Distribución vertical.
2. - Distribución lateral.
3. - Control de la distribución arriba de la máxima potencia luminosa "candiepower".

La clasificación se hace sobre la base del diagrama de isocandela, sobre la calle donde incide la luz, que se traza en una red rectangular con líneas longitudinales de la calle separadas en valores (LRL) con múltiplos de las alturas de montaje de la lámpara (MH) y una serie de líneas transversas de la calle (TRL) también separados múltiplos de (MH). (ver fig. 2).

#### Distribución vertical de la iluminación.

La distribución vertical de la iluminación se divide en 3 grupos: corta (S), medía (M) y larga (L):

Distribución corta.- Una luminaria se clasifica con esta distribución cuando el punto máximo de potencia luminosa se localiza en la zona S de la red, que se encuentra entre las líneas transversales 1.0 MH TRL hasta 2.25 MH TRL. Para estos casos el máximo espaciamiento de las luminarias es generalmente menor que 4.5 veces la altura de montaje.

Distribución media.- Una luminaria se clasifica con esta distribución cuando el punto de máxima potencia luminosa se localiza en la zona M de la red que se ubica entre las líneas transversales 2.25 MH TRL hasta 3.75 MH TRL. El máximo espaciamiento de la luminaria es menor que 7.5 veces la altura de montaje.

Distribución larga.- Una luminaria tiene esta clasificación cuando el punto de máxima potencia luminosa se localiza en la zona L que se ubica entre la línea transversal de la red 3.75 MH TRL y 6 MH TRL. El máximo espaciamiento de la luminaria es menor de 12 veces la altura de montaje que se ilumina en termino de la altura de montaje MH.

#### Distribución lateral.

La distribución lateral se divide en dos grupos basados en la localización de la luminaria, relacionada con el área de la iluminación. Cada grupo puede subdividirse de acuerdo al ancho del área que se ilumina en términos de la altura de montaje MH, solamente los segmentos de la curva isocandela de la mitad de la máxima potencia luminosa dentro del rango de la distribución longitudinal de acuerdo al punto de máxima potencia luminosa (S, M, R, L) se usan para establecer la anchura de la distribución.

Tipo I. - Una distribución se clasifica dentro de este tipo cuando la isocandela de la mitad de la máxima potencia luminosa se localiza dentro de lo ancho a ambos lados de la línea de referencia a 1 MH del espacio de LRL del lado de la acera y 1 MH dentro del espacio de LRL de la calle dentro de (S, M, ó L) en que la máxima potencia luminosa incida (figs. 2 y 3).

Tipo I cuatro vías.- Se clasifica igual que el tipo I en cada vía.

Tipo V.- Tiene una distribución circular simétrica.

Tipo II.- En este caso la curva isocandela de la mitad de la máxima potencia luminosa localizada (S, M ó L) no debe cruzar 1.75 MH del espacio LRL del lado de la calle.

Tipo II cuatro vías.- Es de cuatro vías clasificado igual que el tipo II.

Tipo III.- En este tipo la isocandela de la mitad de la máxima potencia luminosa dentro de la ubicación de la máxima potencia (S, M ó L) se localiza entre 1.75 MH y 2.75 MH en el espacio entre LRL del lado de la calle.

Tipo IV.- La isocandela para este caso en los términos mencionados cae más allá de 2.75 MH del espacio LRL del lado de la calle.

#### CONTROL DE LA DISTRIBUCION DE ILUMINACION POR ENCIMA DE LA MAXIMA POTENCIA LUMINOSA (CANDLEPOWER).

Aunque la luminancia del pavimento generalmente crece con el aumento del ángulo vertical de la emisión del flujo luminoso hay que destacar que el factor de la brillantez o deslumbramiento también crece, sin embargo ya que los índices de crecimiento y de disminución de estos factores no son los mismos, se puede balancear este comportamiento. Por lo tanto el control de la potencia luminosa en el brazo de la luminancia por encima de la máxima potencia luminosa es necesario, este control se divide en tres categorías:

1. - Controlada o cutoff.- no más del 10%.
2. - Semicontrolada o semi-cutoff.- no más del 3%.
3. - Noncutoff.- sin limitación.

Controlada o cutoff.- Una luminaria se clasifica en esta categoría cuando por cada 1000 lumens de la lámpara no debe excederse de 25 candlepower (2.5%) en un ángulo de  $90^\circ$  sobre la horizontal de referencia (nadir), y 100 candlepower (10%) en un ángulo vertical de  $80^\circ$  arriba del horizontal de referencia (nadir).

Semicontrolada o semi-cutoff.- Una luminaria se clasifica en esta categoría cuando por cada 1000 lumens no debe exceder de 50 candlepower (5%) a un ángulo de  $90^\circ$  arriba de la línea horizontal de referencia (nadir) y 200 candlepower (20%) a un ángulo vertical de  $80^\circ$  arriba del nadir.

Noncutoff.- En esta categoría no hay limitación de potencia luminosa (candlepower) arriba de la zona máxima potencia luminosa.

## SELECCION DE LUMINARIAS.

Unidades de iluminación " luminarias ". - Las unidades de iluminación con frecuencia se clasifican de acuerdo con su distribución o su localización con respecto a los lugares donde se instalen. The Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) clasifica las luminarias en los siguientes tipos: directo, semidirecto, difuso en general, semi-indirecto e indirecto, dependiendo del porcentaje con que dirige la luz en su entorno.

Luminarias para exteriores.- Para el caso de las luminarias para exteriores se clasifican de acuerdo al montaje con el tipo de intensidad de distribución y con el control de brillantez (cutoff).

Las luminarias que se utilizan normalmente para vialidades tienen una gama de distribuciones que permiten espaciar los postes en donde se colocan, en la mayor parte de los casos la uniformidad horizontal de iluminación es importante, por lo que la intensidad de distribución que se usa puede tener valores máximos arriba de 75% con respecto a la línea de referencia (nadir); las luminarias con refractores de tipo plato hondo u ovalado se usan comúnmente para estas aplicaciones montándose con brazos largos en las terminaciones de los postes, dando aspecto de una cobra.

Este tipo de refractores ópticos pueden causar brillantez, lo que se reduce con el control como se dijo con anterioridad (cutoff); también se usan sin reflectores para este propósito.

## RECOMENDACIONES SOBRE NIVELES DE ILUMINACION.

En las tablas 1, 2 y 3 se dan las recomendaciones para los diferentes niveles de iluminación recomendables, en la figura número 24.4 se indican algunos ejemplos de distribución de los luminarios desde el punto de vista de la separación de los postes.

## ILUMINACION EN AREAS EXTERIORES.

La iluminación de áreas exteriores incluye una serie de aspectos que fundamentalmente tienen que ver con el tipo de área, las estructuras circundantes, el paisaje, los edificios y la utilización, estacionamientos, etcétera.

Para propósitos de iluminación las áreas pueden clasificarse en abiertas o cubiertas.

Áreas abiertas.- La iluminación requerida en estas áreas depende de la cantidad de gente que se tenga en las noches, para lo cual se clasifican en: alta, media y menores.

Actividades altas: Se considera dentro de este grupo los siguientes: eventos atléticos de las ligas mayores, eventos cívicos culturales mayores, centros regionales de comercio y venta de comida rápida.

