



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ALUMBRADO  
PUBLICO DE CIUDAD UNIVERSITARIA**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO  
P R E S E N T A N  
ARMANDO LÓPEZ PARRA  
MIGUEL ÁNGEL OROZCO PONCE

ASESOR:  
ING. AUGUSTO SÁNCHEZ CIFUENTES



MEXICO, D.F.

MAYO 2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer mención de las personas que directa o indirectamente cooperaron para ver este trabajo terminado

Al ingeniero Augusto Sánchez Cifuentes por su disponibilidad, por su apoyo y confianza.

A los compañeros y amigos de los Proyectos de Ahorro de Energía en especial al ingeniero Martín Frutis, por sus valiosos consejos y todo el tiempo que nos regalo para ver este trabajo terminado.

A mis padres por ser ejemplo, guía, respaldo, confianza. Si ellos no fueran quien son... yo no sería quien soy.

A todos mis hermanos en especial a los de sangre ya que es por ésta por la que somos y andamos todos los días.

A toda la banda "pandrosa", porque me enseñan que todos los días se aprende algo nuevo: al abuelo, a chiqui, chaparrito, compa ingenio, a jorgito, almita, a "kikis", al Miguel. Con especial afecto a una niña que todos días se levanta con el sol. (Mi bruja).

A la máxima casa de estudios del país por formar a seres humanos concientes y de respeto.

a.l.p.

## **GRACIAS**

### **MAMA**

Por tu fortaleza, templanza, valor y cariño, que te han convertido en un ejemplo a seguir, por darme la libertad de tomar mis propias decisiones y apoyarme en ellas, por siempre estar ahí.

### **HERMANOS**

Efrain, Daniel, Berenice, por la unión que siempre ha existido entre nosotros y la ayuda incondicional.

### **ARMADO**

Por esta amistad tan valiosa y exigente que nos permitió terminar con este proyecto, por todas las grandes aportaciones e ideas frescas. Que la amistad perdure por mucho tiempo.

### **ING. AUGUSTO SANCHEZ CIFUENTES**

Por revisar nuestro trabajo y dedicarle su valioso tiempo.

### **ING. MARTIN FRUTIS**

Por su ayuda incondicional, por su paciencia, amistad, y todos los conocimientos transmitidos que hicieron que esta trabajo tomara un buen rumbo.

### **PROFESORES Y AMIGOS**

A todos aquellos profesores, compañeros, camaradas, amigos y carnales que conocí en la carrera y que me hicieron crecer y aprender de ustedes, y que ahora forman parte de buenos recuerdos y anécdotas, por su amistad, apoyo y por las tardes bohemias: Rulo, Félix, Rolas, Noe, David, Jorge, Chava, Joel, Daniel, Genaro, José Luis, Miguel, Roberto, Alex , Toño. Gracias

### **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Mi alma- mater, que me permitió formarme como profesional y como persona, por tu generosidad.

**MIGUEL ANGEL OROZCO PONCE**

## ÍNDICE

INTRODUCCION	I
IMPORTANCIA DEL ALUMBRADO PÚBLICO	III
ANTECEDENTES HISTORICOS	IV

### **CAPITULO I. FUNDAMENTOS PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO**

1.1 Terminología y unidades de iluminación	1
1.2 Flujo Luminoso	1
1.3 Intensidad luminosa	3
1.4 Iluminancia	4
1.5 Luminancia	5
1.6 Eficacia o Rendimiento Luminoso	6
1.7 Energía Luminosa o Cantidad de Luz	7
1.8 Magnitudes y unidades fundamentales	8

### **CAPITULO II. CLASIFICACIÓN DE LÁMPARAS Y LUMINARIOS PARA ALUMBRADO PÚBLICO**

2.1 Lámparas y luminarios	9
2.2 Características cromáticas	9
2.2.1 Temperatura de Color	10
2.2.2 Rendimiento de Color	10
2.3 Características de Duración	10
2.4 Factores externos que influyen en funcionamiento de las lámparas	11
2.5 Lámparas incandescentes	11
2.6 Lámparas de Descarga	15

2.7 Lámparas Fluorescentes	20
2.8 Lámparas de Vapor de mercurio	23
2.9 Lámparas de Luz Mixta	24
2.10 Lámparas con Halogenuros metálicos	25
2.11 Lámparas de vapor de sodio a alta presión	26
2.12 Clasificación de luminarios	30
2.12.1 Por su distribución de Luz	31
2.12.2 Por sus características cromáticas	33
2.13 Disposición de Luminarios en las vías	34

### **CAPITULO III. ILUMINACIÓN DE VIALIDADES**

3.1 Clasificación de Vialidades	38
3.2 Alumbrado público para vialidades según la NOM 001 SEDE 1999	39
3.3 Niveles de luminancia e iluminancia	40
3.4 Criterios de Calidad del Alumbrado	43
3.4.1 Coeficiente de Uniformidad	43
3.4.2 Factor de Utilización	44

### **CAPITULO IV. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE CIUDAD UNIVERSITARIA**

4.1.1 Lado Casa o Lado acera	45
4.1.2 Lado Calle o Lado calzada	46
4.1.3 Altura de Montaje	46
4.1.4 Depreciación de lúmenes de la lámpara	46
4.1.5 Depreciación por suciedad del luminaria	46
4.2 Hoja de datos fotométricos	48
4.3 Análisis de la situación actual del alumbrado público de C.U	48
4.3.1 Análisis de Vías Primarias	50
4.3.2 Presentación de los datos actuales en formatos específicos	50

4.3.3	Análisis con el método Lumen para el funcionamiento teórico actual	51
4.3.4	Calculo del Factor de Mantenimiento	52
4.3.5	Coefficiente de Uniformidad	53
4.4	Análisis de Estacionamientos	60
4.5	Carga conectada por concepto de vías principales y estacionamientos	63
4.6	Demanda en Ciudad Universitaria: considerando los estacionamientos y vías principales	64
4.7	Levantamiento de datos del alumbrado público	65

## **CAPITULO V. SISTEMA PROPUESTO PARA CIUDAD UNIVERSITARIA**

5.1	Descripción del Sistema Propuesto	68
5.2	Características del Luminario Propuesto	70
5.3	Tipo de Balastro	70
5.4	Características de la Fococelda	71
5.5	Resultados finales del sistema propuesto para el alumbrado de vialidades	72
5.6	Resultados finales del sistema propuesto para estacionamientos	73

## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1	Carga Instalada	85
6.2	Cálculo de la facturación total considerando el alumbrado de estacionamientos y vías principales	86
6.3	Opciones de Ahorro por Inversión Inicial	87
6.4	Control de los Luminarios actuales para el ahorro de energía	88
6.4.1	Recuento de la carga desconectada en el periodo mencionado	89
6.4.2	Facturación por carga desconectada	90
6.4.3	Inversión Inicial por compra de equipo de control	91
6.5	Recomendaciones	91
6.6	Conclusiones	93

**Anexo 1** (Código Nema)

**Anexo 2** (Tarifas)

**Anexo 3** (Plano de Ubicación)

**GLOSARIO DE TERMINOLOGIA UTILIZADO**

**BIBLIOGRAFIA**



## INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento del fuego, las fuentes de luz evolucionaron con el tiempo, pasando por la lámpara de aceite, la lámpara de gas, las velas de parafina, el petróleo destilado y finalmente la primera lámpara incandescente, la cual fue perfeccionada por Tomas A. Edison en el año de 1879. Con la aparición de la lámpara incandescente se pudieron realizar proyectos, trabajos y actividades que antes no se podían llevar a cabo. Desde entonces la iluminación artificial ha jugado un papel muy importante en nuestra sociedad, debido a que en la actualidad el 80% de las actividades del ser humano se realizan en interiores, ya sea en escuelas, oficinas, viviendas, industrias, comercios, transportes, etc.

La iluminación artificial en el alumbrado público ha sido de gran importancia en los últimos 100 años ya que nos ha permitido realizar actividades en horarios nocturnos, además facilita la circulación segura de vehículos y peatones, reduciendo con esto accidentes automovilísticos y bajando los índices de vandalismo y delincuencia.

El consumo de energía del alumbrado público representa en la actualidad un 20% del consumo total en la Ciudad de México, lo cual en las condiciones actuales de uso de energía obliga a hacer un uso racional de ésta.

El propósito de este trabajo es elaborar un proyecto con propuestas para el mejoramiento del alumbrado público de Ciudad Universitaria con oportunidades de ahorro de energía. Resaltando la importancia que tiene el alumbrado público en la facturación total, la cual según cifras recientes de este año (2002) se estima que es de 5,580,000 Kw/h al mes el consumo total de energía eléctrica y para el alumbrado público es de 490,000 Kw/h, representando aproximadamente el 12% de la facturación total. \*

\*Información proporcionada por Proyectos de Ahorro de Energía. Facultad de Ingeniería UNAM

Los resultados de este trabajo y la propuesta que de él se obtenga deberán ser técnicamente posibles, económicamente rentables y socialmente benéficos, además estos resultados contribuirán a bajar los consumos en la facturación eléctrica.

En este trabajo se darán los conceptos básicos de iluminación como son: contraste, brillantes, uniformidad, también se describirán los diferentes tipos de alumbrado, así como su clasificación de acuerdo con las normas Internacionales y Nacionales.

Se presenta una breve descripción de los diferentes tipos y clasificaciones de lámparas y luminarios para el alumbrado público existentes, se describirán las características que se deben tomar en cuenta para seleccionar adecuadamente los luminarios, tales como: características fotométricas, hermeticidad resistente a agentes atmosféricos del luminario, facilidad de instalación, conservación, vida útil, costo y estética del luminario a elegir, sin olvidar las condiciones para realizar su mantenimiento a futuro y un punto muy importante; la **eficacia** de los luminarios, que se verá reflejado en un ahorro de energía.

Con este trabajo se proporciona un informe detallado del funcionamiento actual del alumbrado público de Ciudad Universitaria, así como las condiciones en las que está operando. Con esta información se realizará el estudio y las consideraciones de diseño para identificar las oportunidades de ahorro de energía y se enumeran las propuestas basadas en los principales problemas encontrados del mal uso de energía. Y por último se presentan recomendaciones y propuestas que técnica y económicamente son atractivas para su realización.

## IMPORTANCIA DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Debido al aumento del tránsito vehicular dentro de Ciudad Universitaria se requiere que las vialidades estén adecuadamente iluminadas, y con esto dar mayor seguridad y fluidez de la circulación en las vialidades, así mismo disminuir el número de accidentes automovilísticos en las instalaciones, ya que la mayoría de los accidentes que se presentan es en el horario nocturno.

Con una buena iluminación se proporciona mayor seguridad tanto a peatones como a ciclistas.

El alumbrado público también ayuda a reducir el índice de asaltos y delitos que se cometen cuando la iluminación no es adecuada, ya que en la actualidad existen lugares en Ciudad Universitaria donde el alumbrado ha sido cubierto por el follaje de los árboles obstaculizando la iluminación, en otros casos las lámparas ya no sirven o hace falta darles mantenimiento, y en el peor de los casos hay lugares que nunca han contado con alumbrado.

Cuanto más pensemos en la utilidad del alumbrado público, en las necesidades que satisface y en los problemas que causa cuando no existe, más apreciaremos éste servicio.

Es por eso la urgencia de elaborar un programa que mantenga el alumbrado público de Ciudad Universitaria como son: estacionamientos, corredores y vías de acceso en buenas condiciones.

## ANTECEDENTES HISTORICOS

### Fuego

La primera forma de iluminación artificial se lograba con las fogatas utilizadas para calentarse y protegerse de los animales salvajes. Durante muchos milenios la antorcha continuo como una importante fuente de iluminación. Durante la edad media las antorchas, portátiles o ancladas en soportes metálicos de las callejuelas y plazas, se convirtieron en el primer ejemplo de alumbrado público.

Las lámparas de terracota más antiguas, que datan de 7000 a 8000 A.C., han sido encontradas en las planicies de Mesopotamia. En Egipto y Persia se han encontrado lámparas de cobre y bronce que datan aproximadamente de 2700 A.C.

Hubo múltiples esfuerzos para mejorar la eficiencia de estas lámparas. En el último siglo antes de nuestra era, Hero de Alejandría invento una lámpara en la que por una columna de presión, el aceite que alimentaba la mecha iba subiendo. Leonardo Da Vinci, modifico este diseño y añadió un lente de cristal. La luz que provenía de esta nueva lámpara se lograba por una mecha que se quemaba en forma constante, y gracias al lente de cristal la superficie de trabajo recibía niveles de iluminación que permitían la lectura nocturna.

### Velas

El uso de velas data a los principios de la era cristiana y su fabricación es probablemente una de las industrias más antiguas. Las primeras velas eran hechas con palos de madera recubiertos con cera de abeja.

Se piensa que los fenicios fueron los primeros en usar velas de cera (400 D.C.). El uso de velas no era tan común como el de lámparas de aceite, pero su uso se incremento durante la época medieval. Durante los siglos XVI a XVIII, las velas eran la forma más común para iluminar los interiores de los edificios.

La industria ballenera, durante el siglo XVIII, introdujo el "aceite de ballena" (espermaceti). La vela "espermaceti", debido a su nítida y constante flama, se convirtió en medida standard (la candela) para la iluminación artificial. La candela era la luz producida por una vela espermaceti con un peso de 1/6 de libra y quemándose a un ritmo de 120 gr. por hora. El desarrollo de la parafina en 1850 produjo un material económico que sustituyo a la espermaceti. Velas en elaborados candelabros se utilizaron como fuente de iluminación hasta que fueron sustituidas en 1834 con el recientemente descubierto gas. Hoy en día se utilizan las velas principalmente en ceremonias religiosas, como objetos decorativos y en ocasiones festivas.

## Lámparas de gas

Los antiguos códigos de Egipto y Persia hablan de explosiones de gases combustibles que brotaban a través de las fisuras de la tierra. Los chinos usaban al gas como fuente de iluminación muchos siglos antes de la era cristiana. Extraían al gas de yacimiento subterráneos por medio de tubería de bambú y lo usaban para iluminar las minas de sal y edificios de la provincia de Szechuan.

En 1664, John Clayton descubrió en el norte de Inglaterra un pozo de gas y lo extrajo por destilación. En 1784, Jean Pierre Mincklers produjo luz por primera vez con gas mineral. La primera instalación de luminarias de gas, la uso William Murdock en 1784 para iluminar su casa en Inglaterra. Posteriormente, se iluminaron almacenes, a los cuáles se conducía el gas por medio de ductos de metal.

A pesar del temor público por la seguridad del gas, F. A. Windsor instaló por primera vez luminarios en las vías públicas de Londres. Windsor, se conoce como el precursor de las instalaciones de alumbrado de gas. Este sistema de alumbrado se adoptó en muchas ciudades de países europeos y americanos pero finalmente fue sustituido por la electricidad durante el siglo XX.

El descubrimiento del petróleo en 1859 por Edwin L. Drake produjo una nueva fuente de gran eficiencia luminosa. Durante los próximos 20 años, el 80% de las patentes anuales se destinaron a este tipo de luminarios. Durante el resto del siglo XIX y principios del siglo XX, estas lámparas registraron numerosas mejoras, haciéndolas de uso común en los ambientes domésticos, industriales y de alumbrado público.

En nuestro país, en 1801 la Ciudad de México tenía en operación unos 1200 faroles que utilizaban aceite de ajonjolí como combustible, y más de medio siglo después en (1869) se fundó la compañía Mexicana de Gas la cual comenzó a proporcionar alumbrado público mediante la combustión de gas.

## Lámparas eléctricas

En 1650, Otto von Guericke de Alemania descubrió que la luz podía ser producida por excitación eléctrica. Encontró que cuando un globo de sulfuro era rotado rápidamente y frotado, se producía una emanación luminosa. En 1706, Francis Hawsbee inventó la primera lámpara eléctrica al introducir sulfuro dentro de un globo de cristal al vacío. Después de rotarla a gran velocidad y frotarla, pudo reproducir el efecto observado por von Guericke.

La primera patente para una lámpara incandescente la obtuvo Frederick de Moleyns en 1841, Inglaterra. Aun cuando esta producía luz por el paso de electricidad entre sus filamentos, era de vida corta. Durante el resto del siglo XIX, muchos científicos trataron de producir lámparas eléctricas.

Finalmente, Thomas A. Edison produjo una lámpara incandescente con un filamento carbonizado que se podía comercializar. Aunque esta lámpara producía luz constante durante un periodo de dos días, continuó sus investigaciones con materiales alternos para la construcción de un filamento más duradero. Su primer sistema de iluminación incandescente la exhibió en su laboratorio en 21 de diciembre de 1879.

Edison hizo su primera instalación comercial para el barco Columbia. Esta instalación con 115 lámparas fue operada sin problemas durante 15 años. En 1881, su primer proyecto comercial fue la iluminación de una fábrica de Nueva York. Este proyecto fue un gran éxito comercial y estableció a sus lámparas como viables. Durante los siguientes dos años se colocaron más de 150 instalaciones de alumbrado eléctrico y en 1882 se construyó la primera estación para generar electricidad en Nueva York. En ese mismo año, Inglaterra montó la primera exhibición de alumbrado eléctrico.

En 1904, el norteamericano Willis R. Whitney produjo una lámpara con filamento de carbón metalizado, la cual resultó más eficiente que otras lámparas incandescentes previas. La preocupación científica de convertir eficientemente la energía eléctrica en luz, pareció ser satisfecha con el descubrimiento del tungsteno para la fabricación de filamentos. La lámpara con filamento de tungsteno representó un importante avance en la fabricación de lámparas incandescentes y rápidamente reemplazaron al uso de tántalo y carbón en la fabricación de filamentos metálicos.

En 1913, Irving Langmuir introdujo gases inertes dentro del cristal de la lámpara logrando retardar la evaporación del filamento y mejorar su eficiencia. Al principio se usó el nitrógeno puro para este uso, posteriormente otros gases tales como el argón se mezclaron con el nitrógeno en proporciones variantes. El bajo costo de producción, la facilidad de mantenimiento y su flexibilidad dio a las lámparas incandescentes con gases tal importancia, que las otras lámparas incandescentes prácticamente desaparecieron.

Durante los próximos años se crearon una gran variedad de lámparas con distintos tamaños y formas para usos comerciales, domésticos y otras funciones altamente especializadas.

### **Las Lámparas de Descarga Eléctrica**

Jean Picard en 1675 y Johann Bernoulli sobre 1700 descubrieron que la luz puede ser producida por al agitar al mercurio. En 1850 Heinrich Geissler, un físico Alemán, inventó el tubo Geissler, por medio del cual demostró la producción de luz por medio de una descarga eléctrica a través de gases nobles. John T. Way, demostró el primer arco de mercurio en 1860.

Los tubos se usaron inicialmente sólo para los experimentos. Utilizando los tubos Geissler, Daniel McFarlan Moore entre 1891 y 1904 introdujeron nitrógeno para producir una luz amarilla y bióxido de carbón para producir luz rosado-blanco, color que aproxima luz del día. Estas lámparas eran ideales para comparar colores. La primera instalación comercial con los tubos Moore, se hizo en un almacén de Newark, N.J., durante 1904. El tubo Moore era difícil de instalar, reparar, y mantener. Peter Moore Hewitt comercializó una lámpara de mercurio 1901, con una eficiencia que dos o tres veces mayor que la de la lámpara incandescente. Su limitación principal era que su luz carecía totalmente de rojo. La introducción de otros gases fracasó en la producción de un mejor balance del color, hasta Hewitt ideó una pantalla fluorescente que convertía parte de la luz verde, azul y amarilla en rojo, mejorando así el color de la luz. Peter Moore Hewitt colocó su primera instalación en las oficinas del New York Post en 1903. Debido a su luz uniforme y sin deslumbramiento, la lámpara fluorescente inmediatamente encontró aceptación en Norteamérica.

La investigación del uso de gases nobles para la iluminación era continua. En 1910 Georges Claude, estudio en Francia las lámparas de descarga con varios gases tales como el neón, argón, helio, criptón y xenón, resultando las lámparas de neón. El uso de las lámparas de neón fue rápidamente aceptado para el diseño de anuncios, debido a su flexibilidad, luminosidad y sus brillantes colores. Pero debido a su baja eficiencia y sus colores particulares nunca encontró aplicación en la iluminación general.

En 1931, se desarrolló una lámpara de alta presión de sodio en Europa, 1931. A pesar de su alta eficiencia no resultó satisfactoria para el alumbrado de interiores debido al color amarillo de su luz. Su principal aplicación es el alumbrado público donde su color no se considera crítico. A mediados del siglo XX las lámparas de sodio de alta presión aparecieron en las calles, carreteras, túneles y puentes de todo el mundo.

El fenómeno fluorescente se había conocido durante mucho tiempo, pero las primeras lámparas fluorescentes se desarrollaron en Francia y Alemania en la década de los 30. En 1934 se desarrolló la lámpara fluorescente en los Estados Unidos. Esta ofrecía una fuente de bajo consumo de electricidad con una gran variedad de colores. La luz de las lámparas fluorescentes se debe a la fluorescencia de ciertos químicos que se excitan por la presencia de energía ultravioleta.

La primera lámpara fluorescente era a base de un arco de mercurio de aproximadamente 15 watts dentro de un tubo de vidrio revestido con sales minerales fluorescentes (fosforescentes). La eficiencia y el color de la luz eran determinados por la presión de vapor y los químicos fosforescentes utilizados. Las lámparas fluorescentes se introdujeron comercialmente en 1938, y su rápida aceptación marcó un desarrollo importante en el campo de iluminación artificial. No fue hasta 1944 que se hicieron las primeras instalaciones de alumbrado público con lámparas fluorescentes.

En 1950 salió al mercado la lámpara de vapor de mercurio de espectro corregido, la cual daba una luz blanca y tenía un buen rendimiento. Aquí en la Ciudad de México fue en 1958 cuando se instalaron lámparas de vapor de mercurio de 400 Watts. Para 1968 y con motivo de los juegos olímpicos en la Ciudad Universitaria se instalaron lámparas de vapor de mercurio de 400 Watts para alumbrado público. Actualmente (2004) en Ciudad Universitaria cuenta en su mayoría con lámparas de vapor de sodio de 250 Watts para el alumbrado público.



## **CAPITULO I**

### **FUNDAMENTOS PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO**

## 1.1 TERMINOLOGIA Y UNIDADES DE ILUMINACIÓN

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía. Si la energía se mide en joules (J) en el Sistema Internacional, ¿Para qué necesitamos nuevas unidades? La razón es más simple de lo que parece. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa, ni toda la energía que consume, por ejemplo, una bombilla se convierte en luz.

En la Luminotecnia intervienen dos elementos básicos a considerar: la fuente productora de Luz y el objeto a iluminar. Las unidades y magnitudes fundamentales empleadas para valorar y comparar las cualidades y los defectos de las fuentes de luz son:

- Flujo Luminoso
- Rendimiento Luminoso
- Cantidad de Luz (Energía Luminosa)
- Intensidad Luminosa
- Iluminancia
- Luminancia

A continuación se dará una descripción breve de cada uno de los conceptos.

## 1.2 Flujo luminoso

Para hacernos una primera idea consideraremos dos bombillas, una de 25 W y otra de 60 W. Está claro que la de 60 W dará una luz más intensa. Pues bien, esta es la idea: ¿cuál luce más? o dicho de otra forma ¿cuánto luce cada bombilla?

Cuando hablamos de 25 W o 60 W nos referimos sólo a la potencia consumida por la bombilla de la cual solo una parte se convierte en luz visible, es el llamado flujo luminoso. Podríamos medirlo en Watts (W), pero parece más sencillo definir una nueva unidad, el **lumen**, que tome como referencia la radiación visible. Empíricamente se demuestra que a una radiación de 555 nm. de 1 W de potencia emitida por un cuerpo negro le corresponden 683 lumen. (Manual de Luminotecnia, OSRAM, Págs. 65-66)

Nota: 1 nm =  $1 \times 10^{-9}$  metros

Se define el **flujo luminoso** como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre watts y lúmenes se le llama **equivalente luminoso de la energía** y equivale a:

$$1 \text{ watt-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

<b>Flujo luminoso</b>	<b>Símbolo: <math>\Phi</math></b>
	<b>Unidad: lumen (lm)</b>

La medida de flujo luminoso se realiza en laboratorio por medio de un foto-elemento ajustado según la curva de sensibilidad foto-óptica del ojo a las radiaciones monocromáticas, incorporado a una esfera hueca a la cual se le da el nombre de esfera integradora de Ulbricht en cuyo interior se coloca la fuente a medir.

En la tabla siguiente se muestran algunas lámparas más usadas y su flujo luminoso característico:

<b>TIPO DE LAMPARA</b>	<b>FLUJO LUMINOSO (lm)</b>
Vela de cera	10
Incandescente Estándar de 100 W	1380
Fluorescente L 40W720 (Blanco Frio)	3200
Mercurio alta presión HQL 400W	23000
Halogenuros Metálicos HQI 400W	28000
Sodio Alta Presión NAV-T 400W	48000
Sodio Baja Presión NA 180W	33000
Magnesio AG 3B	450000

Catálogo general de luz Osram 2002

El flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo una bombilla, en todas las direcciones del espacio, figura 1. Por contra, si pensamos en un proyector es fácil ver que sólo ilumina en una dirección. Parece claro que necesitamos conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio y para eso definimos la intensidad luminosa.

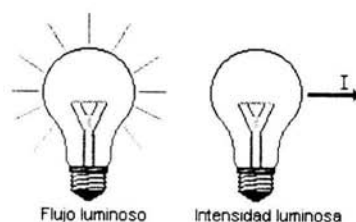
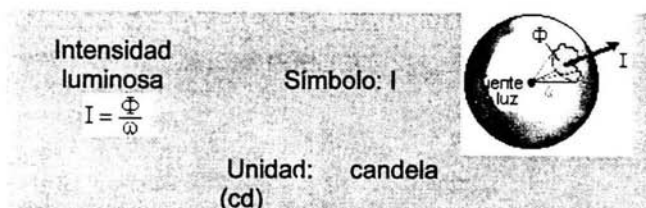


Figura 1. Diferencia entre flujo e intensidad luminosa.

### 1.3 Intensidad luminosa

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

Figura 2



Este parámetro se entiende únicamente referido a una determinada dirección y contenido en un ángulo sólido  $w$  (Omega Minúscula, ver figura 2). Al igual que una magnitud de superficie corresponde un ángulo plano que se mide en radianes, a una magnitud de volumen le corresponde un ángulo sólido o estereo que se mide con estereorradianes.

