

2



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**



**"ASPECTOS FISICOQUIMICOS DE LA MANUFACTURA DE LAMPARAS  
FLUORESCENTES"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO QUIMICO**

**PRESENTA:**

**LUIS GABRIEL ALVARADO MORENO**

**ASESOR: DOCTOR ADOLFO EDUARDO OBAYA VALDIVIA**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO**

**2002**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Aspectos Fisicoquímicos de la Manufactura  
de Lámparas Fluorescentes.

que presenta el pasante: Luis Gabriel Alvarado Moreno.  
con número de cuenta: 9361226-9 para obtener el título de :  
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Febrero del 2002

PRESIDENTE

I.Q.M. Rafael Sampere Morales

VOCAL

Dr. Adolfo Obaya Valdivia.

SECRETARIO

I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez.

PRIMER SUPLENTE

I.Q. Ariel Bautista Salgado

SEGUNDO SUPLENTE

I.Q. Miriam Rivas Salgado.

## INDICE

1	Objetivos .....	5
2	Alcance.....	5
3	Introducción.....	7
4	Antecedentes.....	9
4.1	Lámparas de aceite.....	9
4.2	Velas.....	10
4.3	Lámparas de gas.....	11
4.4	Lámparas eléctricas.....	12
4.5	Lámparas de descarga eléctrica.....	15
5	Generalidades.....	19
5.1	Naturaleza de la luz.....	19
5.2	Producción de la luz.....	20
5.3	Flujo Luminoso.....	22
5.4	Luminiscencia.....	22
5.5	Fotoluminiscencia (Fluorescencia).....	24
5.6	El color.....	25
5.7	Composición espectral de la luz.....	26
5.8	El color de los cuerpos.....	27
5.9	Curva de distribución espectral.....	28
5.10	Mezcla de colores.....	29
5.11	Diagrama cromático del CIE.....	31

	2
5.12 Temperatura del color.....	33
5.13 Reproducción cromática. Índices general IRC y especial IRC <sub>a</sub> .....	34
6 Manufactura de las lámparas fluorescentes.....	36
6.1 Preparación del vidrio.....	45
6.2 Métodos de recubrimiento.....	46
6.3 Vehículo del recubrimiento.....	48
6.4 Preparación de la suspensión.....	51
6.5 Preparación en molinos de bolas giratorios.....	51
6.6 Preparación en tanques con agitación.....	52
6.7 Horneado del tubo.....	52
6.8 Espesor de la película y porosidad.....	55
6.9 Deterioración del fósforo en el horneado.....	57
6.10 Armado de la lámpara.....	58
6.10.1 Elaboración de la boquilla.....	58
6.10.2 Elaboración del pie.....	60
6.10.3 Colocación del filamento y pasta de emisión.....	61
6.10.4 Cátodos.....	62
6.10.5 Refundido.....	63
6.10.6 Vacío, activación de pasta emisora e inyección de mercurio.....	64
6.10.7 Estabilizado.....	65
6.10.8 Preparación del cemento.....	65
6.10.9 Cementado del casquillo.....	66
6.10.10 Encasquillado y curado del cemento.....	67
6.10.11 Aplicación de soldadura.....	67
6.10.12 Siliconizado de la lámpara.....	68

	3
6.10.13 Prueba de funcionamiento.....	68
6.10.14 Empaque.....	68
6.10.15 Variaciones.....	69
7 Principio básicos del funcionamiento de las lámparas fluorescentes.....	70
7.1 Circuito simple de precalentamiento para lámparas fluorescentes.....	70
7.2 Comportamiento del arco.....	71
7.3 Energía producida por el arco.....	72
7.4 Circuitos.....	73
7.5 Balastro de adelanto-retraso y efecto estroboscópico.....	74
7.6 Importancia de la calidad del balastro.....	75
7.7 Circuitos y balastros para lámparas fluorescentes.....	76
7.8 Circuito de arranque instantáneo.....	78
7.9 Balastro en serie.....	80
7.10 Circuitos de arranque rápido.....	81
7.11 Circuitos arrancadores de disparo.....	83
7.12 Lámparas de cátodo frío.....	84
7.13 Lámparas fluorescentes en corriente directa.....	86
7.14 Bases.....	87
7.15 Arrancadores.....	90
7.16 Sondas.....	90
7.17 Efectos de la temperatura en su funcionamiento.....	91
7.18 Lámparas de apertura.....	91
7.19 Luz negra y luz negra azulada.....	91
7.20 Lámparas germicidas.....	92
8 Aspectos ambientales de la manufactura de lámparas fluorescentes.....	94

	4
8.1 Uso de solventes orgánicos.....	94
8.2 Uso de dióxido de azufre.....	96
8.3 Uso de mercurio.....	96
8.4 Disposición en los E.U. de lámparas fluorescentes y lámparas a vapor de mercurio usadas. .	98
9 Nuevas expectativas para las lámparas fluorescentes en México.....	101
9.1 Ostrón y Pentrón.....	101
9.2 Ostrón.....	103
9.3 FM-T2.....	105
9.4 Lámparas fluorescentes compactas.....	105
9.5 Nuevos sistemas de iluminación que ya están en uso.....	107
9.6 El principio de la lámpara OSRAM Endura.....	108
9.7 Planón.....	109
10 Conclusiones.....	111
11 Glosario de los términos mas importantes de la iluminación.....	112
12 Bibliografía.....	117

## 1. OBJETIVO

Analizar diversos aspectos de carácter fisicoquímico involucrados en la manufactura de lámparas fluorescentes así como el impacto ambiental de las mismas.

## 2. ALCANCE

A grandes rasgos se busca ofrecer un panorama general acerca de la historia de la iluminación hasta llegar a la lámpara fluorescente y de todos los procesos por los que pasa para ser fabricada, además explicar de forma general la función que cumple cada uno de los componentes que la conforman.

Se inicia en el capítulo 4 con los antecedentes en donde se da una breve reseña de la evolución de la iluminación desde la antorcha hasta la lámpara fluorescente que es nuestro objeto de estudio, en las generalidades se abordan los temas básicos para la comprensión del efecto de la luz, la composición de la misma y el fenómeno de fotoluminiscencia que ocurre en la lámpara fluorescente para transformar la luz ultravioleta en luz visible, en el capítulo de manufactura de lámparas fluorescentes se habla de todo el proceso por el que se tiene que pasar para obtener una lámpara fluorescente dando una breve explicación del funcionamiento que tienen cada una de las partes que la conforman, en el capítulo de principio básicos del funcionamiento de las lámparas fluorescentes se habla de los diferentes elementos auxiliares para que opere una lámpara fluorescente, y a pesar de ser un capítulo muy extenso no pretende más que proporcionar un conocimiento básico de los aspectos eléctricos con los que esta relacionada la lámpara sin

profundizar en los mismos, el capítulo llamado aspectos ambientales de la manufactura de lámparas fluorescentes aborda temas muy interesantes como el comentar cuales son los elementos que en el proceso de manufactura pueden tener un impacto ambiental negativo y va más allá al hablar acerca de la disposición final que debería de tener la lámpara fluorescente una vez que esta ha cumplido con su vida útil, se dan ciertas recomendaciones además de indicar cuales pueden ser en cierto momento las limitantes técnicas que se tienen y que obligan a la utilización o no utilización de ciertas sustancias, el último capítulo titulado nuevas expectativas para las lámparas fluorescentes en México habla de las nuevas alternativas que existen y que se están creando en el mundo dentro de las mismas lámparas fluorescentes, algunas de estas alternativas no han llegado a México pero es muy interesante conocerlas así como identificar cuales son las diferencias básicas que ofrecen comparadas con las actualmente utilizadas, al final de esta tesis se cuenta con un glosario de los términos más importantes de la iluminación y de las abreviaturas que se usan en cada uno de los capítulos, espero sinceramente que esta tesis cumpla con los objetivos antes mencionados.

### 3. INTRODUCCION

Thomas A. Edison inventó la lámpara incandescente en 1879, o para ser más preciso, el relojero alemán Johann Heinrich Groebel lo inventó en 1854 y Thomas A. Edison lo desarrolló como un producto utilizable y lo patentó.



Thomas Alva Edison

Figura 1. Thomas Alva Edison.

Por muchos años la luz artificial se sostuvo por un delicado hilo de carbón, de hecho en 1905 OSRAM reemplazó este hilo carbonizado por un filamento mucho más resistente de metal. Esto marca el inicio de más de 90 años de éxitos.

Desde 1905 las lámparas han presentado un continuo proceso de mejoramiento, nuevas formas de generar luz se han inventado y se han usado nuevos materiales. Las recientes innovaciones han sido realizadas con tres objetivos principales que son: aumento de eficiencia, tamaños compactos y productos que no contaminan y cuidan nuestro ambiente (productos ecológicos)

Para mucha gente la vieja lámpara incandescente con su luz cálida y confortable es sinónima de luz artificial, a pesar del desarrollo tecnológico en iluminación, las lámparas incandescentes siguen siendo las fuentes artificiales de luz más vendidas en el mundo.

A pesar del comentario anterior, es verdad que la modernización es parte del proceso natural de la evolución del hombre así que gracias al desarrollo tecnológico ahora tenemos más y mejores opciones para obtener luz artificial, hablamos de una gran diversidad de tipos de lámparas, la presente tesis versa sobre un tipo en especial, que a consideración será el futuro de la iluminación en México, la lámpara fluorescente.



Figura 2. Lámpara con cuerpo luminoso de hilo de carbón.

El común de la gente aprovecha los avances de la tecnología pero nunca nos preocupamos por conocer como se crea dicha tecnología o el principio fisicoquímico del funcionamiento de la misma, la presente tesis tiene como objetivo el dar a conocer cuales son los principios fisicoquímicos de las lámparas fluorescentes así como los aspectos ambientales relacionados con la manufactura de las lámparas y la disposición final después de su uso.

Iniciaré con una breve reseña del desarrollo tecnológico que ha tenido la generación de luz artificial.

## 4. ANTECEDENTES

La luz artificial ofrece a la humanidad la libertad para decidir si hace uso de la luz natural o cambia la noche por el día. Esta se ha convertido en un importante elemento de creatividad en nuestras vidas.

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

### 4.1. Lámparas de aceite.

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

En 1000 AC. la eficiencia de las luminarias se debía a sus mechas vegetales que quemaban aceites de oliva o nuez. Para el quinto siglo antes de nuestra era, estas lámparas ya eran de uso común domestico.

Los romanos desarrollaron lámparas de terracota con o sin esmaltar y con una o más salidas para mechas. Con la introducción del bronce y posteriormente del hierro, los diseños de las lámparas de aceite se fueron haciendo mas y más elaborados.

Hubo múltiples esfuerzos para mejorar la eficiencia de estas lámparas. En él ultimo siglo antes de nuestra era, Hero de Alejandria 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. Da Vinci también diseño lentes de agua para corregir la miopía, estos inventos registran la primera correlación análisis sobre la interacción de la luz y la visión.

El fisico suizo Aimé Argand patentó una lámpara con un quemador circular, una mecha tubular y una columna de aire con la que dirigiria y regulaba el suministro de aire a la flama. Argand descubrió que la columna circular de aire reducía el "parpadeo" de la llama. En 1880, Bertrand G. Carcel añadió a este diseño una bomba con mecanismo de reloj para alimentar el aceite a la mecha. La lámpara Argand se convirtió en el estándar de fotometría debido a la constancia de su luz. Posteriormente, Benjamín Franklin descubrió que dos mechas juntas daban mas luz que dos lámparas de una sola mecha.

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 luminarias. 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 publico.

#### 4.2. 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 DC). El

uso de velas no era tan común como el de lámparas de aceite, pero su uso se incrementó durante el medioevo. 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 estándar (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 sustituyó 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.

#### 4.3. 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 luminarias 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.

#### 4.4. 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.

William Robert Grove en 1840, encontró que cuando unas tiras de platino y otros metales se calentaban hasta volverse incandescentes, producían luz por un periodo de tiempo. En 1809, usó una batería de 2000 celdas a través de la cual pasaba electricidad, para producir una llama de luz brillante, de forma arqueada.

De este experimento nació el término "lámpara de arco".

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, continuo 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 fabrica de Nueva York. Este proyecto fue un gran éxito comercial y estableció a sus lámparas como viables. Durante los siguientes dos años se colocaron mas de 150 instalaciones de alumbrado eléctrico y en 1882 se construyo la primera estación para generar electricidad en Nueva York. En ese mismo año, Inglaterra monta la primera exhibición de alumbrado eléctrico.

Cuando la lámpara incandescente se introdujo como una luminaria pública, la gente expresaba temor de que pudiese ser dañina a la vista, particularmente durante su uso por largos periodos. En respuesta, el parlamento de Londres realiza una legislación prohibiendo el uso de lámparas sin pantallas o reflectores. Uno de los primeros reflectores comerciales basado en cristal plateado fue desarrollado por E. L. Haines e instalado en los escaparates comerciales de Chicago.

Hubo numerosos esfuerzos por desarrollar lámparas más eficientes. Welsbach inventó la primera lámpara comercial con un filamento metálico, pero el osmio utilizado era un metal sumamente raro y caro. Su fabricación se interrumpió en 1907 cuando la aparición de la lámpara de tungsteno.

En 1904, el norteamericano Willis R. Whitney produjo una lámpara con filamento de carbón metalizado, la cual resulta ser 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.

La primera lámpara con filamento de tungsteno, que se introdujo a los Estados Unidos en 1907, era hecha con tungsteno prensado. William D. Coolidge, en 1910, descubrió un proceso para producir filamentos de tungsteno "drawn" mejorando enormemente la estabilidad de este tipo de lámparas.

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.

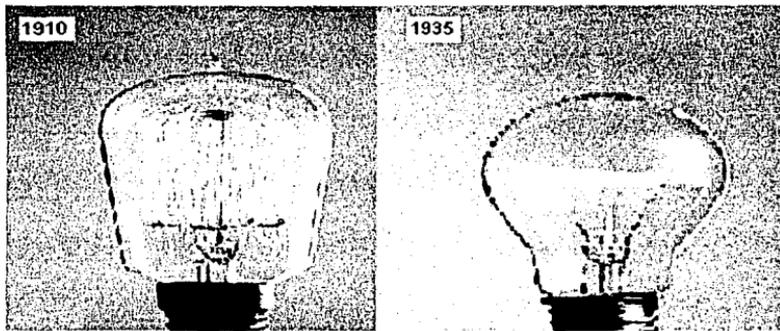


Figura 3. 1910. Lámpara con filamento de Wolframio; 1935 Moderna Lámpara Incandescente

#### 4.5. Las Lámparas de Descarga Eléctrica

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 solo 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 fracaso 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 coloco su primer 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, Francia estudio lámparas de descarga con varios gases tales como el neón, argón, helio, criptón y xenón, resultando en 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 desarrollo una lámpara de alta presión de sodio en Europa, 1931. A pesar de su alta eficiencia no resulto satisfactoria para el alumbrado de interiores debido al color amarillo de su luz.

Su principal aplicación es el alumbrado publico donde su color no se considera critico. 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 desarrollo 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. La eficiencia y el color de la luz eran determinados por la presión de vapor y los químicos fluorescentes 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 las primeras instalaciones de alumbrado público con lámparas fluorescentes se hicieron.

A partir de la segunda guerra mundial se han desarrollado nuevas lámparas y numerosas tecnologías que además de mejorar la eficiencia de la lámpara, las ha hecho más adecuadas a las tareas del usuario y su aplicación. Entre los desarrollos a las lámparas fluorescentes, se incluyeron los balastos de alta frecuencia que eliminan el parpadeo de la luz, y la lámpara fluorescente compacta que ha logrado su aceptación en ambientes domésticos. El origen del tubo fluorescente se remonta al año 1938, cuando al exponer varias clases de fósforos bajo rayos ultravioleta, se logró producir radiación de longitudes de onda visibles.

El 70% de la totalidad de la luz artificial del mundo se genera mediante lámparas fluorescentes. El éxito de estas lámparas puede atribuirse a su vida extremadamente larga y a su impresionante economía.

La lámpara fluorescente ha sido frecuentemente mencionada como una creación típica de la era electrónica.

Una lámpara fluorescente sólo consume alrededor de un quinto de la electricidad que consume una lámpara común. Las lámparas fluorescentes son "lámparas de descarga". Una descarga eléctrica

entre los dos electrodos en el tubo de vidrio genera radiación UV. Esta radiación UV, apenas visible, hace que los fósforos aplicados en la parte interna del tubo emitan luz. Todas las lámparas fluorescentes necesitan dispositivos electrónicos de control para su encendido y funcionamiento.

La ventaja principal que ofrecen estas lámparas es su eficacia que es casi tres veces más alta que de las lámparas incandescentes equivalentes. Otra ventaja es que ofrece la posibilidad de disponer de una considerable gama de colores sin sacrificar su eficacia y por último cabe mencionar la gran ventaja que ofrece en donde se requiere una fuente de luz lineal en vez de una fuente concentrada en un punto o foco.

Aunque los diseños más modernos de lámparas fluorescentes tienen la flexibilidad de ofrecernos también lámparas compactas curvando el tubo de vidrio sobre sí mismo, los fabricantes de lámparas han logrado con éxito que estas lámparas sean extremadamente compactas y se les puede utilizar como reemplazos directos de las lámparas incandescentes, también existen circulares y en forma de "U".

Uno de los aspectos importantes de esta tesis es el analizar los principios básicos del funcionamiento de las lámparas fluorescentes así como el abordar el tema del impacto ambiental que conlleva la manufactura de las lámparas fluorescentes y la disposición final de las mismas al término de su vida útil.

## 5. GENERALIDADES

### 5.1. Naturaleza de la luz

La luz es una manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas, capaces de afectar el órgano visual.

Se denomina radiación la transmisión de energía mediante ondas o partículas propagándose por medio de choques.

Otras manifestaciones de la energía en radiaciones de igual forma pueden observarse en la figura siguiente. El conjunto de todas ellas se conoce con el nombre de espectro electromagnético.

Comúnmente se tiene la idea de que la luz del día es blanca y que la percibimos en forma sencilla y única, pero en realidad está compuesta por un conjunto de radiaciones electromagnéticas.

Experimentalmente se observa que un rayo de luz blanca, al atravesar un prisma triangular de vidrio transparente se descompone en una banda continua de colores que contiene los fundamentales del arco iris (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul y violeta), los cuales son radiados dentro de una determinada zona del espectro electromagnético.



Figura 4. Descomposición de la luz en los colores fundamentales

## Fuentes de luz

	Radiación calorífica	Radiación eléctrica	Luminiscencia
Fuentes de luz naturales	Sol 	Relámpago  Lámparas Mercurio V. Metálicos Sodio 	Luciámaga  Diodos 
Fuentes de luz artificiales	Lámparas Incandescentes  Tungsteno Halógeno  Lámparas de luz mixta 	Lámparas fluorescentes (con fósforos) 	

Figura 5. Fuentes de Luz.

### 5.2. Producción de la luz

La luz se puede producir de varias formas. Las más importantes con relación a las lámparas eléctricas son:

- Calentando cuerpos sólidos hasta alcanzar su grado de incandescencia (fundamento de las lámparas incandescentes).
- Provocando una descarga eléctrica entre dos placas o electrodos situados en el seno de un gas o de un vapor metálico (fundamento de las lámparas de descarga).

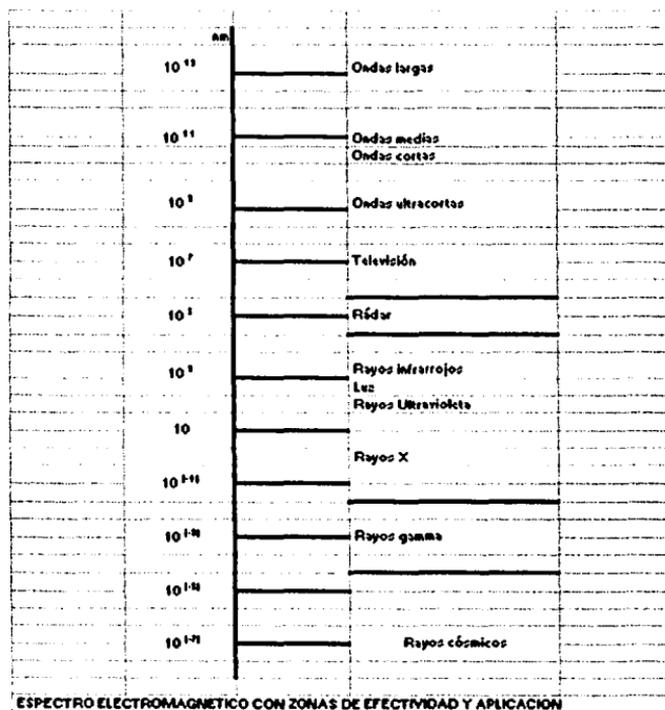
En cualquier caso la producción de la luz es una transformación de la energía.

La luz se transmite a distancia a través del espacio por medio de ondas a distancia en el vacío y en todas direcciones.

La radiación luminosa, al igual que otras radiaciones electromagnéticas, presenta dos características físicas fundamentales por las cuales se diferencia. Estas características son:

- La longitud de onda o distancia entre dos ondas consecutivas.
- La velocidad de propagación (la luz se propaga a 300 000 Km/seg)

Tabla 1. Espectro electromagnético con zonas de efectividad y aplicación.