Actividades medias: Centros comerciales, oficinas, hospitales, estacionamientos de transportaciones (aeropuertos), eventos culturales, cívicos o de recreación estacionamientos de residencias complejas.

Actividades menores.- Comercio de vecinos, estacionamiento de empleados industriales, estacionamiento para centros de educación, estacionamiento para iglesia, estacionamientos.

Estacionamiento cubierto.- En un estacionamiento cubierto se pueden identificar cuatro áreas críticas: áreas generales de estacionamiento y peatonal, rampas y esquinas, áreas de entrada y escaleras; estas áreas críticas pueden requerir iluminación de día y de noche, la primera de estas áreas es considerada de la misma manera que un área abierta, la segunda se explica por sí misma, la tercer área es definida como un camino de entrada a la porción cubierta de estacionamiento. la cuarta área se explica por sí misma.

Recomendaciones de iluminancia.- Las recomendaciones establecidas tanto para estacionamientos abiertos como para los cubiertos se pueden mostrar en la tabla No 4; estas recomendaciones se dan para proveer seguridad en el tráfico, para una satisfactoria visión del peatón y para una guía de circulación de ambos, son los niveles mínimos recomendados para estos usos, es recomendable que se tenga un circuito cerrado de televisión para dar mayores facilidades. En estacionamientos abiertos, el área de estacionamiento y peatonal con frecuencia producen conflictos, en un área de uso vehicular solamente, es difícil que ocurran estos problemas.

En todos los estacionamientos debe considerarse la uniformidad y el mínimo deslumbramiento de la iluminación, así como el buen aprovechamiento de los colores.

En los lugares abiertos deben haber indicaciones tanto en las entradas como en las salidas, las zonas de carga, cruce de peatones, colectores de rutas.

Luminarias.- Las luminarias que se utilizan pueden ser las que se recomendaron para las vialidades, a los que hay que agregar configuraciones especiales como los de punta de poste distribuidos en configuraciones cuádruples o con mayores cantidades de lámparas o las sencillas de una sola lámpara en la terminación con la distribución de intensidades simétricas o asimétricas dependiendo del tipo de uso; también se utilizan luminarias de tipo jardinería.

Alumbrado exterior para plazas.- En las plazas existen diferentes tipos de instalaciones y en cada uno de los casos el diseño de la iluminación debe tomar en cuenta los aspectos arquitectónicos y el confort que proporciona la iluminación cuando se pone en servicio; haremos un resumen de las diferentes construcciones y elementos que se encuentran en las plazas:

Edificios.- Existen diferentes tipos de edificios así como diferentes tamaños, como son edificios de tipo colonial, edificios altos cuya iluminación debe analizarse y someterse a la consideración de las diferentes autoridades que tiene que ver con las disposiciones correspondientes. Una de las más importantes decisiones que deben tomarse en cuenta es la fachada y su efecto en las áreas circundantes, una iluminación intensiva y sin sombras es uno de los casos particulares para edificios modernos, en el caso de edificios de tipo colonial las luminarias pueden colocarse en las estructuras o fuera de ella desde el punto estratégico para iluminarlos, en estos casos pueden instalarse en las cornisas o en cualquiera de los parapetos que tenga el edificio en todos los casos debe minimizarse la brillantez sobre todo para evitar que moleste a las propiedades adyacentes y a las vialidades. En el caso de edificios nuevos las luminarias pueden integrarse en el diseño arquitectónico.

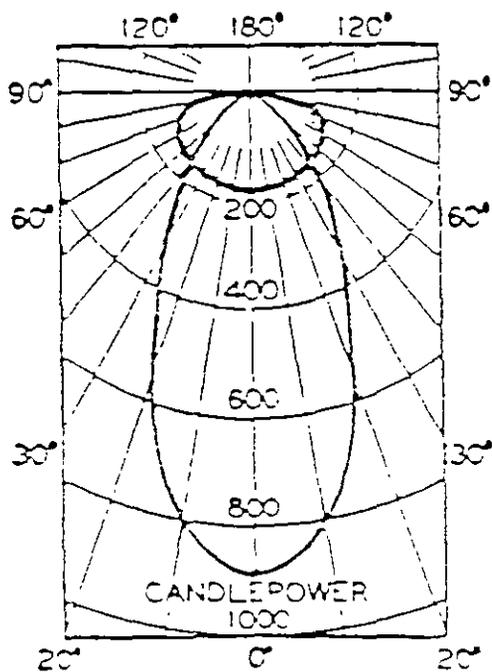
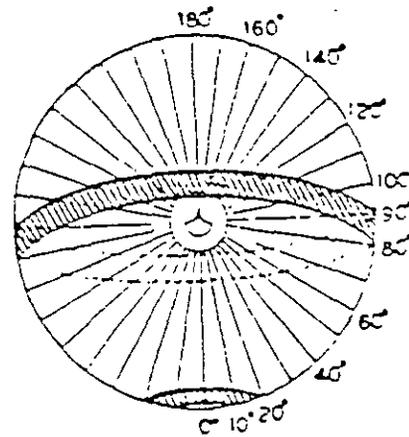
Iluminación de árboles.- La iluminación de los árboles generalmente se realiza en forma indirecta y deberá tomar en cuenta el tipo de árbol ya que para cada uno de los casos se adapta una determinada iluminación, se puede considerar una clasificación de árboles desde el punto de vista de iluminación en las siguientes categorías: árboles tipo palma, tipo como los manzanos y cerezos, árboles tipo piramidal tal como los oimos o cedros, árboles tipo redondo como es el roble.

Iluminación de las cascadas.- Las cascadas también se iluminan generalmente en forma directa desde un punto donde el agua cae.

Iluminación de fuentes.- Las fuentes se construyen con una variedad de formas, y de acuerdo con esto se les ubica la iluminación, puede ser en forma indirecta o puede también iluminarse dentro de la misma, en los dos casos el agua le da reflexión y refracción a los haces luminosos lo que le da efectos especiales.

Iluminación de esculturas.- Deben iluminarse en forma indirecta y para lo cual existen recomendaciones muy específicas.

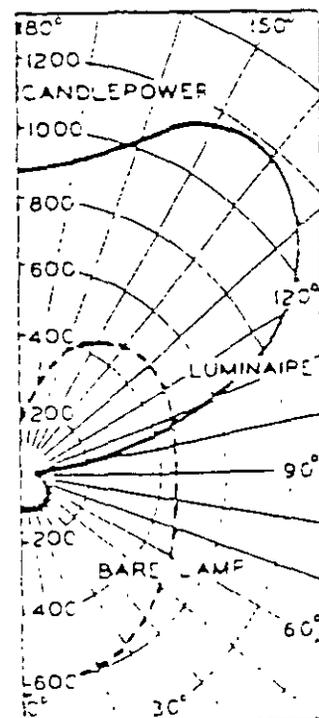
LUMEN CONSTANTS For Ten-Degree Annular Zones				
Zone	Mid-Zone Angle	Zone	Mid-Zone Angle	Lumen Constant
0°-10°	5°	170°-180°	175°	0.095
10°-20°	15°	160°-170°	165°	0.293
20°-30°	25°	150°-160°	155°	0.463
30°-40°	35°	140°-150°	145°	0.628
40°-50°	45°	130°-140°	135°	0.774
50°-60°	55°	120°-130°	125°	0.897
60°-70°	65°	110°-120°	115°	0.993
70°-80°	75°	100°-110°	105°	1.058
80°-90°	85°	90°-100°	95°	1.091