La candela se define como la intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de 1 lumen en un ángulo sólido de un estereorradián:

$$Cd = lm / sr$$

#### **Medida de la intensidad luminosa**

La medida de la intensidad luminosa se realiza en el laboratorio por medio de aparatos especiales, de los cuales existen diversos modelos fundados en la ley Inversa de Cuadrado de la Distancia, usando una luz patrón y otra desconocida situadas una enfrente a otra en un mismo eje e interceptadas en una pantalla en la que se igualan las iluminaciones captadas en ambas caras de la misma mediante un objetivo apropiado.

## 1.4 Iluminancia

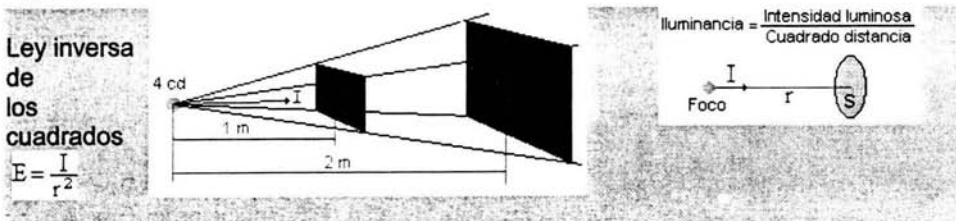
Quizás haya jugado alguna vez a iluminar con una linterna objetos situados a diferentes distancias. Si se pone la mano delante de la linterna podemos ver esta fuertemente iluminada por un círculo pequeño y si se ilumina una pared lejana el círculo es grande y la luz débil. Esta sencilla experiencia recoge muy bien el concepto de iluminancia.

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

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

El Lux, es una unidad de iluminancia y se define como la iluminación de la superficie de un metro cuadrado que recibe uniformemente repartido un flujo luminoso de un lumen. (ver figura 3)

Figura 3.



La medida de iluminancia se realiza por medio de un aparato denominado Luxómetro, que consiste en una celda fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre la superficie, genera una débil corriente eléctrica que varía en función de la luz incidente. Dicha corriente se mide con un miliamperímetro cuya escala está calibrada directamente en Lux.

En la siguiente tabla I-1 se muestran distintos valores aproximados de **iluminancias**.

Tabla I-1<sup>1</sup>

Medio día de verano al aire libre, cielo despejado	100,000 Lux
Medio día de verano al aire libre, cielo cubierto	20,000 Lux
Lugar de trabajo bien iluminado, recinto interior	1000 Lux
Buen Alumbrado Público	20-40 Lux
Noche de Luna Llena	0.25 Lux
Noche de Luna Nueva (luz de estrellas)	0.01 Lux

### 1.5 Luminancia

La luminancia de una superficie en una dirección determinada es la relación entre la intensidad luminosa en dicha dirección y la superficie aparente (Superficie vista por el observador situado en la misma dirección, figura 4).



La luminancia se representa por la letra **L** y su unidad es le **NIT (nt)** o candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ); tiene un submúltiplo que es el **STILB (sb)** que es candela por centímetro cuadrado ( $\text{cd}/\text{cm}^2$ ), este es empleado para fuentes con elevadas luminancias.

La ecuación que expresa la Luminancia es:

$$L = \frac{I}{S \cos \alpha} \quad \text{e. (1)}$$

Donde:

**S cos  $\alpha$**  es la superficie aparente

<sup>1</sup> Luminotecnia. sus principios y aplicaciones. R. G. Wagel. Ed. Gustavo Gili. Barcelona 1977

La luminancia es máxima cuando el ojo se encuentra en la perpendicular a la superficie luminosa, ya que entonces al ángulo es igual a cero y el coseno de cero es igual a uno, correspondiendo la superficie aparente real.

La luminancia es lo que produce en el órgano visual la sensación de claridad, pues no se hace visible hasta que es reflejada por los cuerpos. La mayor o menor claridad con que vemos los objetos iluminados, depende de su iluminancia, se puede decir por tanto, que el ojo ve diferencias de luminancias y no de iluminación.

La medida de la Luminancia se realiza por medio de un aparato especial llamado Luminancímetro o Nitrómetro, de construcción similar al Luxómetro, del que igualmente existen diversos modelos.

### 1.6 Eficacia o Rendimiento Luminoso

El rendimiento luminoso o eficacia luminosa de una fuente de luz, indica el flujo que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención.

El rendimiento o eficacia se representa por la letra griega eta ( $\eta$ ) y sus unidades son Lúmenes por Watt ( $lm/w$ )

$$\eta = \frac{\phi (lm)}{W (watt)} \quad e. (2)$$

Para hacernos una idea de la porción de energía útil (ver figura 5), definimos el **rendimiento luminoso** como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, que viene con las características de las lámparas (25 W, 60 W). Mientras mayor sea mejor será la lámpara y menos gastará. La unidad es el lumen por watt ( $lm/W$ ). La figura

Figura 5



## 1.7 Energía Luminosa o Cantidad de Luz

De forma análoga a la energía eléctrica que se determina por la potencia eléctrica por unidad de tiempo, la cantidad de luz o energía luminosa se determina por la potencia luminosa o flujo luminoso por unidad de tiempo.

La cantidad de luz se representa por la letra **Q** y su unidad es el Lumen-Hora (**lm-h**) su fórmula es:

$$Q = \phi \times t \quad \text{e. (3)}$$



## 1.8 RESUMEN DE MAGNITUDES Y UNIDADES LUMINOSAS FUNDAMENTALES

Tabla I-2

MAGNITUD	SIMBOLO	UNIDAD	DEFINICIÓN DE LA UNIDAD	RELACIONES
FLUJO LUMINOSO	$\phi$	Lumen (lm)	Flujo luminoso de la radiación monocromática de frecuencia $540^{12}$ Hz. Y un flujo de energía radiantes de 1/683 Watts.	$\phi = I \cdot w$
RENDIMIENTO LUMINOSO	$\eta$	Lumen/Watt (lm/w)	Flujo luminoso emitido por Unidad de Potencia	$\eta = \phi / w$
CANTIDAD DE LUZ	Q	Lumen por segundo (lms) Lumen por hora (lmh)	Flujo luminoso emitido por unidad de tiempo	$Q = \phi \times t$
INTENSIDAD LUMINOSA	I	Candela (cd)	Intensidad luminosa de una fuente puntual que emite flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián	$I = \phi / w$
ILUMINANCIA	E	Lux (Lx)	Flujo luminoso de 1 lumen que recibe una superficie de 1m	$E = \phi / A$
LUMINANCIA	L	Nit (cd/m) Stilb (cd/cm)	Intensidad luminosa de una Candela por Unidad de superficie	$L = I / A$

## **CAPITULO II**

### **CLASIFICACIÓN DE LÁMPARAS Y LUMINARIOS PARA ALUMBRADO PÚBLICO**

## 2.1 LÁMPARAS Y LUMINARIOS

Para iluminar espacios carentes de luz es necesaria la presencia de fuentes de luz artificiales, las lámparas, y aparatos que sirvan de soporte y distribuyan adecuadamente la luz. De esta forma es posible vencer las limitaciones que la naturaleza impone a las actividades humanas.

Las lámparas son los aparatos encargados de producir iluminación. En la actualidad las lámparas las clasificamos en dos grandes grupos:

- a) Lámparas Incandescentes
- b) Lámparas de Descarga

En Alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga más que las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones, mayor ahorro de energético y económico. Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las de vapor de sodio a baja y alta presión, las cuales describiremos más adelante.

Entre los parámetros que sirven para definir una lámpara tenemos las **Características Fotométricas**: la Intensidad Luminosa, el Flujo Luminoso y el Rendimiento o Eficacia (estos parámetros fueron mencionados en el capítulo I), Además de estas, existen otros que nos informan sobre la calidad de la reproducción de los colores; llamadas **Características Cromáticas** y los parámetros de duración de las lámparas y de su potencia, siendo estas:

- Temperatura de Color
- Rendimiento de Color
- Potencia
- Características de Duración
- Depreciación

## 2.2 Características Cromáticas

Los colores que vemos con nuestros ojos dependen en gran medida de las características de las fuentes de luz. Por poner un ejemplo, no se ve igual una calle de noche a la luz de las farolas iluminadas por lámparas de luz blanca que con lámparas de luz amarillas.

A la hora de describir las cualidades cromáticas de las fuentes de luz hemos de considerar dos aspectos. El primero trata sobre el color que representa la fuente. Y el segundo describe como son reproducidos los colores de los objetos iluminados por esta.

### 2.2.1 Temperatura de Color

Hace referencia al color de la fuente luminosa. Su valor coincide con la temperatura a la que un cuerpo negro tiene una apariencia de color similar a la fuente considerada. Esto se debe a que sus espectros electromagnéticos respectivos tienen una distribución espectral similar. Conviene aclarar que los conceptos temperatura de color y temperatura de filamento son diferentes y no tienen que coincidir sus valores.

### 2.2.2 Rendimiento en Color

Hace referencia a cómo se ven los colores de los objetos iluminados. Nuestra experiencia nos indica que los objetos iluminados por una lámpara fluorescente no se ven del mismo tono que aquellos iluminados por incandescentes. En el primer caso destacan más los tonos azules mientras que en el segundo lo hacen los rojos. Esto se debe a que la luz emitida por cada una de estas lámparas tiene un alto porcentaje de radiaciones monocromáticas de color azul o rojo.

Para establecer el rendimiento en color se utiliza el Índice de Rendimiento de Color (ICR o  $R_a$ ) que compara la reproducción de una muestra de colores normalizada iluminada con nuestra fuente con la reproducción de la misma muestra iluminada con una fuente patrón de referencia.

## 2.3 Características de Duración

Todas las lámparas tienen una vida nominal expresada en horas de servicio.

La **vida individual** es el tiempo transcurrido en horas hasta que una lámpara se estropea, trabajando en unas condiciones determinadas.

La **vida promedio** es el tiempo transcurrido hasta que se produce el fallo de la mitad de las lámparas de un lote representativo de una instalación, trabajando en unas condiciones determinadas.

La **vida útil** es el tiempo estimado en horas tras el cual es preferible sustituir un conjunto de lámparas de una instalación a mantenerlas. Esto se hace por motivos económicos y para evitar una disminución excesiva en los niveles de iluminación en la instalación debido a la depreciación que sufre el flujo luminoso con el tiempo. Este valor sirve para establecer los periodos de reposición de las lámparas de una instalación.

La **vida media** es el tiempo medio que resulta tras el análisis y ensayo de un lote de lámparas trabajando en unas condiciones determinadas.

## **2.4 Factores Externos que Influyen en el Funcionamiento de las Lámparas**

Los factores externos que afectan al funcionamiento de las lámparas son la temperatura del entorno dónde esté situada la lámpara y las desviaciones en la tensión nominal en los bornes.

La **temperatura ambiente** no es un factor que influya demasiado en el funcionamiento de las lámparas, pero sí se ha de tener en cuenta para evitar deterioros en los materiales empleados en su fabricación. En las lámparas normales hay que tener cuidado de que la temperatura de funcionamiento no exceda de los 200° C para el casquillo y los 370° C para el bulbo en el alumbrado general. Esto será de especial atención si la lámpara está alojada en luminarias con mala ventilación. En el caso de las lámparas halógenas es necesaria una temperatura de funcionamiento mínima en el bulbo de 260° C para garantizar el ciclo regenerador del <sup>1</sup>Wolframio. En este caso la máxima temperatura admisible en la ampolla es de 520° C para ampollas de vidrio duro y 900° C para el cuarzo.

Las **variaciones de la tensión** se producen cuando aplicamos a la lámpara una tensión diferente de la tensión nominal para la que ha sido diseñada. Cuando aumentamos la tensión aplicada se produce un incremento de la potencia consumida y del flujo emitido por la lámpara pero se reduce la duración de la lámpara. Análogamente, al reducir la tensión se produce el efecto contrario.

### ***Depreciación***

Es la pérdida o disminución de la cantidad de luz que sale de una lámpara o de un luminaria. Como veremos, la depreciación puede ser por el envejecimiento de las lámparas; o en el caso de una luminaria, por suciedad en el mismo.

### ***Potencia***

La potencia de una lámpara es la energía consumida por ésta para transformarla en luz visible, se mide en Watts. El concepto de potencia va íntimamente ligado al de cantidad de luz emitido por la lámpara ya que entre más potencia sea la lámpara más luz emitirá y mayor será el consumo de energía eléctrica.

## **2.5 Lámparas Incandescentes**

Las lámparas incandescentes fueron la primera forma de producir luz a partir de la electricidad y surgieron a finales del siglo XIX. En la actualidad siguen siendo una de las formas más utilizadas de producir luz, sobretodo en los ámbitos domésticos.

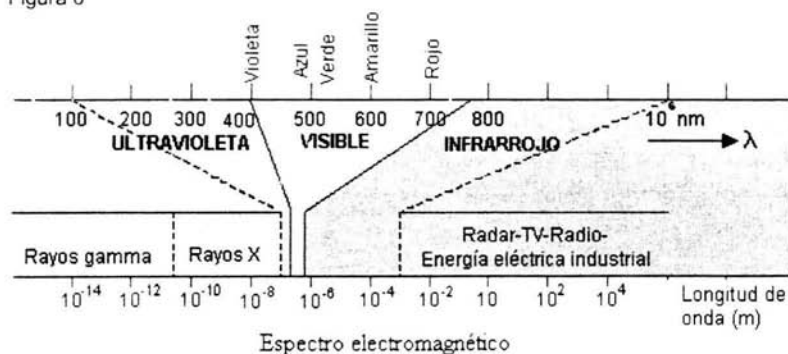
Desde que fueran inventadas, la tecnología ha cambiado mucho produciéndose sustanciosos avances en la cantidad de luz producida, el consumo y la duración de las lámparas. Su principio de funcionamiento es simple, se pasa una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano.

## La incandescencia

Todos los cuerpos calientes emiten energía en forma de radiación electromagnética. Mientras más alta sea su temperatura mayor será la energía emitida y la porción del espectro electromagnético ocupado por las radiaciones emitidas.

Si el cuerpo pasa la temperatura de incandescencia una buena parte de estas radiaciones caerán en la zona visible del espectro y obtendremos luz. En la figura 6 podemos observar el espectro electromagnético, el cual indica los rangos de luz visible del color violeta al color rojo.

Figura 6



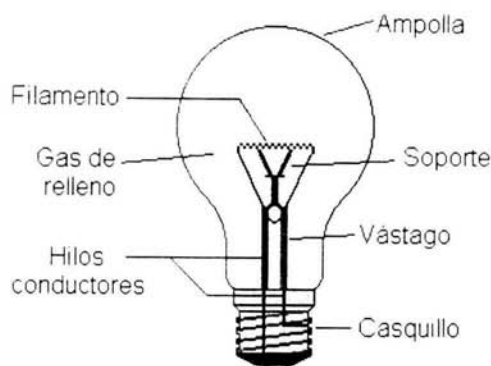
La producción de luz mediante la incandescencia tiene una ventaja adicional, y es que la luz emitida contiene todas las longitudes de onda que forman la luz visible o dicho de otra manera, su espectro de emisiones es continuo. De esta manera se garantiza una buena reproducción de los colores de los objetos iluminados.

## Partes de una lámpara incandescente

Las lámparas incandescentes están formadas por un hilo de Wolframio que se calienta por efecto Joule alcanzando temperaturas tan elevadas que empieza a emitir luz visible. Para evitar que el filamento se queme en contacto con el aire, se rodea con una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho el vacío o se ha rellenado con un gas.

El conjunto se completa con unos elementos con funciones de soporte y conducción de la corriente eléctrica y un casquillo normalizado que sirve para conectar la lámpara a la luminaria. (véase figura 7)

Figura 7



Partes de una bombilla

Ampolla | Filamento | Soporte | Gas de relleno | Vástago | Hilos conductores | Casquillo

### **Tipos de lámparas**

Existen dos tipos de lámparas incandescentes: las que contienen un gas halógeno en su interior y las que están al vacío:

### **Lámparas no halógenas**

Entre las lámparas incandescentes no halógenas podemos distinguir las que se han rellenado con un gas inerte de aquellas en que se ha hecho el vacío en su interior. La presencia del gas supone un notable incremento de la eficacia luminosa de la lámpara dificultando la evaporación del material del filamento y permitiendo el aumento de la temperatura de trabajo del filamento. Las lámparas incandescentes tienen una duración normalizada de 1000 horas, una potencia entre 25 y 2000 W y unas eficacias entre 7.5 y 11 lm/W para las lámparas de vacío y entre 10 y 20 para las rellenas de gas inerte. En la actualidad predomina el uso de las lámparas con gas, reduciéndose el uso de las de vacío a aplicaciones ocasionales en alumbrado general.

Tabla II-1<sup>3</sup>

Características de la Lámpara	Lámparas con gas	Lámparas de vacío
Temperatura del filamento	2500 °C	2100 °C
Eficacia luminosa de la lámpara	10-20 lm/W	7.5-11 lm/W
Duración	2000 horas	1000 horas
Pérdidas de Calor	Convección y Radiación	Radiación

<sup>3</sup> Manual de luminotecnia, Osram, J. A. Tabeada, Ed. Dossant

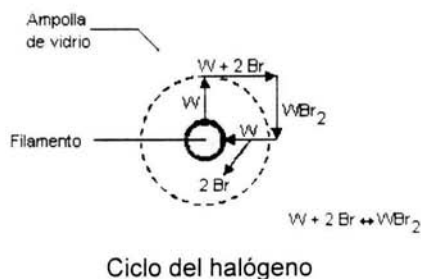
### Lámparas halógenas de alta y baja tensión

En las lámparas incandescentes normales, con el paso del tiempo, se produce una disminución significativa del flujo luminoso. Esto se debe, en parte, al ennegrecimiento de la ampolla por culpa de la evaporación de partículas de wolframio del filamento y su posterior condensación sobre la ampolla.

Agregando una pequeña cantidad de un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo), normalmente se usa el  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ , al gas de relleno se consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento. Cuando el tungsteno (W) se evapora se une al bromo formando el bromuro de Wolframio  $\text{WBr}_2$ . (véase figura 8)

Como las paredes de la ampolla están muy calientes (más de 260 °C) no se deposita sobre estas y permanece en estado gaseoso. Cuando el bromuro de Wolframio entra en contacto con el filamento, que está muy caliente, se descompone en W que se deposita sobre el filamento y Br que pasa al gas de relleno. Y así el ciclo vuelve a empezar.

Figura 8



Ciclo del halógeno

El funcionamiento de este tipo de lámparas requiere de temperaturas muy altas para que pueda realizarse el ciclo del halógeno. Por eso, son más pequeñas y compactas que las lámparas normales y la ampolla se fabrica con un cristal especial de cuarzo que impide manipularla con los dedos para evitar su deterioro.

Tienen una eficacia luminosa de 22 lm/W con una amplia gama de potencias de trabajo (150 a 2000W) según el uso al que estén destinadas. Las lámparas halógenas se utilizan normalmente en alumbrado por proyección y cada vez más en iluminación doméstica.



## **2.6 Lámparas de Descarga**

### ***Conceptos***

Las lámparas de descarga constituyen una forma alternativa de producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. Por eso, su uso está tan extendido hoy en día. La luz emitida se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos.

Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté sometido tendremos diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas con sus propias características luminosas.

### ***Clasificación de lámparas de descarga***

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.

#### ***Lámparas de vapor de mercurio:***

- Baja presión: Lámparas Fluorescentes
- Alta Presión:

#### ***Lámparas de vapor de mercurio a alta presión***

- Lámparas de luz de Mixta
- Lámparas con Aditivos metálicos

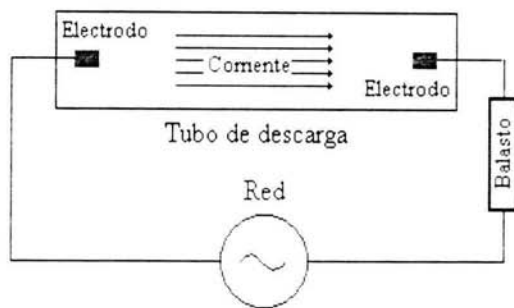
#### ***Lámparas de vapor de sodio:***

- Lámparas de vapor de sodio a baja presión
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión

## Funcionamiento

En las lámparas de descarga, la luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno con un gas o vapor ionizado (figura 9).<sup>4</sup>

Figura 9



En el interior del tubo, se producen descargas eléctricas como consecuencia de la diferencia de potencial entre los electrodos. Estas descargas provocan un flujo de electrones que atraviesa el gas. Cuando uno de ellos choca con los electrones de las capas externas de los átomos les transmite energía y pueden suceder dos cosas.

La primera posibilidad es que la energía transmitida en el choque sea lo suficientemente elevada para poder arrancar al electrón de su orbital. Este, puede a su vez, chocar con los electrones de otros átomos repitiendo el proceso. Si este proceso no se limita, se puede provocar la destrucción de la lámpara por un exceso de corriente.

La otra posibilidad es que el electrón no reciba suficiente energía para ser arrancado. En este caso, el electrón pasa a ocupar otro orbital de mayor energía. Este nuevo estado tiende a ser inestable y rápidamente se vuelve a la situación inicial. Al hacerlo, el electrón libera la energía extra en forma de radiación electromagnética, principalmente ultravioleta (UV) o visible.

La consecuencia de esto es que la luz emitida por la lámpara no es blanca (por ejemplo en las lámparas de sodio a baja presión es amarillenta). Por lo tanto, la capacidad de reproducir los colores de estas fuentes de luz es, en general, mucho menor que en el caso de las lámparas incandescentes que tienen un espectro continuo.

Es posible, recubriendo el tubo con sustancias fluorescentes, mejorar la reproducción de los colores y aumentar la eficacia de las lámparas convirtiendo las nocivas emisiones ultravioletas en luz visible.

<sup>4</sup> <http://www.edison.upc.es/curs/ilum/lamparas/luminar1.html>

### **Elementos auxiliares**

Para que las lámparas de descarga funcionen correctamente es necesario, en la mayoría de los casos, la presencia de unos elementos auxiliares: arrancadores y balastos. Los **arrancadores** o **ignitores** son dispositivos que suministran un breve pico de tensión entre los electrodos del tubo, necesario para iniciar la descarga y vencer así la resistencia inicial del gas a la corriente eléctrica. Tras el encendido, continua un periodo transitorio durante el cual el gas se estabiliza y que se caracteriza por un consumo de potencia superior al nominal.

Los **balastos**, por contra, son dispositivos que sirven para limitar la corriente que atraviesa la lámpara y evitar así un exceso de electrones circulando por el gas que aumentaría el valor de la corriente hasta producir la destrucción de la lámpara.

### **Eficacia**

Al establecer la eficacia de este tipo de lámparas hay que diferenciar entre la eficacia de la fuente de luz y la de los elementos auxiliares necesarios para su funcionamiento que depende del fabricante. En las lámparas, las pérdidas se centran en dos aspectos: las pérdidas por calor y las pérdidas por radiaciones no visibles (ultravioleta e infrarrojo). El porcentaje de cada tipo dependerá de la clase de lámpara con que trabajemos.

La eficacia de las lámparas de descarga oscila entre los 19-28 lm/W de las lámparas de luz Mixta y los 100-183 lm/W de las de sodio a baja presión.

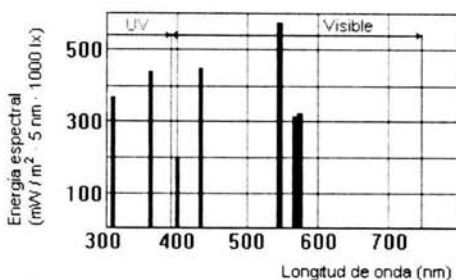
Tabla II-2<sup>5</sup>

<b>Tipo de Lámpara</b>	<b>Eficacia (lm/W)</b>
Fluorescente	38-91
Luz Mixta	19-28
Mercurio a Alta Presión	40-63
Halogenuros Metálicos	75-95
Sodio a Alta Presión	100-183
Sodio a Baja Presión	70-130

### **Características Cromáticas**

Debido a la forma discontinua del espectro de estas lámparas, la luz emitida es una mezcla de unas pocas radiaciones monocromáticas; en su mayor parte en la zona ultravioleta (UV) o visible del espectro (ver figura 10). Esto hace que la reproducción del color no sea muy buena y su rendimiento en color tampoco.

<sup>5</sup> Manual de alumbrado. Westing House Electric Corporation. Lamp Divisions. Ed. Dussat S.A. USA. 1988



Ejemplo de espectro de una lámpara de descarga. (figura 10)

Para solucionar este problema podemos tratar de completar el espectro con radiaciones de longitudes de onda distintas a las de la lámpara. La primera opción es combinar en una misma lámpara dos fuentes de luz con espectros que se complementen como ocurre en las lámparas de luz mixta (incandescencia y descarga). También podemos aumentar la presión del gas.

De esta manera se consigue aumentar la anchura de las líneas del espectro de manera que formen bandas anchas y más próximas entre sí.

Otra solución es añadir sustancias sólidas al gas, que al vaporizarse emitan radiaciones monocromáticas complementarias. Por último, podemos recubrir la pared interna del tubo con unas sustancias fluorescentes que conviertan los rayos ultravioletas en radiaciones visibles.

### **Características de duración**

Hay dos aspectos básicos que afectan a la duración de las lámparas. El primero es la depreciación del flujo. Este se produce por ennegrecimiento de la superficie del tubo donde se va depositando el material emisor de electrones que recubre los electrodos. En aquellas lámparas que usan sustancias fluorescentes otro factor es la pérdida gradual de la eficacia de estas sustancias.

El segundo es el deterioro de los componentes de la lámpara que se debe a la degradación de los electrodos por agotamiento del material emisor que los recubre. Otras causas son un cambio gradual de la composición del gas de relleno y las fugas de gas en lámparas a alta presión.