Además de estas características, la luz se propaga en línea recta que corresponde al eje de las ondas luminosas.

La unidad de longitud de onda empleada es el nanómetro, de símbolo nm.

### 5.3. Flujo Luminoso

La energía transformada por las fuentes luminosas no se puede aprovechar totalmente para la producción de luz. Por ejemplo, una lámpara incandescente consume una determinada energía eléctrica que transforma en energía radiante, de la cual solo una pequeña parte es percibida por el ojo en forma de luz, mientras que el resto se pierde en calor.

A la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación lumínica se le llama flujo luminoso.

El flujo luminoso se representa por la letra griega  $\Phi$  (fi), siendo su unidad el lumen (lm).

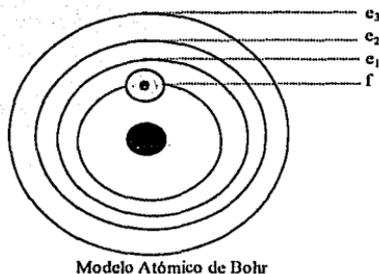
El lumen es el flujo luminoso de la radiación monocromática que se caracteriza por una frecuencia  $f$  de valor  $540 \times 10^{12}$  Hertz y por un flujo de energía radiante de 1/683 watts.

Un watt de energía radiante de longitud de onda de 555 nm en el aire equivale a 683 lm aproximadamente.

### 5.4. Luminiscencia

Con este nombre se conocen aquellos fenómenos luminosos cuya causa no obedece exclusivamente a la temperatura de la sustancia luminiscente. Dichos fenómenos se caracterizan porque sólo ciertas partículas de los átomos de la materia, es decir sus electrones, son incitadas a producir radiaciones electromagnéticas.

Para comprender el fenómeno de la luminiscencia hemos de estudiar sucintamente la estructura del átomo, tal como lo presenta el modelo atómico de Bohr, según se indica en la figura 6.



Modelo Atómico de Bohr

Figura 6. Modelo Atómico de Bohr

Según este modelo, cada átomo está formado por un núcleo atómico positivo y por una envoltura de electrones negativos, distribuidos en capas, que giran alrededor del núcleo siguiendo órbitas determinadas como un sistema planetario. Entre el número de cargas positivas del núcleo (protones) y el total de cargas negativas (electrones) existe normalmente un equilibrio eléctrico, es decir, que el número de cargas positivas es igual al número de cargas negativas; este equilibrio se denomina "estado fundamental" del electrón e, y para los electrones de la órbita más interna, es idéntico a la línea de base f en la figura anterior.

Si desde el exterior se suministra al átomo una determinada cantidad, es decir, se "excita", el electrón e es desplazado ("elevado") de su órbita normal a la siguiente o a otra más externa, lo cual significa que ha asimilado ("absorción") la cantidad de energía suministrada, ascendiendo a un rango superior de energía (nivel energético) representado en la figura por las líneas e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub> y e<sub>3</sub>, etc. Tras un brevísimo tiempo de permanencia en este nivel, el electrón salta de nuevo a su posición inicial f, cediendo la cantidad de energía absorbida en un principio ("emisión") y que la mayoría de las veces se transforma en radiación electromagnética.

Si la cantidad de energía suministrada es mayor, el electrón puede llegar a alcanzar instantáneamente una órbita más externa; a consecuencia del mayor rango de energía conseguido la energía que emitirá el electrón al volver a su órbita original será mayor.

Las distintas capas de la envoltura electrónica corresponden, pues, a un nivel de energía perfectamente determinado y por ello no pueden existir estados de energía intermedios. De aquí se deduce como principio que, para excitar un átomo se requiere una cantidad de energía exactamente determinada, la cual es emitida en forma de radiación al recuperar el átomo su forma fundamental.

La emisión de la energía transformada en este proceso, considerada desde un punto de vista atómico, se produce en porciones o partes discontinuas llamadas “cuantos” de energía. Empero, en el campo de la Luminotecnia práctica, la “luz” obtenida en esa transformación se considera emitida de manera continua en forma de ondas electromagnéticas, lo cual resulta suficientemente aceptable para los casos normales de su aplicación.

Mediante la teoría cuántica formulada por el físico Max Planck, se demuestra que los distintos elementos químicos al ser excitados, no emiten un espectro continuo debido a la diferente estructura de sus capas electrónicas, sino solamente longitudes de onda muy particulares (“líneas”) dentro de todo el espectro electromagnético, estos espectros se conocen con el nombre de “espectros de líneas”. Cada sustancia posee su espectro de líneas característico; lo cual ocurre también con los gases luminiscentes, como por ejemplo el vapor de sodio, cuyo espectro está compuesto por una doble línea amarilla cuyas longitudes de onda corresponden a 589 y 589.6 nm, respectivamente.

### 5.5. Fotoluminiscencia (Fluorescencia)

Por fotoluminiscencia se entiende fundamentalmente la excitación a la luminiscencia de determinadas sustancias mediante una radiación, la mayoría de las veces radiación ultravioleta de onda corta. Las sustancias luminiscentes empleadas solo emiten luz mientras son excitadas por la radiación ultravioleta de onda corta, para lo cual se utiliza la línea de resonancia del vapor de mercurio cuya longitud de onda es de 253.7 nm. Puesto que este fenómeno equivale a transformar una radiación de onda corta en otra de onda larga, resulta, pues, que las sustancias luminiscentes empleadas son transformadoras de radiaciones electromagnéticas (transforman longitudes de onda y frecuencias).

Como sustancias luminiscentes se emplean, entre otras, el wolframato de calcio, wolframato de magnesio, silicato de zinc, silicato de cadmio, borato de cadmio, así como los haló fosfatos, todos los cuales tienen una estructura cristalina.

Cada una de las sustancias luminiscentes emite un determinado color de luz. Mediante una mezcla apropiada de estas sustancias, se puede obtener prácticamente cualquier color de luz compuesto que se desee. Si además se consigue que las bandas de emisión de cada uno de los componentes cromáticos se superpongan, se obtiene un espectro continuo que va desde el azul al rojo (igual a blanco), que, además puede variar desde el blanco luz de día hasta el blanco cálido.

Se llama "fluorescencia" a todos aquellos fenómenos de luminiscencia en los que la radiación luminosa permanece mientras dura la excitación.

## 5.6. El color

La presencia de la luz produce una serie de estímulos en nuestra retina y unas reacciones en el sistema nervioso que comunican al cerebro un conjunto de sensaciones cromáticas (colores). El color por lo tanto es una interpretación psicofisiológica del espectro electromagnético visible.

Las sensaciones cromáticas dependen de la clase (composición espectral de la luz) y de las propiedades de reflexión y de transmisión de los cuerpos iluminados.

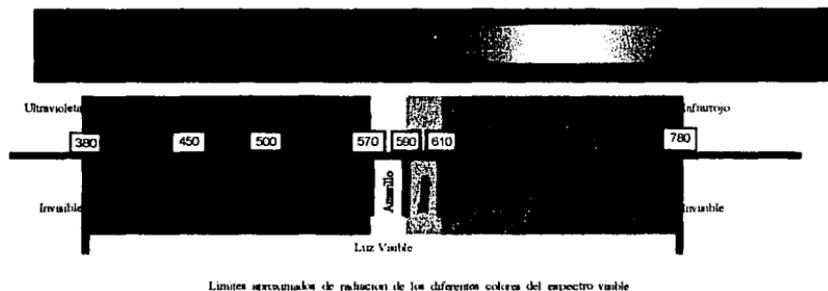


Figura 7. Límites aproximados de radiación de los diferentes colores del espectro visible

### 5.7. Composición espectral de la luz

La luz blanca del día esta compuesta por un conjunto de radiaciones electromagnéticas con diferentes longitudes de onda dentro de la zona visible de 380 nm a 780 nm que contiene los colores fundamentales cuyos límites aproximados de radiación pueden verse en la figura anterior.

El hecho de que no podamos ver directamente los componentes cromáticos de la luz blanca del día, se debe a que sí sobre nuestro cerebro actúa un conjunto de estímulos espectrales diferentes, aquél no distingue cada uno de los componentes, produciéndose una especie de efecto aditivo de los mismos que constituye el "color de la luz".

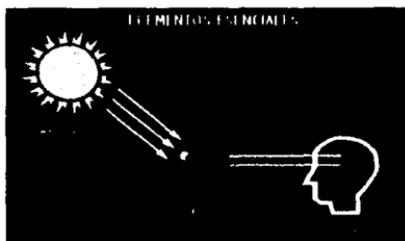


Figura 8. Elementos esenciales

### 5.8. El color de los cuerpos.

Comúnmente, el color suele emplearse para señalar una propiedad de los cuerpos, y así decimos que un cuerpo tiene un determinado color, pero esto no es cierto, pues el color como tal no existe ni se produce en ellos. Los cuerpos solo tienen unas determinadas propiedades de reflejar, transmitir o absorber los colores de la luz que reciben.

La impresión del color de un cuerpo depende por lo tanto de la composición espectral de la luz con que se ilumina y de las propiedades que posea de reflejarla, transmitirla o absorberla. Así pues tenemos que si un cuerpo posee la propiedad de reflejar todos los colores del espectro visible, y se ilumina con luz blanca del día, éste aparecerá de color blanco.

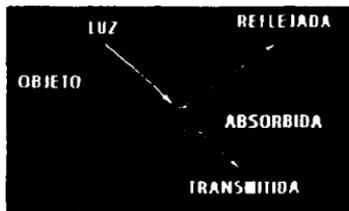


Figura 9. Efectos de un objeto sobre la luz

Asimismo si se ilumina con luz monocromática de color amarillo, reflejara esta luz y por consiguiente se vera de color amarillo. Si por el contrario en lugar de tener la propiedad de reflejar todos los colores del espectro visible, posee la propiedad de absorberlos, el cuerpo aparecerá de color negro tanto si se ilumina con luz blanca como si se ilumina con luz amarilla.

Pero también un cuerpo puede poseer a la vez las propiedades de reflexión y absorción, en cuyo caso presentara un determinado color.

### 5.9. Curva de distribución espectral.

La composición de la luz de las fuentes luminosas se representa por medio de la "curva de distribución espectral" correspondiente a cada una de ellas, en la cual se indica como se distribuye la energía entre las diferentes radiaciones.

Frecuentemente esta representación se hace en valores relativos de energía respecto a la máxima radiada que se toma como 100%.

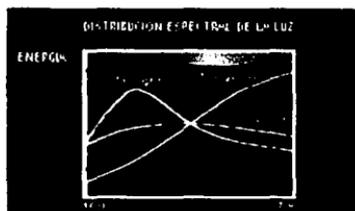


Figura 10. Distribución espectral de la luz

A los espectros que no presentan interrupción, como el de la luz del día o el de las lámparas incandescentes, se les llama "continuos" porque en ellos están presentes todas las radiaciones visibles. Por el contrario, aquellos espectros que muestran interrupciones, como por ejemplo el de

una lámpara fluorescente se llama "discontinuo", apareciendo en él determinadas características del gas de llenado o vapor metálico en el que se realiza la descarga.

#### 5.10. Mezcla de colores.

Generalmente los colores que aparecen ante nuestra vista no son los que representa el espectro visible, sino en cada caso uno de los infinitos colores que resultan de la mezcla de distintos colores. Esta mezcla de colores puede tener lugar de dos formas diferentes que se denominan "mezcla de colores aditiva" y "mezcla de colores sustractiva."

En la mezcla de colores aditiva se suman los colores mezclados, y el color mixto obtenido es siempre mas claro que cualquiera de sus componentes.

La mezcla de colores aditiva se obtiene iluminando al mismo tiempo con luces de los distintos colores que se deseen mezclar. Por ejemplo, si se superponen parcialmente tres círculos luminosos de color rojo, verde y violeta, respectivamente, y se proyectan sobre una pantalla blanca, se obtendrá la misma impresión que se observa en la sig. Figura.



Figura 11. Mezcla aditiva de luz.

En los lugares donde no se han mezclado los colores se aprecia todavía el color propio de cada círculo luminoso. Donde se unen dos colores, se forman los colores mixtos amarillo, azul y púrpura, que son más claros que los correspondientes. En la unión de los tres círculos, se obtiene el color blanco si la composición es la adecuada, este principio es el que se utiliza en las mezclas de tres colores para dar color blanco de luz en las lámparas fluorescentes.

En la mezcla de colores sustractiva se restan los colores mezclados y el color mixto obtenido es siempre más oscuro que cualquiera de los componentes.

La mezcla de colores sustractiva se obtiene en haciendo pasar sucesivamente la luz por filtros de los distintos colores que se deben mezclar. Por ejemplo si se intercepta parcialmente el haz de luz blanca de un proyector que ilumina una pantalla blanca, también, mediante un filtro de color púrpura, aparecerá dentro de la misma una superficie de color púrpura. Si se coloca a su vez un filtro de color amarillo que cubra parte del anterior, aparecerán en la pantalla una superficie de color amarillo y otra de color rojo, ésta como mezcla de la intersección parcial de ambos filtros. Si por ultimo, se coloca un filtro de color azul que cubra parcialmente los dos anteriores, se obtendrán una superficie de color azul, otra de color verde, otra de color violeta ( estas dos ultimas mezcla de la intersección parcial de los respectivos filtros) y otra negra, correspondiente a la intersección de los tres filtros, por la cual no ha pasado ningún rayo de luz, por haber sido absorbido totalmente.



Figura 12. Mezcla aditiva y mezcla sustractiva

### 5.11. Diagrama cromático del CIE

Los colores del espectro visible, así como todos los que resultan mezcla de distintos colores, se pueden representar matemáticamente por medio de un diagrama de colores o "triángulo cromático", aprobado por la Comisión Internacional de Iluminación (Commission Internationale de l'Eclairage "CIE"), el cual se emplea al tratar del color de las fuentes de luz y otros materiales como filtros luminosos, pinturas, etc.

En el diagrama cromático CIE todos los colores están ordenados respecto a los valores de tres coordenadas cromáticas  $x$ ,  $y$ ,  $z$  para cada uno de ellos, cumpliéndose la igualdad  $x + y + z = 1$ . De esta forma, dos coordenadas, cualesquiera son suficientes para determinar el punto representativo o lugar geométrico de un color o mezcla de colores.

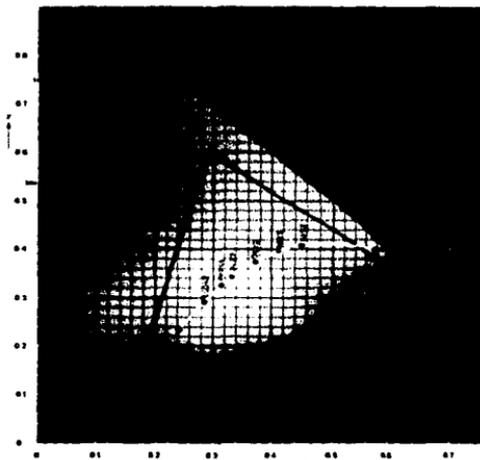


Figura 13. Diagrama Cromático del CIE

Forma el diagrama una curva que es lugar geométrico de las radiaciones monocromáticas, cerrándose por una línea recta llamada "línea de púrpura". En la zona intermedia se encuentra un punto blanco para el cual los valores de  $x$ ,  $y$ ,  $z$  son iguales entre sí (0.333 cada uno). A lo largo de la trayectoria del diagrama de las radiaciones monocromáticas se han señalado algunas longitudes de onda. Todos los demás colores se encuentran entre el punto blanco y la curva que forma el triángulo. Las rectas que parten del punto blanco contienen colores del mismo tono en saturación decreciente, esto es, cada vez con menos contenido de blanco.

El color de una mezcla aditiva de colores formada por dos componentes está siempre situado en el diagrama sobre la recta que une los puntos de color componentes. Si se mezclan dos colores y la mezcla tiene el punto blanco como punto de color resultante, los dos colores se conocen como colores complementarios. Se comprende que el número de pares de colores complementarios es infinito.

### 5.12. Temperatura de Color $T_c$

Como se vio en el punto anterior, conociendo las coordenadas cromáticas  $x$ ,  $y$ , se puede fijar la posición de cualquier color en el diagrama cromático.

En la práctica, el color de luz de una fuente luminosa –para aquellas que no tengan color señalado– se da a conocer por su temperatura de color  $T_c$ , expresada en grados Kelvin (K), como temperatura absoluta, lo cual resulta más fácil y que, para ello, basta con emplear solo un número.

Las temperaturas de la escala Kelvin exceden en  $273\text{ }^\circ\text{C}$  a las correspondientes de la escala centígrada.

La temperatura de color de una fuente de luz corresponde por comparación a aquella con la que el cuerpo negro representa el mismo color que la fuente analizada.

El cuerpo negro es un radiador ideal que, teóricamente, radia toda la energía que recibe, cambiando de color al variar su temperatura absoluta.

En el triángulo cromático de la figura anterior se ha representado también la temperatura de color del cuerpo negro.

Las lámparas incandescentes tienen una temperatura de color comprendida entre los 2700 y 3200 K, según el tipo, por lo que su punto de color determinado por las coordenadas correspondientes queda situado prácticamente sobre la curva del cuerpo negro. Esta temperatura no tiene relación alguna con la del filamento incandescente, la cual queda unos 80 grados por debajo de aquella.

Los puntos de color de la mayoría de las lámparas, principalmente las de descarga, no coinciden con los de la curva del cuerpo negro.

### 5.13. Reproducción Cromática. Índices general IRC y especial IRC.

El dato de temperaturas de color similar se refiere únicamente al color de la luz, pero no a su composición espectral que resulta decisiva para la reproducción de los colores. Así dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido y poseer al mismo tiempo unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes.

El concepto de reproducción cromática de una fuente luminosa se define como el aspecto cromático que presentan los cuerpos iluminados con ésta en comparación con el que presentan bajo una luz de referencia.

Como luz de referencia se toma la del cuerpo negro, o bien, tratándose de altas temperaturas de color una luz de día homologada con la que, según la definición, se consigue una reproducción cromática ideal.

La determinación de las propiedades de reproducción cromática de las fuentes luminosas se realiza según un procedimiento aprobado por la CIE que consiste en iluminar un color de muestra establecido con la luz de referencia y con la luz que se analiza. La evaluación cuantitativa del desplazamiento de color que se produzca representa el índice de reproducción cromática que puede alcanzar un valor máximo de 100 tomado por la luz de referencia.

El índice de reproducción cromática puede ser general IRC como promedio de desplazamiento para un conjunto de ocho colores de muestra, o especial IRC<sub>e</sub> para un solo color de un conjunto de catorce que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2. Colores de muestra del CIE para el chequeo de IRC

COLOR CIE	
No.	ASPECTO A LA LUZ DEL DIA
1	ROSA PÁLIDO
2	AMARILLO MOSTAZA
3	AMARILLO VERDOSO
4	VERDE
5	AZUL CLARO
6	AZUL CELESTE
7	VIOLETA
8	LILA
9	ROJO INTENSO
10	AMARILLO INTENSO
11	VERDE INTENSO
12	AZUL INTENSO
13	ROSA (COLOR DE LA PIEL)
14	VERDE CLOROFILA

Según la luz de referencia que se tome, puede ocurrir que al iluminar indistintamente un mismo objeto con luces de igual o muy parecido índice de reproducción cromática IRC, presente diferente aspecto; tal es el caso cuando se observa en un almacén el color que presenta un género textil bajo la luz de una lámpara incandescente, o cuando esto se hace a la luz del día. Ello se debe a que, no obstante tener ambas luces el mismo índice general de reproducción cromática IRC sus distribuciones espectrales son diferentes. De ahí que para determinar las propiedades cromáticas de una fuente de luz, además del IRC se necesite conocer también su temperatura de color similar  $T_c$ .

Existe una estrecha relación en la que intervienen diversos factores, entre el IRC y el rendimiento luminosos de una fuente de luz, de tal forma que a mayor IRC corresponde menor rendimiento.

## 6. MANUFACTURA DE LAMPARAS FLUORESCENTES

En este capítulo se revisa cada paso del proceso de manufactura de lámparas fluorescentes, para mayor facilidad nos apoyaremos en el diagrama de bloques siguiente:

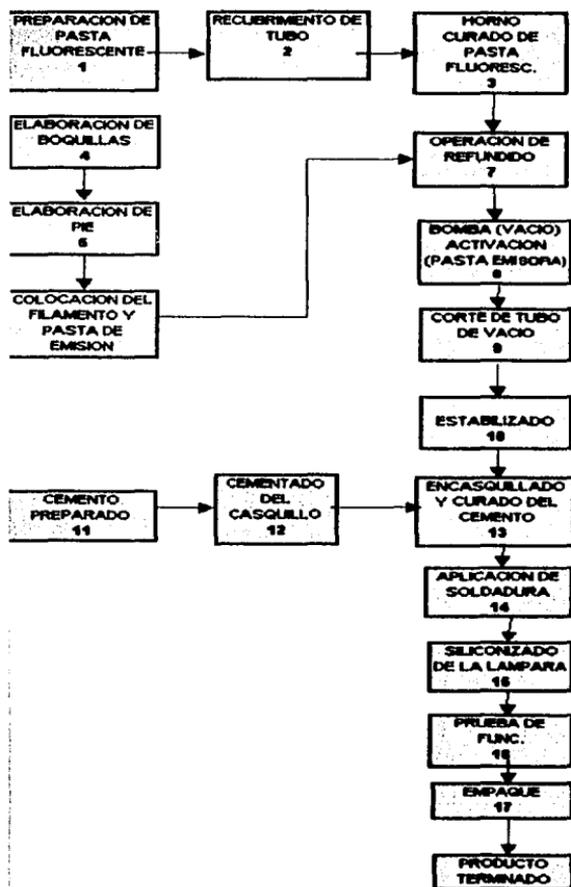


Figura 14. Diagrama de bloques del proceso de manufactura de lámparas fluorescentes

*Luminiscencia* es un proceso para la producción de luz con muy poco calor. La alta energía de radiación es absorbida por un material apropiado el cual entonces emite luz, con los fotones emitidos más baja energía que la excitación por radiación. Cuando el material que exhibe luminiscencia es un sólido este es comúnmente llamado *fósforo*. La excitación por la alta energía de radiación puede ser electrones o iones moviéndose con velocidad moderada, o pueden ser fotones con rangos de energía desde los rayos gama hasta la luz visible con una sola longitud de onda ligeramente más corta que la de la luz emitida.

