



300617
UNIVERSIDAD LA SALLE¹

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

“REEMPLAZO DE BALASTROS
ELECTROMAGNETICOS POR
DISPOSITIVOS ELECTRONICOS
EN SISTEMAS DE ILUMINACION”

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

203100
PRESENTA:

Antonio Guevara Cobos

ASESOR DE TESIS

Ing. José Antonio Torres Hernández

MEXICO, D. F.

2001

4 DE JUNIO DE ~~2001~~



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

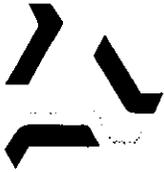


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

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 LA SALLE

Al Pasante Señor: **Antonio Guevara Cobos**

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a Usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso como asesor de Tesis el Ing. José Antonio Torres Hernández, para que lo desarrolle como tesis en su Exámen Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista con área principal en Ingeniería Electrónica.

"REEMPLAZO DE BALASTROS ELECTROMAGNETICOS POR DISPOSITIVOS ELECTRONICOS EN SISTEMAS DE ILUMINACION"

con el siguiente índice:

	INTRODUCCION
CAPITULO I	LAMPARAS FLUORESCENTES
CAPITULO II	BALASTROS ELECTROMAGNETICOS, CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO
CAPITULO III	CIRCUITOS DE FUNCIONAMIENTO PARA LAS LAMPARAS FLUORESCENTES
CAPITULO IV	BALASTROS ELECTRONICOS, CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO
CAPITULO V	ESTUDIO DE UN CASO PRACTICO
CAPITULO VI	RESUMEN DE RESULTADOS CONCLUSIONES BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado en la ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social como requisito indispensable para sustentar Exámen Profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A T E N T A M E N T E
"INDIVISA MANENT"
ESCUELA DE INGENIERIA
Mexico, D.F., a 2 de Junio de 1998

ING. JOSE ANTONIO TORRES HERNANDEZ
ASESOR DE TESIS

ING. EDMUNDO BARRERA MONSIVAIS
DIRECTOR

	Pág.
INTRODUCCION	i
CAPITULO I	
LAMPARAS FLUORESCENTES	
TEORIA DE FUNCIONAMIENTO	1
CONSTRUCCION DE LA LAMPARA	2
Bulbos	2
Fósforos	3
Electrodos	3
Bases	5
Eficacia	5
TIPOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES	
Lámparas de tipo precalentamiento	6
Lámparas Slimline (De arranque instantáneo)	6
Lámpara de arranque rápido	7
Lámparas de alta emisión y arranque rápido	7
Lámparas de muy alta emisión y de arranque rápido	8
CARACTERISTICAS DE OPERACIÓN DE LAS LAMPARAS	
Vida de la Lámpara	9
Efecto de la Temperatura	10
Mantenimiento de Lúmenes	10
Parpadeo y Efecto Estroboscópico	11
Operación en C.D.	12
Frecuencia en C.A.	13
Operación a alta Frecuencia	13

CAPITULO II

BALASTROS ELECTROMAGNETICOS, CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO.

INTRODUCCION 15

EL TRANSFORMADOR 16

Potencia primaria y secundaria	16
Relación existente entre espiras, tensión y corriente	17
Transformadores de secundario múltiple	20
Tipos de Transformadores	21
Transformadores de núcleo de hierro y de núcleo de aire	22
El Autotransformador	23
Pérdidas en un transformador	24
Pérdidas en el cobre y fugas	24
Pérdidas por Histéresis	25
Pérdidas por Corrientes Parásitas	26
Pérdidas por Saturación	27

CAPITULO III

CIRCUITOS DE FUNCIONAMIENTO PARA LAS LAMPARAS FLUORESCENTES

Introducción	28
Reactores de la clase "P"	28
Circuitos de Pre calentamiento	28
Arrancadores	30
Arrancador Térmico	30
Circuito de Arranque Instantáneo	31
Circuito de Arranque Rápido	32

CAPITULO IV

BALASTROS ELECTRONICOS, CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO.

Generales	34
Frecuencia de Operación	36
Eficiencia Energética	36
Disminución del Zumbido	37
Menor Peso	37
Operación mas fría	38

CAPITULO V

ESTUDIO DE UN CASO PRACTICO

Auditoria Energética	39
Reconversión	39
Características de los Equipos	40
Características del Sistema Propuesto	42
Impacto Ecológico	45
Extrapolación a Balastros Electrónicos	45

CAPITULO VI

RESUMEN DE RESULTADOS	48
------------------------------	----

CONCLUSIONES	50
---------------------	----

BIBLIOGRAFIA	52
---------------------	----

INTRODUCCION

Atendiendo la demanda actual de la sociedad y la necesidad de nuestro medio ambiente de factores que brinden un ahorro económico significativo, así como elementos que tiendan a disminuir la contaminación en la que en diversas formas estamos inmersos, sin perder de vista el máximo control de los recursos tanto como la seguridad en el manejo de los sistemas, se ofrece este trabajo en el que se analizan los beneficios de adoptar los avances tecnológicos existentes en el mercado dentro de los sistemas de iluminación.

La iluminación es una herramienta que forma parte de la vida moderna cuyo objetivo es el de ampliar el periodo durante el cual se pueda desarrollar una actividad determinada, por lo que cada día se incrementa el tiempo de uso de la misma en respuesta a la demanda de las diferentes áreas de uso, tales como industrias, empresas, escuelas, etc.

Otro factor importante en el empleo de tecnología moderna en los sistemas de iluminación es el confort que se obtiene del uso de la misma, originando efectos positivos en los usuarios que se traducen en mejor desempeño y desarrollo en las actividades que se realicen.

Es también altamente conocido que en la actualidad la generación y distribución de energía eléctrica se esta volviendo cada día tanto escasa como costosa, por lo que se hace necesario racionalizar y economizar en lo posible su uso, así como desarrollar y emplear sistemas y dispositivos que ayuden a realizar la tarea.

El presente trabajo se centra en el análisis del consumo de energía eléctrica empleando dispositivos diferentes, tales como los balastos electrónicos, en un mismo sistema de iluminación con el propósito de obtener el máximo ahorro en el consumo de la misma, así como la obtención de factores adicionales con el propósito de beneficiar a los usuarios, con ambientes más agradables y seguros.

El primer capítulo documenta las lámparas fluorescentes, analizando la forma de construcción, tipo de lámparas existentes, así como las características de operación de las mismas.

En el capítulo segundo se analizan las características y el funcionamiento de los balastos electromagnéticos con el propósito de comprender sobre todo los lugares y la forma en que se presentan las pérdidas en los mismos, como área de oportunidad para la economía de recursos.

El capítulo tercero muestra los circuitos de funcionamiento para lámparas fluorescentes, analizando el trabajo de los diferentes componentes de los mismos.

En el cuarto capítulo se describen las características y funcionamiento de los balastos eléctricos haciéndose notar las ventajas de estos sobre sus homólogos electromagnéticos.

Finalmente en el capítulo quinto se estudia un caso práctico en una Universidad, con la finalidad de apoyar los conceptos tratados anteriormente, así como la materialización de las ventajas que ofrece el reemplazo de balastos electromagnéticos por dispositivos electrónicos en sistemas de iluminación.

CAPITULO I

LAMPARAS FLUORESCENTES

TEORIA DE FUNCIONAMIENTO

Los primeros sistemas tubulares de iluminación fluorescente fueron desarrollados por Andre Claude, el inventor de las señales de neón, en Francia en 1932. Con la aprobación de Mazda, los laboratorios unidos de Westinghouse y General Electric obtuvieron los derechos sobre la patente del Sr. Claude y desarrollaron la lámpara fluorescente que conocemos hoy en día.

Estas lámparas se introdujeron al mercado mundial en 1939 proporcionando una nueva fuente de luz de alta eficiencia, baja brillantes, larga vida y una nueva dimensión física.

La lámpara fluorescente es una fuente de descarga eléctrica que hace uso de la energía ultravioleta generada a una alta eficiencia por vapor de mercurio en un gas inerte (argón, kriptón o neón) a baja presión para activar un revestimiento de material fluorescente (fósforo) depositado sobre la superficie interna del tubo de vidrio. El fósforo simplemente actúa como transformador para convertir la luz ultravioleta invisible en luz visible.

Esencialmente la lámpara es un bulbo tubular revestido y evacuado que contiene una pequeña cantidad de mercurio y de gas inerte. Un electrodo especialmente tratado denominado "Catodo caliente" va sellado en ambos extremos.

Al encenderse inicialmente una lámpara fluorescente, el paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos hace que estos se calienten y liberen electrones del material emisor con el cual están revestidos. Además de los electrones liberados térmicamente, existen también electrones liberados por la diferencia de potencial entre los electrodos. Esos electrones viajan a altas velocidades, de un electrodo hacia otro, estableciendo una descarga eléctrica o arco a través del vapor de mercurio. La lámpara se calienta rápidamente, aumentando la presión de vapor del mercurio al valor de máxima eficiencia.

Un arco de esa naturaleza, encerrado en un tubo de vidrio, tiene ciertas características que varían con la presión del gas y con el voltaje aplicado a los electrodos. La característica más importante es la producción de luz visible y ultravioleta. El choque entre los electrones de rápido movimiento desde los electrodos y los átomos de mercurio desprenden los electrones de los átomos de mercurio de su órbita. Esos electrones desplazados casi inmediatamente retornan a su lugar normal, liberando, por lo tanto, la energía que han absorbido, principalmente en forma de radiación ultravioleta a una longitud de onda de 253.7 nanómetros.

La radiación ultravioleta es convertida en luz visible por el fósforo, el cual tiene la propiedad de absorber la energía ultravioleta y de volverla a irradiar a longitud de ondas mayores que se pueden observar como luz visible. En otras palabras, es excitado al punto de fluorescencia por la energía ultravioleta de la longitud de onda debida. El color de la luz producida depende de la composición química del revestimiento que va dentro del bulbo.

CONSTRUCCION DE LA LAMPARA

En la figura número 1 se ilustran los componentes básicos de una lámpara típica fluorescente de Cátodo caliente. Si bien existen muchos tamaños y diversas formas de lámparas fluorescente, los tipos que más se usan tienen un bulbo tubular con un electrodo y una base en cada extremo. Adicional al mercurio, el bulbo contiene una pequeña cantidad de gas argón o de una mezcla de gases inertes y lleva un revestimiento de fósforo.

Bulbos

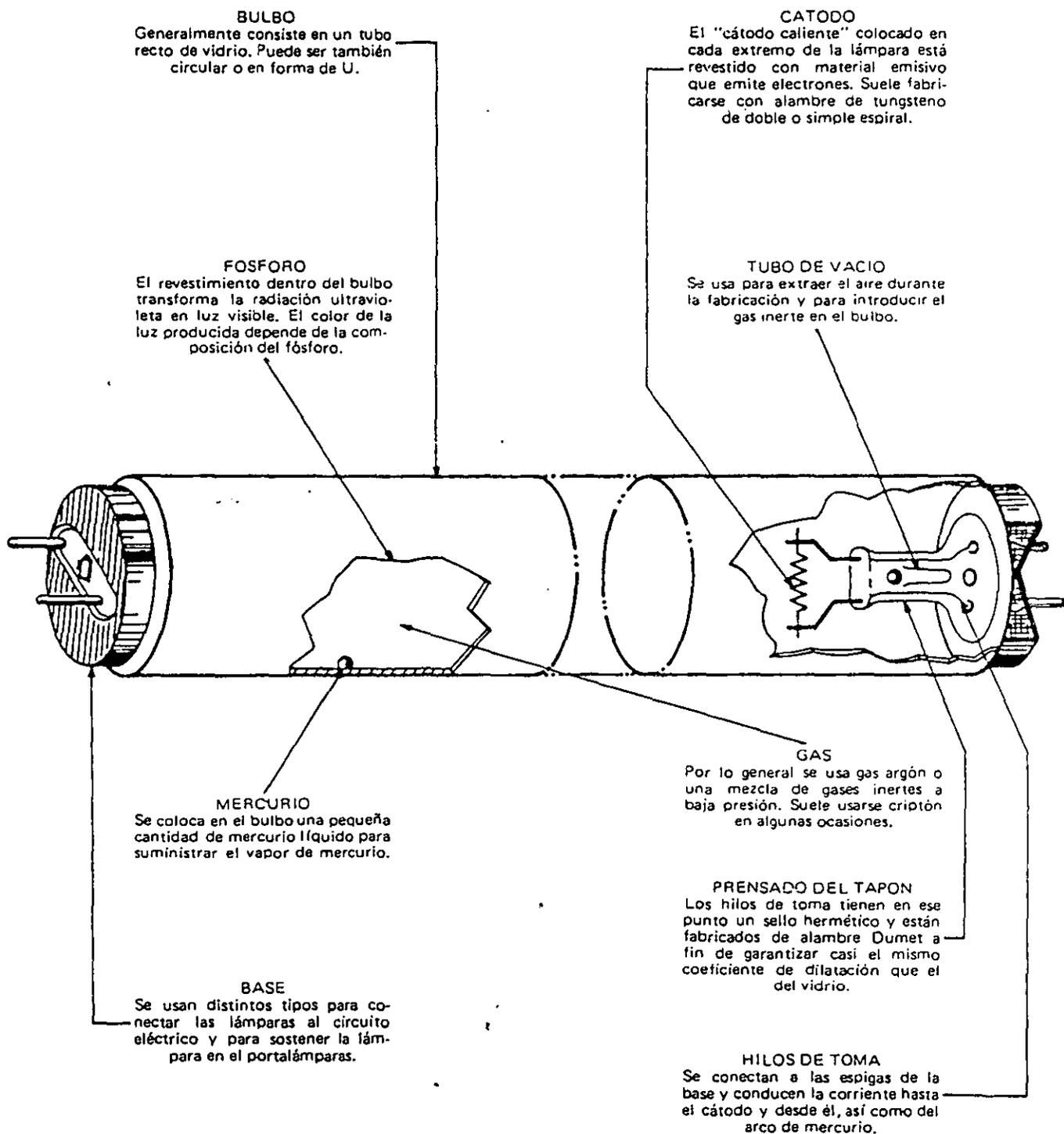
La forma y tamaño del bulbo de una lámpara fluorescente se expresa mediante una clave que consiste en la letra "T" (designando la forma tubular del bulbo), la cual va seguida de un número que expresa el diámetro del bulbo en octavos de pulgada. El diámetro puede variar desde T-5 (5/8") a T17(2-1/8").