### Vida promedio de algunos tipos de lámparas

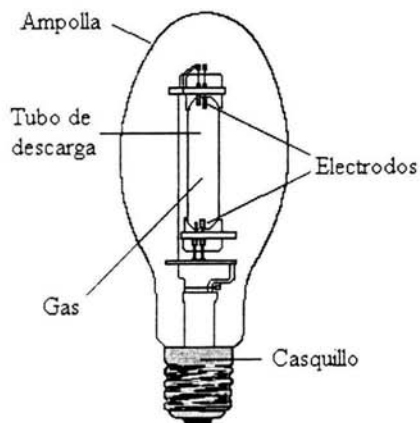
Tabla II-3<sup>6</sup>

Tipo de lámpara	Vida promedio (h)
Fluorescente estándar	12500
Luz Mixta	9000
Mercurio a alta presión	25000
Halogenuros metálicos	11000
Sodio a baja presión	23000
Sodio a alta presión	23000

### Partes de una lámpara de descarga

Las formas de las lámparas de descarga varían según la clase de lámpara con que trabajamos. De todas maneras, todas tienen una serie de elementos en común como el tubo de descarga, los electrodos, la ampolla exterior o el casquillo. (ver figura 11)

Figura 11



Principales partes de una lámpara de descarga

### Ampolla exterior

Es un elemento presente en todas las lámparas excepto en las lámparas fluorescentes que no disponen de él. En su interior se hace el vacío o se rellena con un gas inerte. Sus formas son muy variadas y puede estar recubierta internamente con sustancias fluorescentes que filtran y convierten las radiaciones ultravioletas en visibles mejorando el rendimiento en color de estas lámparas y su eficiencia.

<sup>6</sup> Phillips Lighting. Catalogo general de especificaciones. México 2001.

### ***Tubo de descarga***

Es un tubo, normalmente de forma cilíndrica, donde se producen las descargas eléctricas entre los electrodos. Está relleno con un gas (vapor de mercurio o sodio habitualmente) a alta o baja presión que determina las propiedades de la lámpara. En las lámparas fluorescentes se recubre la cara interna con sustancias fluorescentes que convierten las emisiones ultravioletas en luz visible. Los materiales que se emplean en su fabricación dependen del tipo de lámpara y de las condiciones de uso.

### ***Electrodos***

Los electrodos son los elementos responsables de la descarga eléctrica en el tubo. Están hechos de Wolframio y se conectan a la corriente a través del casquillo. Se recubren con una sustancia emisora para facilitar la emisión de los electrones en el tubo.

### ***Casquillo***

El casquillo tiene la función de conectar los electrodos a la red a través del portalámparas. Puede ser de rosca o bayoneta aunque hay algunas lámparas como las fluorescentes que disponen de casquillos de espigas con dos contactos en los extremos del tubo. Los materiales de que se elaboran dependerán de los requisitos térmicos y mecánicos de cada tipo de lámpara.

### ***Gas***

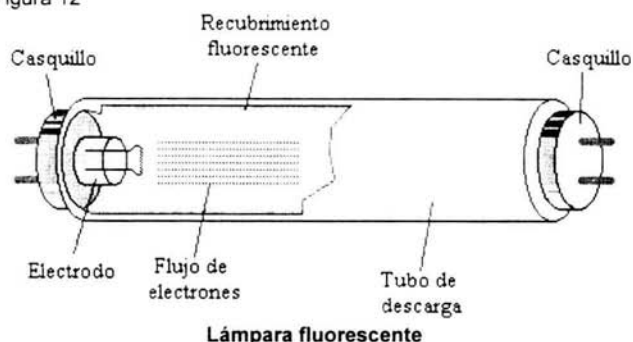
En el interior del tubo de descarga encontramos una mezcla entre un vapor de sodio o mercurio y un gas inerte de relleno. El primero determina las propiedades de la luz de la lámpara y es el responsable de la emisión de la luz como consecuencia de la descarga. El segundo, el gas inerte, cumple varias funciones. La principal es disminuir la tensión de ruptura necesaria para ionizar el gas que rellena el tubo e iniciar así la descarga más fácilmente. Otras funciones que realiza son limitar la corriente de electrones y servir de aislante térmico para ayudar a mantener la temperatura de trabajo de la lámpara.

## **2.7 Lámparas Fluorescentes**

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión (0.8 Pa). En estas condiciones, en el espectro de emisión del mercurio predominan las radiaciones ultravioletas en la banda de 253.7 nm. Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles. De la composición de estas sustancias dependerán la cantidad y calidad de la luz, y las cualidades cromáticas de la lámpara. En la actualidad se usan dos tipos de polvos; los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten un espectro de tres bandas con los colores primarios.

De la combinación de estos tres colores se obtiene una luz blanca que ofrece un buen rendimiento de color sin penalizar la eficiencia como ocurre en el caso del espectro continuo.

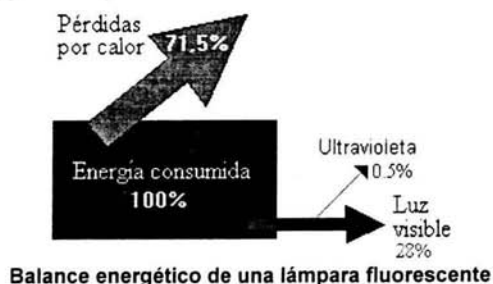
Figura 12



Las lámparas fluorescentes se caracterizan por carecer de ampolla exterior. Están formadas por un tubo de diámetro normalizado, normalmente cilíndrico, cerrado en cada extremo con un casquillo de dos contactos donde se alojan los electrodos. El tubo de descarga está relleno con vapor de mercurio a baja presión y una pequeña cantidad de un gas inerte que sirve para facilitar el encendido y controlar la descarga de electrones. (ver figura 12)

La eficacia de estas lámparas depende de muchos factores: potencia de la lámpara, tipo y presión del gas de relleno, propiedades de la sustancia fluorescente que recubre el tubo, temperatura ambiente. Esta última es muy importante porque determina la presión del gas y en último término el flujo de la lámpara. La eficacia oscila entre los 38 y 91 lm/W dependiendo de las características de cada lámpara.

Figura 13



La duración de estas lámparas se sitúa entre 5000 y 7000 horas. Su vida termina cuando el desgaste sufrido por la sustancia emisora que recubre los electrodos, hecho que se incrementa con el número de encendidos, impide el encendido al necesitarse una tensión de ruptura superior a la suministrada por la red. Además de esto, hemos de considerar la depreciación del flujo provocada por la pérdida de eficacia de los polvos fluorescentes y el ennegrecimiento de las paredes del tubo donde se deposita la sustancia emisora.

El rendimiento en color de estas lámparas varía de moderado a excelente según las sustancias fluorescentes empleadas. Para las lámparas destinadas a usos habituales que no requieran de gran precisión su valor está entre 80 y 90. De igual forma la apariencia y la temperatura de color varía según las características concretas de cada lámpara.

### **Clasificación de las lámparas según su temperatura de color. (Tabla II-3)**

Tabla II-3<sup>7</sup>

<b>Apariencia de color</b>	<b>T<sub>color</sub> (K)</b>
Blanco cálido	3000
Blanco	3500
Natural	4000
Blanco frío	4200
Luz día	6500

Las lámparas fluorescentes necesitan para su funcionamiento la presencia de elementos auxiliares. Para limitar la corriente que atraviesa el tubo de descarga utilizan el balasto y para el encendido existen varias posibilidades que se pueden resumir en arranque con cebador o sin él. En el primer caso, el cebador se utiliza para calentar los electrodos antes de someterlos a la tensión de arranque. En el segundo caso tenemos las lámparas de arranque rápido en las que se calientan continuamente los electrodos y las de arranque instantáneo en que la ignición se consigue aplicando una tensión elevada.

Más modernamente han aparecido las lámparas fluorescentes compactas que llevan incorporado el balasto y el cebador. Son lámparas pequeñas con casquillo de rosca o bayoneta pensadas para sustituir a las lámparas incandescentes con ahorros de hasta el 70% de energía y unas buenas prestaciones.

<sup>7</sup> Idem. Pp. 7



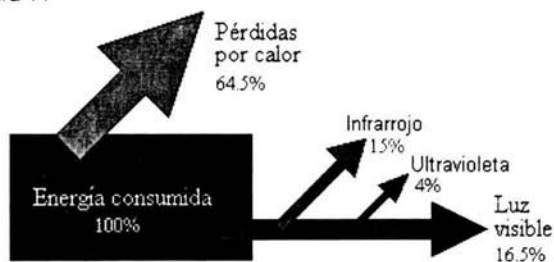
## 2.8 Lámparas de Vapor de Mercurio a Alta Presión

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404.7 nm, azul 435.8 nm, verde 546.1 nm y amarillo 579 nm).

En estas condiciones la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se acostumbra a añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara. La temperatura de color se mueve entre 3500 y 4500 K con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas.

La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.

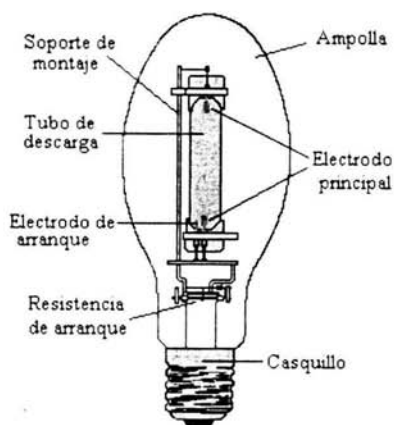
Figura 14



Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión

Los modelos más habituales de estas lámparas tienen una tensión de encendido entre 150 y 180 V que permite conectarlas a la red de 220 V sin necesidad de elementos auxiliares. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales.

A continuación se inicia un transitorio de unos cuatro minutos, caracterizado porque la luz pasa de un tono violeta a blanco azulado, en el que se produce la vaporización del mercurio y un incremento progresivo de la presión del vapor y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores normales. Si en estos momentos se apagara la lámpara no sería posible su reencendido hasta que se enfriara, puesto que la alta presión del mercurio haría necesaria una tensión de ruptura muy alta.



Lámpara de mercurio a alta presión. (Figura 15)

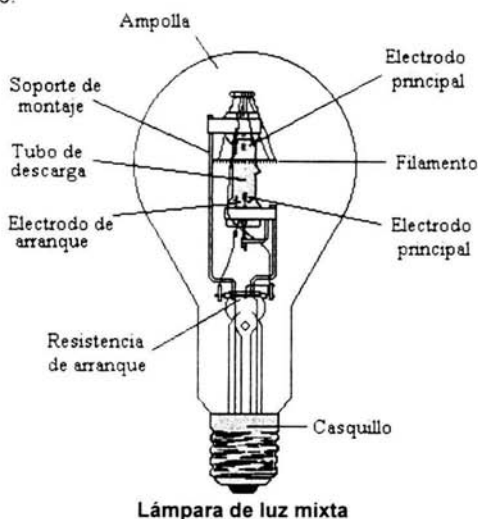
## **2.9 Lámpara de Luz Mixta**

Las lámparas de luz de mixta son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y, habitualmente, un recubrimiento fosforescente. El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia.

Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 lm/W y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3600 K.

La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo. Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del Wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida media se sitúa en torno a las 6000 horas.

Figura 16.

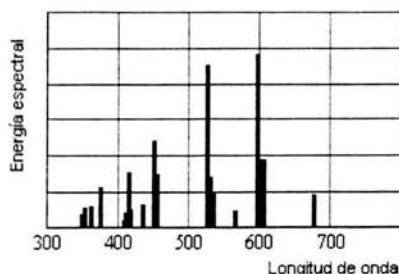


Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balasto ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente. Esto las hace adecuadas para sustituir las lámparas incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones.

## 2.10 Lámparas con Halógenos metálicos

Si añadimos en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro, ver figura 17. (por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio).

Figura 17.

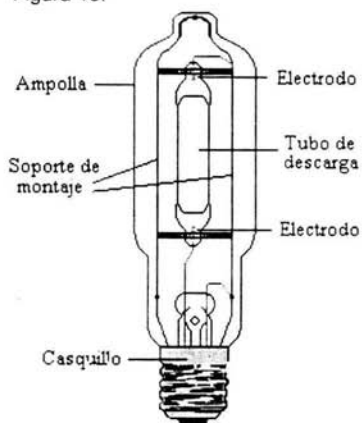


**Espectro de emisión de una lámpara con Halógenos metálicos**

Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3000 a 6000 K dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas

10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1500-5000 V).

Figura 18.



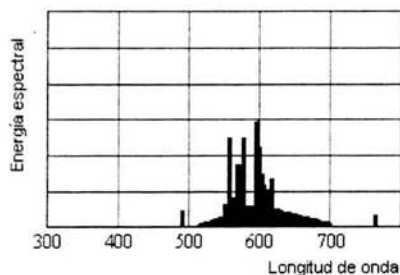
Lámpara con Halógenos metálicos

Las excelentes prestaciones cromáticas la hacen adecuada entre otras para la iluminación de instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores, etc.

## 2.11 Lámparas de Vapor de Sodio a Alta Presión

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión. (figura 19)

Figura 19.



Espectro de una lámpara de vapor de sodio a alta presión

Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color ( $T_{color} = 2100\text{ K}$ ) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión (IRC = 25, aunque hay modelos de 65 y 80). No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas. Los balances energéticos se observan en la figura 20.

Figura 20



**Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión**

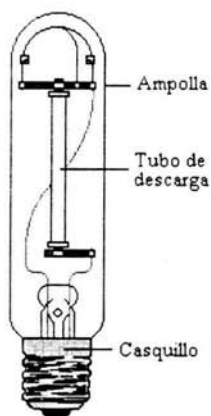
La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas (1000 °C), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga.

En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas.

El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío, ver figura 21. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.

Figura 21



**Lámpara de vapor de sodio a alta presión**

Este tipo de lámparas tienen muchos usos posibles tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa.

A forma de resumen a continuación se presenta una tabla comparativa de los diferentes tipos de lámparas así como sus características principales.<sup>8</sup>

Tabla II-4.

TIPO DE LAMPARA	FLUJO LUMINOSO (Lm ó Cd)	POTENCIA (W)	VIDA UTIL (HORAS)	EFICACIA (lm/W)	TEMPERATURA DE COLOR (°K)	IRC
INCANDESCENTES	80-3000 Cd	10-500w	1000	10 a 20 lm/W.	2700	100
HALOGENAS	450-36000 Cd	20-1500w	2000 a 2500	20 a 25 lm/W.	3000	100
LUZ MIXTA	3000-13000 Lm	100-500w	6000	20 a 30 lm/W	Blanco de lujo	60
VAPOR DE MERCURIO	800-20000 Lm	100-400w	12.000 a 16.000	50 y 60 lm/W	Blanco de lujo	40 a 60
ADITIVOS METALICOS	6000-150000 Lm	70-1800w	12.000	70 y 90 lm/W.	4000	70 a 80
VAPOR DE SODIO BAJA PRESIÓN	1800-33000 Lm	300-175w	10.000	71 y 90 lm/W.	Claro	0
VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN	2500-130000 Lm	50- 1000w	24.000	72 y 90 lm/W.	Claro	25 a30
FLUORECENTES	500-6000 Lm	13-75w	8.000	73 y 90 lm/W.	2700-5000	65 a 95
FLUORECENTES COMPACTAS	400-1200 Lm	7-50w	5.000 a 10.000	74 y 90 lm/W.	2700-5000	80

<sup>8</sup> Op. Cit. 7

## **2.12 Clasificación de Luminarios**

Los luminarios son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a las lámparas. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

A nivel de óptica, el luminario es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante, pues, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminario y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios. Otros requisitos que deben cumplir los luminarios es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar el luminario y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.

### ***Tipos de luminarios para alumbrado público***



TIPO CABEZA DE COBRA



DURA STAR TIPO CUTOFF



LUMINARIO TIPO WALL PACK



LUMINARIO TIPO ESFERA

Los luminarios pueden clasificarse de muchas maneras aunque lo más común es utilizar criterios ópticos, mecánicos o eléctricos. Para este trabajo solo se consideró la clasificación de luminarios para alumbrado público según las normas oficiales NOM-001 SEDE 1999



### **2.12.1 Clasificación de Luminarios para Alumbrado Público por su Distribución de Luz**

Un alumbrado público de vialidades, se clasifica por su distribución de luz mediante cualquier combinación de las tres variables individuales consideradas que se indican a continuación.

La clasificación de distribución de luz se basa en un diagrama isocandela de clasificación, véase figura 22, el cual sobre su cuadrícula de coordenadas rectangulares, tiene sobrepuestas una serie de líneas que representan la Distancia longitudinal de la Vialidad (DLV) en múltiplos de la Altura de Montaje (AM) del luminaria, y una serie de líneas que representan las Distancias Transversales de la Vialidad (DTV) en múltiplos de la altura de montaje. La relación entre las DLV y la AM se denomina Relación Longitudinal de la Vía (RLV) y entre las DTV y la AM se denomina Relación Transversal de la Vía (RTV). Para clasificar al luminario las líneas de dichas relaciones tienen los siguientes valores:

- a) Para RLV igual a 1.0, 1.75 y 2.75.
- b) Para RTV igual a 1.0, 2.25, 3.75 y 6.0.

#### ***Control lateral.***

La clasificación de los luminarios en cuanto a su control lateral de luz, se clasifica de acuerdo a la ubicación de una curva isoandela, con un valor que se iguala a la mitad de la máxima candela que emite una luminaria, al ser graficado en el diagrama de clasificación, y su posición relativa a la línea de la RTV específica de la vialidad de dicho diagrama. Esta clasificación no es aplicable para luminarios tipo V. Para las clasificaciones tipo I a tipo IV la máxima candela debe ubicarse en alguna de las clasificaciones de control vertical, ver figura 22.

**Tipo I.** La curva isocandela de la mitad de máxima candela, se encuentra en el área delimitada entre  $RLV = 0$  hasta  $RLV = 1$ , tanto del lado de la casa como del lado de la calle.

**Tipo II.** La curva isocandela de la mitad de la máxima candela del lado de la calle, sobrepasa parcial o completamente la línea  $RLV = 1$  pero no sobrepasa  $RLV = 1.75$ .

**Tipo III.** La curva isocandela de la mitad de la máxima candela del lado de la calle, sobrepasa parcial o completamente la línea  $RLV = 1.75$  pero no sobrepasa  $RLV = 2.75$ .

**Tipo IV.** La curva isocandela de la mitad de la máxima candela del lado de la calle, sobrepasa parcial o completamente la línea  $RLV = 2.75$ .

**Tipo V.** El luminario tiene un control lateral de tal manera, que distribuye la luz esencialmente igual a todos los ángulos laterales.

#### ***Control vertical.***

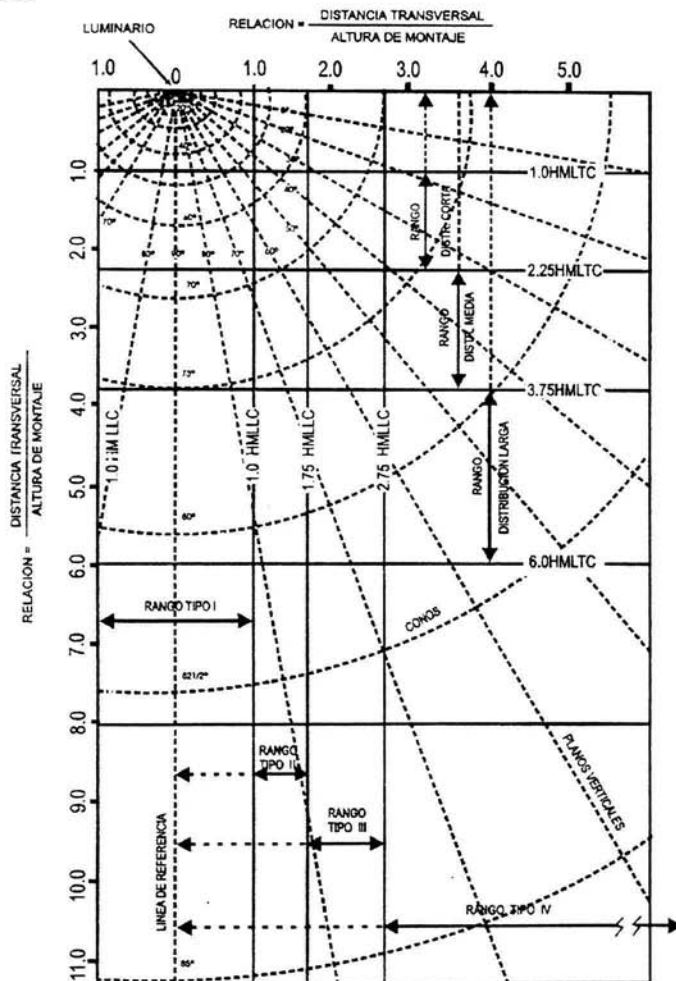
La clasificación de las luminarias en cuanto a control vertical de luz, se clasifica de acuerdo a la ubicación de la máxima candela que emite el luminario, al ser ubicada en el diagrama de clasificación, y su posición relativa a la RTV específica de la vialidad en dicho diagrama. Para las siguientes clasificaciones ver la figura 22.

**Corta.** La máxima candela se encuentra en el área delimitada por las líneas  $RTV = 1$  hasta menos de  $RTV = 2.25$ .

**Media.** La máxima candela se encuentra en el área delimitada por las líneas  $RTV = 2.25$  hasta menos de  $RTV = 3.75$ .

**Larga.** La máxima candela se encuentra en el área delimitada por las líneas  $RTV = 3.75$  hasta menos de  $RTV = 6.0$ .

Figura 22



### 2.12.2 Clasificación de Luminarios Según sus Características Fotométricas

Esta clasificación es de acuerdo a la distribución de flujo luminoso y se divide en tres categorías:

### **Bloqueada (Cut Off)**

Se define como **cutoff** a la distribución de la luz de un luminario cuando la potencia en candelas no excede 25 candelas por cada 1000 lúmenes emitidos por la lámpara por arriba de un ángulo de  $90^\circ$  y no más de 100 candelas por cada 1000 lúmenes de la lámpara por arriba de un ángulo de  $80^\circ$ .

### **Semi-Bloqueada (Semi Cutoff)**

Aquel luminario con más de 50 candelas por cada 1000 lm de la lámpara por arriba de un ángulo de  $90^\circ$  y no más de 200 candelas por cada 1000 lm por arriba de un ángulo de  $80^\circ$

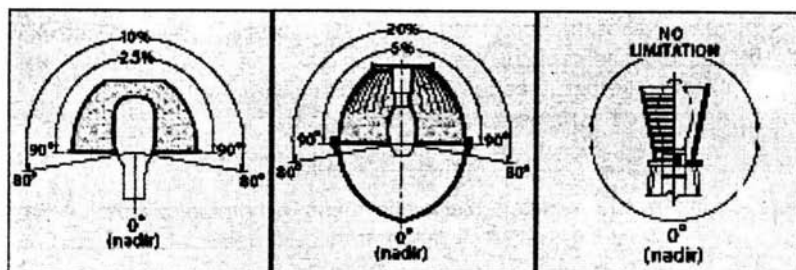
### **No bloqueada (Non cutoff)**

La intensidad luminosa arriba de los  $80^\circ$  con respecto a la vertical no tiene limitación esto es para cualquier ángulo lateral.

**Bloqueada**

**Semi-Bloqueada**

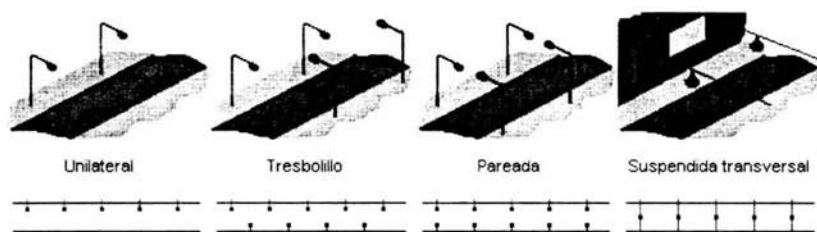
**No Bloqueada**



## **2.13 Disposición de los Luminarios en las Vías**

Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos, debe proporcionarse información extra que oriente y advierta al conductor con anticipación de las características y trazado de la vía. Así en curvas es recomendable situar los postes en la exterior de la misma, en autopistas de varias calzadas ponerlas en la mediana o cambiar el color de las lámparas en las salidas.

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

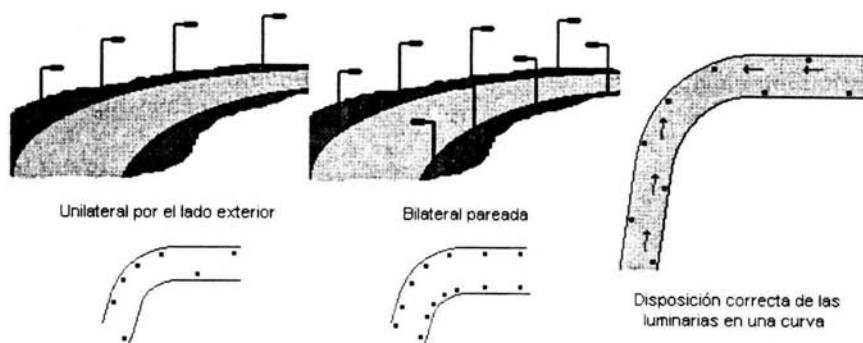


La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de los luminarios. La bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1.5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1.5.

En el caso de **tramos rectos de vías con dos o más calzadas** separadas por una mediana se pueden colocar los luminarios sobre la mediana o considerar las dos calzadas de forma independiente. Si la mediana es estrecha se pueden colocar postes de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad. Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada. Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner los luminarios en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha.

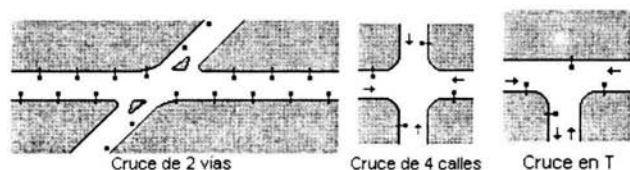


En **tramos curvos** las reglas a seguir son proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre los luminarios cuanto menor sea el radio de la curva. Si la curvatura es grande ( $R > 300$  m) se considerará como un tramo recto. Si es pequeña y la anchura de la vía es menor de 1.5 veces la altura de los luminarios se adoptará una disposición unilateral por el lado exterior de la curva. En el caso contrario se recurrirá a una disposición bilateral pareada, nunca tresbolillo pues no informa sobre el trazado de la carretera

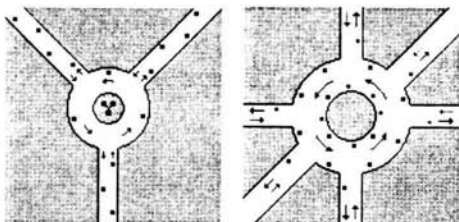


En **cruces** conviene que el nivel de iluminación sea superior al de las vías que confluyen en él para mejorar la visibilidad. Asimismo, es recomendable situar los postes en el lado derecho de la calzada y después del cruce. Si tiene forma de T hay que poner una luminaria al final de la calle que termina. En las salidas de autopistas conviene colocar luces de distinto color al de la vía principal para destacarlas.