Los fósforos siempre contienen centros activadores, los cuales son iones específicos ya sean cationes o aniones complejos, formados por un ión metálico de transición altamente cargado y estos rodeando iones de oxígeno. En un mecanismo de luminiscencia un electrón de la frontera del centro activo es excitado por la radiación incidente para llegar a un nivel de energía por encima de su estado fundamental, pero permanece quieto en la frontera en el ión específico. Una parte de la energía absorbida es perdida como energía vibratoria en los iones que rodean el sólido y el electrón deja para estos más bajos el estado excitado. Estos almacenan la energía en este estado por un rango de tiempo de  $10^{-9}$  segundos hasta 10 segundos, y entonces retorna a su estado en la frontera con radiación de energía como un fotón.

El espectro de un sólido incandescente es una banda muy amplia, generalmente con pico en el infrarrojo. Esta anchura de banda y la posición del pico, así como la intensidad de emisión, están determinados casi enteramente por la temperatura del sólido. La temperatura de color del sólido en grados Kelvin es el camino usual para especificar el espectro de emisión. El espectro de un átomo o ión en el estado gaseoso contiene una multiplicidad de angostas líneas determinadas por la configuración electrónica del ión emitido. En contraste a estos tipos de luz, el espectro de emisión de un fósforo depende no solamente en el ión formando el centro activador pero también en la naturaleza, simetría, y distancia de los iones circundantes. Normalmente esta es una banda simple

la cual puede variar en anchura, en la media del pico, desde 30 hasta 160 nm. Los fósforos además tienen un espectro de excitación característica entonces cuando la luz ultravioleta es el origen de su excitación.

Previo a la introducción de las lámparas fluorescentes en 1938, la investigación sobre fósforos era llevada a cabo principalmente en instituciones académicas, pero desde entonces, los laboratorios industriales han venido a ser los mayores centros de investigación para estos.

Los fósforos para lámparas fluorescentes se dividen en cuatro clases:

Tabla 3. Fósforos para lámparas fluorescentes

Grupo fundamental	Tipo	Color
Fosfatos	"Halo-fosfato" de calcio (Mn, Cl, Sb, variable)	Blanco
Silicatos	Silicato de Bario	Azul-morado
	Silicato de calcio, plomo y manganeso	Rojo-anaranjado
	Ortosilicato de zinc	Verde
Volframatos	Volframato de magnesio	Azul-verdoso
	Volframato de calcio y plomo	Azul
Boratos	Borato de cadmio	Rosa

Algunos se han usado en el pasado y se han abandonado por alguna razón, y se sabe que hay otras clases que están siendo objeto de intensas investigaciones. Uno de los fósforos que no se usan ya (desde 1948) es el silicato de zinc y berilio, abandonado a causa de la toxicidad de los compuestos de berilio y de la superior luminiscencia de sustancias nuevas. Como sucede con cualquier otro tipo producto de esta naturaleza, son muchos los incentivos para continuar con esta investigación. El costo es siempre un punto de importancia fundamental; pero otros factores técnicos, como el color, el rendimiento, la capacidad para cubrir y la adherencia son de importancia igual o mayor.

En los "haló fosfatos" de calcio (haluro + fosfato,  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaX}_2$ , (donde X puede ser F ó Cl), la variación en la cantidad de manganeso, cloro o antimonio proporcionan un procedimiento para alterar el resultado espectral y de esta manera pueden alcanzarse blancos de una "temperatura de color" más alta o más baja (temperatura de un radiador calorífico que teóricamente daría la misma distribución espectral). Esos ingredientes añadidos sirven como activadores y están en solución sólida en la red cristalina de la sustancia que sirve de base. Ejercen una influencia bien definida sobre el grado de fluorescencia y las líneas espectrales producidas con la misma. En la siguiente tabla se pueden observar algunas de las características de los fósforos, por supuesto existen miles de ellos.

Tabla 4. Características de algunos fósforos fluorescentes.

TIPO	FORMULA QUIMICA	EMISION COLOR	COLOR TEMPERATURA O PICO	50% ANCHO DE BANDA (nm)	NOTACION O APLICACIONES
2212	(La,Ce,Tb)PO <sub>4</sub> :Ce,Tb	VERDE	546nm	6	TRIFOSFORO COMPONENTE
2213	(La,Ce,Tb)PO <sub>4</sub> :Ce,Tb	VERDE	546nm	6	TRIFOSFORO COMPONENTE
2285C	Za2S4O4:Mn	VERDE	527nm	40	WILLEMITA
2286C	Za2S4O4:Mn	VERDE	528nm	40	WILLEMITA
2301	MgWO <sub>4</sub>	AZUL	473nm	118	MEZCLA DE LUJO COMPONENTE
2340	Y2O3:Eu	ROJO	611nm	4	TRIFOSFORO COMPONENTE
2342	Y2O3:Eu	ROJO	611nm	4	TRIFOSFORO COMPONENTE (ALTO BRILLO)
242	(Ba,Tl)2P2O7:Tl	AZUL-VERDE	494nm	143	MEZCLA DE LUJO COMPONENTE
4300	CaS(F,Ci)(PO <sub>4</sub> )3:Sm,Mn	BLANCO CALIDO	3000K	72	
4350	CaS(F,Ci)(PO <sub>4</sub> )3:Sm,Mn	BLANCO	3500K	76	
4380	CaS(F,PO <sub>4</sub> )3:Sm,Mn	AMARILLO	3800K	71	
4450	CaS(F,Ci)(PO <sub>4</sub> )3:Sm,Mn	BLANCO FRIO	4200K	85	
2011C	BaSi2O5:Pb	LUZ NEGRA	351nm	38	MEDICINA, FOTOCOPIADORAS LUZ NEGRA, BRONCEADO
2052	SiB4O7:Eu	LUZ NEGRA	371nm	18	FOTOCOPIA, LUZ NEGRA BRONCEADO
2092	(Ba,Ca)MgAl11O19:Ce	LUZ NEGRA	344nm	59	MEDICINA, BRONCEADO
2162	Si2P2O7:Eu	LUZ NEGRA	420nm	29	FOTOCOPIADORAS (LAMP. PEGUEÑAS)

EL COLOR DE UNA LAMPARA FLUORESCENTE ES UNA COMBINACION DE LA EMISION DEL FOSFORO LA DESCARGA DEL MERCURIO Y EL GAS DE LLENADO

UNA DESCARGA SOLA DE NEON PRODUCE UNA EMISION ROJA Y AGREGA ROJO CON EL PIGMENTO, POR EJEMPLO UN FOSFORO CON EMISION AZUL DARA COLOR ROSA DEBIDO AL EFECTO DEL NEON

LOS FOSFOROS BLANCO FRIO Y LUZ DE DIA POR EJEMPLO SON UNA COMBINACION DE FOSFOROS ROJO, AZUL Y VERDE PARA ABRANCAR TODO EL RANGO DE COLOR Y DAR LUZ BLANCA

La moderna lámpara fluorescente de cátodo caliente fue primero producida comercialmente en 1938 y tuvo un efecto revolucionario en la iluminación de almacenes, oficinas, y fabricas. Este es básicamente un aparato simple consistente de un tubo largo sellado que en su superficie interna esta recubierto con una delgada capa de uno o más fósforos. Cada extremo del tubo esta provisto

con un filamento de Tungsteno recubierto con una mezcla de óxidos de tierras alcalinas, recubren el cátodo. Los cátodos recubiertos emiten electrones eficientemente en temperaturas relativamente bajas. Los electrodos conectados a estos filamentos están sellados junto al vidrio en el extremo del tubo, permitiendo un origen para ser conectados a la corriente alterna. Esta corriente alterna calienta los filamentos y también soporta una descarga de arco a lo largo de la longitud del tubo. En el proceso de fabricación, el tubo es primeramente completamente evacuado y entonces llenado con argón u otro gas raro a una presión de unos cuantos milímetros; una pequeña gota de mercurio es agregada antes de que el tubo sea sellado.

La lámpara fluorescente más familiar en los Estados Unidos es la F40T12. Los números especifican el wattaje (40 watts) y el diámetro del tubo en unidades de 1/8 de pulgada. La longitud total es de aproximadamente 48 pulgadas. Pero existe una gran variedad de lámparas que van desde 4 hasta 215 y de diferentes longitudes además de diferentes diámetros, los más conocidos T5, T8 y T12. En todas las lámparas fluorescentes la corriente del arco es controlada por un balastro externo diseñado para operar con un tamaño específico y tipo de lámpara.

En la descarga de arco dentro de la lámpara, la corriente es llevada por electrones y los iones de mercurio difundidos en direcciones opuestas junto al campo eléctrico creado por el voltaje aplicado. Los iones de mercurio son también creados por impactos electrónicos. El exceso de energía en estos iones excitados es convertida dentro de los fotones en luz visible y ultravioleta durante el regreso a su estado fundamental. La mayor parte de la radiación consiste de fotones de ultravioleta con una longitud de onda característica de 254 nm. La radiación ultravioleta es absorbida por el recubrimiento de fósforo y convertida en luz visible. Desde ese momento esta conversión es responsable por cerca del 95 % de la luz emitida por la lámpara, el fósforo determina el color de la luz emitida y en un largo grado la eficiencia de la lámpara.

La investigación sobre fósforos hizo un mayor esfuerzo en la industria de las lámparas al termino de la Segunda Guerra Mundial, y muchos miles de materiales fluorescentes han sido descubiertos. Todavía son pocos los fósforos utilizados para la producción de lámparas debido a los severos requerimientos que deben de cumplir en la manufactura y operación de las lámparas.

Estos requerimientos son:

1. - Fuerte absorción de la emisión ultravioleta del arco de mercurio.
2. - Muy baja absorción de luz visible.
3. - Eficiente conversión de la radiación ultravioleta absorbida dentro de la emisión visible fluorescente.
4. - Estabilidad cuando son expuestos a la radiación ultravioleta, y bombardeo por iones y electrones, por miles de horas.
5. - Estabilidad cuando son expuestos a oxidación o atmósferas reductoras arriba de 700 °C por cortos períodos.
6. - Formación de suspensiones no floculadas en soluciones que contienen polímeros orgánicos.
7. - Fabricarse como un polvo, con un rango de tamaño de partícula controlado.
8. - Facilidad de fabricación, con temperaturas y atmósferas rápidamente atenuables.
9. - Disponibilidad de material con alta pureza.
10. - Reproducibilidad de color de valores exactos.

El rango preferido de tamaño de partícula para fósforos usados en lámparas fluorescentes es de 5 a 30 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). El recubrimiento es aplicado por suspensión del polvo en una solución que conteniendo un polímero orgánico, un plasticizante, un agente dispersante y un solvente apropiado. Esta suspensión es llevada a fluir a través del tubo, resultando en la depositación de una delgada capa tanto como una película de pintura. Después de la inspección para eliminar los tubos con defectos de apariencia en pintura, el componente orgánico es removido homeando a una temperatura cerca de la temperatura de ablandamiento del vidrio, permitiendo la adherencia del fósforo al bulbo en una capa porosa. El grosor requerido de esta capa esta determinado por el coeficiente de absorción para el ultravioleta y las propiedades de esparcimiento del polvo, el cual esta controlado por el tamaño de partícula. Se ha descubierto que aproximadamente el 99% de la luz ultravioleta es absorbida por el recubrimiento. Esto es obvio puesto que un material con un bajo coeficiente de absorción para el ultravioleta requerirá una capa más densa con un eficiente absorbedor. La luz fluorescente emitida es también parcialmente absorbida por el recubrimiento; y un bajo coeficiente de absorción para luz visible, junto con una delgada capa, son prerequisites para el más eficiente desempeño.

En la operación del homeado, la combustión de los materiales orgánicos resulta en una fuerte reducción de la atmósfera cerca de las partículas en la película seguida por el quemado, y en una atmósfera oxidante después como el flujo de aire caliente continuo. El fósforo activado por el estaño divalente, trivalente cerio, y cobre monovalente son completamente sensitivos al homeado, y en algunos casos, no pueden ser usados exitosamente con la presente tecnología.

La larga vida de las modernas lámparas fluorescentes, la cual es debido a la mejora del diseño de los cátodos, requiere que el fósforo tenga una estabilidad excepcional. Estos son siempre gases residuales absorbidos sobre el fósforo, los cuales no son removidos durante el proceso de escape de los gases. Estos son ionizados por la descarga de arco y reaccionan con el fósforo, dañando la

superficie de la capa. Como resultado esto es un gradual decremento en la producción de luz durante la vida de la lámpara. La producción de lúmenes en cualquier tiempo es seguida como una fracción o un porcentaje de la producción original y es llamado el *mantenimiento* en ese tiempo. Un pobre mantenimiento ha sido un factor de importancia que no ha permitido la exitosa aplicación de muchos fósforos.

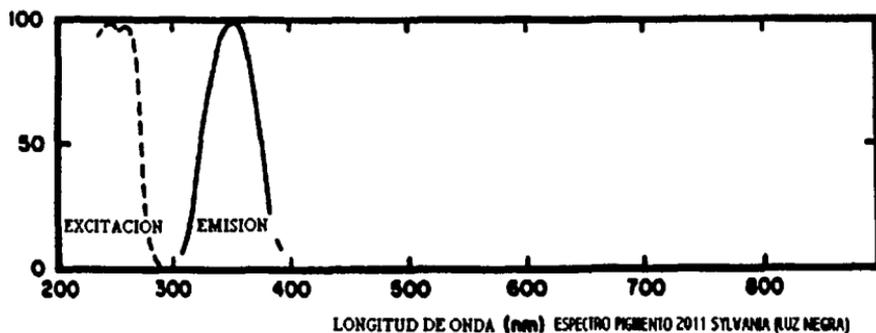
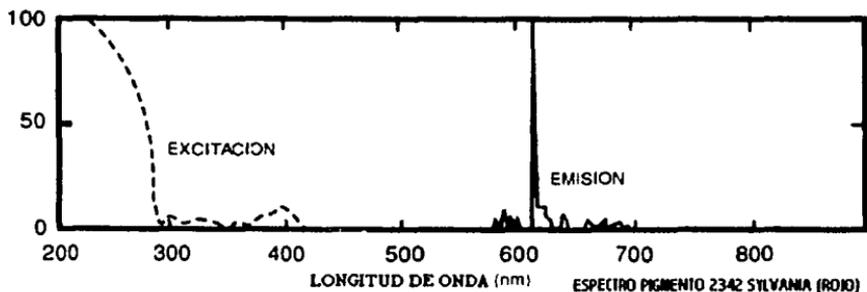


Figura 15. Espectro de algunos pigmentos fluorescentes

## 6.1. Preparación del vidrio

El vidrio usado en lámparas fluorescentes es un vidrio llamado vidrio soda-cal que contiene los siguientes porcentajes y las siguientes características:

$\text{SiO}_2$	73.71%	
$\text{Na}_2\text{O}$	16.4%	Punto de trabajo: 1025°C
$\text{K}_2\text{O}$	0.25%	Punto de ablandamiento: 700°C
$\text{CaO}$	4.8%	Punto de deformación: 514°C
$\text{MgO}$	3.37%	Punto de estiramiento: 473°C
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1.3%	
$\text{Sb}_2\text{O}_3$	0.17%	

cerca de un 16% de  $\text{Na}_2\text{O}$ . Este es hecho por la fundición de arena de cuarzo de alta pureza, ceniza de soda, y sedimento, junto con pedazos de vidrio y otros aditivos. Los aditivos controlan el estado de oxidación de las trazas de hierro llegadas desde las materias primas y asegura que no se generen burbujas.

El vidrio fundido es estirado por una maquina Vello en dentro de un tubo continuo a una velocidad de 500 ft/min para tubos T12. Al final del estiramiento este es cortado a longitudes ligeramente más largas de lo que se requiere para una lámpara. En una segunda operación el tubo es cortado a la longitud exacta y los extremos son formados por calentamiento y rotados para dar un cuello. En la operación de formado del cuello algo de  $\text{Na}_2\text{O}$  es volatilizado y condensado en el interior del

tubo y por efecto de exposición al aire es rápidamente condensado en carbonato de sodio. Es esencial el remover este carbonato antes de que el bulbo reciba el recubrimiento de fósforo, además de otros depósitos adicionales a lo largo de todo el tubo, formados por la acción de aire húmedo del ambiente.

Las lámparas circulares, las curvas y todas aquellas que formas diferentes a una línea utilizan bulbo que se fabrica con oxido de plomo, ambas clases de vidrio absorben luz ultravioleta y transmiten principalmente luz visible. Las lámparas germicidas que serán discutidas más adelante utilizan vidrio similar al cuarzo que transmite radiación ultravioleta.

## 6.2. Métodos de recubrimiento.

Originalmente, las lámparas fluorescentes son recubiertas individualmente, usando aire presurizado para forzar que la suspensión de fósforo arriba en el interior del tubo alcance la parte superior del extremo del cuello y entonces dejar que esta drene por todo el interior del tubo a una velocidad controlada.

Este tipo de recubrimiento ha sido rápidamente reemplazado por el recubrimiento de arreglos de tubos en carros de 7\*9 es decir de 63 tubos, como primer paso los tubos son lavados en volúmenes grandes con agua desionizada recirculada a través de un tanque. El segundo paso consiste en secar el tubo rápidamente con una corriente de aire caliente. De aquí los tubos son llevados a un cuarto de recubrimiento, este cuarto tiene humedad y temperatura controlada. El recubrimiento se hace utilizando un tanque de almacenamiento de suspensión del cual es bombeada la suspensión hacia un deposito con una altura por arriba del nivel de la parte más alta de los tubos de allí la pintura cae por gravedad a una pistola múltiple de aplicación manual con válvulas cónicas, entonces los tubos son recubiertos en hileras en unos cuantos segundos. El exceso de suspensión es colectado y

recirculado al tanque de almacenamiento, aprovechando así al máximo el material y optimizando el proceso.

Después de esto los carros con tubo recubierto son llevados a un cuarto o túnel de secado donde por medio de aire caliente a baja velocidad son secados, la velocidad del aire, el contenido de solvente y la viscosidad de la suspensión deben de ajustarse de tal manera que al momento de ser secados se forme una fina película uniforme a lo largo de todo el tubo. Al final del secado los tubos son removidos de los carros, inspeccionados en una mesa con iluminación inferior se separan los tubos que tengan problemas de apariencia y los restantes pasan al horneado de la suspensión y a la siguiente parte del proceso que es el armado de la lámpara. El proceso de recubrimiento y secado puede llevar desde 30 minutos hasta tres horas dependiendo de la longitud del tubo.

Además de este arreglo de recubrimiento en carros, existe el más moderno de los tipos de recubrimiento de tubo que se refiere al recubrimiento automatizado, utiliza suspensión base agua, mientras que el otro generalmente requiere suspensión base solvente y este tipo de recubrimiento se realiza en un tiempo de aproximadamente 10 minutos para un tubo con una longitud de 44.43 pulgadas (F39T12)

La selección entre el tipo de sistema a utilizar depende de la línea de armado de lámparas, porque para una línea diseñada para poder producir lámparas de diferentes longitudes desde 22.76 pulgadas (F20T12) hasta

92.79 pulgadas (F215T12), el sistema de recubrimiento no puede ser automatizado debido a que se tendrían que variar muchísimo las condiciones del proceso de recubrimiento del tubo, mientras que para una línea de armado de lámparas diseñada para solamente producir un tipo de lámparas el

sistema de recubrimiento si puede ser automatizado puesto que las condiciones de proceso no cambiaran.

### 6.3. Vehículo del recubrimiento.

Dos distintos tipos de vehículo en el recubrimiento son utilizados en el presente. El primero usa solventes orgánicos combinados con un formador de película (binder) y plastificante. La película fluorescente para el recubrimiento de un tubo tiene que ser blanda para prevenir tiramiento fuera del vidrio y debe contener la mínima cantidad de binder con relación al fósforo para facilitar el quemado fuera de la película de los componentes orgánicos. Los binder usados en este tipo de recubrimiento son de alta viscosidad y son del tipo nitrocelulosa o etil-celulosa. Estos son materiales especialmente seleccionados con una muy pequeña cantidad de trazas inorgánicas cuando son quemados, y dan la más alta viscosidad posible cuando son disueltos en el solvente apropiado.