TWO DISTRIBUTION CURVES  
OF EQUAL LUMEN OUTPUT

AVERAGE VERTICAL CANDLEPOWER DISTRIBUTION  
TYPICAL INDIRECT INCANDESCENT LUMINAIRE  
300-WATT INSIDE FROSTED LAMP - 6000 LUMENS

LUMINAIRE DISTRIBUTION DATA		
MID-ZONE ANGLE	CANDLE-POWER	LUMENS
0°	108	
5°	106	10
15°	106	30
25°	106	48
35°	103	65
45°	97	75
55°	88	79
65°	76	75
75°	57	60
85°	33	38
90°	40	
TOTAL 0-90°		473
95°	44	45
105°	36	38
115°	75	75
125°	99	88
135°	114	88
145°	117	73
155°	107	49
165°	95	27
175°	85	84
180°	58	
TOTAL 90-180°		453
TOTAL 0-180°		926
LAMP LUMENS		6000
LUMINAIRE EFFICIENCY		54%



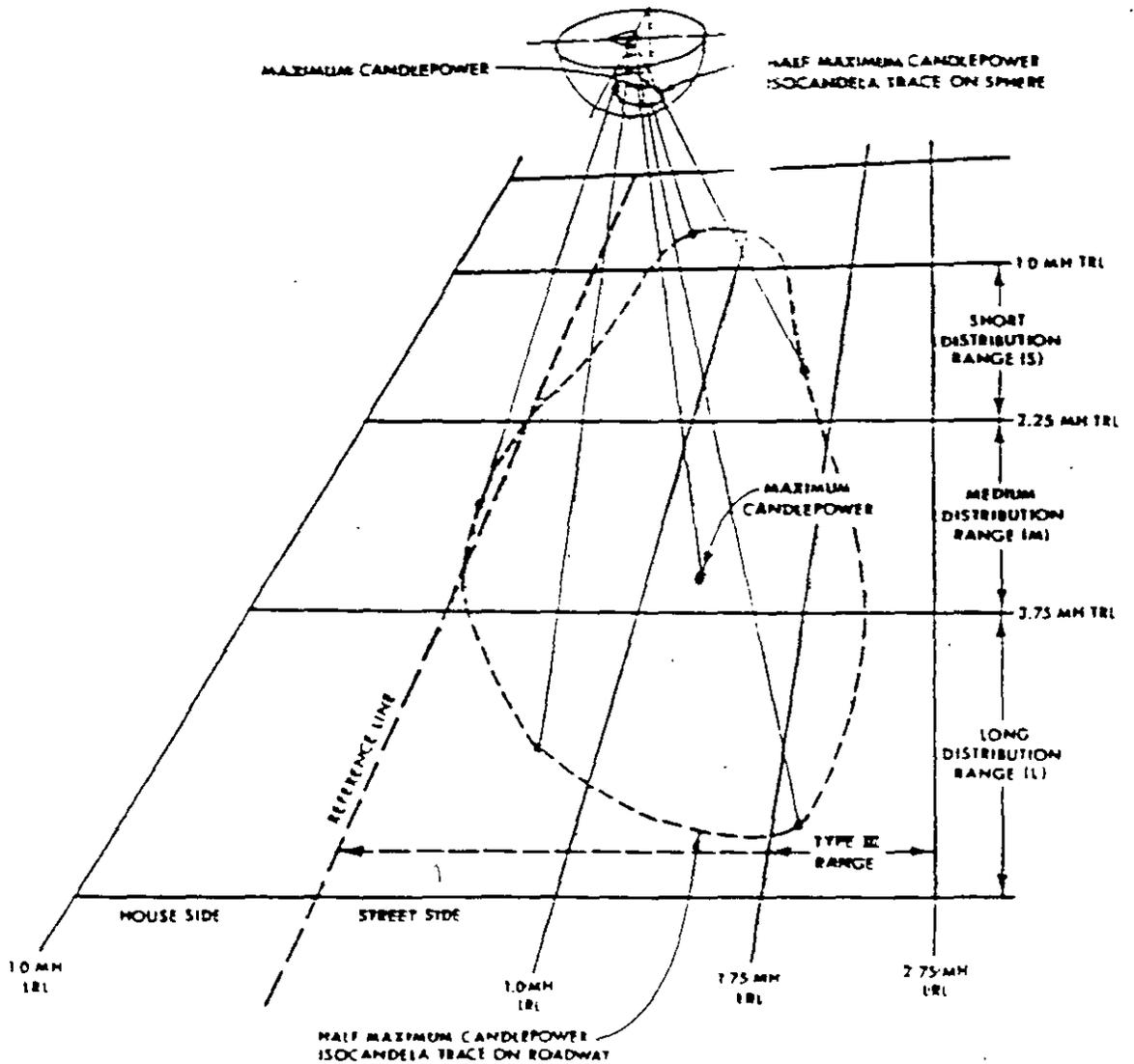
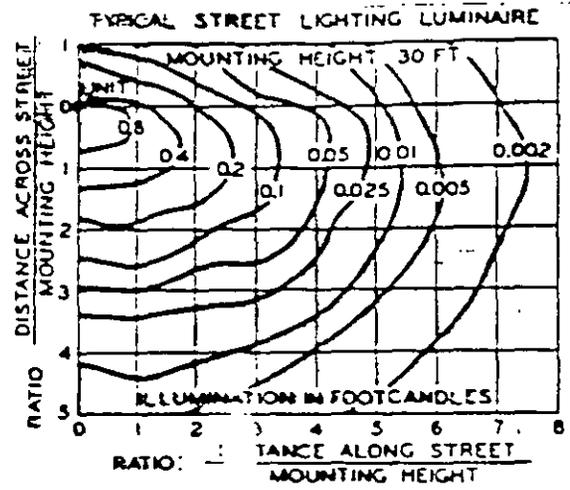
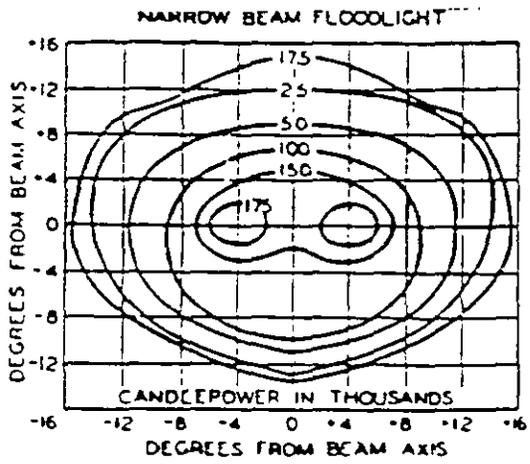
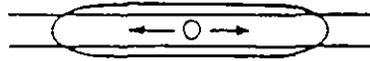
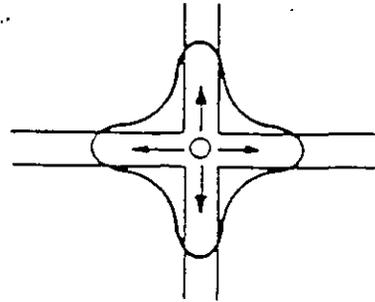