Fósforos

La longitud de una onda o el color de la luz producida por una lámpara fluorescente, depende de la composición química del fósforo utilizando en el revestimiento interno del tubo. Mediante la combinación en proporciones variantes de distintos fósforos, es posible producir una amplia variedad de colores. Los colores disponibles en la actualidad incluyen varias tonalidades de blanco, así como de azul, verde, dorado, rosa, y rojo. Otras lámparas fluorescentes están diseñadas con fósforo que generan los colores de la luz que son más estimulantes al crecimiento de las plantas. Además, hay otras que tienen un fósforo conocido como 360BL el cual produce una radiación casi ultravioleta en la banda de luz negra para activar los materiales fluorescentes y fosforescentes.

Electrodos

El electrodo que va en cada uno de los extremos de las lámparas fluorescentes consiste generalmente en un alambre con revestimiento de tungsteno de doble o de triple enrollamiento espiral. Dicho revestimiento, por ser de un material emisivo (bario, estroncio, óxido de calcio), emite electrones cuando se calienta a una temperatura de operación alrededor de 950°C. A esa temperatura, los electrones se desprenden libremente con solo una pequeña pérdida de potencia en cada uno de los cátodos. Este proceso se denomina "Emisión Termoiónica", ya que el calor es más responsable por la emisión de electrones que el voltaje. A un electrodo de ese tipo se le llama "Cátodo caliente" (suele denominarse también "Cátodo incandescente"). Este tipo de cátodos reduce el voltaje de arranque necesario para establecer el arco.



BULBO
 Generalmente consiste en un tubo recto de vidrio. Puede ser también circular o en forma de U.

FOSFORO
 El revestimiento dentro del bulbo transforma la radiación ultravioleta en luz visible. El color de la luz producida depende de la composición del fósforo.

MERCURIO
 Se coloca en el bulbo una pequeña cantidad de mercurio líquido para suministrar el vapor de mercurio.

BASE
 Se usan distintos tipos para conectar las lámparas al circuito eléctrico y para sostener la lámpara en el portalámparas.

CATODO
 El "cátodo caliente" colocado en cada extremo de la lámpara está revestido con material emisor que emite electrones. Suele fabricarse con alambre de tungsteno de doble o simple espiral.

TUBO DE VACIO
 Se usa para extraer el aire durante la fabricación y para introducir el gas inerte en el bulbo.

GAS
 Por lo general se usa gas argón o una mezcla de gases inertes a baja presión. Suele usarse criptón en algunas ocasiones.

PRENSADO DEL TAPON
 Los hilos de toma tienen en ese punto un sello hermético y están fabricados de alambre Dumet a fin de garantizar casi el mismo coeficiente de dilatación que el del vidrio.

HILOS DE TOMA
 Se conectan a las espigas de la base y conducen la corriente hasta el cátodo y desde él, así como del arco de mercurio.

Bases

Para las lámparas de precalentamiento y de arranque rápido, se necesitan cuatro contactos eléctricos, dos en cada extremo de la lámpara. Ello se realiza en la línea común y corriente de lámparas, usando una base con dos espigas en cada extremo. Existen tres tamaños: para los bulbos T-8 y T-12; y mogul de dos espigas para los bulbos T-17. En las lámparas circulares, los cátodos van conectados a una base con cuatro espigas ubicada entre la unión de los dos extremos de la lámpara. Las lámparas fluorescentes de alta emisión lumínica, tienen bases embutidas del doble contacto.

Las lámparas Slimline (de arranque instantáneo) requieren dos contactos eléctricos solamente, o sea uno en cada extremo de la lámpara y usan bases de una sola espiga.

Eficacia

Una de las ventajas más importantes de las lámparas fluorescentes es su alta eficacia. Suelen compararse con las lámparas incandescentes en ese respecto, pero la potencia de las primeras debe incluir las pérdidas del balastro para que la comparación resulte exacta. Las lámparas convencionales de dos espigas tienen eficacias (sin incluir las pérdidas del balastro) que fluctúan entre 24 y 81 lúmenes por Watt, dependiendo del tamaño y color del bulbo. Las lámparas Slimline fluctúan entre 48 y 84 lúmenes por Watt, las de alta emisión lumínica entre 40 y 84; las de muy alta emisión lumínica entre 45 y 75 lúmenes por Watt. Para las lámparas del mismo color y tipo, la clasificación de lúmenes por Watt es mayor para una lámpara larga que para una corta, ya que la energía consumida en los electrodos es igual, cualquiera que sea la longitud de la lámpara.

TIPO DE LAMPARAS FLUORESCENTES

Lámparas del tipo Precalentamiento

Las primeras lámparas fluorescentes que fueron presentadas en 1939, eran de tipo precalentamiento y funcionaban con arrancadores separados. El arrancador suministra durante varios segundos un flujo de corriente a través de los cátodos para precalentarlos, este periodo es el tiempo que transcurre desde el encendido de la lámpara hasta que esta emite luz. Los cátodos se precalientan para emitir electrones que ayuden a producir el arco a un voltaje más bajo. El arrancador es generalmente del tipo automático el cual suministra corriente a los cátodos por un lapso suficiente a fin de calentarlos y luego se abre automáticamente para detener el flujo de corriente y causar que se conecte el voltaje total con un pico de voltaje inductivo a través de los cátodos, generando así el arco.

Todas las lámparas de precalentamiento tienen bases con doble espiga. La abreviatura para ordenar las lámparas identifica el tipo, mediante la potencia, el diametro del bulbo (en octavos de pulgada) y el color. Por ejemplo, la lámpara F20T12/CWX es de 20 Watts, de 1-1/2" de diametro, del tipo blanco-frío de lujo.

Lámpara Slimline (de arranque instantáneo)

Las lámparas Slimline (de arranque instantáneo) hicieron su aparición en el año de 1944, con el propósito principal de eliminar el arranque lento que se venía experimentando con las lámparas del tipo precalentamiento. Las lámparas Slimline trabajan sin necesidad de arrancadores ya que el balastro suministra un voltaje lo suficiente alto como para producir el arco en forma instantánea, simplificando así el sistema de alumbrado y el mantenimiento correctivo. Dado que los cátodos de las lámparas Slimline no necesitan calentamiento previo se requieren bases con una sola espiga a cada extremo de la lámpara.

Lámparas de arranque Rápido

Las lámparas de arranque rápido que fueron lanzadas al mercado en el año de 1952, arrancan con suavidad y rapidez sin necesidad de arrancadores. En realidad, arrancan tan rápidamente como lo hacen las del tipo Slimline, y por lo tanto, en un periodo de tiempo mucho más corto que las lámparas de precalentamiento, usando balastos más eficientes y más pequeños que los de arranque instantáneo. Dependen del calentamiento del cátodo, suministrado por los devanados de calentamiento en el balastro para reducir el voltaje de arranque necesario por debajo del exigido por las lámparas Slimline del mismo tamaño.

Lámparas de alta emisión y de arranque rápido

Las lámparas del tipo Slimline, de precalentamiento y arranque rápido fabricado con bulbo T-12 trabajan generalmente a una densidad de 10 Watts por pie con una corriente de 430 ma.

Las lámparas de alta emisión para uso en interiores, generalmente funcionan a 800 ma., con una carga de 14 Watts por pie aproximadamente. A 800 ma., las lámparas suministran aproximadamente 45 % más de lúmenes que las del tipo Slimline de tamaño comparable. Para emplearlas a la interperie, es decir, para el alumbrado de calles o reflectores, las lámparas de alta emisión casi siempre trabajan a 1,000 ma., para suministrar una alta emisión lumínica a temperaturas más frías.

Lámparas de muy alta emisión Y de arranque rápido

Las lámparas de muy alta emisión (VHO) trabajan a 1500 ma. y aproximadamente a 25 Watts por pie de longitud del bulbo.

Cuando la corriente de las lámparas fluorescentes excede del nivel de 1 amper (1000 ma.), los Watts por pie de las lámparas se vuelven muy elevados creando un problema de calentamiento que requiere mucho ingenio en el diseño para su debido control. El calor resultante de 1500 ma. en bulbo T-12 si se deja sin control, puede hacer que la temperatura de vapor de mercurio se incremente demasiado dando como resultado un aumento de presión la cual reducirá la eficacia de la lámpara. El funcionamiento más eficiente se obtiene con una presión de vapor de mercurio de 6 a 10 micrones (una millonésima de metro) aproximadamente, la cual es la presión de vapor del mercurio entre 40° y 45 ° C. Esta variación de temperatura se puede obtener en las lámparas de muy alta emisión (VHO) empleando blindajes reflectores metálicos circulares montados entre los electrodos y los extremos de las lámparas.

Dichos blindajes interrumpen las corrientes de conexión en el gas calentado cerca de los cátodos con el objeto de obtener las temperaturas adecuadas en los extremos de las lámparas detrás de los cátodos. Esto, en efecto, produce un "centro de control de presión", el cual funciona en la región deseada de 40°C establecida para las condiciones de capacidad de funcionamiento de las lámparas. El mercurio excedente se condensa en el centro de control y se mantiene la presión de vapor de mercurio optima a través del tubo.

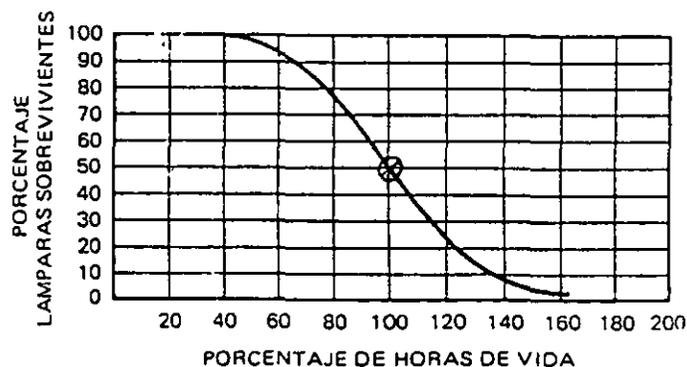
En las lámparas de muy alta emisión (VHO) también se usa un mezcla de gases raros para proporcionarle al cátodo mayor duración y lograr mayor mantenimiento del lúmenes en el tubo convencional T-12.

CARACTERISTICAS DE OPERACION DE LAS LAMPARAS

Vida de la Lámpara

En comparación con la lámpara incandescente, la lámpara fluorescente tiene una larga vida promedio, pero la forma de la curva de caducidad es muy parecida, según se indica en la siguiente figura. Debido a las ligeras variaciones en la construcción de las lámparas y de los materiales empleados, sería imposible lograr que la lámpara funcionará por el tiempo exacto para el cual fue diseñada. Por tal razón las horas de vida normales de las lámparas se toman en base al promedio de duración de un grupo considerable de las mismas funcionando en condiciones controladas de laboratorio. Las horas de vida promedio se calculan en base al punto en el cual aproximadamente el cincuenta por ciento de las lámparas quedan fuera de operación y el cincuenta por ciento restante sigue operando, según se detalla en la curva de caducidad.

Durante el ciclo de arranque y el periodo de funcionamiento de una lámpara fluorescente, el material emisor es expulsado de los cátodos. El final de la vida se alcanza cuando no queda material emisor suficiente en ninguno de los cátodos para formar el arco.



Curva de Caducidad de las Lámparas Fluorescentes.

Efecto de la temperatura

El rendimiento lumínico de las lámparas fluorescentes varía en forma considerable con la temperatura de la pared del bulbo. La temperatura afecta la presión del vapor de mercurio, la cual depende del punto más frío existente en la pared del bulbo. Las variaciones en la presión del vapor de mercurio cambian la emisión lumínica de la lámpara. Puesto que los cambios producidos en la temperatura ambiente van acompañados de cambios similares en la temperatura de la pared del bulbo, la emisión lumínica se ve afectada por las variaciones en la temperatura ambiente.

Los valores nominales se miden a una temperatura normal ambiente de 25 ° C (77°F).

Cuando las lámparas fluorescentes se usan a la interperie, el arranque puede representar un problema a bajas temperaturas y en consecuencia, se necesitará un voltaje de arranque más alto. Con balastos regulares se pueden arrancar algunas lámparas en forma relativamente segura a temperaturas de 50°F. Existen balastos diseñados para operar a bajas temperaturas para utilizarse con ciertos tipos de lámparas a temperaturas tan bajas como de 0°F o de -20°F.

Mantenimiento de Lúmenes

Puesto que la intensidad lumínica de las lámparas fluorescentes disminuye con mayor rapidez durante las primeras 100 horas de vida, después de pasado ese periodo, el valor publicado de "lúmenes iniciales" constituye el guarismo medido después de las cien horas de encendido y su depreciación lumínica después de llegar a ser hasta de diez por ciento. Pero, dicha disminución es mucho más gradual durante el resto de la vida de la lámpara. Las dos causas principales de esta depreciación en cuestión la constituye: 1) La deterioración gradual del revestimiento de fósforo, y 2) El ennegrecimiento de la superficie interior del bulbo producido por el material emisor en los cátodos, particularmente en los extremos de la lámpara. Las lámparas de menor diámetro, con bulbos tipo T-5, T-6 y T-8, causan un mayor ennegrecimiento en los extremos debido a que los cátodos están más cerca de las paredes del bulbo. El mantenimiento de los lúmenes no es afectado en forma apreciable por el número de horas de encendido por arranque.

