



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**CONSIDERACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA
EL ALUMBRADO PÚBLICO CON LA UTILIZACIÓN DE BALASTROS ELECTRÓNICOS**

Mario Francisco Santizo Guerra
Asesorado por el Ing. Gustavo Orozco

Guatemala, enero de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA
EL ALUMBRADO PÚBLICO CON LA UTILIZACIÓN DE BALASTROS ELECTRÓNICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO FRANCISCO SANTIZO GUERRA
ASESORADO POR EL ING. GUSTAVO OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ENERO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Romeo Nefalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CONSIDERACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA
EL ALUMBRADO PÚBLICO CON LA UTILIZACIÓN DE BALASTROS ELECTRÓNICOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 17 de febrero de 2011.



Mario Francisco Santizo Guerra

Guatemala, 12 de noviembre 2012

Ing. Romeo Neftalí López Orozco
Coordinador del área de electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ing. Romeo Orozco:

En atención a la designación de la escuela, he tenido a bien revisar y supervisar el trabajo de tesis: **CONSIDERACION TECNICO-ECONOMICA DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGETICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO CON LA UTILIZACION DE BALASTROS ELECTRONICOS**, elaborado por el estudiante Mario Francisco Santizo Guerra con numero de carne 2002-13003, y encontrándolo satisfactorio en su desarrollo, contenido y conclusiones, doy mi aprobación al mismo y lo remito a esa coordinación para el tramite pertinente, en el entendido de que, el autor y este asesor somos responsables del contenido y conclusiones del trabajo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,



Ing. Gustavo Benigno Orozco Gódinez
Asesor
Numero de colegiado 1,879

ING. GUSTAVO B. OROZCO
COLEGIADO 1879



Ref. EIME 36.2013
Guatemala, 17 de MAYO 2013.

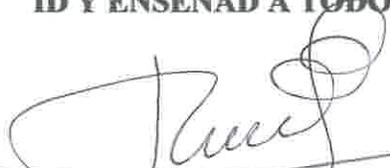
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
CONSIDERACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE
EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO
CON LA UTILIZACIÓN DE BALASTROS ELECTRÓNICOS, del
estudiante Mario Francisco Santizo Guerra que cumple con los
requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Romeo Nestali López Orozco
Coordinador Area Electrotécnica



S/O



REF. EIME 36. 2013.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; MARIO FRANCISCO SANTIZO GUERRA titulado: CONSIDERACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO CON LA UTILIZACIÓN DE BALASTROS ELECTRÓNICOS, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 6 DE JUNIO 2,013.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **CONSIDERACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL ALUMBRADO PÚBLICO CON LA UTILIZACIÓN DE BALASTROS ELECTRÓNICOS**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Francisco Santizo Guerra**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Rucinos
Decano



Guatemala, enero de 2014

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida e iluminar mí camino.
- Mis padres** Francisco Santizo y Estela Guerra, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado estar hasta aquí y convertirme en lo que soy.
- Mis hermanos** Fenando, Norma, Lesvia, Guadalupe Santizo Guerra, por su amistad incondicional.
- A mi familia** Parientes, tías, primos, primas y sobrinos con mucho cariño.
- A mis amigos** Por su amistad y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XV
GLOSARIO.....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO PÚBLICO.....	1
1.1. Gestión y explotación consideradas a partir del diseño.....	2
1.1.1. Condiciones de iluminación apropiadas.....	2
1.1.2. Sistemas de iluminación e instalaciones eficientes.....	4
1.1.3. Dimensionamiento y depreciación.....	5
1.2. Gestión y explotación eficiente.....	6
1.3. Ventajas de las auditorías energéticas y planes de directores de alumbrado.....	7
1.4. Importancia del alumbrado público.....	9
1.5. Aspectos técnicos del alumbrado público.....	11
1.5.1. Componentes del alumbrado público.....	11
1.5.1.1. Luminaria.....	12
1.5.1.2. Poste.....	12
1.5.1.3. Brazo.....	12
1.5.1.4. Altura del montaje.....	13
1.5.1.5. Lámparas.....	13

1.5.2.	Curvas de Isolux.....	14
1.5.3.	Determinación de parámetros básicos para elección de luminarias.....	16
1.5.4.	Causas que alteran las prestaciones de una instalación.....	16
1.5.5.	Mantenimiento del alumbrado público.....	17
1.6.	Clasificación de los sistemas de iluminación.....	17
1.6.1.	Vida nominal.....	18
1.6.2.	Vida económica.....	18
1.6.3.	Tiempo de encendido.....	18
1.6.4.	Tiempo de reencendido.....	18
1.6.5.	Falla típica.....	19
1.6.6.	Índice de rendimiento de color.....	19
1.6.7.	Temperatura de color correlacionada (TCC).....	19
1.6.8.	Temperatura de color (TC).....	20
1.6.9.	Corrimiento de color.....	20
1.6.10.	Depreciación de lúmenes de lámpara (DLL).....	20
1.6.11.	Eficacia.....	21
1.6.12.	Factor de daño.....	21
1.6.13.	Costo inicial.....	21
1.6.14.	Costo de operación anual (CTO).....	22
1.6.15.	Aplicación idónea.....	22
1.6.16.	Aplicación no recomendada.....	22
1.7.	Clasificación de las lámparas eléctricas.....	22
1.7.1.	Lámparas incandescentes.....	23
1.7.1.1.	Funcionamiento de las lámparas Incandescentes.....	24
1.7.1.2.	Tipos de lámparas incandescentes..	25
1.7.2.	Lámparas de descarga gaseosa.....	27

1.7.2.1.	Características de funcionamiento.....	28
1.7.2.2.	Tipos de lámparas de descarga.....	29
1.7.3.	Lámparas de vapor de sodio.....	31
1.7.3.1.	Características de funcionamiento...	32
1.7.3.2.	Tipos de lámparas de vapor de sodio.....	33
2.	BALASTROS.....	37
2.1.	Breve historial.....	37
2.2.	Introducción a los balastos.....	39
2.2.1.	Principio de funcionamiento de un balastro.....	39
2.2.2.	Características eléctricas de las lámparas HID....	41
2.2.2.1.	Encendido.....	41
2.2.2.2.	Tiempo de calentamiento.....	42
2.2.2.3.	Aumento de tensión de la lámpara...	42
2.2.2.4.	Características IV.....	42
2.2.2.5.	Resonancia acústica.....	44
2.2.2.6.	Fenómeno por cataforesis.....	44
2.2.3.	Definición de un balastro.....	45
2.2.4.	Clasificación de un balastro.....	46
2.2.4.1.	Frecuencia.....	46
2.2.4.2.	Factor de cresta.....	47
2.2.4.3.	Factor de corriente de cresta.....	47
2.2.4.4.	Factor de potencia de cresta.....	47
2.2.4.5.	Eficiencia.....	48
2.2.4.6.	Factor de potencia.....	49
2.2.5.	Tipos más usuales de un balastro.....	50