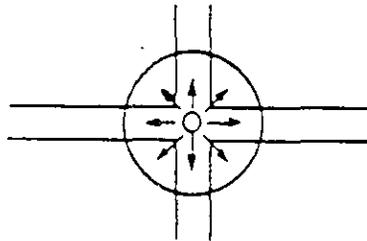
Diagram showing projection of maximum candlepower and half maximum candlepower isocandela trace from a luminaire having a Type III - Medium distribution, on the imaginary sphere and the roadway. Sinusoidal web and rectangular web representation of sphere are also shown, with maximum candlepower and half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



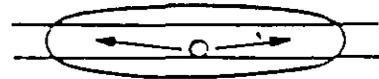
(A) TYPE I



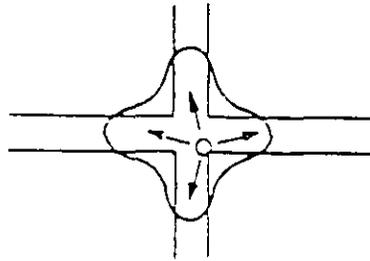
(B) TYPE I - 4-WAY



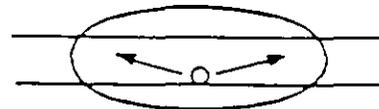
(C) TYPE V



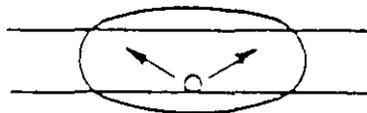
(D) TYPE II



(E) TYPE II - 4-WAY



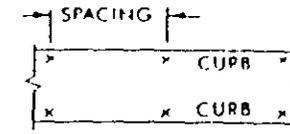
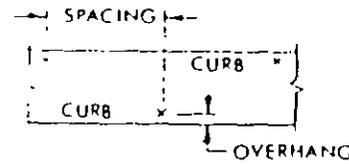
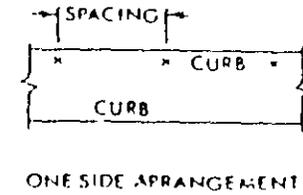
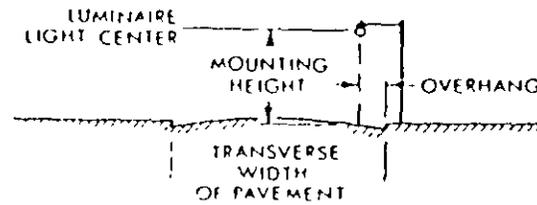
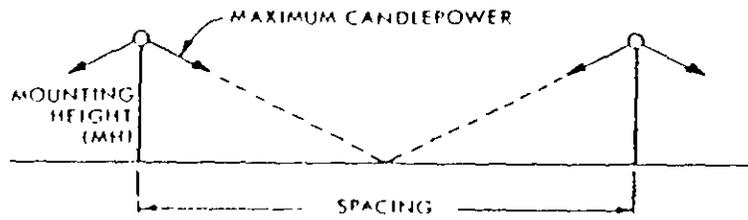
(F) TYPE III



(G) TYPE IV

Plan view of roadway coverage for different types of luminaires.

FIG. 3



STAGGERED ARRANGEMENT

OPPOSITE ARRANGEMENT

Typical lighting layouts showing spacing-to-mounting height relationships and terminology with respect to luminaire arrangement and spacing. Short Distribution — for luminaires which are designed to be located less than  $4.5 \times MH$  between luminaires. Medium Distribution — for luminaires which are designed to be located in the range of  $4.5 \times MH$  to  $7.5 \times MH$  between luminaires. Long Distribution — for luminaires which are designed to be located in the range of  $7.5 \times MH$  to  $12 \times MH$  between luminaires.

T-B-A 1

## Recommended maintained luminance and illuminance values for roadways

### (a) Maintained luminance values

Road and Area Classification	Average Luminance $L_{avg}$ (cd/m <sup>2</sup> )	Luminance Uniformity		Veiling Luminance Ratio (maximum) $L_v$ to $L_{avg}$
		$L_{avg}$ to $L_{min}$	$L_{max}$ to $L_{min}$	
Freeway Class A	0.6	3.5 to 1	6 to 1	0.3 to 1
Freeway Class B	0.4	3.5 to 1	6 to 1	0.3 to 1
Expressway	Commercial	1.0	3 to 1	0.3 to 1
	Intermediate	0.8	3 to 1	
	Residential	0.6	3.5 to 1	
Major	Commercial	1.2	3 to 1	0.3 to 1
	Intermediate	0.9	3 to 1	
	Residential	0.6	3.5 to 1	
Collector	Commercial	0.8	3 to 1	0.4 to 1
	Intermediate	0.6	3.5 to 1	
	Residential	0.4	4 to 1	
Local	Commercial	0.6	6 to 1	0.4 to 1
	Intermediate	0.5	6 to 1	
	Residential	0.3	6 to 1	

### (b) Average maintained illuminance values ( $E_{avg}$ ) in lux

Road and Area Classification	Pavement Classification			Illuminance Uniformity Ratio ( $E_{avg}$ to $E_{min}$ )
	R1	R2 and R3	R4	
Freeway Class A	6	9	8	3 to 1
Freeway Class B	4	6	5	
Expressway	Commercial	10	14	3 to 1
	Intermediate	8	12	
	Residential	6	9	
Major	Commercial	12	17	3 to 1
	Intermediate	9	13	
	Residential	6	9	
Collector	Commercial	8	12	4 to 1
	Intermediate	6	9	
	Residential	4	6	
Local	Commercial	6	9	6 to 1
	Intermediate	5	7	
	Residential	3	4	

## Roadway and Tunnel Lighting

TABLE 2  
Recommended maintained illuminance design levels for high mast lighting.\*†

Road Classification	Horizontal Commercial Area	Illuminance Intermediate Area	( $E_{avg}$ ) in Lux Residential Area
Freeways	6	6	6
Expressways	10	8	6
Major	12	9	6
Collector	8	6	6

\*Recommended uniformity of illumination is 3 to 1 or better; average-to-minimum for all road classifications at the illuminance levels recommended above.

†These design values apply only to the travelled portions of the roadway. Interchange roadways are treated individually for purposes of uniformity and illuminance level analysis.

TABLE 3  
Recommended average maintained illuminance levels for pedestrian ways\* in lux.

Walkway and Bikeway Classification†	Minimum Average Horizontal Levels ( $E_{avg}$ )	Average Vertical Levels For Special Pedestrian Security ( $E_{avg}$ )†
Sidewalks (roadside) and Type A bikeways:	Commercial areas	22
	Intermediate areas	11
	Residential areas	5
Walkways distant from roadways and Type B bikeways:	Walkways, bikeways, and stairways	5
	Pedestrian tunnels	54

\*Crosswalks traversing roadways in the middle of long blocks and at street intersections should be provided with additional illumination.

†For pedestrian identification at a distance: Values are 1.8 meters above walkway.