El mantenimiento de lúmenes es mejor en las lámparas regulares Slimline y de arranque rápido con bulbo T-12 que con las de alta emisión lumínica. Asimismo, algunos de los fósforos tienen mejor mantenimiento que otros.

Parpadeo y Efecto estroboscópico.

El arco de mercurio en una lámpara fluorescente operado a una corriente alterna de 60 hertz se prende y apaga 120 veces por segundo.

La lámpara se debería interrumpir completamente si no fuera por la acción fosforescente o de continuidad del fósforo.

El rango de parpadeo a través de lo largo de la lámpara es de 120 ciclos por segundo en una operación de 60 Hertz, pero en los extremos de la misma el parpadeo alterno es comparativamente menor. Esto da un rango efectivo de 60 parpadeos por segundo.

El parpadeo de 120 ciclos es demasiado rápido para ser visible, sin embargo el de 60 ciclos puede ser detectado, pero solo por la periferia de la retina. Por esta razón el parpadeo de la lámpara pasa inapercibido excepto cuando se observan las extremidades de la lámpara por la esquina del ojo. Esta variación en la continuidad de la luz es conocida como "Flicker" o parpadeo.

Cuando objetos moviéndose rápidamente son observados bajo sistemas de iluminación fluorescente, imágenes de fantasma pueden ser observadas, este efecto es conocido como efecto estroboscópico.

Como consecuencia de este efecto un objeto que se mueve a velocidad uniforme puede aparecer moviéndose discontinuamente. Bajo las más extremas condiciones un objeto rotatorio, como un ventilador, puede verse detenido o girando en dirección opuesta. Hoy en día el efecto estroboscópico raramente causa alguna dificultad a las lámparas fluorescentes puesto que los fósforos modernos poseen relativamente periodos más largos de continuidad.

El efecto estroboscópico no debe ser confundido con operaciones impropias de la lámpara o equipos, que generan una intermitencia diferente.

Operación en C.D.

Las lámparas fluorescentes pueden ser operadas en corriente directa, instalando una resistencia en serie a un balastro inductivo manteniendo un voltaje suficientemente alto. En la figura número 2 se muestra un circuito C.D. con una sola lámpara. Un balastro del tipo reactor necesita seguirse utilizando en los circuitos C.D. para proveer "Una Patada" inductiva necesaria para arrancar la lámpara cuando el interruptor de arranque este abierto. Como este balastro no tiene un efecto limitante en la corriente directa y que fluye a través del arco, una resistencia deberá utilizarse en serie con la lámpara y el balastro para limitar la corriente. La capacidad de la resistencia depende del tamaño de la lámpara y del voltaje del circuito. La eficacia se reduce puesto que la resistencia consume una cantidad de energía aproximada a lo que consume la lámpara, la vida de la lámpara también disminuirá.

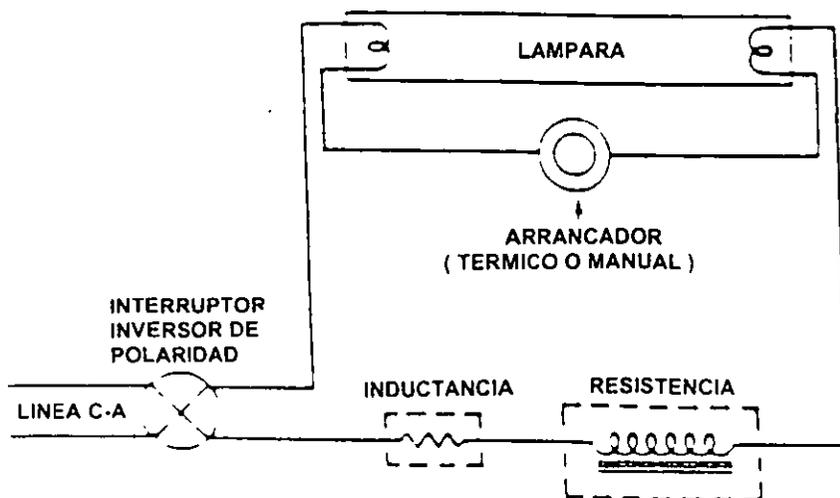


Figura No.2

Resulta otro problema del flujo constante de corriente directa en una dirección. Esto causa que el mercurio sea llevado hacia el extremo negativo del tubo. Como resultado de lo anterior el extremo positivo comienza a atenuarse después de varias horas de operación. Un interruptor reversivo de polaridad es recomendado para todas las lámparas de 30 Watts o superiores para invertir las funciones de los electrodos cada pocas horas y así eliminar la tendencia al quemado o atenuamiento de un extremo de la lámpara.

Para lámparas más pequeñas que no son perturbadas con la migración de mercurio, también es buena idea instalar un interruptor reversible del tipo que automáticamente invierta la dirección de la corriente cada vez que la lámpara sea encendida.

Frecuencia en corriente alterna

La característica de limitación de corriente del reactor depende directamente de la frecuencia de la fuente de poder y por esta razón los balastos de las lámparas fluorescentes deben ser usados en la frecuencia para la cual fueron diseñados.

A bajas frecuencias la reactancia inductiva del balastro en atraso se reduce, incrementándose el flujo de corriente a través de la lámpara, resultando en una disminución de la vida de la misma y sobrecalentamiento de los auxiliares. Con altas frecuencias el flujo de corriente disminuye con efectos adversos en la vida de la lámpara y su luminosidad.

Equipos diseñados para trabajar a 60 hertz no deberán usarse en sistemas de 50 hertz. La operación a bajas frecuencias tales como 25 ciclos, requiere de balastos especiales más grandes y genera problemas más serios en eliminar el efecto estroboscópico.

Operación a alta frecuencia

Incrementando la frecuencia y manteniendo una potencia de entrada constante, la eficacia en luminosidad de una lámpara T-12 fluorescente se mejora considerablemente, puesto que el voltaje en el ánodo decrece, resultando en un incremento de voltaje a través de la columna efectiva luminosa.

Esta eficacia en luminosidad superior puede ser utilizada para obtener mas lúmenes por los mismos watts o para obtener los mismos lúmenes con un consumo de energía inferior.

Como consecuencia de la demanda de energía a mas bajo costo, los fabricantes de balastos electrónicos han escogido operar las lámparas a menor potencia.

CAPITULO II

BALASTROS ELECTROMAGNETICOS, CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO

INTRODUCCION

Como se dijo con anterioridad un balastro es un dispositivo utilizado para arrancar y operar una lámpara fluorescente, proporcionando el voltaje "de arranque" necesario para establecer un arco entre los dos electrodos de la misma y regular la corriente eléctrica a través de ella manteniéndola dentro de los parámetros correctos de operación, de acuerdo a especificaciones. En los circuitos de arranque rápido suministra, además, una cantidad específica de energía eléctrica para mantener calientes los cátodos mientras espera la lámpara.

Si bien las lámparas fluorescentes pueden tener como balastro una inductancia, capacitancia o resistencia, la más práctica y más ampliamente utilizada de las tres, es la inductancia. En la mayoría de los casos, el balastro de las lámparas fluorescentes lleva un dispositivo inductivo, como por ejemplo una *bobina de reactancia* o un *autotransformador* para regular la corriente. Suele utilizarse también la combinación en serie de una bobina inductiva y un capacitor.

Todos los reactores producen un sonido inherente, descrito comúnmente como "zumbido". Este último varía según el tipo de balastro que se use: desde un sonido imperceptible hasta un ruido perceptible. La mayoría de los fabricantes de balastros catalogan el sonido de éstos mediante las letras "A" hasta "F". Los de categoría "A" casi no tienen ningún zumbido y se usan en zonas silenciosas. El zumbido más fuerte lo producen los de la clase "F", que se utilizan satisfactoriamente para el alumbrado de calles, fábricas, etc.

Debido a las pérdidas internas del balastro, cuando se requiera conocer la potencia total del equipo o bien, de la instalación, la potencia que se pierde en el balastro deberá de agregarse a la nominal de la lámpara.

EL TRANSFORMADOR

Cuando hay inducción mutua entre dos bobinas o devanados, entonces un cambio de corriente en una de ellas induce una tensión en la otra. Los dispositivos que funcionan con base en este principio reciben el nombre de *transformadores*. Todo transformador tiene un devanado primario y uno o más devanados secundarios. El devanado primario recibe energía eléctrica de una fuente de energía y acopla esta energía al devanado secundario por medio de un campo magnético variable. La energía aparece como una fem en el devanado secundario y si se conecta una carga al secundario, entonces la energía es transferida a la carga.

Por medio de transformadores, se puede transferir energía de un circuito a otro, sin que exista conexión física entre ellos. La transferencia de energía se efectúa completamente a través del campo magnético. Entonces el transformador funciona como dispositivo de acoplamiento. Los transformadores también son indispensables en la distribución de potencia de corriente alterna ya que pueden convertir potencia eléctrica con condiciones dadas de corriente y tensión a la potencia equivalente, con otros valores.

Potencia primaria y secundaria

De hecho, un transformador transfiere potencia eléctrica del primario al circuito secundario. El circuito primario toma la potencia de la fuente y el secundario transmite la potencia a la carga. La potencia que es transferida del primario al secundario está determinada por la corriente del secundario que, a su vez, depende de la potencia que requiere la carga. Si la carga requiere una gran cantidad de potencia, según sería el caso de una carga de baja resistencia, entonces, se tendría mucha corriente en el secundario. Esta alta corriente causará una disminución en la fem inducida del primario y la corriente primaria aumentará. Esto producirá el campo magnético más intenso, necesario para una alta corriente secundaria. Por lo tanto, el transformador regula la potencia transferida de la fuente a la carga en respuesta a lo que necesita la misma.

En un transformador ideal, la potencia en el circuito primario es igual a la potencia en el circuito secundario. Puesto que la potencia es igual al producto de la corriente por la tensión, la ecuación que determina la relación entre la potencia primaria (P_p) y la potencia secundaria (P_s) en un transformador ideal es la siguiente:

$$E_p \times I_p = E_s \times I_s$$

Así pues, suponiendo que las tensiones primaria y secundaria son iguales, como sucede cuando los transformadores del primario y el secundario tienen el mismo número de vueltas, la corriente primaria se ajustará automáticamente al mismo valor que la corriente secundaria, de manera que las potencias del primario y el secundario son iguales, tal como se muestra en la figura No. 3.

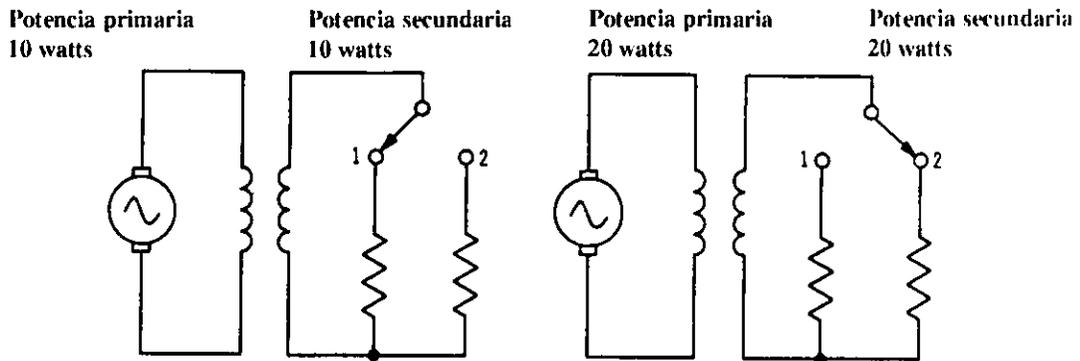


Figura No. 3

Relación existente entre espiras, tensión y corriente.

Según se ha mencionado, una aplicación importante del transformador en transmisión de potencia es convertir potencia con unos valores de corriente y tensión, a la misma potencia, con otros valores de corriente y tensión. Básicamente, esto puede hacerse debido a que, con una tensión aplicada dada en el primario, la tensión secundaria depende del número de espiras del devanado secundario, comparado con el número de espiras del devanado primario. Cuando el devanado secundario tiene más espiras que el primario, la tensión secundaria es mayor que la tensión primaria. En este caso, ocurre un aumento de tensión y al transformador se le llama transformador elevador de tensión. Asimismo, si el devanado secundario tiene menor número de espiras que el primario, la tensión secundaria será menor que la primaria y el transformador se llamará transformador reductor de tensión.