	2.2.5.1.	Balastos electromagnéticos.....	50
	2.2.5.2.	Balastos electrónicos.....	52
	2.2.5.3.	Funcionamiento de un balastro electrónico.....	59
2.3.		Consideraciones básicas.....	62
	2.3.1.	Corriente de la lámpara.....	62
	2.3.2.	Curva del balastro.....	63
	2.3.3.	Eficiencia y rango de temperatura.....	64
2.4.		Recomendaciones para línea de entrada.....	65
	2.4.1.	Rango de voltaje de entrada.....	65
	2.4.2.	Entrada transitoria.....	66
	2.4.3.	Sobre y bajo de protección de voltaje.....	66
2.5.		Recomendaciones para línea de salida.....	66
	2.5.1.	Protección de cortocircuito.....	66
	2.5.2.	Sin carga.....	66
	2.5.3.	Ciclo.....	67
	2.5.4.	Fotocelda.....	67
	2.5.5.	Regulación.....	67
2.6.		Interferencia electromagnética (EMI).....	68
2.7.		Factores que influyen en una alta eficiencia y deben ser consideradas por el instalador.....	71
	2.7.1.	Calibración.....	71
	2.7.2.	Tensión de la red.....	71
2.8.		Compatibilidad electromagnética de los balastos electrónicos.....	72
	2.8.1.	Problemática de la compatibilidad electromagnética de los balastos.....	72
	2.8.2.	Normas de EMC aplicables a balastos electrónicos.....	75

3.	CÁLCULOS DEL BENEFICIO DEL PROYECTO.....	77
3.1.	Servicio para alumbrado público.....	77
3.2.	Datos históricos de facturación eléctrica.....	79
3.2.1.	Tasas para alumbrado público.....	80
3.3.	Consideraciones iniciales.....	83
3.4.	Consideraciones generales.....	84
3.5.	Requisitos del sistema.....	86
3.6.	Sistemas utilizados.....	87
3.6.1.	Sistema central.....	87
3.6.2.	Sistema individual.....	87
3.7.	Costos iniciales.....	90
3.7.1.	Costos de instalación.....	90
3.7.2.	Costo inicial de lámparas.....	91
3.7.3.	Energía consumida.....	91
3.7.4.	Gastos de mano de obra y medios.....	91
3.7.5.	Gastos de reposición de lámparas.....	91
3.8.	Evaluación del consumo energético.....	92
3.8.1.	Como opera el sistema.....	93
3.8.2.	Modelos de balastos electrónicos.....	94
3.8.3.	Empresas surtidoras de equipos electrónicos para lámparas de sodio de alta presión.....	95
3.8.4.	Manejo del horario de regulación sin comunicación externa.....	96
3.8.5.	Reducción de los gastos de mantenimiento e instalación.....	97
3.8.6.	Potencia consumida por el balastro electrónico....	99
3.8.7.	Horas de uso.....	100
3.8.8.	Consumo energético de lámparas instaladas en alumbrado público.....	101

3.9.	Valoración de la inversión.....	102
3.10.	La eficiencia energética en iluminación pública con balastos electrónicos.....	104
3.11.	Pérdidas propias, alta frecuencia y potencia consumida.....	108
3.12.	Estabilización de la potencia frente a variaciones de la tensión de red.....	109
3.13.	Pruebas de sobreintensidades durante el proceso de arranque de las lámparas.....	109
3.14.	Sistema de protecciones para el balastro.....	115
3.14.1.	Contra circuito abierto.....	115
3.14.2.	Contra cortocircuitos.....	115
3.14.3.	Paso a segundo nivel o potencia reducida.....	115
3.15.	Análisis del consumo de energía eléctrica del alumbrado público en Guatemala con balastos electrónicos.....	116
4.	ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO PÚBLICO DE BALASTROS ELECTRÓNICOS.....	121
4.1.	Objetivos.....	121
4.2.	Aspectos metodológicos.....	121
4.3.	Datos fuente.....	122
4.3.1.	Conductores de media tensión.....	122
4.3.2.	Conductores de baja tensión.....	123
4.3.3.	Transformadores.....	124
4.3.4.	Fuentes de armónicos.....	129
4.3.5.	Regulador.....	129
4.4.	Modelos.....	131
4.4.1.	Modelos de circuitos.....	131
4.4.1.1.	Circuito 89.....	131
4.4.1.2.	Circuito 151.....	134

4.4.1.3.	Modelos de carga.....	137
4.4.1.4.	Modelos de línea.....	139
4.4.1.5.	Modelos de balastos.....	144
4.4.1.6.	Modelos de transformadores de distribución.....	146
4.4.1.7.	Modelos de regulador.....	147
4.4.1.8.	Modelos de transformador de potencia de media tensión.....	148
4.4.1.9.	Librería de modelos.....	149
4.5.	Análisis de las redes de baja tensión.....	151
4.5.1.	Demanda circuito 89.....	159
4.5.2.	Demanda circuito 151.....	160
4.6.	Análisis de las redes de media tensión.....	161
4.7.	Resumen de resultados.....	165
CONCLUSIONES.....		167
RECOMENDACIONES.....		169
BIBLIOGRAFÍA.....		171

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.	Componentes del alumbrado público.....	11
2.	Diagrama isolux de una luminaria para alumbrado público.....	15
3.	Lámpara incandescente.....	23
4.	Vida útil de las lámparas incandescentes y tensión de alimentación.....	25
5.	Circuito de funcionamiento de una lámpara de descarga.....	28
6.	Partes de una lámpara de mercurio.....	30
7.	Lámpara de sodio a baja presión.....	33
8.	Lámpara de vapor de sodio a alta presión.....	35
9.	Diagrama de un balastro electrónico.....	40
10.	Curvas características de voltaje y corriente.....	43
11.	Curva de un balastro.....	46
12.	Circuito básico para la limitación de la corriente de la lámpara de descarga.....	51
13.	Diagrama de bloques de un balastro electrónico.....	53
14.	Flujo luminoso en función de la frecuencia utilizada en la señal de alimentación de la lámpara.....	54
15.	Formas de onda de la tensión de arco en función de la frecuencia.....	55
16.	Eficiencia luminosa en función de la temperatura en la luminaria.....	57
17.	Forma de onda de la corriente de entrada.....	58
18.	Señal punzante de alta frecuencia.....	60
19.	Señal cuadrada moderada.....	61
20.	Diagrama de bloques de un balastro electrónicos.....	62

21.	Sistema controlado de iluminación.....	68
22.	Tensión y corriente en las terminales de alimentación de un balastro electrónico.....	70
23.	Sistema de iluminación en ambiente cerrado.....	73
24.	Sistema de iluminación en ambientes abiertos.....	74
25.	Consumo de la energía eléctrica.....	77
26.	Aplicación de controles de iluminación.....	78
27.	Sistema individual.....	88
28.	Sistema individual con un reactor adicional.....	89
29.	Sistema individual con un devanado adicional.....	90
30.	Comparación de gastos de balastos convencionales con los balastos de doble potencia.....	92
31.	Promedio de tiempo de encendido.....	94
32.	Manejo de horario para ahorro de energía.....	97
33.	Conexión de balastro convencional.....	98
34.	Conexión de balastro electrónico.....	99
35.	Ahorro de energía con la nueva tecnología en alumbrado público.....	101
36.	Consumo de potencia de una lámpara V.S.A.P. 400 W.....	105
37.	Variación de potencia respecto al voltaje.....	106
38.	Reducción de vida de la lámpara.....	107
39.	Ensayo comparativo lámpara de vapor de sodio de alta presión de 100 W.....	110
40.	Potencia segundo nivel con variaciones de la tensión de red.....	111
41.	Ensayo comparativo de lámpara de vapor mercurio.....	114
42.	Regulador de voltaje VR-32.....	130
43.	Red correspondiente a San Juan de Dios circuito 89.....	132
44.	Valores de demanda coincidental por nodo para el circuito 81.....	133
45.	Red correspondiente a Montecristo circuito 151.....	135
46.	Valores de demanda coincidental por nodo para el circuito 151.....	136

