

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA**

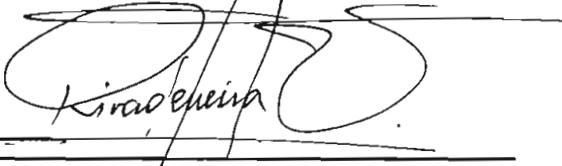
**"EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DEL AHORRO DE ENERGIA EN UN
SISTEMA DE ALUMBRADO PUBLICO"**

GUILLERMO MARCELO ROSERO BOLAÑOS

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO ELECTRICO
EN LA ESPECIALIZACION SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA**

QUITO, NOVIEMBRE DE 1996

Certifico que la presente Tesis ha sido realizada en su totalidad por el señor Guillermo Rosero Bolaños.



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Milton Rivadeneira', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

ING. MILTON RIVADENEIRA VALLEJO

Director de Tesis

DEDICATORIA

A mis Padres y familiares quienes siempre me ayudaron a superarme con su constante apoyo.

Con mucho cariño para Daniel Sebastián.

AGRADECIMIENTO

Presento mi más profundo agradecimiento al Ing. Milton Rivadeneira V. Director de Tesis, cuya acertada dirección ha hecho posible cristalizar y culminar con éxito éste trabajo.

A la Empresa Eléctrica Quito S.A. por su colaboración en el desarrollo de la presente Tesis.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES:

La crisis energética que ha afectado gravemente al país durante los últimos años plantea, a los técnicos e ingenieros nacionales, la necesidad de buscar alternativas tendientes al ahorro de energía en actividades tan sencillas como la de la iluminación pública, la misma que, sin requerir un enfoque magistral, si es tratada a profundidad puede determinar soluciones que representan ahorro de recursos económicos, tan necesarios para el desarrollo del sector eléctrico y lo que es fundamental disminuir el consumo de energía, lo cual, en épocas de crisis, resulta imperativo.

En el mundo se hacen esfuerzos por determinar nuevas tecnologías y procedimientos que permitan una mejor utilización de la energía.

En el Ecuador el crecimiento de la demanda está en el orden del 12%, mientras que la generación crece en un 9,2% anual. El sistema eléctrico puede llegar a la saturación, a menos que se tomen medidas para racionalizar el uso de la energía, y así optimizar los procesos de generación, transmisión y distribución ¹.

El alumbrado público en las empresas eléctricas del Ecuador constituye, en promedio el 7 % del consumo total de energía. Una de las medidas a corto plazo para reducir este consumo, es aumentar la eficiencia de la iluminación pública mediante el uso de lámparas de mayor eficacia.

El alumbrado público funciona durante las horas de demanda pico, pero podría reducirse considerablemente si se aplican

¹ INECEL. Actualización del Plan Nacional de Electrificación 1994-2010

nuevas tecnologías y políticas de ahorro energético, garantizando la calidad de servicio establecido por las normas.

Instituciones como: INECCEL, INE, CIER, OLADE, EEQ, realizan investigaciones para ahorro de energía, el presente trabajo busca analizar la información disponible, y aportar con criterios que sean de utilidad para futuros proyectos que realicen los profesionales de Ingeniería Eléctrica.

Se conocen experiencias de la órbita Latinoamericana, donde se han realizado sustituciones de luminarias, con el propósito de determinar las bondades técnicas. Así por ejemplo, en Chile, México, Colombia, Costa Rica, Brasil, etc. En el Ecuador se deberían realizar experiencias prácticas, bajo las características propias que posee el sistema de alumbrado público, con el objeto de determinar los detalles de las sustituciones.

Para el estudio se toma como referencia el sistema eléctrico a cargo de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

OBJETIVO Y ALCANCES

OBJETIVO:

Determinar procedimientos técnico-administrativos que optimicen el alumbrado público, disminuyendo el consumo energético sin afectar la calidad del servicio.

ALCANCES:

- Se describen los principios fundamentales y los criterios más actualizados sobre calidad del ALUMBRADO PÚBLICO.
- Se estudia nuevas técnicas para optimizar los SISTEMAS DE ILUMINACIÓN PÚBLICA.
- Se analiza las normas internacionales y el proyecto de Norma Interna de la Empresa Eléctrica Quito S.A.
- X Se realiza un caso de aplicación, en el área urbana de la ciudad de Quito.
- ✓ Se evalúa las ventajas financieras de SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO DE MAYOR EFICACIA.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I REQUERIMIENTOS QUE ESTABLECEN LAS NORMAS INTERNACIONALES PARA ALUMBRADO PÚBLICO

1.1.-	PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO .	1
	Objeto del alumbrado público	1
	La tarea del usuario de la vía	2
	Información visual	2
	Campo visual del conductor en vías iluminadas	4
	Factores de los que depende la decisión de iluminar una vía	4
1.2.-	FUENTES LUMINOSAS Y LUMINARIAS	5
	Fuentes Luminosas	5
	Lámparas de Mercurio a Alta Presión	6
	Lámparas de Luz Mixta	7
	Lámparas de Vapor de Sodio a Alta Presión . .	8
	Lámparas de Sodio a Baja Presión	9
	Luminarias	11
1.3.-	CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS	14
1.4.-	SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN USUALES	15
1.5.-	NIVEL DE LUMINANCIA	18
1.6.-	UNIFORMIDAD DE LA LUMINANCIA	18
1.7.-	LIMITACIÓN DEL DESLUMBRAMIENTO	19
	Deslumbramiento	19
1.8.-	GUIADO VISUAL Y ÓPTICO	20
	Guiado visual	21
	Guiado óptico	21
1.9.-	ALTURA DE POSTES	23
1.10.-	ALTURA DE MONTAJE DE LUMINARIAS	23
	Saliente de las luminarias	25
	Ubicación de las luminarias	25

1.11.-	ESPACIAMIENTO ENTRE POSTES	26
	Superficie de la calzada	26
1.12.-	PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO	28
	Recomendaciones Internacionales	29

CAPITULO II

PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS Y ADMINISTRATIVOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN PÚBLICA

2.1.-	EFICACIA DE LA FUENTE Y DE LOS ACCESORIOS . . .	30
	Influencia de la luminaria	31
2.2.-	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LUMINARIAS DE ALTA EFICIENCIA	35
	Comparación Fotométrica y Ahorro de Energía .	35
2.3.-	PÉRDIDAS EN BALASTROS	39
2.4.-	VARIACIÓN DE VOLTAJE	41
	Bajo voltaje	42
	Alto Voltaje	42
2.5.-	EQUIPOS DE CONTROL	45
	Control Individual	45
	Control por Grupo	45
	Fotoceldas	45
	Combinación de Interruptor-Contactor de Alumbrado Público	46
2.6.-	ESTRATEGIAS ADMINISTRATIVAS	47
	Levantamiento de un censo	47
	Análisis de alternativas de ahorro de energía	48
	Cambio de Lámpara y balastro	48
	Cambio de Luminaria	49
	Cambio o Adición de Controles	51
	Dispositivos Ahorradores Individuales	52
	Dispositivos Ahorradores para Instalación por Grupo	52
	Implantación de la alternativa seleccionada .	53
	Opciones de financiamiento	53
2.7.-	ESTUDIO COMPARATIVO	53

CAPITULO III

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL AHORRO DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

3.1.-	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS	60
	Utilización de dispositivos de ahorro de energía	61
	Utilización de relojes	62
3.2.-	SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS	63
3.3.-	IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO	64
3.4.-	CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD DEL ALUMBRADO PÚBLICO POR LA SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS	66
	Ahorros de la sustitución	70
3.5.-	CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD EN LA EJECUCIÓN DE UN SISTEMA INTEGRAL DE ALUMBRADO	72
	Ahorros en la ejecución de sistema integral de alumbrado público	75

CAPITULO IV

CASO DE APLICACIÓN

4.1.-	EVALUACIÓN TÉCNICA	77
4.2.-	EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS ADMINISTRATIVAS	80
4.3.-	EVALUACIÓN FINANCIERA	84
	Parámetros de Evaluación	85
	Factor de Recuperación del Capital (FRC)	86
	Tiempo Simple de Recuperación (TSR)	86
	Costo de la Energía Conservada (CEC)	87
	Costo Neto Actual (CNA)	88
	Costo Anual Equivalente (CAE)	88
	Tasa Interna de Retorno (TIR)	89

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	93

ÍNDICE DE CUADROS

1.2.1.- Características de las Lámparas Utilizadas en Alumbrado Público	11
1.3.1.- Clasificación de las Vías Públicas	16
1.10.1.-Altura de Montaje de Luminarias	23
1.12.1.-Parámetros de Diseño	29
2.2.1.- Comparación Fotométrica y Ahorro de Energía .	37
2.2.2.- Cálculo de la Eficacia	39
2.3.1.- Pérdidas en Balastos Según los Fabricantes .	41
2.4.1.- Pruebas de Laboratorio	42
2.7.1.- Total de Luminarias Instaladas por la E.E.Q.S.A hasta el 31-Dic-1995	55
2.7.2.- Potencia y Energía Conservada	56
3.1.1.- Evaluación Económica de las Alternativas de Ahorro de Energía en la Red de A.P para la E.E.Q.S.A .	63
3.2.1.- Tipo de Lámparas para la Sustitución	65
3.3.1.- Luminarias para la Ejecución de un Nuevo Sistema de Alumbrado	67
3.4.1.- Costo Inicial de las Lámparas y Costo de la Energía	68
3.4.2.- Ahorros de la Sustitución de Lámparas	70
3.5.1.- Costo de las Luminarias y Costo de la Energía	73
3.5.2.- Ahorros en la Ejecución de un Sistema Integral de Alumbrado Público	75
4.1.1.- Valores Medidos de Iluminación	79
4.1.2.- Análisis de los Niveles de Iluminación	80
4.2.3.- Ahorro de Energía	83
4.3.1.- Datos Generales	85
4.3.2.- Flujo de Caja	90
4.3.3.- Resultados de la Evaluación Financiera . . .	90

ÍNDICE DE FIGURAS

1.4.1.- Sistemas de Localización Usuales	17
1.9.1.- Altura de Postes vs Ancho Efectivo de la Calzada	24
2.1.1.- Eficacia de las Fuentes Luminosas	30
2.1.2.- Reflector con Lámpara de Vapor de Mercurio Ovoide	31
2.1.3.- Reflector con Lámpara de Sodio de Alta Presión Tubular Clara	32
2.1.4.- Curvas K para Luminarias con diferente Lámpara	33
2.1.5.- Distribución de la Luz	34
2.1.6.- Distribución Transversal de la Luz	34
2.4.1.- Curvas Características de Lámparas de HG y NA	44
2.7.1.- Tipo de Lámparas Instaladas por la EEQSA hasta 31/Dic/1995	58
2.7.2.- Equivalencia de Cantidad de Luz Emitida por una Lámpara VSAP de 100 W	58
2.7.3.- Potencia Instalada en Alumbrado Público por la E.E.Q.S.A	59
2.7.4.- Energía Consumida en Alumbrado Público por la E.E.Q.S.A	59
3.4.1.- Costo de Lámparas y Costo de la Energía . . .	69
3.4.2.- Ahorros por la Sustitución de Lámparas . . .	71
3.5.1.- Costo Inicial de Luminarias y de la Energía	74
3.5.2.- Ahorros en la Ejecución de un Sistema Integral de Alumbrado Público	76

INDICE DE APÉNDICES

Empleo de los Coeficientes de Utilización (K)	95
Procedimiento para calcular	95
Determinación del Coeficiente de Utilización (K)	96
Casos en la determinación del Coeficiente de Utilización	97
1.- Localización Unilateral	97
2.- Localización Bilateral alternada (zig-zag)	99
3.- Localización Bilateral Opuesta	99
4.- Localización Central Doble	100
Ejemplos Prácticos	101
Indices de Protección	105
Hermeticidad de la Luminaria	105
Facilidad de Mantenimiento	105
Cantidad de Luminarias Instaladas en la Población y Consumo Mensual de Energía	107
Cálculo de la Iluminancia y de Luminancia	108
Iluminancias Horizontales en la Cuadrícula A	109
Luminancia en la Cuadrícula A	110
Uniformidad Longitudinal en cada Banda de Circulación	111
Otros datos necesarios para el cálculo	112
Ubicación del Proyecto de Aplicación	111
Fotografías de las Luminarias de la Nueva Generación	112

CAPITULO I

REQUERIMIENTOS QUE ESTABLECEN LAS NORMAS INTERNACIONALES PARA ALUMBRADO PÚBLICO

CAPÍTULO I

REQUERIMIENTOS QUE ESTABLECEN LAS NORMAS INTERNACIONALES PARA ALUMBRADO PÚBLICO

1.1.- PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Objeto del alumbrado público

Las vías públicas y los vehículos deben hacer posible el viajar con seguridad, rapidez y comodidad.

Un requisito previo para el traslado seguro, rápido y cómodo de los usuarios es la existencia de buenas condiciones de visibilidad. El objeto del alumbrado público es proporcionar, durante la noche, tales condiciones. Una iluminación puede considerarse como buena, cuando asegura una percepción visual segura y fácil.

El alumbrado debe satisfacer tanto a los conductores como a los peatones; pero, en la práctica, debe atender principalmente a las necesidades de los conductores para establecer las regulaciones correspondientes.

Para el peatón son esenciales la visibilidad de las aceras, los vehículos y los obstáculos, así como la ausencia de zonas oscuras en las calles.

Los objetivos anteriores y la apariencia agradable de las vías iluminadas deben obtenerse dentro de los límites aceptables de costos de instalación y mantenimiento. La economía y estética de la instalación dependen del carácter de la vía, su situación, la naturaleza y el volumen de tránsito.[1]

La tarea del usuario de la vía

La tarea de un conductor es muy compleja, aunque desde el punto de vista particular del alumbrado se pueden destacar tres aspectos. El conductor debe efectuar una acción de larga duración siguiendo una ruta predeterminada, lo cual implica una información visual de la vía que tiene delante de él y de todas las intersecciones. Debe tomar decisiones rápidas para adelantar a otros vehículos y para evitar obstáculos que encuentre en su camino, tales como peatones, para lo cual necesita información sobre la posición y movimiento de los objetos que se presentan ante él. Finalmente, debe tomar decisiones en períodos muy breves para mantener su vehículo en la corriente del tráfico y prever la intrusión de otros vehículos en su marcha, lo cual requiere información sobre los cambios que suceden en su entorno inmediato.

La consecuencia es que debe haber buenas condiciones de visibilidad en todo el entorno de la vía pública, tanto en las proximidades como a larga distancia. La percepción debe ser segura y rápida, de modo que puedan ser tomadas decisiones a tiempo, para que las acciones subsiguientes sean realizadas con éxito.

La tarea del peatón es menos compleja, aunque los errores pueden producir serias consecuencias. A fin de cruzar la calzada sin dificultad, el peatón debe ser capaz de detectar la presencia de vehículos, estimar la distancia a la que se encuentran y prever si el movimiento de dichos vehículos los va a situar en su camino.

Información visual

De lo establecido anteriormente, se deduce que la conducción de un vehículo requiere una gran cantidad de información visual que durante la noche se puede obtener iluminando la vía

pública, lo que permite apreciar la naturaleza, trazado y condiciones de la calzada delante del vehículo y de los alrededores más inmediatos a la vía. Con la iluminación se detecta claramente la presencia de objetos, tales como peatones u otros vehículos, facilitando la información precisa que es necesaria para evaluar correctamente la posición, velocidad y dirección del movimiento de dichos objetos.

La información visual necesaria se expresa en función de la "perceptibilidad" de los objetos, que está especialmente relacionada con su presencia, naturaleza, localización, movimiento, etc.

Los objetos se definen como cosas o partes de cosas que pueden verse. Que un objeto se vea realmente depende, en primer lugar, de las condiciones de iluminación, pero también de cierto número de otros factores relacionados con las actitudes y acciones del observador. Sin embargo no todos los objetos son de importancia para la conducción.

La percepción de un objeto importante implica una acción por parte del conductor. Tal acción puede limitarse sencillamente a observarlo, pero también puede tener una influencia en el movimiento del vehículo. Cualquier acción que modifica el movimiento del vehículo se conoce como maniobra. Casi todos los movimientos complejos del vehículo pueden ser descritos a partir de las maniobras elementales siguientes:

- a) Parada.
- b) Ajuste de velocidad
- c) Ajuste de la posición lateral
- c) Continuar la ruta, aunque esto no es realmente una maniobra

Los faros del vehículo y las ayudas al tráfico, tales como señales de circulación y marcas en el pavimento ayudan a la

conducción nocturna, pero el alumbrado público puede asegurar las condiciones visuales necesarias, en todo el campo de visión.

La primera etapa es determinar cuáles son los objetos importantes que deben tenerse en cuenta. La práctica diaria muestra que como tales se pueden citar los siguientes:

- a) Marcas en el pavimento, semáforos y señales de dirección y otras señales de tráfico (Todas facilitan información)
- b) Peatones y ciclistas, vehículos parados, animales, estado del pavimento, piedras, cajas, etc (que representan peligros)
- c) Otros vehículos, automóviles en movimiento con sus luces de situación (facilitan información y representan peligros). [1]

Campo visual del conductor en vías iluminadas

El campo visual del conductor consta de la calzada, los alrededores a cada lado y el cielo, incluidas las luminarias. Todo objeto, del cual se necesita información, debe aparecer destacado con claridad, cualquiera que sea la parte del campo de visión en donde se vea.

Durante la noche los objetos se perciben generalmente como siluetas y su visibilidad disminuye apreciablemente cuando el fondo es oscuro, produciéndose una reducción del campo visual. Además aparece el problema del deslumbramiento que puede causar una reducción de la visibilidad y de la comodidad. [2]

Factores de los que depende la decisión de iluminar una vía

Los factores más importantes que determinan si una vía debe ser iluminada son:

- 1.- La naturaleza de la vía (por ejemplo autopista o

carretera) determinada en función de su trazado y también por la proporción de accidentes nocturnos.

- 2.- La intensidad y composición del tráfico (por ejemplo, tráfico rápido o mezcla de rápido y lento)
- 3.- Los puntos peligrosos y otras situaciones especiales tales como, intersecciones con otras carreteras, pasos para peatones, ciclistas y otras interrupciones en la continuidad del tráfico, que pueden presentar a los conductores situaciones inesperadas, fundamentalmente durante las horas de obscuridad.[1]

1.2.- FUENTES LUMINOSAS Y LUMINARIAS

Fuentes Luminosas

La selección del tipo de lámpara a usarse está determinada por diversos factores, entre los que se puede citar como más importantes los siguientes: el rendimiento luminoso, la utilización anual, costo de adquisición, color de la luz, influencia de las fluctuaciones de voltaje de la red, temperatura ambiente, flujo luminoso y la apariencia. Las fuentes luminosas (cada una de las cuales tiene ventajas para situaciones particulares) que se usan actualmente para alumbrado público son del tipo descarga, en mercurio o en sodio.

Estas lámparas, como su nombre lo indica, producen luz mediante una descarga eléctrica en arco mantenida en un gas o vapor ionizado, siendo este gas el que da el nombre a las lámparas de descarga.

A diferencia de las lámparas incandescentes, estas lámparas necesitan para su funcionamiento un limitador de corriente debido a la característica de corriente negativa que presentan. Este limitador de corriente puede ser resistivo, capacitivo o inductivo. El más usado es el inductivo y se lo denomina como

balastro. [3]

Lámparas de Mercurio de Alta Presión

En estas lámparas, la descarga tiene lugar en un tubo de descarga de cuarzo. Una parte de la radiación de la descarga se da en forma de luz, en la región visible del espectro pero otra parte se emite en la región ultravioleta.

Para aprovechar la radiación emitida en la región ultravioleta, se cubre la superficie interna de la ampolla exterior en que va alojado el tubo de descarga, con un polvo fluorescente para que convierta la radiación ultravioleta en radiación visible, mejorando de esta manera la composición espectral de luz.

El tubo de descarga en estas lámparas contiene una pequeña cantidad de mercurio y un gas de relleno inerte, normalmente Argón. La cantidad de mercurio varía con la potencia de la lámpara y se selecciona de modo que cuando la lámpara alcance su temperatura de trabajo, todo el mercurio se haya vaporizado y el voltaje de arco, se encuentre dentro de las tolerancias especificadas. El gas inerte se necesita únicamente para ayudar en el arranque de la descarga y también para garantizar una vida razonable a los electrodos.

El encendido de una lámpara de mercurio de alta presión, se consigue mediante un electrodo auxiliar o de arranque, el que se ubica a una distancia muy cercana de uno de los electrodos principales y se conecta al otro mediante una resistencia de alto valor, normalmente 25 K Ω .

Cuando se conecta la lámpara se presenta un gradiente de alto voltaje entre uno de los electrodos principales y el auxiliar de arranque, que ioniza el gas en forma de descarga luminosa, permaneciendo la corriente limitada por el resistor. La descarga luminosa se propaga a través del tubo de descarga bajo

la influencia del campo eléctrico existente entre los dos electrodos principales.

Cuando la descarga luminosa alcanza el electrodo más alejado, se incrementa la corriente considerablemente. Como resultado de esto, los electrodos principales se calientan hasta que la emisión aumenta lo suficiente como para permitir que la descarga luminosa se transforme completamente en una descarga de arco, el electrodo auxiliar deja de actuar en el proceso, en virtud de la elevada resistencia conectada en serie con él.

El período de encendido se define como el tiempo transcurrido desde el momento en que se conecta la lámpara hasta que alcanza el 80% de su salida de luz total; es aproximadamente de cuatro minutos.

Las lámparas de mercurio de alta presión, que llevan una capa de fósforo para mejorar el rendimiento, se designan como HPL-N y generalmente tienen una ampolla exterior ovoidal de vidrio.

Existen lámparas de mercurio que adicionan a la descarga halogenuros metálicos, los que están formados con metales y elementos no metálicos como flúor, cloro, bromo y yodo. Estos últimos elementos no metálicos se denominan halógenos. En la práctica, los yoduros son los halogenuros más frecuentemente empleados en este tipo de lámparas.

Las lámparas con halogenuros metálicos, se designan con las letras HPI los que son de forma ovoidal; y los HPI-T los de forma tubular.[6]

Lámparas de Luz Mixta

La lámpara de luz mixta o de luz mezcla, es una derivación de la lámpara de mercurio de alta presión. La principal diferencia es que este tipo de lámpara utiliza un balastro tipo resistor,

incorporado para limitar la corriente. El balastro, está formado por un filamento de wolframio en serie con el tubo de descarga.

La luz de la descarga de mercurio y la del filamento de wolframio caliente, se combinan o mezclan (de aquí su nombre), para dar una lámpara con características de funcionamiento totalmente diferentes a las que poseen la lámpara de mercurio puro y la lámpara incandescente.

Las lámparas de luz mixta en la versión ovoide, se suministran en las siguientes potencias: 100, 160, 250 y 500 W y, se designa por las letras MS.

El tiempo de encendido, es alrededor de cinco minutos.[4]

Lámparas de Vapor de Sodio de Alta Presión

Las lámparas de sodio, al igual que las de mercurio para su funcionamiento necesitan de un limitador de corriente o balastro. Además estas lámparas, emplean un elemento auxiliar denominado ignitor para el arranque, debido a que, necesitan de un impulso de alto voltaje entre 1,5 y 5 KV.

El tubo de descarga de la lámpara de sodio de alta presión, está hecho a partir de alúmina policristalina sintetizada en forma de tubo. Esta es traslúcida, muy hermética al gas, insensible al vapor de sodio caliente y con una resistencia razonable a los choques térmicos.

Las lámparas de sodio de alta presión, emiten energía en buena parte del espectro visible. El color de luz que se obtiene con el sodio es amarillo.

Existe un tipo especial de lámparas de sodio, que pueden trabajar con el equipo eléctrico de las lámparas de mercurio

de alta presión, éstas lámparas se denominan SON-H. Actualmente este tipo de lámpara se fabrica en potencias de: 350, 220 y 150 W, las mismas que pueden sustituir a las lámparas de mercurio de alta presión de 400, 250 y 175 W respectivamente.

Las lámparas de sodio de alta presión, con su alta eficacia y agradables propiedades de color, encuentran cada día una mayor aplicación en el alumbrado público. Los tipos SON y SON-H, tienen una ampolla exterior elíptica revestida interiormente con un polvo difusor. La ampolla tipo SON-T, es de vidrio transparente y de forma tubular.[5]

Lámparas de Sodio a Baja Presión

El paso de la descarga eléctrica a través del vapor de sodio, provoca la emisión de una radiación visible casi monocromática. Debido a que la presión del vapor de sodio es muy pequeña (del orden de 0,1 mm de columna de mercurio), presentan un rendimiento luminoso máximo.

Las lámparas de sodio a baja presión, están constituidas esencialmente por un tubo de descarga rectilíneo y en forma de horquilla introducido en una campana de vidrio, entre el tubo y la campana se hace el vacío, ya que para obtener la presión conveniente del vapor la pared del tubo de descarga, ha de estar a una temperatura aproximada de 280°C, y la campana exterior actúa de aislante térmico, con lo que se evita las pérdidas de calor por radiación. Con objeto de favorecer el encendido de la lámpara, el tubo de descarga está relleno de un gas noble, casi siempre neón.

El período de encendido de la lámpara de vapor de sodio, oscila entre 5 y 15 minutos, según los tipos. Durante este período, se inicia la descarga en el gas neón que rellena el tubo y, la lámpara adquiere la luminiscencia rojiza característica de dicho gas; debido al calor generado por el paso de la corriente

en el tubo de descarga, el sodio se volatiliza, convirtiéndose en vapor e iniciando así la descarga en arco del vapor de sodio. Paulatinamente, la lámpara va adquiriendo el tono amarillo característico del sodio, hasta que hacia el final del período de arranque la luz amarilla del sodio domina completamente el tono rojizo inicial producido por el neón.

Las lámparas de vapor de sodio a baja presión, que por ahora presentan los mayores rendimientos luminosos, debido al color de la luz amarilla monocromática, los colores de los cuerpos resultan alterados desfavorablemente, por lo tanto se emplean en aquellos casos en que se requiere una gran cantidad de luz con la mínima potencia instalada y, además donde la correcta reproducción de los colores tienen poca importancia .

Requieren de equipo auxiliar para la alimentación y sólo transcurridos de 10 a 15 minutos después de la conexión inicial, se alcanza el 80% de la emisión máxima.

Las áreas de utilización es para iluminación de: bifurcaciones, encrucijadas, túneles y para señalar en general situaciones de peligro. Son óptimas para las zonas de nieblas frecuentes.

En el cuadro # 1.2.1, se presentan las características principales de las lámparas utilizadas para alumbrado público como son: lámparas de mercurio de alta presión HPL-N, luz mixta MS, lámparas de sodio de alta presión SON y SON-H y finalmente vapor de sodio a baja presión SOX. Analizando los valores presentados en el cuadro, se deduce que las lámparas más eficientes son las de sodio y dentro de éstas las de baja presión. [4]

CUADRO # 1.2.1
CARACTERÍSTICAS DE LAS LÁMPARAS UTILIZADAS EN ALUMBRADO PÚBLICO

TIPO DE LÁMPARA	POTENCIA W	LÚMENES lm	EFICACIA lm/W
MERCURIO ALTA PRESIÓN	HPL-125	6300	50
	HPL-N175	8700	50
	HPL-N250	13000	52
	HPL-N400	22000	55
LUZ MIXTA	MS-100	1100	11
	MS-160	3150	20
	MS-200	5000	25
SODIO ALTA PRESIÓN	SON150	14500	97
	SON250	25500	102
	SON400	49000	122
	SON-H150	13500	90
	SON-H220	20700	94
	SON-H350	40500	112
SODIO BAJA PRESIÓN	SOX55	7800	148
	SOX90	13000	146
	SOX190	32500	170

FUENTE: Catálogo de fabricantes

Luminarias

Según, la Comisión Internacional de Iluminación CIE, la definición aceptada internacionalmente para una luminaria es la siguiente:

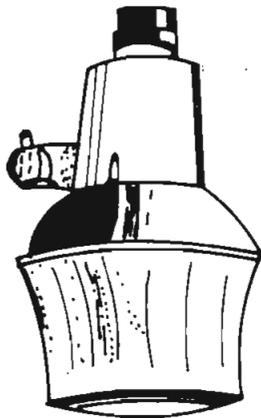
"Aparato que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más lámparas y que incluye, excepto las lámparas propiamente dichas, todos los componentes necesarios para fijar y proteger éstas y donde proceda, los circuitos auxiliares, así como los medios necesarios para la conexión a la red eléctrica de alimentación".