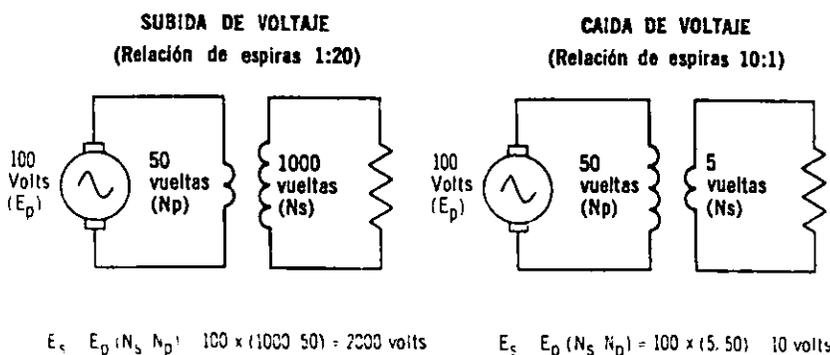


Figura No. 4

La razón de este aumento o disminución en tensión se comprenderá fácilmente si se recuerda que la tensión inducida en una bobina cualquiera es en realidad la suma de las muchas tensiones inducidas en cada espira cortada por las líneas de flujo. Por lo tanto, cuando mayor número de espiras haya, mayor número de tensiones individuales se inducirán y mayor será su suma. En un transformador ideal la relación exacta entre las tensiones primaria y secundaria (E) y su número de espiras (N) se determina por la ecuación:

$$E_p/N_p = E_s/N_s \quad \text{ó} \quad E_p/E_s = N_p/N_s$$

por lo tanto, la tensión secundaria es igual:

$$E_s = E_p(N_s/N_p)$$

El número relativo de espiras en los devanados (N_p/N_s) recibe el nombre de relación de espiras del transformador y generalmente se expresa como una proporción: por ejemplo, 10:1, 50:1, 1:20, etc. Obsérvese en la ecuación, que si el secundario tiene el doble de espiras que el primario (relación de espiras de 1:2) la tensión secundaria es el doble de la tensión primaria. En forma similar, si el secundario tiene solo la mitad de espiras que el primario (relación de espiras de 2:1), la tensión secundaria es de la mitad de la tensión primaria.

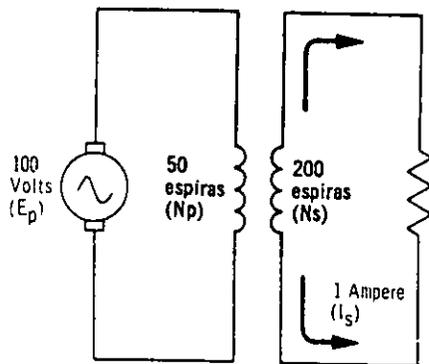
Puesto que la relación de espiras determina la relación entre las tensiones primaria y secundaria y puesto que, idealmente, la potencia del primario es igual a la potencia del secundario, entonces debe existir una relación entre la relación de espiras y las corrientes primaria y secundaria. Obsérvese en la ecuación de la potencia ($P=EI$) que, las potencias primaria y secundaria sean iguales, el devanado que tenga tensión más alta y, por lo tanto, mayor número de espiras, debe tener una corriente más baja. En forma similar, el devanado con tensión más baja y por lo tanto menor número de espiras, debe tener una corriente más alta. Esta relación entre las espiras y corrientes primaria y secundaria se expresa por medio de la ecuación:

$$I_p \times N_p = I_s \times N_s \quad \text{ó} \quad I_s/I_p = N_p/N_s$$

Por lo tanto, la corriente primaria será igual a:

$$I_p = I_s (N_s/N_p)$$

Aumento de Voltaje y Caída de Corriente



$$I_p = I_s (N_s/N_p) = 1 \times (200/50) = 4 \text{ amperes}$$

$$E_s = E_p (N_s/N_p) = 100 \times (200/50) = 400 \text{ volts}$$

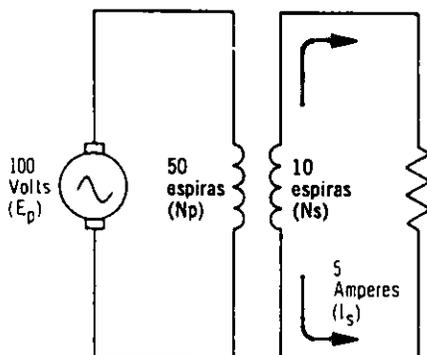
$$P_p = E_p \times I_p = 100 \times 4 = 400 \text{ watts}$$

$$P_s = E_s \times I_s = 400 \times 1 = 400 \text{ watts}$$

Figura No. 5

La ecuación que expresa la relación entre las espiras y la corriente del primario, con respecto a las del secundario, indica que la corriente en el primario multiplicada por el número de espiras en el devanado primario es igual a la corriente en el secundario multiplicada por el número de espiras en el devanado secundario. La corriente multiplicada por el número de espiras suele conocerse con el término de ampere-vueltas. De manera que el número de ampere-vueltas del primario es igual al del secundario.

Caída de Voltaje y subida y corriente



$$I_p = I_s (N_s/N_p) = 5 \times (10/50) = 1 \text{ ampere}$$

$$E_s = E_p (N_s/N_p) = 100 \times (10/50) = 20 \text{ volts}$$

$$P_p = E_p \times I_p = 100 \times 1 = 100 \text{ watts}$$

$$P_s = E_s \times I_s = 20 \times 5 = 100 \text{ watts}$$

Figura No. 6

Si se comparan las relaciones que hay entre la relación de espiras y las tensiones y corrientes, tenemos:

$$E_p/E_s = N_p/N_s$$

y

$$I_s/I_p = N_p/N_s$$

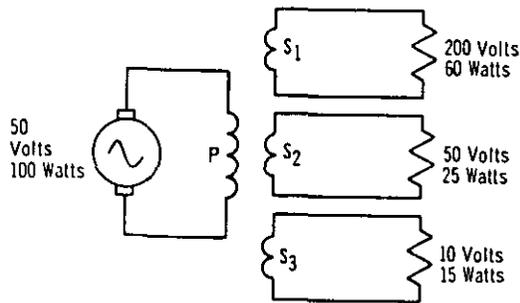
Se puede apreciar que la relación de corriente primario-secundario es opuesta a la relación de tensiones primario-secundario. Por lo tanto, un transformador con un aumento de 1:50 en tensión tiene una reducción de 50:1 en corriente. Obsérvese pues, que la potencia con una corriente y una tensión determinadas, se puede convertir a la misma potencia con cualquier otra corriente y tensión por medio de un transformador cuya relación de espiras sea adecuada.

Transformadores de secundario múltiple

Existe un tipo de transformador que tiene un solo devanado primario, pero más de un devanado secundario. Todos los devanados secundarios pueden ser devanados de bajada o de subida o bien unos de subida y otros de bajada. La tensión inducida en cada devanado secundario es independiente de los otros devanados y, como en cualquier transformador simple, la determina la tensión primaria y la relación del número de espiras del secundario con respecto a las del primario.

En algunas aplicaciones, los devanados secundarios se conectan a cada uno de los circuitos independientes. Sin embargo, en la transmisión de potencia eléctrica es común emplear transformadores con dos secundarios y conectar los devanados secundarios ya sea en serie o en paralelo. Entonces ambos secundarios transmiten potencia a la misma carga. Cuando los devanados están conectados en serie, si sus polaridades tienen la misma dirección entonces sus tensiones se suman; conduce la misma corriente. Si sus polaridades se oponen, sus tensiones se sustraen. Los devanados secundarios generalmente se conectan en paralelo de manera que pueda alimentarse una mayor corriente a una carga, con menos pérdidas (Figura No. 7).

**Devanados secundario
Múltiples independientes**



En transformadores con devanados secundarios múltiples, la potencia en el primario es igual a la suma de las potencias en los secundarios individuales:

$$P_p = P_{s_1} + P_{s_2} + P_{s_3} + \dots + \text{etc.}$$

**Devanados secundario multiples
conectados a una carga común**

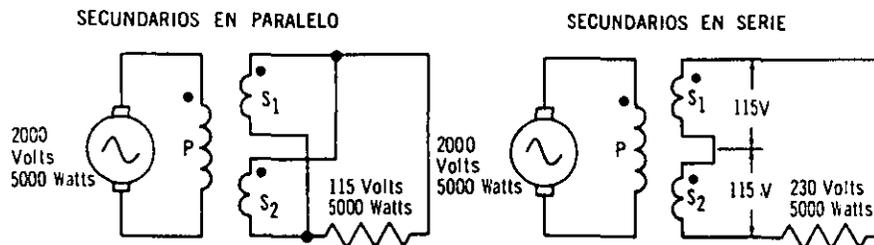


Figura No. 7

Tipos de Transformadores

Existen muchos tipos de transformadores que se emplean actualmente. Cada tipo de transformador está diseñado y, por lo tanto, se adapta mejor a determinada aplicación. Varían no solamente en características físicas, como tamaño y forma, sino también en características eléctricas y eficiencia. Existen ciertas categorías básicas dentro de las cuales pueden clasificarse todos los transformadores. Estas categorías se describirán a continuación.

Transformadores de Núcleo de Hierro y de Núcleo de Aire.

Las dos categorías más amplias en que se pueden clasificar los transformadores son transformadores de núcleo de hierro y de núcleo de aire. Los nombres se derivan de los materiales que se encuentran entre los devanados primario y secundario, y a través de los cuales viajan las líneas de flujo. Los devanados de los transformadores de núcleo de aire se colocan alrededor de piezas aislantes y las líneas de flujo siguen una trayectoria en el aire que hay entre los devanados. El aire no ofrece a las líneas de flujo una trayectoria tan buena como el hierro, de manera que el acoplamiento entre el primario y el secundario es inferior al que se obtiene cuando se emplea núcleo de hierro. El coeficiente de acoplamiento máximo posible con transformadores de núcleo de aire es del orden de 0.65, mucho menor que el de los transformadores de núcleo de hierro. En consecuencia, las relaciones simples primario-secundario no se aplican a transformadores de núcleo de aire, ya que estas fórmulas se basan en un acoplamiento casi perfecto. Por lo general, los transformadores de núcleo de aire solo se usan a muy altas frecuencias, donde son imprácticos los transformadores de núcleo de hierro debido a las pérdidas que ocasionan.

Los transformadores de núcleo de hierro generalmente tienen un núcleo hecho de hierro dulce o pulverizado. Los devanados están colocados alrededor del núcleo de hierro y las líneas de flujo se encuentran a través del núcleo entre los devanados. Las líneas de flujo hacen que el núcleo mismo se magnetice en la misma dirección, lo cual tiene como resultado un aumento considerable en el número total de líneas de flujo. Es posible un alto grado de acoplamiento con estos núcleos. Para lograr un mejor acoplamiento, a veces los devanados primario y secundario se devanan superpuestos. Se pueden obtener así coeficientes de acoplamiento tal altos como 0.98, en transformadores con núcleo de hierro. Estos altos coeficientes dan por resultado que los transformadores de núcleo de hierro tengan características aproximadas a las de un transformador ideal. Estos son los transformadores que se usan para la transmisión de potencia.

Hay un tipo de transformador en radio, en el cual se puede variar el acoplamiento. Esto se hace cambiando entre sí las posiciones de los devanados primario y secundario. Cuando los devanados forman ángulos rectos entre sí, el acoplamiento es nulo. Cuando están paralelos, hay un acoplamiento máximo (1.00). En cualquier ángulo intermedio, se puede obtener cualquier grado de acoplamiento. Otro método para cambiar el acoplamiento es el pasar un blindaje magnético entre los devanados de un transformador de núcleo de aire.

El Autotransformador

Existe un tipo especial de transformador con núcleo de hierro, que físicamente sólo tiene un devanado. Funcionalmente, sin embargo, este devanado sirve como primario así como secundario. Este tipo de transformador recibe el nombre de *autotransformador*. Cuando se usa un transformador para elevar la tensión, parte del devanado único actúa como primario y todo el devanado como secundario. Cuando se usa un autotransformador para reducir la tensión, todo el devanado actúa como primario y parte de él como secundario (Figura No. 8).

El devanado único de un autotransformador sirve tanto como primario cuanto como secundario

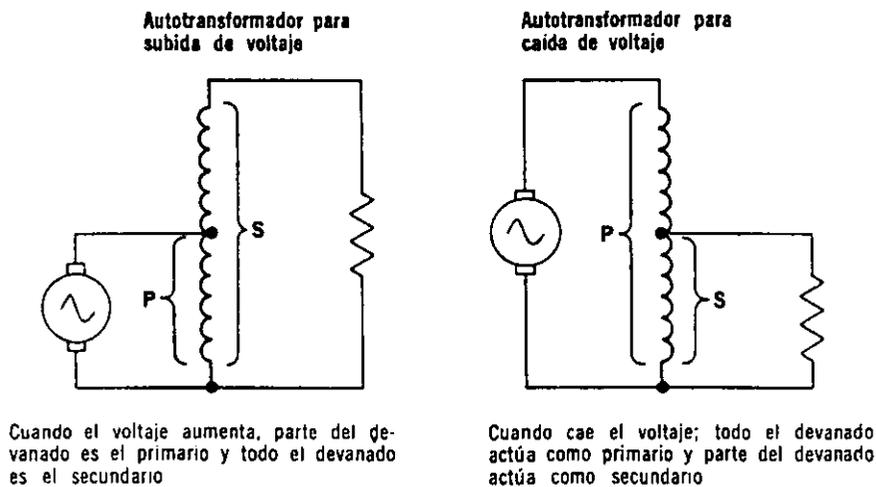


Figura No. 8

La acción de un autotransformador es básicamente la misma que la del transformador común de dos devanados. La potencia se transfiere del primario al secundario por medio del campo magnético cambiante, y el secundario, a su vez, regula la corriente del primario para establecer la condición necesaria de potencias iguales en el primario y el secundario. La cantidad de elevación o reducción en la tensión depende de la relación de espiras entre el primario y el secundario, considerando a cada devanado como separado, aunque alguna de las espiras sean comunes al primario y al secundario.

Una desventaja del autotransformador es la falta de aislamiento entre los circuitos primario y secundario. Esto resulta del hecho de que el primario y el secundario usan mancomunadamente algunas de las espiras. A pesar de esta desventaja, el autotransformador se usa en muchos circuitos debido a su bajo costo.