En cruces y bifurcaciones complicados es mejor recurrir a iluminación con proyectores situados en postes altos, más de 20 m, pues desorienta menos al conductor y proporciona una iluminación agradable y uniforme.



En las **plazas y glorietas** se instalarán luminarios en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas. La altura de los postes y el nivel de iluminación serán por lo menos igual al de la calle más importante que desemboca en ella. Además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza. Si son pequeñas y el terraplén central no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un super-poste. En otros casos es mejor situar los luminarios en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desemboca en esta.



En los **pasos de peatones** los luminarios se colocarán antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea bien visible tanto por los peatones como por los conductores.



Por último, hay que considerar la **presencia de árboles en la vía**. Si estos son altos, de unos 8 a 10 metros, los luminarios se situarán a su misma altura. Pero si son pequeños los postes usadas serán más altas que estos, de 12 a 15 m de altura. En ambos casos es recomendable una poda periódica de los árboles.

### **CAPITULO III**

### **ILUMINACIÓN DE VIALIDADES**



En los capítulos anteriores hemos mencionado muchos de los términos que se utilizan en el mundo de la iluminación. En este capítulo mencionaremos cuales son los parámetros de calidad para una instalación adecuada de alumbrado público, esto es desde el punto de vista del rendimiento y comodidad visual.

También enunciaremos cuales son los requisitos mínimos (estos es en cuanto a niveles de visibilidad y confort visual) que debe cumplir una instalación según lo marca la NOM-001-SEDE-1999 (Norma Oficial Mexicana Para Instalaciones eléctricas). Así como la clasificación de las vialidades según las normas ya mencionadas

### **3.1 Clasificación de Vialidades**

Las tablas proporcionadas en este capítulo son niveles de iluminación mínimos recomendados, entendiéndose que se tiene el nivel mínimo de iluminación cuando se va a cambiar la lámpara, pues en ese momento es cuando casi ha llegado al final de su vida útil y es cuando más sucio esta el luminario. El nivel de luminancia o iluminancia requerido en una vialidad se debe seleccionar de acuerdo a la clasificación de la misma, en cuanto a su uso y tipo de zona en la cual se encuentra localizada.

De cuerdo a la NOM 001-SEDE-1999 (Norma Oficial Mexicana), las vías públicas se clasifican de la siguiente manera:

**Autopista.** Vialidad con control total de acceso sin cruces a nivel independiente si se paga o no peaje (cuota).

**Carretera.** Vialidad que interconecta dos poblaciones, con cruces a nivel, independientemente si se paga o no peaje.

**Vías primarias.** Corresponden a la parte del sistema vial que sirve como red principal del flujo de tráfico

- a) **Vías de acceso controlado**
  - i.- Anular o Periférico
  - ii.- Radial
  - iii.- Viaducto

## b) Vías Principales

- i.- Eje Vial
- ii.- Avenida
- iii.- Paseo
- iv.- Calzada
- v.- Boulevard

**Vías Secundarias.** Vialidades usadas fundamentalmente para acceso directo a zonas residenciales, comerciales, industriales y casas de campo.

Caminos locales de gran longitud generalmente divididos en cortas secciones por el sistema de vías de tráfico intenso.

- a) Calle colectora, b) Calle local ya sea: 1) Residencial, 2) Industrial, c) Callejón, d) Callejuela, e) Rinconada, f) Cerrada, g) Privada, h) Terrecería, i) Calle Peatonal, j) Pasaje, k) Andador.

**Áreas de Transferencia.** Particularmente nos interesa su clasificación:

- Comercial. Área de negocios en una población o ciudad donde generalmente existe una gran cantidad de peatones durante las horas d. 'a noche.
- Intermedia. Estas áreas se caracterizan por un tráfico moderado de peatones durante la noche.
- Residencial. Un desarrollo residencial o una mezcla residencias y pequeños establecimientos comerciales.

### 3.2 Alumbrado Público para Vialidades Según la NOM-001-SEDE-1999

**Disposiciones generales.** Se permite que las autopistas y carreteras puedan estar o no iluminadas, sin embargo se deben iluminar los tipos restantes de clasificaciones de alumbrado público indicados.

**Reflectancia del pavimento.** Se deben considerar las características reflectivas del pavimento para el cálculo de luminancia de una vialidad, las cuales son mostradas en la Tabla III-1.

Tabla III-1

### Características reflectivas del pavimento

Clase	Q <sub>0</sub>	Descripción	Tipo de reflectancia
R <sub>1</sub>	0,10	Superficie de concreto, cemento portland, superficie de asfalto difuso con un mínimo de 15% de agregados brillantes artificiales.	Casi difuso
R <sub>2</sub>	0,07	Superficie de asfalto con un agregado compuesto de un mínimo de 60 % de grava de tamaño mayor a 10 mm. Superficie de asfalto con 10 a 15% de abrillantador artificial en la mezcla agregada.	Difuso especular
R <sub>3</sub>	0,07	Superficie de asfalto regular y con recubrimiento sellado, con agregados oscuros tal como roca o roca volcánica, textura rugosa después de algunos meses de uso (Típico de autopistas).	Ligeramente especular
R <sub>4</sub>	0,08	Superficie de asfalto con textura muy tersa.	Muy especular

**NOTA:** Q<sub>0</sub> representa el coeficiente de luminancia media.

### 3.3 Niveles de luminancia e iluminancia.

Se permite que las necesidades visuales a lo largo de las vialidades tipo autopistas, carreteras, vías principales, primarias y secundarias, puedan darse en términos de la iluminancia o de la luminancia.

La relación entre los valores de luminancia e iluminancia se derivan de condiciones generales para pavimentos secos y vialidades rectas. Esta relación no se aplica a los promedios.

Para autopistas con doble carril por sentido de circulación, donde el sistema de iluminación pueda diferir entre uno y otro, los cálculos deben realizarse para cada sentido en forma independiente.

Para autopistas, los valores mínimos se aplican tanto a la vialidad como a las rampas de acceso.

**a) Niveles de luminancia para Vialidades.** Las necesidades visuales del entorno a lo largo de una vialidad en función de la luminancia deben ser los descritos en la Tabla III-2 que se muestra a continuación.

Tabla III-2

**Valores mantenidos de luminancia (NOM-001-SEDE-1999)**

Clasificación de vialidades	Luminancia promedio mínima	Uniformidad de luminancia		Relación de luminancia de deslumbramiento
		$L_{prom}/L_{min}$	$L_{max}/L_{min}$	
	$L_{prom}$ (cd/m <sup>2</sup> )	$L_{prom}/L_{min}$	$L_{max}/L_{min}$	$L_d/L_{prom}$
Autopistas y carreteras	0,4	3,5 a 1	6 a 1	0,3 a 1
Vías de acceso controlado y Vías rápidas	1,0	3 a 1	5 a 1	0,3 a 1
Vías principales y ejes viales	1,2	3 a 1	5 a 1	0,3 a 1
Vías primarias o colectoras	0,8	3 a 1	5 a 1	0,4 a 1
Vía secundaria residencial Tipo A	0,6	6 a 1	10 a 1	0,4 a 1
Vía secundaria residencial Tipo B	0,5	6 a 1	10 a 1	0,4 a 1
Vía secundaria industrial Tipo C	0,3	6 a 1	10 a 1	0,4 a 1

$L_d$  = Luminancia de deslumbramiento.

- b) **Niveles de iluminancia.** Los niveles de iluminancia deben satisfacer los requerimientos indicados en las Tablas III-3 y III-4 según aplique. NOM-001-SEDE-1999.

Tabla III-3

**Valores mínimos mantenidos de iluminancia promedio (Ix)**

Clasificación de vialidades	Clasificación del pavimento			Uniformidad de la iluminancia $E_{prom}/E_{min}$	Andadores	
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub> y R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>		Iluminancia promedio horizontal mínima	Iluminancia vertical promedio para seguridad <sup>(1)</sup>
Autopistas y carreteras	4	6	5	3 a 1	---	---
Vías de acceso controlado y vías rápidas	10	14	13	3 a 1		
Vías principales y ejes viales	12	17	15	3 a 1	10	22
Vías primarias y colectoras	8	12	10	4 a 1		
Vías secundaria residencial Tipo A	6	9	8	6 a 1		
Vías secundaria residencial Tipo B	5	7	6	6 a 1	10	22
Vías secundaria industrial Tipo C	3	4	4	6 a 1	6	11
Andadores alejados de vialidades	---	---	---	---	5	5
Túneles de peatones	---	---	---	---	43	54

<sup>(1)</sup> Medido a una altura de 1,6 m.

**Valores mínimos de iluminancia promedio mantenida con superpostes**

Tabla III-4

Clasificación de vialidades	Iluminancia horizontal $E_{prom}$ (lx)
Autopistas y carreteras	6
Vías de acceso controlado y vías rápidas	14
Vías principales y ejes viales	17
Vías primarias o colectoras	12

**Observaciones:**

Uniformidad mínima de iluminancia 6 a 1 (promedio a mínimo), para todas las clasificaciones de vialidades a los niveles de iluminancia recomendados anteriormente.

Estos valores de diseño se aplican solamente a la porción de rodamiento de vialidades. Los intercambios (distribuidores) se analizan individualmente con el propósito de establecer los niveles de iluminancia y uniformidad.

## Valores mínimos de iluminancia promedio mantenida para estacionamientos abiertos

Tabla III-5

Nivel de actividad	Área general de estacionamiento y peatonal	
	Minimo sobre el pavimento $I_x$	Uniformidad $E_{prom}/E_{min}$
Alta	10,0	4 a 1
Media	6,0	4 a 1
Baja	2,0	4 a 1

Como se puede observar sólo consideramos las tablas que nos interesan para el análisis de este trabajo, ya que también existen tablas para iluminación de túneles, estacionamientos cerrados, rampas y puentes, éstas se omitieron ya que no intervienen con el objetivo de este trabajo.

### 3.4 Criterios de Calidad del Alumbrado

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como criterios de calidad. Son la iluminancia media ( $L_m$ ,  $L_{AV}$ ), los coeficientes de uniformidad ( $U_o$ ,  $U_L$ ), y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR).

#### 3.4.1 Coeficientes de Uniformidad

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

El criterio de uniformidad desde el aspecto de rendimiento visual es la razón  $L_m/L_{AV}$ , que se designa como *Razón Global de Uniformidad*  $U_o$ .

Sin embargo, se ha demostrado que una carretera alumbrada con un buen valor  $U_o$  puede dar aún una incomoda impresión de luz-sombra. Por consiguiente se debe utilizar un criterio adicional: el de **Comodidad Visual**. Este criterio es expresado por el cociente  $L_{min}$ ,  $L_{max}$  las medidas a lo largo de la línea central de cada carril por un observador que mire en el mismo sentido que el tráfico. A este cociente se le conoce como *Razón Longitudinal de Uniformidad*  $U_L$ .

$$U_o = L_{min}/L_{AV} \qquad U_L = L_{min}/L_{max} \qquad e \quad (4)$$

$L_{min}$  = Luminancia Mínima

$L_{AV}$  = Luminancia Media de la superficie de la carretera

Para nuestro caso el coeficiente de Uniformidad según la NOM-001-SEDE 1999 Debe encontrarse entre la razón de 3 a 1.

### **3.4.2 Factor de Utilización**

Es la parte de flujo luminoso procedente de un luminario que efectivamente alcanza la calzada.

$$\eta = \phi_{UTILIZADO} / \phi_L \quad e (5)$$

#### ***Iluminancia Media $E_{MEDIA}$***

$\phi_L$  = Flujo lumino

$n$  = Numero de lámparas por luminaria

$w$  = Ancho de la calzada

$s$  = Separación de las lámparas

$\eta$  = Factor de utilización

$$E_{MEDIA} = \eta \phi_L n / w s \quad e (6)$$

$$E_{MEDIA} = \sum E_P / n \quad e (7)$$

$E_P$  = iluminancia en cada punto  $p$  de la zona de estudio y  $n$  es el número total de puntos considerados.

#### **CAPITULO IV**

### **CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE CIUDAD UNIVERSITARIA.**

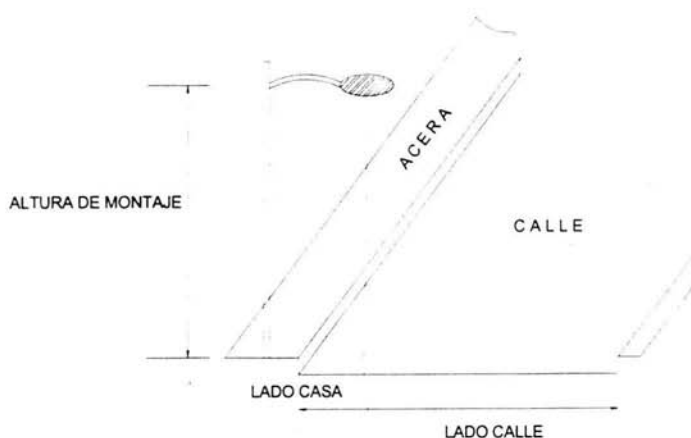


Antes de entrar de lleno al análisis de la información recopilada es necesario definir algunos conceptos que son muy utilizados en el lenguaje de la iluminación, los cuales nos serán de gran utilidad para una mejor comprensión del tema, como son: Lado casa, Lado calle, Altura de montaje. También es necesario definir ¿qué es una curva fotométrica? y como se utiliza, esto lo haremos con un ejemplo tomado de los datos recopilados del levantamiento que se realizó en Ciudad Universitaria.

Ya con todas estos conceptos, normas y clasificaciones podremos formarnos un criterio para diseñar la iluminación de cualquier vialidad, o bien en nuestro caso nos servirán para determinar las condiciones en las que se encuentra operando el alumbrado público de Ciudad Universitaria, y con esta evaluación daremos propuestas para su mejoramiento.

Para definir los siguientes conceptos es necesario observar la siguiente figura.

Figura 23.



#### **4.1.1 Lado Casa o Lado acera.**

Es la superficie que esta hacia las casas o atrás del luminario, y se considera desde el punto del suelo directamente abajo del luminario, en dirección de las casas.

#### **4.1.2 Lado Calle o Lado calzada.**

Es la parte que esta sobre el arroyo, y se considera la distancia que hay desde el punto en el suelo directamente debajo del luminario, hasta la acera de enfrente

#### **4.1.3 Altura de Montaje.**

Es la distancia vertical que hay desde la superficie del pavimento hasta donde esta colocado el luminario.

**4.1.4 Depreciación de Lúmenes de la Lámpara: LLD** (Lamp Lumen Depreciation).- Es la pérdida de la emisión luminosa (lúmenes), emitidos por la lámpara debido al uso normal de operación.

**4.1.5 Depreciación por Suciedad en el Luminario: LDD.** La acumulación de la suciedad en los luminarios trae como consecuencia una pérdida en la emisión luminosa y, por lo mismo, perdidas de iluminación en el plano de trabajo. Esta pérdida se conoce como el factor LDD (Luminaire Dirt Depreciation).

La suciedad en la atmósfera se considera que proviene de dos fuentes: Aquella que pasa de atmósferas adyacentes al local donde se encuentra el luminario y la que se genera por el trabajo realizado en la atmósfera circundante al luminario.

La suciedad puede clasificarse como adhesiva, atraída o inerte y puede provenir de fuentes constantes o intermitentes.

La suciedad adhesiva se colgará de la superficie del luminario debido a lo pegajoso de su naturaleza, mientras que la suciedad atraída se mantiene por efecto de la fuerza electrostática.

La suciedad inerte variará en acumulación desde prácticamente nada en superficies verticales hasta tanto como pueda soportar una superficie horizontal antes de ser desalojada por la gravedad o circulación de aire.

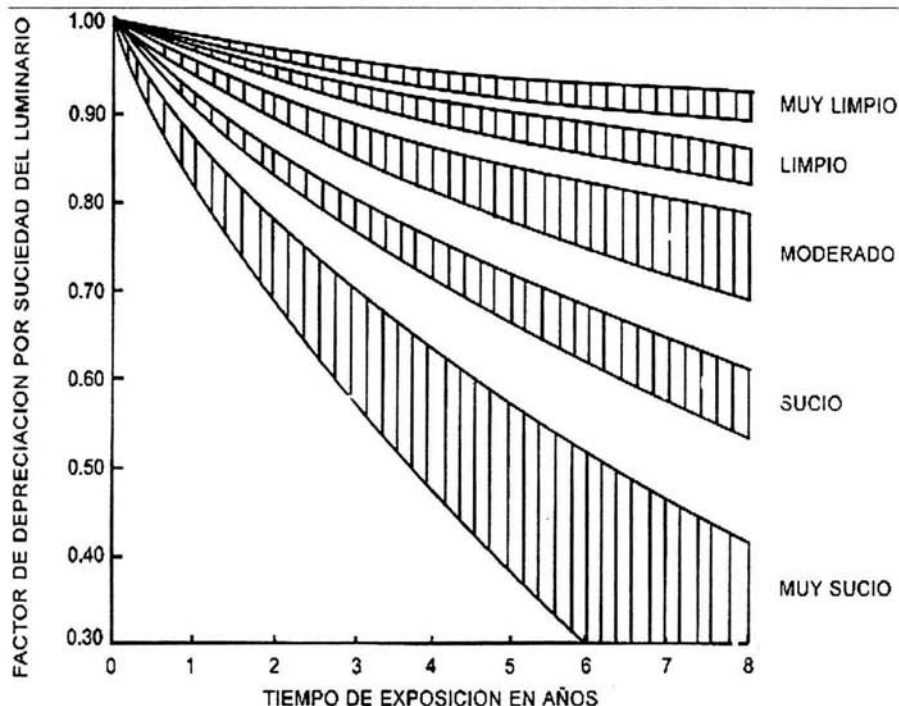
Algunos ejemplos de suciedad adhesiva son: grasa producida al cocinar, partículas generadas por la operación de máquinas transportadas por vapores aceitosos, partículas transportadas por vapor de agua como en lavanderías.

Algunos ejemplos de suciedad atraída son: cabellos, pelo, pelusa, fibras o partículas secas cargadas electrostáticamente debido a operaciones de máquinas.

La suciedad inerte está representada por partículas no pegajosas, sin carga electrostática tales como harina seca, aserrín, cenizas finas, etc.

Figura 24.

Gráficas para estimar los factores de depreciación por suciedad en los luminarios de alumbrado público para unidades cerradas y con empaque.



Seleccione la curva apropiada de acuerdo con el tipo de ambiente.

### **Muy Limpio**

Que no existan actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía y un bajo nivel de contaminación ambiental, tráfico ligero generalmente limitado a áreas residenciales o rurales, el nivel de partículas ambientales no es mayor de 150 microgramos por m<sup>3</sup>.

### **Limpio**

Que no existan actividades generadoras de polvo o humos en la cercanía, tráfico moderado o pesado, el nivel de partículas ambientales no es mayor de 300 microgramos por m<sup>3</sup>.

### **Moderado**

Moderada actividad generadora de polvo y humos en la cercanía, el nivel de partículas no es mayor de 600 microgramos por m<sup>3</sup>.

### **Sucio**

Humo y polvo generados por actividades en la cercanía pueden ocasionalmente envolver al luminario.

### **Muy sucio**

Como el inciso anterior pero los luminarios están envueltos en humo y polvo.

## **4.2 Hoja de datos Fotométricos (ver figura 25)**

Una herramienta que utilizaremos mucho es la hoja de datos fotométricos, esta es proporcionada por el fabricante y contiene información técnica sobre el luminario como puede ser la curva de utilización, curvas isoclux, la potencia de la lámpara, lúmen que emite la lámpara, etc. Todos estos datos se basan en la orientación del luminario y las dimensiones físicas.

Para comprender mejor como se presenta toda esta información iremos describiendo cada uno de estos datos con un ejemplo. Y tomaremos como ejemplo los datos fotométricos de los luminarios que tiene el alumbrado público de Ciudad Universitaria.

### ***Equipo de Medición.***

Para medir la Iluminancia en cada punto de la retícula se utilizo un luxómetro, con un rangos de 0-1000 lux y 0-5000, marca Kyoritsu, el cual esta a cargo de: Proyectos de Ahorro de Energía – Facultad de Ingeniería – UNAM.

Para las medidas de longitud se utilizo una cinta metálica, Marca Lufkin, tipo enrollable, con rango de 0 a 50 metros.

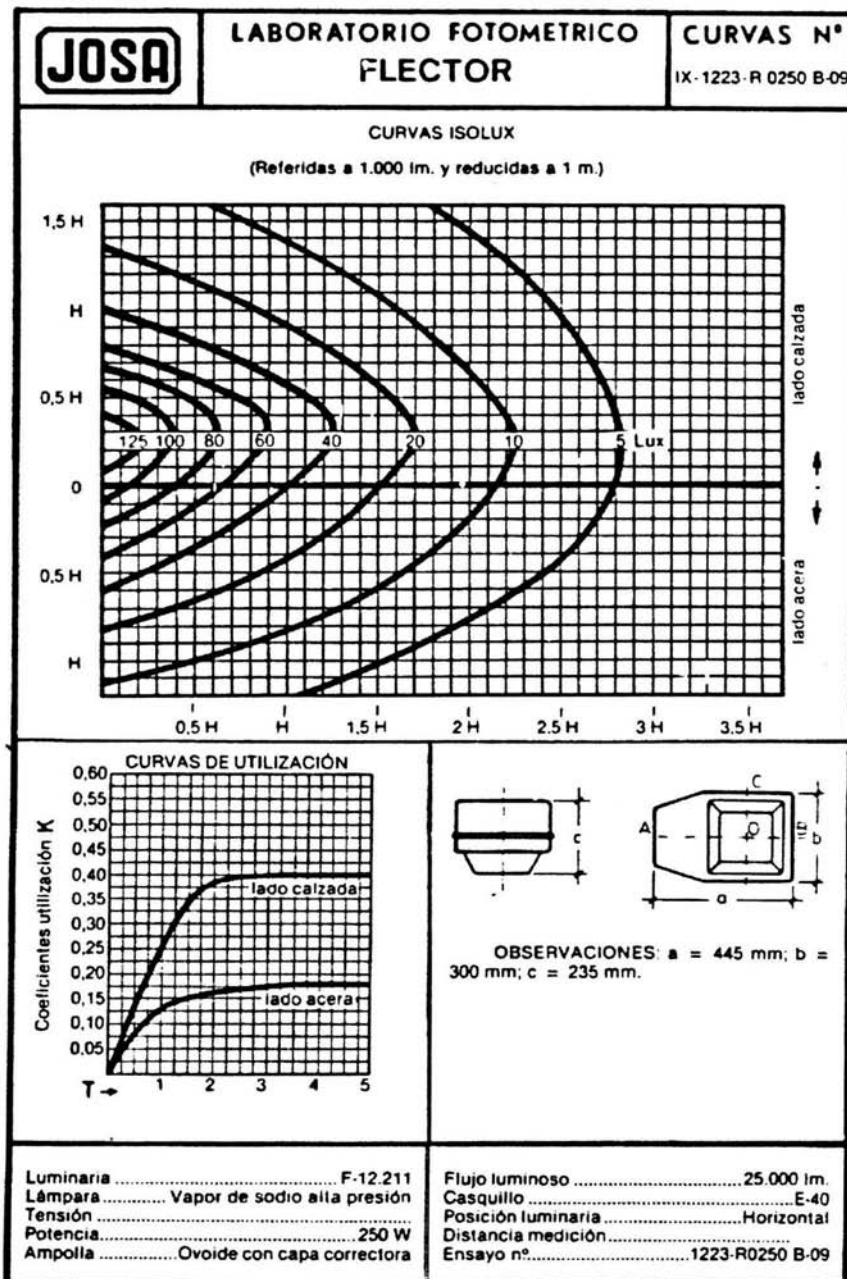
Un Flexómetro Merca Truper, con rango de 0-5 metros.

## **4.3 Análisis de la situación actual del alumbrado público de Ciudad Universitaria**

Estamos considerando dos sistemas de alumbrado público, ya que sus características son diferentes, tanto en aspectos fotométricos, como en disposiciones físicas, los cuales son;

- a) Sistema de Alumbrado Público en Vías Primarias
- b) Sistema de Alumbrado Público en Estacionamientos.

Figura 25



### 4.3.1. Análisis de Vías Primarias.

#### Descripción

En los Planos de planta de Ciudad Universitaria referentes al casco viejo y zona de institutos proporcionados por el *Proyecto de ahorro de Energía, Facultad de Ingeniería-UNAM*. Observamos que la disposición de los postes en las vialidades, tales como el circuito interior, circuito exterior, en la zona del Estadio Olímpico; como son los accesos, vialidades, (no incluye Av. Insurgentes) se cuenta con una **disposición unilateral**.

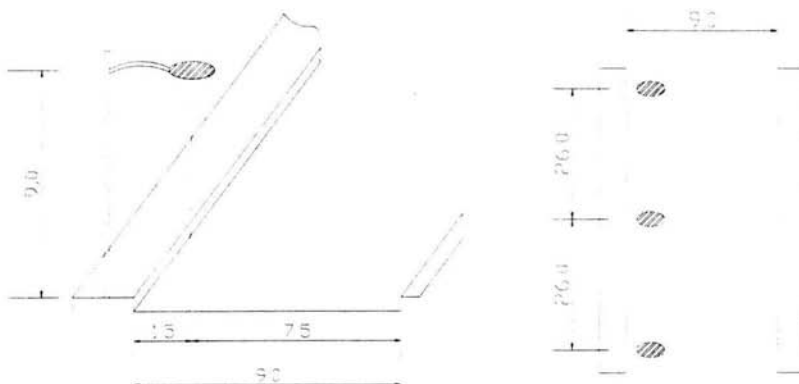
### 3.3.2 Presentación de los datos actuales en formatos específicos.

Se realizaron mediciones de longitud en vías principales arrojando los siguientes datos: Actualmente el sistema de iluminación tiene las siguientes características.