Partiendo de este concepto, las luminarias deben tener dos compartimientos: uno para el sistema óptico, donde se ubica la lámpara denominado compartimiento óptico; y otro para el equipo eléctrico denominado compartimiento eléctrico.

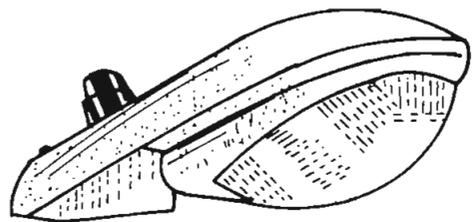
En la iluminación pública, se pueden clasificar a las luminarias en tres tipos básicos: convencionales, decorativas y proyectores.

Las luminarias convencionales- Son aquellas que están diseñadas para ser montadas en postes o paredes. Su característica es que el plano principal de iluminación es el horizontal, por lo cual son las más empleadas en iluminación de vías y son de dos tipos:

- Luminarias con lámpara en posición vertical, conocidos comúnmente como tipo suburbana.
- Luminarias con lámpara en posición horizontal, conocidos comúnmente como tipo "OV"[7]



TIPO "SUBURBANA"



TIPO "OV"

Las luminarias decorativas.- Son aquellas que están diseñadas para su montaje en poste, siendo el principal plano lumínico el vertical. Son muy usadas en la iluminación de parques, plazas y jardines.

Las luminarias tipo proyector.- A diferencia de los otros dos tipos anteriores, pueden orientarse libremente y se usan principalmente para iluminación de monumentos, fachadas de edificios y parqueaderos.

La mayoría de las luminarias convencionales, van provistas de un reflector de una u otra forma (a veces en conjunción con otro elemento de control de la luz), con el objeto de crear una distribución de la luz adecuada, es importante tener en cuenta que la emisión total de luz, comprende en realidad dos sistemas de haces separados y superpuestos. El primero está formado por la luz que emerge directamente desde la lámpara y el segundo por el haz de luz reflejada; por tanto, el reflector raramente se diseña para crear completamente el haz.

Para evaluar las características luminosas de una luminaria, se requiere conocer la intensidad luminosa en las distintas direcciones del espacio que le rodea. Esto se denomina distribución de intensidad luminosa o luz de la luminaria.

Las luminarias para iluminación pública, están situadas según una distribución precalculada a lo largo de la calle, camino, calzada o autopistas a iluminar. Estas luminarias se caracterizan por la llamada distribución de luz en ala de murciélago, en las que existen dos direcciones de intensidad principal, cada una de ellas forma un ángulo entre 60 y 70 grados con la vertical hacia abajo. La intensidad cerca de la vertical es significativamente menor con relación al resto de puntos, esto se hace para satisfacer ciertos criterios que implican la uniformidad en la iluminación.

Las luminarias decorativas se localizan principalmente en zonas residenciales, parques y jardines. En estos casos no solo es necesario conseguir una iluminación suficiente en cantidad y calidad, sino que las luminarias han de presentar un aspecto agradable durante las horas diurnas.

La principal diferencia entre los proyectores y los restantes tipos de luminarias empleadas en iluminación de exteriores, consiste en que los primeros no están dirigidos según orientaciones estándar para que determinadas superficies queden iluminadas. Por el contrario, se orientan individualmente hacia localizaciones precalculadas, esto significa que los datos fotométricos suministrados por el fabricante del proyector deben estar relacionados con el proyector propiamente dicho y con una determinada posición de montaje.[8]

1.3.- CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS

Desde el punto de vista de seguridad y de comodidad, lo ideal sería que para todas las vías públicas se alcanzara un elevado nivel de iluminación. Por razones económicas, no es posible iluminar todas las vías públicas (particularmente en las zonas rurales), ni tampoco dar el mismo nivel a todas las vías que deben iluminarse.

Respecto al nivel de iluminación que debe alcanzarse, las vías públicas se pueden clasificar según: el volumen, la velocidad y clases de vehículos que la utilizan, en vez de considerar las propiedades de la construcción y el entorno de la vía.

La proporción y gravedad de los accidentes, aumenta cuando se eleva la velocidad de circulación y se amplía la variedad de usuarios. Por el contrario, se reduce cuando el perfil transversal de la vía es bueno, como sucede en las autopistas.

Una adecuada iluminación especialmente en las vías de circulación rápida, permitirá reducir los accidentes.

Para vías públicas, donde la posible reducción de accidentes no sea tan grande a causa del pequeño volumen de circulación y/o causa de la velocidad limitada, se puede aceptar una calidad de iluminación algo más baja debido a razones

económicas.

Se ha introducido una clasificación de las vías públicas en función de la diferente densidad de tráfico y de la composición del mismo, datos que determinan su importancia en la red general de vías públicas y después se recomiendan diferentes exigencias de iluminación en consonancia con aquellas.

En el cuadro # 1.3.1, se resumen las características de las vías públicas según la clasificación que se ha hecho.[3]

1.4.- SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN USUALES

Existen cuatro tipos de disposición, que son: disposición unilateral, disposición bilateral alternada (Zig-Zag), disposición bilateral opuesta, y disposición central doble. Se pueden obtener otras disposiciones de las combinaciones de estos cuatro tipos básicos.

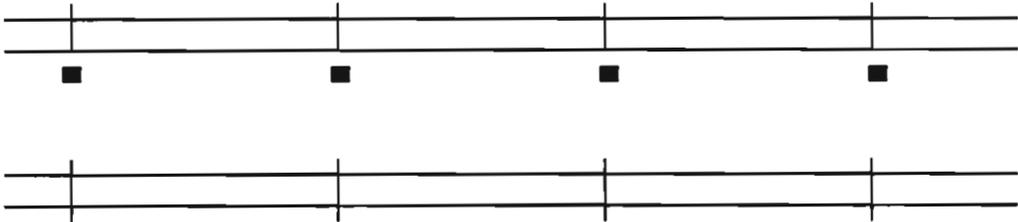
En la figura # 1.4.1, se muestran los sistemas de localización usuales.

**CUADRO # 1.3.1
CLASIFICACIÓN DE LAS VÍAS PÚBLICAS**

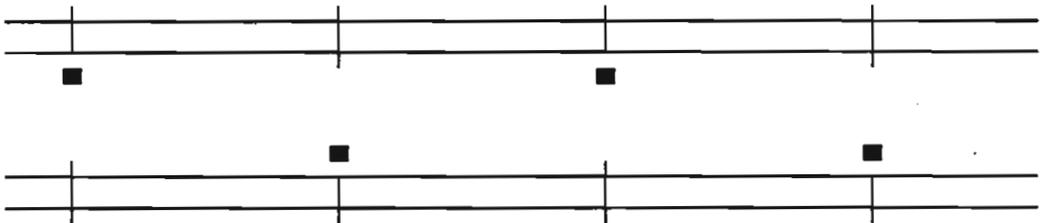
CLASE DE VÍA	TIPO Y DENSIDAD DE TRAFICO	TIPO DE VÍA
A	Tráfico motorizado pesado y de gran velocidad.	Vías con carriles separados completamente libres de cruces a nivel. Accesos totalmente controlados.
B	Tráfico motorizado pesado y de gran velocidad.	Carretera importante para tráfico motorizado, posiblemente con carriles separados para tráfico lento y/o peatones.
C	Tráfico motorizado pesado o mixto y velocidad moderada.	Carreteras urbanas o rurales importantes y de todo uso.
D	Tráfico mixto de importancia con mayor proporción de tráfico lento o peatonal.	Calles en ciudades o centros comerciales, de acceso a edificios o entidades oficiales.
E	Tráfico mixto con límite de velocidad y densidad moderada.	Carreteras de unión entre zonas residenciales y carreteras de tipo A hasta D.

FIGURA # 1.4.1
SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN USUALES

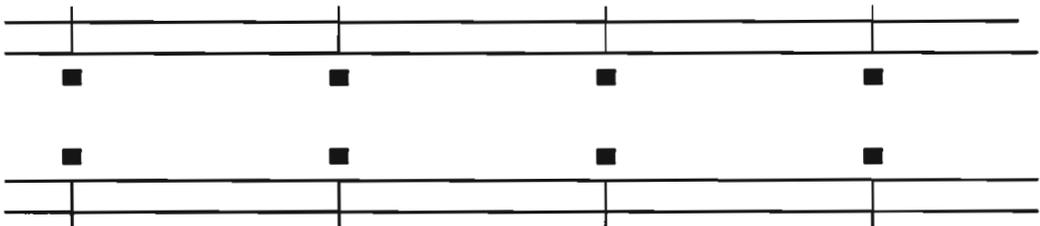
a) Disposición Unilateral



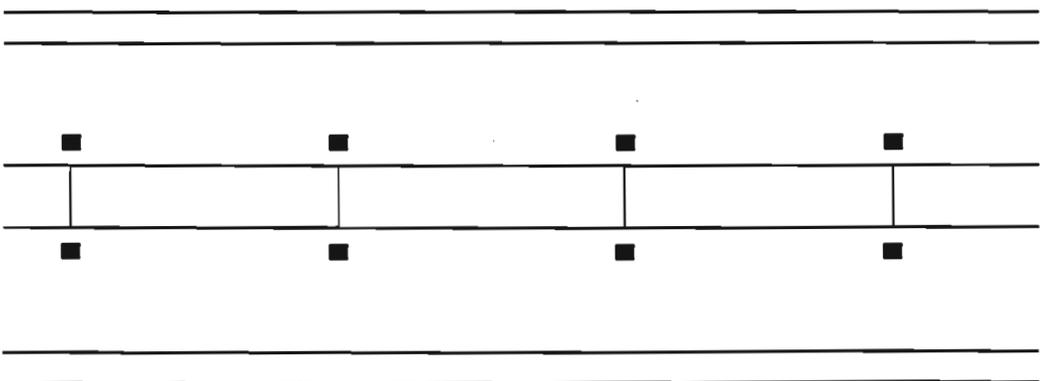
b) Disposición Bilateral Alternada (Zig-Zag)



c) Disposición Bilateral Opuesta



d) Disposición Central Doble



En el apéndice # 1, se detalla los casos que se presentan en la determinación de los respectivos coeficientes de utilización (k), en los sistemas de localización usuales, según ejemplos en cada una de las disposiciones. [9]

1.5.- NIVEL DE LUMINANCIA

La luminancia, es la medida de la brillantez de la superficie con la cual es percibida por un observador, por esto, el nivel de luminancia en la superficie de una calzada, influye sobre la sensibilidad a los contrastes del ojo del conductor y sobre el contraste de los obstáculos en la vía con respecto al fondo; tiene una influencia directa sobre el rendimiento visual de los conductores.

El nivel de luminancia varía de acuerdo a la importancia de la vía y se tienen valores establecidos, recomendados por las normas internacionales. La luminancia se designa por la letra L. [10]

1.6.- UNIFORMIDAD DE LA LUMINANCIA

Una luminancia de adecuada uniformidad es importante tanto para el rendimiento como para la comodidad visual del conductor de un vehículo.

Existen dos criterios de uniformidad, el uno es la uniformidad global designada por U_0 y el otro criterio es el de la uniformidad longitudinal designada por U_1 .

La uniformidad global y longitudinal, se definen así:

$$U_0 = L_{\min}/L_{\text{med}} \quad (1-1)$$

$$U_1 = L_{\min}/L_{\max} \quad (1-2)$$

donde:

L_{min} = Luminancia mínima

L_{med} = Luminancia media

L_{max} = Luminancia máxima

1.7.- LIMITACIÓN DEL DESLUMBRAMIENTO

Deslumbramiento

El deslumbramiento es el fuerte brillo que se presenta en el campo visual del conductor, este brillo es causado por la distribución fotométrica de la luminaria. El deslumbramiento hace que la visibilidad del conductor disminuya debido a los contrastes que se presentan en la vía.

Conviene distinguir dos formas de deslumbramiento: el fisiológico que disminuye inmediatamente la capacidad visual del ojo por consiguiente la visibilidad y, el deslumbramiento psicológico, disminuye la comodidad visual y puede provocar nerviosismo y fatiga. Otros factores como superficies con alto factor de reflexión, superficies pulidas, señales y fuentes de luz extrañas, etc, pueden también producir deslumbramiento.

Como el deslumbramiento depende principalmente de la iluminación producida por las luminarias en los ojos del observador, se han fijado límites a la intensidad luminosa emitida en direcciones cercanas a la horizontal.

Normalmente, para cualquier luminaria o lámpara dada, el deslumbramiento se reduce cuando:

- a) Aumenta el área proyectada de la luminaria;
- b) Su posición se aleja de la línea de la vista, y
- c) El fondo (compuesto de la totalidad del campo visual) contra el cual se ve la luminaria es más brillante.

Si están presentes varias luminarias en el campo visual, el aumento de deslumbramiento resultante es acumulativo.

Adicionalmente al cumplimiento de todas las condiciones necesarias para obtener una buena visibilidad, se debe también garantizar al conductor un cierto grado de comodidad visual que reduzca su tensión nerviosa y la fatiga que puede producirse al cabo de cierto tiempo. Esta comodidad visual se logra con un nivel luminoso elevado y un deslumbramiento reducido, para lo cual, se requiere continuidad en la impresión luminosa tanto estática como dinámica.[1]

1.8.- GUIADO VISUAL Y ÓPTICO

Es evidente que para una circulación segura deben ser perfectamente visibles: el trazado de la vía, los límites de la misma, los posibles cruces y cualquier otro punto singular. El sistema de iluminación ha de contribuir a lograr esto, y para ello:

- Ha de incrementar la visibilidad de la calzada respecto a las zonas colindantes y a la visibilidad de las señales que sirven de guía, tales como las marcas en los bordes de la calzada y los propios parapetos. Todo esto contribuye al guiado visual.
- La disposición de las luminarias ha de permitir detectar a suficiente distancia el curso de la vía, los puntos de cruce y otros puntos singulares, esto contribuye al guiado óptico.

El hacer un adecuado empleo de las posibilidades que los sistemas de iluminación ofrecen al guiado, es tan importante para la seguridad y comodidad de la circulación, como es la luminancia y la limitación del deslumbramiento.[3]

Guiado visual

El cumplimiento de las condiciones requeridas de luminancia y uniformidad proporcionará una visibilidad suficiente de la calzada y de los alrededores, siempre que las luminancias se mantengan razonablemente aún en condiciones meteorológicas adversas.

El hecho de distinguir las señales de guiado, tales como las líneas centrales o laterales, de los alrededores, viene influenciado por el sistema de iluminación. Un sistema de iluminación en el que la luz, que incide longitudinalmente, está restringida, por ejemplo, por el uso de luminarias con intensidades bajas y donde la mayor componente es transversal, favorece la visibilidad de las señales de guiado, especialmente en mal tiempo. Por otra parte, la visibilidad de las marcas en el pavimento depende de sus propiedades reflectantes y su relación con la reflectancia del pavimento. Se recomienda utilizar, para las marcas del pavimento, materiales que no sólo sean claros, sino que también tengan una textura basta y rugosa, de modo que las propiedades reflectantes sean bastante difusas y se conserven aún con mal tiempo. Particularmente cuando la superficie de la calzada es lisa, es necesario, además, que las marcas del pavimento tengan una textura rugosa a fin de mantener el contraste suficiente cuando estén mojadas. [2]

Guiado óptico

La alineación de las luminarias en una instalación de alumbrado público, es de suma importancia para el guiado óptico. Las luminarias visibles señalan el trazado de la vía, si una luminaria está mal situada puede inducir a una falsa interpretación del trazado de la vía, crear situaciones de peligro y originar accidentes.

La disposición de los brazos o ménsulas y de las luminarias deben señalar el trazado de la vía pública, en consonancia con otras ayudas al guiado visual y debe llamar la atención a una distancia suficiente de los puntos de peligro, sin el riesgo de falsas interpretaciones o de confusiones.

Todo cambio en la alineación, de color o de la intensidad luminosa de las luminarias que se ven, será interpretado como una indicación de un cambio en el trazado o la proximidad de un punto singular. El cruce con otras vías de mayor prioridad, por ejemplo, debe ser fácilmente detectable a larga distancia. Por otra parte, si los cruces con otras vías de menor prioridad están también señalados por el sistema de iluminación, en el caso en que existen gran número de estos puntos singulares, se puede producir confusión y contradicción en la interpretación de la importancia de las vías.

Una conveniente elección del sistema de iluminación y del color de las fuentes luminosas contribuirá también al guiado óptico, al resaltar la importancia y la continuidad de la vía por la que se está circulando. Debe evitarse cualquier situación donde la presencia de muchos puntos de luz pueda confundir, en vez de orientar sobre el trazado de la vía o señalar la presencia de puntos singulares.

Donde existen estos problemas, como, por ejemplo, en los cruces o varios niveles, pueden resolverse con iluminaciones con postes de gran altura o con líneas catenarias. Sin embargo, con iluminaciones con postes de gran altura, falta el guiado óptico de los brazos y de las luminarias, debe procurarse en este caso, el guiado por otros métodos como puede ser marcas en el pavimento muy visibles.[3]

1.9.- ALTURA DE POSTES

Con el propósito de obtener un nivel de uniformidad global de luminancia de 0.4 [10], se aplican las reglas que se indican en la figura # 1.9.1.

1.10.- ALTURA DE MONTAJE DE LUMINARIAS

La altura de montaje depende de la potencia luminosa de la fuente de luz, la distribución de la intensidad luminosa de la luminaria y el ancho de la calzada; mientras más potente sea la fuente de luz y más ancha sea la calzada, mayor debe ser la altura de montaje requerida, para evitar excesivo deslumbramiento y proveer suficiente uniformidad transversal. Por regla general, se considera apropiada una altura de montaje de 7,5 a 10,5 m; mientras que para luminarias de muy alta potencia luminosa, se recomienda una altura de 12 m o mayor.

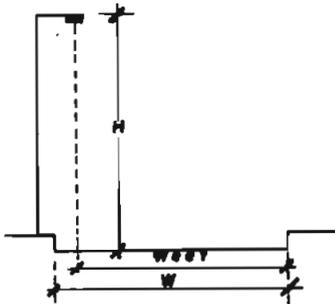
En la tabla # 1.10.1, se muestran la altura de montaje de luminarias para diferentes potencias de lámparas.

TABLA # 1.10.1
ALTURA DE MONTAJE DE LUMINARIAS

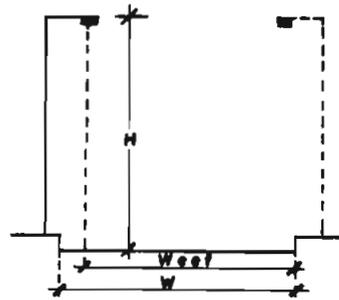
LÁMPARA	ALTURA DE MONTAJE
Sodio alta presión 70W Mercurio 125-175W Sodio baja presión 35-55W	Hasta 8 m de altura
Sodio alta presión 150-250W Mercurio 250-400W Sodio baja presión 90-135W	Entre 8 y 12 metros
Sodio alta presión 400W Mercurio 400W Sodio baja presión 180W	Mayores a 12 metros

FIGURA # 1.9.1
ALTURA DE POSTES (H) vs ANCHO DE VÍA EFECTIVA (Weff)

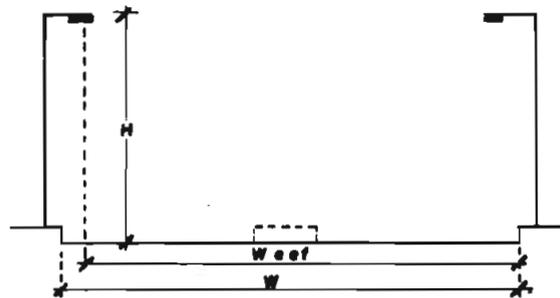
a) Unilateral
($H \geq W_{eff}$)



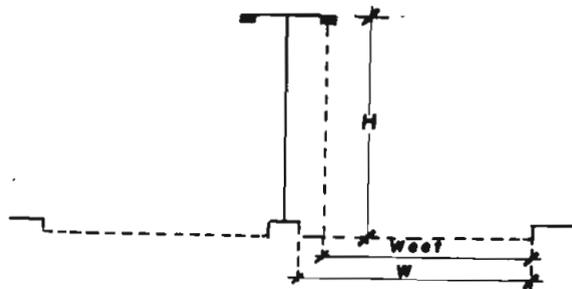
b) Bilateral
alternada
($H \geq 0.8 W_{eff}$)



c) Bilateral opuesta ($H \geq 0.4 W_{eff}$)



d) Central doble ($H \geq W_{eff}$)



Saliente de las luminarias

Para asegurar la máxima uniformidad de luminancia y acentuar el "efecto faro" (cambio de color de los puntos luminosos, o de su ubicación), el saliente no debe exceder un cuarto de la altura de montaje, o un cuarto del ancho de la calzada, cualquiera que sea mayor. Un saliente excesivo reduce la visibilidad de los bordillos, de los posibles obstáculos en el lado de la calzada, de las aceras y puede presentar problemas mecánicos y estéticos. [7]

La longitud del brazo debe ser seleccionada de acuerdo al ancho de la calle como se sugiere a continuación:

ANCHO DE LA CALLE	LONGITUD DE BRAZO
4 m a 8 m	1.20 m
8 m a 10 m	1.80 m
10 m o más	2.40 m

Ubicación de las luminarias

Para la ubicación de las luminarias, se hacen las siguientes recomendaciones:

- La disposición unilateral se admite generalmente cuando el ancho (W) de la vía por iluminar es inferior a la altura (H) de las luminarias ($W < H$).
- En el caso de vías dobles, si el separador es estrecho y si las dos vías responden a la condición ($W < H$), la disposición más económica consiste en colocar sobre el separador postes provistos con dos luminarias que dirigen su flujo luminoso, respectivamente, hacia cada una de las vías laterales; sin embargo, la mejor solución

luminotécnica consiste en colocar las luminarias en direcciones opuestas sobre el borde exterior de las dos vías.

- Las disposiciones bilaterales opuesta y alternada se recomiendan por lo general cuando el ancho de la vía es superior a la altura de las fuentes ($W > H$). Estas disposiciones aseguran en efecto una buena repartición de las zonas brillantes sobre la calzada. Para una vía medianamente ancha se recomienda la disposición bilateral alternada, mientras que para la vía muy ancha se recomienda adoptar la disposición bilateral opuesta.
- En el caso de vías dobles, con un separador medianamente ancho (3 a 5 m), se recomienda una disposición de las luminarias en direcciones opuestas sobre cada borde exterior de las dos vías, con una serie de luminarias intercaladas sobre el separador central si fuera necesario. Esto equivale a la disposición bilateral alternada para cada una de las calzadas.[3]

1.11.- ESPACIAMIENTO ENTRE POSTES

Este parámetro depende mucho de la calidad fotométrica de la luminaria y debe ser calculado en base a las curvas isolux propias de cada luminaria.

Para una luminaria y fuente de luz en particular, montada a una altura predeterminada, el espaciamiento está determinado por el nivel promedio de luminancia recomendado para la calzada en consideración.

Superficie de la calzada

Las características de reflexión de las superficies de la calzada, varían considerablemente y están influenciadas por:

- a) La claridad del color
- b) La textura
- c) El grado de desgaste y suciedad
- d) La presencia de agua.

Las características de reflexión afectan directamente tanto el nivel como la uniformidad de luminancia de la calzada y deben, por tanto, ser tomadas en cuenta en el diseño del sistema de alumbrado.

No existe una clasificación precisa de los pavimentos de las vías ni un método simple que permita clasificarlos desde el punto de vista de sus características fotométricas, sin embargo se hace la siguiente distinción:[10]

- a) Pavimentos claros (factor de reflexión del orden 0,20)
- b) Pavimentos oscuros (factor de reflexión de 0,10)
- c) Pavimentos brillantes, que presentan un índice de reflexión mixto, como es el caso de todos los pavimentos lisos, ya sea por construcción o por uso continuo.
- d) Pavimentos mate, en los cuales el índice de reflexión es aproximadamente difuso (es el caso de la mayor parte de los pavimentos antideslizantes modernos, más o menos en estado nuevo).

El pavimento ideal es de color claro y de superficie rugosa. Debe además presentar una gran resistencia a la fricción y al deslizamiento de los vehículos y su perfil debe ser tal que el agua lluvia se evacue rápidamente. Por tanto, al momento de construir o reconstruir una vía, debe existir colaboración entre los constructores y los técnicos encargados del alumbrado público.

1.12.- PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

Para conseguir un alumbrado eficaz, es esencial que la instalación esté bien proyectada, por lo que se sugiere seguir los siguientes pasos:

- Clasificación de la zona y de la vía a iluminarse
- El nivel de iluminación (tipo de lámpara) apropiado según la clasificación.
- Selección de las luminarias de acuerdo con la distribución de luz requerida.
- La ubicación apropiada de las luminarias (altura de montaje, longitud del brazo y separación) para proporcionar la iluminación requerida en cantidad y calidad. [11]

Los criterios de calidad más importantes para una instalación de alumbrado público desde el punto de vista del rendimiento y comodidad visual son:

- Nivel de luminancia
- Uniformidad de luminancia
- Deslumbramiento
- Nivel de iluminación

En la actualidad existen programas computacionales que facilitan el cálculo rápido de los valores requeridos y que exigen las normas internacionales. [13]

Recomendaciones Internacionales

Las exigencias que debe cumplir una instalación de alumbrado público se encuentran recogidas en las recomendaciones de diferentes países. En la tabla # 1.12.1, se presentan los parámetros de diseño establecidos por la Comisión Internacional de Iluminación, CIE. [10]

**TABLA # 1.12.1
PARÁMETROS DE DISEÑO**

Categoría	Lmed (cd/m ²) ≥	U _o ≥	U _l ≥	TI (%) ≤	Emed (Lux)	Emin (Lux)
A	2	0.4	0.7	10	35-40	10.5-16
B	1-2	0.4	0.7	10	30	9
C	1-2	0.4	0.7	20	25	7.5
D	2	0.4	0.5	20	20	5
E	0.5-1	0.4	0.5	20	10	2

Nomenclatura:

Lmed: Luminancia media
U_o : Uniformidad global
U_l : Uniformidad longitudinal
TI : Deslumbramiento perturbador (incremento de umbral)
Emed: Nivel de iluminación medio
Emin: Nivel de iluminación mínimo

CAPITULO II

PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS Y ADMINISTRATIVOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN PÚBLICA

CAPITULO II

PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS Y ADMINISTRATIVOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN PÚBLICA

2.1.- EFICACIA DE LA FUENTE Y DE LOS ACCESORIOS

La eficacia de las fuentes luminosas utilizadas en alumbrado público, está dada por la relación:

Eficacia = Lúmenes/Potencia Total (fuente + balastro)

En la figura # 2.1.1, se muestra la eficacia de las fuentes luminosas. De la gráfica se deduce que la fuente de menor eficacia es la vapor de mercurio de alta presión y la de mayor eficacia es la lámpara de vapor de sodio de baja presión.