PERDIDAS EN UN TRANSFORMADOR

Sabemos que en un transformador ideal, la potencia en el secundario es exactamente igual a la potencia en el primario. Esto ocurre en un transformador cuyo coeficiente de acoplamiento sea 1.0 (acoplamiento completo) y no tenga pérdidas internas. En la práctica, no puede hacerse un transformador así. El grado con que un transformador cualquiera se aproxime a estas condiciones ideales, recibe el nombre de eficiencia del transformador. Matemáticamente, la eficiencia es igual a la potencia de salida (secundaria) dividida entre la potencia de entrada (primaria). o sea:

$$\text{Eficiencia (\%)} = (\text{Potencia de entrada/Potencia de salida}) \times 100$$

Nótese en esta ecuación que, cuando las potencias de salida y de entrada son iguales, la eficiencia es cien por ciento. Cuanto menor sea la potencia de salida en relación con la potencia de entrada, menor será la eficiencia.

Puesto que las pérdidas en un transformador reduce la eficiencia del mismo y, por lo tanto, representan potencia desperdiciada, estas pérdidas suelen mantenerse al mínimo. Esto ocurre especialmente en el diseño de transformadores de núcleo de hierro, los cuales deben transmitir grandes cantidades de potencia.

Pérdidas en el cobre y fugas

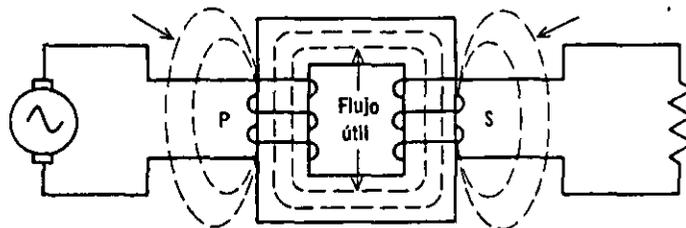
Generalmente, los devanados de un transformador están hechos de muchas espiras de alambre de cobre. Igual que cualquier alambre, estos devanados tienen resistencia. Cuantas más espiras tengan los devanados, mayor será la longitud necesaria del alambre y, por lo tanto, mayor la resistencia. Cuando las corrientes primaria y secundaria fluyen en los devanados, hay potencia disipada en forma de calor. Estas pérdidas $I R$ se llaman pérdidas en el cobre y son proporcionales al cuadrado de la corriente y a la resistencia. Las pérdidas en el cobre pueden reducirse al mínimo devanando el primario y el secundario del transformador con alambre que tenga área transversal amplia; pero esto aumenta el tamaño y el peso del transformador.

Una causa de la ineficiencia en transformadores de núcleo de hierro es el hecho de que no todas las líneas de flujo producidas por los devanados primario y secundario pasan por el núcleo. Algunas de las líneas se fugan de los devanados al espacio y, por lo tanto, no unen al primario y al secundario. Esta fuga de líneas de flujo representa energía desperdiciada (Figura No. 9).

FUGA DE FLUJO

Pérdidas de Flujo

Pérdidas de Flujo



La fuga es causada por el hecho de que no todas las líneas de flujo circulan a través del núcleo de hierro.

Figura No. 9

Pérdidas por Histéresis

En un transformador de núcleo de hierro, el núcleo es magnetizado por el campo magnético originado por la corriente de los devanados. La dirección de la magnetización del núcleo es la misma que la dirección del campo magnético que lo hace magnetizarse. Por lo tanto, cada vez que el campo magnético en los devanados se expande y se contrae, también cambia la dirección en que se magnetiza el núcleo. Cada molécula de hierro se comporta como un pequeño imán. Para magnetizar un trozo de hierro, todos o la mayor parte de estos pequeños imanes deben estar alineados en la misma dirección. Por lo tanto, cada vez que se invierte la dirección de magnetización del núcleo, las moléculas del núcleo giran para alinearse en la nueva dirección de las líneas de flujo. Sin embargo, las moléculas no siguen exactamente las inversiones del campo magnético.

Cuando el núcleo está magnetizado inicialmente, las moléculas están alineadas en la dirección del campo. Pero cuando el campo magnético baja hasta cero, las moléculas no vuelven a sus orientaciones erráticas originales. Como resultado, aunque la fuerza magnetizante se ha reducido a cero, el núcleo retiene aún parte de su magnetización. El campo magnético tiene que invertir su dirección y aplicar una fuerza magnetizante en la dirección opuesta antes de que el núcleo regrese a su estado desmagnetizado. Entonces, las moléculas se invierten y se orientan en la nueva dirección del campo. El atraso de la orientación de las moléculas con respecto a la fuerza magnetizante, recibe el nombre de *histéresis*. La energía que debe alimentarse a las moléculas para que giren y traten realmente de alinearse con el campo magnético, recibe el nombre de *pérdida por histéresis del núcleo*. Cuanto más energía se necesite, mayor será la pérdida por histéresis.

Pérdidas por corrientes parásitas

Puesto que el núcleo de hierro de un transformador es un material conductor, el campo magnético del transformador induce una tensión en el núcleo. Entonces esta tensión hace que circulen pequeñas corrientes dentro del núcleo. A estas corrientes se les llama corrientes parásitas o corrientes de remolino. Las corrientes parásitas se pueden considerar como corrientes de corto circuito, ya que la única resistencia que encuentran es la pequeña resistencia del material del núcleo. Igual que las pérdidas por histéresis las corrientes parásitas toman energía de los devanados del transformador, por lo que representan pérdidas de potencia.

Las corrientes parásitas en un núcleo de transformador se reducen dividiendo el núcleo en muchas secciones planas o laminaciones entre sí por medio de un revestimiento aislante aplicado en ambos lados de la laminación. Entonces las corrientes parásitas sólo pueden circular en las laminaciones individuales. Por otra parte, puesto que las laminaciones tienen áreas transversales muy reducidas, la resistencia que ofrecen a las corrientes parásitas aumenta considerablemente.

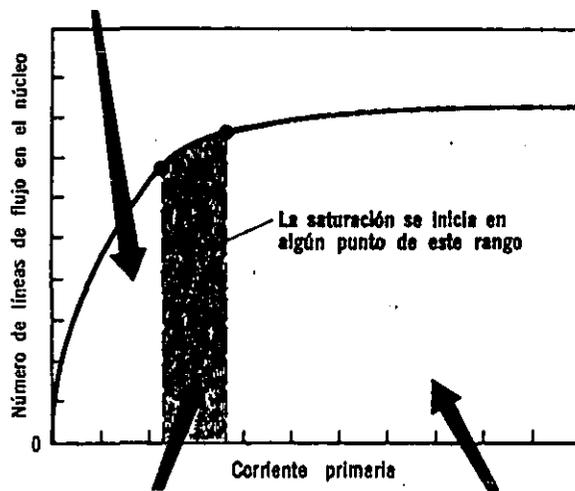
La pérdida de potencia debida a corrientes parásitas es proporcional a la frecuencia y a la magnitud de la corriente en el transformador. Por tanto, las pérdidas de corriente, igual que las pérdidas por histéresis, limitan el uso de transformadores de núcleo de hierro a las aplicaciones de altas frecuencias.

Pérdidas por Saturación

Cuando la corriente aumenta en el primario de un transformador de núcleo de hierro, las líneas de flujo generadas siguen una trayectoria del núcleo al devanado secundario, regresando al devanado primario a través del propio núcleo. Cuando empieza a aumentar la corriente, el número de líneas de flujo en el núcleo aumenta rápidamente. Cuando más se eleva la corriente, mayor es el número de líneas de flujo existentes en el núcleo. Cuando la corriente ha aumentado hasta el punto en que haya gran número de líneas de flujo en el núcleo (alta densidad de flujo), aumentar más la corriente sólo producirá otras pocas líneas de flujo. Entonces se dice que el núcleo está saturado. Todo aumento interior en la corriente primaria después de que se ha alcanzado la saturación en el núcleo, produce pérdida de potencia, ya que el campo magnético no puede acoplar la potencia adicional al secundario (Figura No. 10).

SATURACION DEL NUCLEO

Antes de llegar a la saturación, los pequeños cambios en la corriente resultan en aumentos relativamente grandes del número de líneas de flujo en el núcleo.



Cuando se llega a la saturación, los aumentos adicionales en la corriente tienen poco efecto sobre el número de líneas de flujo en el núcleo.

Cualquier corriente en el primario del transformador arriba de la requerida para producir la saturación, resulta en desperdicio de potencia.

Figura No. 10

CAPITULO III

CIRCUITOS DE FUNCIONAMIENTO PARA LAS LAMPARAS FLUORESCENTES

Introducción

Las lámparas fluorescentes en común con todas las de descarga, deben trabajar con la ayuda de un accesorio denominado balastro cuya función es limitar la corriente y a la vez suministrar el voltaje de arranque necesario. A medida que la corriente en el arco aumenta, la resistencia del mismo disminuye. De esta forma, el arco de una lámpara fluorescente prácticamente "se escaparía por sí mismo" y consumiría tanta corriente que podría destruir la lámpara sino estuviera limitada. La función más importante que desempeña un balastro es la de limitar la corriente, ya se trate de una bobina de reactancia, de un capacitor o resistor. Todas las lámparas fluorescentes requieren de un balastro que este diseñado especialmente para sus características eléctricas, el tipo de circuito en el que va a trabajar el voltaje y frecuencia de la fuente de alimentación.

Reactores de la clase "P"

Los reactores de la clase "P" están provistos de un protector térmico para cumplir con los requisitos establecidos por "Underwriter's Laboratories". Se trata de un dispositivo tipo reposición automática (Termostático), cuya función es la de desconectar el balastro del circuito cuando la temperatura de la cubierta del mismo llega a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un lapso de tiempo bajo condiciones anormales. Ya enfriado el balastro, el protector de reposición se vuelve a cerrar y la lámpara se enciende de nuevo.

Existen tres tipos generales de circuitos de funcionamiento para las lámparas fluorescentes, a saber: de precalentamiento, de arranque instantáneo y de arranque rápido.

Circuitos de Precalentamiento

En la figura No. 11 se ilustra un circuito simple del tipo precalentamiento. Cuando el interruptor se cierra, se completa el circuito y la corriente de calentamiento fluye por los cátodos instalados en cada uno de los extremos de la lámpara. Después de un tiempo de

precalentamiento (generalmente como un segundo), se abre el circuito. Este último aplica un impulso de voltaje a través de la lámpara y causa que el arco se establezca entre los cátodos.

Generalmente el interruptor es automático y se denomina arrancador.

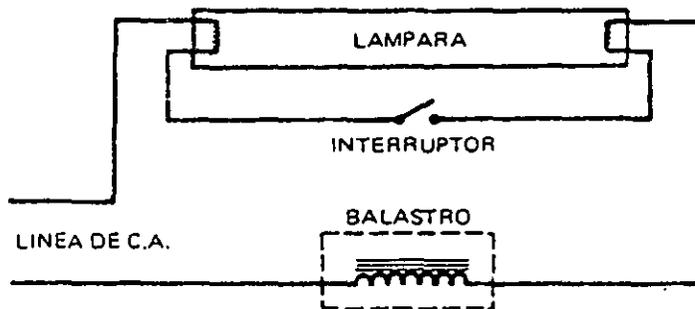


Figura No. 11

El balastro para dos lámparas generalmente es del tipo denominado de adelanto-atraso como el que se ilustra en la figura No. 12.

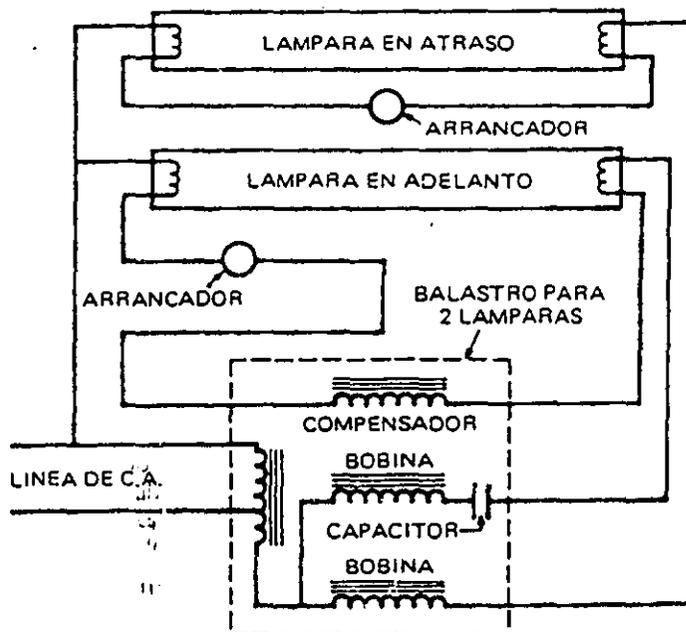


Figura No. 12

El balastro de tipo atraso-adelanto para una lámpara tiene una bobina de reactancia conectada en serie con el mismo, la cual hace que la corriente se atrase. La otra lámpara funciona en serie con una bobina de reactancia y un condensador, proporcionándole a la lámpara una corriente de adelanto. Este tipo de balastro proporciona un alto factor de potencia (sobre 90%) y reduce al mínimo el efecto estroboscópico.

Arrancadores

La función principal de un arrancador es la de cerrar el circuito de arranque de una lámpara de precalentamiento mientras el cátodo se calienta y después la de abrir el circuito para hacer arrancar la lámpara.

Arrancador Térmico

En la figura No. 13 se muestra un arrancador térmico que consiste en las siguientes partes básicas: 1) un calentador; 2) un material bimetalico que pueda hacer contacto ya sea con el elemento 3) o el 4) indistintamente. Al cambiar la temperatura del elemento bimetalico hará que este se mueva ya sea al pasar una corriente por ella o al ser afectada por el calentador. El calor hace mover al arrancador térmico a la posición de abierto, haciendo que arranque la lámpara. Ya con la lámpara operando normalmente, una pequeña cantidad de corriente continua pasando por el calentador, pero la energía consumida es de solo un watt. Los arrancadores tipo térmico se recomiendan para funcionamiento con corriente continua para arranque con baja temperatura.