47.	Cargas para el análisis de red de baja tensión.....	137
48.	Factores de utilización y coincidencia.....	138
49.	Tipo de conductores WP.....	139
50.	Sistema monofásico para análisis de armónicos.....	141
51.	Sistema trifásico para análisis de armónicos.....	142
52.	Matrices R-Z.....	143
53.	Parámetros geométricos.....	144
54.	Modelación de balastos electrónicos.....	145
55.	Modelos de transformadores de distribución.....	146
56.	Modelos de regulares.....	147
57.	Modelos de transformadores de potencia de media tensión.....	148
58.	Base de datos utilizados en las simulaciones.....	150
59.	Análisis de las redes de baja tensión.....	151
60.	Análisis de armónicos y flujos de potencia.....	152
61.	Distorsión armónica total con balastos convencionales.....	153
62.	Distorsión armónica total con balastos electrónicos.....	154
63.	Datos de flujos armónicos con balastos convencionales.....	156
64.	Datos de flujos armónicos con balastos electrónicos.....	158
65.	Demanda del circuito 89.....	159
66.	Demanda del circuito 151.....	161
67.	Análisis de armónicos de red de media tensión.....	163
68.	Perfil de caída de tensión.....	164

TABLAS

I.	Clasificación de balastos.....	48
II.	Interferencias (EMI) en los sistemas de iluminación con lámparas fluorescentes.....	75
III.	Empresas surtidoras de balastos electrónicos.....	95
IV.	Comparación de consumo de potencia en la utilización de diferentes balastos.....	100
V.	Valor que toma la intensidad en el momento de la conexión respecto a la intensidad de régimen.....	115
VI.	Perdidas de un balastro electrónico.....	117
VII.	Comparación de consumo anual.....	117
VIII.	Comparación de ahorro anual.....	118
IX.	Repago.....	118
X.	Comparación de consumo entre balastos electromagnéticos y electrónicos.....	119
XI.	Ahorro energético anual.....	119
XII.	Repago de balastos electrónicos.....	120
XIII.	Conductores de media tensión.....	123
XIV.	Conductores de baja tensión.....	123
XV.	Trasformadores monofásicos circuito 089.....	124
XVI.	Vanos promedios por transformador para el circuito 089.....	124
XVII.	Consumo circuito 089 por transformador.....	125
XVIII.	Cantidad de transformadores para el circuito 151.....	125
XIX.	Vanos promedios por transformador para el circuito 151.....	126
XX.	Consumo circuito 151 por transformador.....	126
XXI.	Datos de desempeño de transformador para el circuito 89.....	127
XXII.	Datos de desempeño de transformador para el circuito 151.....	128

XXIII.	Comparación de desbalance armónico para cada balastro proporcionado por EEGSA.....	129
XXIV.	Comparación de distorsión armónica entre balastos convencionales y electrónicos.....	165

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ΔI	Cambio de corriente.
THW	Distorsión armónica total.
PF	Factor de potencia.
°C	Grados Centígrados.
Hz	Hertzio.
KHz	Kilohertzio.
Lm	Lumen, una unidad de flujo luminoso.
MH	Metal halide.
%	Porcentaje.
P	Potencia.
TW	Temperatura máxima.

Lm/Watt	Unidad para la eficiencia luminosa.
V	Voltaje.
W	Watt.

GLOSARIO

Alumbrado público	Fuente de luz diseñada para la iluminación de vías y áreas exteriores como calles, paseos, etcétera.
ANSI	Instituto Nacional Americano de Estándares.
Balastro	Un dispositivo usado con lámparas de descarga eléctrica para proporcionar el voltaje y la corriente necesarios para el arranque y funcionamiento de la lámpara.
Circuito lámpara-balastro	Correspondiente a la luminaria de alumbrado público elegida, bajo condiciones de operación estable y a máxima potencia.
Deslumbramiento	Es el fenómeno de perturbación, problemas o molestias en la percepción visual, debido a que la luminancia de un objeto o grupo de estos es significativamente mayor que la de su entorno.
DC	Corriente directa.
DAI	Descarga de alta intensidad.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala S. A.

Eficacia luminosa	Una medida de la eficiencia de la lámpara en términos de la salida de luz por unidad de entrada eléctrica expresada en lúmenes por watt.
EMI	Interferencias electromagnéticas.
EMC	Compatibilidad electromagnética.
Flújo luminoso	Es la parte de la potencia radiante total emitida por una fuente de luz que es capaz de afectar el sentido de la vista.
FC	Factor de corrección.
FM	Frecuencia modulada.
HID	Alta intensidad de descarga.
Horas valle	Se refiere a la hora en que se produce menor consumo.
HPS	Sodio de alta presión.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
I	Corriente.

Iluminación	Proporcionar luz o claridad de modo que pueda verse un lugar, un objeto o una persona.
Iluminación general	Iluminación diseñada para producir un nivel sustancialmente uniforme de iluminación en toda un área, excluyendo cualquier provisión para requerimientos de locales especiales.
Lámpara	Son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a los dispositivos generadores de luz (llamados a su vez lámparas, bombillas o focos).
Lámpara de descarga eléctrica	Fuente luminosa que produce luz mediante una descarga eléctrica en gases o vapores metálicos presentes en el interior de la ampolla.
Luminaria	Una unidad de iluminación completa consistente de una lámpara o varias lámparas, junto con las partes diseñadas para distribuir la luz, para posicionar y proteger la lámpara y para conectar las lámparas a la alimentación de potencia.
Luminancia	Una medida de la cantidad de flujo luminoso (lúmenes) por unidad de área reflejada de o transmitida a través de una superficie.
Potencia de entrada	Es la energía que necesita el sistema para funcionar.

Polarización	El proceso por el cual las ondas de luz son orientadas en un plano específico.
Rendimiento de color	Una expresión general del efecto de una fuente de luz en la apariencia de color de los objetos comparada con la apariencia de color bajo una fuente de luz de referencia.
Rejillas	Una serie de pantallas usadas para cubrir una fuente de luz de la vista en ciertos ángulos o para absorber luz no deseada. Las pantallas usualmente son dispuestas en patrones geométricos.
Reflectancia	Cantidad de energía que es reflejada por un objeto.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación consta de cuatro capítulos.