#### Arreglo de Luminaria y Calle

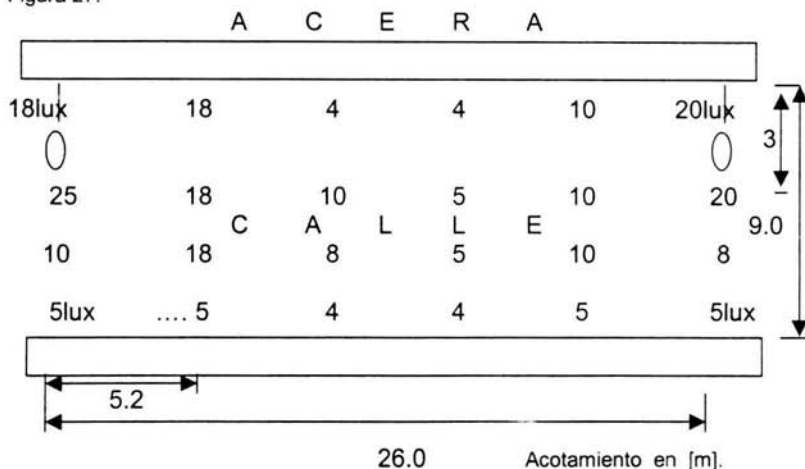
#### Arreglo Unilateral

Figura 26



Los días Jueves 4, Viernes 26 y sábado 27 de Diciembre de 2003, así como los días Sábado 10 y sábado 17 de enero y el día 14 de febrero de 2004, se dispuso hacer mediciones de longitudes e iluminancia en un tramo de avenida, el cual se encuentra entre Facultad de Odontología y Facultad de Medicina.

Figura 27.



Los valores de Iluminancia mostrados en la Figura 27, fueron medidos a nivel de piso, es decir, que la posición del luxómetro esta sobre la calle (o Vía). Las lecturas realizadas fueron en una retícula de 5.2 x 3.0 metros. En este formato (figura 27), podemos observar el flujo luminoso en superficies distantes a la luminaria, la cual representamos en forma de elipse a un costado de la acera. Este formato nos permite la organización y el análisis de la información recopilada, así como la presentación de los resultados. (Los valc.es fueron medidos en campo)

#### **4.3.3 Análisis con el método Lumen para el funcionamiento teórico actual**

*Calculo de los coeficientes de utilización*

$$\text{Relación transversal calle} = \frac{\text{anchocalle} - \text{ladocasa}}{\text{Alturademontaje}} \quad \text{Relación lado-calle} = \frac{9.0 - 1.5}{9.0} = 0.83$$

$$\text{Relación transversal casa} = \frac{\text{ladocasa}}{\text{Alturademontaje}} \quad \text{Relación lado-casa} = \frac{1.5}{9.0} = 0.166$$

Con los cocientes obtenidos entramos a la grafica del Coeficiente de utilización proporcionada por el fabricante. Para el coeficiente de utilización *lado-calle*; en el lado calle de la grafica se traza desde 0.83 (en el eje horizontal) hasta que corte la curva del *lado-calle (calzada)*, a partir de allí se traza una línea hacia el factor de utilización (lado izquierdo) y obtenemos el coeficiente de utilización para el *lado-calle* C.U. *lado-calle* = 0.225

Asimismo para el coeficiente de utilización del *lado-casa* se traza una recta desde 0.166 hasta que corte la curva de utilización del *lado-casa*, y desde ese punto se traza una línea hasta el factor de utilización (otra vez del lado izquierdo), así el coeficiente de utilización del *lado-casa* es C.U. = 0.025

Por lo tanto el **C.U. = 0.25** (la suma de los dos coeficientes anteriores)

#### **4.3.4 Calculo del factor de mantenimiento (F.M.)**

Para este luminario, el fabricante establece que el factor de depreciación es LLD = 0.9, con 70% de vida útil. Por otra parte el periodo de mantenimiento según la Dirección General de Obras (DGO) es considerado entre 18 meses y 24 meses, por lo tanto en la grafica de depreciación por suciedad trazamos una línea recta en el eje de los años, en el punto que corresponde a dos años y medio hasta la región de ambiente moderado y encontramos que el factor de depreciación es de LDD = 0.90.

Otras variables que intervienen para el cálculo del factor de mantenimiento son: Variación de Tensión, Temperatura Ambiente y el factor de balastro, para éste último se toma el valor de 0.8

Con los valores obtenidos podemos hacer inferencias sobre algunos parámetros de diseño en los sistemas de iluminación

Nota: Para las condiciones que tiene el sistema actual en Ciudad Universitaria respecto a las dimensiones tales como altura de montaje, lado calle y lado casa se harán cálculos de espaciamiento entre postes y un cálculo de uniformidad, de modo que podamos hacer comparaciones con el levantamiento físico realizado.

$$S = \frac{\text{lumen}}{\text{luminario}} \frac{(C.U)(LLD)(LDD)}{(E)AnchoArroyo} \quad \text{e (8)}$$

$$S = \frac{(25000)(0.25)(0.9)(0.90)}{(20)(9)} = 28.125 \text{ m.}$$

Donde: S      Distancia interpostal



Si el ambiente en que se encuentran los postes es sucio y el período de mantenimiento es de dos años y medio, el factor de mantenimiento será de 0.765, por lo tanto el valor de espaciamiento será:

$$S = 26.56 \text{ m.}$$

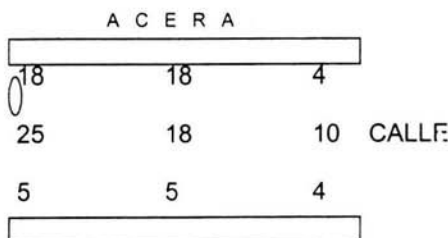
Los resultados obtenidos indican que con un espaciamiento de 28 metros se tendrá un nivel de iluminación de 20 lux. Por lo tanto los valores de espaciamiento interpostal en Ciudad Universitaria son adecuados para una buena iluminación.

#### 4.3.5 Coeficiente de Uniformidad

Si hacemos una división de la distancia interpostal, tendremos dos superficies proporcionales, tomaremos los datos de la superficie donde se encuentren los valores Máximos y mínimos de iluminancia.

Nota: No se ha tenido en cuenta más que la iluminación proporcionada por los dos luminarios de la figura, ya que son los más cercanos a la superficie de estudio, la iluminación que producen otros luminarios, es despreciable.

Figura 28.



Con lo anterior podemos calcular la iluminación media  $E_m$ ; del capítulo III

$$E_m = \frac{\sum E_p}{n} \quad \text{e (9)}$$

Donde:

$N$ , es el número de mediciones  
 $E_p$  iluminancia en cada punto

Por lo tanto

$$E_m = 11.88 \text{ lux}$$

La iluminación máxima corresponde al punto que se localiza debajo de la luminaria:

$$E_{\text{max}} = 25 \text{ lux}$$

$$E_{\text{min}} = 4 \text{ lux}$$

Por lo tanto la razón global de uniformidad es:

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_m} = \frac{4}{11.88} = 0.3367$$

La razón longitudinal de Uniformidad:

$$Ul = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \frac{4}{25} = 0.16$$

De la figura 28 escogemos tres puntos de las lecturas realizadas, de modo que podamos hacer una relación de los valores de Iluminancia establecidos por la IESNA.<sup>9</sup> (20 lux)

Punto A	4 lux
Punto B	5 lux
Punto C	8 lux

Se toma el nivel más bajo y se hace la proporción con el valor medio de iluminancia:

$$\frac{11.88[\text{luxes}]}{4[\text{luxes}]} = 2.97$$

Donde tenemos que la relación es 2.97:1 y como es menor que 3:1 (de la tabla III-2, Capítulo III) podemos decir que SI se tiene uniformidad.

De acuerdo con los valores de las tabla III-3, la iluminancia promedio queda dentro de los valores que pueden aceptarse.

En la siguiente hoja de cálculo se realiza un análisis del sistema de alumbrado Público en Ciudad Universitaria. Se tomará en cuenta las siguientes variables; los resultados del *coeficiente de utilización* y el *factor de mantenimiento*, los datos fotométricos de un luminario con las características en las que se encuentra actualmente el sistema en Ciudad Universitaria, en los casos del *factor de balastro* y *variación de tensión*, se han estimado los valores correspondientes. Las curvas isocandelas son los valores de iluminancia que arroja el método lumen, dichos valores están mostrados en las tablas IV-1 hasta la tabla IV-7.

Al final, se presenta una iluminación en el plano de trabajo, considerando el formato inicial para el análisis de la información.

---

<sup>9</sup> Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norte América

**HOJA DE CALCULO DE ILUMINACION  
METODO DEL LUMEN PARA EXTERIORES**



Proyecto: Tesis-Ahorro de energía en Alumbrado Publico C.U.

Director: Ing. Augusto Sanchez Cifuentes

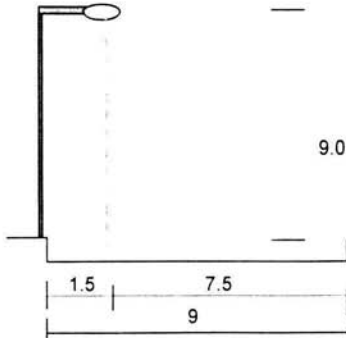
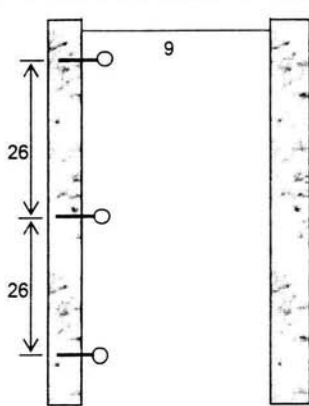
Ubicación:

Calle: Odontologia (Análisis de un tramo de Avenida)



Fecha: Feb-04

Responsable: Ing. Martin Frutis

Tipo de lámpara	Propuesta	Cálculos
Vapor de Sodio A.P. 250W Pot. (w) 250		$\text{No. Lum.} = \frac{(E) \cdot (\text{Esp. entre Lum.}) \cdot (\text{Ancho de calle})}{(\text{Lm/lum}) \cdot (\text{C.U.}) \cdot (\text{F.M.})}$
<p align="center"><b>Descripcion</b></p> <p>Mca: Lum. OV-F-12.211 Curva de Distribucion III, Armadura /balastro 4046 refractor de cristal borosilicato</p>		<p>No. Lum. = 1.22      2</p> <p align="center"><b>Arreglo de luminario y calle para el cálculo</b></p> 
Nivel de Iluminación Norma I.E.S.N.A.	20 Luxes	
Lúmenes por Luminario	25000 Lum.	
Espacio entre Luminarios	26.0 mts	
Altura de Luminario	9.0 mts	
Ancho de Calle	9 mts	
Distancia brazo	1.5 mts	
Relación lado Calle	0.83	
Relación lado Acera	0.17	
Variación de Tensión	0.97	
Temp. Ambiente 20 oC	0.98	
Factor del Balastro	0.8	
Dep. suciedad acum. local	1	
Lámparas quemadas o fund	1	
Dep. lúmenes lámpara	0.9	
Dep. suciedad. acum. lum.	0.9	
Factor de Mantenimiento	0.62	
Coef. Util. lado calle	0.23	
Coef. Util. lado Acera	0.025	
Coeficiente Utilización	0.25	<p align="center"><b>Arreglo Unilateral</b></p>  <p align="right">Acot en metros</p>

### **CURVAS ISOCANDELAS**

#### **Cálculo de iluminación**

Altura del Luminario	m	9.00	División Longitudinal	6	4.33
Lumenes/Luminario	Lm	25000	División Transversal calle	4	1.88
Distancia entre Postes	m	26.0	División Transversal Acera	2	0.75
Ancho de lado Calle	m	9	Factor altura Montaje	1	
Ancho lado Acera	m	1.5			
Ancho camellon	m	0	Luxes por cada	1000	Lúmenes
Ancho de Calle/bajo lum.	m	7.5			

Tabla IV-1

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
1	0	0	0.00	2.00	30.80	3.03		33.88
Distancia (m)	1	4.33	0.48	1.00	15.40	3.70		19.10
	2	8.67	0.96	0.60	9.24	4.47		13.71
1.5	3	13.00	1.44	0.40	6.16	6.16		12.32
	4	17.33	1.93	0.29	4.47	9.24		13.71
Ubicación pie del poste	5	21.67	2.41	0.24	3.70	15.40		19.10
	6	26	2.89	0.20	3.08	30.80		33.88
Ancho/altura 0.17	0	0	0.00	0.00	0.00			
	0	0	0.00	0.00	0.00			

Promedio **20.81**

Tabla IV-2

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
2	0	0	0.00	2.20	33.88	3.23		37.11
Distancia (m)	1	4.33	0.48	1.50	23.10	3.85		26.95
	2	8.67	0.96	0.80	12.32	4.62		16.94
0.75	3	13.00	1.44	0.41	6.31	6.31		12.63
	4	17.33	1.93	0.30	4.62	12.32		16.94
Ubicación 1/2 brazo	5	21.67	2.41	0.25	3.85	23.10		26.95
	6	26.00	2.89	0.210	3.23	33.88		37.11
Ancho/altura 0.08	0	0	0.00	0.00	0.00			
	0	0	0.00	0.00	0.00			

Tabla IV-3

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes	
3	Distancia (m)	0	0.00	0.00	2.50	38.50	3.31	41.81	
		1	4.33	0.48	1.65	25.41	4.16	29.57	
		2	8.67	0.96	0.90	13.86	6.31	20.17	
0	Ubicación abajo de luminario	3	13.00	1.44	0.45	6.93	6.93	13.86	
		4	17.33	1.93	0.41	6.31	13.86	20.17	
		5	21.67	2.41	0.27	4.16	25.41	29.57	
Ancho/altura	0.00	6	26.00	2.89	0.22	3.31	38.50	41.81	
		0	0.00	0.00	0.00	0.00			
		0	0.00	0.00	0.00	0.00			

Promedio **28.14**

Tabla IV-4

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes	
4	Distancia (m)	0	0.00	0.00	3.10	47.74	3.70	51.44	
		1	4.33	0.48	2.10	32.34	4.31	36.65	
		2	8.67	0.96	1.10	16.94	6.16	23.10	
1.875	Ubicación calle	3	13.00	1.44	0.60	9.24	9.24	18.48	
		4	17.33	1.93	0.40	6.16	16.94	23.10	
		5	21.67	2.41	0.28	4.31	32.34	36.65	
Ancho/altura	0.21	6	26.00	2.89	0.24	3.70	47.74	51.44	
		0	0.00	0.00		0.00			
		0	0.00	0.00		0.00			

Promedio **34.41**

Tabla IV-5

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes	
5	Distancia (m)	0	0.00	0.00	3.70	56.98	3.85	60.83	
		1	4.33	0.48	2.90	44.66	4.62	49.28	
		2	8.67	0.96	1.50	23.10	6.62	29.72	
3.75	Ubicación Calle	3	13.00	1.44	0.75	11.55	11.55	23.10	
		4	17.33	1.93	0.43	6.62	23.10	29.72	
		5	21.67	2.41	0.30	4.62	44.66	49.28	
Ancho/altura	0.42	6	26.00	2.89	0.25	3.85	56.98	60.83	
		0	0.00	0.00		0.00			
		0	0.00	0.00		0.00			

Promedio **43.25**

Tabla IV-6

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum. 1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
6	0	0.00	0.00	3.20	49.28	4.00		53.28
Distancia (m)	1	4.33	0.48	2.65	40.81	4.62		45.43
	2	8.67	0.96	1.50	23.10	6.62		29.72
Ubicación calle	3	13.00	1.44	0.75	11.55	11.55		23.10
	4	17.33	1.93	0.43	6.62	23.10		29.72
	5	21.67	2.41	0.30	4.62	40.81		45.43
	6	26.00	2.89	0.26	4.30	49.28		53.28
Ancho/altura 0.63	0	0.00	0.00		0.00			
	0	0.00	0.00		0.00			

Promedio **40.00**

Tabla IV-7

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum. 1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
7	0	0.00	0.00	2.90	44.66	3.70		48.36
Distancia (m)	1	4.33	0.48	2.10	32.34	4.47		36.81
	2	8.67	0.96	1.10	16.94	6.16		23.10
Ubicación calle	3	13.00	1.44	0.60	9.24	9.24		18.48
	4	17.33	1.93	0.40	6.16	16.94		23.10
	5	21.67	2.41	0.29	4.47	32.34		36.81
	6	26.00	2.89	0.24	3.70	44.66		48.36
Ancho/altura 0.83	0	0.00	0.00		0.00			
	0	0.00	0.00		0.00			

Promedio **33.57**

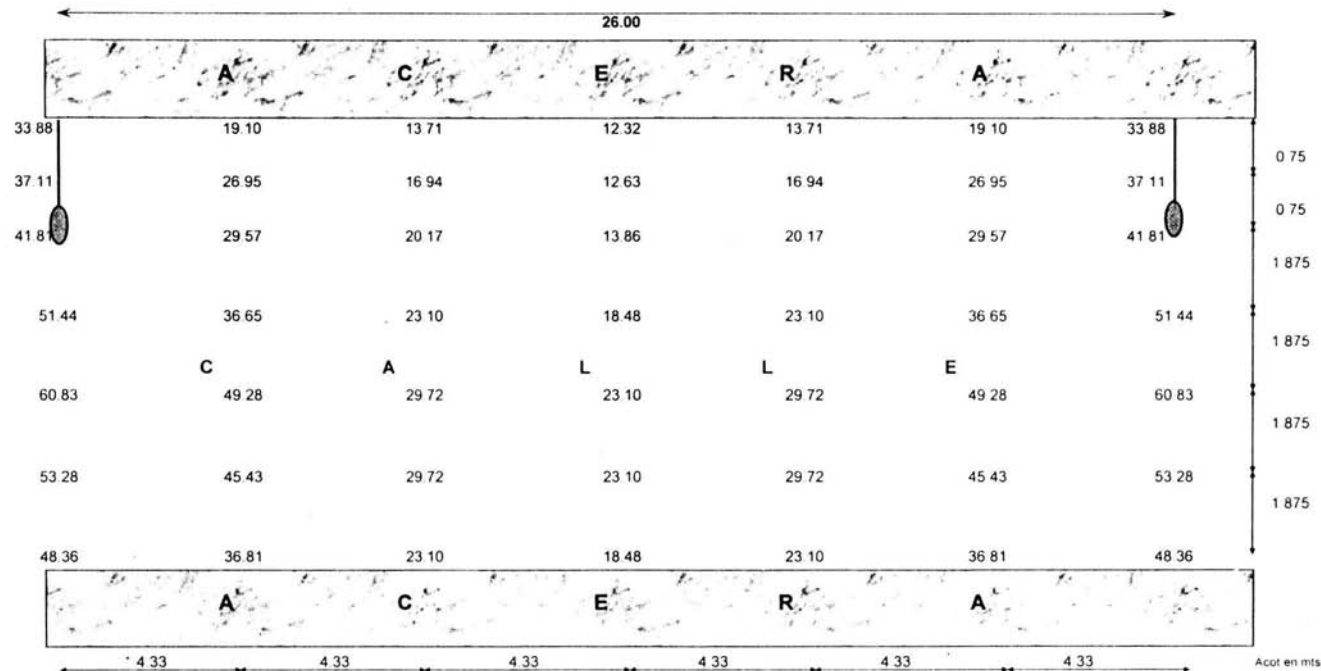
## ILUMINACION EN EL PLANO DE TRABAJO



Empresa: Tesis-Ahorro de energia en Alumbrado Publico C.U.  
 Dirección: Ing. Augusto Sanchez Cifuentes  
 Ubicación:  
 Calle: Odontologia (Análisis de un tramo de Avenida)



Datos finales				Descripción			Propuesta	
Ilum. Máx.	60.83	Lx	Ilum. Prom.	32.16	Tipo de Lámp.	Vapor de Sodio A.P. 250W		
Ilum. Min.	12.32	Lx	Coef. Unif.	0.38	Luminario	Mca.	Lum. OV-F-12 211	
					Lúmenes	25000	Lm.	
							Responsable:	0
							Fecha:	Feb-04



#### **4.4 Análisis de Estacionamientos**

El costado Norte del estacionamiento de la Facultad de Medicina  
Los datos obtenidos para el alumbrado de estacionamientos fueron medidos en el estacionamiento de la Facultad de Medicina. Tomando en consideración una disposición Central con doble Brazo.

La Tabla IV.1 muestra el número de estacionamientos con la disposición mencionada. En el recorrido realizado durante el levantamiento de los datos, se pudo observar que algunas bases en los postes se encuentran dañadas, así como algunos brazos en mal estado, luminarios abiertos y en algunos casos lámparas fundidas.

Tabla IV-8

<b>Estacionamiento</b>	<b>Disposición</b>
Tienda UNAM	Central doble brazo
Facultad de ciencias	Central doble brazo
Fac. de Contaduría y Administración	Central doble brazo
Escuela Nac. Trabajo Social	Central doble brazo
Anexo de Ingeniería	Central doble brazo
Instituto de Química	Central doble brazo
Instituto de Ciencias Atmosféricas	Central doble brazo
Instituto de Física	Central doble brazo
Fac. de Med. Veterinaria y Zootecnia	Central doble brazo
Comedor Ingeniería	Central doble brazo
Facultad de Medicina	Central doble brazo
Facultad de Química	Central doble brazo
Instituto de Inv. Biomédicas	Central doble brazo
Alberca	Central doble brazo
Facultad de Filosofía	Central doble brazo
Facultad de Derecho	Central doble brazo
Facultad de Economía	Central doble brazo
Facultad de odontología	Central doble brazo
Costado Norte Biblioteca Central	Central doble brazo
Campo de Practicas	Central Doble brazo
Estadio Olímpico	Súper Poste

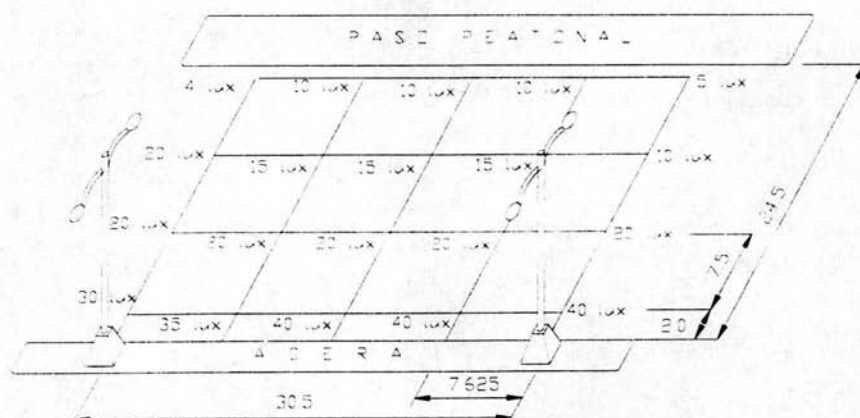


Tomando en cuenta la tabla anterior y considerando que los estacionamientos más grandes en esta zona de Ciudad Universitaria son; la Facultad de Contaduría y Administración, estacionamiento de Facultad de Ciencias, Facultad de Medicina y el corredor Derecho-Economía, tomaremos como referencia el estacionamiento de la Facultad de Medicina.

En los apartados de la NOM-001-SEDE-1999 (ver Capítulo III), los cuales hablan de estacionamientos públicos podemos observar que en Ciudad Universitaria, son abiertos, y tomando en cuenta su actividad, se encuentra entre los tres incisos ya que los eventos culturales, cívicos y tomando en cuenta que tiene una tienda de autoservicios, la relevancia de los estacionamientos en C.U. son, de gran importancia.

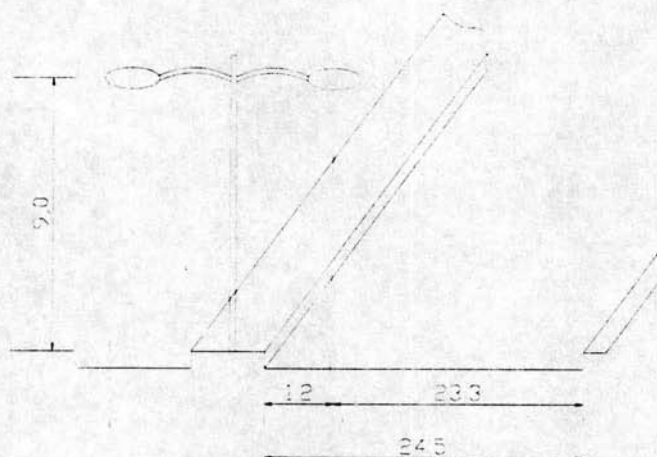
El estacionamiento de La Facultad de Medicina tiene las siguientes características.

Figura 29.



Los Datos de la altura de montaje, lado Acera o lado casa y el valor del lado calle, se muestran en la siguiente figura.

Figura 30.



Con todo lo anterior y con el apoyo del método Lumen podemos partir al análisis de los datos fotométricos.

**Nota:** Para el caso del análisis de estacionamientos se presenta una hoja de cálculo con el mismo formato que se utilizó para las vías principales (pág. 66-70)

La información presentada en las hojas de cálculo tienen las características actuales del funcionamiento en el sistema de alumbrado público de ciudad universitaria. Para las curvas isocandelas se presentan resumidas las variables, las cuales se utilizan para conocer los valores de iluminancia a distintas áreas en la vía (calle). Las tablas incluidas (tabla IV-9 hasta la tabla IV-15) tienen datos de las posiciones longitudinales, transversales y sus relaciones (long/altura de montaje). La columna con los valores de tablas, esta referido a la hoja de datos fotométricos. Cabe mencionar que se consideran los cuatro luminarios dispuestos en el plano de trabajo, el cual se muestra con un resumen de las características fotométricas.

#### **4.5 Carga conectada por concepto de Vías Principales y Estacionamientos**

Considerando la carga conectada para iluminar las vías, los circuitos principales y los estacionamientos de Ciudad Universitaria tenemos la siguiente demanda.