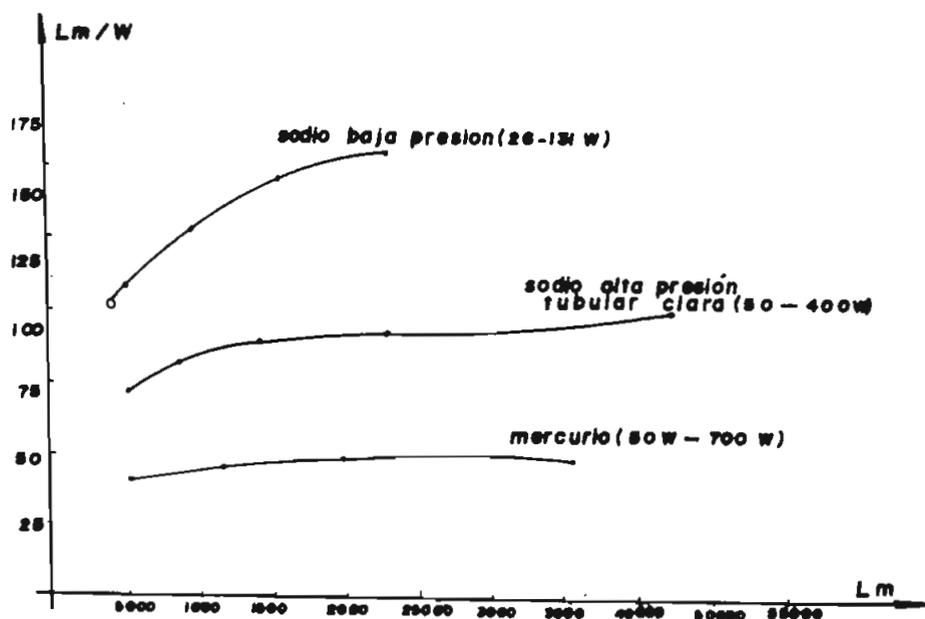


FIGURA # 2.1.1
EFICACIA DE LAS FUENTES LUMINOSAS

Influencia de la luminaria

La luminaria está constituida por un cuerpo destinado a contener los accesorios eléctricos, la fuente luminosa y la parte óptica. Esta tiene como finalidad, lograr la mejor distribución posible del flujo luminoso y mantenerla el mayor tiempo posible, lo cual se logra mediante la utilización de luminarias de alto índice de hermeticidad (Apéndice # 2).[14]

Las luminarias convencionales utilizan fuentes ovoides y tienen índices de hermeticidad del tipo IP-54 si son cerradas e IP-23 si son abiertas. Actualmente se están desarrollando luminarias denominadas "NUEVA GENERACIÓN", que se caracterizan por tener una hermeticidad IP-65 (sistema Seal-Seaf) y utilizan sistemas ópticos especialmente diseñadas para fuentes tubulares claras.

En la figura # 2.1.2, se muestra el efecto de una bombilla de mercurio tipo ovoide dentro de un reflector normal; como se ve claramente, la parte del flujo luminoso emitido por la bombilla en el hemisferio superior, se pierde después de ser reflejado por el sistema óptico, pues es absorbido por la bombilla.[15]

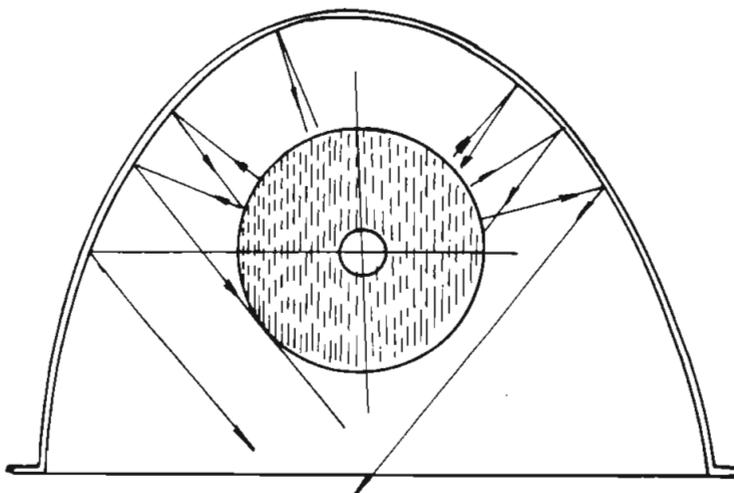


FIGURA # 2.1.2
REFLECTOR CON LÁMPARA DE VAPOR DE MERCURIO OVOIDE

En la figura # 2.1.3, se observa el efecto de una fuente de pequeñas dimensiones, comparada con el reflector. El flujo del hemisferio superior se aprovecha casi en su totalidad después de ser reflejado, con lo cual se logra una mejor distribución de la luz y por consiguiente un coeficiente de utilización mucho mayor.

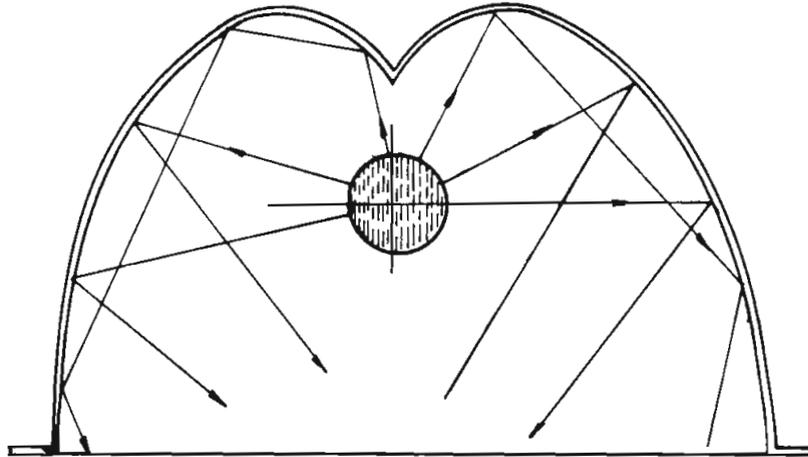


FIGURA # 2.1.3

REFLECTOR CON LÁMPARA DE SODIO ALTA PRESIÓN TUBULAR CLARA

De manera similar, si las fuentes tienen un tamaño muy grande usualmente, como en el caso de los tubos fluorescentes y bombillas de sodio de baja presión, el espejo no puede controlar la distribución del flujo, dando como consecuencia bajo coeficiente de utilización.

Lo anterior se resume gráficamente en la figura # 2.1.4, donde aparecen las curvas de coeficiente de utilización para las diferentes fuentes. Claramente se observa que para una relación: ancho de vía (W)/altura de montaje (H) = 1, la luminaria más eficiente es la correspondiente a sodio de alta presión, equipada con bombilla tubular clara. Es decir un sistema de iluminación con bombilla de sodio de alta presión permite obtener un coeficiente de utilización K_u de 45%; si se utiliza una bombilla de sodio fosforada o de mercurio el K_u baja al 30%.

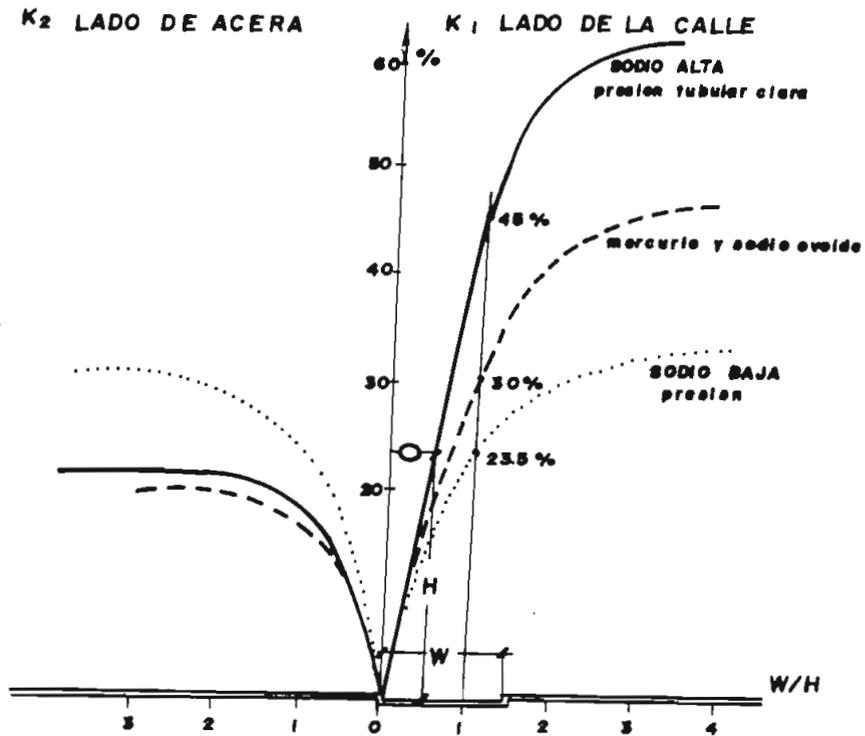


FIGURA # 2.1.4
CURVAS K PARA LUMINARIAS CON DIFERENTE LÁMPARA

La diferencia en la distribución de la luz, puede visualizarse con la ayuda de los diagramas polares en las figuras # 2.1.5 y 2.1.6. Estos diagramas están dados en el plano vertical paralelo al eje de la vía.

En la figura # 2.1.6, se observa que una luminaria de la "NUEVA GENERACIÓN", de sodio de alta presión, la cual suministra una distribución transversal de superiores características que la luminaria tradicional.[15]

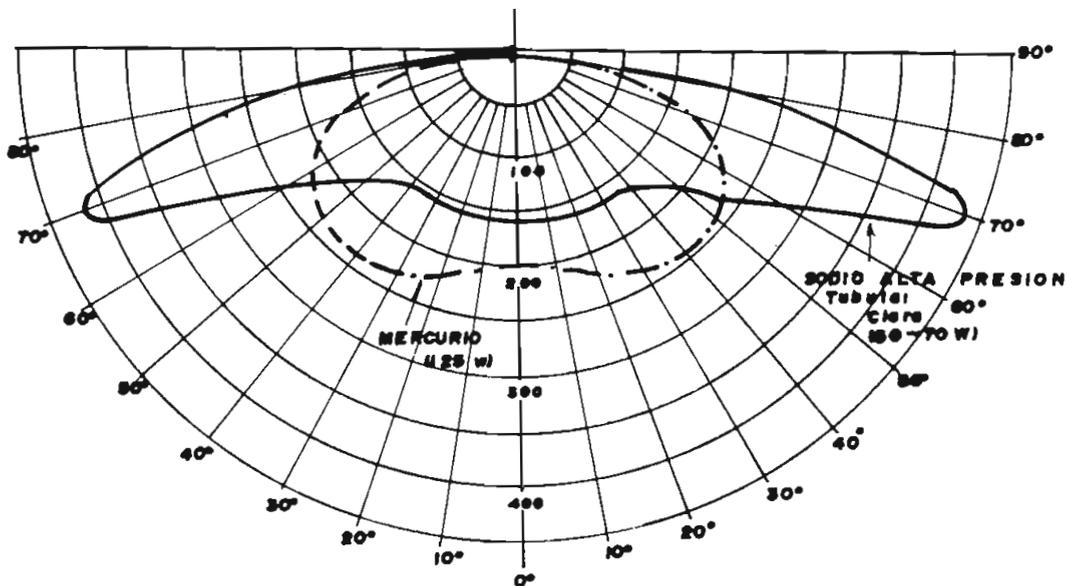


FIGURA # 2.1.5
DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ

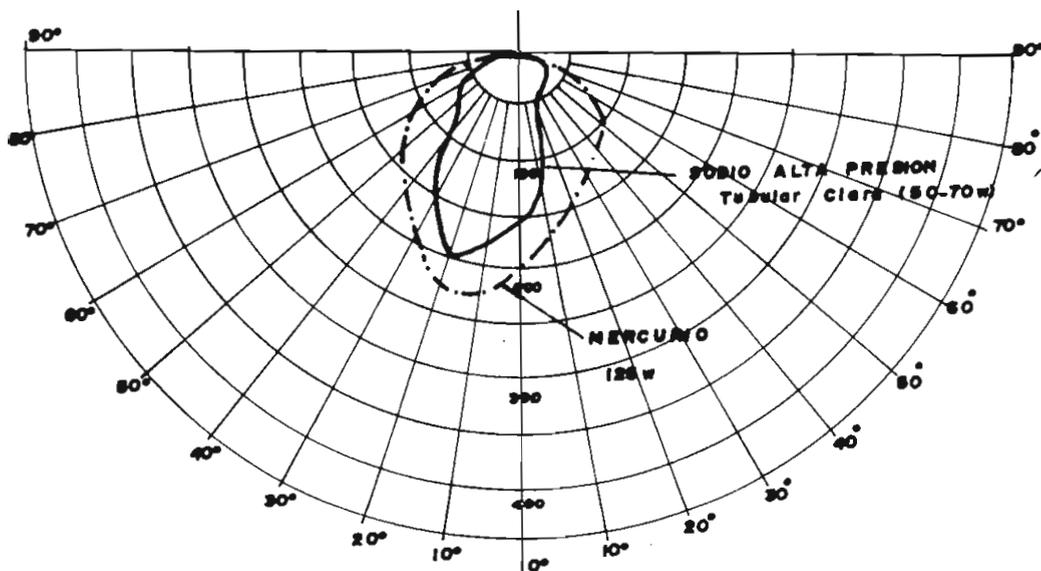


FIGURA # 2.1.6
DISTRIBUCIÓN TRANSVERSAL DE LA LUZ

Una luminaria tradicional de 125 W de mercurio, tiene una distribución tipo "cut-off", con una intensidad pico a 50° , mientras que una luminaria de la "NUEVA GENERACIÓN" (horizontal hermética), equipada con 50 W de sodio de alta presión, proporciona una distribución tipo "semi-cut-off" con una intensidad pico a 70° (Figura # 2.1.5).⁷ [3]

2.2.- ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LUMINARIAS DE ALTA EFICIENCIA

Comparación Fotométrica y Ahorro de Energía

En el cuadro # 2.2.1, se analizan 4 instalaciones efectuadas con luminarias convencionales y con luminarias de la "NUEVA GENERACIÓN".

La primera columna proporciona los resultados obtenidos con una luminaria convencional abierta de buena calidad, equipada con bombilla de mercurio de 125 W.

La segunda columna, utiliza la misma luminaria, pero con bombilla de sodio, ovoide, fosforada, de alta presión de 70 W; los resultados fotométricos son muy similares, lo que demuestra que no tendría ningún sentido, cambiar de mercurio de 125 W por sodio de 70 W, utilizando bombilla fosforada en la misma luminaria.

⁷ **Distribución aislada (Cut-off).** La distribución de intensidad luminosa en cuya línea de vista hay una reducción marcada de esta intensidad entre ángulos de 80° y 90° con la vertical descendente.

Distribución no aislada (Non Cut-off). La distribución de intensidad luminosa en cuya línea de vista no hay una reducción marcada de esta intensidad luminosa entre ángulos de 80° y 90° de la vertical descendente.

Distribución semi-aislada (semi-Cut-off). La distribución de intensidad luminosa en la que el grado de reducción de esta intensidad es intermedio entre el de distribución aislada y no aislada.

En la tercera columna se utiliza una luminaria de la "NUEVA GENERACIÓN" (tipo Seal-Safe), equipada con bombilla clara, tubular de sodio de alta presión de 50 W. Si se compara con la primera solución, se obtiene fotometría similar en nivel, pero superior en uniformidad de luminancia, con un ahorro de energía del 57%.

En la cuarta columna se utiliza la misma luminaria anterior, pero equipada con bombilla de sodio tubular clara de 70 W. Si se compara con la segunda, se observa que con la misma energía la fotometría obtenida con la luminaria de la "NUEVA GENERACIÓN", con bombilla tubular es muy superior a la obtenida con bombilla ovoide. Es decir el cambio de mercurio 125 W. a sodio 70 W. se justifica si se utilizan bombillas tubulares claras, en luminarias diseñadas para estas fuentes; obteniéndose un ahorro de energía del 42%. [9]

Lo anterior permite deducir que el sistema óptico y el tipo de la bombilla, no deben ser independientes ya que pueden existir grandes diferencias entre dos luminarias que a simple vista parecen idénticas.⁸

⁸ Información técnica suministrada por los fabricantes:
SCHREDER Y PHILIPS.

CUADRO # 2.2.1

COMPARACIÓN FOTOMÉTRICA Y AHORRO DE ENERGÍA

	LUMINARIA			
	CONVENCIONAL ABIERTA		NUEVA GENERACIÓN SEAL-SAFE	
	MERCURIO 125W	SODIO 70W Fosforada	SODIO 50W Tubular Clara	SODIO 70W Tubular Clara
POTENCIA TOTAL	135W	77W	57W	77W
FLUJO BOMBILLA	6300 lm	5800 lm	4000 lm	6500 lm
ILUMINACIÓN O ILUMINANCIA PROMEDIO	11.4 lux	10.5 lux	8.0 lux	12.0 lux
LUMINANCIA PROMEDIO (cd/m ²)	0.69	0.63	0.54	1.0
UNIFORMIDAD (U ₀)	46	46	67	59
UNIFORMIDAD (U ₁)	60	60	72	71
AHORRO ENERGÍA	---	42%	57%	42%

En el cuadro # 2.2.2, se analizan los resultados obtenidos anteriormente, teniendo en cuenta la influencia de la hermeticidad de las luminarias. Como se explicó anteriormente, una luminaria convencional de buena calidad, abierta, tiene un índice IP-23, en tanto que la luminaria de la "NUEVA GENERACIÓN" (Seal-Safe) el índice IP es 65. Entre mayor sea IP, mayor es el factor de mantenimiento. En consecuencia, se recomienda utilizar un factor de mantenimiento de 0.65 para la luminaria convencional abierta y de 0.95 para la nueva generación.

Teniendo en cuenta los factores anteriores, se obtiene un nivel de luminancia mantenido de 0.45cd/m², para mercurio de 125W y 0.51cd/m² para sodio de 50W, es decir un nivel de luminancia 13% mayor con un ahorro de energía del 57%. El estudio fotométrico se efectuó en las siguientes condiciones:

- Ancho de la calzada 7m.
- Localización luminarias Unilateral
- Interdistancia 30m.
- Avance 0.5m
- Altura de montaje 7.5m

Los datos anteriores permiten calcular la potencia utilizada por m^2 (W/m^2), y la eficiencia global del sistema:

- Para la luminaria convencional con mercurio de 125W.

$$\text{Potencia}/m^2 = 135W/30*7m^2 = 0.64 W/m^2$$

$$\text{Eficacia} = (0.45cd/m^2)/(0.64 W/m^2) = 0.70 cd/W$$

- Para la luminaria "NUEVA GENERACIÓN" de sodio de 50W.

$$\text{Potencia}/m^2 = 57W/30*7m^2 = 0.27 W/m^2$$

$$\text{Eficacia} = (0.51cd/m^2)/(0.27 W/m^2) = 1.89 cd/W$$

Los resultados permiten deducir, que las luminarias de la "NUEVA GENERACIÓN", tienen una eficiencia 2.7 veces mayor que las convencionales, por consiguiente pueden instalarse a mayores interdistancias y consumir menos energía (ver cuadro # 2.2.2). En el apéndice # 5 se presentan fotografías de luminarias de la "NUEVA GENERACIÓN"

CUADRO # 2.2.2

CÁLCULO DE LA EFICACIA

	LUMINARIA	
	CONVENCIONAL ABIERTA	NUEVA GENERACIÓN SEAL-SAFE
TIPO BOMBILLA	MERCURIO 125W	SODIO 50W Tubular Clara
POTENCIA TOTAL	135W	57W
FACTOR DE MANTENIMIENTO	0.65	0.95
LUMINANCIA PROMEDIO (cd/m ²)	0.45	0.51
VARIACIÓN DE LA LUMINANCIA PROMEDIO	----	+ 13%
W/m ²	0.64	0.27
EFICACIA (cd/m ²)/(W/m ²)	0.70	1.89
EFICACIA RELATIVA	1	2.7

En general, en una instalación de alumbrado, el costo de las luminarias y bombillas representa una pequeña parte del costo total. La mayor parte de la inversión la constituyen los postes, cableado, mano de obra, equipo eléctrico y sobre todo, los costos de la energía y mantenimiento.

El hecho de utilizar luminarias de alto índice de eficiencia, origina una reducción en los costos de un proyecto a corto y largo plazo.

2.3.- PÉRDIDAS EN BALASTROS

Las lámparas de descarga necesitan de un sistema que limite la alta corriente que requiere el arco y tenga la propiedad de disminuir la resistencia a medida que se calienta por el paso de la corriente.

El balastro debe proveer el voltaje necesario para el arranque, así como limitar la corriente de la lámpara y regular la potencia de la misma como una función del voltaje de alimentación y de operación.

Existen dos tipos de balastros comúnmente usados para sistemas de alumbrado público que son:

- Balastro tipo reactor serie, conocido también como bobina de choke, inductancia serie, reactancia serie o simplemente reactor.
- Balastro tipo autotransformador auto-regulado, conocido también como auto-regulado o simplemente regulado.

En el caso del balastro tipo reactor serie, existe en bajo factor (conocido como factor de potencia normal) y en alto factor de potencia.

Las pérdidas en los balastros están relacionadas directamente con la potencia de la lámpara utilizada y el voltaje nominal de entrada.[17]

Las pérdidas en el balastro están asociadas al efecto joule, que se producen por el calentamiento de la bobina, estas pérdidas son proporcionales a la potencia de la luminaria y siempre estarán presentes, ya que las luminarias que utilizan lámparas de descarga en gases necesariamente requieren de un balastro para su funcionamiento.

Otro tipo de pérdidas que está asociado al balastro es la que se produce por el bajo factor de potencia del mismo, esto trae como consecuencia que se incremente la corriente de funcionamiento de la lámpara, lo que a su vez causa que se incremente las pérdidas en la red de alimentación; el uso del condensador sirve para compensar el bajo factor de potencia.[16]

En el cuadro # 2.3.1, se muestran las pérdidas de los balastos utilizados para lámparas de vapor de mercurio (HPL), y de sodio de alta presión (SON), según los datos técnicos de los fabricantes[18]. El porcentaje de pérdidas que se tiene varía entre el 5% y 15%; sin embargo en la práctica se considera como 25% de pérdidas luego de que se han efectuado las mediciones correspondientes.[7]

CUADRO 2.3.1
PÉRDIDAS EN BALASTROS

LÁMPARA	VOLTAJE NOMINAL (V)	FACTOR DE POTENCIA	PERDIDAS (W)
HPL125W	220	>0.90	12.0
HPL175W	220	>0.90	14.0
HPL250W	220	>0.90	16.0
HPL400W	220	>0.90	25.0
SON70W	220	>0.90	13.0
SON150W	220	>0.90	20.0
SON250W	220	>0.90	25.0
SON400W	220	>0.90	35.0

2.4.- VARIACIÓN DE VOLTAJE

La variación de voltaje influye directamente en la vida útil tanto del balastro como de la lámpara.

Las características que se tienen al disminuir o al aumentar el voltaje en las lámparas son:

Bajo voltaje

- Reducción del flujo luminoso
- Cambios de color
- Reduce la vida de la lámpara

Alto Voltaje

- Aumento del consumo de potencia
- Cambios de color
- Reduce la vida de la lámpara
- Riesgo de ruptura del tubo de lámpara.

En la tabla # 2.4.1, se indican los resultados de las pruebas realizadas para una luminaria equipada con lámpara de vapor de sodio alta presión de 400 W. Al aumentar el voltaje de la red, se tiene un aumento de potencia y corriente de la lámpara ⁹.

En la figura # 2.4.1, se representa la variaciones porcentuales de las características de lámpara de vapor de mercurio y vapor de sodio de alta presión, en función de las variaciones en tanto por ciento del voltaje de la red.[19]

TABLA # 2.4.1
PRUEBAS DE LABORATORIO

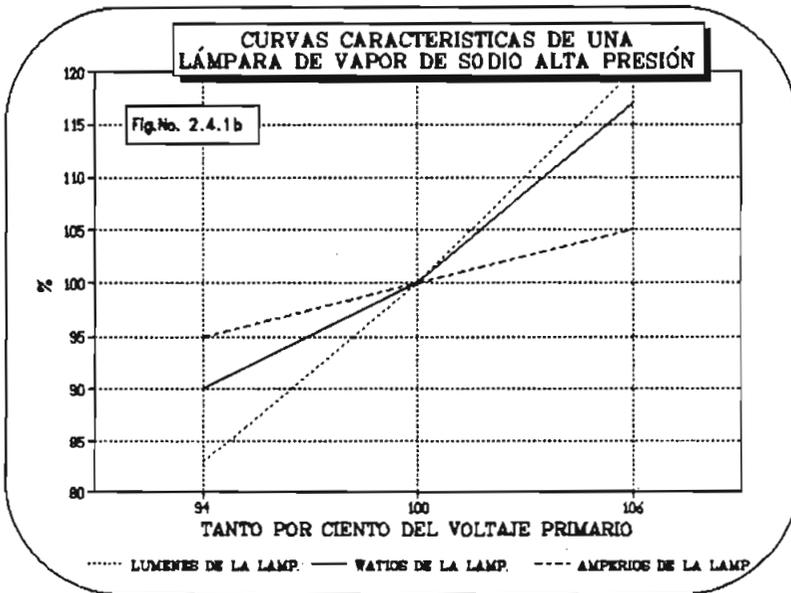
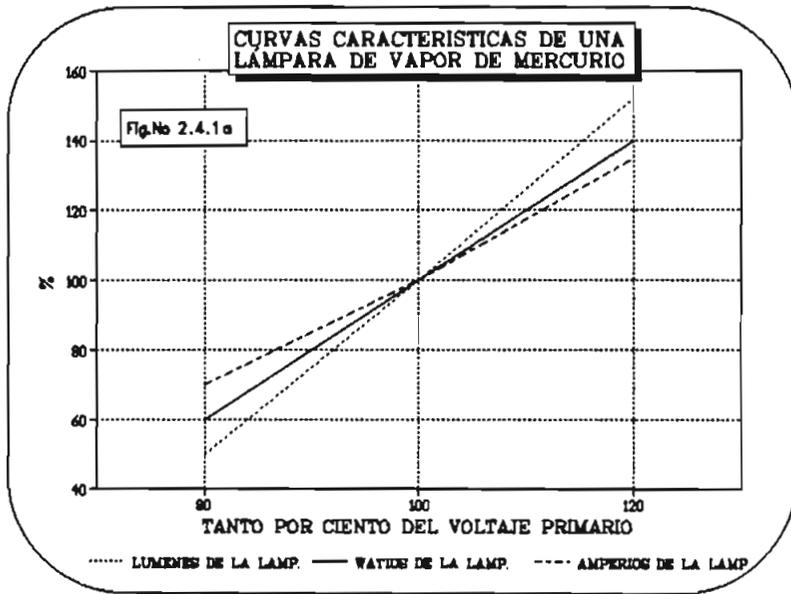
VOLTAJE DE RED (V)	VOLTAJE BOQUILLA (V)	POTENCIA (W)	CORRIENTE (A)
230	115	414	2.02
240	128	463	2.21
250	139	508	2.40

⁹ Pruebas realizadas en el laboratorio de alumbrado público de la E.E.Q.S.A.

Para los balastos tipo autotransformador auto-regulado se admite una variación de $\pm 10\%$, entre 114 y 140 V para el voltaje nominal de 127 V y entre 198 y 242 V para el voltaje nominal de 220 V.