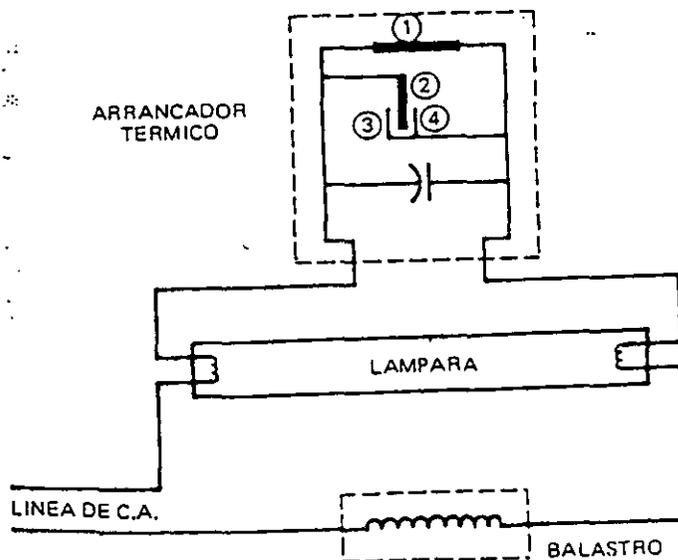


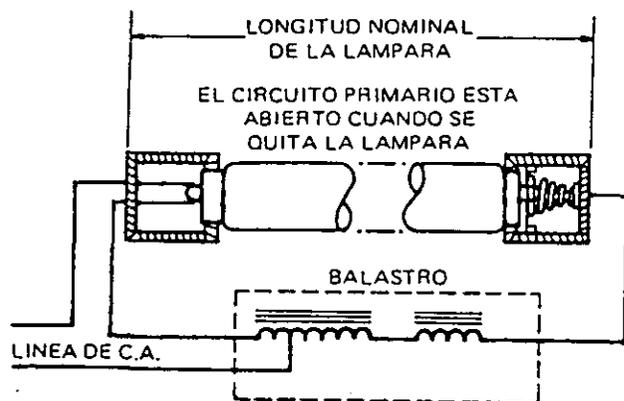
Figura No. 13

Circuito de Arranque Instantáneo

Si se aplica suficiente voltaje a través de una lámpara fluorescente, se forma el arco sin necesidad de calentamiento previo de los cátodos. Puesto que no se requiere ningún período de precalentamiento, a un circuito que tiene tan alto voltaje se le conoce como circuito de arranque instantáneo. Debido a que no se necesita un circuito de precalentamiento, las lámparas slimline (de arranque instantáneo) lleva una base con una sola espiga en cada extremo.

Con las lámparas de arranque instantáneo se usa un circuito de seguridad. Para evitar el peligro de un choque eléctrico la espiga de la base actúa como un si fuera un interruptor para desconectar el circuito del balastro al quitar la lámpara, como se muestra en la figura No. 14.

Para colocar una lámpara en el portalámparas, hay que empujarla primero en el resorte del portalámparas en el extremo de alto voltaje insertándola después en el portalámparas rígido en el extremo de bajo voltaje. Ambas lámparas deberán estar en su lugar para cerrar el circuito y permitir el flujo de la corriente por el devanado primario del balastro.



Lámpara Slimline (de arranque Instantáneo), lleva una base con una sola espiga.

Figura No. 14

Circuitos de Arranque Rápido

Como ya se explicó en la sección relativa a las lámparas de arranque rápido, los balastos para los circuitos de arranque rápido tienen devanados separados para suministrar voltaje de calentamiento continuo para los cátodos de las lámparas según se muestra en la figura siguiente. A diferencia de la lámpara de precalentamiento que carece de circuito calefactor de cátodo después de la formación del arco, el circuito de arranque rápido suministra una pequeña corriente de calentamiento aun cuando la lámpara se encuentre operando. En condiciones normales, el balastro de arranque rápido hará que arranque la lámpara en menos de un segundo.

Los balastos de arranque rápido para dos lámparas las arrancan en secuencia y luego las hacen funcionar en serie. Después que se conecta el circuito, la primera operación consiste en el calentamiento de los cátodos para ayudar en el arranque de las lámparas, reduciendo las exigencias de voltaje de arranque. El capacitor, en paralelo a través de la lámpara número dos ayuda a que arranque la lámpara número uno, primero conectando momentáneamente casi todo el voltaje secundario del balastro a través de la lámpara número uno. Como la caída de tensión a través de esta lámpara después de arrancar es muy baja, prácticamente toda la tensión del balastro queda disponible para arrancar la lámpara número dos. Entonces las dos lámparas funcionan en serie incrementando la corriente rápidamente hasta lograr el funcionamiento de la lámpara para garantizar la vida de las mismas (Figura No. 15).

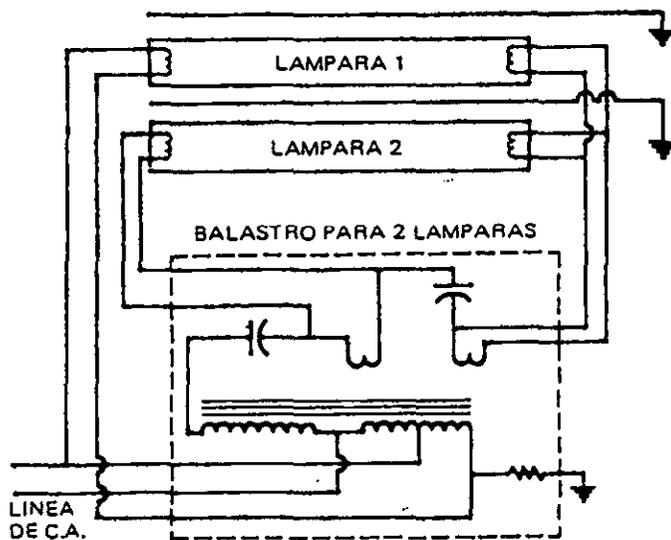


Figura No. 15

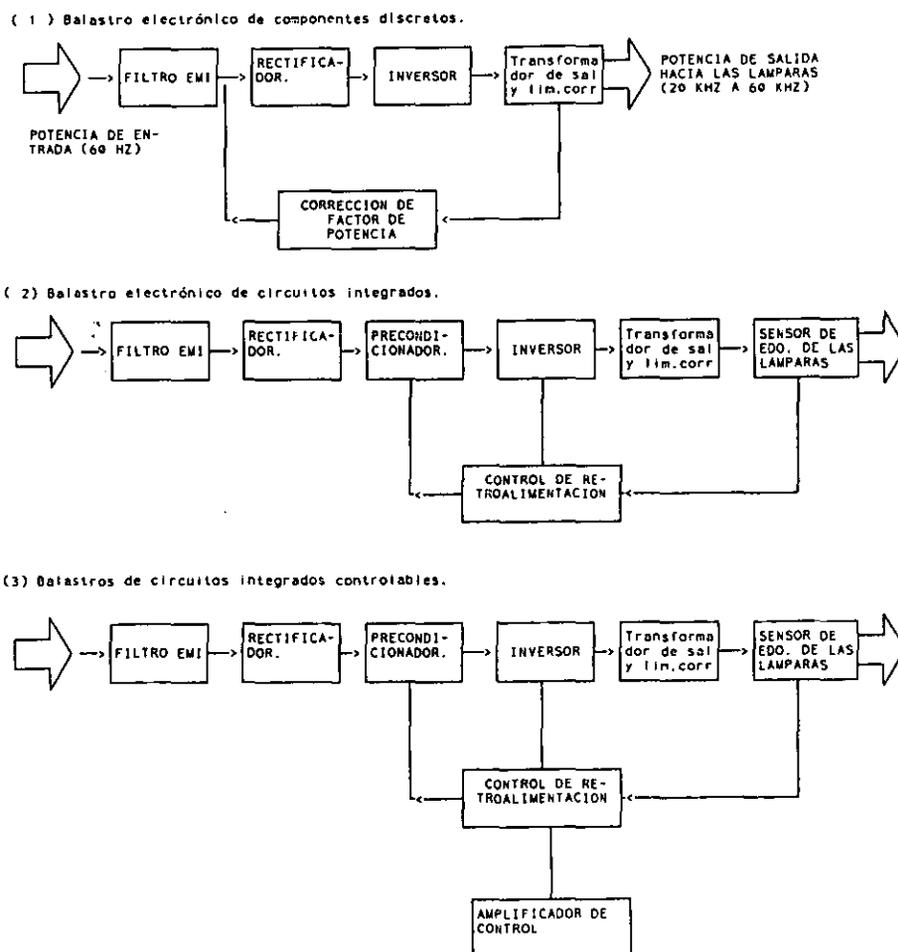
Para garantizar el arranque seguro, es importante que las lámparas que trabajan con balastos de arranque rápido se monten a una distancia de una pulgada de un elemento metálico eléctricamente conectado a tierra a lo largo de la lámpara en el caso del alta emisión (HO) y muy alta emisión (VHO) y a media pulgada para las lámparas por debajo de 500 ma. En la mayoría de los casos, el reflector o el canal de alambrado sirve para este propósito.

CAPITULO IV

BALASTROS ELECTRONICOS, CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO.

Generales

Actualmente no existe un estandar ANSI referente a todos los aspectos del desempeño de balastros electrónicos debido a la falta de un diseño estandar de circuito para su construcción. Aún así los balastros electrónicos se pueden dividir en dos tipos básicamente: Aquellos construidos con componentes electrónicos discretos (diseño de primera generación), y los construidos con circuitos integrados especializados (a estos se les puede llamar diseños de segunda y tercera generación). El funcionamiento de los balastros típicos de primera, segunda y tercera generación se muestran en el siguiente diagrama:



Como se muestra en el diagrama de bloques de balastos de primera generación, las primeras tres funciones; el filtro, el rectificador y el inversor (que se emplea para reformar la onda senoidal de C. A. a altas frecuencias), no se utilizan en los balastos electromagnéticos. Sin embargo, las últimas dos funciones, la del limitador de corriente y el control del factor de potencia son similares a las empleadas en los balastos electromagnéticos, pero trabajan a altas frecuencias en lugar de 60 Hz.

La segunda generación de balastos añade otras dos funciones: el acondicionador y el control de retroalimentación. El acondicionador provee la corrección del factor de potencia y un voltaje constante de corriente directa para alimentar al oscilador de alta frecuencia. Esta función también mantiene un contenido bajo de armónicas, luz constante de salida y una suave secuencia de arranque para las lámparas. El control de retroalimentación es provisto por un circuito integrado que regula otros componentes del balastro además de sensar los requerimientos de potencia de las lámparas atendidas.

Esta habilidad de sensar los requerimientos de potencia de las lámparas permite al balastro operar cualquier lámpara de 4 pies, incluyendo las T8, T10 y T12 (de 32,34 y 40 w). De esta manera un usuario puede actualizar un sistema de iluminación con un nuevo tipo de lámparas sin cambiar los balastos.

La tercera generación de balastos añade otro circuito, llamado amplificador de control, que permite a señales externas ingresar al control de retroalimentación a través de un par de conductores de bajo voltaje. Una señal externa puede ser originada por un atenuador manual, un detector automático de ocupación, una unidad automática de atenuamiento por fotocelda o cualquier otro dispositivo similar. Hasta 50 balastos (que no necesariamente deben estar en el mismo ramal) pueden estar conectados a través del circuito de control de bajo voltaje, añadiendo al control, versatilidad en los arreglos de iluminación.

El uso de circuitos integrados en los diseños de balastos electrónicos de segunda y tercera generación no solo reduce el número de componentes individuales de los balastos sino además les proporciona la capacidad de poseer funciones que no eran capaces de obtener sin el uso de sistemas de control caros que se añadan por separado, como los controles de salida variable de iluminación. En adición a lo anterior, algunos diseños de balastos electrónicos proveen una regulación de voltaje superior permitiendo que sean utilizados en aplicaciones de iluminación de emergencia. Además los circuitos de protección que poseen los circuitos integrados, los resguardan en contra del sobrecalentamiento, uso incorrecto de las lámparas y errores de instalación.

Los balastos electrónicos ofrecen muchas ventajas operacionales sobre los electromagnéticos.

Frecuencia de Operación

Los balastos electromagnéticos actuales operan con una frecuencia de 60 Hz. (60 ciclos por segundo) la cual es la frecuencia de la corriente alterna disponible en México. Los balastos electrónicos convierten esta entrada de 60 Hz. para operar a frecuencias de entre 20 y 60 khz (20,000 a 60,000 ciclos por segundo), dependiendo del modelo específico.

Eficiencia energética

Debido a que los balastos electrónicos funcionan a alta frecuencia, los sistemas de iluminación fluorescente que ellos operan pueden convertir la energía en luz más eficientemente que los operados por balastos electromagnéticos normales. Los balastos electrónicos pueden hacer que las lámparas fluorescentes emitan mucha más luz con el mismo consumo de energía, que cuando son operadas con balastos electromagnéticos, lo anterior se debe a una mayor excitación del fósforo.

Como la sustitución de balastos electromagnéticos por balastos electrónicos en la mayoría de los casos va acompañada de una reducción en la cantidad de lámparas instaladas, los balastos electrónicos se han diseñado para utilizar parte de su mayor eficiencia para producir más luz, y parte para consumir menos energía, lo cual resulta en una combinación óptima para la reducción de los gastos de operación. Por ejemplo: un balastro electrónico operando dos lámparas de 34 W, ahorradoras de energía, de arranque rápido, requiere una potencia de 64 watts para producir 15% más luminosidad al utilizar las mismas lámparas, que cuando son operadas con un balastro electromagnético que requiere una potencia de entrada de 75 watts. Esto representa un 15% de ahorro de energía, con un 15% de aumento en la cantidad de luz emitida.