##### **Casco Viejo y Zona de Institutos.**

Tabla IV-2

<b>Tipo Lámpara</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Watts</b>
VM 25 W	89	22,250
VS 25 W	870	217,500
VS 175 W	2	350
<b>SUB-TOTALES</b>	<b>959</b>	<b>240,100</b>

Los subtotaes es la parte que representa la zona cuantificada

##### **Zona Cultural**

Tabla IV-3

<b>Tipo Lámpara</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Watts</b>
VM 25 W	9	2250
VS 40 W	46	18,400
VS 25 W	221	55,250
VS 175 W	26	4,550
<b>SUB-TOTALES</b>	<b>302</b>	<b>75,900</b>

**TOTALES**

**1261 Lámparas**

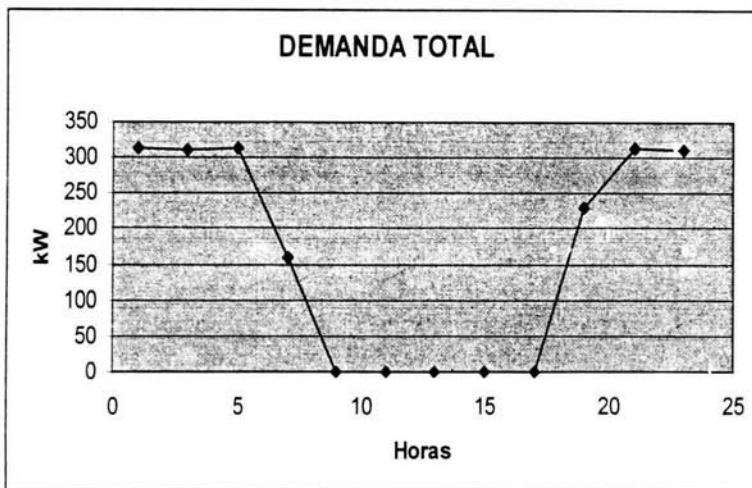
**316,000 Watts**

La importancia de conocer la demanda, y los consumos acumulados totales, radica en analizar en primera instancia, las horas donde se demanda y consume más energía y que tomando en cuenta la Tarifa establecida en Ciudad Universitaria, poder conocer los costos por consumo de energía eléctrica.

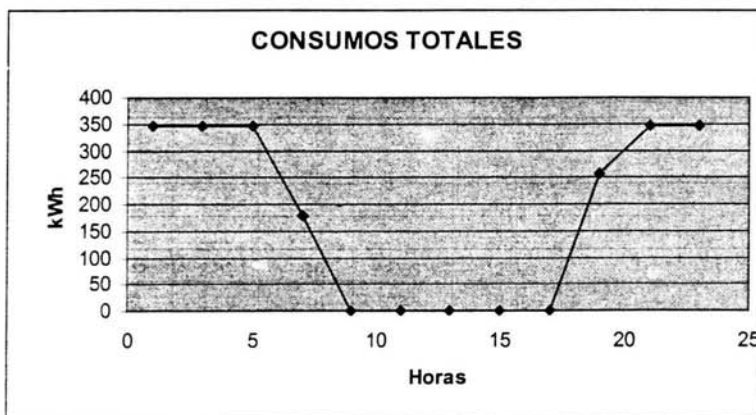
A continuación mostramos las gráficas del comportamiento de la Demanda, los Consumos Totales y los consumos Acumulados Totales:

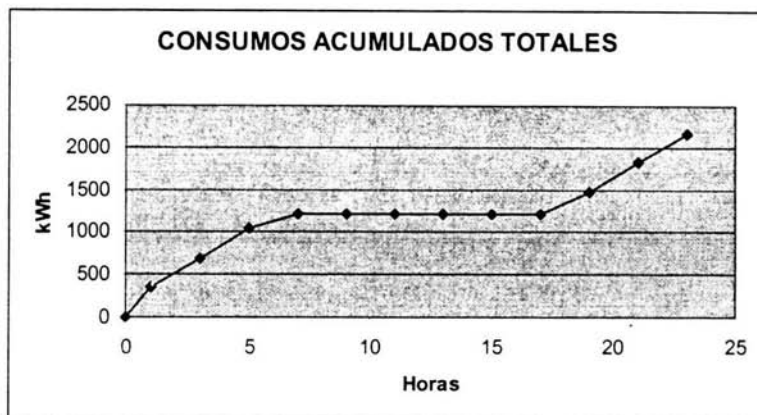
Es importante mencionar que las siguientes gráficas son estimaciones hechas, ya que no se tienen un monitoreo para analizar las variables eléctricas en cualquiera de los circuitos de alumbrado público dentro de Ciudad Universitaria.

#### 4.6 Demanda en Ciudad Universitaria: considerando los estacionamientos y vías principales.



En esta gráfica se tomo en cuenta un factor de potencia de 0.90





Con lo anterior podemos dejar asentado las condiciones actuales en las que se encuentra y opera el sistema de Alumbrado Público en Ciudad Universitaria, se tomara en cuenta para poder hacer una propuesta, para reducir los consumos de energía eléctrica, sin descuidar la calidad de iluminación en estas áreas.

#### **4.7 Levantamiento de datos del Alumbrado Público.**

A continuación se presenta la información referente a la carga conectada por alumbrado público en Ciudad Universitaria abarcando las siguientes zonas: estacionamientos, áreas verdes, accesos y vías principales, la información es proporcionada por los *Proyectos de Ahorro de Energía, Facultad de Ingeniería-UNAM*. La cual fue levantada casi en su totalidad en 1998. En años anteriores se han hecho cambios, los cuales han sido cuantificados.

Las tablas muestran la totalidad de potencia instalada en la zona cultural, el casco viejo y la zona de institutos, así como la cantidad de lámparas instaladas en cada zona.



LEVANTAMIENTO DE DATOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO  
 CIUDAD UNIVERSITARIA ZONA CULTURAL  
 PROYECTOS DE AHORRO DE ENERGÍA  
 RESPONSABLE: INGENIERO MARTIN FRUTIS  
 (abril de 1998)



Tabla IV-16

Tipo de luminaria	Estacionamientos	Áreas verdes	Zona de accesos	Vías principales	Total de Luminarios	potencia Total (w)
V.M. 25W	0	0	0	5	5	1,250W
V.S. 40W	5	16	14	2	37	9,250
A.M. 10W	0	2	0	0	0	2,000
V.S. 40w	39	12	0	0	51	20,400
V.S. 175w	26	0	182	0	208	364,000
V.S. 25	33	96	143	185	457	114,250
V.M. 25w	0	0	0	2	2	500
V.S. 25w	0	0	0	3	3	750
V.M. 25w	0	0	0	2	2	1,000
V.S. 40w	24	0	0	0	24	38,400
A.M. 10w	0	2	0	0	2	8,000
Cuarzo 100w	0	14	2	0	16	16,000
	0	0	0	0	0	
<b>TOTALES</b>	<b>127</b>	<b>142</b>	<b>337</b>	<b>199</b>	<b>812</b>	<b>575,800</b>



LEVANTAMIENTO DE DATOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO  
DE CIUDAD UNIVERSITARIA ZONA DE INSTITUTOS  
Y CASCO VIEJO  
PROYECTOS DE AHORRO DE ENERGÍA  
RESPONSABLE: INGENIERO MARTIN FRUTIS (abril 1998)



Tabla IV-17

Tipo de luminaria	Estacionamientos	Áreas verdes	Zona de accesos	Vías principales	Explanadas	Total de Luminarias	potencia Total (w)
V.M. 25W	5	5	20	29	0	59	14,750
V.S. 25W	7	10	4	287	0	308	77,000
V.M. 40W	0	0	110	0	0	110	44,000
V.M. 25W	6	23	323	5	21	378	94,500
V.S. 40W	2	0	9	0	11	22	8,800
V.S. 175W	30	79	142	42	0	293	51,275
V.S. 25W	0	70	66	44	39	219	54,750
V.M. 25W	17	0	0	10	2	29	14,500
V.S. 25W	171	14	4	289	5	483	241,500
V.M. 25W	12	4	0	0	0	16	8,000
V.S. 40W	12	13	0	2	12	39	62,400
A.M. 100W	0	1	0	0	7	8	32,000
Cuarzo 100W	0	9	38	0	0	47	47,000
<b>TOTALES</b>	<b>262</b>	<b>228</b>	<b>716</b>	<b>708</b>	<b>97</b>	<b>2011</b>	<b>750,475</b>

**HOJA DE CALCULO DE ILUMINACION  
METODO DEL LUMEN PARA EXTERIORES**



Proyecto: Tesis- Ahorro de Energia en Alumbrado Publico C.U.

Director: Ing. Augusto Sanchez Cifuentes

Ubicación:

Calle: Medicina (Analisis de un tramo de Estacionamiento)

Fecha: Feb-04

Responsable: Ing. Martin Frutis



Tipo de lámpara		Propuesta	Cálculos
Vapor de Sodio A.P. 250W Pot. (w) 250		Sistema Actual.	No. Lum. = $(E) * (\text{Esp. entre Lum.}) * (\text{Ancho de calle})$ $(L_{in}/lum) * (C.U.) * (F.M.)$ No. Lum. = 2.49 3
Descripción			<p align="center"><b>Arreglo de luminario y calle para el cálculo</b></p>
Mca: Lum. OV-F12.211 Curva de Distribucion III, Armadura /balastro 4046 refractor de cristal borosilicato			
Nivel de Iluminación Norma I.E.S.N.A.	20 Luxes		
Lúmenes por Luminario	25000 Lum.		
Espacio entre Luminarios	30.5 mts		
Altura de Luminario	9.0 mts		
Ancho de Calle	24.5 mts		
Distancia brazo	1.2 mts		
Relación lado Calle	2.59		
Relación lado Acera	0.13		
Variación de Tensión	0.97		<p align="right"><b>Arreglo Unilateral</b></p> <p align="right">Acot en mts.</p>
Temp. Ambiente 20 oC	0.98		
Factor del Balastro	0.8		
Dep. suciedad acum. local	1		
Lámparas quemadas o fund	1		
Dep. lúmenes lámpara	0.9		
Dep. suciedad. acum. lum.	0.9		
Factor de Mantenimiento	0.62		
Coef. Util. lado calle	0.38		
Coef. Util. lado Acera	0.01		
Coeficiente Utilización	0.39		



### CURVAS ISOCANDELAS

#### Cálculo de iluminación

Altura del Luminario	m	9.00	División Longitudinal	6	5.08
Lumenes/Luminario	Lm	25000	División Transversal calle	4	5.83
Distancia entre Postes	m	30.5	División Transversal Acera	2	0.6
Ancho de lado Calle	m	24.5	Factor altura Montaje	1	
Ancho lado Acera	m	1.2			
Ancho camellon	m	2	Luxes por cada	1000	Lúmenes
Ancho de Calle/bajo lum.	m	23.3			

Tabla IV-9

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	lum. 4 Luxes	Total Luxes
1	0	0	0.00	2.00	30.80	2.46	10.00	1.00	44.26
	Distancia (m)	1	5.08	0.56	1.50	23.10	3.23	5.00	1.20
1.2	2	10.17	1.13	0.80	12.32	4.47	2.80	1.60	21.19
	Ubicación pie del poste	3	15.25	1.69	0.40	6.16	6.16	1.93	1.93
0.13	4	20.33	2.26	0.29	4.47	12.32	1.60	2.80	21.19
	5	25.42	2.82	0.21	3.23	23.10	1.20	5.00	32.53
Ancho/altura	6	30.5	3.39	0.16	2.46	30.80	1.00	10.00	44.26
	0	0	0.00	0.00	0.00				
0.13	0	0	0.00	0.00	0.00				

Promedio

30.31

Tabla IV-10

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes
2	0	0	0.00	2.30	35.42	2.77	6.67	0.93	45.79
	Distancia (m)	1	5.08	0.56	1.60	24.64	3.39	4.00	1.13
0.6	2	10.17	1.13	0.75	11.55	3.85	2.53	1.40	19.33
	Ubicación 1/2 brazo	3	15.25	1.69	0.42	6.47	6.47	1.83	1.83
0.07	4	20.33	2.26	0.25	3.85	11.55	1.40	2.53	19.33
	5	25.42	2.82	0.22	3.39	24.64	1.13	4.00	33.16
Ancho/altura	6	30.50	3.39	0.180	2.77	35.42	0.93	6.67	45.79
	0	0	0.00	0.00	0.00				
0.07	0	0	0.00	0.00	0.00				

Promedio

30.45

Tabla IV-11

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes	
3	Distancia (m)	0	0.00	0.00	2.50	38.50	2.93	6.00	0.80	48.23
		1	5.08	0.56	1.70	26.18	3.54	3.33	1.06	34.11
		2	10.17	1.13	0.75	11.55	4.47	2.13	1.40	19.55
0	Ubicación abajo de luminario	3	15.25	1.69	0.42	6.47	6.47	1.83	1.83	16.60
		4	20.33	2.26	0.29	4.47	11.55	1.40	2.13	19.55
		5	25.42	2.82	0.23	3.54	26.18	1.06	3.33	34.11
Ancho/altura	0.00	6	30.50	3.39	0.19	2.93	38.50	0.80	6.00	48.23
		0	0.00	0.00	0.00	0.00				
		0	0.00	0.00	0.00	0.00				

Promedio

31.48

Tabla IV-12

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes	
4	Distancia (m)	0	0.00	0.00	3.10	47.74	3.08	2.06	0.50	53.38
		1	5.08	0.56	2.50	38.50	4.16	1.73	0.73	45.12
		2	10.17	1.13	1.30	20.02	5.39	1.40	1.00	27.81
5.825	Ubicación calle	3	15.25	1.69	0.70	10.78	10.78	1.20	1.20	23.96
		4	20.33	2.26	0.35	5.39	20.02	1.00	1.40	27.81
		5	25.42	2.82	0.27	4.16	38.50	0.73	1.73	45.12
Ancho/altura	0.65	6	30.50	3.39	0.20	3.08	47.74	0.50	2.06	53.38
		0	0.00	0.00		0.00				
		0	0.00	0.00		0.00				

Promedio

39.51

Tabla IV-13

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes	
5	Distancia (m)	0	0.00	0.00	1.20	18.48	2.46			20.94
		1	5.08	0.56	0.80	12.32	3.08			15.40
		2	10.17	1.13	0.48	7.39	3.70			11.09
11.65	Ubicación Calle	3	15.25	1.69	0.31	4.77	4.77			9.55
		4	20.33	2.26	0.24	3.70	7.39			11.09
		5	25.42	2.82	0.20	3.08	12.32			15.40
Ancho/altura	1.29	6	30.50	3.39	0.16	2.46	18.48			20.94
		0	0.00	0.00		0.00				
		0	0.00	0.00		0.00				

Promedio

14.92

Tabla IV-14

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes
6	0	0.00	0.00	0.32	4.93	1.54			6.47
Distancia (m)	1	5.08	0.56	0.30	4.62	2.31			6.93
	2	10.17	1.13	0.25	3.85	2.77			6.62
17.475	3	15.25	1.69	0.22	3.39	3.39			6.78
	4	20.33	2.26	0.18	2.77	3.85			6.62
Ubicación calle	5	25.42	2.82	0.15	2.31	4.62			6.93
	6	30.50	3.39	0.10	1.54	4.93			6.47
Ancho/altura	0	0.00	0.00		0.00				
	1.94	0	0.00	0.00	0.00				

Promedio

6.69

Tabla IV-15

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes
7	0	0.00	0.00	0.21	3.23	1.15			4.39
Distancia (m)	1	5.08	0.56	0.19	2.93	1.31			4.23
	2	10.17	1.13	0.17	2.62	1.54			4.16
23.3	3	15.25	1.69	0.14	2.16	2.16			4.31
	4	20.33	2.26	0.10	1.54	2.62			4.16
Ubicación calle	5	25.42	2.82	0.09	1.31	2.93			4.23
	6	30.50	3.39	0.08	1.15	3.23			4.39
Ancho/altura	0	0.00	0.00		0.00				
	2.59	0	0.00	0.00	0.00				

Promedio

4.27

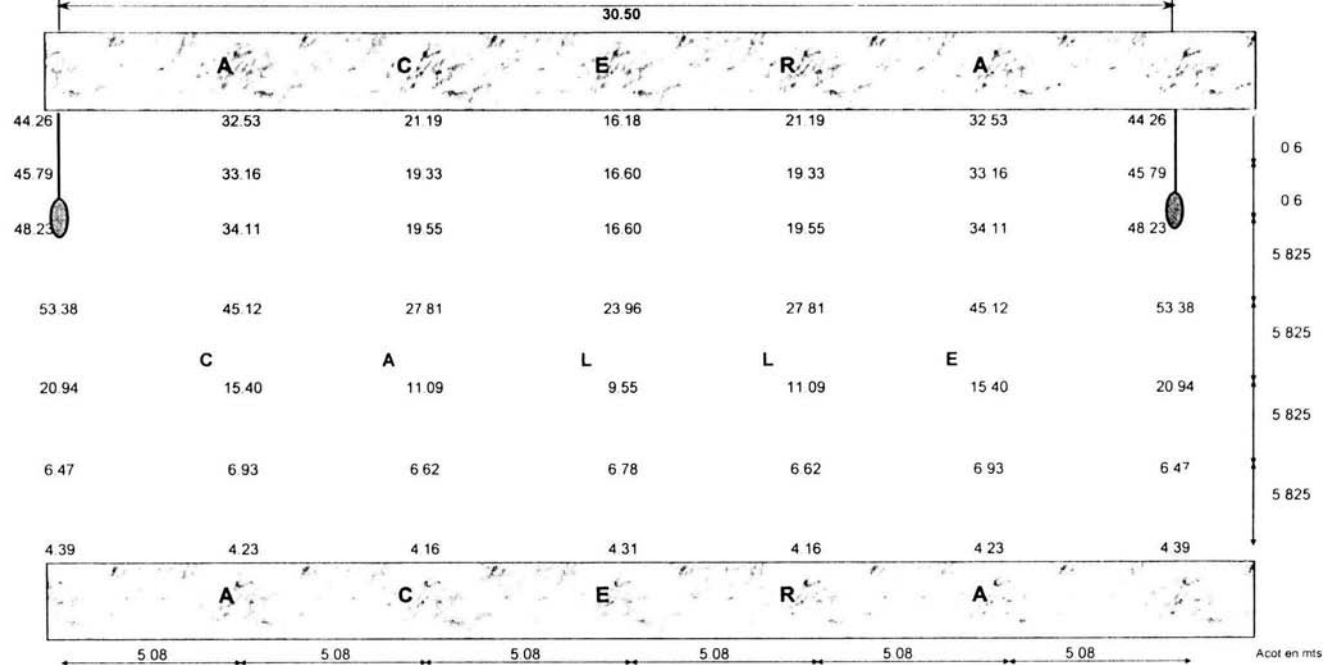
## ILUMINACION EN EL PLANO DE TRABAJO



Empresa: Tesis- Ahorro de Energia en Alumbrado Publico C.U.  
 Director: Ing. Augusto Sanchez Cifuentes  
 Ubicación: 0  
 Calle: Medicina (Análisis de un tramo de Estacionamiento)



Datos finales				Descripción		Propuesta	Sistema Actual.
Illum. Máx.	53.38	Lx	Illum. Prom.	22.52	Tipo de Lám.	Responsable:	
Illum. Min	4.16	Lx	Coef. Unif.	0.18	Luminario	Ing. Martín Frutis	
					Lúmenes	25000	Lm.
					Mca.	Lum. OV-F12 211	
						Fecha:	Feb-04



## **CAPITULO V**

### **SISTEMA PROPUESTO PARA CIUDAD UNIVERSITARIA**

## 5.1 Descripción del Sistema Propuesto

En el capítulo anterior se presentó detalladamente la forma en la que se encuentra operando actualmente el alumbrado público de Ciudad Universitaria, en este trabajo nos enfocamos más concretamente a alumbrado de vialidades y estacionamientos. Si bien el alumbrado que existe actualmente nos es malo, se encontraron muchos detalles al realizar el levantamiento de datos, como por ejemplo; que aún existen luminarios que utilizan lámparas con vapor de mercurio, que como sabemos estas lámparas son de una tecnología pasada, además de ser lámparas con poca eficiencia.

Al realizar el levantamiento de datos, se encontró que en muchos estacionamientos aun hay instalados luminarios de los llamados cabeza de punta o tipo avellana, estos luminarios por sus características distribuyen la luz en todas direcciones, perdiéndose gran parte de la luz en la parte superior de los postes; iluminando árboles y edificios, que no es el objetivo principal que deben de cumplir, ya que lo que nos importa es iluminar las vialidades o pasos peatonales. A este efecto se le conoce como contaminación lumínica, que si bien no hay estudios sobre los efectos que esta produce, si se considera que es demasiado desperdicio de iluminación.

Figura 31.



En esta imagen se muestra como este tipo de luminarios no son buenos para iluminar vialidades ni estacionamientos, ya que gran parte de la luz que producen se desperdicia iluminando la parte superior del poste.

Figura 32.



La contaminación lumínica se debe en gran parte a la mala distribución de luz que muchos luminarios tienen, en esta imagen se ven los efectos que se producen a gran escala (ver figura 32). Es por eso que se sugiere cambiar este tipo de luminarios ineficientes.

Actualmente los luminarios que se utilizan para iluminar las vialidades de Ciudad Universitaria, son del tipo llamado cabeza de cobra, éste es el que comúnmente se utiliza para alumbrado de vialidades por su buena distribución y características de construcción ideal, pero actualmente en el mercado existen luminarios mucho más eficientes que podrían ser sustituidos y con ello contribuir al ahorro de energía, sin descuidar el nivel de uniformidad y de iluminación.

Para el análisis de este proyecto se tomó en cuenta un luminario de la marca Holophane, serie **Durastar Serie 20**, cuenta con un control de luz tipo **bloqueado** de alta eficiencia, acabado tipo cromatizado al alto vacío, diseñado para minimizar el deslumbramiento, su cubierta es de cristal plano termo templado.

## 5.2 Características del luminario propuesto.

Fabricante: Holophane

Número de Catálogo: 20 15S R3 FG

Luminario: Durastar Serie 20 150W VSAP Curva de distribución tipo 3

Lámpara: Vapor de sodio alta presión 150 Watts

Tipo de Distribución: Cutoff (bloqueada) curva III

Número de Lámparas: 1

Lumen por la Lámpara: 16000

Factor del balasto: 1

Voltaje de entrada: 110V - 240V

Eficacia (el Total): 73.2%

Este luminario por sus características de construcción y por su diseño es mucho más eficiente, una eficacia alrededor de 77.0%, y en relación con un tipo cabeza de cobra cuya eficacia es de 62.3 %, comparado con un luminario tipo OV con distribución tipo **bloqueado**, nos garantiza que exista un control adecuado en la iluminación; es decir la distribución de la luz es completamente hacia las vialidades y no se pierde hacia arriba del poste, garantizando una excelente uniformidad de la distribución del flujo luminoso (iluminancia), cumpliendo con las normas NOM—064SCFI-2000;IP64

Por todas estas características proponemos cambiar un luminario cabeza de cobra de 250W de V.S.A.P. (Vapor de Sodio Alta Presión) por un tipo OV con distribución **Semi-Bloqueado** (cutoff) con curva de distribución **tipo III** de 150W V.S.A.P.

## 5.3 Tipo de Balastro

Otro de los aspectos que tomamos al considerar el nuevo sistema de alumbrado fue el de escoger un balastro más eficiente, ya que con el que contamos actualmente tiene muchas deficiencias, además de que no cumple con las normas mínimas de calidad que marca la normas mexicanas.

Es por eso que se optó por un balastro de **bajas pérdidas** de la marca holophane, este balastro nos permite tener una excelente regulación de voltaje, nos proporciona un **alto factor de potencia** que está alrededor de **0.96** y un parámetro importante es el **factor de balastro** también muy alto que es alrededor de **0.95**. Además con este balastro la **distorsión armónica** se reduce considerablemente estando este parámetro en un orden del **8%**.



#### **5.4 Características e la fotocelda**

Otro aspecto que también se tomo en cuenta es el control de encendido, éste actualmente se realiza por medio de un contactor y una fotocelda que controla todo un circuito. El sistema no es malo pero en caso de fallar la fotocelda o el contactor se ve afectado todas los luminarios que están controladas por ese circuito.

Es por eso que el sistema propuesto contempla que cada luminario tenga su propia fotocelda, para así poder tener un mejor control del encendido y apagado. El tipo de fotocelda que se propone es de tipo electrónica **DX120-11** de la marca Holophane, que se puede utilizar para circuitos de 105V a 305V, cuenta con un sensor de silicón de larga vida (5000 operaciones) y alta sensibilidad libre de variaciones. Esta fotocelda ofrece protección contra sobrecargas inducidas por la conexión y desconexión del circuito y descargas atmosféricas, además es una fotocelda fabricada en acrílico transparente con estabilizador y filtro de UV, lo cual prolonga la vida del fotosensor y de la unidad

Ya que hemos mencionado las características del nuevo sistema, ahora entraremos a la parte técnica. Haremos el mismo análisis que se realizó para el levantamiento de datos en el capítulo anterior, utilizando la misma hoja de cálculo y veremos las mejoras hechas al sistema.

### **5.5 Resultados finales del sistema propuesto para el alumbrado de vialidades**

Tabla V-1

TIPO DE LÁMPARA	VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN 150W	ILUMINACIÓN MÁXIMA	51 LUX	ILUMINACIÓN PROMEDIO	33.26LUX
TIPO DE LUMINARIO	HOLOPHANE DURASTAR SERIE 20 SEMI-CUTOFF	ILUMINACIÓN MÍNIMA	18.13 LUX	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.55LUX
NO. DE LUMENES	16000lm				

### **Resultados finales del sistema actual para el alumbrado de vialidades**

Tabla V-2

TIPO DE LÁMPARA	VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN 250W	ILUMINACIÓN MÁXIMA	60.83LUX	ILUMINACIÓN PROMEDIO	32.16LUX
TIPO DE LUMINARIO	CABEZA DE COBRA OV -F12.211	ILUMINACIÓN MÍNIMA	12.32 LUX	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.38LUX
NO. DE LUMENES	25000lm				

En la comparativa del sistema propuesto con el sistema actual, podemos observar que: la iluminación máxima y la iluminación promedio no varían mucho con el cambio del luminario, no así la iluminación mínima ya que siendo este valor más grande, el coeficiente de uniformidad es mayor y a dos centésimos el valor propuesto por la NOM-001-SEDE-1999.

## **5.6 Resultados finales del sistema propuesto para el alumbrado de estacionamientos**

Tabla V-3

TIPO DE LÁMPARA	VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN 150W	ILUMINACIÓN MÁXIMA	51.97 LUX	ILUMINACIÓN PROMEDIO	24.36 LUX
TIPO DE LUMINARIO	HOLOPHANE DURASTAR SERIE 20 SEMI-CUTOFF	ILUMINACIÓN MÍNIMA	3.23 LUX	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.13LUX
NO. DE LUMENES	16000lm				

## **Resultados finales del sistema actual para el alumbrado de estacionamientos**

Tabla V-4

TIPO DE LÁMPARA	VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN 250W	ILUMINACIÓN MÁXIMA	53.38 LUX	ILUMINACIÓN PROMEDIO	22.52LUX
TIPO DE LUMINARIO	CABEZA DE COBRA OV -F12.211	ILUMINACIÓN MÍNIMA	4.16 LUX	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.18LUX
NO. DE LUMENES	25000lm				

Para el caso de los estacionamientos la propuesta no afecta la calidad de la iluminación, de modo que cualquier cambio que favorezca al ahorro de energía sin alterar la calidad de iluminación siempre será benéfico.