El vehículo del recubrimiento es preparado en dos pasos. El binder, el plastificante y el solvente son primero mezclados juntos por un tiempo suficiente hasta formar una solución homogénea que dará una alta viscosidad a la pintura ("laca"). Cuando se requiere esta laca es diluida con la adición de la mezcla de solventes para dar al vehículo de la pintura la viscosidad adecuada. Si la suspensión final del recubrimiento no tiene la viscosidad específica, una corrección puede ser hecha agregando cualquiera de los solventes de la laca, las composiciones típicas aproximadas de las lacas son como sigue (en % peso):

Tabla 5. Laca con Nitrocelulosa

MATERIAL	% PESO
Nitrocelulosa (peso seco)	5
Etanol (con nitrocelulosa)	2.5
Acetato de Butilo	87.5
Dietil ftalato	5

Tabla 6. Laca con Etilcelulosa

MATERIAL	% PESO
Etilcelulosa	6.2
Dibutilftalato	3.2
Xilol	86.3
Butanol	4.3

El Butanol es utilizado para atrapar cualquier traza de agua en la solución basada en el vehículo base xilol.

El segundo tipo de vehículo usa agua como solvente. Mientras que tales vehículos tienen ciertas ventajas como es el bajo costo y el nulo impacto ambiental en comparación con el uso de solventes

orgánicos. Sin embargo estos vehículos también ofrecen algunas dificultades para su uso. La floculación, resultando en una pobre apariencia, tiende a ser más severa en agua que en solventes orgánicos. Agentes antiespumantes son necesarios para prevenir la formación de burbujas durante el recubrimiento. Inhibidores para prevenir el crecimiento de moho durante el almacenamiento tienen que ser usados. El ciclo del secado posterior a la aplicación del recubrimiento es delicado para controlar.

Como ejemplo de vehículo en base agua se utiliza un compuesto llamado Poli óxido de etileno el cual proporciona las propiedades reológicas que se requieren tanto en la preparación como en la aplicación.

Estas características son: en la preparación, aporte de viscosidad, asistente en la dispersión; y para la aplicación, facilita la transferencia del pigmento al sustrato (tubo), da nivelación, buen escurrimiento y evita la floculación del pigmento. La adición de aproximadamente 2% peso de poli óxido de etileno basada en el fósforo seco provee significativamente la adherencia de la suspensión de fósforo al tubo de vidrio durante el secado y previo al horneado. En base solvente la adición por ejemplo es de 7% peso de etil-celulosa basada en fósforo seco.

La proporción de vehículo por peso de binder a fósforo es substancialmente más baja que la proporción usada con vehículos base solvente. El proceso de secado es radicalmente diferente. Con vehículos orgánicos, el secado es efectuado por un suave flujo de aire caliente.

Si el mismo proceso de secado fuera utilizado con los vehículos base agua, se tendría floculación, seguido por una muy pobre apariencia. Para evitar esto, la película debe de secarse muy rápidamente por medio de un flujo rápido de aire, muy caliente. Esto previene también que la pintura se drene por la parte baja del tubo, teniendo más uniformidad en el espesor del recubrimiento.

#### 6.4. Preparación de la suspensión.

Para la preparación de la suspensión se utiliza un componente más que formara parte del recubrimiento, este es el óxido de aluminio, el cual proporciona soporte y adherencia a la capa de pigmento con el sustrato (vidrio), otras características apreciadas son que favorece la emisión uniforme de luz y disminuye la corrosión que causa el mercurio en la lámpara terminada.

Existen dos tipos de preparación que dependen del tamaño de partícula que tenga el fósforo primordialmente, estos pueden ser utilizados independientemente de si va a ser en base agua o solvente, por supuesto en base solvente se deben tener ciertas medidas de seguridad adecuadas al comportamiento de los solventes.

#### 6.5. Preparación en molinos de bolas giratorios.

Los molinos consisten en un cilindro circular de porcelana o cuerpo de acero con recubrimiento de alumina en su interior, el cilindro se encuentra en posición horizontal y tiene una pequeña compuerta en su cuerpo para permitir la adición de los materiales, en el interior de este cilindro se encuentra un lecho de piedras, perlas o bolas hechas de cerámica de alumina de alta densidad con una pureza no menor a 87% prensada con cemento portland o de sílica o piedra caliza con un diámetro de  $\frac{3}{4}$ " a 1"; el molino debe girar a una velocidad que permita que las piedras choquen, el molino gira a una velocidad aprox a 30 revoluciones por minuto.

Se utiliza este tipo de preparación en fósforos con tamaños de partícula grande puesto que el golpeteo entre las piedras favorece la disminución del tamaño de partícula del fósforo. Se agrega el fósforo, el óxido de aluminio (el cual va en una relación peso de 2.3% respecto al fósforo seco), el binder y el solvente, se cierra el molino y se pone a girar por el tiempo que se requiera hasta obtener el tamaño de partícula deseado, se agrega más binder y solvente para facilitar la descarga

del molino, se recomienda el mantener la viscosidad por encima del valor requerido para la aplicación, posterior a esto la suspensión ya puede ser utilizada haciendo un ultimo ajuste de la viscosidad adecuado al sistema de aplicación. Pero antes de introducirla en el sistema de aplicación es necesario que esta suspensión sea pasada por una malla filtro adecuada para retener las impurezas que pudieren ocasionar defectos en la apariencia del tubo recubierto, esta misma operación se realiza posterior a la preparación en tanques con agitación.

#### 6.6. Preparación en tanques con agitación.

Este tipo de preparación se utiliza cuando los fósforos ya tienen un tamaño de partícula adecuado para su utilización y lo único que se requiere es llevarlo a la solución. Se agrega primeramente el vehículo, seguido por el solvente inmediatamente se pone en funcionamiento el agitador del tanque y después se agrega el óxido de aluminio y el fósforo para posteriormente agregar más solvente, se le da un tiempo de integración necesario de 1 a 3 horas, para que al final de este tiempo la suspensión este lista para su utilización realizando un ultimo ajuste de la viscosidad a los parámetros que requiera el sistema de aplicación. Cabe recordar que para base agua tal vez se requiera la utilización de aditivos los cuales los fabricantes ya tienen establecidas las concentraciones a utilizar así como el momento en que deben de ser adicionados.

#### 6.7. Homeado del bulbo.

La película seca de fósforo y binder sobre la superficie interior del tubo contiene etil-celulosa y dibutilftalato, a lo largo junto con agente dispersante orgánico y trazas de xilol y butanol. Todos estos compuestos serán removidos antes de la formación de la lámpara en una operación conocida como homeado.

El horno usado es de aproximadamente 3 metros de largo y es básicamente un sistema transportador continuo que lleva los tubos a través de una sección caliente que mantiene una temperatura en el rango de 450 a 550 °C. El transportador es un grupo de rodillos rotatorios de acero montados en una cadena continua. Los tubos son soportados entre dos de estos rodillos de acero y son mantenidos rotando continuamente, así se asegura un calentamiento uniforme. El origen del calor es un arreglo de quemadores cerámicos de gas los cuales pueden estar en la base o en el techo del horno. Múltiples controles son usados para asegurar la uniformidad de la temperatura a lo largo de la longitud del tubo y para permitir cambios en la velocidad del calor arriba. A causa del uso de quemadores de gas para el calentamiento la atmósfera ambiente dentro del horno es muy baja en oxígeno por lo que no se tiene una apropiada combustión del binder. Esta condición es corregida por la utilización de pequeñas boquillas que inyectan una pequeña corriente de aire. También se utilizan inyectores de aire para modificar velocidades de flujo tanto para los incrementos de temperatura.

La pirolisis de una capa de etil-celulosa que contiene halofosfato ha sido cuidadosamente estudiada utilizando cromatografía de gases junto con un espectrógrafo de masas para determinar la composición de los gases envolventes formados durante la combustión la figura siguiente muestra los resultados obtenidos con flujo de aire variable a 650 °C junto a un tubo con una sección recubierta central en la zona caliente. En flujos de aire bajos el componente mayoritario es el monóxido de carbono; en adición se tienen cantidades sustanciosas de metano y etileno resultantes de la ruptura térmica de la etilcelulosa. También se forma agua pero esta no es precisada. Con el incremento del flujo de aire todos los tres de estos componentes en la salida de los gases decremента casi exponencialmente. Como se esperaba el bióxido de carbono se incrementa. Aún con flujo de aire alto, este tiene algunas cantidades de metano y etileno indicando la continua ruptura térmica de la etil-celulosa. Esto ha sido verificado por la observación

cuantitativa de un aparente fundimiento de una capa sola de etil-celulosa, acompañada por la deposición de un material amarillo en la porción fresca de la salida al extremo del tubo. El dibutilftalato que es usado como plastificante, tiene un punto de evaporación de  $340^{\circ}\text{C}$  y aparece para ser destilado fuera del recubrimiento sin apreciable descomposición y colectado en la salida fresca al final del tubo. El dibutilftalato condensado fue fuertemente coloreado por la descomposición de la etil-celulosa si este estaba presente en la composición del recubrimiento.

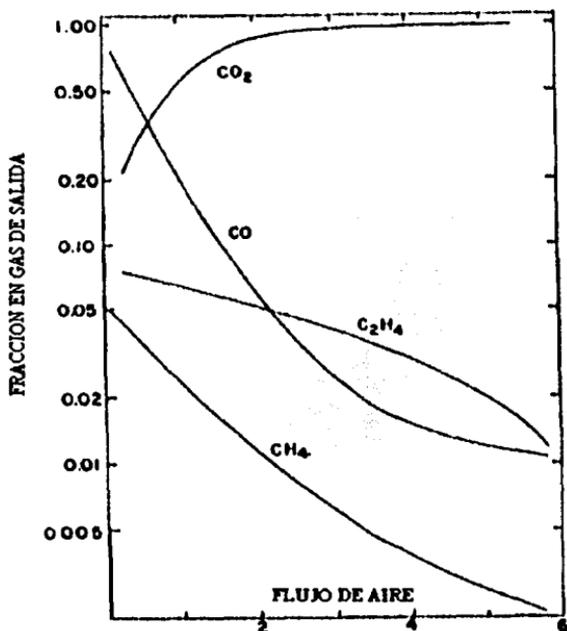


Figura 16. Composición de los gases envolventes durante la combustión con flujo de aire variable a  $650^{\circ}\text{C}$ .

La uniformidad de la temperatura es chequeada por el homeado de tubos recubiertos con una mezcla que contiene vanadato de amonio. Este compuesto se descompone y forma óxidos de vanadio que tienen diferentes coloraciones. El grado de oxidación depende críticamente de la temperatura y los diferentes acabados proporcionan un rango de color con el que pequeñas diferencias en la temperatura pueden ser detectadas rápidamente.

#### 6.8. Espesor de la película y porosidad.

Mientras la capa de fósforo sobre el bulbo por el recubrimiento y el proceso de homeado es razonablemente uniforme, esta tiene algunas variaciones de extremo a extremo en cuanto al espesor del recubrimiento. Estas variaciones son debido al método de recubrimiento pues como el método es por gravedad y al mismo tiempo se esta llevando a cabo el secado, entonces veremos que la parte superior del tubo tiene un espesor menor que el centro y este a su vez tiene un espesor de recubrimiento menor que el extremo inferior. La variabilidad en un tubo de 40T12 se muestra en la figura siguiente. La parte superior muestra una variación en el brillo. La porción central muestra la variación en la densidad del recubrimiento precisado en unidades arbitrarias. La conversión de estas unidades arbitrarias a reflectancia, precisada a través de la superficie del vidrio, y el peso aproximado de polvo por pulgada cuadrada de superficie para fósforos de halo fosfato es mostrado en la parte baja de la figura.

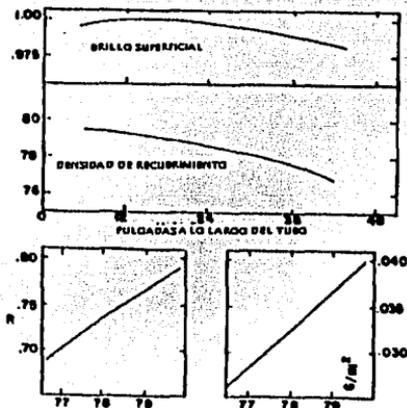


Figura 17. Variación del brillo, densidad de recubrimiento en un tubo de 40T12

A causa del tamaño variable y forma de las partículas de fósforo, ellos hacen contacto uno con otro en una forma muy irregular, dejando huecos entre las partículas los cuales son considerablemente más grandes que el que se obtendría con los obtenidos por partículas esféricas. Con esferas de igual diámetro en cualquiera de los dos arreglos posibles, hexagonal o cúbico, el volumen de los huecos es de 25.95% del volumen total de espacio ocupado. Nosotros podemos expresar esta diferencia como el radio del espesor real por el espesor teórico. El espesor teórico puede ser obtenido por perfecto acomodamiento de cubos no permitiendo huecos. Para el acomodamiento de esferas esta proporción es  $100:74.05 = 1.35$ . Algunos investigadores han realizado estudios matemáticos del fortuito empaque de esferas de variable diámetro el cual sugiere un limite bajo de aprox. 13% para el volumen que tiene los huecos, dando una proporción de espesor de  $100:87 = 1.15$ .

El espesor real del recubrimiento de fósforo sobre una capa de lámpara fluorescente con halo fosfato como fósforo es del orden de 20 a 40  $\mu\text{m}$  y tiene un muy elevado volumen de huecos.

El espesor teórico puede ser calculado del peso por unidad de área y la densidad del halo fosfato. Un estudio muestra que el espesor real es extrañamente influenciado por el peso (o volumen) proporción de binder a fósforo en el vehículo. Con el vehículo base solvente esta proporción es del orden de 0.05, dando una proporción de espesor de 2.5:3.5. Con vehículos base agua la proporción binder fósforo puede ser reducida a 0.01 dando una proporción de espesor de 1.5:1.8. La figura siguiente muestra las variaciones de proporción de espesor cuando la relación binder/fosforo es variable.

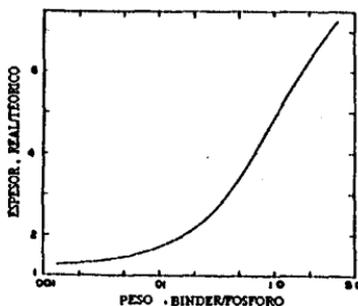


Figura 18. Variaciones de proporción de espesor cuando la relación binder/fosforo es variable.

El principal factor determinante en el espesor real es la concentración de la película húmeda. Mientras la viscosidad es baja, las partículas migran con cierta libertad y son movidas por la tensión superficial en la película la cual mueve las partículas acercándolas. Un efecto opuesto resulta de la rápida evolución de los gases durante el horneado, tendiendo a separar las partículas.

#### 6.9. Deterioración del fósforo en el horneado.

Si bien la operación del horneado es un paso esencial en la manufactura de lámparas, este tiene un efecto adverso sobre la luz de salida de todos los fósforos. Un efecto adverso es debido a la

migración de sodio desde el vidrio al fósforo que esta en contacto con este. Esta migración se incrementa rápidamente conforme la temperatura de horneado aumenta, resultando en una pobre apariencia. Esto es una considerable variación en la magnitud del efecto, puesto que la degradación en presencia de sodio varia considerablemente dependiendo del fósforo. En relativamente pocos casos, el sodio afecta la luz inicial de salida de la lámpara, y la composición del fósforo.

#### 6.10. Armado de la lámpara.

Paralelamente al proceso de preparación de la suspensión, recubrimiento, secado y horneado del tubo se lleva a cabo la preparación de lo que serán los extremos de la lámpara (también llamados pie), la preparación se lleva a cabo en tres pasos:

##### 6.10.1 Elaboración de la boquilla

**Boquilla:** tramo de tubo de vidrio con uno de sus extremos formado en ángulo llamado plato que es de sección plana circular y es el diámetro mayor de la boquilla

La boquilla es aquella pieza que soportara los electrodos. Para la elaboración de la boquilla se parte de un tubo de vidrio de diferentes diámetros, de acuerdo a la lámpara a fabricar, se fabrica realizando un calentamiento gradual por medio de una llama que utilizará Gas L.P. como combustible, enriquecida con oxígeno y aire, se corta y se le da forma al plato, adicionalmente se utiliza una llama que contiene gas L.P., oxígeno, aire y bióxido de azufre, la función del bióxido de azufre es ser un lubricante al momento de dar forma al plato favoreciendo la plasticidad del vidrio y evitando la formación de fisuras dando un acabado homogéneo. La pieza de vidrio así formada, denominada boquilla, se enfría lentamente para eliminar cualquier tensión que pudiera

presentarse en el vidrio. La combustión del Gas L.P. en presencia de oxígeno permite alcanzar una mayor temperatura de flama, y lograr una combustión completa del gas.



Figura 19. Elaboración de la boquilla

Los tubos de boquilla y tubos de vacío son conocidos como vidrio plomo, ya que tienen aproximadamente un 21.5% de óxido de plomo el cual los hace maleables y no quebradizos.

Durante el proceso de fabricación de boquilla se disminuye considerablemente el porcentaje de plomo en la zona de formado del plato de la boquilla con el fin de poder hacer la unión entre el plato de la boquilla y el cuello del bulbo, parte de la composición química del vidrio es similar al vidrio del bulbo. La composición química del vidrio para boquilla y tubo de vacío es la siguiente:

SiO <sub>2</sub>	61.0%	
PbO	21.5%	Punto de trabajo: 985°C
Na <sub>2</sub> O	7.7%	Punto de ablandamiento: 628°C
K <sub>2</sub> O	7.45%	Punto de deformación: 432°C
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.1%	Puno de estiramiento: 392°C
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15%	
CaO	1.10%	

### 6.10.2 Elaboración del pie

**Pie:** Es el componente de la lámpara, constituido por una boquilla, dos electrodos, filamento y pasta de emisión.

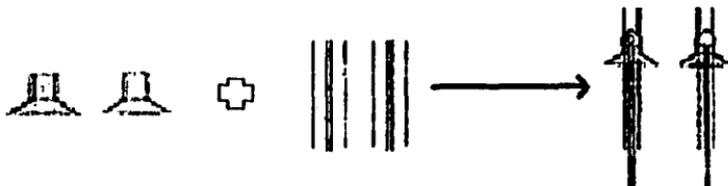


Figura 20. Elaboración del pie

Los dos electrodos y el tubo de vacío se centran en el orificio del ensanchamiento, el conjunto se calienta a unos  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se presanan todas las piezas juntas y se deja enfriar la pieza obtenida. Tanto los electrodos como los tubos de vacío pasan por encima y por debajo de la prensa. El extremo superior del tubo de vacío se reblandece y en su extremo se forma un botón. Inmediatamente antes de solidificarse el soporte, aire a presión introducido hace en aquél un agujero, que después es la única abertura que quedará en el tubo cerrado.

Los electrodos de entrada están formados por tres piezas. Una parte crítica de los electrodos es la que atraviesa el pie. Para que la dilatación y la contracción sean razonablemente compatibles, esta parte (de una longitud inferior a  $13\text{ mm}$ ) se forma sometiendo un manguito de cobre y un núcleo de níquel-hierro a una serie de operaciones de estirado. El material resultante se llama metal Dumet. Esta combinación proporciona algunas propiedades apreciadas en la manufactura de lámparas tales como una expansión térmica muy cercana a la del vidrio, resistividad electrónica deseable en un amplio rango de lámparas y aplicaciones electrónicas, un muy alto punto de fusión y buena resistencia a la corrosión. La porción de los conductores que está debajo del soporte (esto

es la que queda fuera de la lámpara una vez que esta fue finalmente sellada) es de cobre y tiene una longitud aproximada de 5 cm. Con frecuencia se inserta en una de esas ramas exteriores una sección de pequeño diámetro de manganeso-níquel para que sirva de fusible. La tercera parte de los electrodos internos (que después constituye el sostén del filamento) es con gran frecuencia de níquel.

### 6.10.3 Colocación del filamento y pasta de emisión

La última parte en colocarse al pie es el filamento. Para las lámparas comunes, esto se hace automáticamente; para muchas lámparas, el filamento tiene una forma tan complicada que es imposible el emplear métodos automáticos, el filamento es un alambre de volframio enrollado en espiral la cual puede ser sencilla o doble. Una sección de 20 mm (para lámpara T12) se sujeta firmemente por los dos extremos en ganchos hechos en el extremo interno de níquel de los electrodos. El níquel es lo suficientemente blando para que el volframio quede incrustado en él formando contacto permanente a baja resistencia.

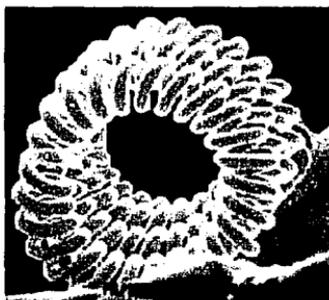


Figura 21. Filamento doble de Volframio

El filamento es recubierto con una mezcla de carbonatos de Estroncio, Bario y Magnesio. La función de estos carbonatos es la de inducir el paso de la corriente eléctrica hacia el interior de la

lámpara. Sin este recubrimiento, el filamento de una lámpara fluorescente actuaría como una mera resistencia, y como se ha visto la producción de luz en una lámpara fluorescente no es a través de la incandescencia del filamento.