En el capítulo uno, es una introducción a la eficiencia energética del alumbrado público dando definiciones generales para la buena aplicación en la mejora del servicio en general.

En el capítulo dos, se da a conocer la nueva tecnología del balastro electrónico en la aplicación del alumbrado público, dando un énfasis en los conceptos generales a tomar en cuenta para la escogencia de esta tecnología.

En el capítulo tres, se analiza la factibilidad técnico-económica del reemplazo del balastro electromagnético por el electrónico, basado en el ahorro de energía y potencia del balastro y en la posibilidad de modular la potencia entregada a las lámparas en horarios convenientes.

En el capítulo cuatro, se presenta el análisis del impacto de los nuevos balastos en términos de su contribución al espectro armónico como consecuencia del uso de la tecnología electrónica de potencia utilizado en estos elementos.

OBJETIVOS

General

Buscar implementar medidas tendientes al uso responsable y eficiente de la energía para el ajuste energético del servicio de alumbrado público, manteniendo las condiciones de *confort* adecuadas, con el fin de reducir el consumo energético y en consecuencia el gasto económico con respecto al uso responsable y eficiente de la energía.

Específicos

1. Buscar ahorro energético mediante un plan adecuado para mejorar la calidad del suministro eléctrico en iluminación pública.
2. Promover la modernización en la iluminación de la ciudad al utilizar tecnología de mayor eficiencia, describiendo nuevas tecnologías del balastro electrónico, con el fin de dar una propuesta de ahorro energético en el alumbrado público.
3. Analizar la factibilidad económica del beneficio, para la utilización de estas nuevas tecnologías.
4. Analizar el impacto de las nuevas tecnologías en términos de su contribución al espectro armónico por la utilización de tecnologías de electrónica de potencia.

INTRODUCCIÓN

Uno de los servicios fundamentales que prestan los gobiernos municipales u organismo competentes en casos particulares, es el alumbrado público, el cual tiene la finalidad de satisfacer las condiciones básicas de iluminación de calles, avenidas y accesos, así como, en espacios públicos, como servicio para la circulación de vehículos y no menos importante el tránsito de peatones y la ornamentación de espacios públicos para diversas actividades ciudadanas; sin embargo, su instalación, operación, actualización y costo, constituyen a menudo un problema técnico y económico, fundamental para estos.

El presente trabajo de graduación se ha desarrollado con el fin de implementar las medidas tendientes al uso responsable y eficiente de la energía, con el fin de contribuir al ahorro energético. Se puede verificar que gran parte del alumbrado público, por no decir la totalidad de los sistemas, fueron concebidos bajo perspectivas diferentes desde el punto de las prestaciones requeridas en la actualidad.

Con el fin de lograr una optimización en los sistemas de alumbrado público es necesario establecer los criterios que deben regir cualquier actuación en este, para luego analizar el estado actual, evaluando las mejoras más rentables a llevar a cabo, enfocando el mantenimiento en el mismo sentido. De esta manera, con la aplicación de sistemas de control de iluminación se contribuye a la conservación del ambiente mediante un ahorro energético sostenible. En el desarrollo de este trabajo se describirá una tecnología de control de iluminación aplicable al alumbrado público basándose principalmente en la tecnología de luminaria con balastros electrónicos donde se evaluarán varios aspectos: desempeño eléctrico, económico y normativo.

1. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ALUMBRADO PÚBLICO

Bajo el punto de vista energético, una instalación de alumbrado es una importante fuente de consumo de energía, que se produce en la fase de explotación y se ve afectado por factores tales como: maniobra, regulación, mantenimiento, etcétera. Si bien las características técnicas de la instalación de alumbrado es un primer determinante de la eficiencia energética, la verdadera racionalización del consumo solo puede conseguirse con una gestión eficaz de la explotación.

La explotación de instalaciones de alumbrado presenta características singulares las cuales junto a la descentralización geográfica del alumbrado público dificultan la correcta gestión. Por lo tanto, existe un elevado potencial de ahorro energético en el diseño de las políticas de gestión de la explotación de instalaciones. El mayor efecto de las instalaciones de alumbrado en el impacto ambiental se produce en la utilización inadecuada durante su vida útil. Las consecuencias más importantes pueden agruparse en:

- Producción de dióxido de carbono (efecto invernadero) y otros elementos por generación de energía eléctrica que afectan el ambiente y que pueden minimizarse con un consumo eficiente.
- Contaminación lumínica, visible como brillo nocturno, producido por la dispersión de la luz en la atmósfera lo que impide la visión directa o astronómica de las estrellas.

1.1. Gestión y explotación consideradas a partir del diseño

Usualmente el diseño de una instalación de alumbrado público es abordado desde la perspectiva de una instalación a construir, sin embargo, actualmente se realizan mayores esfuerzos por considerar aspectos relacionados con la gestión y explotación debido a que afectan posteriormente la calidad del servicio, el consumo energético y en consecuencia el ambiente. Un enfoque más global considera además el ciclo de vida completo, donde la operación, gestión, mantenimiento, consumo energético, etcétera, están involucrados y relacionados. Bajo esta óptica en el diseño del alumbrado se deben considerar una serie de aspectos de los cuales por razones de espacio sólo se destacan los siguientes:

- Condiciones de iluminación y régimen de funcionamiento adecuadas.
- Selección de los sistemas técnicos eficientes, como la utilización de balastos más eficientes, implementación de luminarias con tecnología led.
- Dimensionamiento y cálculo considerando la depreciación de las instalaciones y la política de mantenimiento a implementar.

1.1.1. Condiciones de iluminación apropiadas

Crear condiciones apropiadas de iluminación significa satisfacer aspectos funcionales y de *confort* de los usuarios a un costo razonable, que se mantengan durante el transcurso de la vida útil de las instalaciones, lo cual puede preverse en la etapa del diseño.

Los aspectos funcionales pueden quedar garantizados con un nivel elevado de iluminación, sin embargo, esto determinaría un elevado consumo energético. Es necesario establecer una escala de niveles acorde a la exigencia visual y a las características de la zona a iluminar. Los criterios para establecer el escalonamiento se basan en:

- Tipo de usuarios: peatones, conductores, mixtos.
- Características del tráfico: densidad y velocidad de vehículos, densidad de peatones.
- Características ambientales: percepción del espacio, seguridad ciudadana.

Simultáneamente es importante lograr cierta uniformidad por seguridad y reducir posibles brillos intensos que pueda producir la instalación para evitar afectar la visibilidad y el confort visual. Existen recomendaciones para el diseño de regulación reduciendo niveles de iluminación en determinadas horas nocturnas, lo cual es una alternativa para racionalizar energía. Contemplada en la etapa del diseño puede implicar menores costos comparados con modificaciones o agregados sobre obras existentes. Pero antes de decidir la implantación es preciso estudiar dos aspectos:

- Que la reducción del nivel de una zona sea como consecuencia de una reducción de las exigencias visuales (por ejemplo, reducción de la densidad de tráfico o presencia de peatones) y que no esté acompañada de un efecto indirecto como aumento de la inseguridad ciudadana.