7-10-11 Rev 1

Recommended Maintained Horizontal Illuminances for Parking Facilities

(a) Open Parking Facilities

Level of Activity	General Parking and Pedestrian Area			Vehicle Use Area (only)		
	Lux (Minimum on Pavement)	Footcandles (Minimum on Pavement)	Uniformity Ratio (Average Minimum)	Lux (Average on Pavement)	Footcandles (Average on Pavement)	Uniformity Ratio (Average Minimum)
High	10	09	4:1	22	2	3:1
Medium	6	06	4:1	11	1	3:1
Low*	2	02	4:1	5	0.5	4:1

(b) Covered Parking Facilities

Areas	Day		Night		Uniformity Ratio
	Lux (Average on Pavement)†	Footcandles (Average on Pavement)†	Lux (Average on Pavement)	Footcandles (Average (Average Minimum))	
General parking and Pedestrian areas	54	5	54	5	4:1
Ramps and corners	110	10	54	5	4:1
Entrance areas	540	50	54	5	4:1
Stairways					

\* This recommendation is based on the requirement to maintain security at any time in areas where there is a low level of nighttime activity.

† Sum of electric lighting and daylight.

See chapter 11, Illuminance Selection.

## SISTEMA DE DISTRIBUCION DE ENERGIA.

Los sistemas de distribución de la energía que se utilizan son:

- sistema de distribución múltiple o paralelo.
- sistemas de distribución en serie.
- sistemas de distribución en cascada.
- sistemas serie paralelo.

### DISTRIBUCION MULTIPLE O PARALELO.

Este sistema consiste en instalar las lámparas de alumbrado público en circuito de distribución paralelo en una red que puede ser de 120 volts ó de 220 volts que pueden alimentarse de un transformador de distribución con voltaje secundario de los valores mencionados de tipo monofásico con tres cables, o del tipo trifásico conexión estrella con neutro a tierra de acuerdo con las normas que se apliquen y en donde la alimentación primaria puede ser de los voltajes de acuerdo con las normas de distribución vigentes en donde se dispone de 24 kv y 13.8 kv principalmente y regularmente con conexión en estrella.

Este sistema está sustituyendo a los sistemas series por las múltiples ventajas que tiene entre las que se puede mencionar:

La utilización de los mismos transformadores de distribución de las redes locales con un aumento de capacidad para el alumbrado.

La utilización de las lámparas de vapor de mercurio y de sodio, sin requerimientos adicionales como en el caso de los circuitos serie. La facilidad para corregir el factor de potencia cuando este tiene valores.

Componentes del sistema de distribución múltiple o paralelo, en la siguiente figura se puede apreciar los componentes de este sistema.

Transformadores.- En la figura se puede observar un transformador monofásico, 3 conductores, 120 volts, 240 volts con cable neutro conectado a tierra con voltaje primario de acuerdo con la disponibilidad de este circuito en el lugar; estos transformadores son los normalizados de distribución.

Equipos de conexión de transformador.- Los equipos de conexión del transformador pueden ser los tipos que se utilizan en el sistema de distribución que corresponda en un gran número de casos, consisten en cuchillas fusibles y para tal circunstancia se utiliza el control de alumbrado en el lado de baja tensión. Para los casos en que el transformador se conecte a través de un interruptor que puede ser en aceite, el circuito de control de alumbrado puede realizarse a través de este interruptor.

Circuitos de control.- Como se dijo anteriormente este circuito puede ser el lado secundario del transformador o en el lado primario como se indica en la figura, su operación se controla a través de un relevador que es excitado por una celda fotoeléctrica o por un interruptor temporalizado como se puede observar el circuito es sencillo y no requiere de ningún permisivo ya que no existe el peligro de alta tensión en el circuito secundario.

Lámparas.- La conexión de las lámparas es también en forma directa ya sea que se utilicen los de tipo incandescente o los de vapor de mercurio o sodio.

Conductores.- Los conductores que se utilizan pueden instalarse en bancos de ductos subterráneos o en forma aérea, en cada uno de los casos su selección y cálculo se hará de acuerdo con las normas vigentes.

Protección.- La protección del alumbrado se realiza por medio de interruptores termomagnéticos y fusibles que permiten la protección por corto circuito y de sobre carga.

## **OTROS TIPOS DE DISTRIBUCION.**

### **SISTEMAS DE DISTRIBUCION EN SERIE.**

Consiste en suministrar la energía a través de un transformador con corriente constante, por lo que la caída de voltaje en cada una de las lámparas deberá ser del valor del voltaje para cada lámpara. El voltaje que se aplica en las terminales en todo el circuito es aproximadamente de 4500 volts y con el circuito abierto alcanza hasta 6000 volts. En las siguientes figuras se pueden apreciar tres diferentes disposiciones de circuitos de estas características. en la primera disposición se puede tener una longitud mínima de cables en la disposición B la máxima longitud y en la disposición C un valor intermedio.

## COMPONENTE DE UN SISTEMA SERIE.

En la siguiente figura se indican los componentes de un sistema serie.

Transformador de corriente constante.- Es alimentado se una red primaria de voltaje constante, diseñados en tal forma que un devanado secundario se regula para mantener una corriente constante. Los voltajes más comunes de alimentación son 2.4 kv y 13.2 kv y corrientes constantes de 3.3, 6.6, 15 y 20 amperes.

Lámparas.- Se pueden observar las lámparas incandescentes que se conectan en forma directa en los portalámparas se utilizan dispositivos de protección (film cuntouts) para el caso de falla de una lámpara, evitando que se abra el circuito en dicho punto lo que ocasionaría la falla de todo el circuito.

También se indican las conexiones de lámparas incandescentes de vapor de mercurio por medio de un transformador de aislamiento lo que facilita la operación de este circuito y de las lámparas correspondientes.

Apartarrayos.- Se pueden observar los apartarrayos que protejan contra descargas atmosféricas el circuito de alimentación de la lámpara, así como a los equipos de la alimentación de la línea eléctrica.

Equipos de conexión del transformador.- Para la conexión del transformador de corriente constante se pueden observar un juego de fusibles y el interruptor en aceite, los que le da protección por cada circuito u descarga.

Circuitos de control.- El que indica es alimentado por un sistema paralelo de 120 volts o 240 volts es excitado por un relevador que se opera por un interruptor temporizado también podrá ser por una celda fotoeléctrica; tiene un permisivo que al controlar con el circuito de las lámparas serie esto une la protección de este circuito para que en caso de una apertura, el transformador de corriente constante se conecte, evitando un lato voltaje en las terminales que se abran.

En la figura 12 se presenta el circuito de control con algunos detalles.

Conductores.- Los tipos y conductores se obtienen de acuerdo a la norma que se tiene al respecto. regularmente se usan conductores de cobre entre el número 8 y el número 6 que se instalan en bancos de ductos, tipo subterráneo

siguiendo las normas de instalaciones de este tipo. Asimismo se utilizan cables aéreos. También se utilizan cables enterrados en forma directa pero que últimamente se han ido desechando.

Circuitos de cascada.- Estos circuitos tienen la particularidad de que después del primer circuito serie el relevador que controla el siguiente circuito es de corriente constante igual que las lámparas que están en serie y por lo tanto cuando arranca el primer circuito se conecta el siguiente o los otros que estén en cascada; En las figuras siguientes se puede observar este tipo de relevador operando en un circuito en cascada.

Su operación es similar que el control alimentada por 120 volts, la diferencia es que la bobina de control del interruptor en aceite opera con corriente constante. El interruptor de arranque del sistema es uno cada, que se coloca al principio de los circuitos.