Disminución del zumbido

El zumbido característico de los sistemas de iluminación fluorescente resulta de la vibración de las láminas de acero del transformador de los balastos electromagnéticos. Este ruido puede molestar a algunas personas en lugares donde un ambiente de trabajo silencioso es requerida. Los balastos electrónicos son ideales para utilizarse en estos ambientes silenciosos, debido a que las láminas de acero han sido eliminadas de su diseño.

Menor Peso

Los balastos electrónicos son más livianos que los balastos electromagnéticos, algunos llegan a pesar menos de la mitad. Existen dos razones para ésto:

- Los componentes electrónicos son más livianos que los componentes metálicos de los electromagnéticos.

- Los componentes electrónicos están recubiertos con resina protectora, mientras que la caja completa de los electromagnéticos está rellena de resina. La resina protege a los componentes de los balastos de la humedad y proporciona una barrera contra el sonido.

Algunos beneficios del menor peso de los balastos electrónicos, son: menores costos de embarque, fácil manejo de instalación y menor tensión sobre la estructura de los techos o plafones (minimizando la necesidad de reforzar las estructuras de los plafones o techos después de instalar los nuevos luminarios).

Los balastos electrónicos representan una importante diferencia en el peso total del luminario. Por ejemplo: en un luminario de 4 lámparas de 39 W, dos balastos electromagnéticos pesarían un total de 5.3 Kg., mientras que los electrónicos sólo pesarían 3.8 Kg.

Operación más fría

Por cada 10° centígrados de operación más fría de un balastro electromagnético su vida se duplica. Aunque aún no se han hecho pruebas sobre el efecto de una operación más fría en la vida del balastro electrónico, la vida de un balastro de "estado sólido" definitivamente se alarga bajo una operación más fría. Los balastros electrónicos operan 30°C más abajo en su temperatura que los balastros electromagnéticos normales.

La característica de operación más fría de los balastros electrónicos da otra ventaja: ahorro de costos de aire acondicionado. Generalmente, los costos de energía son menores, en instalaciones en donde se utilicen balastros electrónicos, ya que éstos operan a más bajas temperaturas y reducen los requerimientos de aire acondicionado.

Otra de las ventajas de los balastros electrónicos es la de reducir el efecto conocido como "parpadeo". Como se explicó anteriormente, este efecto se debe a la variación cíclica de la luz que sigue a la onda de la corriente de la lámpara, al doble de la frecuencia de operación de la misma. Estudios han demostrado que este parpadeo puede ser causante de algunos problemas tales como distracción, náusea, fatiga visual, etc.

CAPITULO V

ESTUDIO DE UN CASO PRACTICO

En el centro de investigación de la universidad la Salle se llevó a cabo un estudio de reconversión de lámparas y balastos, a sus instalaciones, con el propósito de reducir el consumo de energía eléctrica y se desarrolló como se menciona a continuación.

AUDITORIA ENERGETICA

En base a los datos obtenidos mediante una auditoría energética, se realizó un cálculo estimativo de la cantidad de energía eléctrica consumida mensualmente a causa de los servicios de iluminación.

Dichos servicios, como su nombre lo indica, se refiere a tener focos ("spots") o lámparas fluorescentes prendidas con objeto de proveer la iluminación necesaria para trabajar o circular en un área cualquiera. Lo anterior implica un consumo eléctrico debido a la lámpara misma, y también debido al balastro o arrancador presente en los equipos fluorescentes.

Para edificios catalogados como de uso comercial, y en especial para los de una institución educativa ubicada en el Valle de México, es de esperar que la mayor parte del consumo eléctrico sea ocasionado por los servicios de iluminación. Considérese el área total destinada a aulas y oficinas contra las demás áreas iluminadas (pasillos, baños y talleres, principalmente).

RECONVERSION

Con el solo hecho de cambiar los focos, lámparas y balastos actualmente instalados en los tres distintos campus por otros de tecnología más desarrollada, llamados en general "ahorradores de energía", se pueden lograr disminuciones considerables en los consumos energéticos.

Los equipos descritos a continuación se encuentran instalados actualmente en distintos lugares dentro de los campus, y existen para ellos alternativas que ahorren energía. Se enlistan del lado izquierdo los sistemas existentes y el equipo alternativo del lado derecho.

EQUIPO ACTUAL

Lámp. 39w arranque instantáneo
 Balastro 2x39w convencional
 Lámp. 75w arranque instantánea
 Balastro 2x75w convencional
 Spot 75w
 Foco 100w

EQUIPO PROPUESTO

Lámp. 34w arranque rápido
 Balastro 2x34w ahorrador
 Lámp. 60w arranque instantáneo
 Balastro 2x60w convencional
 Lámp. SL-18
 Lámp. PL-13

Existen también lámparas de 20w arranque instantáneo con balastros convencionales instaladas. Sin embargo, para ellas no existen equipo alternativo. Por esto es que aparecen en la auditoría energética, tanto en el sistema actual como en el propuesto, sin cambio alguno.

CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS

Equipo actual o Existente

Descripción	Vida útil (Hrs.)	Potencia (w)
Lámp. TL12 39w arranque instantáneo	9,000	106
Balastro 2x39w convencional	30,000	(conjunta)
Lámp. TL12 75w arranque instantáneo	12,000	173
Balastro 2x75w convencional	30,000	(conjunta)
Spot 75w	1,000	75
Foco 100w	1,000	100

Equipo propuesto

Descripción	Vida útil (Hrs.)	Potencia (w)
Lámp. TL12 34w arranque rápido	20,000	72
Balastro 2x34w ahorrador	60,000	(conjunta)
Lámp. TL12 60w arranque instantáneo	12,000	123
Balastro 2x60w convencional	30,000	(conjunta)
Lámp. SL-18	10,000	18
Lámp. SL-13	10,000	18

En lo que respecta a lámparas, la de 39w se sustituye por otra 2.22 veces más duradera, mientras que los focos y spots son cambiados por equipos 10 veces más subsistentes. La lámpara de 60w tiene una vida útil igual a la de la lámpara que sustituye. Sin embargo, todas las lámparas del equipo propuesto consumen menos energía eléctrica por hora que las instaladas, en una proporción de 1.5 veces menos para los incandescentes.

Por otro lado, los arrancadores o balastos propuestos son dos veces más duraderos que los existentes.

Energéticamente, las ventajas que ofrecen a primera vista los equipos alternativos justificarían su instalación y cambio por los actuales. Sin embargo, en cuanto al aspecto económico, este equipo es más costoso, por lo que la inversión es considerable. Esta asciende a \$55,761 usd, calculada en base a precios considerados como representativos. Esta cifra comprende solamente el precio de los equipos nuevos, sin incluir el costo de instalación. Debido a la larga vida del equipo alternativo, en combinación con el ahorro energético que proporciona, es posible recuperar los costos de inversión dentro de su misma vida útil, y aún más, tener ganancias.

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA PROPUESTO

En la siguiente tabla se simula el consumo por concepto de iluminación que describiría el equipo propuesto una vez en operación. En la misma tabla se simula el comportamiento del equipo existente, para poder comparar el desempeño de ambos.

Al conjunto de un equipo de iluminación se le denominará de aquí en adelante "Sistema existente" o "Sistema propuesto".

Para dicha simulación se obtuvo estadísticamente una media del número de horas mensuales que se tienen prendidos los servicios de iluminación. Esta cifra es de 216.5 hrs/mes.

SIMULACION COMPARATIVA

Operación Energética
y Económica ULSA

CAMPUS/AREA	PZA	SISTEMA EXISTENTE				SISTEMA PROPUESTO			
		MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE	MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE
ESCUELAS PROFESIONALES	888	2X39	106	94.13	\$1,630.30	2X34	72	63.94	\$1,107.37
	9	2X75	173	1.56	\$26.97	2X60	123	1.11	\$19.17
	274	2X20	48	13.15	\$227.79	2X20	48	13.15	\$227.79
	91	SPOT 75	75	6.83	\$118.21	SL-18	18	1.64	\$28.37
PLAZA Y PATIOS	24	2X39	106	2.54	\$44.06	2X34	72	1.73	\$29.93
	27	2X75	173	4.67	\$80.90	2X60	123	3.32	\$57.52
	109	FOCO 75	75	8.18	\$141.59	SL-18	18	1.96	\$33.98
	274	FOCO 100	100	27.40	\$474.57	PL-13	18	4.93	\$85.42
TORRE DE RECTORIA	140	2X39	106	14.84	\$257.03	2X34	72	10.08	\$174.59
	45	2X75	173	7.79	\$134.84	2X60	123	5.54	\$95.87
	36	2X20	48	1.73	\$29.93	2X20	48	1.73	\$29.93
	27	SPOT 75	75	2.03	\$35.07	SL-18	18	0.49	\$8.42
GIMNASIO	34	2X39	106	3.60	\$62.42	2X34	72	2.45	\$42.40
	21	2X75	173	3.63	\$62.92	2X60	123	2.58	\$44.74
	36	SPOT 75	75	2.70	\$46.76	SL-18	18	0.65	\$11.22
TALLERES DE ING	139	2X39	106	14.73	\$255.19	2X34	72	10.01	\$173.34
	100	2X75	173	17.30	\$299.64	2X60	123	12.30	\$213.04
	9	SPOT 75	75	0.68	\$11.69	SL-18	18	0.16	\$2.81
ESCUELA PREPARATORIA	131	2X39	106	13.89	\$240.51	2X34	72	9.43	\$163.36
	334	2X75	173	57.78	\$1,000.78	2X60	123	41.08	\$711.54
	294	2X20	48	14.11	\$244.42	2X20	48	14.11	\$244.42
	147	SPOT 75	75	11.03	\$190.95	SL-18	18	2.65	\$45.83
NUEVO EDIFICIO DIRECCIONES	242	2X39	106	25.65	\$444.29	2X34	72	17.42	\$301.78
	31	2X75	173	5.36	\$92.89	2X60	123	3.81	\$66.04
		TOTAL kwh		355.30	\$6,153.73 USD	TOTAL kwh		226.26	\$3,918.88 USD
		kwhr/mes		76922.00		kwhr/mes		48986.00	

CAMPUS/AREA	PZA	SISTEMA EXISTENTE				SISTEMA PROPUESTO			
		MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE	MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE
BIBLIOTECA	63	2X39	106	6.68	\$159.07	2X34	72	4.54	\$78.56
	450	2X75	173	77.85	\$1,854.39	2X60	123	55.35	\$958.66
	12	2X20	48	0.58	\$13.72	2X20	48	0.58	\$9.98
	49	SPOT-75	75	3.68	\$87.54	SL-18	18	0.88	\$15.28
		TOTAL kwh		88.78	\$2,114.72 USD	TOTAL kwh		49385.23	\$6,914.73 USD
		kwhr/mes		19221.00		kwhr/mes		48986.00	

CAMPUS/AREA	PZA	SISTEMA EXISTENTE				SISTEMA PROPUESTO I			
		MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE	MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE
ESCUELA DE QUIMICA	29	2X39	106	3.07	\$73.22	2X34	72	2.09	\$49.74
	123	2X75	173	21.28	\$506.87	2X60	123	15.13	\$360.37
	17	SPOT 75	75	1.28	\$30.37	SL-18	18	0.31	\$7.29
		TOTAL kwh		25.63	\$610.46 USD	TOTAL kwh		17.52	\$417.40 USD
		kwhr/mes		5548.00		kwhr/mes		3794.00	

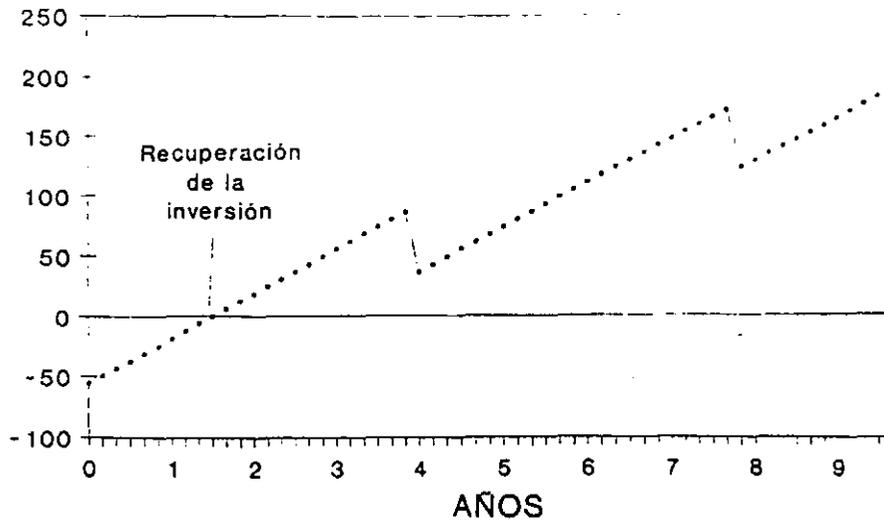
Así pues, el ahorro energético en ULSA representa el 33.25% del consumo general actualmente registrado para este campus. Para biblioteca el porcentaje es de 25.4% y para Química de 29.4%.

Existe una relación directa entre el consumo eléctrico y el dinero que debe pagarse por este servicio. Los porcentajes arriba mencionados pueden compararse con "descuentos" que se obtienen sobre el precio total pagado por el energético. A estos "descuentos" se les denomina ahorros de explotación.

Ahora bien, el ahorro de explotación registrado mensualmente al paso del tiempo se acumula, recuperándose paulatinamente la inversión inicial. En la gráfica siguiente se compara este ahorro contra tiempo, para los tres campus considerados en conjunto. En el mes cero, al inicio de operación del sistema propuesto, se tiene "ahorro negativo" que corresponde a la inversión inicial total: \$55,761 usd. Esta cifra comprende solamente el precio de los equipos nuevos, sin incluir el costo de instalación.