Puesto que la lámpara fluorescente tiene dos extremos, cada lámpara exige dos pies. Una de ellas está construida con un tubo para la extracción del aire, teniendo mucho cuidado de que este tubo no quede cerrado durante la formación del pie. Puesto que este tubo se utiliza para introducir unas cuantas gotas de mercurio en las fases finales de la fabricación de la lámpara, algunos fabricantes toman medidas adecuadas para impedir que este mercurio se adhiera a la pared del tubo. Un método consiste en usar vapor de etiltriclorosilano, que reacciona con una película de agua que pueda haber en la pared y deja un revestimiento hidrófobo de resina de silicón sobre el vidrio, de modo que éste no será mojado por el mercurio.

#### 6.10.4 Cátodos

Estrictamente hablando, el espiral o electrodo en cada extremo de una lámpara fluorescente funciona como un cátodo solo durante el período en que está emitiendo electrones. Esto es sólo durante la mitad del ciclo. Durante la otra mitad está recibiendo electrones y por lo tanto funciona como un ánodo. Sin embargo, en la industria de lámparas, es práctica común llamarle al electrodo cátodo.

Los cátodos están revestidos por un material emisivo que además llena los espacios entre las vueltas del filamento. Este material emite electrones cuando está caliente y evita la necesidad de aplicar un voltaje mayor a las lámparas de cátodo caliente y de arranque rápido para lograr la formación del arco. Cuando la lámpara está funcionando, el arco hace contacto con el cátodo en un punto. Paulatinamente, pequeñas partículas del material de revestimiento son desprendidas del

punto de contacto hasta que todo el revestimiento ha desaparecido del cátodo. Cuando esto sucede la lámpara no arranca, llegando por lo tanto al fin de su vida útil.

### 6.10.5 Refundido

El refundido es la operación donde se realiza la unión y el sellado entre el tubo que sale del horno y la boquilla del pie todo esto se lleva a cabo por medio de una aplicación gradual de calor.

El pie previamente al refundido es sometido a un calentamiento ligero evitando así que un calentamiento brusco provoque estrelladura del plato del pie. La unión se lleva a cabo en una maquina que colocara el tubo sobre el plato del pie (El manejo del tubo es en forma vertical), ira calentando la orilla del plato y realizara pequeñas compresiones continuas entre el tubo y el pie favoreciendo un sellado perfecto, inmediatamente se procede a realizar el mismo paso en el otro extremo del tubo para esto el tubo es volteado.

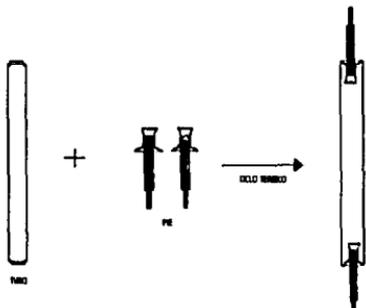


Figura 22. Refundido.

### 6.10.6 Vacío, Activación de pasta emisora e inyección de mercurio

El siguiente paso en el armado de la lámpara fluorescente consiste en la extracción del aire. Como sucede con todas las lámparas es un paso muy crítico. El lavado con argón contribuye bastante a reducir impurezas; es posible que se repita hasta cinco veces en el breve ciclo del vaciado. Durante este se "activan" los cátodos (cuando el pie forma parte de la lámpara se llama cátodo).

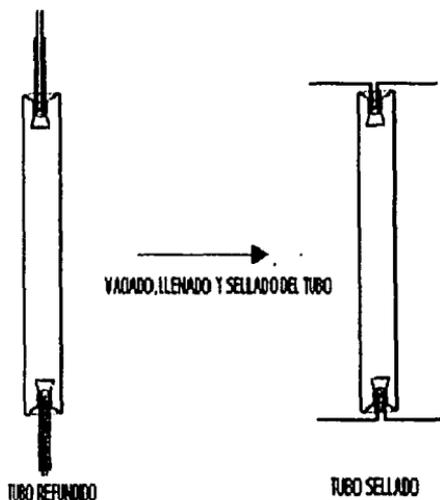


Figura 23. Vaciado, llenado y sellado del tubo.

Esta operación consiste en calentarlos haciendo pasar una corriente eléctrica que transforma en óxidos los carbonatos del material de emisión. Los productos de esta descomposición son eliminados al extraer el aire. Inmediatamente antes de cerrar el tubo es necesario que quede lleno de argón puro a una presión predeterminada (del orden de unos cuantos milímetros) y que el mercurio en forma de gotas medidas con mucha minuciosidad sea introducido por el tubo de vacío. Enseguida se cierra el tubo de vacío con llama de gas.

### 6.10.7 Estabilizado

**Estabilizado:** Es el proceso donde la lámpara es encendida con un voltaje mas alto que el nominal de trabajo y es encendida y apagada, para eliminar pequeñas cantidades de contaminación dentro de la lámpara.

También llamado envejecimiento, que es una continuación de la transformación de los carbonatos en óxidos por una descarga de arco ligeramente superior a la de trabajo, que contribuye a expulsar los gases y las impurezas del cátodo de la trayectoria normal del arco. Naturalmente, las impurezas restantes son muy pequeñas, pues de lo contrario resultaría seriamente afectado el funcionamiento de la lámpara durante su vida.

### 6.10.8 Preparación del cemento.

El cemento inicialmente es un polvo preparado de carbonato de calcio, resina fenolica, resina de silicón y además contiene un pigmento termo sensible como indicador (generalmente verde de malaquita), la función del indicador es que una vez que el casquillo cementado sea colocado en la lámpara y el fraguado se realice, este indicador cambiara de color al cemento de esta manera se puede verificar que el cemento se encuentra ya en condición de cumplir sin ningún problema su función de adhesivo.

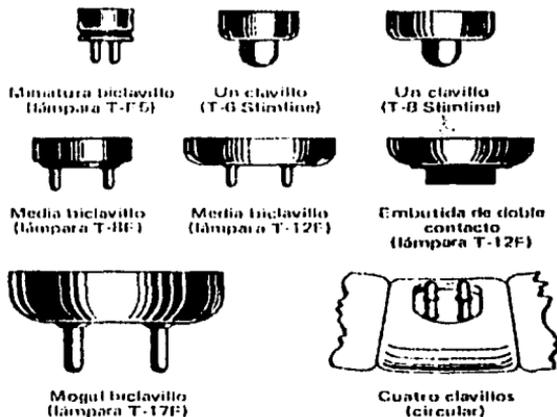
El cemento en polvo es colocado en un molino de doble aspa giratoria, donde se le agrega el aglutinante que generalmente es alcohol.

### 6.10.9 Cementado del casquillo.

Una vez preparado el cemento este es llevado a una maquina con un pistón y una boquilla donde será introducido para que ya sea en forma automática o en forma manual sea accionado el pistón para que empuje el cemento, se abra la boquilla y se deposite el cemento en el casquillo.

En las lámparas fluorescentes se usan casquillos metálicos. El casquillo sirve para proteger la punta de tubo por la que se practica el vacío, como dispositivo para establecer las conexiones eléctricas y para proporcionar cierto grado de inter cambiabilidad dimensional. En la siguiente figura se pueden apreciar los tipos de casquillo más comúnmente utilizados.

Así como existe una gran diversidad de lámparas fluorescentes también existe una gran diversidad de casquillos que en la mayoría de los casos depende del funcionamiento de la misma como se vera más adelante.



Bases típicas de lámparas fluorescentes.

Figura 24. Bases típicas de lámparas fluorescentes

### 6.10.10 Encasquillado y curado del cemento.

El casquillo es colocado en cada uno de los extremos de la lámpara para posteriormente por medio de calentamiento directo o indirecto se lleve a cabo el curado del cemento.

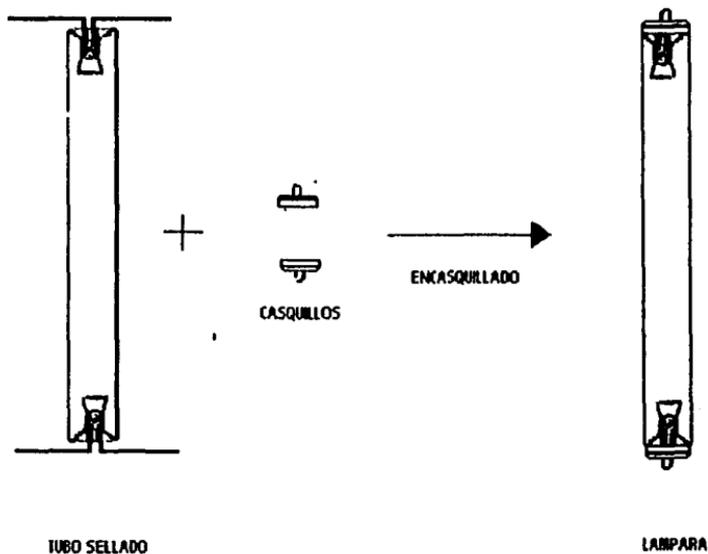


Figura 25. Encasquillado de la lámpara fluorescente

### 6.10.11. Aplicación de soldadura.

Las conexiones eléctricas se hacen soldando o remachando los conductores de cobre a las clavijas del casquillo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 6.10.12. Siliconizado de la lámpara.

Un punto importante en el diseño es el tratamiento que se da a muchos tipos de lámparas para eliminar la humedad, en especial a las usadas para el arranque instantáneo con voltajes mínimos en el circuito. Este tratamiento se hace por medio de silicón. Una vez terminada la lámpara se le aplica en el exterior una solución de aceite de silicón al 2% en agua. Haciendo esto, el voltaje máximo necesario en el circuito para el arranque no es disipado por un revestimiento superficial de humedad.

El aire húmedo alrededor de la lámpara puede formar una película de humedad sobre la superficie del tubo. Esta película ofrece un paso para que escapen pequeñas corrientes de electricidad, lo cual reduce el voltaje a través de los cátodos, impidiendo la formación del arco. En otras palabras un alto grado de humedad del aire origina condensaciones de agua en la superficie de la lámpara que la enfrían, haciendo necesarias tensiones de arranque más elevadas.

#### 6.10.13. Prueba de funcionamiento.

En este punto todas las lámparas pasan por un probador donde se asegura que la lámpara funcione correctamente o básicamente que encienda.

#### 6.10.14. Empaque.

Una vez que la lámpara ha sido probada esta se empaqueta dentro de una funda de papel (cuando el tamaño lo permite) y después en una caja de cartón.

#### 6.10.15. Variaciones

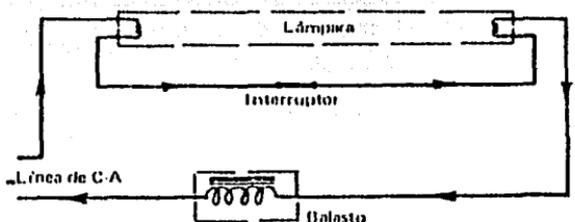
Puesto que existen varios centenares de lámparas fluorescentes "normales", es normal que aparezcan variaciones. La forma del cátodo es un punto importante en el diseño. Puede ser una espiral triple, puede tener brazos adicionales que sirven como ánodos durante cada medio ciclo de la corriente alterna o puede tener otras modificaciones. Tal vez la diferencia más grande se encuentra en la llamada lámpara de cátodo frío (En la lámpara de cátodo caliente la emisión electrónica depende directamente de la temperatura). El cátodo de la lámpara de cátodo frío suele ser hueco, de 10 mm de diámetro y 13 mm de largo. Puede estar o no-revestido de un material de emisión. El flujo de electrones depende de la diferencia de voltaje suministrada por el circuito exterior; pocas veces la temperatura del cátodo excede de 300 °C.

## 7. PRINCIPIOS BASICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAMPARAS FLUORESCENTES.

La corriente eléctrica se ha definido como un flujo de electrones a través de un circuito, pero el conductor no tiene que ser necesariamente un alambre. Un gas ionizado conduce corriente eléctrica y al hacerlo también irradia energía. Es posible quebrar la resistencia del trayecto entre dos electrodos y aplicar un voltaje suficientemente alto entre sus extremos para causar la formación de un arco. Sin embargo si los cátodos de una lámpara fluorescente se precalientan, de ellos emana una nube de electrones que facilita la formación del arco con un voltaje menor. Los circuitos de algunas lámparas fluorescentes dependen directamente del voltaje que se aplique, mientras que otras calientan los cátodos primero.

### 7.1. Circuito simple de precalentamiento para lámparas fluorescentes.

El circuito más sencillo para una lámpara fluorescente es el circuito de precalentamiento como se indica en la figura, este tipo de circuito esta formado por dos cátodos, un interruptor y el balastro. Como la corriente es alterna, fluye en el circuito primero en una dirección y luego en la dirección opuesta. Si la frecuencia es de 60 ciclos, este proceso se repite 120 veces por segundo. Para ilustrar la dirección del flujo de corriente en la figura se han colocado flechas que indican la dirección de ésta en un instante determinado. En un instante  $1/120$  de segundo antes o después del señalado, la dirección del flujo de corriente será en la dirección opuesta. Dependiendo de la longitud de la lámpara y del voltaje de línea, el balastro puede ser del tipo transformador o reactor. El tipo indicado en la figura es un reactor.



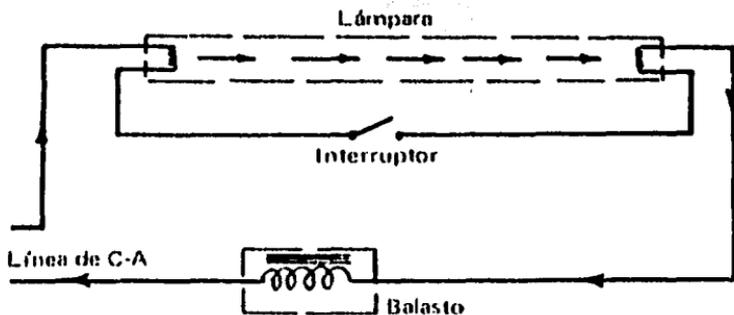
Circuito sencillo de precalentamiento con el interruptor de arranque cerrado.

Figura 26. Circuito sencillo de precalentamiento con el interruptor de arranque cerrado.

Con la corriente circulando en la dirección indicada en la ilustración, ambos cátodos se vuelven incandescentes y con la ayuda del revestimiento emisor emiten electrones. Estos electrones ionizan el gas argón cerca de los cátodos convirtiéndolo en un mejor conductor de electricidad. Si se examina una lámpara fluorescente sin el revestimiento de fósforo en este momento de su funcionamiento, se notaría un resplandor azulado rodeando cada cátodo. Este resplandor es una indicación de la ionización.

## 7.2. Comportamiento del arco.

Cuando se interrumpe una corriente que esta circulando a través de una bobina de reacción, se induce momentáneamente en la bobina un voltaje más alto que el voltaje aplicado, esto es debido a que la pérdida del campo magnético induce un voltaje en la bobina. Cuando se abre el interruptor indicado en la figura anterior este impulso adicional de voltaje se aplica a los cátodos de las lámparas y causa la formación de un arco entre ellos. La corriente fluye en la manera indicada en la figura siguiente.



Flujo de corriente con el interruptor de arranque abierto.

Figura 27. Flujo de corriente con el interruptor de arranque abierto.

El calor producido por el arco de argón convierte el mercurio líquido en vapor y el arco se convierte en un arco de vapor de mercurio.

El filamento conduce cierta corriente de acuerdo al voltaje aplicado, ya que su resistencia aumenta a medida que se calienta. Esto no sucede en el caso del arco cuya resistencia es menor a medida que se calienta, de modo que si no se controlara, traspasaría todos los límites y destruiría la lámpara. Esta es la razón más importante del balastro ya sea una reactancia, un condensador o una resistencia.

### 7.3. Energía producida por el arco.

La energía producida por un arco de vapor de mercurio no se propaga suavemente a lo largo de las ondas visibles. Al contrario, se amontonan en lo que se llaman líneas mercuriales tal como se muestra en la figura siguiente. Nótese que algunas de ellas se encuentran fuera de la gama visible. La proporción de la energía total en las líneas depende de la presión a la que opera el arco.

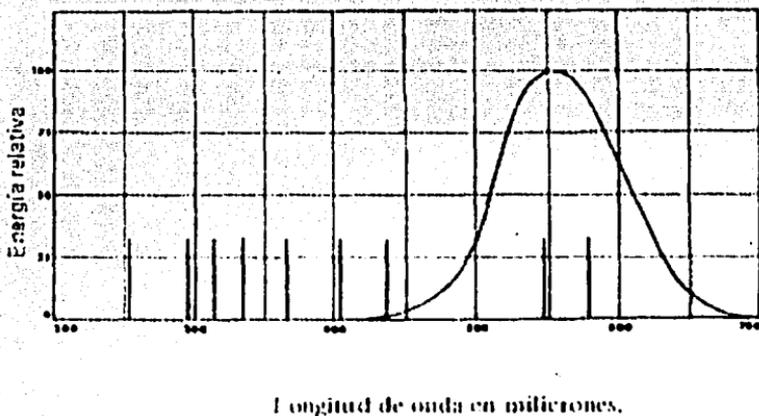


Figura 28. Longitud de onda en milímetros.

La lámpara fluorescente funciona a baja presión y casi toda la energía del arco de mercurio se emite en una luz invisible en la línea correspondiente a 2537 Å. Si se observa una lámpara fluorescente sin el revestimiento de fósforo, se vería un arco verde azulado, pero es solo una pequeña parte de la energía total irradiada en la zona visible.

#### 7.4. Circuitos.

En la figura que vimos del flujo de corriente con el interruptor de arranque abierto, el interruptor es de operación manual como los de las lámparas fluorescentes de escritorio, en las cuales se oprime un botón que cierra el circuito y se suelta enseguida para abrir el circuito de arranque y encender el arco. Con más frecuencia el interruptor es automático y se llama arrancador. El tema de los arrancadores se verá más adelante. Hasta 25 watts de capacidad, las lámparas fluorescentes funcionan con un balastro sencillo de reacción, pero las de mayor longitud y wattaje necesitan más

de 120 volts para arrancar. Para este tipo de lámparas, el balastro tiene que actuar no solo como una bobina de reacción, sino también como transformador para elevar el voltaje de la línea sea mayor de 120 volts. En grandes plantas industriales se usan algunas veces voltajes de 220 ó 250 volts. En estos casos las lámparas grandes pueden operar con balastros de reacción.

#### 7.5. Balastros de adelanto-retraso y efecto estroboscópico.



Figura 29. Balastros

Las corrientes en adelanto y las corrientes en retraso que se producen en los circuitos con lámparas fluorescentes son importantes. El arco de mercurio aparece y desaparece 120 veces por segundo cuando la frecuencia de la corriente alterna es de 60 ciclos. Debido a que el fósforo continúa brillando mientras el arco desaparece el recubrimiento no se oscurece totalmente cuando la corriente cambia de dirección.. No obstante hay una rápida variación en la emisión de luz. En algunos casos, estas variaciones en la emisión de luz son conocidas como el efecto estroboscópico, un objeto que se desplaza a velocidad uniforme parece que se estuviera moviendo bruscamente.

Los fósforos que se usan actualmente tienen períodos de retención más prolongados que los usados antes y por eso es raro tener dificultades causadas por el efecto estroboscópico. Sin embargo si existe la posibilidad de que se presente el efecto estroboscópico, se pueden usar los balastos de adelanto y retraso. Un balastro de este tipo se usa con dos lámparas. Una de ellas se opera en serie con una bobina de reacción y la otra en serie con un condensador. La bobina produce una corriente retrasada y el condensador produce una corriente adelantada y por lo tanto, las lámparas funcionan desfasadas entre sí y las oscilaciones de luz no ocurren simultáneamente. El resultado es que una lámpara está brillante cuando la otra está opaca y viceversa. Esto reduce el efecto estroboscópico.

#### 7.6. Importancia de la calidad del balastro.

La forma de una onda es llamada algunas veces perfil de onda o factor de forma. La figura siguiente ha sido trazada de una fotografía del voltaje aplicado a una lámpara fluorescente. Es interesante notar los picos agudos y elevados de esta onda en comparación con la suave onda sinusoidal que debería de tener. La forma defectuosa de onda que indicamos en la figura es causada por diseño de calidad inferior o mala construcción del balastro. Una forma defectuosa de onda puede acortar la vida de una lámpara y causar efecto estroboscópico, ruido en el balastro y radio interferencia.

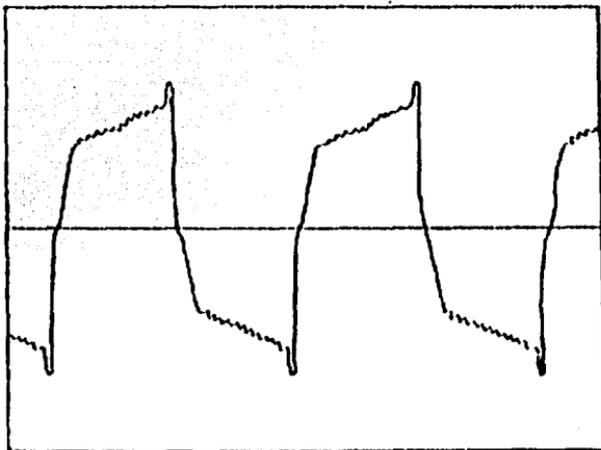


Gráfico de una onda deficiente correspondiente al voltaje aplicado a los terminales de una lámpara fluorescente conectada a un balastro de mala calidad.