Conexión a tierra.- Es necesario que todas las cubiertas de los equipos como con los tanques, los depósitos, los postes metálicos, los neutros de los sistemas y los blindajes de los cables sean conectados a tierra, los conductores se relacionan de acuerdo con los procedimientos y normas correspondientes, generalmente son del número 8 o del número 4 de acuerdo a la norma aplicable en su caso.

## **DISTRIBUCION AEREA.- CALCULO DE CONDUCTORES.**

### **REGULACION EN REDES DE DISTRIBUCION**

1. - Para la alimentación a una carga concentrada trifásica equilibrada.

1.1. - La caída de tensión se puede expresar.

$$V_c = I (R \cos\phi + X \sin\phi) \quad \text{---(1)}$$

Donde:

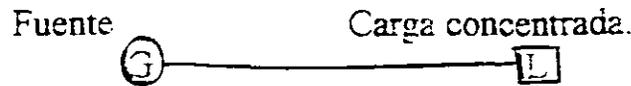
$V_c$  = Caída de tensión --- (valor absoluto).

$I$  = La corriente que circula en el conductor --- (valor absoluto)

$R$  = Resistencia del conductor.

$X$  = Reactancia del conductor.

Esta fórmula se dedujo del circuito equivalente fase-neutro de una alimentación trifásica equilibrada.



1.2. - Por lo anterior de (1) se obtiene la caída de tensión en un conductor de fase a neutro de G a L.

1.3. La caída de tensión de fase a fase de G a L será por lo tanto  $\textcircled{1}$  por  $\sqrt{3}$ .

1.4. - Si de G a L solo se tiene un conductor de fase y uno del neutro alimentando una carga en L (Alimentación monofásica) la caída se obtiene multiplicando  $\textcircled{1}$  por 2.

1.5. - Si de G a L se tienen solamente 2 conductas de fase alimentando una carga en L (Alimentación bifásica) la caída se obtiene multiplicando  $\textcircled{1}$  por  $2\sqrt{3}$ .

Para una alimentación trifásica equilibrada se tiene  $KVA = 1.73 KVI$  — (2)  
donde:

KVA = Potencia total transmitida.

I = Corriente en cada fase.

KV = Tensión entre fases.

De (2)  $I = \frac{KVA}{1.73 KV}$  que puede substituirse en (1).

$$\text{Obteniéndose } V_c = \frac{KVA}{1.73 KV} \left( R \cos\phi + x \sin\phi \right)$$

De (1.3) si queremos la caída de tensión de fase a fase en la misma alimentación se tendrá:

$$V_f = \frac{KVA}{1.73 KV} (R \cos\phi + x \sin\phi) \sqrt{3} \quad \text{--- (3)}$$

Si considera KV el 100% de tensión la caída de tensión en % de KV será:

$$V_f \% = \frac{V_f 100}{KV} \quad \text{--- (4)}$$

De (3)  $V_f = \frac{KVA}{KV} (R \cos \varphi + x \sin \varphi)$  — (5).

Substituyendo (5) en (4).

$V_f \% = \frac{KVA (R \cos \varphi + x \sin \varphi) 100}{KV^2}$  — (6).

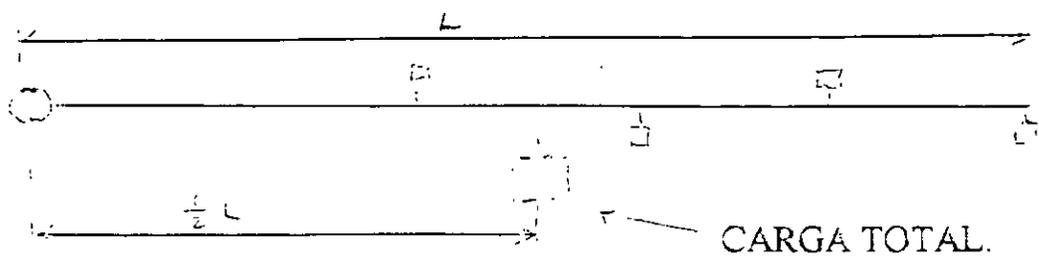
Que representa la caída total entre fases de la alimentación trifásica considerada en %.

Una vez que se tengan los valores de KVA y KV, la caída de tensión dependerá de los valores R y X..

2. - Cargas distribuidas a lo largo del alimentador



2.1 Si la carga está uniformemente distribuida a lo largo del alimentador la caída la final de la línea es igual que si la carga total estuviera concentrada a la mitad del alimentador.



- 2.1.1. Lo anterior es correcto para gran número de cargas.
- 2.1.2. Para pequeño número de cargas, el error puede ser grande.

2.1.3. Cuando se tienen cargas no uniformes y puedan dividirse en un número de cargas concentradas distribuidas a lo largo de la línea, se puede dividir la línea en las secciones resultantes y calcular cada sección con una carga correspondiente; lo anterior también puede aplicarse para los puntos 2.1.1. y 2.1.2.

2.2. Si se tiene una carga distribuida y se desea encontrar la caída de voltaje en algún punto de la línea puede aplicarse la siguiente fórmula.

$$V_{fm} \% = \frac{KVA (R \cos \phi + X \sin \phi) L_1}{10 KV^2} \left( 1 - \frac{L_1}{2L} \right) \quad (8).$$

Donde : KVA = La carga trifásica total en la línea L.

R = Resistencia por 1000 pies de la línea.

X = Reactancia por 1000 pies de la línea.

$\phi$  = Factor de potencia de la línea en la fuente.

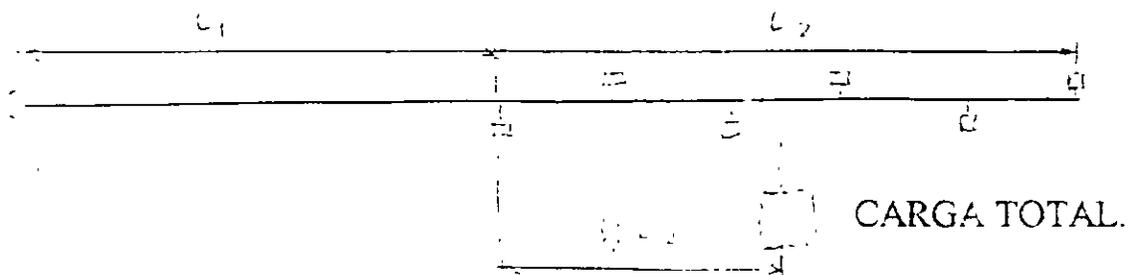
L1 = Distancia de la fuente al punto deseado en miles de pies.

L2 = Distancia total de la línea en miles de pies.

El caso 2.1 resulta como un caso particular de esta fórmula ya que en este caso L1 = L, luego

$$\begin{aligned} V_{fm} \% &= \frac{KVA (R \cos \phi + X \sin \phi) L}{10 KV^2} \left( 1 - \frac{L}{2L} \right) \\ &= \frac{KVA (R \cos \phi + X \sin \phi) L}{2 (10 KV)^2} \end{aligned}$$

Otro caso particular podría ser el siguiente:



La caída de tensión será:

$$V_{fm} \% = \frac{KVA (R \cos \phi + x \sin \phi)}{10 KV^2} \left( L1 + \frac{1}{2} L2 \right)$$

#### DISTRIBUCION SUBTERRANEA.- CALCULO DE CONDUCTORES.

Calculo de caída de tensión en condiciones estables.