En esta comparativa observamos que la iluminación promedio tanto para el alumbrado de estacionamientos como para el alumbrado de vialidades, es mejor en relación con el sistema actual.

En cuanto al coeficiente de uniformidad para el caso del sistema propuesto en las vialidades, el valor que obtuvimos es superior al que actualmente se tiene (ver pág. 79). Con esto garantizamos que no solo se baja la potencia de la lámpara (de 250w a 150w) y con ello la potencia consumida, también se logra una mejor distribución de la luz. (Iluminación en el plano de trabajo)

Solo en el caso del alumbrado de estacionamientos es en donde nuestros valores obtenidos son de menor orden (Iluminación del plano de trabajo, pág. 84), pero esto no afecta de manera importante a la distribución ni tampoco al nivel de iluminación. Aún con estos valores obtenidos estamos en el rango según la norma oficial mexicana NOM-001-SEDE-1999

**HOJA DE CALCULO DE ILUMINACION  
METODO DEL LUMEN PARA EXTERIORES**



Proyecto: Tesis-Ahorro de Energia Ele. Alumbrado Publico C.U.

Director: Ing. Augusto Sánchez Cifuentes

Calle: Odontología (Análisis de un tramo de Avenida)

Fecha: Feb-04

Responsable: Ing. Martín Frutis



Tipo de lámpara		Propuesta	Cálculos
Vapor de Sodio A.P. 150W		Sistema Propues.	$\text{No. Lum.} = \frac{(E) \cdot (\text{Esp. entre Lum.}) \cdot (\text{Ancho de calle})}{(Lm/lum) \cdot (C.U.) \cdot (F.M.)}$
Pot. (w)	150		
<b>Descripcion</b>			<b>Arreglo de luminario y calle para el cálculo</b> 
Mca:Holophane Lum. semi-cutoff Curva de Distribucion III, Armadura /balastro Refractor de cristal borosilicato Reflector de aluminio anodizado			
Nivel de Iluminación Norma I.E.S.N.A.	20 Luxes		
Lúmenes por Luminario	16000 Lum.		
Espacio entre Luminarios	26.0 mts		
Altura de Luminario	9.0 mts		
Ancho de Calle	9 mts		
Distancia brazo	1.5 mts		
Relación lado Calle	0.83		
Relación lado Acera	0.17		
Variación de Tensión	0.97		<b>Arreglo Unilaterial</b> Acot. En metros
Temp. Ambiente 20 oC	0.98		
Factor del Balastro	0.92		
Dep. suciedad acum. local	1		
Lámparas quemadas o fund	1		
Dep. lúmenes lámpara	0.9		
Dep. suciedad. acum. lum.	0.9		
Factor de Mantenimiento	0.71		
Coef. Util. lado calle	0.24		
Coef. Util. lado Acera	0.025		
Coeficiente Utilización	0.27		

## CURVAS ISOCANDELAS

### Cálculo de iluminación

Altura del Luminario	m	9.00	División Longitudinal	6	4.33
Lumenes/Luminario	Lm	16000	División Transversal calle	4	1.88
Distancia entre Postes	m	26.0	División Transversal Acera	2	0.75
Ancho de lado Calle	m	9	Factor altura Montaje	1	
Ancho lado Acera	m	1.5			
Ancho camellon	m	0	Luxes por cada	1000	Lúmenes
Ancho de Calle/bajo lum.	m	7.5			

Tabla V-5

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
1	0	0	0.00	2.60	29.47	2.15		31.62
Distancia (m)	1	4.33	0.48	2.00	22.67	3.29		25.96
	2	8.67	0.96	1.40	15.87	6.23		22.10
1.5	3	13.00	1.44	0.80	9.07	9.07		18.13
	4	17.33	1.93	0.55	6.23	15.87		22.10
Ubicación pie del poste	5	21.67	2.41	0.29	3.29	22.67		25.96
	6	26	2.89	0.19	2.15	29.47		31.62
Ancho/altura	0	0	0.00	0.00	0.00			
0.17	0	0	0.00	0.00	0.00			

Promedio **25.36**

Tabla V-6

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
2	0	0	0.00	3.20	36.27	2.15		38.42
Distancia (m)	1	4.33	0.48	2.20	24.94	3.29		28.22
	2	8.67	0.96	1.50	17.00	6.23		23.24
0.75	3	13.00	1.44	0.88	9.92	9.92		19.83
	4	17.33	1.93	0.55	6.23	17.00		23.24
Ubicación 1/2 brazo	5	21.67	2.41	0.29	3.29	24.94		28.22
	6	26.00	2.89	0.190	2.15	36.27		38.42
Ancho/altura	0	0	0.00	0.00	0.00			
0.08	0	0	0.00	0.00	0.00			

Promedio **28.51**

Tabla V-7

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum. 1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
3	0	0.00	0.00	3.35	37.97	2.27		40.24
	1	4.33	0.48	2.50	28.34	3.51		31.85
	2	8.67	0.96	1.55	17.57	6.80		24.37
Distancia (m)	3	13.00	1.44	0.90	10.20	10.20		20.40
	4	17.33	1.93	0.60	6.80	17.57		24.37
	5	21.67	2.41	0.31	3.51	28.34		31.85
Ubicación abajo de luminario	6	26.00	2.89	0.20	2.27	37.97		40.24
	0	0.00	0.00	0.00	0.00			
Ancho/altura	0	0.00	0.00	0.00	0.00			

Promedio **30.47**

Tabla V-8

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum. 1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
4	0	0.00	0.00	3.80	43.07	2.61		45.68
	1	4.33	0.48	3.10	35.14	3.97		39.10
	2	8.67	0.96	1.90	21.53	7.93		29.47
1.875	3	13.00	1.44	1.00	11.33	11.33		22.67
	4	17.33	1.93	0.70	7.93	21.53		29.47
	5	21.67	2.41	0.35	3.97	35.14		39.10
Ubicación calle	6	26.00	2.89	0.23	2.61	43.07		45.68
	0	0.00	0.00		0.00			
Ancho/altura	0	0.00	0.00		0.00			

Promedio **35.88**

Tabla V-9

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum. 1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
5	0	0.00	0.00	4.20	47.60	3.40		51.00
	1	4.33	0.48	3.50	39.67	4.76		44.43
	2	8.67	0.96	1.95	22.10	9.63		31.74
3.75	3	13.00	1.44	1.20	13.60	13.60		27.20
	4	17.33	1.93	0.85	9.63	22.10		31.74
	5	21.67	2.41	0.42	4.76	39.67		44.43
Ubicación Calle	6	26.00	2.89	0.30	3.40	47.60		51.00
	0	0.00	0.00		0.00			
Ancho/altura	0	0.00	0.00		0.00			

Promedio **40.22**

Tabla V-10

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
6	0	0.00	0.00	3.80	43.07	3.85		46.92
Distancia (m)	1	4.33	0.48	3.50	39.67	5.55		45.22
	2	8.67	0.96	1.95	22.10	8.50		30.60
5.625	3	13.00	1.44	1.20	13.60	13.60		27.20
	4	17.33	1.93	0.75	8.50	22.10		30.60
Ubicación calle	5	21.67	2.41	0.49	5.55	39.67		45.22
	6	26.00	2.89	0.34	3.85	43.07		46.92
Ancho/altura	0	0.00	0.00		0.00			
	0.63	0	0.00	0.00	0.00			

Promedio **38.96**

Tabla V-11

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Total Luxes
7	0	0.00	0.00	3.00	34.00	4.31		38.31
Distancia (m)	1	4.33	0.48	2.99	33.89	6.23		40.12
	2	8.67	0.96	1.65	18.70	8.50		27.20
7.5	3	13.00	1.44	1.00	11.33	11.33		22.67
	4	17.33	1.93	0.75	8.50	18.70		27.20
Ubicación calle	5	21.67	2.41	0.55	6.23	33.89		40.12
	6	26.00	2.89	0.38	4.31	34.00		38.31
Ancho/altura	0	0.00	0.00		0.00			
	0.83	0	0.00	0.00	0.00			

Promedio **33.42**



## ILUMINACION EN EL PLANO DE TRABAJO

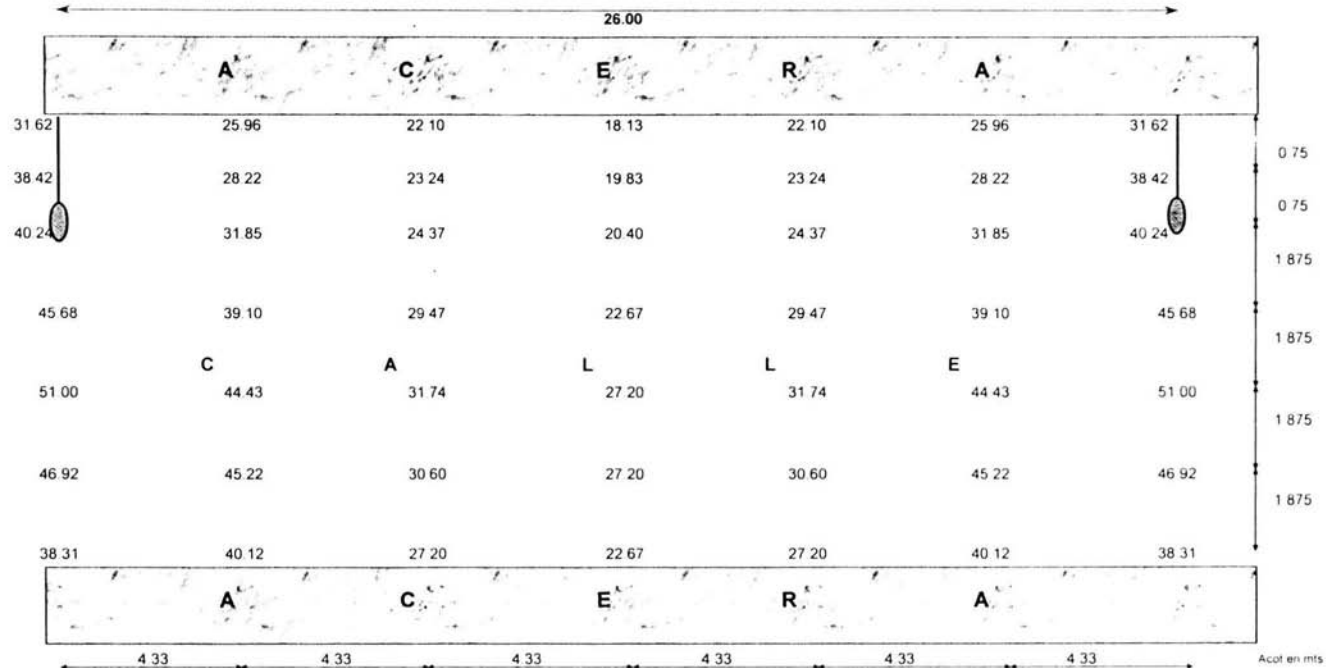


Empresa: Tesis-Ahorro de Energia Ele. Alumbrado Publico C.U.  
 Dirección: Ing. Augusto Sánchez Cifuentes



Calle: Odontología (Análisis de un tramo de Avenida)

Datos finales				Descripción			Propuesta	Sistema Propues.
Ilum Máx.	51.00	Lx	Ilum Prom.	33.26	Tipo de Lámp.	Vapor de Sodio A.P. 150W		Responsable:
Ilum Min.	18.13	Lx	Coef. Unif.	0.55	Luminario	Mca Holophane	Lum. semi-cutoff	0
				Lúmenes	16000	Lm		Fecha: Feb-04



ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

**HOJA DE CALCULO DE ILUMINACION  
METODO DEL LUMEN PARA EXTERIORES**



Proyecto: Tesis- Ahorro de Energia en Alumbrado Publico C.U.  
 Director: Ing. Augusto Sanchez Cifuentes  
 Contenido: Propuesta de Luminario  
 Calle: Medicina (Análisis de un tramo de Estacionamiento)



Fecha: Feb-04

Responsable: Ing. Martin Frutis

Tipo de lámpara		Propuesta	Cálculos	
Vapor de Sodio A.P. 150W		Sistema Propues.	No. Lum. = $(E) \cdot (\text{Esp. entre Lum.}) \cdot (\text{Ancho de calle})$	
Pot. (w)	150		$(\text{Lm/lum}) \cdot (\text{C.U.}) \cdot (\text{F.M.})$	
<b>Descripcion</b> Mca: HOLAPHANE Lum. SEMI-CUTOFF Curva de Distribucion III, Armadura /balastro			No. Lum. = 2.91 3	
<b>Nivel de Iluminación</b> Norma I.E.S.N.A.			<b>Arreglo de luminario y calle para el cálculo</b> 	
20 Luxes				
Lúmenes por Luminario 16000 Lum. Espacio entre Luminarios 30.5 mts Altura de Luminario 9.0 mts Ancho de Calle 24.5 mts Distancia brazo 1.2 mts Relación lado Calle 2.59 Relación lado Acera 0.13			Arreglo Unilateral 24.5 21 Acot en mts	
Variación de Tensión 0.97 Temp. Ambiente 20 oC 0.98 Factor del Balastro 0.92 Dep. suciedad acum. local 1 Lámparas quemadas o fund 1 Dep. lúmenes lámpara 0.9 Dep. suciedad. acum. lum. 0.95				
Factor de Mantenimiento 0.75 Coef. Util. lado calle 0.40 Coef. Util. lado Acera 0.03 Coeficiente Utilización 0.43				

### CURVAS ISOCANDELAS

#### Cálculo de iluminación

Altura del Luminario	m	9.00	División Longitudinal	6	5.08
Lumenes/Luminario	Lm	16000	División Transversal calle	4	5.83
Distancia entre Postes	m	30.5	División Transversal Acera	2	0.6
Ancho de lado Calle	m	24.5	Factor altura Montaje	1	
Ancho lado Acera	m	1.2			
Ancho camellon	m	2	Luxes por cada	1000	Lúmenes
Ancho de Calle/bajo lum.	m	23.3			

Tabla V-12

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	lum. 4 Luxes	Total Luxes
1	0	0	0.00	3.00	35.89	1.32	10.00	1.00	48.21
	1	5.08	0.56	2.00	23.93	2.39	5.00	1.20	32.52
Distancia (m)	2	10.17	1.13	1.25	14.95	4.79	2.80	1.60	24.14
	3	15.25	1.69	0.71	8.49	8.49	1.93	1.93	20.85
Ubicación	4	20.33	2.26	0.40	4.79	14.95	1.60	2.80	24.14
	5	25.42	2.82	0.20	2.39	23.93	1.20	5.00	32.52
pie del poste	6	30.5	3.39	0.11	1.32	35.89	1.00	10.00	48.21
	0	0	0.00	0.00	0.00				
Ancho/altura	0.13	0	0.00	0.00	0.00				
Promedio									<b>32.94</b>

Tabla V-13

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes
2	0	0	0.00	3.30	39.48	1.44	6.67	0.93	48.52
	1	5.08	0.56	2.25	26.92	2.39	4.00	1.13	34.44
Distancia (m)	2	10.17	1.13	1.30	15.55	4.79	2.73	1.40	24.27
	3	15.25	1.69	0.75	8.97	8.97	1.83	1.83	21.61
Ubicación	4	20.33	2.26	0.40	4.79	15.55	1.40	2.53	24.27
	5	25.42	2.82	0.20	2.39	26.92	1.13	4.00	34.44
1/2 brazo	6	30.50	3.39	0.120	1.44	39.48	0.93	6.67	48.52
	0	0	0.00	0.00	0.00				
Ancho/altura	0.07	0	0.00	0.00	0.00				
Promedio									<b>33.72</b>

Tabla V-14

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes	
3	0	0.00	0.00	3.40	40.68	1.56	6.00	0.80	49.03	
	Distancia (m)	1	5.08	0.56	2.50	29.91	3.35	3.33	1.06	37.65
		2	10.17	1.13	1.35	16.15	4.91	2.13	1.40	24.59
0	3	15.25	1.69	0.75	8.97	8.97	1.83	1.83	21.61	
	Ubicación abajo de luminario	4	20.33	2.26	0.41	4.91	16.15	1.40	2.13	24.59
		5	25.42	2.82	0.28	3.35	29.91	1.06	3.33	37.65
Ancho/altura	6	30.50	3.39	0.13	1.56	40.68	0.80	6.00	49.03	
	0.00	0	0.00	0.00	0.00					
	0	0.00	0.00	0.00	0.00					

Promedio

34.88

Tabla V-15

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes	
4	0	0.00	0.00	3.90	46.66	2.75	2.06	0.50	51.97	
	Distancia (m)	1	5.08	0.56	3.60	43.07	3.83	1.73	0.73	49.36
		2	10.17	1.13	1.65	19.74	6.58	1.40	1.00	28.72
5.825	3	15.25	1.69	0.90	10.77	10.77	1.20	1.20	23.93	
	Ubicación calle	4	20.33	2.26	0.55	6.58	19.74	1.00	1.40	28.72
		5	25.42	2.82	0.32	3.83	43.07	0.73	1.73	49.36
Ancho/altura	6	30.50	3.39	0.23	2.75	46.66	0.50	2.06	51.97	
	0.65	0	0.00	0.00	0.00					
	0	0.00	0.00	0.00	0.00					

Promedio

40.58

Tabla V-16

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes	
5	0	0.00	0.00	1.50	17.95	3.47			21.42	
	Distancia (m)	1	5.08	0.56	1.40	16.75	4.79			21.53
		2	10.17	1.13	0.70	8.37	5.98			14.36
11.65	3	15.25	1.69	0.50	5.98	5.98			11.96	
	Ubicación Calle	4	20.33	2.26	0.50	5.98	8.37			14.36
		5	25.42	2.82	0.40	4.79	16.75			21.53
Ancho/altura	6	30.50	3.39	0.29	3.47	17.95			21.42	
	1.29	0	0.00	0.00	0.00					
	0	0.00	0.00	0.00	0.00					

Promedio

18.08

Tabla V-17

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes
6	0	0.00	0.00	0.40	4.79	2.15			6.94
	Distancia (m)	1	5.08	0.56	0.38	4.55	2.87		7.42
		2	10.17	1.13	0.26	3.11	3.59		6.70
17.475	Ubicación	3	15.25	1.69	0.28	3.35	3.35		6.70
		4	20.33	2.26	0.30	3.59	3.11		6.70
	calle	5	25.42	2.82	0.24	2.87	4.55		7.42
Ancho/altura	1.94	6	30.50	3.39	0.18	2.15	4.79		6.94
		0	0.00	0.00		0.00			
	0	0.00	0.00		0.00				

Promedio

6.97

Tabla V-18

Posición Transver.	Posición Longitud	Distancia (m)	Rel. Long/Alt	Valor de Tablas	Lum.1 Luxes	Lum. 2 Luxes	Lum. 3 Luxes	Lum. 4 Luxes	Total Luxes
7	0	0.00	0.00	0.21	2.51	0.90			3.41
	Distancia (m)	1	5.08	0.56	0.19	2.27	1.02		3.29
		2	10.17	1.13	0.17	2.03	1.20		3.23
23.3	Ubicación	3	15.25	1.69	0.14	1.67	1.67		3.35
		4	20.33	2.26	0.10	1.20	2.03		3.23
	calle	5	25.42	2.82	0.09	1.02	2.27		3.29
Ancho/altura	2.59	6	30.50	3.39	0.08	0.90	2.51		3.41
		0	0.00	0.00		0.00			
	0	0.00	0.00		0.00				

Promedio

3.32

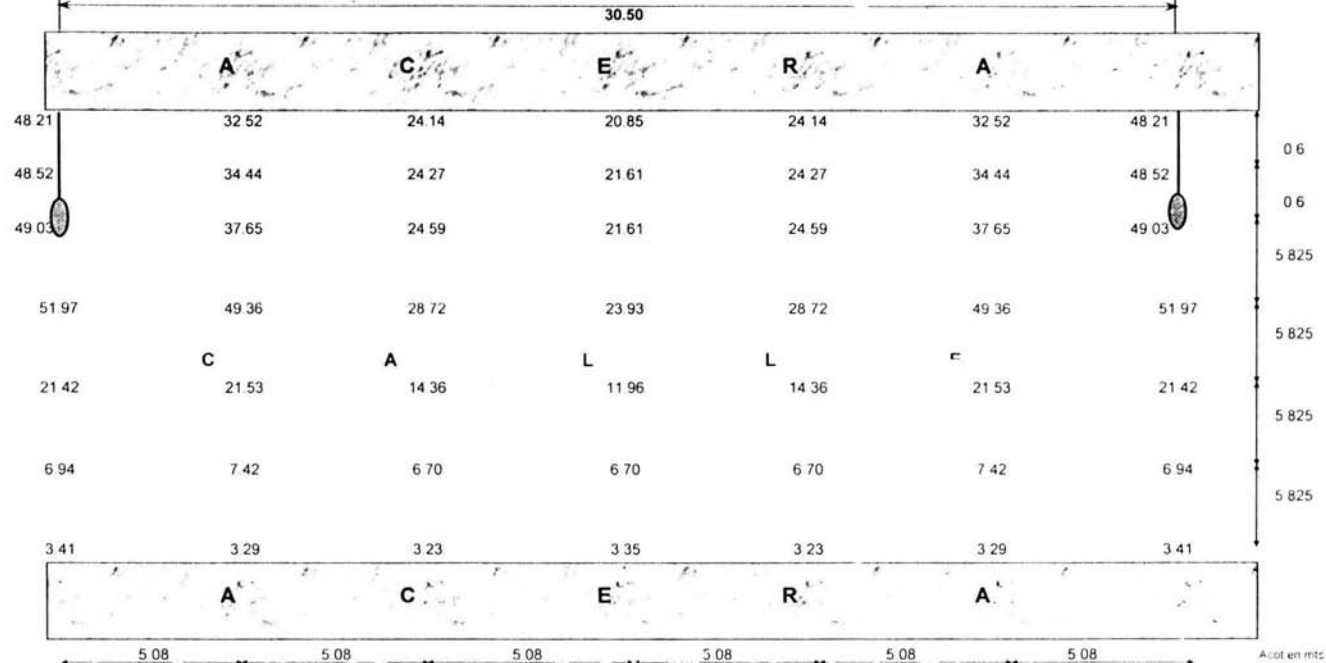
## ILUMINACION EN EL PLANO DE TRABAJO



Empresa: Tesis- Ahorro de Energia en Alumbrado Publico C.U.  
 Director: Ing. Augusto Sanchez Cifuentes  
 Ubicación: Propuesta de Luminario  
 Calle: Medicina (Análisis de un tramo de Estacionamiento)



Datos finales				Descripción				Propuesta	Sistema Propues.
Ilum Máx.	51.97	Lx	Ilum Prom.	24.36	Tipo de Lámp.	Vapor de Sodio A.P. 150W			Responsable: Ing. Martin Frutis  Fecha: Feb-04
Ilum Min	3.23	Lx	Coef. Unif.	0.13	Luminario	Mca holophane Lum semicutoff			
					Lúmenes	16000 Lm			



81

**CAPITULO VI**  
**RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES**

En este capítulo presentamos los beneficios que se tienen con las propuestas realizadas. En primera instancia se presenta el ahorro de energía y con esto la disminución de la demanda total y los consumos ocasionados por las vías y los estacionamientos en Ciudad Universitaria.

Se realizara el cálculo por factura de los consumos actuales y los consumos con la propuesta realizada.

Se calcula el costo por inversión inicial por la compra de luminarios con lámpara, balastro y fotocelda, de modo que podamos saber en cuanto tiempo se amortizará la inversión inicial, con la disminución de los consumos.

## **6.1 Carga Instalada**

Considerando la carga conectada para iluminar las vías, los circuitos principales y los estacionamientos de Ciudad Universitaria tenemos la siguiente demanda, con los cambios de luminario propuestos.

Es preciso mencionar que no se toma en cuenta el consumo del balastro y solo se cuantifica los Watts de la lámpara dados por el fabricante. En donde existen lámparas de vapor de mercurio son remplazadas por vapor de sodio alta presión.

Casco Viejo y Zonas de Institutos

Tabla VI-1

Tipo Lámpara	Cantidad	Watts
VS 15 W	89	13,350
VS 15 W	870	130,500
VS 175 W	2	350
<b>SUB-TOTALES</b>	<b>959</b>	<b>144,200</b>

Los subtotaes es la parte que representa la zona cuantificada

Zona Cultural

En esta propuesta, las lámparas de vapor de sodio alta presión de 400 Watts son remplazadas por VSAP 250 Watts.

Tabla VI-2

Tipo Lámpara	Cantidad	Watts
VS 15 W	9	1350
VS 25 W	46	11,500
VS 15 W	221	33,150
VS 175 W	26	4550
<b>SUB-TOTALES</b>	<b>302</b>	<b>50,550</b>

**TOTALES**

**1261 Lámparas**

**194,750 Watts**



El ahorro de energía eléctrica lo podemos observar al restar los valores totales de la carga instalada para las vías y los estacionamientos del sistema actual de alumbrado público con el sistema propuesto respectivamente.

$$316.00 \text{ Kw.} - 194.75 \text{ Kw.} = 121.25 \text{ Kw.}$$

### 6.2 Cálculo de la facturación actual considerando el alumbrado de estacionamientos y vías principales.

Tomando en cuenta que en Ciudad Universitaria la tarifa eléctrica es H-M y considerando los puntos 2, 5 y 6 de ésta tarifa eléctrica tenemos:

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00

Elegimos un día de la semana para el periodo que rige el horario de invierno, de modo que podamos tener valores críticos de consumo.

De la demanda facturable tenemos los siguientes valores, los cuales conocemos de la grafica de demanda tota (Capitulo V):

$$DF = DP + FRI \times \max(DI - DP, 0) + FRB \times \max(DB - DPI, 0)$$

$$DP = 316.0 \text{ Kw}$$

$$FRI = 0.3$$

$$DI = 316.0 \text{ Kw}$$

$$DB = 148.2 \text{ kW}$$

$$FRB = 0.15$$

$$DPI = 316.0 \text{ Kw}$$

$$DF = 316 + 0.3 \times (316 - 316) + 0.15 \times (148.2 - 316)$$

$$DF = 316.0 \text{ Kw.}$$

Con lo anterior tenemos la siguiente tabla de resultados equivalentes a un día de consumo en horario de invierno. (En el mes de noviembre 200?)