Para los balastos tipo reactor serie la variación es $\pm 5\%$, entre 121 y 133 V para el voltaje nominal de 127 V y entre 209 y 231 V para el voltaje nominal de 220 V.

Es conveniente utilizar balastos tipo autotransformador auto-regulado (alto factor de potencia), debido a que soportan mayores variaciones de voltaje de línea que afectan la vida del balastro y de la lámpara. Los balastos tipo reactor serie al ser más susceptibles a las variaciones de voltaje se reduce la vida útil, a la vez que no existe la seguridad de lograr el encendido de la lámpara cuando el voltaje de línea es bajo.[7]



2.5.- EQUIPOS DE CONTROL

Existen fundamentalmente dos sistemas de control y protección para alumbrado público:

Control Individual

Una fotocelda (fotointerruptor) enciende y apaga automáticamente una sola luminaria. Este tipo de control se recomienda utilizar para lámparas con una potencia nominal de 400 W o superior, mediante un contactor accionado por una fotocelda, incorporada a la luminaria como parte integral.

Control por Grupo

Este sistema de control consiste de una fotocelda (fotointerruptor) y un contactor. En este caso, el sistema encenderá y apagará automáticamente un grupo de luminarias[20], a partir de cada centro de transformación, se llevará un conductor adicional(hilo piloto), controlado por una fotocelda y contactor unipolar conectado a una de las fases; las luminarias se conectarán en paralelo entre el hilo piloto y uno de los conductores de fase de la red secundaria, que corresponda a una fase diferente de la controlada

Fotoceldas

Las fotoceldas más comunes son las operadas térmicamente, existen adicionalmente las operadas magnéticamente, la ventaja más importante de las térmicas es que evitan falsas operaciones por luz accidental (relámpagos y faros de automóvil), etc.

Es importante verificar que el voltaje nominal de las fotoceldas, corresponda al voltaje nominal de alimentación. Una operación fuera de rango puede causar adelantos o retrasos en el encendido-apagado.

Todas las fotoceldas, deben contar con un dispositivo de protección contra descargas eléctricas atmosféricas (apartarrayos), a pesar que esto incrementa su costo.

Combinación de Interruptor-Contactor de Alumbrado Público

Existen dos tipos de interruptor-contactor:

- De cápsula hermética de mercurio o simplemente de cápsula de mercurio.
- De contactos al aire, conocidos también como hierro móvil o electromagnéticos.

Ambos tipos de combinación de interruptor-contactor, constan de interruptores termomagnéticos y un contactor alojados en la misma caja. La capacidad de la combinación interruptor-contactor debe seleccionarse de acuerdo a la siguiente tabla:[7]

CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR-CONTACTOR (Amp)	No. MÁXIMO RECOMENDADO DE LUMINARIAS A CONECTAR		
	70 W	100 W	150 W
2x30	40	30	20
2x35	40	30	20
2x40	--	35	22
2x50	--	--	25

Las recomendaciones de la tabla son sólo aplicables para balastros tipo auto-regulados, con voltaje de alimentación de 220 V.

2.6.- ESTRATEGIAS ADMINISTRATIVAS

En la implementación de acciones para el ahorro de energía en el alumbrado público, es importante considerar el horizonte, ya que las medidas identificadas normalmente requieren varios años de trabajo sistemático. La finalidad de las estrategias administrativas es proporcionar la metodología para implantar un efectivo programa de ahorro de energía sin afectar la calidad del servicio.

La metodología a seguir consta de los siguientes pasos:

- Levantamiento de un censo
- Análisis de alternativas de ahorro
- Implementación de la alternativa seleccionada
- Opciones de financiamiento

Levantamiento de un Censo

Para conocer el estado y características del equipo instalado, se requiere levantar un censo que comprenda los siguientes datos:

- Cantidad de luminarias.
- Tipo de fuente luminosa (si es incandescente, fluorescente, luz mixta, vapor de mercurio, vapor de sodio alta o baja presión)
- Potencia
- Ubicación
- Circuito medido

Este censo debe efectuarse por el área de alumbrado público de cada Empresa Eléctrica. También deberá implantarse un mecanismo mensual para mantenerlo actualizado, indicando los cambios ocurridos como: número, tipo y potencia de lámparas adicionales y/o lámparas retiradas.[21]

En el apéndice # 3, se indica un modelo de planilla para la realización del inventario en el alumbrado público.

Análisis de Alternativas de Ahorro de Energía

Fundamentalmente existen tres alternativas que son:

- A.- Cambio de lámpara y balastro
- B.- Cambio de Luminaria
- C.- Cambio o Adición de Controles.

A.- Cambio de Lámpara y Balastro

SI SE TIENE...	CAMBIAR A:	AHORRO
INCANDESCENTE	SODIO ALTA PRESIÓN	
300 W	70 W	71%
250 W	70 W	65%
200 W	70 W	56%
150 W	70 W	42%
LUZ MIXTA	SODIO ALTA PRESIÓN	
500 W	150 W	63%
250 W	70 W	65%
160 W	70 W	45%
VAPOR DE MERCURIO	SODIO ALTA PRESIÓN	
400 W	250 W	37%
250 W	150 W	40%
175 W	70 W	60%
125 W	70 W	44%
VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN	SODIO ALTA PRESIÓN	
400 W	250 W	37%
250 W	150 W	40%
150 W	100 W	33%

* Considerando un 25% de pérdidas en el balastro.

Recomendaciones

- 1.- Al cambiar la lámpara, se necesita instalar o cambiar el balastro. Se sugiere usar el balastro tipo autotransformador auto-regulado, porque soporta mayores variaciones de voltaje de línea, que afectan la vida del balastro y de la lámpara. Adicionalmente hay algunos fabricantes que pueden ofrecer paquetes que incluyen: balastro, portalámparas (socket) y herrajes.
- 2.- En el caso de sustitución de la lámpara de vapor de mercurio de 400 W, por vapor de sodio de alta presión de 250 W, o en el caso de reemplazar vapor de sodio de alta presión de 250 W, por vapor de sodio de alta presión de 150 W, es necesario ajustar la posición del portalámparas para mantener la misma curva de distribución de luz. [24]

B.- Cambio de Luminaria

Una luminaria con lámpara en posición horizontal (tipo "OV"), es más eficiente que una luminaria en posición vertical (tipo suburbano), en aproximadamente 60%.

Si se decide cambiar la luminaria suburbana existente con lámpara de vapor de mercurio o luz mixta, se debe cambiar por un nuevo tipo "OV", con lámpara y balastro de vapor de sodio de alta presión.

A continuación se mencionan las opciones que pueden darse considerando las alternativas "A" y "B":.

**Alternativas "A" y "B"
(Opciones)**

SI SE TIENE	SE SUGIERE	
Luminaria suburbana en buenas condiciones con lámpara de vapor de mercurio.	Cambiar la lámpara y el balastro a vapor de sodio alta presión.	
Luminaria suburbana en malas condiciones con lámpara de vapor de mercurio.	Cambiar a luminaria tipo "OV" con lámpara de sodio alta presión.	
Luminaria suburbana en buenas condiciones con lámpara de vapor de sodio alta presión.	Cambiar a luminaria tipo "OV" sólo en caso de existir un programa de reemplazo de luminarias en grupo.	
Luminaria suburbana en malas condiciones con lámpara de vapor de sodio alta presión.	Cambiar a luminaria tipo "OV" con lámpara de vapor de sodio alta presión de acuerdo a la siguiente tabla:	
	Existe	Cambiar a:
	Sodio alta presión 150 W	Sodio alta presión 100 W
	Sodio alta presión 100 W	Sodio alta presión 70 W
	Sodio alta presión 70 W	Sodio alta presión 70 W
Luminaria suburbana en buenas condiciones con lámpara de luz mixta.	Cambiar a lámpara de vapor de sodio alta presión e instalar el balastro correspondiente.	
Luminaria suburbana en malas condiciones con lámpara de luz mixta.	Cambiar a luminaria tipo "OV" con lámpara de vapor de sodio alta presión.	
Luminaria tipo farol en buenas o malas condiciones con lámpara incandescente.	Cambiar a luminaria tipo "OV" con lámpara de vapor de sodio alta presión.	
Luminaria tipo "OV" en buenas condiciones con lámpara de vapor de mercurio.	Sustituir la lámpara de mercurio por una de vapor de sodio alta presión con su balastro correspondiente.	
Luminaria tipo "OV" en malas condiciones con lámpara de vapor de mercurio.	Reemplazar por una luminaria nueva del tipo "OV" con lámpara de vapor de sodio alta presión.	
Luminaria tipo farol colonial en buenas condiciones con lámpara de vapor de mercurio.	Sustituir la lámpara existente por una de vapor de sodio alta presión con su balastro correspondiente.	
Luminaria tipo farol colonial en buenas condiciones con lámpara incandescente o luz mixta.	Sustituir la lámpara actual por una de vapor de sodio alta presión con su balastro correspondiente.	
Esferas decorativas con lámparas de vapor de mercurio, de luz mixta o incandescente.	Aplicar cualquiera de las 2 soluciones anteriores para Farol Colonial.	

C.- Cambio o Adición de Controles

El control de apagado y encendido de los sistemas de alumbrado público normalmente se efectúa mediante fotocelda individual o por medio de un control por grupo, operado por un interruptor-contactor.

Para ahorrar energía, puede utilizarse dispositivos que se adicionan o sustituyen al control anterior, que permiten una disminución en la energía consumida reduciendo el nivel de iluminación, en las horas de menor movimiento vehicular y peatonal.

En el momento de sustituir las líneas de distribución aérea por líneas subterráneas, instalar medidores en los sistemas de alumbrado público; sustituir las fotocélulas actuales por sistemas de reloj o interruptores horarios controlados a distancia, instalar sistemas de reducción del flujo luminoso en horas nocturnas. [22]

La reducción del flujo luminoso se puede realizar básicamente de tres maneras:

- Ajuste de la impedancia (con una bobina extra)
- Controlando el voltaje de alimentación.
- Control de fase (circuito electrónico) [23]

Los controles o dispositivos para ahorro de energía son de dos tipos:

- Para instalación en cada luminaria.
- Para instalación por cada grupo de luminarias (circuito).

Los dispositivos para ahorro de energía deberán encender a potencia completa y no deberán de reducir en más del 30% la potencia de la lámpara para no afectar considerablemente los niveles de iluminación existentes, ni la vida de la lámpara.

Dispositivos Ahorradores Individuales

a) Para Adicionarse en el Balastro Actual

Requerimientos:

- Es necesario instalarlo en cada luminaria
- Deberá conectarse de acuerdo al diagrama proporcionado por el fabricante.
- En la luminaria donde se instale, deberá existir el espacio suficiente para que el dispositivo quede alejado 5 cm por lo menos de la laminación del balastro (núcleo).
- Deberá verificarse que el dispositivo a instalar, sea compatible con el balastro existente. Esto deberá consultarse con el fabricante del dispositivo y el fabricante del balastro.

b) En Sustitución del Balastro Actual

Requerimientos:

- Es necesario sustituir el balastro actual
- Deberá de conectarse de acuerdo al diagrama proporcionado por el fabricante.
- En la luminaria donde se instale deberá existir el espacio suficiente para alojar el nuevo balastro separando el ignitor, el capacitor y el dispositivo ahorrador por lo menos 5 cm de la laminación del balastro.

Dispositivos Ahorradores para Instalación por Grupo

Existen dos tipos:

- a) Los que sustituyen al control existente.
- b) Los que se agregan al control existente.

Requerimientos:

- Se deberán instalar en donde esté ubicada la acometida.
- Deberá conectarse de acuerdo al diagrama proporcionado por el fabricante.
- Se debe obtener una aprobación previa de la Empresa Eléctrica, para el uso de estos dispositivos con el objeto de fijar la reducción en el consumo.

Implantación de la Alternativa Seleccionada

- Dividir la población o ciudad en zonas de acuerdo a los convenios existentes con la Empresa Eléctrica.
- Clasificar las zonas por orden de importancia.
- Implantar la alternativa seleccionada, siguiendo las recomendaciones de los pasos anteriormente descritos, empezando por la zona de mayor importancia. [24]

Opciones de financiamiento

Existen básicamente tres fuentes de financiamientos:

- Tarifas que se recaudan por el costo del alumbrado público a los abonados.
- Financiamiento vía concesión de proyectos a empresas privadas de ingeniería, especialmente aquellas que introducen nuevas tecnologías en el alumbrado público.
- Recursos propios de la Empresa Eléctrica.

2.7.- ESTUDIO COMPARATIVO

Para el estudio se toma como referencia el sistema eléctrico a cargo de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

Actualmente se utiliza lámparas de sodio de alta presión en avenidas principales y de circulación rápida, sodio de baja

presión únicamente en los túneles, mercurio halogenado para el centro histórico; vapor de mercurio de alta presión y mixtas para el resto de la ciudad.

La Empresa Eléctrica Quito S.A, tiene a su cargo 141.627 luminarias instaladas, de las cuales 129.833 son de vapor de mercurio y de éstas el 85% son de 125 W (110.343 fuentes luminosas). El total de luminarias instaladas hasta el 31 de diciembre de 1995, se resumen en el cuadro # 2.7.1. y el tipo de lámpara se visualiza en la figura # 2.7.1.

Se observa que las lámparas de mayor difusión en el sistema de alumbrado público, generalmente han sido hasta la presente fecha las de 125 W de vapor de mercurio, por tanto son las que significan la mayor potencia consumida (14 MW). Estas lámparas pueden ser cambiadas con grandes ventajas por lámparas de sodio alta presión de 70 W, lo cual significa que existe un ahorro de potencia y energía.

Al adoptar estos procedimientos se está reduciendo el uso de la potencia instalada, el gasto de la energía es menor, y por lo tanto, se está preservando la potencia disponible a nivel de generación.

El estudio realizado supone que los niveles lumínicos actuales son adecuados y bajo esta característica se simula el cambio del sistema de iluminación por otro más eficiente, de tal manera que los niveles de iluminación con el sistema eficiente sean por lo menos igual al convencional, de cuyos resultados se propone la sustitución de las luminarias de vapor de mercurio (HG) y luz mixta (MS) por vapor de sodio de alta presión (NA) en las siguientes potencias:

MS-160W	por	NA-50W	HG-250W	por	NA-150W
HG-125W	por	NA-70W	HG-400W	por	NA-250W
HG-175W	por	NA-100W			

CUADRO # 2.7.1**TOTAL DE LUMINARIAS INSTALADAS POR LA E.E.Q.S.A
HASTA EL 31-DIC-1995**

TIPO	TOTAL	TOTAL POTENCIA (W) *
MERCURIO 125 W	110.343	13.792.875
MERCURIO 175 W	13.279	2.323.825
MERCURIO 250 W	1.116	279.000
MERCURIO 400 W	5.095	2.038.000
SODIO 70 W	1.061	265.250
SODIO 150 W	71	10.650
SODIO 250 W	1.470	367.500
SODIO 400 W	7.156	2.862.400
LUZ MIXTA 160 W	1.015	162.400
CUARZO HALÓGENO 500 W	825	412.500
CUARZO HALÓGENO 1000 W	20	20.000
CUARZO HALÓGENO 1500 W	176	264.000
TOTAL	141.627	22.607.420

FUENTE: Empresa Eléctrica Quito S.A.

* No se considera la potencia del equipo eléctrico.

En la Empresa Eléctrica Quito S.A, se pueden sustituir, 130.848 luminarias (92%), con una potencia instalada de 20.251 KW. Al realizar la sustitución por tecnología eficiente, la potencia disminuye a 12.352 KW, (potencia reducida 7.899 KW), y la energía consumida se reduce de 88.699 MWh/año a 54.102 MWh/año (energía conservada 34.597 MWh/año), existiendo un ahorro de potencia y energía en el orden del 39%, como se indica en el cuadro # 2.7.2.

Las siguientes ventajas presenta el uso de lámparas de sodio alta presión, en sustitución de las lámparas de mercurio:

- Menor demanda de potencia para iguales flujos luminosos se reduce un 40% aproximadamente, dependiendo de las potencia disponibles en el mercado.
- Para similares potencias, el flujo luminoso se incrementa en un 100% aproximadamente. Por ejemplo en 100W la lámpara de sodio alta presión proporciona 9500 lumens contra 4400 lumens de una lámpara de vapor de mercurio. Por lo tanto, usar siempre lámparas de vapor de sodio de alta presión para obtener; al menos un 50% de ahorro de energía (figura # 2.7.2) .
- Menor consumo de energía para igual flujo luminoso y similares niveles de utilización (horas de funcionamiento).
- Mayor eficacia o rendimiento luminoso (lumen/vatio).

Las desventajas de las lámparas de sodio alta presión son:

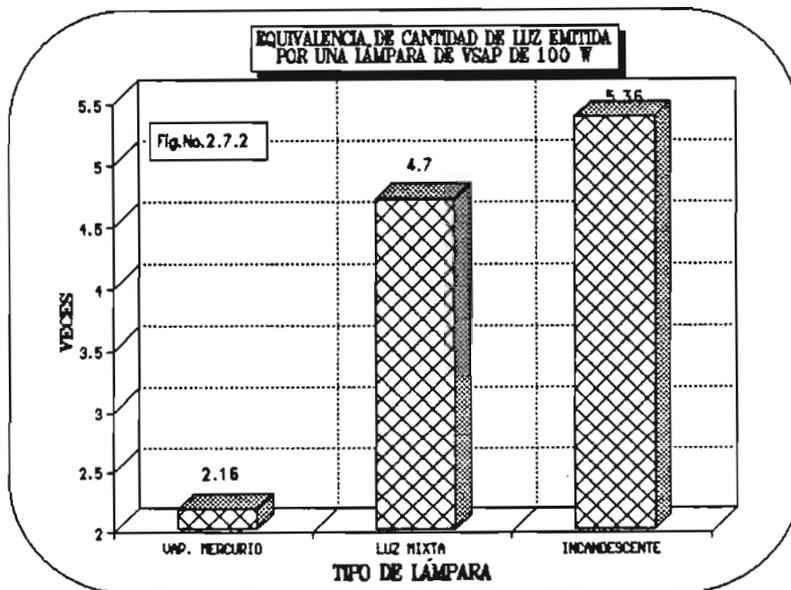
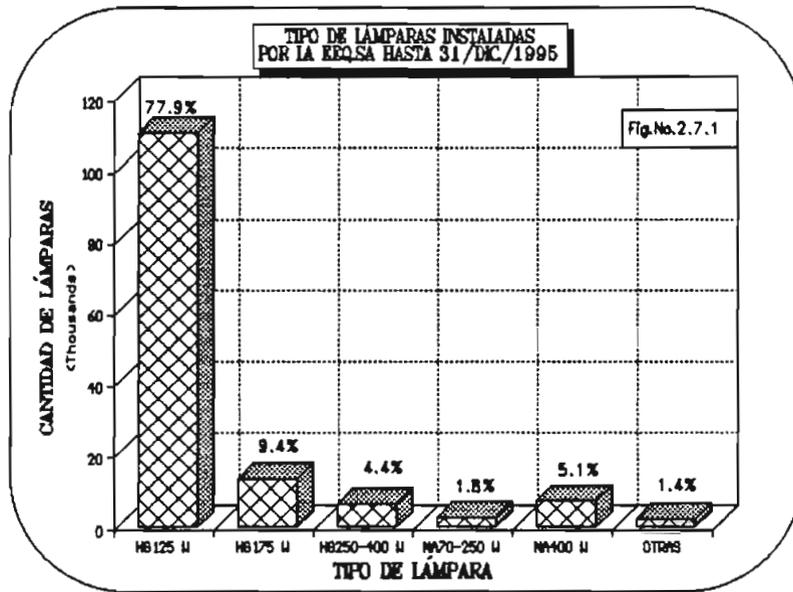
- Costos iniciales más altos
- Menor rendimiento en color.
- Al reemplazar una lámpara de mercurio, por una de sodio alta presión se requiere el cambio del balastro, condensador e ignitor o dispositivo de arranque. [25]

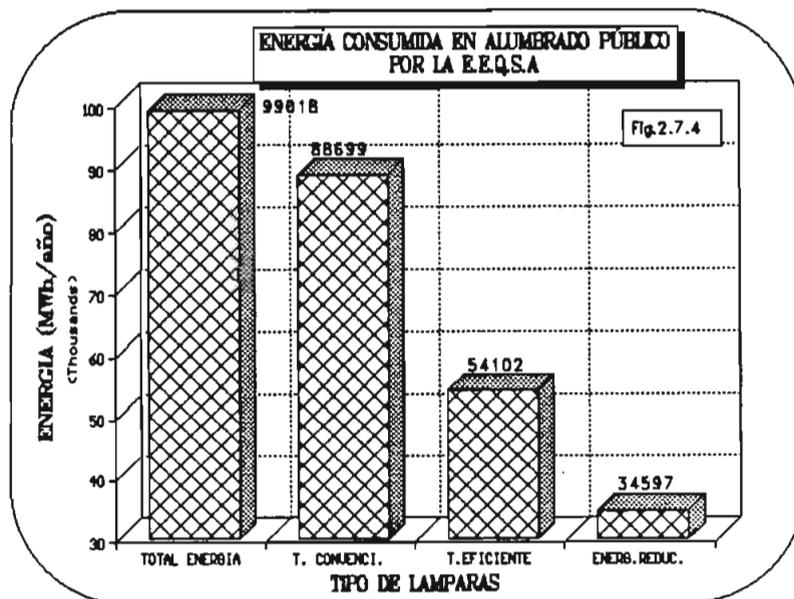
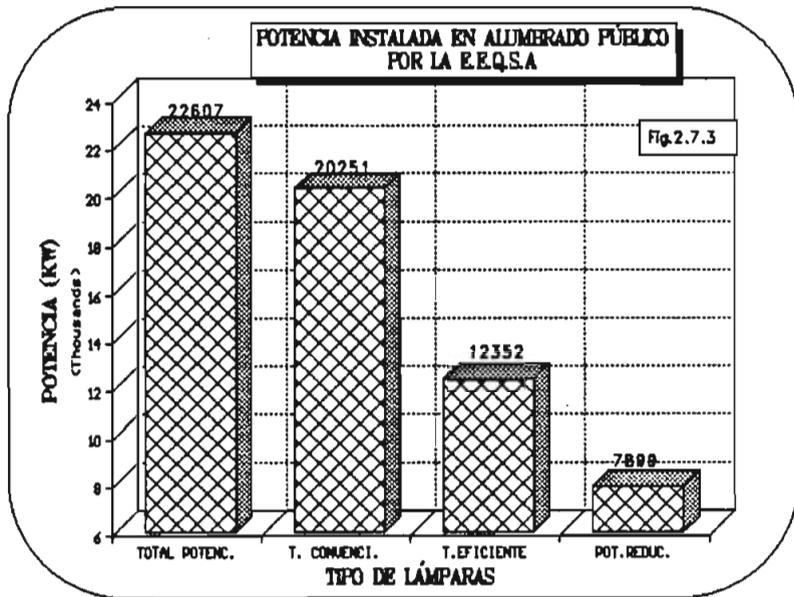
La potencia instalada y la energía consumida en alumbrado público por la EEQ, se observan en las figuras # 2.7.3 y 2.7.4.

**CUADRO # 2.7.2
POTENCIA Y ENERGÍA CONSERVADA**

LUMINARIAS EXISTENTES				
DESCRIPCIÓN LÁMPARA	POTENCIA (W)	PÉRDIDAS * BALASTRO (W)	CANTIDAD LUMINARIAS	POTENCIA TOTAL (KW)
LUZ MIXTA	160	0	1.015	162
MERCURIO	125	12	110.343	15.117
MERCURIO	175	14	13.279	2.510
MERCURIO	250	16	1.116	297
MERCURIO	400	25	5.095	2.165
NÚMERO DE LUMINARIAS			130.848	
POTENCIA INSTALADA TECNOLOGÍA CONVENCIONAL (KW)				20.251
ENERGÍA CONSUMIDA TECNOLOGÍA CONVENCIONAL (MWh/año)				88.699
LUMINARIAS REQUERIDAS				
DESCRIPCIÓN LÁMPARA	POTENCIA (W)	PÉRDIDAS * BALASTRO (W)	CANTIDAD LUMINARIAS	POTENCIA TOTAL (KW)
SODIO A.P	50	12	1.015	63
SODIO A.P	70	13	110.343	9.158
SODIO A.P	100	16	13.279	1.540
SODIO A.P	150	20	1.116	190
SODIO A.P	250	25	5.095	1401
NÚMERO DE LUMINARIAS			130.848	
POTENCIA INSTALADA TECNOLOGÍA EFICIENTE (KW)				12.352
ENERGÍA CONSUMIDA TECNOLOGÍA EFICIENTE (MWh/año)				54.102
POTENCIA REDUCIDA (KW)				7.899
ENERGÍA CONSERVADA (MWh/año)				34.597

* Datos de los catálogos de los fabricantes





CAPITULO III

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL AHORRO

DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE

ALUMBRADO PÚBLICO

CAPITULO III

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL AHORRO DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

3.1.- EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS TÉCNICAS Y ADMINISTRATIVAS

Existen varios elementos que influyen en la evaluación económica o financiera de los costos de una instalación de alumbrado. En el caso presente, a igual que en la mayoría, el consumo de energía es uno de los rubros principales de la evaluación económica.

En el capítulo II, se analizó las alternativas para el ahorro de energía, de las cuales la de mayor importancia es la sustitución de lámparas de vapor de mercurio con lámparas de sodio de alta presión. El beneficio se obtiene a lo largo del sistema eléctrico ya que como se dijo, a más de reducir el uso de la potencia instalada, la potencia transmitida para alumbrado público es menor; por lo tanto las inversiones que se deben realizar a futuro inmediato puede ser trasladadas a mediano plazo.[24]

En consecuencia, los beneficios demuestran que este tipo de acciones son fuentes de recursos económicos para el sistema eléctrico.

Los niveles de utilización (horas de funcionamiento), en promedio es de 12 horas diarias de cada lámpara (4.380 horas/año). La energía consumida por la tecnología convencional (lámparas de vapor de mercurio y mixtas) es de 88.699 MWh/año, para el sistema de alumbrado público de la Empresa Eléctrica Quito S.A; mientras que al utilizar tecnología eficiente (lámparas de vapor de sodio de alta presión), la energía

requerida es de 54.102 MWh/año, que representa el 39.0% (34.597MWh/año) de ahorro de energía.

Si se sustituyen las lámparas de vapor de mercurio de 125 W, que representan el mayor número de lámparas instaladas (77.9%), por lámparas de vapor de sodio de alta presión de 70 W, existe un ahorro de energía en el orden del 39.4%. La energía reducida es de 26.100 MWh/año. [25]

Considerando que el costo marginal de la energía a nivel de red de distribución de 83 USD/MWh¹, el ahorro económico al sustituir las lámparas de tecnología convencional por eficiente es de 2.871.551 USD en un año, así mismo, si sólo se sustituyen las lámparas de HG-125 W por NA-70 W existe 2.166.300 USD de ahorro en un año; con una inversión de 5.097.846 USD.

A continuación se analizan las alternativas de utilizar dispositivos ahorradores de energía, y la utilización de relojes, que podrían ser instalados en el sistema de la E.E.Q.S.A.

Utilización de dispositivos de ahorro de energía

La potencia total instalada por la E.E.Q.S.A en alumbrado público es alrededor de 22,6 MW. Considerando la utilización de los dispositivos ahorradores de energía, se puede disminuir la potencia absorbida por cada lámpara en un 30%².