Para el calculo de caída de tensión se requieren los siguientes pasos:

1. - Conociendo la carga (W) calcular la corriente (I) que circulara en el conductor.
2. - De acuerdo con la trayectoria de los conductores aplicar los factores correspondientes de ajuste de corriente.
3. - Calculo de la caída de tensión. Si no tienen motores debe considerarse su corriente de arranque en las formulas que siguen:

W = Carga (watts).

I = Corriente por conductor (amperes).

Cos = Factor de potencia.

En = Tensión fase-neutro (volts).

Ef = Tensión entre fases (volts).

Z = Impedancia de los conductores (ohms/metro).

R = Resistencia de los conductores (ohms/metro).

X = Reactancia de los conductores (ohms/metro).

L = Longitud del cable desde la torre de la corriente hasta el centro de consumo (metros).

P = Resistividad (ohms/m/mm<sup>2</sup>).

S = Sección transversal área de los conductores (mm<sup>2</sup>)

e = Caída de tensión entre fase y neutro.

ef = Caída de tensión entre fases.

$e\% = e \frac{100}{E_n}$  Caída de tensión en tanto por ciento para sistemas monofásicos.

$e\% = ef \frac{100}{E_f}$  Caída de tensión en tanto por ciento para sistemas trifásicos.

Sistema monofásico a 2 hilos fase-neutro (fig. 6-1).

$$\text{Calculo de la corriente } I = \frac{W}{E_n \cos \varphi} \quad \text{--- (1)}$$

Factores que deben aplicarse:

$f_a$  = Factor de agrupamiento (se obtiene de tablas que dependen de las canalizaciones).

$f_t$  = Factor de corrección por temperaturas (se obtiene también de tablas).

$f_s$  = Factor de sobrecarga (depende de los equipos).

$f_e$  = Factor de enterramiento (se obtiene de tablas).

Corriente con los factores de ajuste.

$$I_c = \frac{I (f_s)}{(f_a) (f_t) (f_e)}$$

Este valor es el que se considera para el calculo de la caída de tensión.

Caída de tensión =  $e = 2 Z I_c l$ .

$$Z = \sqrt{(R \cos \varphi)^2 + (X \sin \varphi)^2}$$

$$e\% = \frac{200 I_c l \sqrt{(R \cos \varphi)^2 + (X \sin \varphi)^2}}{E_n} \quad \text{--- (2)}$$

Sistema monofásico a tres hilos (2 fases y neutro) (fig. 6-2).

$$I = \frac{W}{E \cos \varphi} \quad \text{--- (3)}$$

Los factores de ajuste se aplican igual, resultando la corriente con estos factores.  $I_c$ .

Caída de tensión. fase a neutro =  $e = Z I_c l$

$$E\% = \frac{100 I_c l \sqrt{(R \cos \varphi)^2 + (X \sin \varphi)^2}}{E_n} \quad \text{--- (4)}$$

Sistema trifásico a 3 hilos (3 fases) (fig. 6-3)

$$I = \frac{W}{\sqrt{3} E_f \cos \varphi} \quad \text{--- (5)}$$

Los factores de ajuste se aplican igual resultando la corriente con estos factores  $I_c$ .

Caída de tensión entre fases =  $e_f = \sqrt{3} Z I_c$

$$e_f \% = \frac{100 \sqrt{3} I_c \sqrt{(R \cos \varphi)^2 + (x \operatorname{sen} \varphi)^2}}{E_f} \quad \text{--- (6)}$$

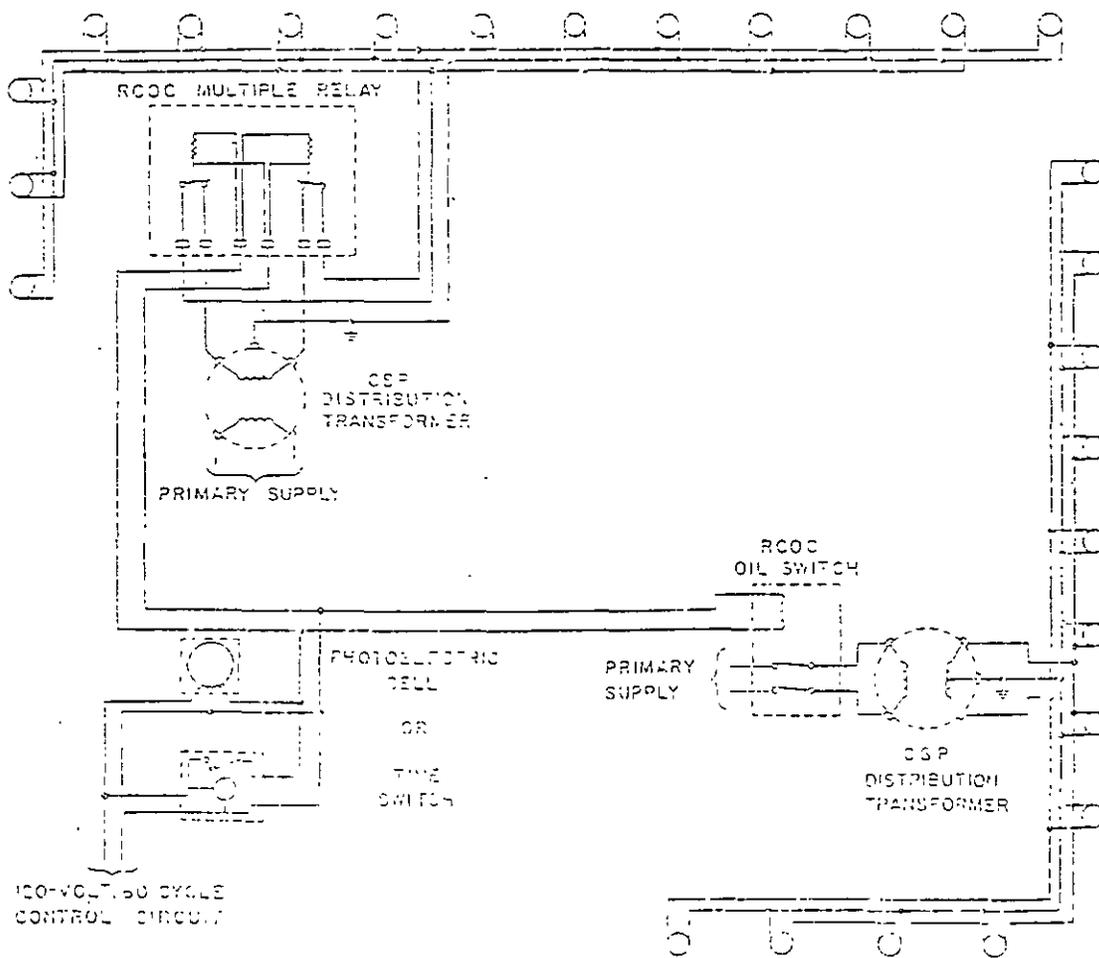
Sistema trifásico a 4 hilos (3 fases y neutro) (fig. 6-4).