- Que la aplicación del sistema sea rentable, dado que el costo suplementario debe amortizarse (3 a 5 años) con la reducción del costo energético obtenido aún cuando el uso sea en horas donde el costo de la energía es más bajo.

1.1.2. Sistemas de iluminación e instalaciones eficientes

La selección del sistema de alumbrado condicionará la eficiencia energética y por tanto los costos de explotación a través de combinación de los siguientes aspectos:

- Eficiencia energética de las lámparas
- Eficiencia lumínica de la luminaria
- Geometría de la instalación y depreciación de la luminaria

Generalmente, el condicionante principal en la selección de la lámpara es la eficiencia energética, ya que cuando mayor sea, menor será el consumo energético para lograr la misma iluminación. La eficiencia usualmente no está asociada a la buena reproducción del color, en situaciones donde primero el color, el criterio de decisión se puede alterar, esta depende de cuan efectivo sea su óptica (reflector, refractor, etcétera) en orientar el flujo luminoso de la lámpara sobre la zona útil u objetos de interés, también la altura de montaje y orientación afectan la eficiencia del conjunto. El porcentaje de flujo luminoso útil proyectado sobre la calzada respecto del emitido por la lámpara cuantifica la eficiencia lumínica lo que asegura de algún modo la mejor visibilidad.

Parte del flujo luminoso también es necesario para crear un entorno visual atractivo limitando brillos perturbadores o molestos, no obstante, conviene limitar la innecesaria emisión hacia el cielo; la geometría de la instalación puede afectar la explotación y la facilidad de mantenimiento. La situación de los puntos de luz y altura ha de fijarse favoreciendo el acceso, control y mantenimiento, de otro modo, la depreciación crecerá con el tiempo y con ella la reducción de las condiciones de iluminación derrochando energía.

1.1.3. Dimensionamiento y depreciación

Con el tiempo las condiciones de iluminación varían debido al envejecimiento y ensuciamiento de los componentes, la instalación se deprecia gradualmente. Para mantener los niveles por arriba del mínimo recomendado se debe combinar la selección de los componentes, con el dimensionamiento de la instalación (cantidad de puntos de luz) y con estrategias de reposición y limpieza adecuadas durante la vida útil de las instalaciones.

Un factor de depreciación se elige en función de los períodos de limpieza y mantenimiento que se realizará sobre la instalación a lo largo de su vida útil para compensar inicialmente la reducción gradual por depreciación.

El empleo de luminarias que sufren una depreciación acelerada, debido a la acumulación de polvo en superficies emisoras de luz horizontales obligan al empleo de una mayor cantidad de puntos de luz (mayor nivel de iluminación inicial) para compensar la depreciación gradual hasta el mantenimiento correspondiente o en su defecto un mantenimiento frecuente es necesario.

La realización de cálculos luminotécnicos en forma fiable permite dimensionar el sistema de alumbrado con unos márgenes de seguridad más ajustados con solución económicamente favorables para la explotación. El empleo de software de cálculo y la aplicación de técnicas sofisticadas y realistas, son frecuentes en los proyectos de alumbrado.

1.2. Gestión y explotación eficiente

El alumbrado público representa el costo energético municipal, cualquier iniciativa de mejora en la eficiencia puede traducirse directamente en ahorros energéticos y por tanto en ahorros económicos importantes.

Dejando de lado las medidas estrictamente tecnológicas, una herramienta importante en la mejora de la eficiencia energética es el uso adecuado de los equipos. La gestión integrada del alumbrado debe contemplar tanto la gestión energética como el mantenimiento de las instalaciones. El primer problema que origina la falta de gestión es el desconocimiento de las instalaciones; la inexistencia de inventarios operativos y actualizados impide cualquier intento de control o planificación de tareas de mantenimiento. La ausencia de gestión origina los problemas de ineficiencia energética, los principales aspectos en que esta se manifiesta son:

- Incorrecto funcionamiento de los dispositivos de maniobra y control
- Pérdidas por depreciación lumínica
- Aparición de consumo de energía reactiva no deseable
- Sobreconsumo debido a sobretensión de las líneas eléctricas

Además de los problemas estrictamente energéticos, también se originan:

- Pérdidas en la calidad del servicio.
- Aumento de la tasa de averías, con el consecuente aumento del coste del mantenimiento.
- Políticas y gestiones administrativas, empresas municipales y contratadas.

Dos opciones para la gestión y explotación de las instalaciones de alumbrado son aplicadas en general: los servicios técnicos municipales con su brigada propia o la empresa subcontratada de mantenimiento. Debido a la tendencia actual de reducción de personal municipal, sumado al aumento en la complejidad técnica de los sistemas de alumbrado se ha visto incrementado el número de poblaciones con empresas de mantenimiento subcontratadas. Pero ocurre que el servicio de mantenimiento no incluye la gestión energética aún cuando es ofrecido por las empresas contratadas debido a la falta de interés por parte de los municipios, posiblemente por que crean que son gastos innecesarios en mantenimiento del alumbrado público.

1.3. Ventajas de las auditorías energéticas y planes directores de alumbrado

Una auditoria energética de alumbrado público, establece un diagnóstico objetivo de la situación del alumbrado. Partiendo de los datos de la información básica obtenida del propio municipio como de las propias instalaciones, se detectan las posibles correcciones de las instalaciones desde el punto de vista energético.

Generalmente, la auditoría energética viene acompañada de un plan de adecuación que contempla las propuestas de mejora con su correspondiente valoración económica. De hecho, la auditoría energética se convierte en un valioso documento tanto para validar las instalaciones y su gestión, como para detectar posibles problemas y plantear propuestas de mejora.

También es una herramienta aconsejable como punto de partida para iniciar una gestión y explotación correcta de las instalaciones en aquellas entidades donde todavía no se realiza. Un plan director de alumbrado, es un conjunto de acciones que partiendo de la situación del alumbrado existente en una población, establece las actuaciones a seguir a largo plazo con el fin de adecuar el alumbrado a las exigencias técnicas y características urbanísticas de la población. La principal ventaja que obtiene el municipio es el conocimiento exacto de cuáles son las carencias y el camino correcto para solventarlas. Al contemplar el alumbrado de la población como un todo y no como un conjunto de instalaciones aisladas, se obtiene una visión global de como debe ser el alumbrado de la población.

Los criterios de partida para la confección del plan son diversos. El consumo energético del alumbrado representa una porción notable del total de energía eléctrica que sufre, además, un crecimiento exponencial tanto en la extensión de las instalaciones como en los niveles de potencia utilizados. Mucho se ha avanzado y se continúa en el desarrollo de fuentes de luz de elevada eficacia, luminarias de alto rendimiento, técnicas de cálculo y diseño precisas, lo que permite reducir la potencia instalada necesaria. Pero energía es potencia en el tiempo y en este segundo factor la gestión de uso es donde se pueden conseguir ahorros energéticos que por otra parte van a reducir el impacto ambiental de las instalaciones de alumbrado.