RAPIDEZ DE RECUPERACION

Todos los Campus



Para simplificar el modelo, se considera que cada 10,000 horas de uso se ha de reponer totalmente el equipo del sistema. Este número de horas corresponde a la vida útil de la lámpara menos duradera de todas las propuestas. En la práctica esta reposición no ocurrirá de esta manera, ya que las lámparas y balastos fluorescentes tienen una vida más prolongada, y estos serán cambiados posteriormente. La curva de rapidez de recuperación tiene forma aserrada debido a estas reposiciones "masivas" y su pendiente o inclinación es más suave de lo que describe este modelo.

La recuperación de la inversión inicial es predecible que ocurra en 19 meses (1.6 años). Cabe advertir que existiran meses (los incluyan vacaciones) en los que el ahorro será menor que el previsto, por otro lado, habrá también aquellos en los que sea superior. Se debe recordar que el comportamiento aquí descrito está idealizado en base a medias estadísticas, y por ello la fecha de recuperación puede variar.

Este comportamiento idealizado considera que existe un costo fijo de operación predecible, tanto para el sistema propuesto como para el existente. Estos dos costos se acumulan y al ser graficados contra el tiempo, describirán dos líneas con diferente pendiente. Si al sobreponerlas, se intersectan, la inversión inicial del sistema propuesto es recuperable.

IMPACTO ECOLOGICO

Al instalar la reconversión propuesta, se producen ahorros de energía eléctrica. Las centrales generadoras de electricidad usan tres combustibles diferentes para funcionar: coque (carbón mineral), petróleo o gas natural. El ahorro anual de energía eléctrica obtenido al reconvertir los servicios de iluminación de la universidad La Salle, evitará que se quemem dichos combustibles en las cantidades mostradas en la siguiente figura.

Dicha combustión produce como subproducto indeseables bióxido de carbono, dióxido de azufre y óxido de nitrógeno, todos ellos considerados como contaminantes. Al ahorrar energía, se evita quemar combustibles, y al mismo tiempo se evitan las emisiones mencionadas.

EXTRAPOLACION A BALASTROS ELECTRONICOS

Del caso práctico estudiado anteriormente utilizando balastros electromagnéticos del tipo ahorradores de energía se extrapola un análisis para el uso de balastros electrónicos basandonos en información obtenida por el departamento de ingeniería de la empresa Duro Test Corporation en Fairfield, N. J.; E.U.A. así, como del Centro de Investigaciones en Iluminación del Instituto Politécnico Rensselaer en Troy, N:Y., E.U.A., donde se manifiesta que existe una reducción del 18% en el consumo de energía eléctrica utilizando este tipo de balastros en relación a los electromagnéticos de alta eficiencia, de donde se desprenden los siguientes cuadros comparativos que ponen de manifiesto los ahorros tanto energéticos como económicos obtenidos con el uso de estos dispositivos.

SIMULACION COMPARATIVA
Operación Energética
y Económica

CAMPUS/AREA	PZA	SISTEMA EXISTENTE				SISTEMA PROPUESTO I				SISTEMA PROPUESTO II			
		MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE	MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE	MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE
ESCUELAS PROFESIONALES	888	2X39	106	94 13	\$1,630 30	2X34	72	63 94	\$1,107 37	2X34	61	54 17	\$938 19
	9	2X75	173	1 56	\$26 97	2X60	123	1 11	\$19 17	2X60	104	0 94	\$16 21
	274	2X20	48	13 15	\$227 79	2X20	48	13 15	\$227 79	2X20	40	10 96	\$189 83
	91	SPOT 75	75	6 83	\$118 21	SL-18	18	1 64	\$28 37	SL-18	18	1 64	\$28 37
PLAZA Y PATIOS	24	2X39	106	2 54	\$44 06	2X34	72	1 73	\$29 93	2X34	61	1 46	\$25 36
	27	2X75	173	4 67	\$80 90	2X60	123	3 32	\$57 52	2X60	104	2 81	\$48 63
	109	FOCO 75	75	8 18	\$141 59	SL-18	18	1 96	\$33 98	SL-18	18	1 96	\$33 98
	274	FOCO 100	100	27 40	\$474 57	PL-13	18	4 93	\$85 42	PL-13	18	4 93	\$85 42
TORRE DE RECTORIA	140	2X39	106	14 84	\$257 03	2X34	72	10 08	\$174 59	2X34	61	8 54	\$147 91
	45	2X75	173	7 79	\$134 84	2X60	123	5 54	\$95 87	2X60	104	4 68	\$81.06
	36	2X20	48	1 73	\$29 93	2X20	48	1 73	\$29 93	2X20	40	1 44	\$24 94
	27	SPOT 75	75	2 03	\$35 07	SL-18	18	0 49	\$8 42	SL-18	18	0 49	\$8 42
GIMNASIO	34	2X39	106	3 60	\$62 42	2X34	72	2 45	\$42 40	2X34	61	2 07	\$35 92
	21	2X75	173	3 63	\$62 92	2X60	123	2 58	\$44 74	2X60	104	2 18	\$37 83
	36	SPOT 75	75	2 70	\$46 76	SL-18	18	0 65	\$11 22	SL-18	18	0 65	\$11 22
TALLERES DE ING	139	2X39	106	14 73	\$255 19	2X34	72	10 01	\$173 34	2X34	61	8 48	\$146 86
	100	2X75	173	17 30	\$299 64	2X60	123	12 30	\$213 04	2X60	104	10.40	\$180.13
	9	SPOT 75	75	0 68	\$11 69	SL-18	18	0 16	\$2 81	SL-18	18	0 16	\$2 81
ESCUELA PREPARATORIA	131	2X39	106	13 89	\$240 51	2X34	72	9 43	\$163 36	2X34	61	7 99	\$138 40
	334	2X75	173	57 78	\$1,000 78	2X60	123	41 08	\$711 54	2X60	104	34 74	\$601.63
	294	2X20	48	14 11	\$244 42	2X20	48	14 11	\$244 42	2X20	40	11 76	\$203 68
	147	SPOT 75	75	11 03	\$190 95	SL-18	18	2 65	\$45 83	SL-18	18	2 65	\$45 83
NUEVO EDIFICIO DIRECCIONES	242	2X39	106	25 65	\$444 29	2X34	72	17 42	\$301 78	2X34	61	14 76	\$255 68
	31	2X75	173	5 36	\$92 89	2X60	123	3 81	\$66 04	2X60	104	3 22	\$55 84
		TOTAL kwh		355 30	\$6,153.73 USD	TOTAL kwh		226.26	\$3,918.88 USD	TOTAL kwh		193.08	\$3,344.15 USD
		kwhr/mes		76922.00		kwhr/mes		48986.00		kwhr/mes		41801.82	

SIMULACION COMPARATIVA
Operación Energética
y Económica

CAMPUS/AREA	PZA	SISTEMA EXISTENTE				SISTEMA PROPUESTO I				SISTEMA PROPUESTO II							
		MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE	MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE	MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE				
BIBLIOTECA	63	2X39	106	6.68	\$159.07	2X34	72	4.54	\$78.56	2X34	61	3.84	\$66.56				
	450	2X75	173	77.85	\$1,854.39	2X60	123	55.35	\$958.66	2X60	104	46.80	\$810.58				
	12	2X20	48	0.58	\$13.72	2X20	48	0.58	\$9.98	2X20	40	0.48	\$8.31				
	49	SPOT-75	75	3.68	\$87.54	SL-18	18	0.88	\$15.28	SL-18	18	0.88	\$15.28				
TOTAL		kwh		88.78	\$2,114.72 USD	TOTAL		kwh		61.34	\$1,460.91 USD	TOTAL		kwh		52.01	\$1,238.88 USD
		kwhr/mes		19221.00				kwhr/mes		13281.00				kwhr/mes		11260.17	

CAMPUS/AREA	PZA	SISTEMA EXISTENTE				SISTEMA PROPUESTO I				SISTEMA PROPUESTO II							
		MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE	MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE	MOD.	W	CONSUMO	IMPORTE				
ESCUELA DE QUIMICA	29	2X39	106	3.07	\$73.22	2X34	72	2.09	\$49.74	2X34	61	1.77	\$42.14				
	123	2X75	173	21.28	\$506.87	2X60	123	15.13	\$360.37	2X60	104	12.79	\$304.71				
	17	SPOT 75	75	1.28	\$30.37	SL-18	18	0.31	\$7.29	SL-18	18	0.31	\$7.29				
TOTAL		kwh		25.63	\$610.46 USD	TOTAL		kwh		17.52	\$417.40 USD	TOTAL		kwh		14.87	\$354.13 USD
		kwhr/mes		5548.00				kwhr/mes		3794.00				kwhr/mes			

CAPITULO VI

RESUMEN DE RESULTADOS

Como se visualiza en el cuadro anterior existe un ahorro energético en el campus del 14.66 %, para biblioteca de 15.19 % y para química de 15.16%.

Lo anterior derivado exclusivamente de la diferencia de consumo de energía del balastro, utilizando el mismo tipo de lámparas.

Los balastros electrónicos tienen una duración mínima de 2.5 veces la de los ahorradores de energía derivado de las características inherentes a su fabricación y diseño anteriormente descritas.

De lo anterior podemos deducir que si el balastro ahorrador tiene un precio aproximado en el mercado de \$12 U.S.A. y el electrónico de \$22 U.S.A. entre sus duraciones obtenemos los siguientes factores:

$$\text{ELECTRONICOS } 22/25 = 0.88$$

$$\text{ECONOMIZADOR } 12/10 = 1.2$$

De donde el precio del balastro electrónico en función de su duración total es el 73% del balastro ahorrador.

Por otra parte la duración de la lámpara utilizando estos dispositivos se incrementa de la misma manera como resultado de trabajar a altas frecuencias en lugar de 60 Hz. Lo anterior es debido a que el tiempo de encendido y apagado en 60 Hz. es de 8.33 mseg. y el de 25 khz. es de 20 μ -seg.

En el primer caso como el tiempo es muy grande la lámpara sufre desgaste al ionizarse y desionizarse, situación que no ocurre en alta frecuencia puesto que el tiempo es tan corto que el ambiente se mantiene constantemente ionizado.

De donde se puede observar que el costo por reposición de lámparas disminuirá a menos de la mitad para condiciones normales de operación.

En la proyección de costos de los dos casos anteriores no se han tomado en cuenta aquellos por concepto de mantenimiento pero debe observarse que también disminuirán en la misma proporción.

BOGOTÁ, D. C., 17 DE ABRIL DE 2014.

CONCLUSIONES

De todo lo mencionado con anterioridad se puede concluir que se obtienen muchas ventajas de la sustitución de los balastos electromagnéticos por balastos electrónicos en los sistemas de alumbrado fluorescente los cuales se pueden encuadrar en cuatro grupos:

- Economía
- Impacto ecológico
- Seguridad
- Confort

Economía:

En este rubro puedo encuadrar todos los aspectos que conllevan a una mejoría en el aspecto costo-beneficio tales como:

- Menor consumo de Energía eléctrica
- Mayor duración de las Lámparas
- Menor costo contra vida útil
- Menor costo por mantenimiento
- Etc.

Impacto Ecológico:

Es importante mencionar que el uso de los dispositivos de estado sólido por si mismo contribuye a disminuir la contaminación ambiental de varias maneras, una de ellas va directamente relacionada con la duración de las mismas comparadas con los antiguos dispositivos que reemplazan, otro con el tamaño y el potencial tóxico que poseen comparado con los mismos, pero lo más importante es visualizar que actualmente gran parte de la energía eléctrica se genera por el consumo de materia orgánica generando contaminantes ambientales que se incrementarían a mayor generación de energía eléctrica.

Seguridad:

Como se mencionó anteriormente los balastos electrónicos generan menos calor que sus homologos electromagnéticos, siendo este un riesgo eminente para la seguridad de las instalaciones y las personas. Por otra parte estos dispositivos poseen protección térmica y no " chorrean " previniendo de esta manera los incendios.

Confort:

Este grupo comprende aquellos aspectos relacionados con el bienestar del usuario mientras emplea sistemas de iluminación fluorescente tales como disminución casi total de ruido, " flicker " o parpadeo, efecto estroboscópico especialmente molesto al utilizar equipo de computo, etc.

Por todo lo expuesto en esta propuesta es completamente factible y conveniente reconvertir los sistemas de iluminación fluorescente de balastos electromagnéticos a electrónicos.

BIBLIOGRAFIA

1. MILEAF HARRY
Electricity Principles
Hayden Book Company, Inc.
Estados Unidos 1986
2. SISKIND CHARLES S.
Electrical machines
Mc. Graw Hill International Book Company
Estados Unidos 1983
3. G.T.E. SYLVANIA
Boletin de Ingenierfa 330-341
Estados Unidos 1990
4. ULSA
Reporte del Centro de Investigaciones
México 1987
5. DURO TEST CORP.
Boletin Técnico del Departamento de Ingenieria
México 1986
6. PHILIPS LIGHTING
Guide to Fluorescent Lamps
Philips Editions
Holanda 1994
7. LRC RENSSELEAR POLYTECHNIC INSTITUTE
Report from National Lighting Product Information Program
Estados Unidos 1991
8. INTERLIGHT, INC
Energy Efficient Fluorescent Ballasts Advanced Lighting Guidelines
Estados Unidos 1993

9. E.C. y M. MARCH
Understanding the use of New Fluorescent Ballasts Designs.
Estados Unidos 1990

10. I.E.E.E.
Transaction on Industry Applications
Vol. 25
Estados Unidos Nov. 1989

11. I.E.E.E.
Transaction on Industry Applications
Vol. 26
Estados Unidos Sep. 1990