Para este sistema la caída de tensión de fase a neutro resulta

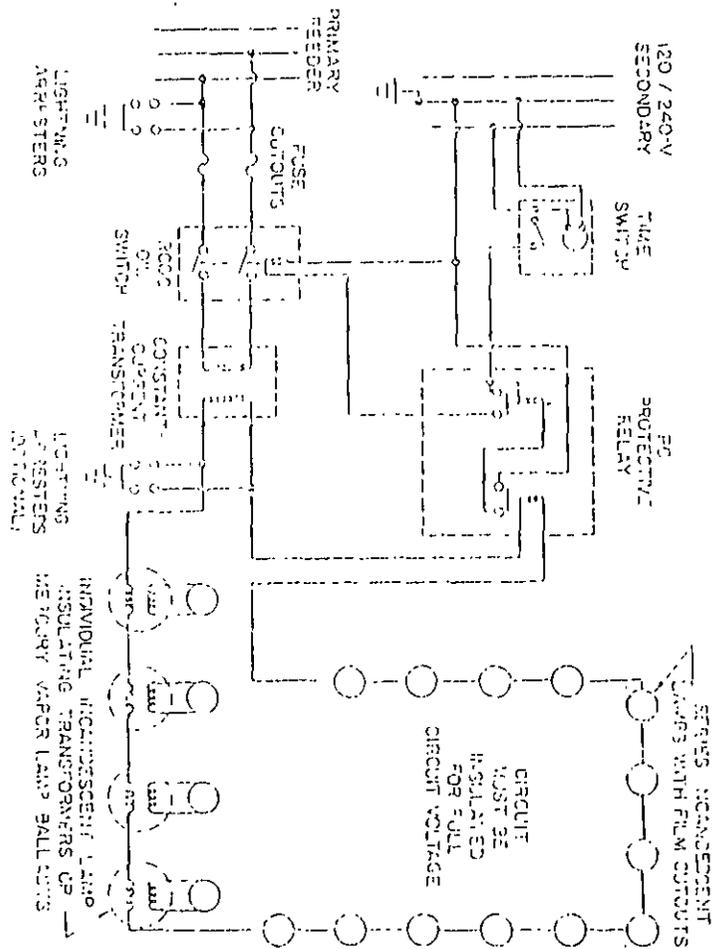
$$e \% = \frac{100 I_c \sqrt{(R \cos \varphi)^2 + (x \operatorname{sen} \varphi)^2}}{E_n} \quad \text{--- (7)}$$

Las formulas 2, 4, 6 y 7 son las que se utilizan para la regulación de los diferentes circuitos.

Los valores máximos permisibles como se dijo al principio de este capítulo para los alimentadores son de 3% y 5% para todo el brazo del circuito. En los arranques especialmente de los motores, se permite una caída mayor, pero en cada caso se debe consultar con el fabricante de los equipos; así mismo deben considerarse los límites permisibles de los equipos conectados al bus.



*Distribution Transformer  
Control*



*Fig. 1. Diagram of a series management lighting system.*



Sistema trifásico a 4 hilos (2 fases y neutro)

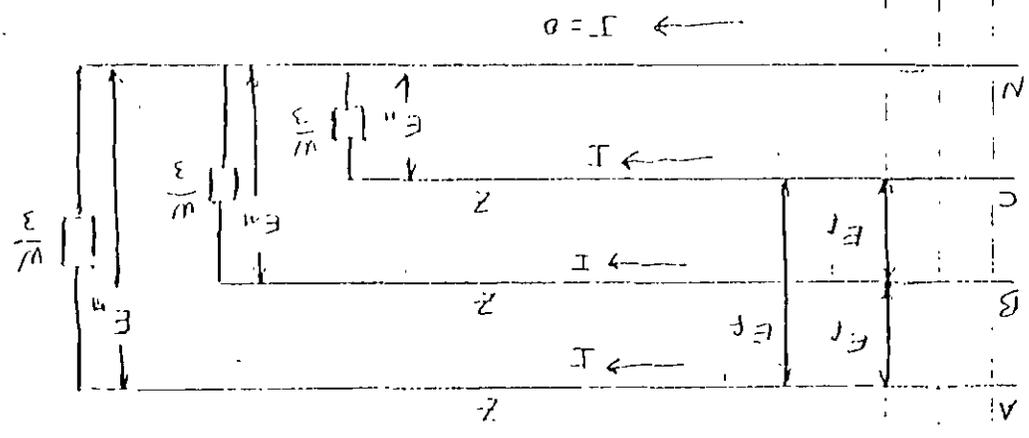


FIG. 6-1

Sistema monofásico a tres hilos (2 fases y neutro)

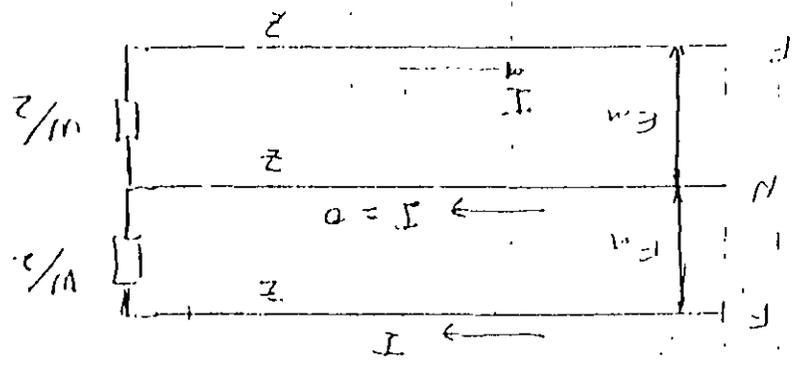


FIG. 6-2

Sistema trifásico a 3 hilos (2 fases)

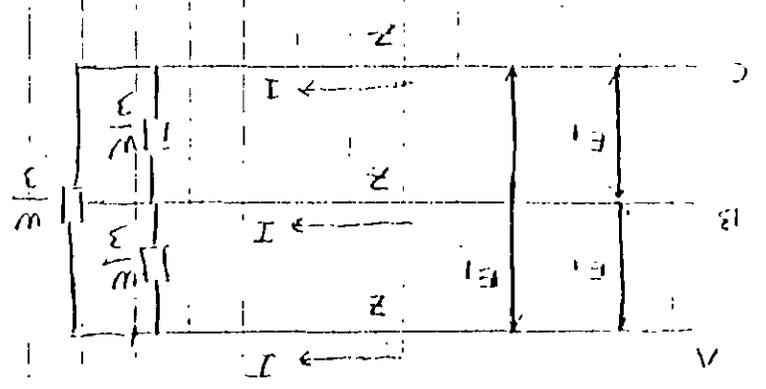


FIG. 6-3

Sistema monofásico a dos hilos (fase y neutro)

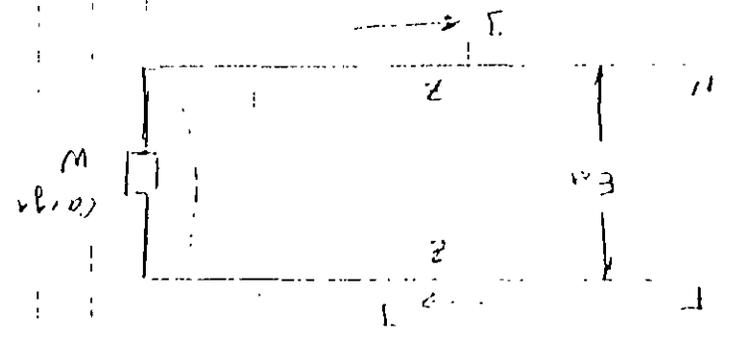


FIG. 6-1