Figura 30. Gráfico de una onda deficiente por balastro de mala calidad

No se intenta describir todos los tipos de balastros detalladamente, sino que nos limitaremos a describir un tipo para demostrar que un balastro es un dispositivo muy complejo y que el costo de un buen balastro puede resultar bastante alto.

#### 7.7. Circuitos y balastros para lámparas fluorescentes.

El diagrama indicado en la Figura 31 nos muestra un circuito usando un balastro típico de precalentamiento. Además, de la fuente de corriente alterna, las lámparas y el alumbrado, las partes importantes del circuito que están identificadas por medio de las letras son las siguientes:

A. Transformador para aumentar el voltaje.

- B. Bobina de reacción para regular la corriente en retraso en la lámpara inductiva.
- C. Bobina de reacción que conjuntamente con el condensador D regula la corriente en adelanto de la lámpara capacitiva.

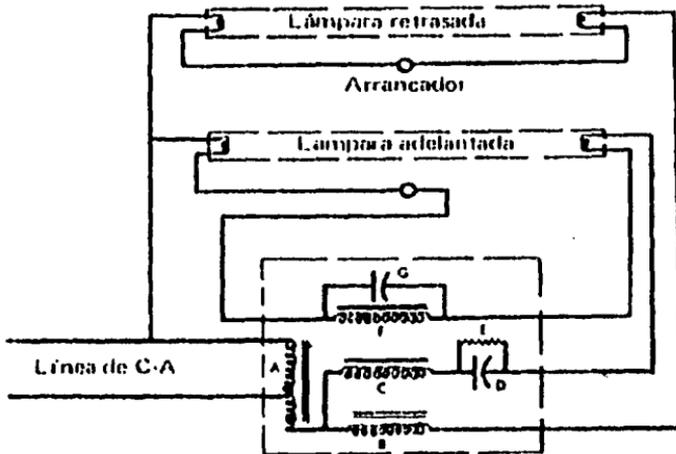


Diagrama de dos lámparas de precalentamiento con balasto de adelanto y retraso.

Figura 31. Diagrama de dos lámparas de precalentamiento con balasto de adelanto y retraso.

- D. Condensador que causa la corriente en adelanto en la lámpara adelantada.
- E. Pequeña resistencia que tiene muy poco efecto en la operación del balasto y que se usa para descargar el condensador cuando las lámparas se apagan. Esta resistencia se incorpora en el circuito a fin de evitar que cualquier persona que este trabajando en el circuito después de

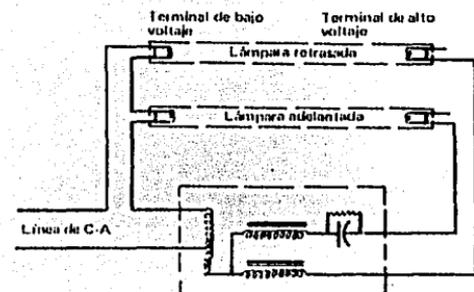
apagadas las lámparas reciba una descarga como resultado de la carga dejada en el condensador.

- F. Compensador de arranque que consiste en una bobina reacción conectada en serie con el arrancador. En las lámparas de 15 a 40 Watts, la corriente de arranque debe ser considerablemente más alta que la corriente de operación. El uso del condensador en serie con la bobina de reacción, hace de esta combinación casi un dispositivo de corriente constante y no permite que fluya suficiente corriente para facilitar el arranque. El compensador desajusta el balance del circuito capacitivo y permite un mayor flujo de corriente, pero solamente durante el período de precalentamiento cuando el arrancador funciona. Frecuentemente los compensadores son omitidos en las lámparas de bajo costo.
- G. Condensador pequeño conectado en paralelo con el compensador para eliminar la radio interferencia.

### 7.8. Circuito de arranque instantáneo.

Si suficiente voltaje es aplicado a los terminales de una lámpara fluorescente, se forma el arco sin necesidad de calentamiento previo a los cátodos. Este circuito que usa un voltaje tan elevado se llama circuito de arranque instantáneo. Una lámpara de arranque instantáneo requiere un balastro más grande, de mayor peso y naturalmente más costoso. En las lámparas de arranque instantáneo con base de doble contacto o doble clavillo, los clavillos están conectados entre sí dentro de la base, por lo que es importante notar que una lámpara de ese tipo no debe ser instalada en un circuito de precalentamiento y de igual manera una lámpara de precalentamiento no debe de ser instalada en un circuito de arranque instantáneo.

En la figura siguiente se muestra un circuito de una lámpara de arranque instantáneo.



Círculo de adelanto y retraso para lámparas de arranque instantáneo.

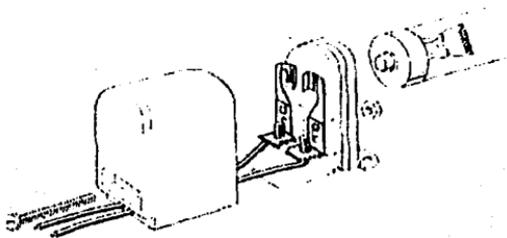
Figura 32. Circuito de adelanto y retraso para lámparas de arranque instantáneo.

Las lámparas de línea fina (slimline) son de encendido instantáneo, pero solo tienen un clavillo de contacto en cada extremo. Su nombre no es muy descriptivo. Originalmente este nombre fue usado para describir las lámparas T-6 y T-8 de un largo máximo de 8 pies, pero para completar el surtido se han incluido otros tamaños. Así una lámpara de T12 de 40 watts se puede obtener en el tipo de precalentamiento, arranque rápido, arranque instantáneo y slimline.

Con las lámparas de arranque instantáneo se usa un circuito de seguridad. Si no se toman las precauciones necesarias, un obrero pudiera tocar el clavillo de uno de los extremos de la lámpara con el interruptor cerrado y el otro extremo en el portalámpara de alto voltaje. Esta situación podría causar que suficiente corriente circulara a través del espacio del arco de la lámpara apagada y producirle al obrero un sacudimiento de fuerza suficiente para hacer que se cayera de la escalera.

Por lo tanto, al instalar una lámpara de este tipo en un circuito, es preciso que el extremo de alto voltaje de la lámpara se encaje primero en el portalámpara de resorte y luego el otro extremo en el

portalámpara rígido. Es necesario que ambas lámparas estén en su sitio antes de que el circuito se cierre, para permitir el flujo de corriente a través del transformador en el balastro. Si se sigue el circuito indicado en la figura anterior, se vera que no habrá circulación de corriente si alguna de las dos lámparas está fuera del portalámpara de bajo voltaje. En la figura siguiente se pueden ver los detalles de un portalámpara de bajo voltaje.



Vista ampliada del terminal de bajo voltaje de un portalámpara para lámpara fluorescente de arranque instantáneo con base de un clavillo.

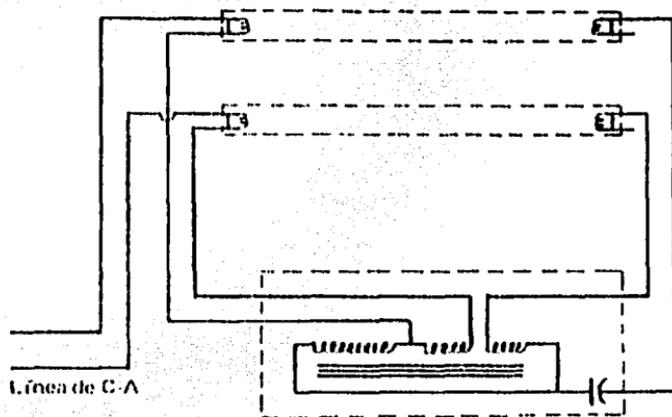
Figura 33. Vista de terminal de bajo voltaje.

#### 7.9. Balastros en serie.

Cuando las lámparas de arranque instantáneo no tienen que funcionar con balastros de adelanto y retraso se pueden usar balastros en serie.

Estos balastros son más pequeños, livianos y más eficientes que los de adelanto y retraso. Tienen el inconveniente sin embargo, que como las lámparas están conectadas en serie, al fallar una lámpara, automáticamente se apaga la otra, lo cual no sucede con el balastro de adelanto y retraso.

La figura siguiente nos muestra un circuito en serie.



Circuito en serie para arranque instantáneo.

Figura 34. Circuito en serie para arranque instantáneo.

En un circuito en serie, las dos lámparas son conectadas de manera diferente en el circuito. Un diseñador de balastos les llamaría la lámpara derivada y la no-derivada. Cuando la lámpara derivada falla, la otra lámpara se apagara también; pero si la no derivada es la que falla primero, los cátodos de la derivada conservaran un fulgor que daña a la lámpara, por lo que es necesario cambiar la lámpara dañada con la mayor brevedad. Es posible que para el momento en que esto suceda, ambas lámparas hayan estado funcionando durante largo tiempo y en este caso lo más aconsejable es reemplazarlas al mismo tiempo.

#### 7.10. Circuitos de arranque rápido.

Aunque el usuario quiera un encendido rápido y desee evitar el uso de arrancadores, es posible que no necesite lámparas de arranque instantáneo. Posiblemente sus necesidades sean satisfechas por

un circuito de arranque rápido, que encenderá las lámparas en un tiempo no mayor de 2 segundos y por lo regular en menos de 1 segundo.

El balastro de una lámpara de arranque rápido es más pequeño, más liviano y más económico que un balastro de arranque instantáneo. Muchos fabricantes de artefactos de iluminación prefieren usar como equipo corriente balastos de arranque rápido, en vez de balastos de precalentamiento, para los artefactos que usan lámparas de 40 watts con base biclavijo. En la figura siguiente se muestra un circuito de arranque rápido con una corriente separada de calentamiento para cada cátodo. Aún después de formarse el arco, continúa el calentamiento del cátodo.

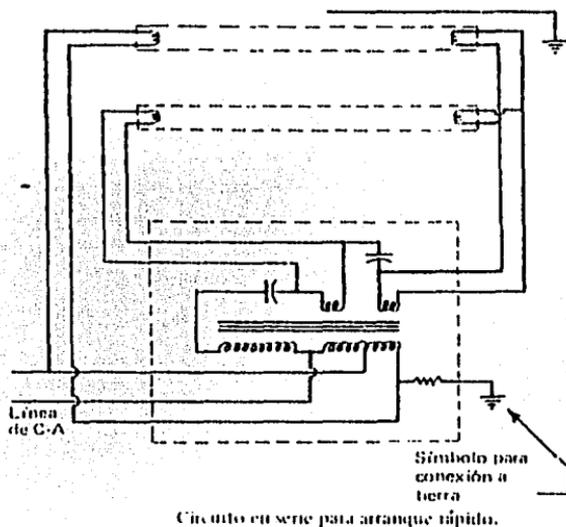


Figura 35. Circuito en serie para arranque rápido

El circuito de arranque rápido tiene especial aplicación en aquellos casos en que la lámpara es encendida y apagada continuamente, como en los anuncios luminosos. Como el cátodo permanece caliente no recibe el impacto ocasionado por cada encendido. Las lámparas de arranque rápido también se usan en los circuitos atenuadores de la intensidad de iluminación. En la figura anterior tanto la caja del artefacto como la del balastro están conectados a tierra.

Los cátodos de las lámparas de arranque rápido son diferentes a los cátodos de las lámparas de precalentamiento. El cátodo de estas últimas está formado por un filamento en espiral, mientras que el cátodo de la lámpara de arranque rápido está formado por un alambre más fino en forma de espiral triple. La espiral triple conserva más material emisor y su tamaño más pequeño le permite usar un voltaje más pequeño para la corriente de calentamiento del cátodo, por lo que la pérdida ocasionada por el calentamiento continuo es poca. El cátodo para las lámparas de arranque rápido es más costoso que el de las lámparas de precalentamiento. Aunque una lámpara de arranque rápido funciona satisfactoriamente en un circuito de precalentamiento, lo mismo no sucede con una lámpara de precalentamiento cuando se instala en un circuito de arranque rápido.

Cuando se vayan a reemplazar las lámparas de arranque rápido, se debe interrumpir la corriente del circuito, a fin de evitar posibles daños a las lámparas nuevas. De no interrumpirse la corriente, puede ser que cuando la primera lámpara haya sido instalada y un extremo de la segunda insertado en el portalámpara, habrá un voltaje completo de circuito abierto entre el otro extremo de la segunda lámpara y su portalámpara. Cuando el segundo extremo se inserte en el portalámpara, es probable que la lámpara arranque instantáneamente, lo cual dañara el cátodo.

#### 7.11. Circuitos arrancadores de disparo.

El circuito arrancador de disparo se indica en la figura siguiente. Este circuito es similar al de arranque rápido en que se suministra corriente para calentamiento continuo de los cátodos, con la

diferencia de que la intensidad de la corriente de calentamiento se disminuye al encenderse la lámpara. Como resultado, lámparas ordinarias de precalentamiento pueden funcionar en este tipo de circuito. Los balastos para este tipo de circuito se fabrican para lámparas hasta de 30 watts de capacidad.

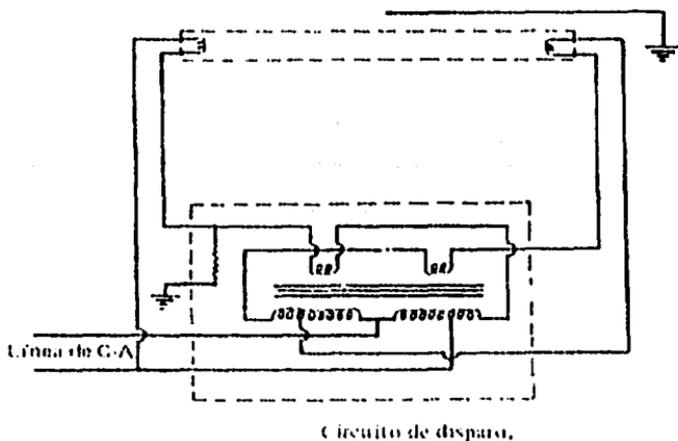
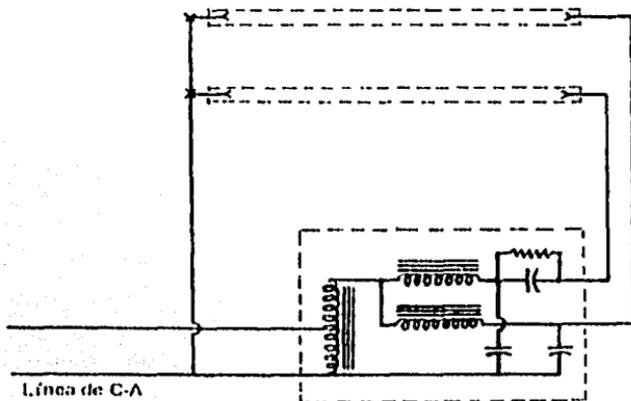


Figura 36. Circuito de disparo.

### 7.12. Lámparas de cátodo frío.

Todas las lámparas descritas hasta ahora se llaman lámparas de cátodo caliente. En las llamadas de cátodo frío, el cátodo es un cilindro en forma de dedo hecho de hierro blando en lugar del filamento. Las designaciones de cátodo caliente y cátodo frío no son muy apropiadas si consideramos que las lámparas llamadas de cátodo frío emiten más calor que las de cátodo caliente por el mismo voltaje.

Al igual que las lámparas de arranque instantáneo y de cátodo caliente, el arco se forma aplicando un alto voltaje a través de los cátodos. Durante mucho tiempo se han venido usando los cátodos fríos en los tubos de neón usados en los anuncios. En realidad si se sustituye el neón por el argón y el mercurio y se usa fósforo dentro del tubo, el resultado sería una lámpara fluorescente. En la figura siguiente se muestra un circuito de dos lámparas de cátodo frío.



. Circuito de dos lámparas de cátodo frío.

Figura 37. Circuito de dos lámparas de cátodo frío

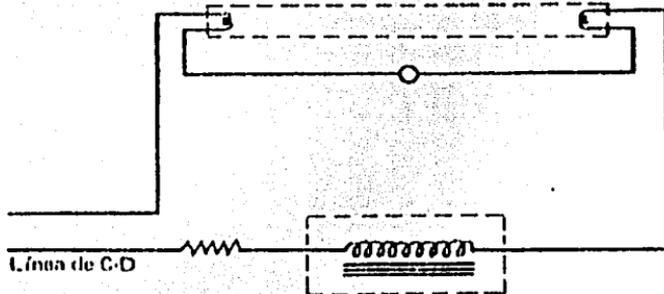
Cuando las limitaciones del voltaje lo permiten, varias lámparas de cátodo frío pueden operar en serie con un transformador de alto voltaje.

Las lámparas de cátodo frío tienen una larga duración, pero son menos eficientes que las de cátodo caliente y su emisión luminosa es menor por unidad de longitud.

Estas lámparas tienen especial aplicación en los anuncios, donde se requieren tubos más finos y que sean más brillantes y blancos que los de neón y que además se puedan doblar para obtener diferentes formas. Las lámparas de cátodo frío se usan en algunos artefactos para iluminación de salones de clases y se usan frecuentemente en instalaciones decorativas que requieran darle forma a los tubos para adaptarlos a contornos de superficies curvadas.

### 7.13. Lámparas fluorescentes en corriente directa.

Las lámparas fluorescentes pueden funcionar con corriente directa pero su eficacia es menor, ya que una resistencia se debe usar como balastro y ésta consume casi tanta energía como la lámpara. También hay que usar un balastro de reacción para producir el impulso inductivo necesario cuando el interruptor de arranque se abre. Sin embargo, la bobina de reacción no tiene efecto limitador sobre la corriente de precalentamiento ni sobre la corriente de operación. A fin de poder controlarla se usa una resistencia conectada en serie con la lámpara y la bobina. En la figura siguiente se muestra un circuito de corriente directa para una lámpara. Como el voltaje no se puede aumentar por medio de un transformador, el uso de corrientes directas está limitado para lámparas de hasta 20 watts para un voltaje de línea de 120 volts. En los trenes subterráneos o metro se han usado lámparas fluorescentes de 8 pies de largo en circuitos de corriente directa de 600 volts. En estos casos se presenta otro problema. Cuando una lámpara fluorescente de más de 3 pies de largo funciona en un circuito de corriente directa, el mercurio se dirige hacia uno de los extremos del tubo el cual se oscurece. Esta oscuridad se extiende más y más a lo largo del tubo. Para corregir esta situación es necesario usar un conmutador reversible de polaridad para cambiar la dirección del flujo de la corriente cada vez que la lámpara es encendida.



Circuito para operación con corriente directa.

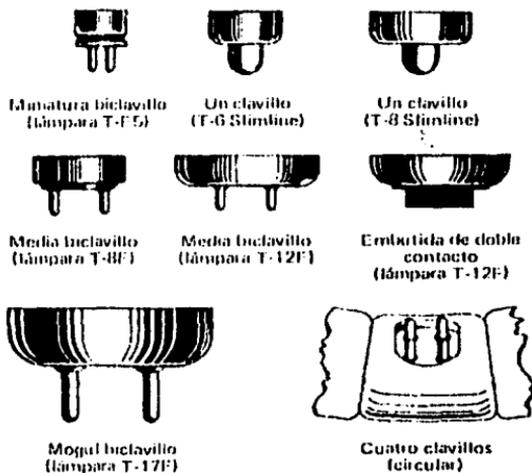
Figura 38. Circuito de operación con corriente directa

#### 7.14. Bases.

Aunque ya se había abordado el tema de las bases utilizadas en las lámparas es importante retomarlas ahora que se está hablando del funcionamiento.

La figura siguiente muestra las bases más utilizadas en las lámparas fluorescentes. Las lámparas slimline tienen bases de un contacto o clavillo.

SEIS CON  
FALSA DE ORIGEN



Bases típicas de lámparas fluorescentes.

Figura 39. Bases típicas para lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes están sostenidas en la caja del artefacto por medio de dos portalámparas, uno a cada extremo. En las lámparas circulares, toda la conexión eléctrica se hace a través de un solo portalámpara. Aunque existen variaciones en los tipos de portalámparas, de acuerdo a los diferentes tipos de montaje, las figuras siguientes muestran los tipos básicos de portalámparas usados en las lámparas fluorescentes. Los portalámparas indicados en la hilera superior de la figura (A) se usan con las lámparas con bases de doble clavillo. En estos portalámparas, la lámpara se inserta con un movimiento de torsión en ambos extremos al mismo tiempo. En los otros tipos de portalámparas, el clavillo de uno de los extremos se inserta en el portalámpara que tiene un resorte incorporado y al empujarlo hacia adentro permite la inserción de los clavillos del otro extremo en su portalámpara.