El tiempo de utilización del dispositivo ahorrador de energía, puede ser utilizado en las horas de menor tráfico vehicular y

¹ FUENTE: INECEL

² Los dispositivos para ahorro de energía, deberán encender a potencia completa y no deberán de reducir en más del 30% la potencia de la lámpara, para no afectar considerablemente los niveles de iluminación existentes, ni la vida de la lámpara.

de personas, por ejemplo entre las 22h00 y las 4h00 (6 horas).

La potencia a ser reducida es aproximadamente de 6,78 MW y la energía ahorrada sería de 14.848 MWh/año, obteniéndose un ahorro de 1.232.384 USD al año.

Utilización de relojes

Debido a que las fotoceldas funcionan cuando se tiene la incidencia de rayos luminosos, se ha observado, que por ejemplo en días lluviosos, los circuitos de alumbrado público se ponen en funcionamiento en horas del día; con lo que se está consumiendo energía que no es justificable.

En la ciudad de Quito, se tiene muy bien definidas las estaciones climáticas. Para evitar lo anterior, se podría reemplazar las fotoceldas por relojes programados para activar los circuitos de alumbrado.

El tiempo de utilización de las luminarias es en promedio de 12 horas, este tiempo puede disminuirse con la utilización de relojes por ejemplo en 30 minutos, es decir que los circuitos de alumbrado público se activen a las 18h30 y se desconecten a las 6h00.

La energía absorbida con esta alternativa sería de 94.864 MWh/año, existiendo un ahorro de 4.125 MWh/año (4%), con respecto a sistema actual. El ahorro económico es de 342.334 USD por año. [22]

De las alternativas analizadas para el ahorro de energía en alumbrado público, se observa que la sustitución de lámparas representa el valor más alto de energía a ser reducida.

La energía puede ser conservada de algunas maneras, una de ellas es el "sacrificio" (desconectar equipos), no es examinada

en este trabajo por considerarse contraria a los criterios de "desarrollo sustentable", y porque no encuadra en la definición de conservación. Conservar energía es gastar menos sin alterar los hábitos de consumo. [21]

Los resultados económicos para las alternativas de ahorro de energía para la red de alumbrado público de la E.E.Q.S.A, se resumen en el cuadro # 3.1.1.

CUADRO # 3.1.1

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS DE AHORRO DE ENERGÍA EN LA RED DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA E.E.Q.S.A

ALTERNATIVA	POTENCIA REDUCIDA KW	ENERGÍA REDUCIDA MWh/año	AHORROS USD
SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS	7.899	34.597	2.871.551
SUSTITUCIÓN HG-125W POR NA-70W *	5.959	26.100	2.166.300
DISPOSITIVOS AHORRADORES	6.780	14.848	1.232.384
RELOJES	-----	4.125	342.334

* De uso generalizado en alumbrado público en la E.E.Q.S.A.

3.2.- SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS

Las condiciones asumidas son:

- Se sustituye lámparas de vapor de mercurio y mixtas por vapor de sodio de alta presión.
- Las lámparas de vapor de sodio de alta presión proporcionan un nivel de iluminación equivalente al de la lámpara sustituida.

- Los niveles de utilización (horas de funcionamiento) son los mismos.
- La vida útil considera el período máximo posible de utilización, sin tomar en cuenta la reducción del nivel de iluminación por el uso.
- La sustitución por vapor de sodio de alta presión, implica cambio de lámpara, balastro, capacitor e ignitor. [25]

Las características (potencia, flujo luminoso, vida útil, etc) y costos para la sustitución de lámparas de vapor de mercurio y mixtas, por vapor de sodio alta presión, se indica en el cuadro # 3.2.1.

3.3.- IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO

Un nuevo sistema se tiene cuando por primera vez se va a instalar el sistema de alumbrado público en una zona determinada. En este caso se analiza la factibilidad de las alternativas para la ejecución de un nuevo sistema de alumbrado al utilizar luminarias con lámparas de vapor de mercurio, o luminarias con lámparas de vapor de sodio de alta presión. Las condiciones asumidas son las siguientes:

- Las alternativas son técnicamente factibles de instalar.
- Entregan similares niveles de iluminación.
- Las alternativas desde el punto de vista de iluminación son recomendadas para alumbrado público.
- La vida útil representa el período máximo posible de utilización, sin tomar en cuenta la reducción de iluminación debido al uso.

CUADRO # 3.2.1
TPO DE LÁMPARAS PARA LA SUSTITUCIÓN

DESCRIPCIÓN	HG-125W	HG-175W	HG-250W	HG-400W	MS-160W	NA-50W	NA-70W	NA-100W	NA-150W	NA-250W
POTENCIA DE LA LÁMPARA (W)	125	175	250	400	160	50	70	100	150	250
PÉRDIDAS EN EL BALASTRO (W)	12	14	16	25	160	12	13	16	20	25
POTENCIA TOTAL (W)	137	189	266	425	160	62	83	116	170	275
VIDA ÚTIL DE LÁMPARA (horas)	13500	15000	15000	15000	6000	15700	15700	15700	15700	18000
VIDA ÚTIL IGNITOR-BALASTRO (horas)	3.1	3.4	3.4	3.4	1.4	3.6	3.6	3.6	3.6	4.1
VIDA ÚTIL IGNITOR-BALASTRO (años)	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
FLUJO LUMINOSO (lm)	6300	8600	13500	23000	3150	3500	5800	9500	13500	25000
EFICACIA (lm/w)	46	46	51	54	20	56	70	82	79	91
PRECIO DE LA LÁMPARA (USD)	5.2	10.3	11.3	18.3	6.5	8.7	10.9	15.2	16.1	18.7
PRECIO DEL BALASTRO (USD)	11.5	13.9	18.3	24.9		12.2	12.2	17.4	18.7	24.8
PRECIO DEL IGNITOR (USD)						9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
PRECIO DE LOS ACCESORIOS (USD)	13.5	13.5	14.5	14.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	14.5
MANO DE OBRA + TRANSPORTE (USD/hora)	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9
PRECIO TOTAL (USD)	30.2	37.7	44.1	57.7	20	44	46.2	55.7	57.9	67.6
USD (horas/año)	4380	4380	4380	4380	4380	4380	4380	4380	4380	4380
KWh/año CONSUMIDOS POR LA LÁMPARA	5.48	7.67	10.95	17.52	7.01	2.19	3.07	4.38	6.57	10.95
FUENTE: E.E.Q.S.A., Distribuidores de equipos de alumbrado público										

Las características de las luminarias a utilizar en un nuevo sistema de alumbrado público, se indican en el cuadro

3.3.1.

3.4.- CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD DEL ALUMBRADO PÚBLICO POR LA SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS

El parámetro de comparación es el costo de operación (costo inicial de la lámpara y costo de la energía), incurrido en cada una de las alternativas durante la vida útil de funcionamiento de las lámparas. El análisis económico considera las siguientes premisas:

- Período de análisis 5 años.
- Tasa de descuento 12%, debido a que los programas de uso eficiente pueden ser implementados en el Ecuador con el concurso externo de recursos. Además este valor es la tasa de captación de recursos externos por parte de INECEL para la construcción de obras.[27]
- Precio marginal de energía a nivel de red de distribución de 83 USD/MWh³.
- Los costos de mantenimiento e instalación se suponen iguales para las alternativas, por tanto no intervienen en los cálculos.

La mejor alternativa tendrá el menor costo anual equivalente⁴. En el cuadro # 3.4.1, se presentan valores de: costos iniciales de lámparas, costo de la energía, %TIR, costos netos actuales (CNA) y costos equivalentes anuales(CAE), para distintos tipos de lámparas.[26]

³ Costo establecido por INECEL

⁴ "Ingeniería Económica" Celio Vega

CUADRO # 3.3.1
LAMPARAS PARA LA EJECUCION DE UN NUEVO SISTEMA DE ALUMBRADO

DESCRIPCION	HC-125W	HC-175W	HC-250W	HC-400W	MS-160W	MA-50W	MA-70W	MA-100W	MA-150W	MA-250W
POTENCIA DE LA LAMPARA (W)	125	175	250	400	160	50	70	100	150	250
PERDIDAS EN EL BALASTRO (W)	12	14	16	25	25	12	13	16	20	25
POTENCIA TOTAL (W)	137	189	266	425	180	62	83	116	170	275
VIDA ÚTIL DE LA LAMPARA (horas)	13500	15000	15000	15000	6000	15700	15700	15700	15700	18000
VIDA ÚTIL IGNITOR-BALASTRO (horas)	3.1	3.4	3.4	3.4	1.4	3.6	3.6	3.6	3.6	4.1
VIDA ÚTIL DE LA LAMPARA (años)	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
VIDA ÚTIL DE LA LAMPARA (años)	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
VIDA ÚTIL DE LA LAMPARA (años)	43800	43800	43800	43800	43800	43800	43800	43800	43800	43800
FLUJO LUMINOSO (lm)	6300	8600	13500	23000	3150	3500	5800	9500	13500	2500
Eficiencia (lm/w)	46	46	51	54	20	56	70	82	79	91
PRECIO DE LA LAMPARA (USD)	5.2	10.3	11.3	18.3	6.5	8.7	10.9	15.2	16.1	18.7
PRECIO DEL BALASTRO (USD)	11.5	13.9	18.3	24.8		12.2	12.2	17.4	18.7	24.8
PRECIO DEL IGNITOR (USD)						9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
PRECIO DE LA LAMPARA	50.7	48.4	144.3	146.1	37	47.8	50	79.6	86.1	147
PRECIO DE LOS ACCESORIOS (USD)	13.5	13.5	14.5	14.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	14.5
MANO DE OBRA + TRANSPORTE (USD/hora)	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9
COSTO DEL CAMBIO (USD/lum)	7.6	7.6	9.2	9.2	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	9.2
COSTO DE MANTENIMIENTO (USD/lum)	4.6	4.6	5.7	5.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	5.7
PRECIO TOTAL (USD)	88.5	93.7	197.6	212.9	64.6	99.4	103.8	142.9	151.6	223.8
USO DE LA LAMPARA (horas/año)	4380	4380	4380	4380	4380	4380	4380	4380	4380	4380
kWh/año CONSUMIDOS POR LA LAMPARA	548	767	1095	1752	701	219	307	438	657	1095
kWh/año CONSUMIDOS POR LA LAMPARA	600	828	1165	1862	701	272	364	508	745	1205

FUENTE: E.E.O.S.A. Distribuidoras de equipos de alumbrado público

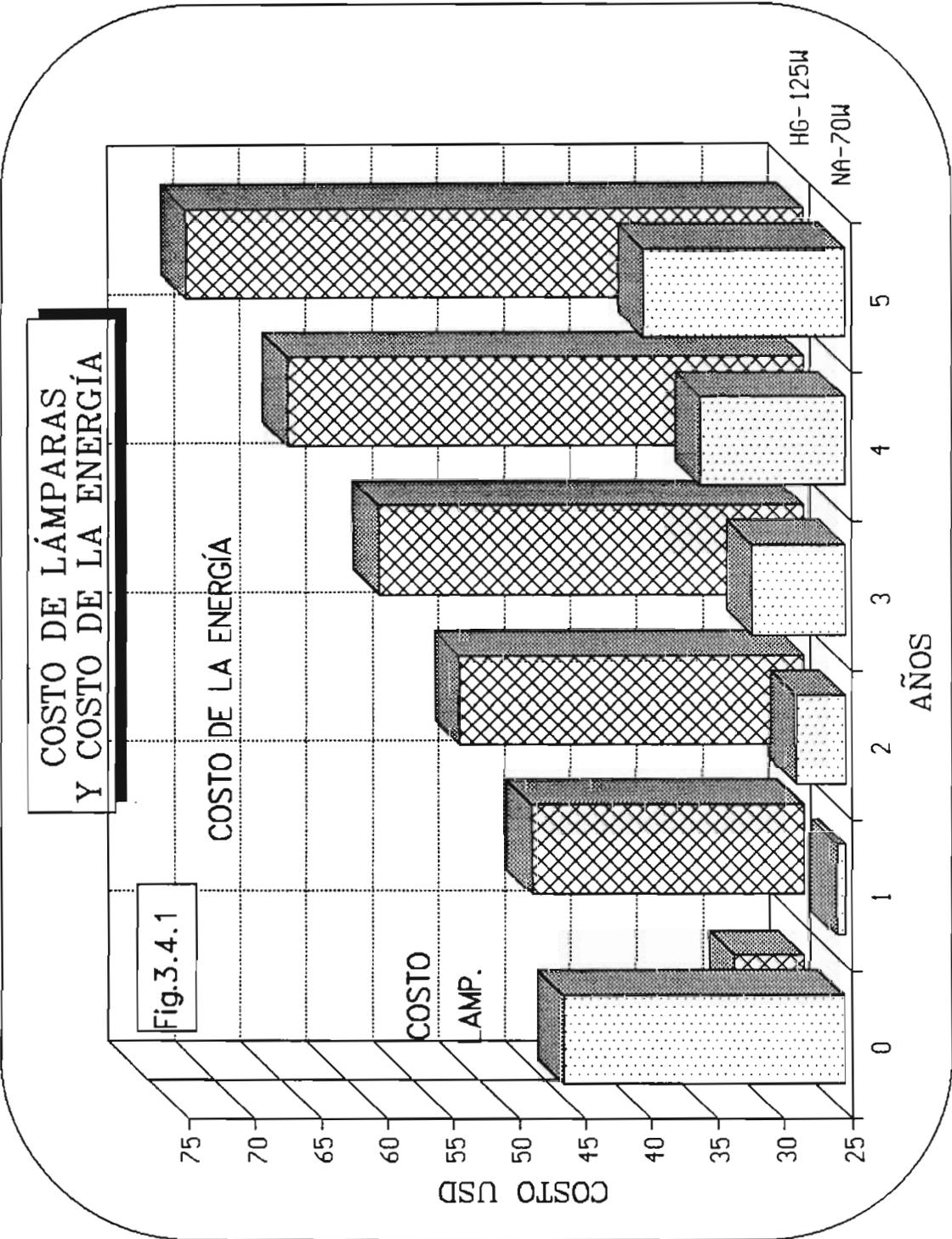
En el cuadro, se observa que las lámparas de sodio de alta presión, presentan el menor costo anual equivalente, respecto a las lámparas de vapor de mercurio, además el TIR obtenido, tiene valores superiores a la tasa de descuento, con lo que es factible económicamente realizar la sustitución.

El flujo de los valores del costo inicial y costo de la energía para las lámparas de mercurio de 125 W y lámparas de vapor de sodio alta presión de 70 W, se representa en la figura # 3.4.1.

CUADRO # 3.4.1
COSTO INICIAL DE LAS LÁMPARAS Y COSTO DE LA ENERGÍA (USD)

Año	HG-125W	HG-175W	HG-250W	HG-400W	MS-160W	NA-50W	NA-70W	NA-100W	NA-150W	NA-250W
0	30.2	37.7	44.1	57.6	20	44	46.2	55.7	57.9	67.6
1	45.5	63.7	90.9	145.4	58.2	18.2	25.5	36.4	56	90.9
2	51.0	71.3	101.8	162.8	65.2	20.4	28.6	40.8	62.7	101.8
3	57.1	79.9	114.0	182.4	73.0	22.8	32.0	45.7	70.2	114.0
4	63.9	89.5	127.7	204.3	81.8	25.6	35.8	51.1	78.7	127.7
5	71.6	100.2	143.0	228.8	91.6	28.6	40.1	57.3	88.1	143.0
XTIR	-	-	-	-	-	39.5	57	69	103.9	143.7
CNA	172.9	246.7	361.7	591.5	239.8	37.2	67.6	106.8	192.1	338.2
CAE	48.0	68.4	100.3	164.1	66.5	10.3	18.8	29.6	53.3	93.8

% TIR: Tasa Interna de Retorno
CNA : Costo Neto Actual (USD)
CAE : Costo Anual Equivalente (USD)



Ahorros de la sustitución

Los ahorros incluyen inversión por reemplazo y diferencia en costos de operación (costo inicial de las lámparas y costo de la energía), en valores corrientes.

Los valores de los ahorros por la sustitución de lámparas, el CNA y CAE para cada alternativa, se determina en el cuadro # 3.4.2.

El valor residual de la inversión es nulo, ya que las lámparas una vez que han cumplido con su vida útil no tienen valor comercial alguno. [26]

En la figura # 3.4.2, se representa el flujo de caja para el ahorro de las alternativas analizadas; en la sustitución de lámparas.

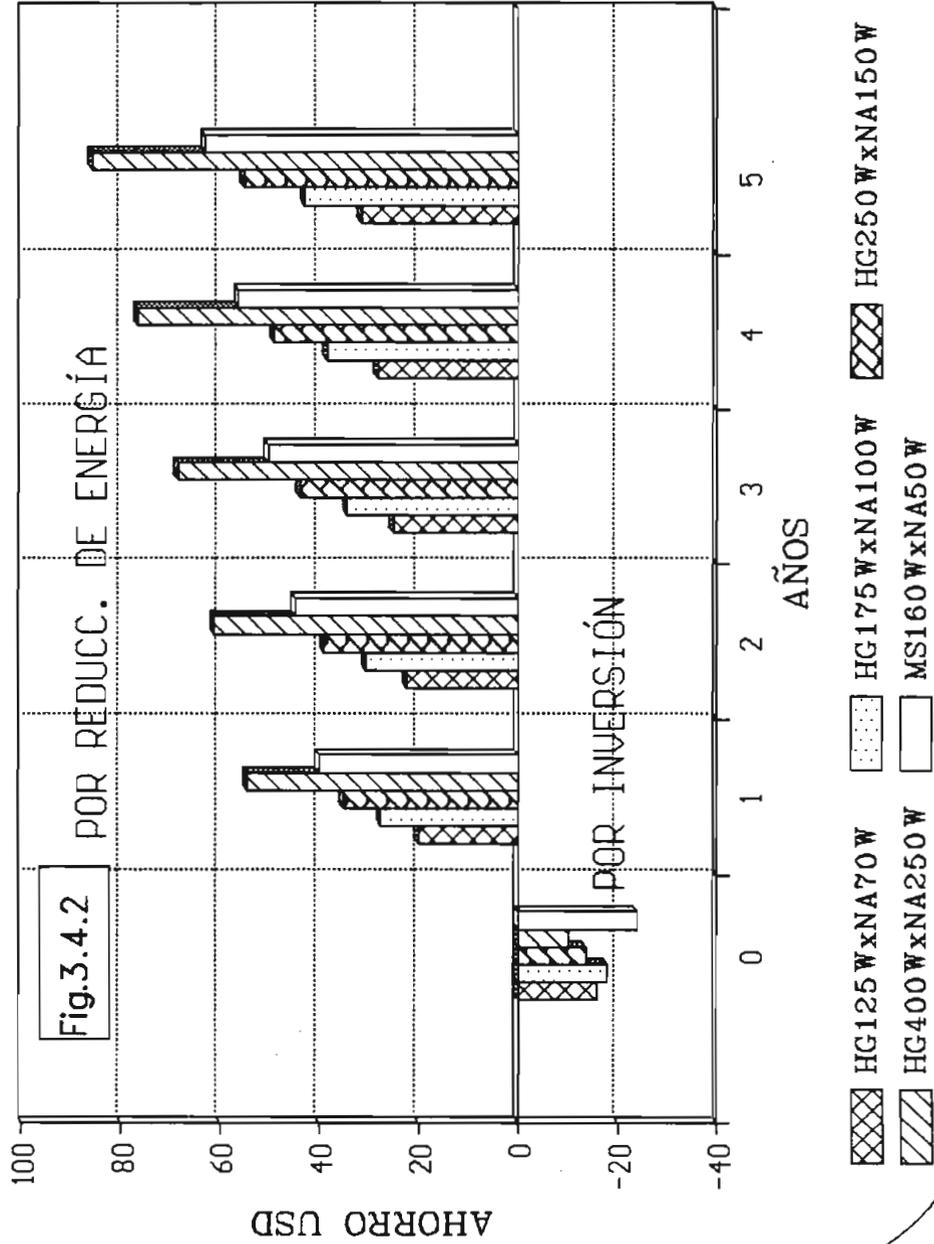
CUADRO # 3.4.2
AHORROS DE LA SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS (USD)

Año	HG-125W POR NA-70W	HG-175W POR NA-100W	HG-250W POR NA-150W	HG-400W POR NA-250W	MS-160W POR NA-50W
0	-16	-18	-13.8	-10	-24
1	20	27.3	34.9	54.5	40
2	22.4	30.6	39.1	61.0	44.8
3	25.1	34.2	43.8	68.4	50.2
4	28.1	38.4	49.0	76.6	56.2
5	31.5	43.0	54.9	85.8	62.9
CNA*	105.3	139.9	169.6	253.3	202.6
CAE**	29.2	38.8	47.0	70.3	56.2

* Ahorro Neto Actual (USD)

** Ahorro Anual Equivalente (USD)

AHORROS POR LA SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS



3.5.- CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD EN LA EJECUCIÓN DE UN SISTEMA INTEGRAL DE ALUMBRADO

Para esta alternativa se analiza la factibilidad económica al utilizar luminarias con lámparas de vapor de mercurio y luminarias con lámparas de vapor de sodio de alta presión respectivamente (ver cuadro # 3.5.1).

Se consideran los siguientes parámetros para el análisis económico:

- Período de análisis: 10 años
- Tasa de descuento: 12%
- Precio marginal de la energía a nivel de red de distribución de 83 USD/MWh.[27]

En el cuadro # 3.5.1, se tiene los valores del costo inicial de las luminarias, el costo de la energía, además se calcula los valores del TIR, el CNA y el CAE. De los resultados se observa, que las luminarias que utilicen lámparas de vapor de sodio de alta presión tienen valores del costo anual equivalente (CAE), menores respecto de las luminarias que utilicen lámparas de vapor de mercurio, además el TIR obtenido tiene valores mayores a la tasa de descuento; por lo tanto factibilidad económica de realizar un nuevo sistema de alumbrado público utilizando tecnología eficiente se justifica.

En la figura # 3.5.1, se representa el flujo de caja para la alternativa de utilizar luminarias equipadas con lámparas de vapor de mercurio de 125 W; y luminarias con lámparas de vapor de sodio de alta presión de 70 W.

CUADRO # 3.5.1

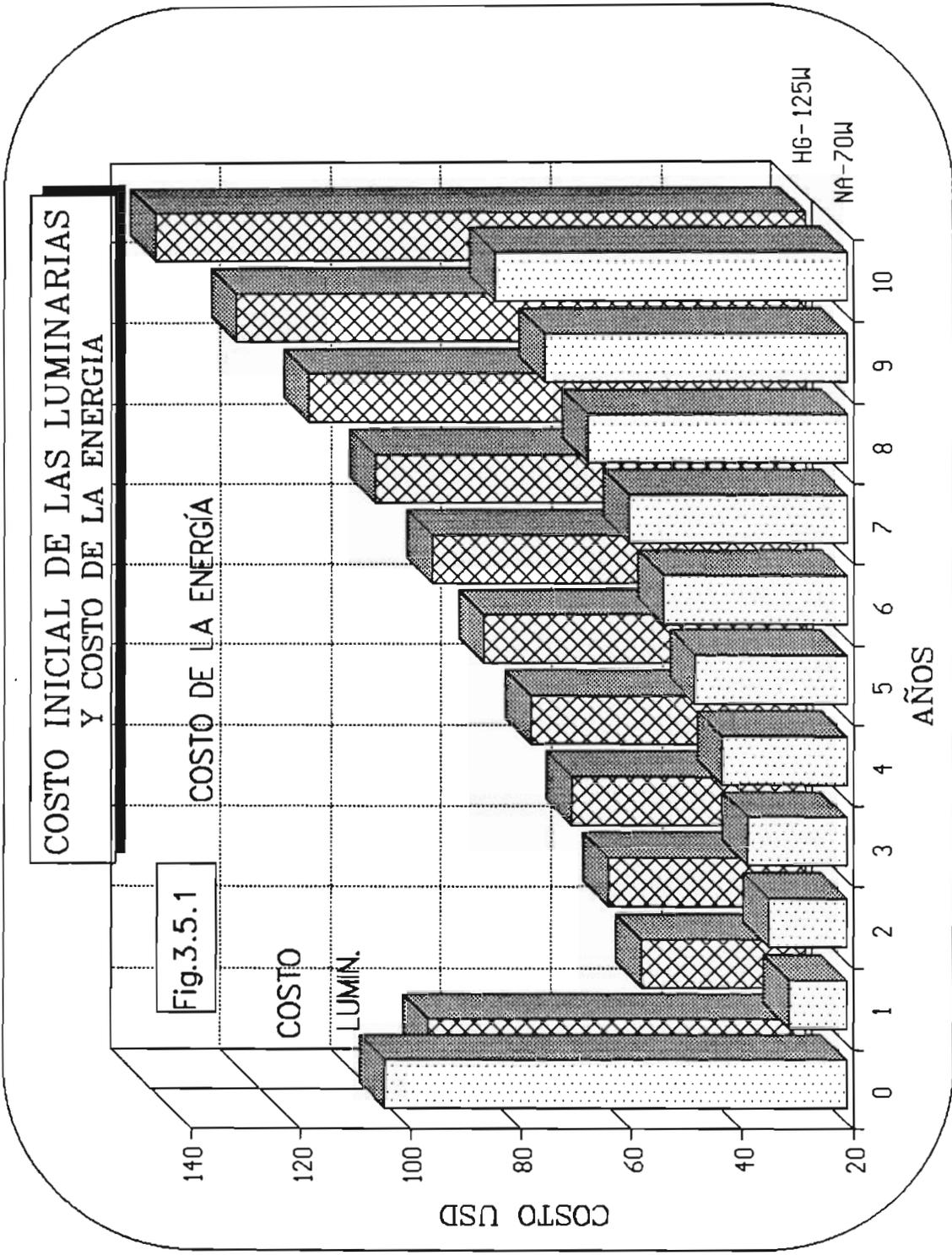
COSTO INICIAL DE LAS LUMINARIAS Y COSTO DE LA ENERGÍA (USD)

Año	HG-125W	HG-175W	HG-250W	HG-400W	MS-160W	NA-50W	NA-70W	NA-100W	NA-150W	NA-250W
0	88.5	93.7	197.6	212.9	64.6	99.4	103.8	142.9	151.6	223.8
1	49.8	68.7	96.7	154.5	58.2	22.5	30.2	42.2	61.8	100
2	55.8	76.9	108.3	173.0	65.2	25.2	33.8	47.3	69.2	112.0
3	62.5	86.2	121.3	193.8	73.0	28.2	37.9	52.9	77.5	125.4
4	70.0	96.5	135.9	217.1	81.8	31.6	42.4	59.3	86.8	140.5
5	78.4	108.1	152.2	243.1	91.6	35.4	47.5	66.4	97.2	157.4
6	87.8	121.1	170.4	272.3	102.6	39.7	53.2	74.4	108.9	176.2
7	98.3	135.6	190.9	305.0	114.9	44.4	59.6	83.3	122.0	197.4
8	110.1	151.9	213.8	341.6	128.7	49.7	66.8	93.3	136.6	221.1
9	123.3	170.1	239.4	382.5	144.1	55.7	74.8	104.5	153.0	247.6
10	138.1	190.5	268.2	428.4	161.4	62.4	83.7	117.0	171.4	277.3
XTIR	-	-	-	-	-	29.2	37.3	37.83	50.66	54.94
CNA	356.1	519.7	665.8	1166.6	455.0	101.5	165.8	233.9	400.2	669.1
CAE	63.0	92.0	117.8	206.5	80.5	18.0	29.4	41.4	70.8	118.4

XTIR: Tasa Interna de Retorno

CNA : Costo Neto Actual (USD)

CAE : Costo Anual Equivalente (USD)



Ahorros en la Ejecución de un Sistema Integral de Alumbrado Público

Los ahorros incluyen inversión por reemplazo y diferencia en costos de operación en valores corrientes.