1.4. Importancia del alumbrado público

El mundo y por ende el país, vive un proceso de acelerados cambios en muchas dimensiones, en particular, los cambios en la economía empujan y se alimentan de la evolución de la tecnología, que a su vez transforman a la sociedad de muchas maneras, la misma que tiene que ajustarse en estructura y proceso a estos cambios, el desarrollo de nuevos materiales, equipos y sistemas, con mayor complejidad y características superiores y menores costos que los que aparecieron en el mercado hace apenas unos años; ha hecho posible que hoy en día la mayoría de estos tengan niveles de consumo de energía mucho menor que antes.

Ahorrar energía representa también notables ventajas a nivel local: reduce la factura energética y permite disminuir los impactos ambientales locales por las emisiones contaminantes del transporte, la industria, el comercio y hasta de los mismos hogares. En cuanto al alumbrado público específicamente, muchas oportunidades de ahorro de energía dependen de los aspectos particulares de cada instalación, como la clase de equipo instalado, el régimen de operación y el costo de la energía.

Este servicio cuya principal finalidad es proporcionar las condiciones básicas de iluminación para el tránsito seguro de peatones y vehículos en las zonas públicas de libre circulación como las avenidas, calles, parques, jardines y plazas, además, facilitan la fluidez vehicular y reduce los índices delictivos, en general, mejora las condiciones de vida de sus habitantes. Su prestación está a cargo de las alcaldías de los municipios y refleja el grado de desarrollo de la infraestructura urbana en estos entes territoriales.

En la ciudad de igual manera el alumbrado público se orienta hacia:

- Circulación peatonal en condiciones de máxima seguridad.
- La iluminación de todas sus vías que rodean el exterior de las edificaciones.
- Favorecer la orientación visual.
- La orientación visual nocturna se consigue ubicando los puntos de luz en disposiciones que permitan a los conductores, formarse imágenes inmediatas del escenario donde se encuentran.

Lastimosamente pocos de estos objetivos han sido logrados, pues las lámparas actuales se encuentran en mal estado, no se encuentran bien instaladas, existen postes que no poseen lámparas, hay otros que las tienen pero están rotas las luminarias, existen zonas que no están alumbradas adecuadamente dificultando la orientación visual nocturna.

Cuando se piensa a corto plazo, se contemplan sólo los costos iniciales de compra de una nueva lámpara, pero viéndolo de esta manera no se tiene en cuenta el gasto más importante: la energía que se consume durante toda la vida útil del producto. Además, un alumbrado público de mejor calidad significa una mayor seguridad en las vías de la ciudad, así como, una eficiente distribución de luz. Debido a esto existe la necesidad de realizar un estudio, con el fin de economizar y dar alternativas para la optimización y ahorro de energía. Por tanto, existe un gran potencial de ahorro, energético y económico, alcanzable mediante el empleo de equipos eficientes, unido al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del local a iluminar.

A través de este trabajo se proporcionan los conocimientos y pautas necesarias para que los sistemas de iluminación sean energéticamente eficientes prestando también atención a los criterios de calidad y ergonomía en cada caso.

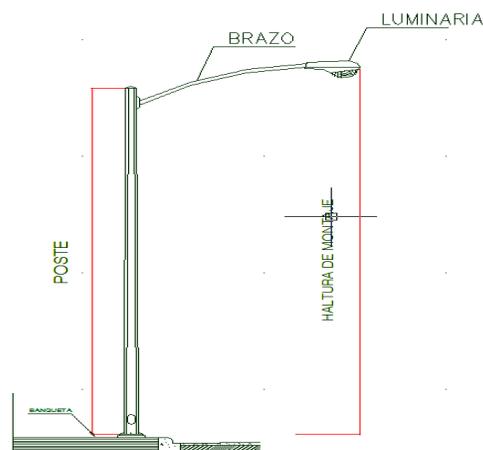
1.5. Aspectos técnicos del alumbrado público

El alumbrado público, debido a su forma física y a su construcción, se debe tener en cuenta la parte técnica, para que su funcionamiento sea eficiente a la hora de su operación.

1.5.1. Componentes del alumbrado público

Dichos componentes que está compuesto el alumbrado público están: un brazo que sostiene la luminaria, y estas dos esta apoyándose por una base que tiene una altura determinada.

Figura 1. Componentes del alumbrado público



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Paint Microsoft.

1.5.1.1. Luminaria

Es el conjunto óptico cuya principal misión es distribuir el flujo lumínico generado por la lámpara para conseguir un reparto de iluminación adecuado a las necesidades del proyecto y controlar las posibles molestias al usuario. La luminaria se divide principalmente en un sistema óptico y un eléctrico.

El sistema óptico, tiene el objetivo de transformar la energía eléctrica en luminosidad, a través del reflector y el difusor, que son elementos de este sistema. El sistema eléctrico consta de: el balastro, de condensadores, ignitor, lámpara, con estos elementos se le entrega a la lámpara la energía suficiente para provocar su encendido.

1.5.1.2. Poste

Base sostenedora de todo el equipo lumínico que tiene que tener una altura adecuada de acuerdo al tipo de lugar que se va a iluminar, que podrían ser parques, calles, avenidas, etcétera.

1.5.1.3. Brazo

Destinado a sostener la luminaria en su posición de trabajo, fijándola al poste. Debe construirse con tubo galvanizado en caliente dando la forma y curvas específicas en las normas, el cual debe resistir el peso de la luminaria y sus accesorios, además incluir la platina de sujeción al poste.

1.5.1.4. Altura de montaje

Es la distancia entre el piso (plano de trabajo) y a la cual se encuentra. La altura de montaje va a depender del uso de la luminaria en las vías públicas: para el uso de carreteras varía entre 10 – 15 metros, en calles principales entre 8 – 10 metros, pasajes entre 7 – 8 metros, en usos peatonales entre 3 – 5 metros y en áreas verdes entre 1 – 5 metros.

1.5.1.5. Lámparas

Son los elementos destinados a generar el flujo lumínico, es una fuente de emisión de radiación visible. Su elección condicionará en gran medida la calidad y economía de la instalación. Las características principales a considerar en la elección de una lámpara son:

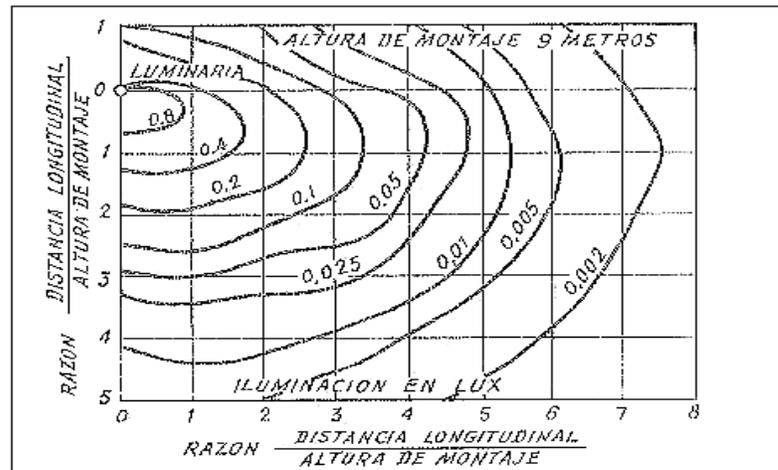
- Flujo: potencia lumínica de la emisión de la lámpara.
- Eficacia: relación entre la potencia lumínica emitida por la lámpara y su potencia eléctrica.
- Color: impresión que los rayos de luz reflejados por un cuerpo producen en el sistema óptico.
- Vida útil: período máximo de utilización económico de una lámpara. Se evalúa en horas. Es importante destacar que una lámpara tiene un encendido promedio de 10 horas diarias.