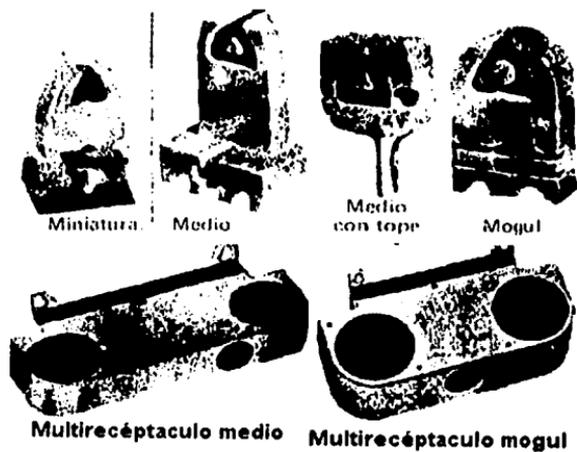


FIGURA A

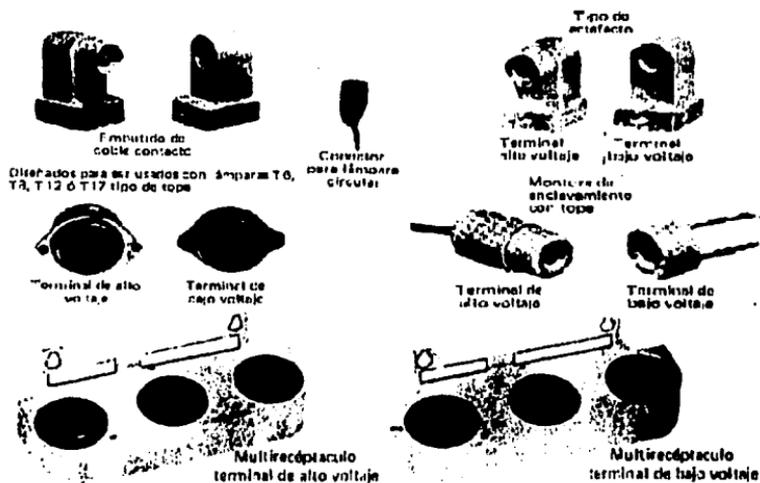


FIGURA B

Figura 40. A y B. Portalámparas típicos.

En el caso de las lámparas slimline, el portalámparas con el resorte es el de alto voltaje, mientras que el de alto voltaje es el rígido. Los portalámparas con receptáculos múltiples para lámparas de base biclavillo, tienen resortes en ambos extremos y se pueden usar indistintamente con lámparas de arranque instantáneo o de precalentamiento. Si el instalador coloca la lámpara primero en el portalámpara de bajo voltaje, no recibirá ninguna descarga eléctrica, ya que le será imposible tocar ambos portalámparas al mismo tiempo.

#### 7.15. Arrancadores.

##### Funciones del arrancador.

Las principales funciones del arrancador son cerrar el circuito de arranque de una lámpara de precalentamiento, mientras los cátodos se calientan y luego abrirlo. Si el arco no se forma en el momento de abrir el circuito, el interruptor debe intentar formar el arco nuevamente, repitiendo la operación de cierre y apertura. Otra función del arrancador es desconectar la lámpara del circuito de arranque después de varios intentos de encenderla hayan fallado.

#### 7.16. Sondas.

Como se menciona en el capítulo anterior, el arco ejerce una acción destructiva sobre el cátodo, pero esta no sucede durante la parte del ciclo en que éste emite electrones. Durante el periodo en que actúa como un ánodo, los electrones lo bombardean causando sobrecalentamiento en las lámparas de alta intensidad de corriente. Este efecto es limitado por el uso de sondas, que son alambres doblados que se proyectan más allá de la superficie del cátodo. Las sondas son usadas en las lámparas de muy alta emisión (VHO-Very High Output), en las T-12 de 215 watts e incluso en las de 110 watts de T-12 y las diseñadas para ser usadas en circuitos de corriente directa.

Las sondas tienen el efecto de aumentar el área del electrodo y reciben parte del bombardeo de electrones cuando el cátodo actúa como ánodo. El efecto de las sondas durante la parte emisiva del ciclo es muy pequeño o nulo, ya que no están revestidas con material emisor.

#### 7.17. Efectos de la temperatura en el funcionamiento.

La temperatura de la pared de una lámpara fluorescente se ve influenciada tanto por el calor que desarrolla la propia lámpara como por la temperatura ambiente y las corrientes de aire.

Las características físicas de las lámparas fluorescentes dependen de su temperatura ambiente. Esto depende de la sensibilidad característica de la temperatura de la presión de vapor del mercurio en la lámpara. En las bajas temperaturas pocos átomos pueden ser excitados. En excesivamente altas temperaturas la alta presión de vapor resultan en un incremento en la absorción en sí misma de la radiación UV generada. Por lo tanto podemos hablar de que las lámparas tendrán su máxima luminosidad en un rango específico de temperatura.

#### 7.18. Lámparas de apertura.

Una lámpara de apertura tiene un espacio claro sin fósforo, mientras que el resto tiene un revestimiento reflector, esta lámpara tiene un alto grado de brillantez, ya que a través de la apertura se puede ver el revestimiento interior de fósforo. Las lámparas de apertura se usan generalmente con reflectores de diseño especial, para iluminación de paredes, de puentes, instalándolas en la baranda y en las pistas de aterrizajes.

#### 7.19. Luz negra y luz negra azulada.

Hay una gama de energía radiante en la zona de 360 nm, esta energía designada como casi ultravioleta tiene la propiedad de hacer que varios tipos de pinturas y colorantes brillen en la

oscuridad. Las lámparas de luz negra son similares a las fluorescentes corrientes con la excepción de que están revestidas de un fósforo que produce radiación casi ultravioleta y radiación visible que debe ser filtrada cuando en algunas aplicaciones se requiere la eliminación de la luz visible.

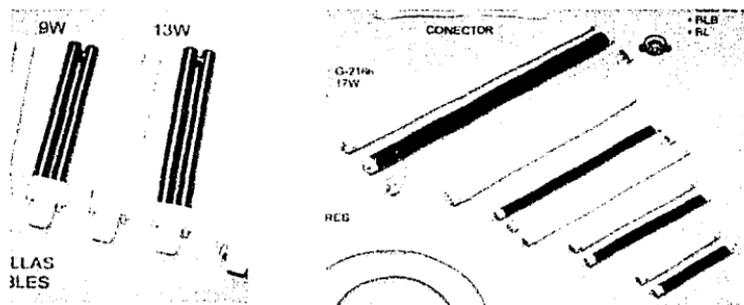


Figura 41. Lámparas de luz negra, normales y germicidas

Las lámparas de luz negra azulada se hacen como las de luz negra, con la diferencia de que el vidrio de la lámpara está hecho con un vidrio especial azul oscuro con filtro que absorbe toda la luz visible y transmite libremente la radiación ultravioleta.

#### 7.20. Lámparas germicidas.

Se explicó anteriormente, que el arco de mercurio en las lámparas fluorescentes produce la mayor parte de la energía alrededor de los 253.7 nm. Si en vez de convertir esta radiación en luz visible, se usa un tubo de vidrio especial permeable, parecido al cuarzo, que permite el paso de la energía ultravioleta generada por el arco, tendremos lo que se conoce como lámpara germicida.

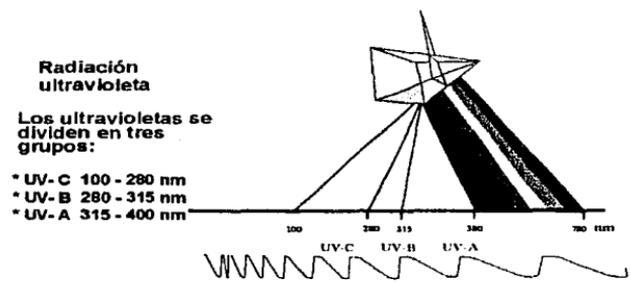


Figura 42. Radiación ultravioleta

Se sabe que la radiación a 253.7 nm mata una variedad de bacterias y gérmenes de moho. Es importante recordar que esta radiación es dañina a la vista y puede causar conjuntivitis y producir quemaduras dolorosas. Por este motivo y a fin de evitar la exposición directa de las personas, estas lámparas deben estar cubiertas por una pantalla o visera.

## Espectro de la radiación UV

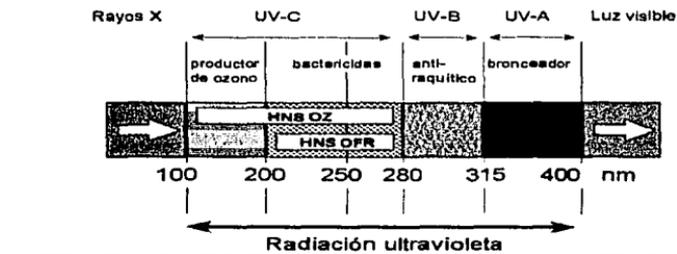


Figura 43. Espectro de la Radiación UV

## 8. ASPECTOS AMBIENTALES DE LA MANUFACTURA Y DISPOSICION FINAL DE LAMPARAS FLUORESCENTES.

Al hablar de los aspectos ambientales que conlleva la manufactura de lámparas fluorescentes debemos enumerar cuales son los puntos que impactan al ambiente, estos son: los solventes orgánicos en la preparación del vehículo base solvente, la utilización de bióxido de azufre para la formación de la boquilla, el mercurio que se introduce en la lámpara, e incluso la soldadura estaño-plomo que se utiliza para la unión de los conductores a los clavillos de la base, iremos revisando cada uno de ellos, pero por supuesto algunos de ellos son inherentes al proceso mismo y algunos otros tienen otras alternativas que deberían de ser consideradas.

Parte fundamental para mantener condiciones seguras en el manejo de cada una de las sustancias es la capacitación que se le da al personal, además de un mantenimiento preventivo que se le da a cada uno de los dispositivos detectores tanto de azufre como de mercurio que se encuentran en las áreas de trabajo.

### 8.1. Uso de solventes orgánicos.

Como se vio en el capítulo 7 donde se aborda la manufactura de lámparas fluorescentes, para cuando se tiene una línea de producción en la que se fabrican lámparas de diferentes longitudes, es un tanto difícil el tener un sistema de recubrimiento base agua cuando el proceso es continuo, además el secado, es un parámetro difícil de controlar en estos casos puesto que para cada tipo de tubo se requeriría un túnel de secado diferente, llegando al extremo de que los parámetros de flujo de aire, temperatura del aire de secado, parámetros de la pintura como lo son densidad, viscosidad, serán diferentes para cada longitud de tubo.

En muchos casos la opción es tener un sistema de recubrimiento desfasado del proceso de producción, es decir, recubrir el tubo con anticipación; esto también depende del volumen de producción que se tenga. Cuando se trata de tubo para lámparas de longitud pequeña se ha observado que no implica grandes problemas pues las condiciones de las que se hablaba son más controlables y el espacio para el almacenamiento del tubo recubierto no es muy grande, pero si hablamos de lámparas donde el tubo que se utiliza es de gran tamaño ya es prácticamente imposible el control de los parámetros además del almacenamiento que ocuparía ya un volumen considerable.

Independientemente de todo esto se sabe que el manejo de solventes implica un mayor compromiso hacia la seguridad desde la recepción de la materia prima, el equipo que se utiliza para la preparación de los materiales así como para el sistema de recubrimiento, no solo hablamos de las condiciones de los equipos que deben de ser a prueba de explosión, el aterrizaje de los recipientes y las estructuras metálicas que pudieran tener movilidad, sino también es de considerar el equipo de seguridad que debe de utilizar el personal y la ventilación que debe existir en cada una de las áreas de trabajo, así como el volumen de compuestos orgánicos volátiles que se descargan al ambiente.

Para el manejo de los solventes el operador utiliza mascarilla equipada contra vapores, además se cuenta con ventilación adecuada asimismo con extractores.

El costo de los solventes orgánicos por supuesto es más elevado que el uso de agua, es importante que se analice el costo beneficio de un cambio de proceso de este tipo, no solo en lo económico sino también en el impacto ambiental que se tiene con el entorno.

## 8.2. Uso de dióxido de azufre.

El bióxido de azufre es un gas incoloro de olor sofocante, es soluble en agua y al mezclarse con ella forma ácido sulfuroso que es muy irritante y corrosivo.

Es un compuesto tóxico se debe evitar cualquier contacto con el cuerpo humano, puede provocar graves daños a la salud, de posibles consecuencias mortales, tóxico por inhalación, irrita los ojos y vías respiratorias la concentración máxima en un lugar de trabajo es de  $2 \text{ ml/m}^3$ ;  $5 \text{ mg/m}^3$ .

La utilización de bióxido de azufre en el formado de la boquilla es inevitable, sin embargo dadas sus características se debe de tener en cuenta que el manejo y el aprovechamiento de este material debe hacerse con la plena conciencia de que es un material peligroso.

Para el correcto uso de Bióxido de Azufre se cuenta con un detector de  $\text{SO}_2$  en las áreas aledañas a donde se utiliza para que en caso de fuga se proceda a checar el porque de la fuga, además de esto por procedimiento se checan las llaves cuando la máquina de elaboración de boquilla no esta funcionando, el equipo donde se elabora la boquilla esta conectado a una campana de extracción que se encarga de la descarga de los gases de combustión y del bióxido de azufre.

## 8.3. Uso del mercurio.

Mercurio:

El mercurio entra en nuestra vida mas frecuentemente de lo que nosotros nos podemos imaginar. Este puede estar en las lámparas fluorescentes, en nuestra oficina, en viejas latas de pintura, en nuestras baterías, en nuestra pasta dental, y otros numerosos productos. En Estados Unidos se tuvieron actividades de procesos de manufactura y en productos utilizando un estimado de 381 toneladas de mercurio en 1997.

Más de medio billón de lámparas con contenido de mercurio incluyendo lámparas fluorescentes y vapor de mercurio son producidas anualmente. De 1989 a 1995, el promedio de contenido de mercurio en las lámparas fluorescentes es de aproximadamente de 48.2 mg a 22.8 mg en el 53% de estas. Reducciones adicionales se esperan; Lámparas Philips anuncio en 1995 que venderá lámparas de 4 pies con un contenido de mercurio menor a 10 mg, Al mismo tiempo las ventas de lámparas fluorescentes se incremento entre 3 y 5 % en ese año. Las emisiones de mercurio resultan del rompimiento de estas lámparas y se estima que son 1.5 toneladas anuales. En 1993, 98 % de estos tubos fueron dispuestos como material de desperdicio sólido en tiraderos municipales, mientras que un 2 % fue reciclado. En Julio de 1999, la EPA agrego las lámparas con contenido de mercurio a la Regulación Universal de Residuos para facilitar su colecta y reciclaje.

La toxicidad del mercurio ya se conocia desde la edad media pero fue en este siglo, en la década de los años cincuenta, tras el incidente ocurrido en Mina mata, Japón, en el que cientos de personas sufrieron daños reversibles e irreversibles, cuando se tomo mas conciencia acerca de los riesgos que este material implica. Dicha intoxicación, fue el resultado de la transformación que sufren los compuestos de mercurio en el ecosistema acuático, en el cual el mercurio se metila para dar metilmercurio que, a su vez, se incorpora a la cadena trófica, bioconcentrándose en cada paso con un factor de concentración de hasta 3000.

El vapor de mercurio entra principalmente por vía inhalatoria y a él están expuestas las personas que trabajan en lugares que utilizan mercurio en algunos de sus procesos de fabricación.

El mercurio se utiliza debido a su línea de resonancia como vapor cuya longitud de onda es de 253.7 nm como ya se reviso los fósforos utilizados transforman longitud de onda del espectro ultravioleta a luz visible, debido a las características del espectro que emite el vapor de mercurio es prácticamente imposible el sustituirlo, sin embargo es necesario puntualizar que debido a sus

características es un material que requiere de un estricto control para su manejo y disposición final, revisando la legislación mexicana se observa que para este material no existe un reglamento como tal en materia de protección al ambiente, sin embargo se incluye un reporte emitido por los Estados Unidos, sobre el tema.

#### 8.4. Disposición en los EU de lámparas fluorescentes y lámparas a vapor de mercurio usadas.

Las lámparas fluorescentes pueden contener mercurio como componente esencial para su operación; una lámpara típica (1.22m) contiene entre 30 y 40 mg de mercurio, por lo cual al evaluar la toxicidad de las lámparas usadas por el método de lixiviación califican como residuos peligrosos al contener más del límite máximo permitido (0.2 mg/l).

El incremento continúa en el empleo de lámparas fluorescentes, de mayor eficiencia que las incandescentes, es causa de preocupación por el destino final del mercurio al convertirse en desechos. La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos estima que se dispone actualmente de cerca de 600 millones de estas lámparas anualmente en ese país, lo que implica la generación de alrededor de 30 mil toneladas de residuos contaminados con mercurio que van a parar a los rellenos sanitarios. Ello conlleva el riesgo de contaminación de cuerpos de agua y de la biota acuática, así como su volatilización y dispersión por el aire. Se sabe que 22 estados de la Unión Americana han limitado o prohibido el consumo de peces de algunos lagos y ríos por su contenido excesivo de mercurio, el cual tiende a concentrarse a través de la cadena alimentaria, desde las pequeñas plantas, pequeños y grandes peces que las consumen, hasta llegar a los seres humanos.

La publicación en 1995 de la Regulación Universal de los Residuos (Universal Waste Rule) en los Estados Unidos, tiene como antecedentes el interés en promover un manejo especial para aquellos residuos que se generan en pequeñas cantidades por múltiples generadores y que pueden ser susceptibles de reciclaje, entre los que se encuentran pilas eléctricas, y termostatos conteniendo

mercurio. Se prevé la inclusión de las lámparas de mercurio en esta regulación, sin embargo, los diferentes estados suelen variar en cuanto a sus especificaciones legales respecto del manejo y disposición final de las lámparas fluorescentes usadas que contienen mercurio.

En el estado de California, por ejemplo un generador puede disponer como desecho no peligroso de no más de 25 lámparas usadas que contengan mercurio, independientemente del tamaño, en cualquier momento en un día, en confinamientos autorizados para tal fin; de lo contrario, requerirá reciclar el mercurio antes de disponer de las lámparas.

Diversos estados consideran que si las lámparas fluorescentes son acumuladas, mantenidas intactas y manejadas en programas ambientalmente adecuadas de residuos, no se les considerará como residuos peligrosos. Otros estados, las manejan de acuerdo con las disposiciones de la Regulación Universal de Residuos. Las lámparas rotas suelen ser consideradas como residuos peligrosos y sus generadores requieren manifestarlas y tener una licencia para su manejo; en algunos casos, si se cuentan con sistemas para la recuperación de los vapores de mercurio ya no se trata a estos desechos como residuos peligrosos. Como en California, también, se han fijado límites a la cantidad de lámparas para considerarlas como residuos peligrosos o no; así por ejemplo. Si se generan más de 1000 kg por mes, se les requiere manejar como residuos peligrosos, mientras que la producción entre 100 y 1000 kg autoriza a su reciclado como residuos no peligrosos; cantidades menores a 100 kg pueden ser enviadas a ciertos confinamientos especializados y autorizados para ello, a condición que no se libere el mercurio al ambiente.

Las lámparas fluorescentes pueden ser recicladas para recuperar 80% de vidrio y 15% de aluminio, además del mercurio; ello implica sin embargo, contar con procesos adecuados de reciclado (de preferencia cerrados para evitar la exposición de los trabajadores a los vapores de mercurio).

La incineración de residuos conteniendo mercurio puede dar lugar a la emisión de vapores conteniendo este metal (se estima que los 187 incineradores instalados en Estados Unidos emiten alrededor de 34 toneladas de mercurio al año); razón por la cual no se considera que sea método adecuado para la disposición final de este tipo de residuos.

Para el manejo de mercurio se utilizan guantes de polietileno o de nitrilo que eviten el contacto directo con este además su manipulación se realiza en una campana de extracción para evitar la inhalación de vapores de mercurio, y se realizan monitoreos de vapor de mercurio en ambiente laboral.

En caso de haber algún derrame se utilizan absorbentes, los cuales se envasan para ser enviados al proveedor para que el se encargue de su disposición.

## 9. NUEVAS ESPECTATIVAS PARA LAS LAMPARAS FLUORESCENTES EN MEXICO.

### 9.1. Optron y Pentron.

Hace más de treinta años en Europa se descartó el uso de lámparas fluorescentes del tipo T-12 (36 mm de diámetro) mientras que en Estados Unidos por decreto oficial se han prohibido muchas de las versiones de las cuales en México todavía se venden en el mercado nacional más del 80%.

Las lámparas optron y pentron tienen los mismos componentes que se mencionan en el capítulo / cuando hablamos del proceso de manufactura, la diferencia es el diámetro del tubo.

El reemplazo para estas lámparas ha sido la lámpara conocida para OSRAM como OTRON T-8 (24mm de diámetro) considerada como una lámpara de mayor eficacia, lo que permite el ahorro de energía y mejor calidad de luz, sin embargo gracias al proceso evolutivo de las fuentes luminosas y a las grandes inversiones de OSRAM en materia de investigación y desarrollo, hoy día se cuenta con una versión de lámpara fluorescente conocida como PENTRON T-5 de solo 16 mm de diámetro y que se caracterizan por:

- Ser más delgada y corta
- Alta eficacia luminosa
- Ahorro de energía de hasta 20% respecto a las T-8
- 4 longitudes y 8 potencias
- 3 temperaturas de color: blanco cálido (3000K), blanco (3500 K) y blanco frío (4100 K).

Existen dos versiones aunque tienen igual longitud, la diferencia radica en que las potencias altas (FQ) ofrecen elevados flujos luminosos y consumen mayor energía, es decir se ha concentrado una gran cantidad de luz en un espacio muy reducido; son forzadas a entregar más luz y por su elevado flujo luminoso pueden utilizarse en luminarias de luz indirecta y generando efectos interesantes.