Tabla VI-3

Cargo por Kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt-hora de energía de punta	Cargo por kilowatt-hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt-hora de energía de base	Totales
\$ 24,458	\$ 1,849.0	\$ 415.0	\$ 741.0	\$ 27 463.0

Nota: no se considera el consumo que tiene el balastro en cada luminario, es decir, los consumos son solo por las lámparas conectadas

El ahorro de energía eléctrica es de un tercio de la demanda actual, es decir, que con la propuesta realizada se esta ahorrando un tercio del cobro actual por consumos de un día.

Los costos por los consumos totales de energía eléctrica para la **propuesta** son:

Tabla VI-4

Cargo por Kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt-hora de energía de punta	Cargo por kilowatt-hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt-hora de energía de base	<b>Totales</b>
\$ 16,018	\$ 1,211.0	\$ 272.0	\$ 486.0	<b>\$ 17,987.0</b>

**El ahorro en la facturación es de \$ 9,476.00 MN.**

### **6.3 Opciones de ahorro por inversión inicial**

Inversión inicial por cada ura de los luminarios tipo semi-cutoff, con lámpara de 150 W, balastro incluido y fotocelda por cada luminaria es de \$ 1,300 MN.

Si hacemos la cuenta de las 1235 luminarias, ya que las instaladas de 175W y las que se encuentran en los súper postes no se consideran. El costo inicial por equipo es:

**\$ 1, 605,500.00 MN.**

Es cierto que millón y medio de pesos es una inversión inicial muy fuerte, pero si consideramos que se ahorra 9,476 pesos al día, la inversión inicial por equipo estará recuperada en 170 días (cinco meses y veinte días), ya que el Alumbrado Publico opera todos los días.

No queremos terminar el estudio sin tomar en cuenta las normas oficiales mexicanas, ya que en años anteriores han puesto gran empeño en el uso y eficiencia de los energéticos y en especial de la energía eléctrica:

La Secretaria de Energía a través de la NORMA Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2003, Eficacia energética en sistemas de alumbrado para vialidades y exteriores de edificios. A considerado:

1.- Que el programa de la Secretaria de Energía para 2003 considera el ahorro y uso eficiente de la energía como una de las prioridades de la política sectorial.

2.- Que la Ley Federal de Metrología y Normalización señala como una de las finalidades de las normas oficiales mexicanas el establecimiento de criterios y/o especificaciones que promuevan el mejoramiento del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales.

Se recomienda que la inversión inicial se por etapas, es decir, que se pueda hacer un estudio, para saber en que zona es urgente un cambio de luminarias, y a partir de este cambio notar los beneficios de un buena iluminación y un ahorro económico favorable.

#### **6.4 Control de los luminarios actuales para el ahorro de energía**

En este apartado es importante mencionar que el sistema de Alumbrado Publico opera todos los días del año y que permanece operando en horas donde ya no es necesario iluminar o en algunos casos dejar de hacerlo con toca la carga conectada.

Para el caso de los estacionamientos no existe ninguna restricción que impida interrumpir el servicio de alumbrado, en horas de la madrugada. En el caso de las vías principales dentro de Ciudad Universitaria la circulación disminuye después de las 22:00 horas y después de las 24:00 horas es prácticamente escasa.

Por cuestiones de seguridad no se puede apagar todo el sistema de alumbrado público para las vías principales, pero si poder hacerlo por partes, es decir, en un tramo de vía apagar un poste y otro dejarlo en servicio.

Otra consideración para un ahorro de energía es controlar los luminarios de modo que se puedan apagar después de las 24:00 horas y reencender a las 6:00 horas.

De la información proporcionada por los *Proyectos de Ahorro de Energía- Facultad de Ingeniería- UNAM*, un circuito controla ocho luminarios (ver anexo 3) en vías principales, del levantamiento se tienen los siguientes datos:

Voltaje de alimentación	220 Volts
Calibre de alimentadores	2 hilos del 8 AWG
Tierra física	1 hilo desnudo del 10 AWG

La propuesta es apagar tres luminarios por cada ocho en cada circuito que ilumine las vías principales de modo que solo queden sin iluminación 78 metros de vía. En el caso de los estacionamientos podemos apagar todo el circuito.

Nota. En el sistema de alumbrado público en C.U. hay circuitos que controlan hasta 32 lámparas. Anexo 3

El equipo que se utiliza para el control es Timer, marca Tork, para 220 Volts y una carga de 2000 Watts. Se programa para que apague tres luminarios a las 24:00 horas y los encienda a las 6:00 horas. (Para el caso de las vías primarias). Para el caso de los estacionamientos podemos apagar todos los luminarios de los circuitos que componen su alimentación.

#### **6.4.1 Recuento de la carga desconectada en el período mencionado**

Si apagamos la carga que demanda los estacionamientos tenemos los siguientes datos:

Tabla VI-5

Tipo de lámpara	Número de lámparas	Potencia [W]
VS 40 W	46	18,400
VS 25 W	211	52,750
VS 175 W	56	9800
VM 25 W	40	10,000
<b>SUBTOTALES</b>	<b>353</b>	<b>90,950</b>

Para el caso de las vías principales se considera un tramo de vía con una longitud de 208. En éste tramo se introducimos ocho postes con un luminario cada uno de. Si se apagan tres luminarios de cada tramo, tendremos los siguientes datos:

Tabla VI-6

Tipo de lámpara	Número de lámparas APAGADAS	Potencia [W]
VS 25 W	287	71750
VM 25 W	17	4250
VS 175	16	2800
<b>SUBTOTALES</b>	<b>320</b>	<b>78,800</b>

**TOTALES                      673 Lámparas apagadas                      167,750 Watts**

Si hacemos la diferencia de la demanda de todos los luminarios encendidos con el valor de la carga que se desconecta tendremos los consumos en ese lapso de tiempo:

$$316,000 \text{ KW.} - 167,750 \text{ KW.} = 148,250 \text{ KW.}$$

### 6.4.2 Facturación por carga desconectada

El resultado anterior (148,250 KW) será la demanda por el periodo en que permanecen apagadas las lámparas.

Si consideramos que en la tarifa eléctrica:  
**DB** es la demanda máxima en el periodo de base

$$DF = DP + FRI \times \max(DI - DP, 0) + FRB \times \max(DB - DPI, 0)$$

$$\begin{aligned} DP &= 316.0 \text{ KW} \\ FRI &= 0.3 \\ DI &= 316.0 \text{ KW} \\ DB &= 148.25 \\ FRB &= 0.15 \\ DPI &= 316.0 \text{ KW} \end{aligned}$$

$$DF = 316 + 0.3 \times (316 - 316) + 0.15 \times (240.0 - 316)$$

$$DF = 316.0 \text{ KW.}$$

Con lo anterior tenemos la siguiente tabla de resultados equivalentes a un día de consumo en horario de invierno. (En el mes de noviembre 2003)

Tabla VI-7

Cargo por Kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt-hora de energía de punta	Cargo por kilowatt-hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt-hora de energía de base	Totales
\$ 24,458	\$ 1,849.0	\$ 415.0	\$ 352.0	\$ 27 074.0

Observando los cargos por Kilowatt de la demanda facturable y los cargos por energía de punta, son los cargos mayores en la facturación total.

Si hacemos la diferencia del costo total de la tabla VI-3 y el costo total de la tabla VI-7, el ahorro económico al apagar los luminarios en el intervalo de 24:00 horas a 6:00 horas es:

**\$389.00 MN.**

El ahorro en los consumos de energía eléctrica es:

**167.75 KW.**

Aunque los ahorros son muy altos (más de la mitad de la demanda facturable), esto no afecta a los pagos por facturación. En este caso podemos decir que se gana en energía eléctrica, ya que se dejarían de generar los 167.75 KW.

### **6.4.3 Inversión inicial por compra de equipo de control**

Considerando que existen 129 circuitos en Ciudad Universitaria y que cada circuito controla entre 30 y 32 luminarios, entonces es necesario tres Timer por cada circuito.

Precios de lista para el mes de Abril de 2004.

Descripción	Precio
Equipo (Timer)	\$426.00 M.N
Caja de cable de cobre, marca IUSA, tipo THW, Calibre 3 AWG	\$409.50 M.N
Caja de cable desnudo, marca IUSA, Calibre 10 AWG	\$379.2 M.N

Si consideramos que por cada circuito son necesarios tres controladores, dos cajas de cable de cobre y una caja de cobre desnudo, el costo por circuito es:

$$\$426.0 + 2 \times \$409.5 + 379.2 = \mathbf{\$1624.20 \text{ M.N.}}$$

Si son 129 circuitos tenemos: **\$209,521.80 M.N.**

Que será el gasto inicial por concepto de equipo.

El ahorro por día en esta propuesta es de \$389.00 M.N, de modo que la inversión inicial se recuperara en:

**539 Dias. (18 meses)**

### **6.5 Recomendaciones**

#### **Mantenimiento**

Uno de los aspectos fundamentales que se tienen que considerar en cualquier proyecto iluminación, es el mantenimiento, con un mantenimiento adecuado al sistema de iluminación (luminario, lámpara, balastro, fotocelda y poste) aseguramos que el nivel de iluminación se mantendrá muy cercano al valor inicial.

A continuación enumeramos los principales problemas que se presentan y que pueden afectar al sistema de iluminación, así como algunas recomendaciones.

Temperatura ambiente del luminario.- Cuando se queda encendido durante el día (talvez por falla de la fotocelda) esto puede elevar la temperatura dentro del luminario y pueden dañarse los aislamientos, además se incrementa el costo por el exceso de horas de servicio. Para evitar que se presente este factor se sugiere detectar la falla, esta se puede presentar ya sea en la fotocelda o en el contactor.

Voltaje de alimentación al luminario. El sobrevoltaje como un bajo voltaje, pueden hacer que los aislamientos se dañen rápidamente y con esto provocar que las lámparas no enciendan o que se mantengan prendiendo y apagando constantemente, estas variaciones de voltaje también ocasionan que la vida útil de la lámpara disminuya considerablemente.

Depreciación del luminario. Este parámetro varía según la constitución y materiales utilizados para su fabricación del luminario. Aunque es inevitable que un luminario dure toda la vida, con una limpieza periódica al luminario puede retrasarse su degradación.

Uno de los errores cometidos muy frecuentemente al instalar los luminarios, es el de no ubicar al luminario en forma perpendicular en relación con la vía, es por eso que se presenta en algunas ocasiones el efecto de contaminación lumínica ya antes mencionado, ya que al instalar mal el luminario este no proyecta la luz hacia las vías o zonas de acceso.

Otro de los factores que también afecta a nuestro sistema de iluminación es el follaje de los árboles que obstruyen la buena distribución de luz, es por eso que se recomienda, podar las ramas que obstruyen con el luminario y llevar un programa periódico de poda de árboles.

Con una mayor atención al mantenimiento y por la instalación de equipo moderno se pueden reducir también los costos de operación del los luminarios

## **6.6 Conclusiones**

En el desarrollo de la tesis encontramos que el sistema actual de Alumbrado Público en Ciudad Universitaria tiene tiempos de operación de aproximadamente 45 años, para el Casco Viejo y un promedio entre 20 y 25 años para la Zona de Institutos y la Zona Cultural.

Con el tiempo que tiene operando el sistema de alumbrado público se podría pensar que el equipo no opera de manera satisfactoria a diferencia de sistemas nuevos de iluminación. El caso de Ciudad Universitaria el equipo que se encuentra operando lo hace de forma eficaz, ya que de los análisis realizados para las Vías y Estacionamientos, se concluye que las condiciones tanto físicas como de luminotecnia, se encuentran entre las relaciones que estipulan las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-001-SEDE-1999 y NOM-013-ENER-2003). El Factor de Utilización como el Coeficiente de Uniformidad, se encuentran entre los límites que mencionan las normas.

Para comprobar las características de funcionamiento de variables de iluminación se realizó una hoja de cálculo donde se diseñan las curvas isocandelas, las cuales nos muestran la variación de iluminancia para distancias diferentes con respecto a los luminarios en estudio. Como se realizó el análisis para el sistema actual y el sistema propuesto se pudo inferir que tipo de lámpara y luminario utilizar en la propuesta.

Los funcionamientos de los sistemas actuales y propuestos, tiene variaciones significativas, ya que no es igual la operación de un equipo en servicio durante muchos años en comparación de un equipo nuevo y con diferente tecnología.

Para justificar la propuesta, se tomó en cuenta la carga instalada total que representa el número de lámparas en el Campus Universitario. La reducción de la carga con la lámpara propuesta hace que la demanda facturable disminuya de modo que considerando la tarifa vigente (H-M), los gastos por facturación también disminuyan. Además de que se tiene una iluminación eficiente, se está considerando un ahorro de energía.

Para la propuesta del control de luminarios, se ha disminuido el consumo de energía eléctrica en la mitad de la carga instalada actual, es decir, se dejan de generar 167.75 kW de energía eléctrica al día.

Por lo anterior, en el Alumbrado Público es donde se puede iniciar una cultura, mejoramiento y ahorro de energía eléctrica. Ya que las inversiones iniciales se recuperan en 5 meses y 20 días para el caso de cambio de luminario y para el caso del control de luminario, la recuperación de la inversión es en 18 meses.



Los cambios propuestos son de gran importancia ya que:

- Se puedan cumplir con los artículos de las normas vigentes para el estudio y diseño de los sistemas de alumbrado Público
- Fomentar una cultura del ahorro y cuidado de los recursos naturales y en el caso de nuestro país de los energéticos. Ya que la UNAM siempre ha sido pionera en diseño y fomentar medidas en estos rubros.

## ANEXO 1

### Simbología

Arreglo	Simbolo
Poste con un brazo horizontal	
Poste con dos brazos horizontales	
Poste con una punta	
Poste con dos puntas	
<b>Super poste cuatro puntas</b>	

### Codigo NEMA

Potencia [W]	Codigo
70	07
100	10
150	15
250	25
400	40
1000	100

Nota: para la potencia de 175 Watts, no se encontro simbolo.

Tipo de Lámpara	Codigo
Vapor de mercurio	VM
Vapor de sodio alta presión	VS
Aditivos metalicos	AM

## ANEXO 2

### Tarifa H-M

La tarifa establecida en las tres subestaciones de Ciudad Universitaria, tomando en cuenta la demanda en KW es de tipo H-M. Con las siguientes características:

Tarifa horario para servicio general en media tensión, con demanda de 100 KW o más.

#### 1.- Aplicación.

Esta tarifa se aplicara a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts o más.

#### 2.- Cuotas aplicables en el mes de noviembre de 2002.

Se aplicaran los siguientes cargos por la demanda facturable, por la energía de punta, por la energía intermedia y por la energía de base. Tomando en cuenta la región Central.

Región	Cargo por Kilowatt de demanda facturable	Cargo por kilowatt-hora de energía de punta	Cargo por kilowatt-hora de energía intermedia	Cargo por kilowatt-hora de energía de base
Central	\$ 78.24	\$ 1.4782	\$ 0.4729	\$ 0.3951

#### 3.- Mínimo mensual

El importe que resulta de aplicar el cargo por kilowatt de demanda facturable al 10% de la demanda contratada.

#### 4.- Horario

Para los efectos de aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficiales establecidos. Por días festivos se entenderán aquellos de descanso obligatorio, establecidos en el artículo 74 de la Ley Federal del Trabajo, a excepción de la fracción IX así como los que se establezcan por Acuerdo Presidencial.

#### 5.- Periodo de punta, intermedio y base

Estos periodos se definen en cada una de las regiones tarifarias para distintas temporadas del año, como se describe a continuación.

**Región Central, noreste, Norte y Sur**

**Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre.**

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
Sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	
Domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

**Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril**

Día de la semana	Base	intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
Domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

#### **6.- Demanda facturable.**

La demanda facturable se define como se establece a continuación:

$$DF = DP + FRI \times \max(DI - DP, 0) + FRB \times \max(DB - DPI, 0),$$

Donde:

**DP** es la demanda máxima medida en el periodo de punta

**DI** es la demanda máxima medida en el periodo intermedio

**DB** es la demanda máxima medida en el periodo de base

**DPI** es la demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio

**FRI** y **FRB** son los factores de reducción que tendrán los siguientes valores, dependiendo de la región tarifaria:

Región	FRI	FRB
Central	0.300	0.150
Noreste	0.300	0.150
Noroeste	0.162	0.081

En las fórmulas que definen las demandas facturables, el símbolo "max" significa máximo, es decir, que cuando la diferencia de demandas entre paréntesis sea negativa, ésta tomará el valor de cero.

Cualquier fracción de kilowatt de demanda facturable se tomará como kilowatt completo.

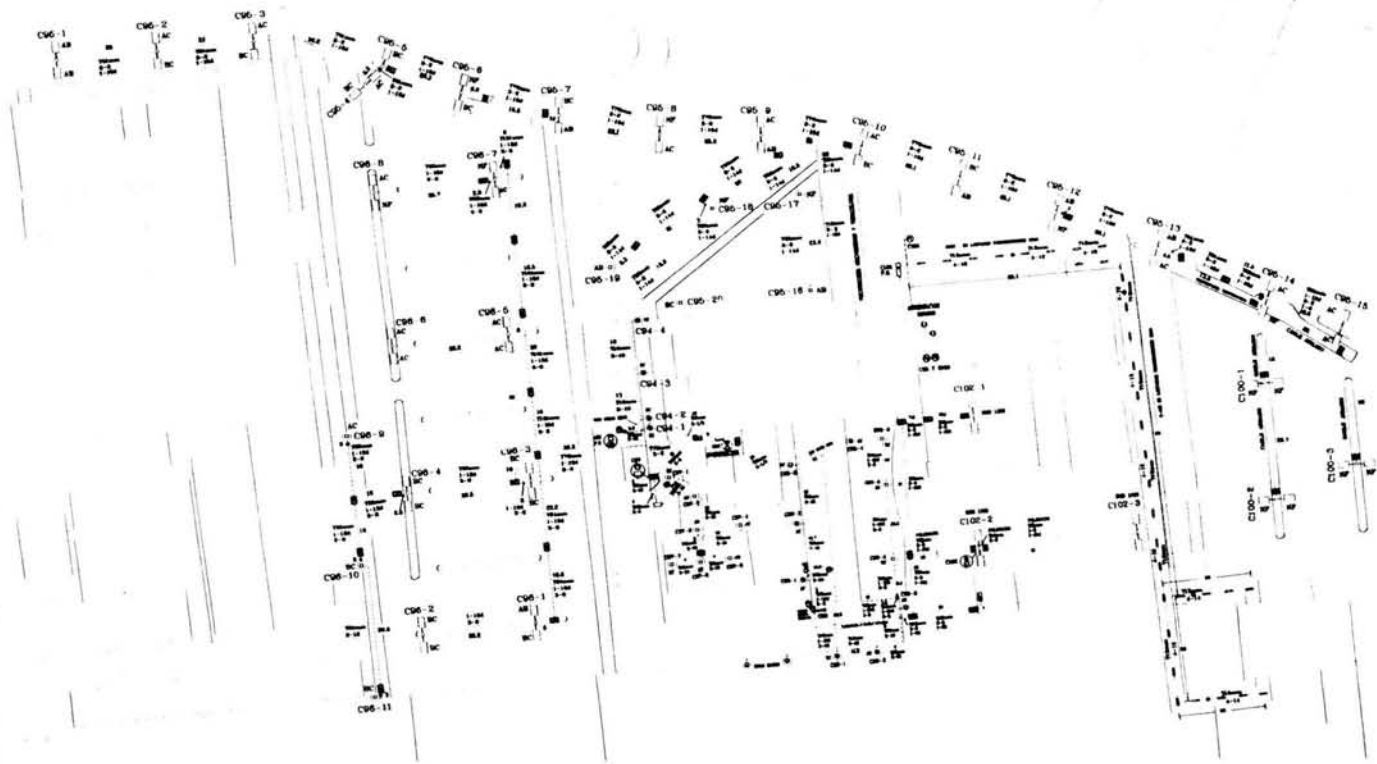
#### **7.- Energía de punta, intermedia y de base**

Energía de punta es la energía consumida durante el periodo de punta.

Energía intermedia es la energía consumida durante el periodo intermedio.

Energía de base es la energía consumida durante el periodo de base.

ALUMBRADO PUBLICO  
 FACULTAD DE ODONTOLOGIA  
 CIRCUITOS: 94, 95, 96, 97, 98, 99 100, 102 Y 128



**SIMBOLOGIA**

- ⊥ POSTE DE UN BRAZO VAPOR DE SODIO 800 W
- ⊥-⊥ POSTE DE 2 BRAZOS VAPOR DE SODIO 800 W
- ⊙ POSTE PUNTA VAPOR DE SODIO 150 W
- ⊙ REFLECTOR VAPOR DE SODIO 250 W
- ⊙ REFLECTOR VAPOR DE SODIO 150 W
- ⊞ LAM. FLUORESCENTE DE 2x4 W
- CANALIZACION (DISTANCIA EN METROS)
- ⊕ FOTOCELDA
- ▭ TABLERO
- ⊞ CONTACTOR
- ⊞ DESCONECTOR DE NAVAJAS CON FUSIBLES
- ⊞ CARGA INSTALADA
- ⊞ REGISTRO
- ⊞ INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
- ⊞ TRANSFORMADOR
- ⊞ INTERRUPTOR ELECTROMAGNETICO
- ⊙ BUSE
- ⊙ BAJA
- Y DIAMETRO DE TUBERIA
- 4 CABLE DESNUDO
- NF NO FUNCIONA
- A, B, C FASES
- CR R C-CTO, M-NO. DE CTO, N-NO. DE LINDARIA

**DIAGRAMAS UNIPOLARES DEL ALUMBRADO PUBLICO  
 FACULTAD DE ODONTOLOGIA (SUBESTACION JARDEN)**

**FACULTAD DE ODONTOLOGIA (SUBESTACION SOTANO)**

	<b>INFORMACION GENERAL DE OBRA</b>		<b>FECHA DE EJECUCION</b>
	PROYECTO: ALUMBRADO PUBLICO		AÑO: 1955
DISEÑADOR: CARLOS VERA		<b>CLASIFICACION</b>	
DESCRIPCION DE LA OBRA: ALUMBRADO PUBLICO DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGIA		<b>FECHA DE EJECUCION</b>	
ESTADO DE LA OBRA: COMPLETADA		<b>FECHA DE EJECUCION</b>	
CONTENIDO DEL PLANO: ALUMBRADO PUBLICO DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGIA (SUBESTACION JARDEN Y SOTANO)		<b>FECHA DE EJECUCION</b>	
FECHA DE EJECUCION DEL PLANO: 15 DE AGOSTO DE 1955		<b>FECHA DE EJECUCION</b>	

## GLOSARIO DE TERMINOLOGIA

- Altura de montaje **AM** CAP II
- Cantidad de luz **Q**, unidad: Lumen por hora(lmh) CAP I
- Coefficiente de iluminación de los alrededores **SR** CAP III
- Coefficiente de luminancia media **Qo** CAP III
- Coefficiente de uniformidad de la iluminancia **Uo, UL: E<sub>prom</sub>/E<sub>min</sub>** CAP III
- Comodidad Visual **L<sub>min</sub>, L<sub>max</sub>** CAP III
- Deslumbramiento **TI, G: L<sub>v</sub>/L<sub>AV (0.8)</sub>** CAP III
- Distancia longitudinal de la vialidad **DLV** CAP II
- Distancia transversal de la vialidad **DTV** CAP II
- Factor de utilización  **$\eta = \phi_{\text{UTILIZADO}} / \phi_L$**  CAP III
- Flujo luminoso  **$\Phi$** , unidad: lumen (lm) CAP I
- Iluminancia **E**, unidad: Lux (Lx) CAP I
- Iluminancia media **L<sub>m</sub>, L<sub>AV</sub>** CAP III
- Índice de rendimiento de color **IRC** CAP II
- Intensidad luminosa **I**, unidad: Candela (cd) CAP I
- Luminancia **L**, unidad: Stilb (cd/cm) CAP I
- Luminancia de deslumbramiento **L<sub>d</sub>** CAP III
- Luminancia Media de la superficie de la carretera **L<sub>AV</sub>** CAP III
- Luminancia promedio mínima **L<sub>prom</sub> (cd/m<sup>2</sup>)** CAP III
- Razón Longitudinal de Uniformidad **UL: L<sub>min</sub>/L<sub>max</sub>** CAP III
- Relación de luminancia de deslumbramiento **L<sub>d</sub>/L<sub>prom</sub>** CAP III
- Relación transversal de la vía **RVT** CAP II
- Rendimiento luminoso o Eficacia  **$\eta$** , unidad: lumen / watt (lm/w) CAP I

## BIBLIOGRAFIA

- Luminotecnia. Carlo Clerci. Ed. Defino. Barcelona España.
- Luminotecnia; sus principios y aplicaciones, R.G. Welgel. Ed. Gustavo Gili SA. Barcelona España.
- Luz, lámparas y luminarios; Manual de luminotecnia. Carlos Jiménez. Ed. CEAC
- Manual de instalaciones de alumbrado y fonometría, Jorge Chopa Correón Ed. Limusa. México 1976.
- Manual de alumbrado. Westing House Electric Corporation. Lamp Divisions, Bloomfield, New Jersey. USA. Ed. Dussat SA.
- Manual de Instalaciones Eléctricas, Luis Lesur. Ed. Trillas. México
- Manual de la luminotecnia. Tabeada J.A. osram. Ed. Dussat SA.
- Manual de alumbrado. Philips. 1988
- Practicas de iluminación. IPC (Instituto Politécnico de Cataluña). Vicente blanca Jiménez. Ed. Reproval SL. España.
- Técnicas y aplicaciones de la iluminación. Luis C. Fernández Salazar y Jaime de Anda Amescua. Ed Mc. Graw Hill.

- Philips Lighting; catálogo general de especificaciones. México 2001.
- Osram; catálogo general de luz. México 2002.

[http:// www.edison.upc.es/curs/llum/lámparas/luminar1.html](http://www.edison.upc.es/curs/llum/lámparas/luminar1.html)

[http://www.conae.gob.mx/work/secciones/2263/imagenes/concept\\_basic\\_ilumin\\_2004.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/secciones/2263/imagenes/concept_basic_ilumin_2004.pdf)

<http://www.richetta.com.ar/NotaBase.asp?CAT=LAMPARAS>

[http://www.cfe.com .mx](http://www.cfe.com.mx)