1.5.2. Curvas isolux

Es un conjunto de curvas que unen puntos del piso (plano de trabajo) que reciben la misma iluminación, con el objeto de que la información pueda ser fácilmente aplicable para distintas alturas de montaje, las distancias en el plano de trabajo se expresan en múltiplos de dicha altura. La iluminación para otras alturas de montaje distintas de la correspondiente a las curvas trazadas se obtiene multiplicando los valores dados por estas por la relación entre el cuadrado de la altura de montaje y el cuadrado de la nueva altura de montaje.

El diagrama isolux que se ilustra en la figura 2 corresponde a una sola unidad luminosa (pero pueden construirse curvas similares para una instalación sin más que sumar los niveles luminosos de cada punto procedente de cada una de las luminarias que componen la instalación de iluminación). Lo habitual es expresar las curvas isolux en valores absolutos definidos para una lámpara de 1 000 lúmenes y una altura de montaje de 1 metro.

Figura 2. Diagrama isolux de una luminaria para alumbrado público



Fuente: http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_www/capitulo7/seleccion_de_luminarias.

[Consulta: en febrero de 2013].

Cada altura de montaje o distancia entre la luminaria y el plano de trabajo, da lugar a un diagrama isolux distinto. El diagrama isocandela por otro lado, es una característica fija de la luminaria, independiente de la altura de montaje. Estos se utilizan quizá con más frecuencia en la representación de haces de faros, focos y proyectores y los diagramas isolux, por su parte, para instalaciones de alumbrado público, si bien unos y otros pueden emplearse indistintamente para cualquier tipo de instalaciones de alumbrado.

1.5.3. Determinación de parámetros básicos para elección de luminarias

Se debe realizar una clasificación de zonas establecida en función del tipo de vía en estudio. En el país no existe una normativa sobre este tema, por lo que los encargados de implementar un proyecto de alumbrado público, deberían basarse en un manual o reglamento en la implementación de diseño de alumbrado público.

1.5.4. Causas que alteran las prestaciones de una instalación

- Disminución del flujo luminoso: las lámparas por sus propias características de construcción, presentan a lo largo de su vida útil, una reducción gradual del flujo luminoso.
- Pérdidas por acumulación de suciedad: esto se produce principalmente por la contaminación ambiental, que incide principalmente en luminarias del tipo abierta.
- Variación de las características del pavimento: vibraciones y corrosión.
- Variación en la tensión de alimentación.
- Variaciones excesivas de temperatura ambiente.

1.5.5. Mantenimiento del alumbrado público

Para mantener en un buen funcionamiento las luminarias, es preciso confeccionar un plan de mantenimiento, programando diversas operaciones, a través de grupos, por calles, avenidas, pasajes, etcétera.

Los principales puntos sobre los que actúa el mantenimiento son:

- Cambio de lámparas y de los equipos auxiliares.
- Conservación mecánica, verificación de los accesorios de las lámparas.
- Conservación eléctrica, revisión del cableado y conexión que van hacia las lámparas.
- Limpieza de los sistemas ópticos y lámparas.
- Verificación de los horarios de encendido y apagado.
- Poda de árboles, para no obstruir la luz.

1.6. Clasificación de los sistemas de iluminación

Se pueden clasificar de diferentes maneras; en la práctica es más importante hacer los análisis comparativos evaluando el sistema completo lámpara-balastro-luminaria-control y no solamente la fuente de luz, pero la clasificación por tipo de fuente luminosa arroja información muy relevante que sirve como punto de partida para un análisis más profundo, considerando los siguientes parámetros:

1.6.1. Vida nominal

Es el número de horas que aparece en los catálogos de los fabricantes. Está establecido bajo ciertas condiciones óptimas de operación por lo que en la práctica difícilmente se cumple, sirve como punto de partida para las correcciones posteriores.

1.6.2. Vida económica

Las lámparas y balastos se deprecian y bajan su desempeño conforme el tiempo o la forma de uso. En las lámparas donde la depreciación es mayor, el reemplazo debe hacerse, porque la eficacia puede ser tan baja que es más rentable cambiarla por una nueva.

1.6.3. Tiempo de encendido

Es el tiempo que tarda una lámpara en emitir el 90 % de su flujo nominal. El tiempo de estabilización depende del tipo de lámpara y de la potencia que emite.

1.6.4. Tiempo de reencendido

Es el tiempo que tarda una lámpara en dar el 90 % de su flujo nominal cuando es apagada voluntaria o involuntariamente. En aplicaciones comerciales, industriales y deportivas los sistemas de lento reencendido deben instalarse con sistemas de respaldo con encendido muy rápido.

1.6.5. Falla típica

La falla se puede presentar prematuramente o al final de la vida pero cada sistema tiene una forma diferente de hacerlo. Así, una lámpara incandescente no enciende, una fluorescente parpadea y sus extremos se oscurecen, una de alta intensidad de descarga (HID) cambia de color y reduce su flujo luminoso, una de vapor de sodio en alta tensión sufre *drop out* o encendido y parpadeo intermitente.

1.6.6. Índice de rendimiento de color

Conocido generalmente como CRI por sus siglas en inglés (color rendition index), es un parámetro de calidad de luz que depende de la capacidad de una lámpara para reproducir fielmente los colores. Para fines prácticos se evalúa adimensionalmente entre 0 y 100. En lámparas convencionales cuando el CRI aumenta, la eficacia baja y la lámpara tienen un mayor costo.

1.6.7. Temperatura de color correlacionada (TCC)

Es una temperatura virtual que no tiene relación con la temperatura real de las lámparas. Se le llama correlacionada porque está en relación a un cuerpo sólido usado en laboratorio llamado cuerpo negro, formado por distintos metales cuyo color en conjunto depende de la temperatura a la que se encuentre. Cuando una lámpara se prueba, el cuerpo negro se calienta artificialmente hasta que su aspecto cromático se iguala con la lámpara bajo prueba. En ese momento se le mide en grados Kelvin la temperatura real al cuerpo negro y esa es la temperatura de color de la lámpara.

La convención es opuesta a la de fenómenos naturales porque las lámparas que producen luz fría que tienden a los azules tienen muchos Kelvin mientras que las lámparas que producen luz cálida que tienden a los amarillos y rojos tienen pocos Kelvin. La TCC es un parámetro importante al seleccionar las lámparas porque mediante la selección de diferentes TCC se pueden dar distintos ambientes en interiores.

1.6.8. Temperatura de color (TC)

Dado que la convención relativa al cuerpo negro causa confusión, algunos especialistas han usado el Mired como medida de la TC. El nombre de Mired se deriva del inglés *micro reciprocal degree* (microgrado recíproco). El Mired (M) es una unidad de medida equivalente a 1 000 000 (un millón) dividido por la temperatura de color correlacionada. Con esta nueva unidad las lámparas de luz cálida tienen más Mireds que las de luz fría.