Mientras que las versiones FH, de menores potencias, ofrecen una eficacia luminosa más elevada, esto quiere decir que ofrecen más lúmenes por Watt.

Con el sistema PENTRON T-5 de OSRAM ya no hay necesidad de arreglos costosos y complicadas instalaciones esta nueva lámpara no es únicamente 40% más delgada, también es 50 mm más corta ideal para luminarias empotradas en techo.

Estas nuevas lámparas entran perfectamente en gabinetes de 60 y 120 cm con louver.(louver: rejillas de aluminio u otro material colocadas en el interior del luminario. Estas rejillas dirigen la luz que es emitida por la lámpara. Se utiliza para lograr un mayor confort visual evitando el deslumbramiento).

Las lámparas PENTRON están diseñadas para usarse con balastos electrónicos de alta frecuencia, que garantizan extraordinarios ahorros de energía, un gran confort visual y la posibilidad para que arquitectos y diseñadores puedan crear luminarias compactas y estéticas.

Tabla 7. Comparativo entre lámparas FH y FQ.

FH	LONGITUD	FQ
14 WATTS	549 mm	24 WATTS
21 WATTS	849 mm	39 WATTS
28 WATTS	1149 mm	54 WATTS
35 WATTS	1449 mm	80 WATTS

FH diseñadas para proveer una excelente reproducción de los colores e ideales para la iluminación directa.

FQ diseñadas para brindar mayor luz e ideales para la iluminación indirecta, como en techos altos y áreas amplias.

## 9.2. Octron

Todas las lámparas fluorescentes tienen una elevada eficacia luminosa, bajo consumo de energía y muy larga vida. Las nuevas versiones OCTRON duran de ocho a quince veces más que una lámpara incandescente convencional y ofrecen ahorros de energía de hasta 85% dependiendo de los modelos.

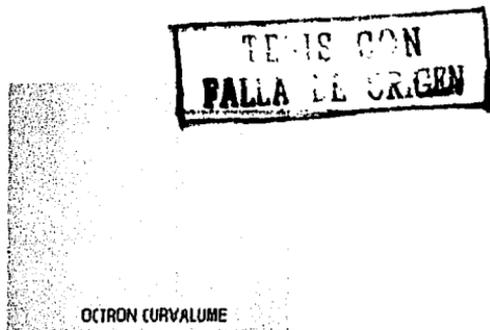


Figura 44. Lámpara Octron Curvalume.

La lámpara de la figura 44 es una lámpara que tiene los mismos componentes que comentamos en el capítulo 7 de manufactura de las lámparas fluorescentes, la única diferencia radica en la forma del tubo misma que se le da previa a la aplicación del recubrimiento.

OCTRON gracias al desarrollo de nuevos fósforos se han logrado fabricar estas lámparas que reúnen cualidades especiales como son una elevada eficacia luminosa y una excelente reproducción cromática. Las lámparas OCTRON responden a las máximas exigencias en cuanto a reproducción cromática debido a su equilibrada distribución espectral.

Las lámparas OCTRON de solo 25 mm de diámetro, en comparación con las convencionales T-12 de 38 mm de diámetro, logran con balastos electrónicos hasta 40 % menos de consumo de energía con respecto a los sistemas T-12 y ofrecen un excelente índice de rendimiento de color.

Actualmente las OSRAM OCTRON T-8 ECOLOGIC están diseñadas para cumplir con las regulaciones tóxicas de los Estados Unidos, criterio que las clasifica como desperdicio no peligroso contienen menos de 0.2 mg de mercurio /litro y ofrecen todas las ventajas de las lámparas OCTRON estándar.

### 9.3. FM-T2

Una nueva fuente de luz fluorescente de tan solo 7 mm de diámetro, única para la solución de problemas complejos de diseños de iluminación, ideal para la iluminación de cuadros, vitrinas, señalamientos, etc.; entre sus características están:

- Novedoso diseño de una base axial, la cual permite una rápida conexión y excelente retención.
- Con pintura trifósforo que garantiza un elevado índice de rendimiento cromático, ideal para aplicaciones que demandan alta eficacia y colores reales
- Su tamaño tan compacto permite un control óptico y representa un potencial para diseñar sistemas de reflectores más precisos y más eficientes.
- Larga vida de 10,000 horas.
- Usa sólo balastos electrónicos los cuales han sido específicamente diseñados para operar correctamente estos sistemas, ya que el uso de un balastro no especificado puede causar calentamiento de los extremos de la lámpara causando daño a la misma.

La lámpara FM-T2 es una lámpara que tiene los mismos componentes que comentamos en el capítulo 7 de manufactura de las lámparas fluorescentes, la única diferencia radica en el diámetro del tubo.

### 9.4. Lámparas fluorescentes compactas

Actualmente el uso de lámparas fluorescentes compactas se ha incrementado debido a su alta funcionalidad éstas trabajan de la misma forma que las lámparas fluorescentes pero en mucho menor espacio. Los principales beneficios son:

- 80% de ahorro en costos de energía eléctrica comparado con las lámparas incandescentes de la misma brillantez.
- Hasta 10 veces la vida de una lámpara incandescente.

TEJIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La mayoría de las lámparas fluorescentes compactas tienen integrado su balastro electrónico que apoya en el encendido y operación sin parpadeos, alta resistencia a encendidos y apagados continuos además de dar larga vida a la lámpara

Existen diferentes tipos de lámparas compactas son ideales para luminarias miniatura y de poca profundidad, algunas son extremadamente planas, lo cual hace de ellas la solución perfecta para luminarias de reducido espesor.

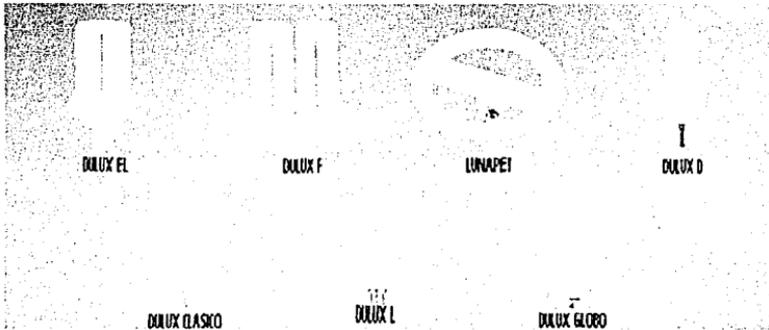


Figura 45. Lámparas Compactas

Los sistemas de iluminación interior frecuentemente incluyen luminarias los cuales se instalan en temperaturas ambientales elevadas. Para solucionar este problema se han diseñado lámparas para que produzcan más del 90% de su flujo luminoso en temperaturas ambientales de 5 a 60°C.

Las lámparas fluorescentes compactas con sus particularmente altos niveles luminosos, son solo la mitad de largas que sus potencias equivalentes en lámparas tubulares. Esto permite a los diseñadores la libertad para producir equipos de iluminación compactos que pueden colocarse perfectamente en sistemas modernos de falso plafón.

Luminarios decorativos para iluminación exterior pueden ser utilizados con lámparas ahorradoras de energía. Esto es con el uso de lámparas fluorescentes compactas y balastos electrónicos, siempre que estos estén protegidos contra la humedad.

#### 9.5. Nuevos sistemas de iluminación que ya están en uso.

Dos lámparas modernas han sido creadas por la internacional OSRAM estas son la lámpara ENDURA y la lámpara PLANON, se asegura que estas lámparas tendrán un gran recibimiento por los usuarios.

La lámpara ENDURA tiene una vida extremadamente larga de 100,000 horas. Esto es 5 veces mayor que la vida de una lámpara fluorescente convencional, la lámpara endura hace posible que se alcancen flujos luminosos que ninguna lámpara fluorescente había alcanzado como los 12,000 lúmenes de una lámpara de 150 watts, es decir 80 lm/W supera hasta ahora a cualquier lámpara, su pequeño tamaño permite que se instale en luminarios también compactos, esta lámpara también utiliza balastro electrónico; los sistemas de la lámpara endura han sido desarrollados especialmente para aplicaciones en las cuales el cambiar lámparas representa altos costos. Esto sucede por ejemplo en fabricas con techos muy elevados y en algunos túneles.

### 9.6. El principio de la lámpara OSRAM ENDURA.

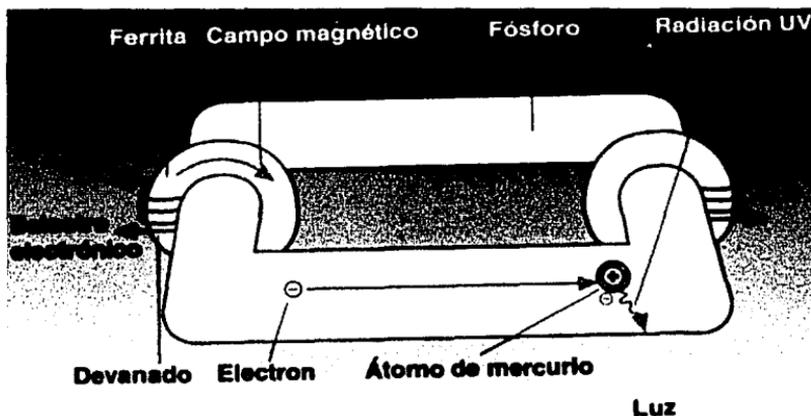


Figura 46. Principio de la lámpara Endura

La descarga en esta lámpara no tiene ni punto de inicio ni final, el anillo cerrado posibilita una descarga la cual se origina sin electrodos. En la lámpara endura la energía es inyectada desde afuera por los campos magnéticos creados por los electroimanes lo cual hace que al no haber electrodos que se desgasten, se pueda obtener una extremadamente vida útil.

Las características de la lámpara ENDURA se enumeran a continuación:

- 100,000 horas de vida.
- Alto flujo luminoso.
- Encendido instantáneo sin parpadeos.

- Alta eficacia luminosa.
- Excelente calidad de luz IRC 80
- Alto flujo luminoso aún en temperaturas extremas. (>90% de 55 a 125°C)
- Ideal para luminarias de pequeñas dimensiones.
- Baja depreciación lumínica.
- Encendido aún en baja temperatura (hasta -25°C)
- Puede usarse en sistemas de corriente directa.
- Funciona con balastro electrónico.

#### 9.7. Planon.



Figura 47. Lámpara Planon.

PLANON, es la primer lámpara plana del mundo, con la apariencia de un azulejo blanco y grande de tan solo un centímetro de grueso y 50 cm de largo diagonalmente, la nueva PLANON es una lámpara libre de mercurio desarrollada por OSRAM, esta lámpara funciona con un balastro electrónico. La luz se genera de la misma manera que en las lámparas fluorescentes clásicas.

Una descarga del gas produjo la radiación UV que es convertida en luz visible por los fósforos. La diferencia es que la lámpara no está llenada del vapor del mercurio sino de xenón que es un gas inerte.

La lámpara provee instantáneamente el 100% de su flujo luminoso dentro de una temperatura en un rango de 10°C a 50°C, produciendo una luz homogénea a toda la superficie.

El mayor beneficio de planon es que incrementa el ángulo visual de cualquier pantalla y hace que se vea tan brillante que hasta la luz del día parece una sombra.

Con una vida de más de 100 mil horas y la habilidad de ser encendida y apagada con casi ninguna limitante, la lámpara PLANON no tendrá necesidad de reemplazo por muchos años y debido a que no contienen mercurio y son amigables con el medio ambiente, pueden desecharse al término de su vida sin ningún problema.

## 10. CONCLUSIONES.

El presente trabajo describe de una forma objetiva, los aspectos fisicoquímicos más importantes de la manufactura de lámparas fluorescentes lineales, los principios de funcionamiento en esencia son los mismos, solamente difieren en su forma o presentación, asimismo se hablo de cuales son los componentes y etapas del proceso que pueden tener un impacto negativo en la salud de los trabajadores al momento de la manufactura y en el usuario de la lámpara fluorescente.

Se dio un panorama general acerca de las lámparas fluorescentes no profundizando en el tema para hacer mas manejable la información.

Siendo de las lámparas para iluminación general mas utilizadas, las lámparas fluorescentes cada día nos ofrecen mejores alternativas no solo de diseño, forma, color, rendimiento, reproducción cromática sino que además la industria encargada de la manufactura de las mismas se encuentra comprometida con el proceso de mejora continua que exigen las normas de ambiente laboral, las normas de la Secretaria de Ecología respecto a la emisión de contaminantes, asimismo de garantizar que las lámparas una vez cumplida su vida útil no representen un peligro como desecho.

Prueba de ello es la nueva generación de lámparas fluorescentes que no utilizan mercurio como la lámpara PLANON desarrollada por la Transnacional OSRAM.

## 11. GLOSARIO DE LOS TERMINOS MÁS IMPORTANTES DE LA ILUMINACION.

Al igual que cualquier disciplina técnica o científica, la tecnología de la iluminación cuenta con su propia terminología. Para definir las características de lámparas y de iluminación y para obtener un estándar de unidades que necesitan términos y conceptos más especiales. Los más importantes se explican a continuación.

### Luz y Radiación.

La luz es la radiación electromagnética que el ojo humano percibe como luminosidad; en otras palabras la luz es parte del espectro que se puede ver. Se trata de una radiación entre 360 y 780 nm, tan solo una mínima parte del espectro electromagnético de radiación que se conoce.

### Flujo Luminoso, $\Phi$

Unidad en que se mide lúmen (lm). Se le llama flujo luminoso a la energía radiada que es emitida por una fuente de luz y que es percibida por el ojo humano.

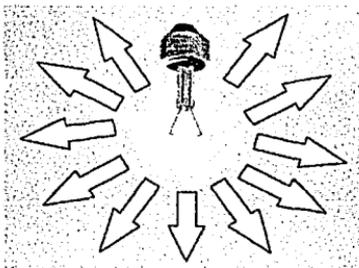


Figura 48. Flujo luminoso

## Intensidad Luminosa I

Unidad de medida candela (cd). Generalmente, una fuente de luz emite su flujo luminoso en diferentes direcciones con las diferentes intensidades. La intensidad de luz emitida en una dirección determinada se conoce como intensidad luminosa.

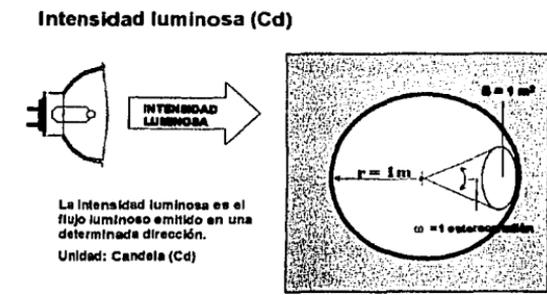


Figura 49. Intensidad Luminosa

## Illuminance. E

Unidad de medida lux (lx)

La iluminancia E es la relación entre el flujo luminoso y el área que deberá ser iluminada. Una iluminación de 1lx ocurre cuando un flujo luminoso de 1lm ilumina 1 metro cuadrado.

## Luminance. L

Unidad de medida candelas por metro cuadrado ( $cd/m^2$ ). La luminancia es la densidad luminosa L de una fuente de luz o de un área iluminada, es una medida para indicar que tan grande es la impresión de luminosidad creada en el cerebro.

## Eficacia luminosa

Unidad de medida lúmenes por watt (lm/W). Eficacia luminosa es la eficiencia con la cual la energía eléctrica consumida es convertida en luz.

### Eficacia luminosa



Figura 50. Eficacia luminosa.

## Temperatura de color.

Unidad de medida: Kelvin (K). La temperatura de color de una fuente de luz se determina con base a la comparación de un "radiador (cuerpo negro)" y se grafica en la "Curva de Planck". Mientras más alta sea la temperatura del "cuerpo negro" más alto se vuelve el componente azul y más pequeño el componente rojo del espectro. Por ejemplo, una lámpara incandescente de luz blanca cálida, posee una temperatura de color de 2700 K, mientras que una lámpara fluorescente de luz de día cuenta con una temperatura de 6000K.

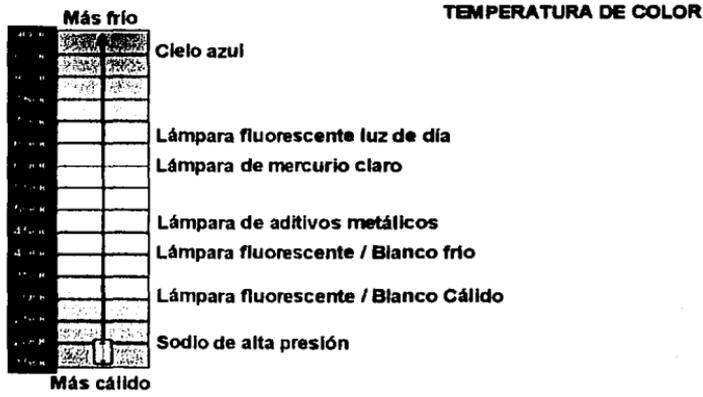


Figura 51. Temperatura de color.

### Color de la luz

El color de la luz de una lámpara se puede definir claramente con base a la temperatura cromática. De esta manera se pueden distinguir tres categorías: Cálido < 3000K, Blanco (frío, neutral) 3300 a 5000K y Luz de Día > 5000K. A pesar de tener el mismo color de luz, diferentes lámparas pueden contar con diferentes propiedades de reproducción cromática. Esto se debe a la composición espectral de la luz.

### Reproducción cromática.

Como regla la luz artificial debería posibilitar al ojo humano a percibir los colores correctamente, al igual que lo hace con la luz de día. Es obvio que esto depende, en parte, de la locación y el propósito para el cual se requiere luz. El criterio que se utiliza en este caso es la propiedad de

reproducción cromática con la que cuenta la fuente de luz. Esta se representa por medio del índice general de reproducción cromática (IRC).

El índice de reproducción cromática es una medida de la correspondencia que hay entre el color que posee un objeto en sí mismo y su apariencia bajo una fuente de luz de referencia. Para determinar los valores del IRC se iluminan ocho colores de prueba, definidos de acuerdo al DIN 6169, con la fuente de luz de referencia y con la fuente de luz que esta a prueba. Una fuente de luz con valor de IRC 100 muestra todos los colores exactamente como aparecen bajo la fuente de luz de referencia. Mientras más bajo sea este valor, peor será la reproducción cromática.

### **Croma**

Lo llamativo o lo apagado de un color describe el croma, al comparar el tomate y el rábano, el rojo del tomate es mucho más llamativo; el rábano parece más apagado.

En otras palabras croma es una indicación si el color es semejante a un grisado o un matiz puro.

### **ABREVIATURAS UTILIZADAS.**

UV: Ultravioleta.

CIE: Comisión Internationale de l'Eclairage. (Comisión Internacional de Iluminación)

T<sub>c</sub>: Temperatura de color.

IRC: Índice de reproducción cromática general.

IRC<sub>e</sub>: Índice de reproducción cromática especial.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

12. BIBLIOGRAFIA

117

--Alphin, Willard. Primer of lamps and lighting

Chilton Company

Estados Unidos. 1963

--Armada de los Estados Unidos. Basic Electricity.

U.S. Government Printing Office.

Estados Unidos. 1965.

--Butler, Keith. Fluorescent Lamp Phosphors.

The Pennsylvania State University Press

Estados Unidos. 1980

--Elenbaas, W. Fluorescent Lamps

Mcmillan

Estados Unidos. 1955

--Heine, Thomas H. Gaseous Discharge Lamp.

United States Patent Office. Número 2687486

Páginas 1-3, 1954.

--Kraehenbuehl, Jhon. Electrical Illumination

Jhon Wiley and Sons

Estados Unidos. 1951

--Meister, George. Low Pressure Mercury Discharges

Illuminating Engineering. Vol XLVII, No. 3,

Paginas 159-164 . March 1952.

--Moon, Parry, and Spencer, Domina. Lighting Design

Addison-Wesley

Estados Unidos. 1961.

--Pringsheim, P. Fluorescence and Phosphorescence

Interscience

Estados Unidos 1959

--Schwing, Joseph. Fluorescent Lamp and Method of Making

United States Patent Office. Número 2838707

Páginas 1-3, 1958

--Someya, Akira. Low Pressure Mercury Vapour Discharge Lamp.

United States Patent Office. Número 3544829

Páginas 1-4, 1970.

--Sylvania, GTE. The Standard Gro-Lux Fluorescent Lamps.

Engineering Bulletin Sylvania GTE, Número 0-262

Páginas 1-12

--Sylvania, GTE. Gro Lux Wide Spectrum Fluorescent Lamps.

Engineering Bulletin Sylvania GTE, Número 0-285

Páginas 1-10

--Sylvania, GTE. Fluorescent Lamps Performance Data.

Engineering Bulletin Sylvania GTE, Número 0-333

Páginas 1-5

--Sylvania, GTE. Controlled Fluorescent Lighting.

Engineering Bulletin Sylvania GTE, Número 0-338

Páginas 1-6

--Sylvania, GTE. Fluorescent Lamps.

Engineering Bulletin Sylvania GTE, Número 0-341

Páginas 1-19

--Sylvania, GTE. Germicidal Lamps.

*Engineering Bulletin Sylvania GTE*, Número 0-342

Páginas 1-8