Los valores de los ahorros, para un sistema integral de alumbrado público, se determinan en el cuadro # 3.5.2. De los resultados obtenidos se observa que la factibilidad económica de realizar los proyectos para las alternativas planteadas es posible.

La figura # 3.5.2, muestra el flujo de caja para los ahorros, en la ejecución de un nuevo sistema de alumbrado.

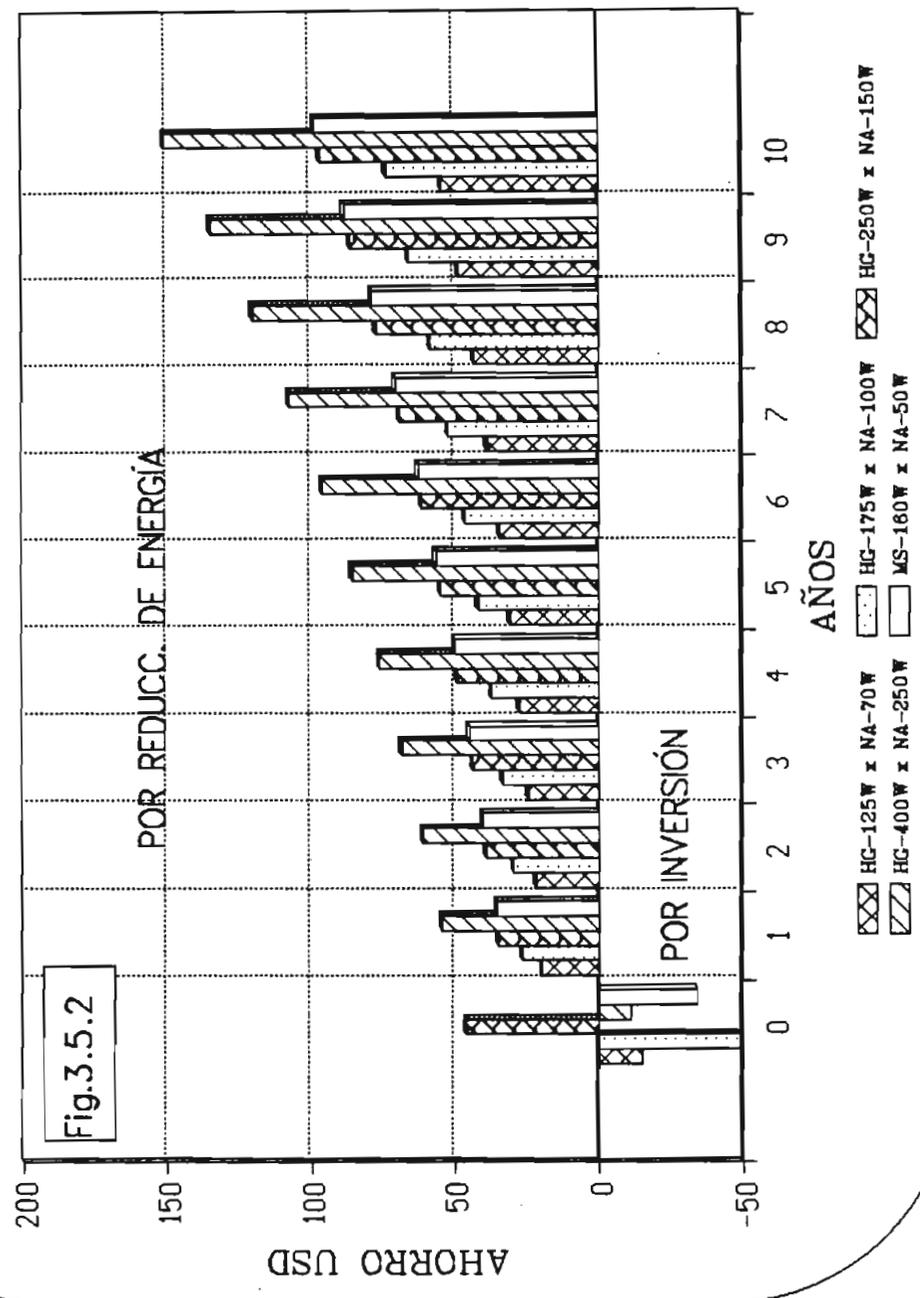
**CUADRO # 3.5.2
AHORROS EN LA EJECUCIÓN DE UN SISTEMA INTEGRAL
DE ALUMBRADO PÚBLICO (USD)**

Año	HG-125W POR NA-70W	HG-175W POR NA-100W	HG-250W POR NA-150W	HG-400W POR NA-250W	MS-160W POR NA-50W
0	-15.3	-49.2	46	-10.9	-34.8
1	19.6	26.5	34.9	54.5	35.7
2	22.0	29.7	39.1	61.0	40.0
3	24.6	33.2	43.8	68.4	44.8
4	27.5	37.2	49.0	76.6	50.2
5	30.8	41.7	54.9	85.8	56.2
6	34.5	46.7	61.5	96.0	62.9
7	38.7	52.3	68.9	107.6	70.5
8	43.3	58.6	77.2	120.5	78.9
9	48.5	65.6	86.4	134.9	88.4
10	54.4	73.5	96.8	151.1	99.0
CNA*	190.3	285.8	265.6	497.5	353.5
CAE**	33.6	50.6	47.0	88.1	62.5

* Ahorro Neto Actual (USD)

** Ahorro Anual Equivalente (USD)

AHORROS EN LA EJECUCIÓN DE UN SISTEMA INTEGRAL DE ALUMBRADO



CAPITULO IV

CASO DE APLICACIÓN

CAPITULO IV

CASO DE APLICACIÓN

4.1.- EVALUACIÓN TÉCNICA

El estudio se lo realiza, para un sector del barrio Cotocollao, ubicado al norte de la ciudad de Quito. En el apéndice # 5, se muestra la ubicación del sector analizado. [28]

En este sector se encuentran instaladas 181 luminarias, de las cuales 102 son luminarias de tipo suburbana (posición vertical), 52 luminarias horizontales cerradas y 27 luminarias horizontales abiertas. Todas las luminarias se localizan en forma unilateral, y están equipadas con lámparas de 125 W de vapor de mercurio.

El sistema de control utilizado es por grupo (fotocelda, interruptor-contactor), con excepción de las luminarias que se encuentran en la calle "Veinticinco de Mayo", que utilizan control individual (fotocelda en cada luminaria).

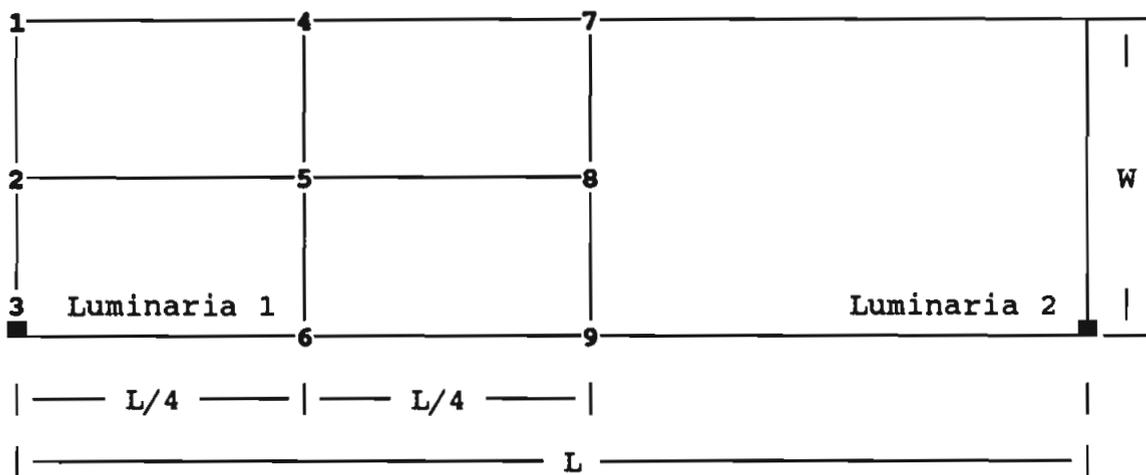
La interdistancia (distancia entre postes), no es uniforme, existen distancias de 28, 29, 30, 32, 35, 40 m, esto influye en los niveles de iluminación que se tiene.

La altura de montaje de las luminarias es de 7,5 m con un brazo de la luminaria de 1 m.

El ancho de la calzada (ancho de la calle para todo el sector) es de alrededor de 7 m.

En el plano # 1, se muestra la ubicación actual de las luminarias utilizadas para el alumbrado público.

Se realizó una muestra en 12 luminarias de diferente tipo y se procedio a medir los valores de iluminación, para lo cual se utilizó un luxómetro digital (Lx-101 LUX METER). Los valores fueron medidos en nueve puntos como se muestra en la figura siguiente:¹ [14]



En el cuadro # 4.1.1, se tabulan los valores registrados en la medición de la iluminación en el sector.

¹ "MÉTODO DE LOS 9 PUNTOS"

CUADRO # 4.1.1

VALORES MEDIDOS DE ILUMINACIÓN

TIPO DE LUMINARIA	L (m)	W (m)	ILUMINACIÓN (Lux)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
SUBURBANA VERTICAL	28	7	5	12	12	2	3	4	1	1	1
	32	7	3	9	9	1	2	3	1	1	1
	29	7	2	5	5	1	2	2	1	1	1
	26	7	4	12	16	2	3	4	1	1	1
HORIZONTAL CERRADA	30	7	5	9	11	4	5	4	2	2	2
	30	*7	1	3	3	1	1	2	1	1	1
	35	*7	1	2	2	1	1	1	1	1	1
	35	7	4	9	16	5	6	5	2	2	3
HORIZONTAL ABIERTA	40	7	9	13	16	2	2	2	1	1	1
	23	7	10	19	24	7	12	13	4	5	6
	22	7	8	15	18	6	9	10	4	5	5
	40	7	5	11	15	3	2	3	1	1	1

L : Interdistancia (distancia entre postes), m.

W : Ancho de la calzada, m.

* : Luminarias sin mantenimiento (alto grado de contaminación)

Los valores de los niveles de iluminación: Emin (nivel mínimo de iluminación), Emax (nivel máximo de iluminación), Emed (nivel medio de iluminación), se tabulan en el cuadro # 4.1.2. Del análisis de los resultados obtenidos, se observa que éstos valores no cumplen con los requeridos por la norma interna de la Empresa Eléctrica Quito para alumbrado público (Emed = 25 lux, Emin = 7,5 lux).² [12]

² Proyecto Norma Interna para Alumbrado Público E.E.Q.S.A

CUADRO # 4.1.2
ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN

TIPO DE LUMINARIA	L (m)	W (m)	ILUMINACIÓN (Lux)		
			Emin	Emax	Emed
SUBURBANA VERTICAL	28	7	1	12	4.6
	32	7	1	9	3.3
	29	7	1	5	2.2
	26	7	1	16	4.9
HORIZONTAL CERRADA	30	7	1	11	4.9
	30	*7	1	3	1.6
	35	*7	1	2	1.2
	35	7	1	16	6.9
HORIZONTAL ABIERTA	40	7	1	16	5.2
	23	7	1	24	11.1
	22	7	1	18	8.9
	40	7	1	15	4.7

* : Luminarias sin mantenimiento
(alto grado de contaminación)

4.2.- EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS ADMINISTRATIVAS

En los capítulos anteriores se analizó las estrategias administrativas que se deben implementar para el ahorro de energía en el alumbrado público. Para el caso en particular la mejor opción, es reemplazar en su totalidad las luminarias existentes por luminarias nuevas equipadas con lámparas de vapor de sodio de alta presión de 70 W.

Lo anterior se justifica por cuanto en este barrio la mayoría de luminarias son de tipo suburbanã (102 luminarias), además aproximadamente el 40%, se encuentran en malas condiciones por falta de mantenimiento.

Es necesario recordar que al utilizar luminarias con lámpara en posición horizontal (tipo OV), es más eficiente que una luminaria con lámpara en posición vertical (tipo subband) en aproximadamente un 60%. [24].

Desde el punto de vista de ahorro de energía la sustitución, es justificable el utilizar luminarias con lámparas de mayor eficiencia y menor potencia (ahorro energía en el orden del 44%).

Los niveles de iluminación que se obtendrían al implementar el nuevo proyecto, serían ligeramente superiores a los valores actuales de las luminarias existentes. Sin embargo tampoco cumplen con los niveles exigidos por la norma interna de alumbrado público de la E.E.Q.S.A.

Los valores lumínicos calculados para la realizar la sustitución fueron obtenidos utilizando un programa computacional propiedad de Schröder del Ecuador (ver apéndice # 4).³

A continuación se tabulan los datos y resultados obtenidos:

³ SOCELEC: EV00015 Software para el cálculo de iluminación y de luminancia.

DATOS:		
-	TIPO DE IMPLANTACIÓN:	Unilateral
-	DISTANCIA ENTRE LUMINARIAS:	35 m
-	LONGITUD DEL BRAZO DE LA LUMINARIA:	1 m
-	ALTURA DE MONTAJE DE LA LUMINARIA:	7.5 m
-	POTENCIA DE LA LÁMPARA:	70 W
-	FLUJO LUMINOSO DE LA LÁMPARA:	6500 lm
-	FACTOR DE MANTENIMIENTO:	0.9
-	ÁNGULO DE INCLINACIÓN:	10 grados
-	TIPO DE PAVIMENTO:	R3
RESULTADOS:		
-	NIVEL MÍNIMO DE ILUMINACIÓN E_{min} :	1 Lux
-	NIVEL MÁXIMO DE ILUMINACIÓN E_{max} :	19 Lux
-	NIVEL MEDIO DE ILUMINACIÓN E_{med} :	8 Lux
-	FACTOR DE UNIFORMIDAD MEDIA DE ILUMINACIÓN $U_0 = E_{min}/E_{med}$:	13%
-	FACTOR DE UNIFORMIDAD GENERAL DE ILUMINACIÓN $U_g = E_{min}/E_{max}$:	5%
-	LUMINANCIA MEDIA L_{med} :	0.4 cd/m ²
-	LUMINANCIA MÍNIMA L_{min} :	0.2 cd/m ²
-	LUMINANCIA MÁXIMA L_{max} :	1.0 cd/m ²
-	FACTOR DE UNIFORMIDAD MEDIA DE LUMINANCIA $U_0 = L_{min}/L_{med}$:	36%
-	FACTOR DE UNIFORMIDAD GENERAL DE LUMINANCIA $U_g = L_{min}/L_{max}$:	17%
-	FACTOR DE UNIFORMIDAD TRANSVERSAL $U_{l1} = L_{min}/L_{max}$:	30%
-	FACTOR DE UNIFORMIDAD LONGITUDINAL $U_{l1} = L_{min}/L_{max}$:	30%

REQUERIMIENTOS SEGÚN LAS NORMAS		
-	NIVEL MÍNIMO DE ILUMINACIÓN E_{min} :	7.5 Lux
-	NIVEL MEDIO DE ILUMINACIÓN E_{med} :	25 Lux
-	FACTOR DE UNIFORMIDAD MEDIA DE ILUMINACIÓN $U_o = E_{min}/E_{med}$:	30%
-	LUMINANCIA MEDIA L_{med} :	0.5cd/m ²

En la figura # 4.2.1, se muestran los niveles de iluminación medidos, calculados (para la sustitución) y, requeridos según las normas. La potencia reducida al implementar el nuevo proyecto es de 12 KW, con un ahorro de energía de 52.560 KWh/año, estos valores se determinan en el cuadro # 4.2.3.

**CUADRO # 4.2.3
AHORRO DE ENERGÍA**

LUMINARIAS EXISTENTES	LÁMPARA	POTENCIA UNITARIA (W)	PÉRDIDAS BALASTRO (%)	POTENCIA TOTAL (KW)
181	VAPOR MERCURIO	125	25	28
LUMINARIAS PARA LA SUSTITUCIÓN 181	VAPOR SODIO ALTA PRESIÓN	70	25	16
ENERGÍA CONSUMIDA POR LUMINARIAS EXISTENTES (KWh/año) 122.640				
ENERGÍA CONSUMIDA POR LA SUSTITUCIÓN (KWh/año) 70.080				

POTENCIA REDUCIDA (KW)	12
AHORRO DE ENERGÍA (KWh/año)	52.560

**VALORES DE ILUMINACIÓN
MEDIDO(EM), CALCULADO(EC, REQUERIDO(ER)**

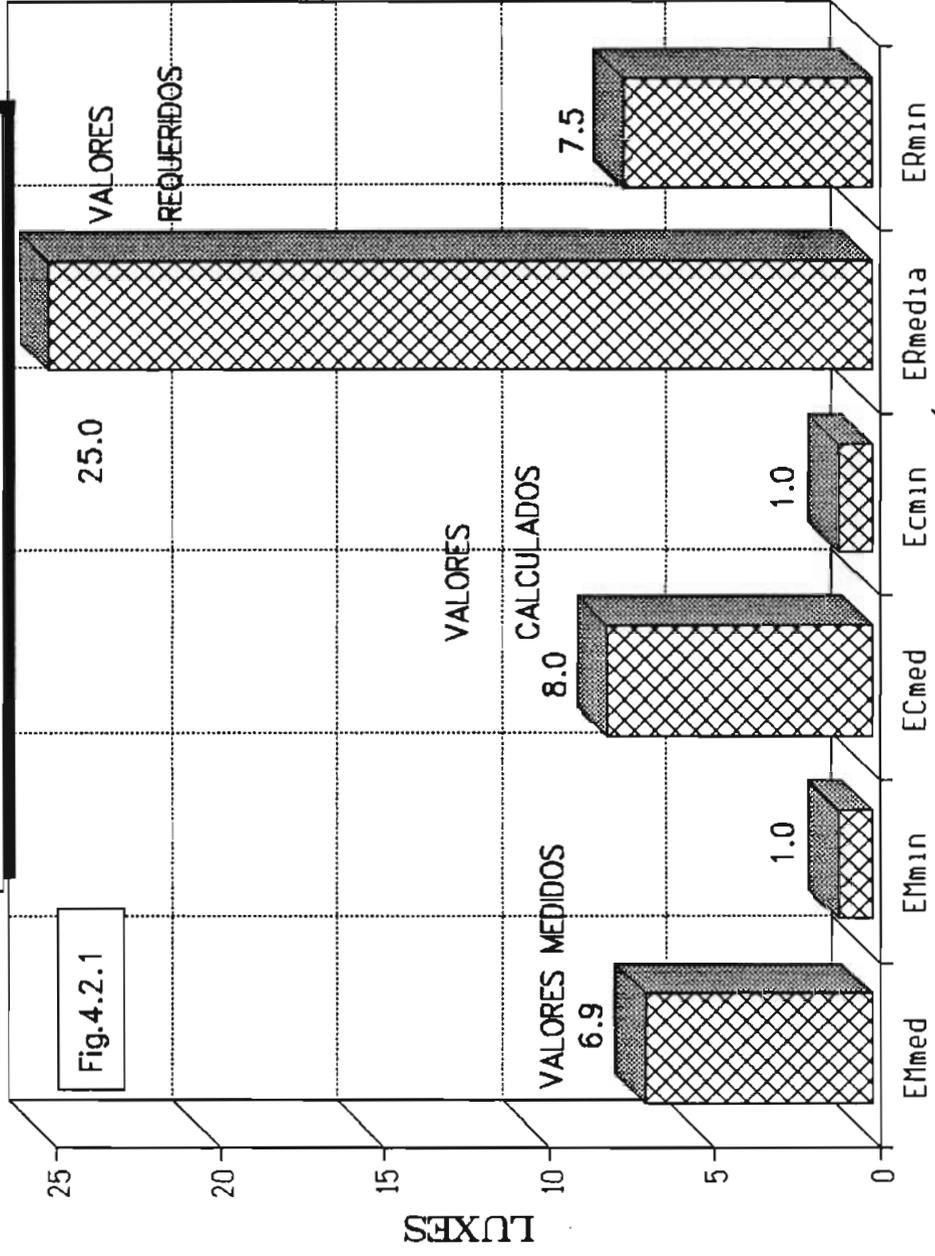


Fig.4.2.1

NIVELES DE ILUMINACIÓN

LUXES

4.3.- EVALUACIÓN FINANCIERA

Las inversiones en eficiencia energética o reducción de la demanda, pueden reducir las necesidades de obras para generación de energía además, reducen el consumo de combustibles en centrales térmicas, reducen las pérdidas en líneas de transmisión y sistemas de distribución y reducen los impactos ambientales asociados con éstas áreas descritas; por lo tanto el conjunto de beneficios redundan en el mejoramiento económico del país.

El análisis económico esta basado en la comparación entre costos y beneficio involucrados en la conservación de la energía.

La evaluación financiera requiere de ciertas premisas para su desarrollo, se asume las siguientes:

- Tasa de descuento: 12%
- Precio marginal de la energía: A nivel de red de distribución de 83 USD/MWh (fuente INECEL).[27]
- Período de análisis 10 años.
- Los precios de los equipos de alumbrado público, para el análisis financiero, fueron obtenidos de los listados proporcionados por los fabricantes y distribuidores de luminarias.

En el cuadro # 4.3.1, se presenta los datos generales para realizar la evaluación financiera.

CUADRO # 4.3.1
DATOS GENERALES

DESCRIPCIÓN	HG-125W	NA-70W
POTENCIA DE LA LÁMPARA (W)	125	70
PERDIDAS EN EL BALASTRO (W)	31	18
POTENCIA TOTAL (W)	156	88
VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS		
VIDA ÚTIL DE LA LÁMPARA (horas)	13.500	15.700
(años)	3.1	3.6
VIDA ÚTIL DEL IGNITOR-BALASTRO (horas)	20.000	20.000
(años)	4.6	4.6
VIDA ÚTIL LUMINARIAS (horas)	43.800	43.880
(años)	10.0	10.0
PRECIO DE LOS EQUIPOS		
PRECIO DE LA LÁMPARA (USD)	5.2	10.9
PRECIO DEL BALASTRO (USD)	11.5	12.2
PRECIO DEL IGNITOR (USD)	----	9.6
PRECIO DE LA LUMINARIA (USD)	50.7	50.0
PRECIO DE LOS ACCESORIOS (USD)	13.5	13.5
SUBTOTAL (USD)	80.9	96.2
MANO DE OBRA + TRANSPORTE (USD/hora)	22.9	22.9
COSTO DEL CAMBIO (USD/lum)	7.6	7.6
COSTO DE MANTENIMIENTO (USD/lum)	4.6	4.6
PRECIO TOTAL (USD)	88.5	103.8

COSTO DE LA ENERGÍA CONSUMIDA	HG-125W	NA-70W
USO (horas/año)	4.380	4.380
KWH/año CONSUMIDOS LUMINARIA	683.3	385.4
KWH/año CONSUMIDOS LÁMPARA	548.0	307.0
COSTO ENERGÍA ANUAL CONSUMIDA (USD)	56.7	32.0
CANTIDAD DE LUMINARIAS EXISTENTES	181	
CANTIDAD DE LUMINARIAS REQUERIDAS		181

FUENTE: E.E.O.S.A, INECEL
Proveedores de equipos de Alumbrado Público.

Parámetros de Evaluación

Se utilizan conceptos microeconómicos aplicados a los usos finales para el análisis de las alternativas de uso eficiente de energía. A continuación serán analizados algunos de los parámetros de evaluación de la alternativa de sustitución de la tecnología convencional por la eficiente. [21]

Factor de Recuperación del Capital (FRC)

Para anualizar el costo de la inversión inicial, se debe multiplicar la inversión inicial por el Factor de Recuperación del Capital (FRC); esto es, se calcula la inversión equivalente que sería gastado durante un año, considerando una determinada tasa de descuento.

$$FRC = d/[1-(1+d)^{-N}] \quad \text{y} \quad A = P * FRC \quad (4.1)$$

Donde:

d = tasa de descuento

N = número de períodos

A = valor anualizado de las inversiones

P = valor presente de las inversiones

El valor de FRC para el presente estudio es 0.177, para una tasa de descuento de 12% y un período de 10 años (este tiempo fue escogido considerando que la vida útil de las luminarias es de 10 años y además porque la evaluación económica-financiera requiere unificar tiempos de análisis, aunque la vida útil de las lámparas sea menor que ese valor).

$FRC = 0.177$

Tiempo Simple de Recuperación (TSR)

Varios criterios económicos son usados para evaluar la efectividad de las inversiones en eficiencia energética. El Tiempo Simple de Recuperación (TSR) es uno de ellos, y se define como la relación entre la inversión inicial adicional para conservación y el costo de energía conservada en el primer año. Representa el tiempo en el cual se va a recuperar el valor de la inversión inicial en conservación de la energía.

$$TSR = (CE - CC)/[PE(EC - EE)] \quad (4.2)$$

Donde:

CE = es el costo (inversión inicial) de la tecnología eficiente.

CC = costo de la tecnología convencional

PE = precio unitario de energía

EE = consumo anual de energía con tecnología eficiente

EC = consumo anual de energía con tecnología convencional.

Si se realiza la sustitución total de las luminarias de tecnología convencional por eficiente el TSR resultante es 4.2 años; que es un tiempo razonablemente bueno para este tipo de inversiones.

$$\text{TSR} = 4.2 \text{ Años}$$

Costo de la Energía Conservada (CEC)

El Costo de la Energía Conservada (CEC) es una medida desarrollada especialmente para análisis de inversiones en conservación de energía. Es calculado por la relación anualizada de la inversiones adicionales en conservación de energía y la energía anual conservada.

$$\text{CEC} = \text{FRC} * (\text{CE} - \text{CC}) / (\text{EC} - \text{EE}) \quad (4.3)$$

El CEC resultante de la sustitución es igual a: 9.1 USD/MWh, siendo un valor muy inferior al precio marginal de la energía a nivel de red de distribución de 83 USD/MW, demostrando la conveniencia de la implantación del programa de ahorro de energía.

$$\text{CEC} = 9.1 \text{ USD/MWh}$$

Costo Neto Actual (CNA)

El costo neto actual (CNA) de una inversión, es igual a la suma algebraica de los valores actualizados de los flujos netos de caja asociados a esa inversión; es decir:

$$CNA = \sum_{k=0}^n FNCK / (1 + d)^k \quad (4.4)$$

Donde:

FNCK: Flujo Neto de Caja

d : Tasa de descuento (tasa de actualización)

n : Período de análisis

El valor obtenido del CNA es positivo (USD 32907.5), por lo que la inversión es factible. [26]

$CNA = USD 32907.5$

Costo Anual Equivalente (CAE)

El Costo Anual Equivalente (CAE) es la anualidad del VAN extendido sobre la vida útil de un proyecto, es decir:

$$CAE = CNA \cdot d(1 + d)^n / ((1 + d)^n - 1) \quad (4.5)$$

CNA: Costo Neto Actual

d : Tasa de descuento

n : Período de análisis

El valor del CAE, es menor para cuando se utiliza lámparas de vapor de sodio alta presión de 70 W (USD 5824.1), respecto a las lámparas de vapor de mercurio de 125 W (USD 13386.2); con este parámetro también se justifica económicamente la ejecución del ejemplo de aplicación.

$CAE = USD 5824.1$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se define como la tasa de descuento que anula el costo neto actual (CNA) del flujo de caja, la solución de la siguiente ecuación proporciona el valor de "d" que es la TIR:

$$\text{CNA} = \sum_{k=0}^n \text{FNCK} / (1 + d)^k = 0 \quad (4.6)$$

Donde:

CNA : Costo Neto Actual

FNCK : Flujo Neto de Caja

TIR = 39.4 %

El resultado obtenido para el TIR, es alrededor del 39.4 %, valor muy superior a la tasa de descuento (12%), con lo que la ejecución del proyecto es posible.

La inversión inicial requerida para el cambio de las 181 luminarias de tecnología convencional por tecnología eficiente es de USD 18788, este valor será recuperado en los años posteriores (4.2 años); al tener una disminución del consumo de energía.

El flujo de caja del proyecto, se tiene en el cuadro # 4.3.2, considerando el costo inicial de las luminarias, y el costo de la energía; además se determina los valores del TIR, CNA y CAE.

Los resultados de la evaluación financiera se resumen en el cuadro # 4.3.3.

CUADRO # 4.3.2
FLUJO DE CAJA (USD)

Año	HG-125W	NA-70W	AHORRO
0	16018.5	18788.0	-2769.5
1	10265.2	5789.9	4475.3
2	11497.0	6484.7	5012.3
3	12876.7	7262.9	5613.8
4	14421.9	8134.4	6287.5
5	16152.5	9110.5	7042.0
6	18090.8	10203.8	7887.0
7	20261.7	11428.2	8833.4
8	22693.1	12799.6	9893.5
9	25416.3	14335.6	11080.7
10	28466.2	16055.8	12410.4
%TIR	-	39.4	-
CNA	75635.1	32907.5	42727.6*
CAE	13386.2	5824.1	7562.1**

* Ahorro Neto Actual (USD)

** Ahorro Anual Equivalente (USD)

CUADRO # 4.3.3

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA

TASA DE DESCUENTO	12%
PERÍODO DE ANÁLISIS (años)	10
FACTOR DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL (FRC)	0.177
TIEMPO SIMPLE DE RECUPERACIÓN (TSR) (años)	4.2
COSTO INICIAL DE LA TECNOLOGÍA CONVENCIONAL (USD)	16018
COSTO INICIAL DE LA TECNOLOGÍA EFICIENTE (USD)	18788
INVERSIÓN ADICIONAL REQUERIDA (USD)	2769
COSTO MARGINAL A NIVEL DE RED SECUNDARIA (USD/MWh)	83.0
COSTO DE LA ENERGÍA CONSERVADA (USD/MWh)	9.1
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	39.4%
COSTO NETO ACTUAL (CNA) (USD)	32907
COSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE) (USD)	5824

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los beneficios del mejoramiento y uso eficiente de la energía en un sistema de alumbrado público son:
 - * Mejoramiento de las condiciones de vida y seguridad
 - * Reducción del consumo de electricidad.
 - * Reducción del consumo de combustible en las centrales térmicas disminuyendo los impactos ambientales.
 - * Ahorro de recursos económicos, al evitar la expansión de nueva capacidad de generación.

- Los valores de iluminación de las lámparas actuales, comparados con los valores de las proyectadas son similares y en cierto modo mejores, sin embargo no cumplen con los valores exigidos por la norma interna de la E.E.Q.S.A.

- La sustitución de **lámparas** de mercurio, por las de vapor de sodio alta presión, elevan la eficiencia lumínica alrededor de un 50%, permite ahorrar energía sin perjuicio de los niveles de iluminación del alumbrado público, y se justifica desde el punto de vista financiero y económico.

- En las **luminarias** de alta eficiencia denominadas " DE LA NUEVA GENERACIÓN", el diseño mejorado del reflector, la forma tubular y pequeña de la lámpara permite distribuir la luz de manera más extendida. En el presente estudio, se determinó que la **eficiencia** de este tipo de luminarias es 2.7 veces mayor que las convencionales, por

consiguiente pueden instalarse a mayores interdistancias y consumir menos energía.

- Para una determinada relación de W/H, las lámparas de sodio de alta presión (tubular clara), tienen un coeficiente de utilización K_1 , superior a las lámparas de mercurio o de sodio fosforada ovoide, lo cual incide directamente en el nivel de iluminación.
- En Quito, cerca del 40% de luminarias son de tipo **suburbano (verticales)**. El reemplazo por luminarias tipo **"OV" (horizontales)**, mejoraría la calidad de iluminación aproximadamente en un 60%.
- Otras alternativas de ahorro de energía en el alumbrado público son:
 - * Utilizar **reductores del flujo luminoso**, mediante el ajuste de la impedancia (con una bobina extra), controlando el voltaje de alimentación y por control de fase (circuito electrónico), que sincronizados con relojes programados operarían en horas de baja circulación, por ejemplo entre 22h30 y las 4h00.
 - * Utilizar relojes programados que se adicionen o sustituyan al control de apagado y encendido para evitar encendidos innecesarios durante días de poca luminosidad.
 - * Utilizar interruptores controlados a distancia
- La Empresa Eléctrica Quito, tiene instaladas 141.627 luminarias, con una potencia de 22,6 MW. El 92.4 % son luminarias de tecnología convencional, el cambio por lámparas de tecnología eficiente representa el 39 % de ahorro de potencia (7.9 MW).

- La mejor alternativa económica es la utilización de luminarias equipadas con lámparas de sodio de alta presión.
- Si se sustituyen las lámparas de vapor de mercurio de 125 W, que constituyen el 77.9% del alumbrado público en Quito, por lámparas de sodio de alta presión de 70 W, se obtiene un ahorro de USD 2,2 millones por costo de energía en un año; con una inversión de USD 5,1 millones.
- Para el "Caso de aplicación", la inversión inicial requerida para el cambio de 181 luminarias por tecnología eficiente, es de USD 18788, con un tiempo de recuperación de 4.2 años.
- En una instalación de alumbrado público, el costo de las luminarias y lámparas, representa una pequeña parte del costo total. La mayor parte de la inversión la constituyen los postes, cableado, mano de obra, equipo eléctrico y sobre todo, los **costos de la energía y mantenimiento.**

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de diseño y construcción de balastos de alta calidad para reducir las pérdidas (25%), hasta un 15% exigido por las normas.
- Realizar un estudio de diseño y construcción de "kits", "universales", para vapor de mercurio y vapor de sodio alta presión.
- Utilizar balastos tipo autotransformador auto-regulado, porque soportan mayores variaciones de voltaje de línea, que afectan la vida del balastro y de la lámpara.

- Antes de adquirir dispositivos ahorradores de energía, es necesario acordar con la Empresa Eléctrica su utilización, con el objeto de fijar la reducción en el consumo.

- Que las Empresas Eléctricas del País, realicen un censo que actualice el número y tipo de luminarias instaladas, esto permitirá programar el número de luminarias que podrían ser reemplazadas. Además, actualicen y/o incluyan en sus normas o regulaciones, la utilización de tecnología eficiente, en el diseño de proyectos para alumbrado público.

- Que la E.E.Q.S.A, a través de **programas de mantenimiento**, recupere luminarias eficientes que se encuentren en mal estado (altos grados de contaminación).

- Como alternativa en caso de emergencia energética, se recomienda, el racionamiento del alumbrado público, especialmente en autopistas, avenidas, etc, por ejemplo permitiendo solo el encendido de las luminarias en forma alternada, para esto se deberá utilizar doble hilo piloto, o instalar los controles sugeridos en el numeral 2.6. .

- Incorporar medidores de energía en los sistemas, para cuantificar el consumo, a fin de proyectar el ahorro en el alumbrado público.

APÉNDICES

APÉNDICE # 1

APÉNDICE # 1

EMPLEO DE LOS COEFICIENTES DE UTILIZACIÓN (K)

$$K \text{ (Coeficiente de utilización)} = \frac{\text{Flujo útil sobre la calzada}}{\text{Flujo total de la luminaria}}$$

PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR

Cuando se conocen las características de una vía, se determina en función de ella el valor del coeficiente de utilización K, el cual permite efectuar los siguientes cálculos:

a) CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN MEDIA (Emed)

$$E_{med} = \frac{F \times K}{L \times W}$$

b) CÁLCULO DE LA INTERDISTANCIA PARA OBTENER UNA ILUMINACIÓN MEDIA DADA

$$L = \frac{F \times k}{W \times E_{med}}$$

c) CÁLCULO DEL FLUJO LUMINOSO NECESARIO PARA OBTENER UNA ILUMINACIÓN MEDIA DADA

$$F = \frac{L \times W \times E_{med}}{K}$$

NOMENCLATURA:

- Emed = Iluminación media en luxes
- L = Interdistancia en metros
- F = Flujo luminoso de la bombilla en lúmenes
- W = Ancho de la calzada en metros
- K = Coeficiente de utilización en porcentaje.

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (K)

Las curvas de coeficiente de utilización (K) expresan el porcentaje del flujo luminoso emitido por la luminaria que es utilizado sobre la calzada, en función del ancho de la misma. Como punto de referencia se toma la vertical de la luminaria.

Una luminaria asimétrica se define con dos curvas K, la primera K_1 para el flujo útil hacia adelante (hacia la calzada) y la segunda K_2 para el flujo útil hacia atrás (hasta andenes, casas, jardines, etc).

En luminarias simétricas: $K_1 = K_2$

En la ordenada se indica el valor del K en % y en la abscisa el ancho de la calzada expresado en función de la altura a fin de obtener las curvas independientes de la altura de utilización de la luminaria.

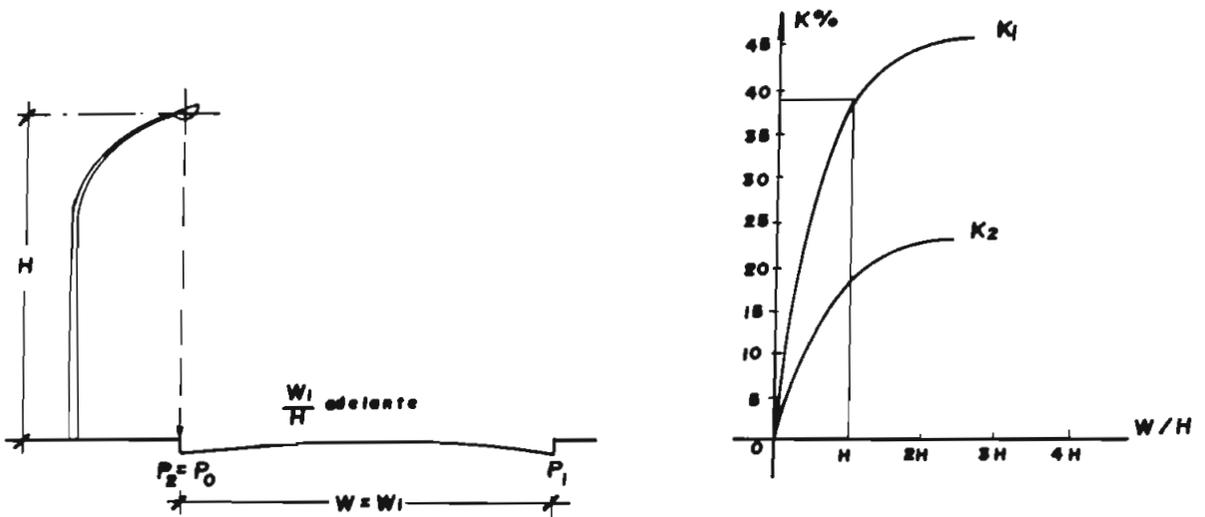
A continuación se presentan los casos en la determinación de los respectivos coeficientes de utilización. Al final de este apéndice aparecen ejemplos prácticos relacionados con los diferentes casos.

CASOS QUE SE PRESENTAN EN LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN

1.- LOCALIZACIÓN UNILATERAL (según ejemplos)

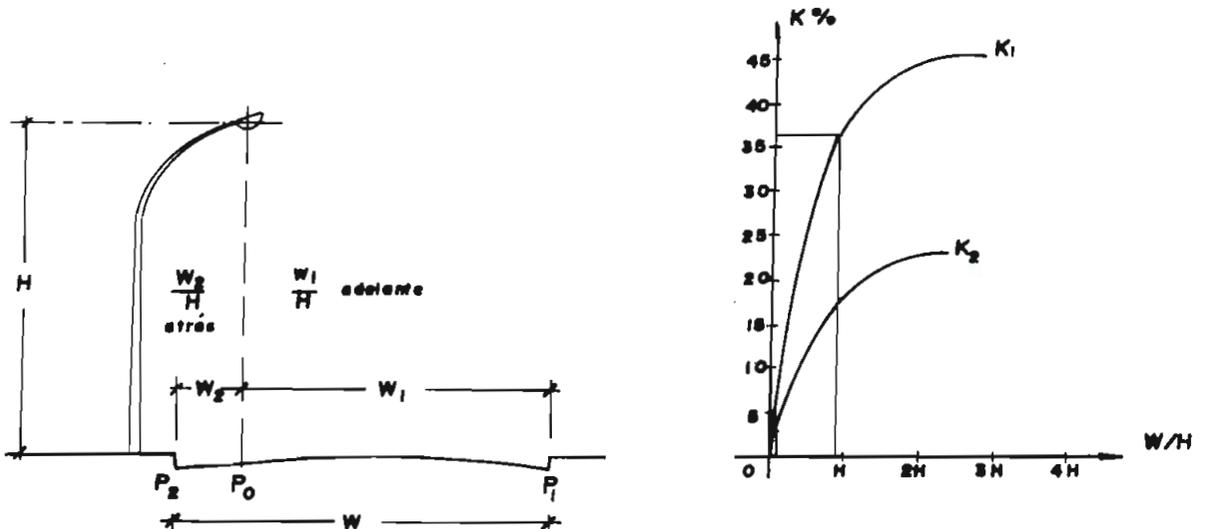
a) La vertical de la luminaria coincide con el borde de la calzada

$$K_2 \text{ atrás} = 0 \quad K\% = K_1 \text{ adelante}$$



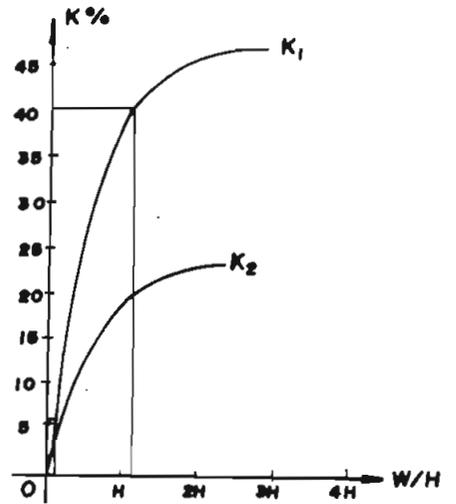
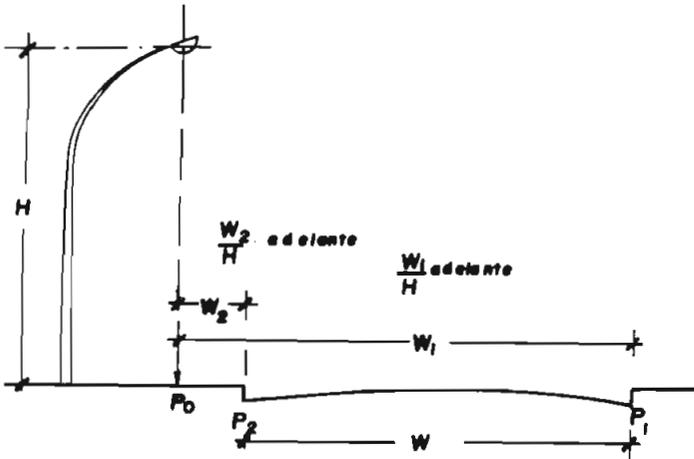
b) La luminaria avanza W_2 sobre la calzada

$$K\% = K_1 \text{ adelante} + K_2 \text{ atrás}$$



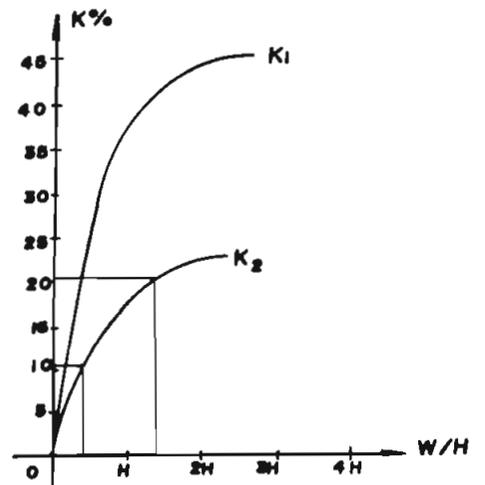
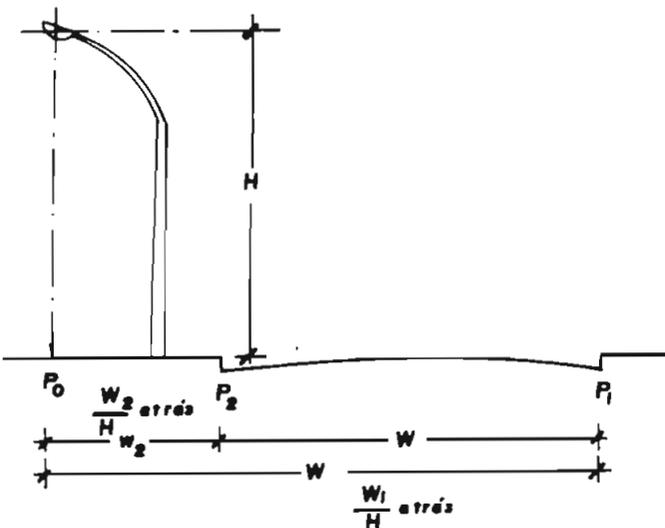
c) La luminaria está sobre la acera a W_2 de la calzada

$$K\% = K_1 \text{ adelante} - K'_1 \text{ adelante}$$



d) La luminaria ilumina la calzada con el flujo de atrás y está localizada a W_2 de la calzada

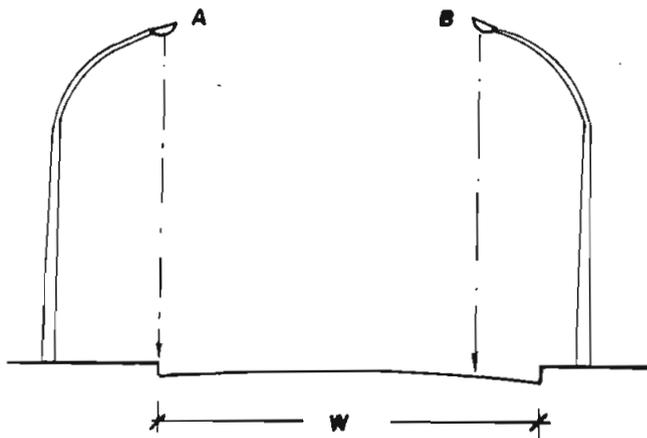
$$K\% = K_2 \text{ atrás} - K'_2 \text{ atrás}$$



2.- LOCALIZACIÓN BILATERAL ALTERNADA (zig-zag)

El cálculo es idéntico a la determinación de K en la localización unilateral, suponiendo todas las luminarias localizadas del mismo lado, si los avances o retrocesos de las luminarias son diferentes de un lado con relación al otro, se deben efectuar dos cálculos y el coeficiente K será el promedio de los dos valores encontrados.

$$K_{\%} = \frac{K_A + K_B}{2}$$



3.- LOCALIZACIÓN BILATERAL OPUESTA

El cálculo es idéntico a la determinación del coeficiente K en localización unilateral para cada uno los lados, con la misma observación hecha para el caso de la localización bilateral alternada, con relación a los avances y retrocesos de las luminarias.

$$K_{\%} = \frac{K_A + K_B}{2}$$

Es evidente, sin embargo, que el número de luminarias cuyo flujo se toma en consideración es el doble con relación a la localización unilateral.

4.- LOCALIZACIÓN CENTRAL DOBLE

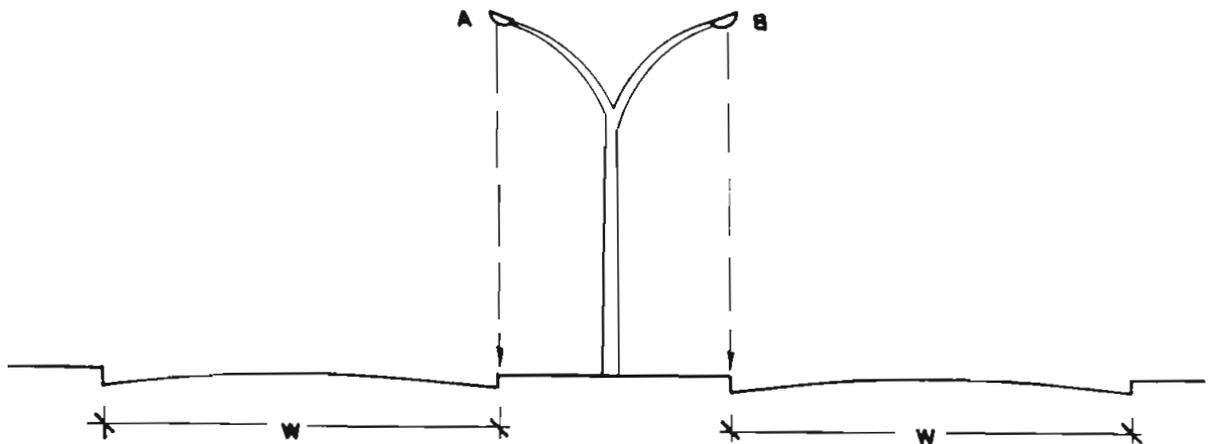
Se calcula separadamente el coeficiente de utilización de cada luminaria.

K_A se calcula según uno de los casos mencionados anteriormente en 1).- a.b.c.

K_B se calcula como 1).- d y finalmente:

$$K\% = \frac{K_A + K_B}{2}$$

Es evidente, como en el caso anterior, que el número de luminarias cuyo flujo se toma en consideración es el doble con relación a la localización unilateral.



EJEMPLOS PRÁCTICOS

Estos ejemplos se refieren a luminarias tipo "Z-3-N" de reparto asimétrico con cierre de vidrio curvo, inclinada 5° con relación a la horizontal y provista de bombilla de sodio de 250 W (25.500 lúmenes). Posición de la bombilla - 30/150.

Caso 1.- LOCALIZACIÓN UNILATERAL

Caso 1-a La vertical de la luminaria coincide con el borde de la calzada

$$W = W_1 = 8\text{m.} \quad H = 8\text{m.} \quad L = 30\text{m.}$$

$$W_1/H = 8/8 = 1 \text{ hacia adelante}$$

$$K\% = k_1 \text{ adelante} = 39\%$$

$$\text{Emed} = \frac{0.39 \times 25.500 \times 0.85^*}{8 \times 30} = 35.22 \text{ Luxes}$$

* Factor de mantenimiento.

Caso 1-b La luminaria avanza W_2 sobre la calzada

$$W = 8\text{m.} \quad W_1 = 7\text{m.} \quad W_2 = 1\text{m.} \quad H = 8\text{m.} \quad L = 30\text{m.}$$

$$W_1/H = 7/8 = 0.875$$

$$W_2/H = 1/8 = 0.125$$

$$\begin{aligned} K\% &= K_1 \text{ adelante} + K_2 \text{ atrás} \\ &= 37 + 3.7 = 40.7 \% \end{aligned}$$

$$\text{Emed} = \frac{0.407 \times 25.500 \times 0.85}{8 \times 30} = 36.75 \text{ Luxes}$$

Caso 1-c La luminaria está sobre la acera W_2 de la calzada

$$W = 8\text{m.} \quad W_1 = 9\text{m.} \quad W_2 = 1\text{m.} \quad H = 8\text{m.} \quad L = 30\text{m.}$$

$$W_1/H = 9/8 = 1.125 \quad W_2/H = 1/8 = 0.125$$

$$K\% = K_1 \text{ adelante} - K'_1 \text{ adelante} \\ = 40.5 - 5.1 = 35.4\%$$

$$\text{Emed} = \frac{0.354 \times 25.500 \times 0.85}{8 \times 30} = 31.97 \text{ Luxes}$$

Caso 1-d La luminaria ilumina la calzada con el flujo de atrás y está localizada a W_2 de la calzada

$$W = 8\text{m.} \quad W_1 = 11\text{m.} \quad W_2 = 3\text{m.} \quad H = 8\text{m.} \quad L = 30\text{m.}$$

$$W_1/H = 11/8 = 1.375 \quad W_2/H = 3/8 = 0.375$$

$$K\% = K_1 \text{ atrás} - K'_2 \text{ atrás} \\ = 21.2 - 10.5 = 10.7\%$$

$$\text{Emed} = \frac{0.107 \times 25.500 \times 0.85}{8 \times 30} = 9.66 \text{ Luxes}$$

Caso 2 LOCALIZACIÓN BILATERAL ALTERNADA (zig-zag)

La vertical de las luminarias de la fila A, coincide con el borde de la calzada (Caso 1-a).

La fila B de la luminaria avanza W_2 sobre la calzada (caso 1-b)

$$W = 8\text{m.} \quad H = 8\text{m.} \quad L = 30\text{m.}$$

$$K_A \text{ (igual al del caso 1-a)} = 39\%$$

$$K_B \text{ (igual al del caso 1-b)} = 40.7\%$$

$$K = \frac{K_A + K_B}{2} = \frac{39 + 40.7}{2} = 39.85\%$$

$$\text{Emed} = \frac{0.3985 \times 25.500 \times 0.85}{8 \times 30} = 35.98 \text{ Luxes}$$

Caso 3 **LOCALIZACIÓN BILATERAL OPUESTA**

La vertical de las luminarias de la fila A, coincide con el borde de la calzada (caso 1-a).

La fila B de las luminarias avanza W_2 sobre la calzada (caso 1-b).

$$W = 8\text{m.} \quad H = 8\text{m.} \quad L = 30\text{m.}$$

$$K_A \text{ (igual al del caso 1-a)} = 39\%$$

$$K_B \text{ (igual al del caso 1-b)} = 40.7\%$$

$$K = \frac{K_A + K_B}{2} = \frac{39 + 40.7}{2} = 39.85\%$$

$$\text{Emed} = \frac{0.3985 \times 2 \times 25.500 \times 0.85}{8 \times 30} = 71.97 \text{ Luxes}$$

Nota: El flujo luminoso en este caso es 2×25.500 lúmenes correspondientes a las dos luminarias opuestas A y B.

Caso 4 **LOCALIZACIÓN CENTRAL DOBLE**

La vertical de la luminaria de la fila A, coincide con el borde de la calzada (caso 1-a).

La fila de luminarias localizadas a W_2 de la calzada, la ilumina con el flujo de atrás (caso 1-d).

$$W = 8\text{m.} \quad H = 8\text{m.} \quad L = 30\text{m.}$$

$$K_A \text{ (igual al del caso 1-a)} = 39\%$$

$$K_B \text{ (igual al del caso 1-d)} = 10.7\%$$

$$K = \frac{K_A + K_B}{2} = \frac{39 + 10.7}{2} = 24.85\%$$

$$E_{med} = \frac{0.2485 \times 2 \times 25.500 \times 0.85}{8 \times 30} = 44.88 \text{ Luxes}$$

Nota: El flujo luminoso en este caso es 2 x 25.500 lúmenes correspondientes a las dos luminarias A y B.

APÉNDICE # 2

APÉNDICE # 2

ÍNDICES DE PROTECCIÓN

Hermeticidad de la Luminaria

Las luminarias pueden volverse muy sucias por causas de la polución de los vehículos, industrias o por causas naturales.

Hoy en día un grado de hermeticidad está recomendado para prevenir el ingreso de suciedad y limitar el mantenimiento. Los índices de protección son definidos por las normas C.E.I. (Comisión Electrotécnica Internacional), standard # 529 y 589.

Para alumbrado público el grado de hermeticidad IP 54 tiene que ser un mínimo absoluto. Una luminaria con coeficiente de hermeticidad IP 65, requerirá menos mantenimiento que una luminaria de coeficiente de hermeticidad IP 43. El coeficiente IP 54 es el mínimo a conseguir para una luminaria de alumbrado público con el fin de mantener su capacidad fotométrica original por un buen tiempo.

Facilidad de Mantenimiento

Un mantenimiento de cualquier sistema es caro y largo. El objetivo debe ser el de reducir ese tiempo de mantenimiento de las luminarias, esto se lo puede conseguir de la siguiente manera:

- Teniendo un alto grado de hermeticidad.
- Un acceso inmediato a la lámpara.
- Una disociación total entre el bloque óptico y el bloque de los auxiliares eléctricos.
- Una accesibilidad y una facilidad para un cómodo

manipuleo de los elementos eléctricos que se ubican sobre la parte superior de la luminaria.

Con relación al índice de hermeticidad los equipos destinados al alumbrado público se clasifican:

SÍMBOLO	TIPO DE PROTECCIÓN	APLICACIÓN
IP 22	Ninguna protección contra la penetración de polvo ; protección contra la filtración de agua con una inclinación de la luminaria de hasta 15°.	En el exterior, bajo cubierto.
IP 23	Ninguna protección contra la penetración de polvo ; protección contra la lluvia.	En el exterior, alumbrado público. (luminarias abiertas).
IP 54	Protección parcial contra la penetración de polvo ; protección contra las salpicaduras.	Alumbrado público (luminarias cerradas)
IP 55	Protección parcial contra la penetración de polvo ; protección contra los chorros de agua.	Túneles
IP 57	Protección parcial contra la penetración de polvo ; protegido contra la inmersión.	En lugares polvorientos y muy mojados.
IP 65	Protección total contra el polvo, protegido contra el lanzamiento de agua en todas direcciones.	Proyectores a la intemperie.

La primera cifra indica el grado de protección contra el contacto directo con elementos bajo tensión y el grado de protección del material contra la penetración de cuerpos sólidos extraños y polvo; la segunda cifra indica el grado de protección contra penetración de líquidos.¹

¹ Normas C.E.I # 144, 529 y 589

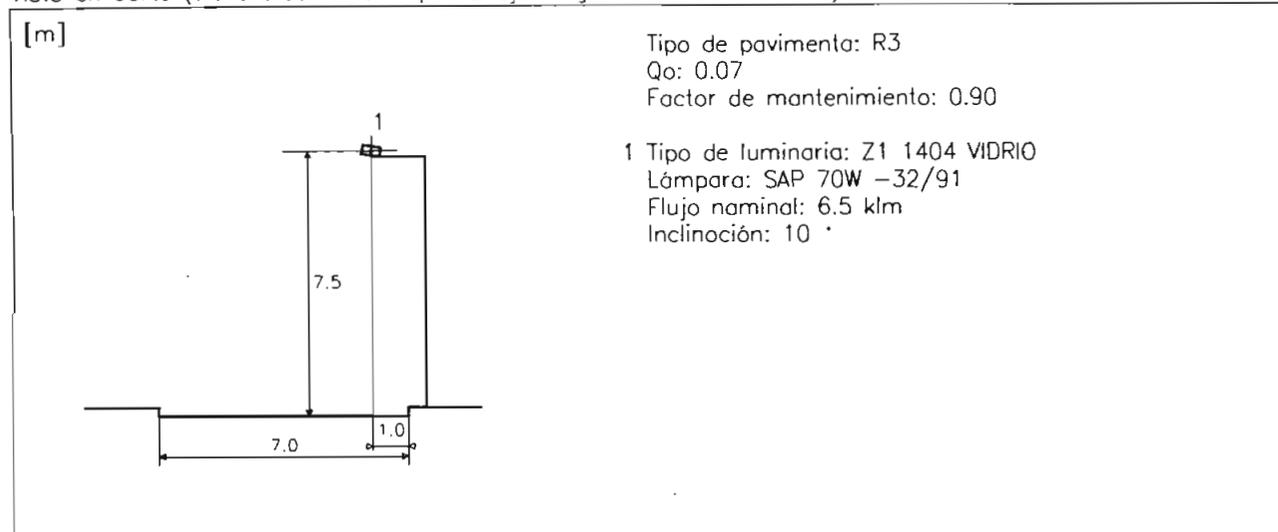
APÉNDICE # 3

APÉNDICE # 4

CÁLCULO DE LA ILUMINANCIA Y DE LUMINANCIA SEGUN LA PUBLICACIÓN C.I.E N° 30-2

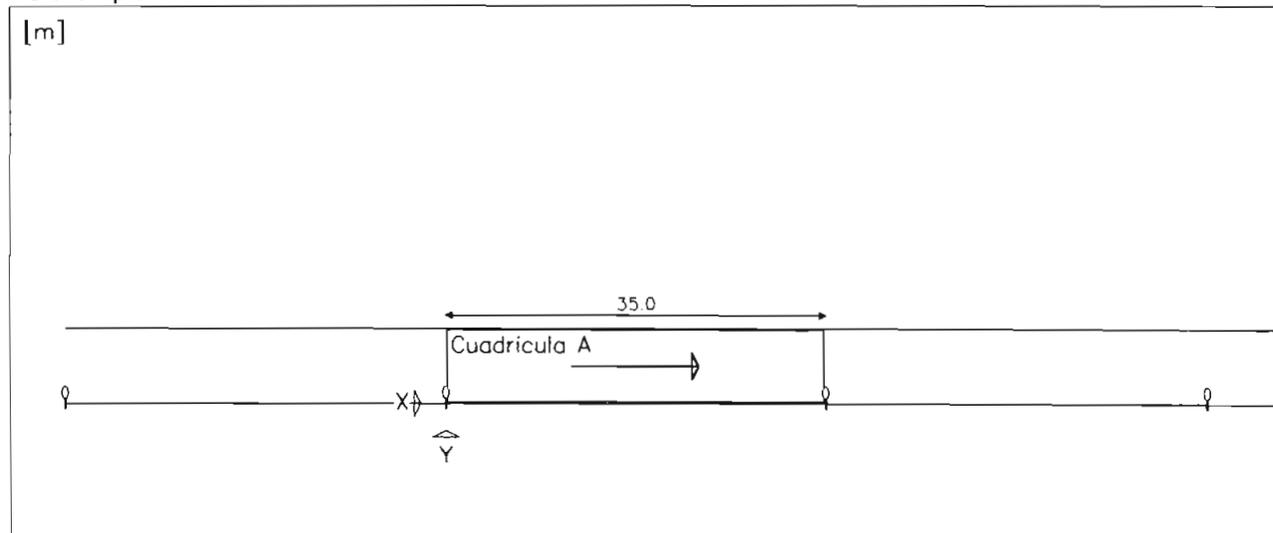
DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN Y DE LA IMPLANTACIÓN

Visto en corte (transversalmente o por el eje longitudinal de la calzada)



POSICIÓN DE LA(S) CUADRICULA(S) DE CÁLCULO

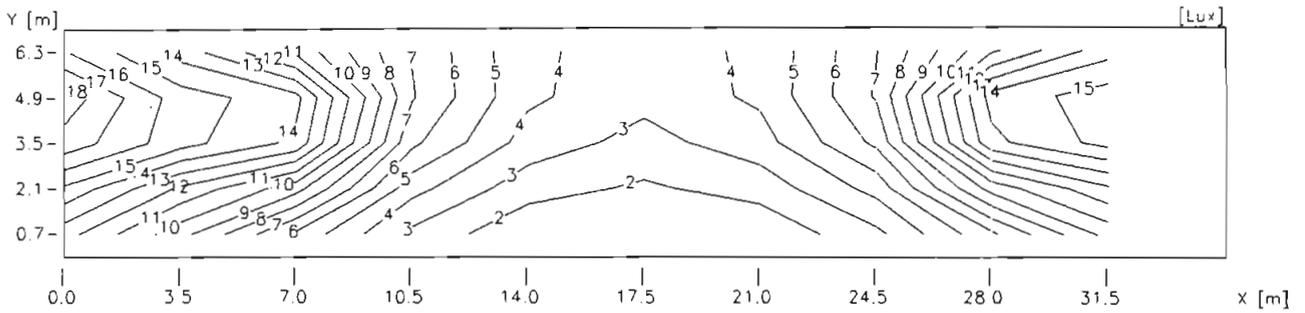
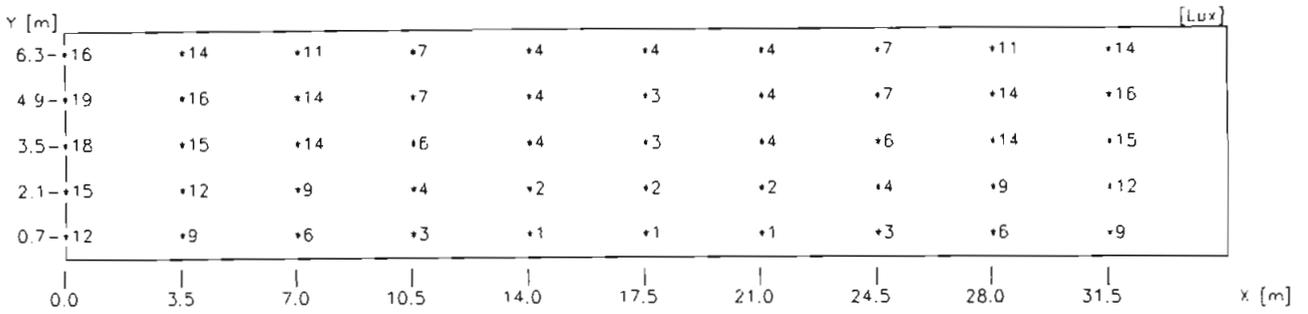
Vista en planta



Observaciones:

- 2 sentidos de circulación significan 2 posiciones diferentes de observadores y, por ello, 2 cuadrículas de cálculo de luminancia
- La inclinación está dado aquí con relación a la de un aparato idéntico fijada con entrada horizontal de un poste

ILUMINANCIAS HORIZONTALES EN LA CUADRICULA A



$E_{med} = 8 \text{ Lux}$

$E_{min} = 1 \text{ Lux}$

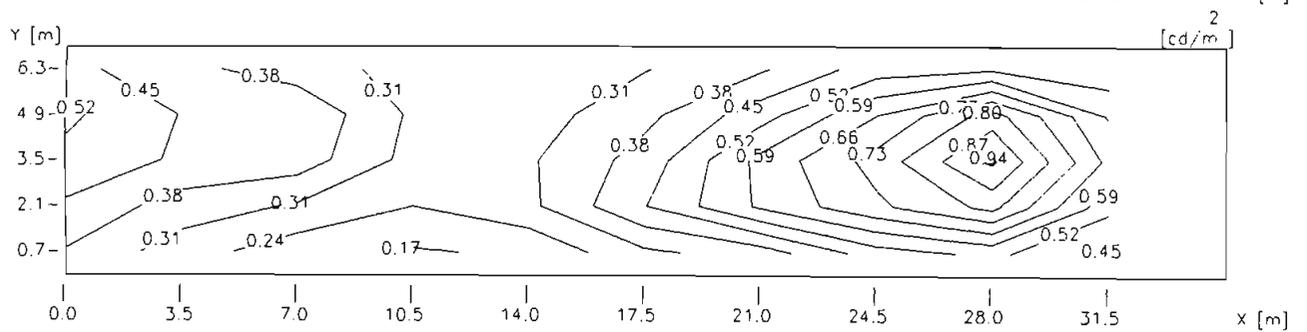
$E_{max} = 19 \text{ Lux}$

$U_o = E_{min}/E_{med} = 13 \%$

$U_g = E_{min}/E_{max} = 5 \%$

LUMINANCIA EN LA CUADRICULA A (Posición del observador: X = -60.0 Y = 1.75 Z = 1.5)

Y [m]	[cd/m ²]									
6.3	+0.47	+0.40	+0.34	+0.28	+0.25	+0.31	+0.37	+0.49	+0.51	+0.47
4.9	+0.54	+0.45	+0.44	+0.30	+0.28	+0.36	+0.49	+0.66	+0.83	+0.58
3.5	+0.50	+0.44	+0.42	+0.29	+0.30	+0.41	+0.61	+0.76	+0.95	+0.64
2.1	+0.44	+0.35	+0.30	+0.24	+0.29	+0.45	+0.60	+0.71	+0.82	+0.54
0.7	+0.38	+0.27	+0.20	+0.16	+0.18	+0.30	+0.34	+0.48	+0.54	+0.44
	0.0	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5	21.0	24.5	28.0	31.5
	x [m]									



$$L_{med} = 0.4 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{min} = 0.2 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{max} = 1.0 \text{ cd/m}^2$$

$$U_0 = L_{min}/L_{med} = 36 \%$$

$$U_g = L_{min}/L_{max} = 17 \%$$

$$U_{H1} = L_{min}/L_{max} = 30 \% \text{ (Observador sobre el eje Y = + 3.50) } *$$

* Véase cálculo de la última página

UNIFORMIDAD LONGITUDINAL EN CADA BANDA DE CIRCULACIÓN

Observador en el eje Y = + 3.50 m

X=	0.0	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5	21.0	24.5	28.0	31.5	{m}
L=	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	0.7	[cd/m ²]

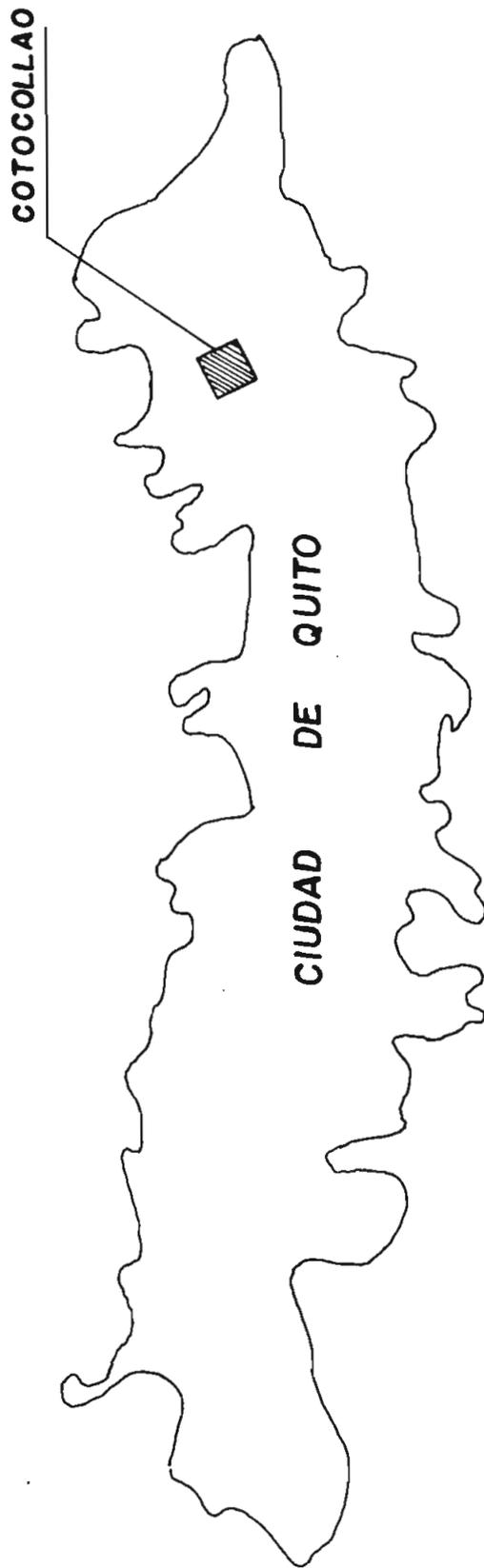
$$UI1 = L_{min}/L_{max} = 30 \%$$

OTROS DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO

Fila	1:	N° de luminarias	Coord de 1ª luminaria.			Orientación de la matriz		N° de la Rotación	N° de la Matriz
			X	Y	Z	Acimut.	Inclinación		
Fila	1:	6	-35.00	1.00	7.50	0.00	10.00	0.00	901361

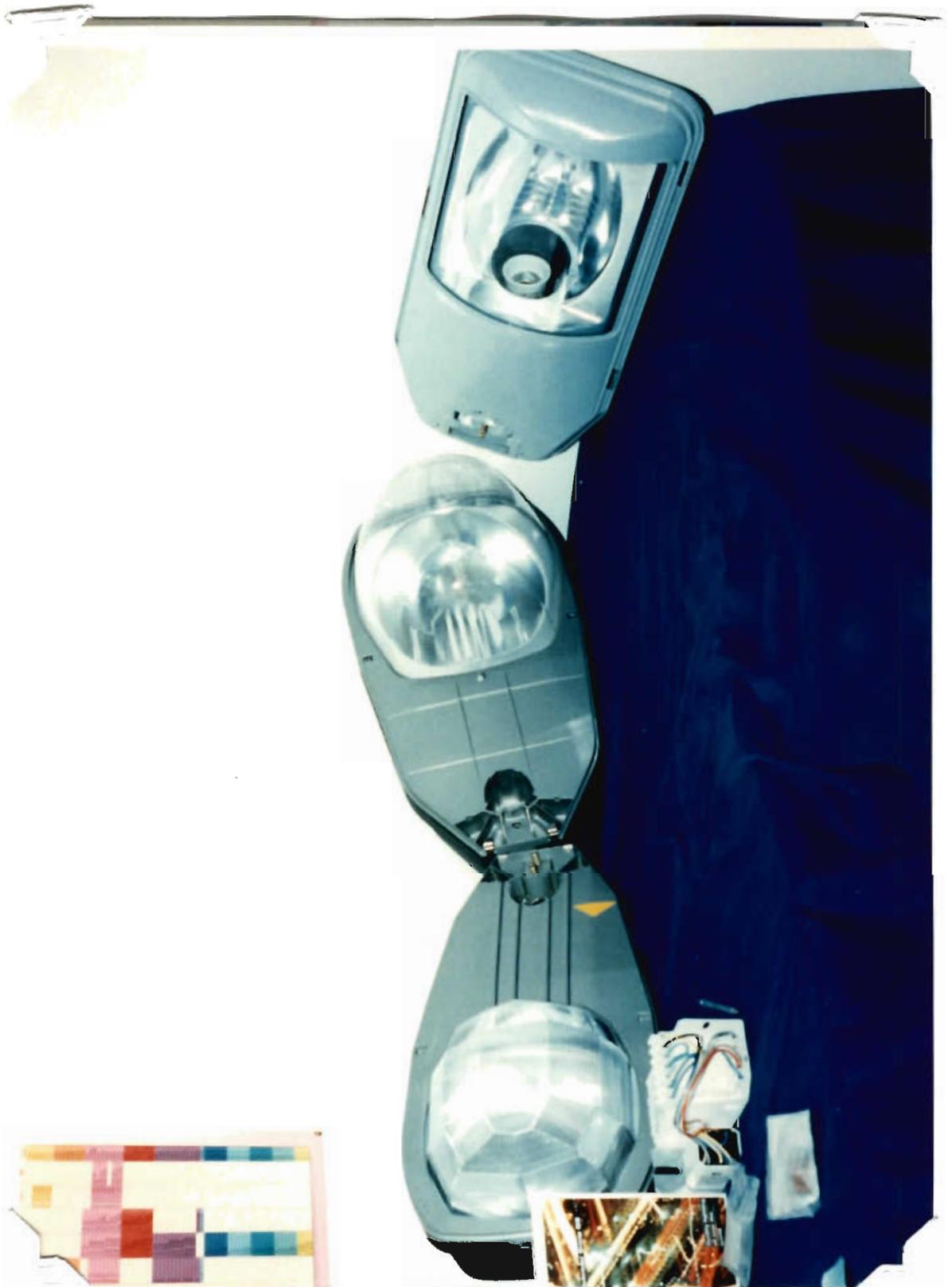
APÉNDICE # 5

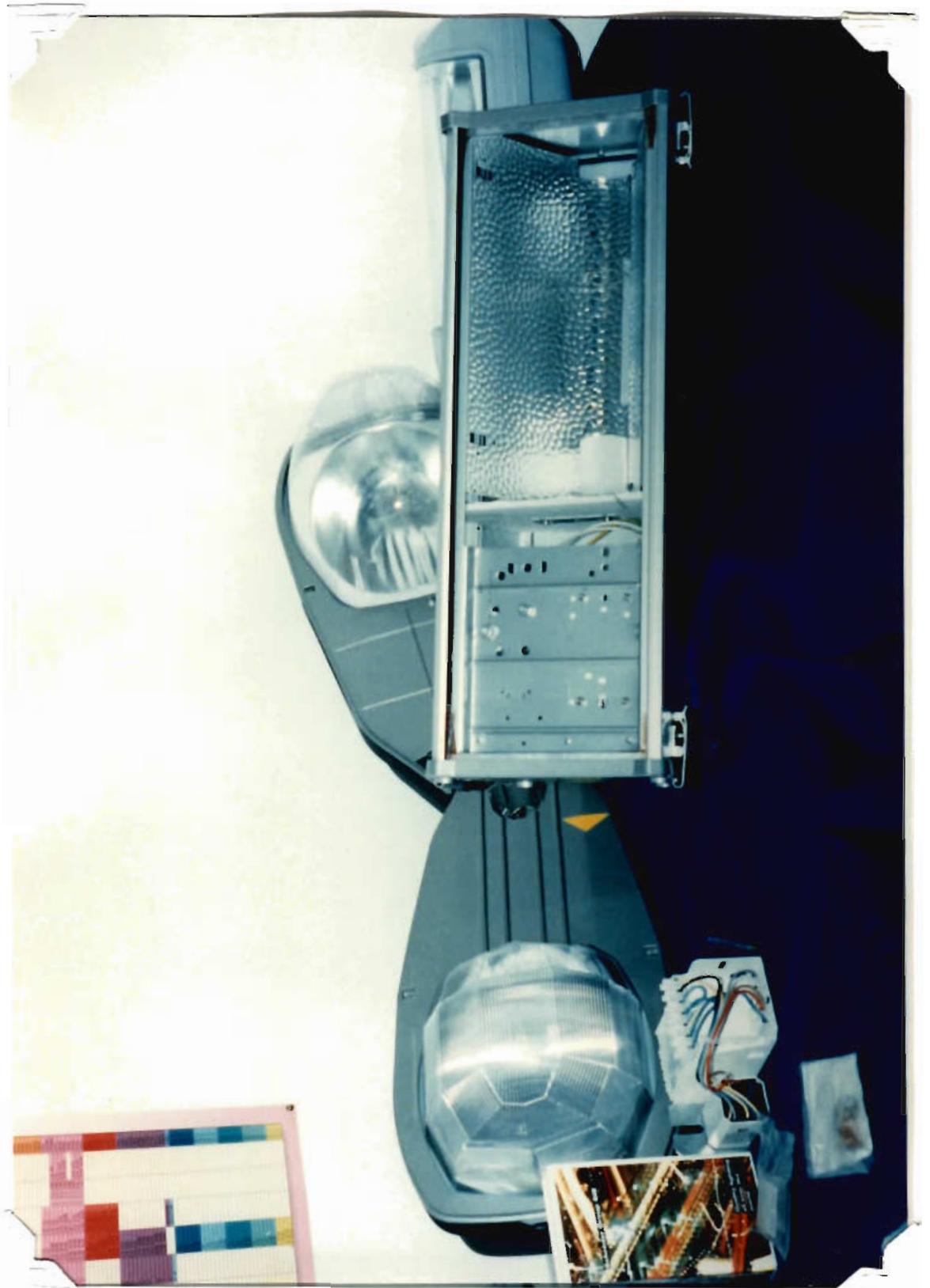
UBICACION



APÉNDICE # 6







REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] **COMISIÓN INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN, Guía sobre la Iluminación de Exteriores, Publicación C.I.E. No. 122.**

- [2] **PHILIPS, Centro de Ingeniería y Diseño de Alumbrado, Manual de Alumbrado, Madrid 1983.**

- [3] **INEN, Alumbrado de Calles y Carreteras, Código de Práctica para Alumbrado Público, I Parte, Quito 1987.**

- [4] **RAMÍREZ VÁSQUEZ JOSÉ, Luminotecnia, Enciclopedia CEAC de Electricidad, Barcelona 1972.**

- [5] **TABOADA J.A, Manual Osram, Edición Osram, España 1975.**

- [6] **SYLVANIA GTE, Información Técnica, Boletín No. 0-341.**

- [7] **FIDE, Recomendaciones Generales para Alumbrado Público, Méjico 1992.**

- [8] **LOAIZA LUIS, Alumbrado Público, Conferencia, Quito 1995.**

- [9] **SCHEREDER, Iluminación con Avanzada Tecnología y Ahorro de Energía, Simposio, Quito 1995.**

- [10] **COMISIÓN INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN, Calculation and Measurement of Luminance and Illuminance in Road Lighting, Publicación C.I.E No. 30, 1976.**

- [11] WESTINGHOUSE, **Manual de Iluminación**, USA 1980.
- [12] EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A, **Alumbrado Público de Calles y Avenidas**, Proyecto de Norma Interna, Quito 1992.
- [13] PHILIPS LIGHTING B.V, **Lighting Design and Application Centre Computer Aided Lighting Design**, ROAD 2.30, January 1992.
- [14] VITTIRIO R.E, **Iluminación Externa**, Boaixared Editores, Barcelona 1980.
- [15] CONSTRUCTIONS ELECTRIQUES SCHEREDER S.A, **Eficacia de un Sistema de Iluminación**, Documentación Técnica.
- [16] OTORONGO M., SILVA A., **Reducción de Pérdidas Técnicas en Transformadores de Distribución y Alumbrado Público**, XIV Seminario Ecuatoriano de Distribución de Energía Eléctrica, Ibarra, Junio de 1996.
- [17] PHILIPS ILUMINACIÓN, **Balastos para Lámparas de Descarga**, Datos técnicos, Marzo 1996.
- [18] IEC-662, IEC-262, IEC-459, **Normas Internacionales para la Fabricación de Balastos**.
- [19] PHILIPS LIGHTING, **Effects of mains Voltaje Variations and dimming on High Intensity. Discharge Lamps (HID)**, January 1996.
- [20] EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A, **Normas para Sistemas de Distribución, Parte A, Guía para Diseño**, Quito 1979.

- [21] MUÑOZ J.P, **Uso Eficiente de Energía Eléctrica no Setor de Iluminacao Pública (IP) do Ecuador**, Dissertacao para obtencao do título de Mestre em Energía, IEE-USP, Sao Paulo 1996.
- [22] JUAN CARLOS AMADE, **Análisis de la Situación Actual y Propuestas de Mejoras del Manejo de la Demanda y Uso Racional de la Energía en San José de Costa Rica**, Proyecto Manejo de la Demanda y Uso Racional de la Energía Eléctrica en el Itsmo Centroamericano, Programa PIER/CCE/OLADE, Febrero 1993.
- [23] VIMOS G., **Uso Racional de la Energía e Identificación de las Pérdidas Técnicas y Ahorro de Energía Eléctrica en el Sistema de Alumbrado Público de EMELORO**, XIV Seminario Ecuatoriano de Distribución de Energía Eléctrica, Ibarra, Junio de 1996.
- [24] FIDE, **Recomendaciones para el Ahorro de Energía Eléctrica en el Alumbrado Público Municipal**, México 1992.
- [25] INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA (INE), **Utilización de Lámparas de Sodio en el Alumbrado Público**. Quito, Febrero 1990.
- [26] VEGA C., **Ingeniería Económica**, Quito, Enero 1983.
- [27] INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACIÓN (INECEL), **Actualización del Plan Nacional de Electrificación Período 1994-2010**, Dirección de Planificación y Tarifas, DPT-021/94, Quito, Octubre 1996.

[28]

GÓMEZ N., *Guía Informativa de Quito, Planos,*
Quito 1987.