1.6.9. Corrimiento de color

Se produce en algunas lámparas por su propia construcción y puede acentuarse con el uso. Es común en lámparas de vapor de aditivos metálicos convencionales y virtualmente se presenta en todas las lámparas.

1.6.10. Depreciación de lúmenes de lámpara (DLL)

Es un proceso natural de envejecimiento que sufren todas las lámparas y se establece como el cociente de los lúmenes al 70 % de la vida nominal y los lúmenes nominales.

1.6.11. Eficacia

Desde el punto de vista de eficiencia energética es el parámetro más importante y es el cociente entre los lúmenes emitidos y la potencia demandada (lm/w). La eficacia nominal se calcula rápidamente a través de los catálogos de fabricantes pero la eficacia promedio es más importante y difícil de calcular, ya que el flujo y la potencia cambian a lo largo de la vida de las lámparas.

1.6.12. Factor de daño

Todas las fuentes de luz emiten diversas radiaciones y las lámparas no son la excepción. Las emisiones pueden ser desde imperceptibles rayos X hasta peligrosas emisiones de radiación ultravioleta (UV), pasando por radiaciones infrarrojas (IR). Estas radiaciones afectan a los materiales en general y el daño depende de las áreas de exposición y el nivel de iluminación al que sea sometido el material.

1.6.13. Costo inicial

El desembolso inicial, es un parámetro que debe considerarse en cualquier proyecto, pero es mucho más importante el costo total de operación (CTO). Dado a que si no se calcula adecuadamente esto puede llegar a tener consecuencia tanto al personal que labora como a la misma administración.

1.6.14. Costo Total de Operación (CTO)

El CTO depende de muchas variables, entre ellas la eficiencia de los equipos y su vida útil. Para el cálculo del CTO debe considerarse el costo directo en la factura eléctrica más el costo correspondiente al material, equipo y mano de obra necesarios para el mantenimiento.

1.6.15. Aplicación idónea

Es la mejor aplicación para un sistema de iluminación que no necesariamente es la de más uso. Hay lámparas que tienen diversas aplicaciones sin uso preferente como las fluorescentes T5 pero hay otras como las de vapor de aditivos metálicos que aunque tienen numerosas aplicaciones su uso en instalaciones deportivas es casi exclusivo.

1.6.16. Aplicación no recomendable

Es la aplicación que puede llegar a malas prácticas, como por ejemplo, lámparas incandescentes en alumbrado público o lámparas de vapor de sodio baja presión en restaurantes.

1.7. Clasificación de las lámparas eléctricas

Existen gran cantidad de lámparas en el mercado, la cual están clasificados o agrupados por la tecnología que se fabrica, entre las que se encuentran las siguientes:

1.7.1. Lámparas incandescentes

El principio de funcionamiento de este tipo de lámparas se basa en el paso de corriente eléctrica a través de un filamento de alambre delgado generalmente de tungsteno, hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano. Este filamento de tungsteno se encuentra dentro de un globo de vidrio al vacío o lleno de un gas inerte que evita la evaporación del tungsteno y reduce el ennegrecimiento del globo. En la figura 3 se muestran los componentes de una lámpara típica de iluminación general.

Figura 3. Lámpara incandescente



Fuente: FORSTER, Richard. Tipos de lámparas e iluminación, enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. p. 43.

Estas lámparas siguen teniendo aceptación en la iluminación doméstica debido a su bajo coste y pequeño tamaño. Con todo, su baja eficiencia genera costes de explotación muy altos en la iluminación comercial e industrial, por lo que para estas áreas se prefieren las lámparas de descarga.

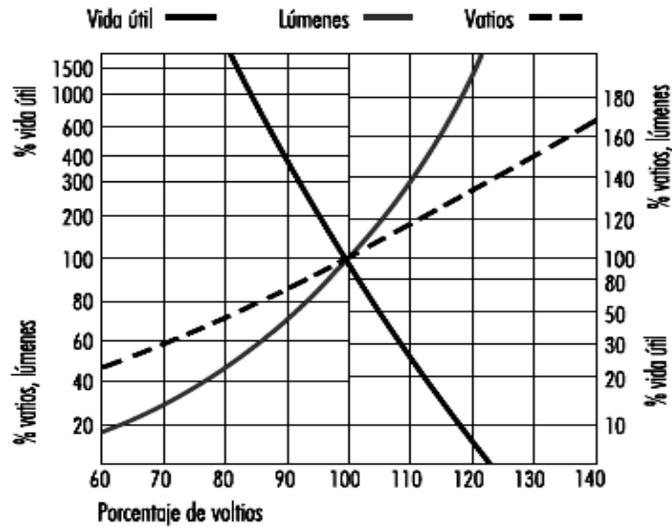
1.7.1.1. Funcionamiento de las lámparas incandescentes

Normalmente cuando la corriente fluye por un cable en un circuito eléctrico cerrado, disipa siempre energía en forma de calor debido a la fricción o choque que se produce entre los electrones en movimiento. Si la temperatura del metal que compone un cable se eleva excesivamente, el forro que lo protege se derrite, los alambres de cobre se unen por la pérdida del aislamiento y se produce un cortocircuito. Para evitar que eso ocurra los ingenieros y técnicos electricistas calculan el grosor o área transversal de los cables y el tipo de forro aislante que deben tener, de forma tal que pueda soportar perfectamente la intensidad máxima de corriente en ampere que debe fluir por un circuito eléctrico.

Cuando un cable posee el grosor adecuado las cargas eléctricas fluyen normalmente y la energía que liberan los electrones en forma de calor es despreciable. Sin embargo, todo lo contrario ocurre cuando esas mismas cargas eléctricas o electrones fluyen a través de un alambre de metal extremadamente fino, como es el caso del filamento que emplean las lámparas incandescentes. Al ser ese alambre más fino, por tanto, ofrece más resistencia al paso de la corriente, las cargas eléctricas encuentran mayor obstáculo para moverse, incrementándose la fricción.

Tanto la duración como el rendimiento luminoso de una lámpara dependen de la temperatura del filamento, cuanto mayor sea la temperatura, mayor será su eficacia y menor su vida. Además, cualquier variación de la tensión de alimentación aplicada a una lámpara incandescente ocasiona cambios en sus características. En la figura 4 muestra estos cambios con respecto a la variación de tensión.

Figura 4. **Vida útil de las lámparas incandescentes y tensión de alimentación**



Fuente: FORSTER, Richard. Tipos de lámparas e iluminación, enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. p. 44.

Como se puede observar en la figura, el funcionamiento de la lámpara incandescente a una tensión más alta da como resultado un consumo mayor de potencia y una mayor emisión de luz pero acorta la vida de la lámpara. Por el contrario, el funcionamiento por debajo de la tensión nominal incrementa la vida, pero causa una reducción en el consumo de potencia y en la cantidad de luz emitida.

1.7.1.2. Tipos de lámparas incandescentes

Se las puede separar en dos grandes grupos:

- Lámparas incandescentes tradicionales

- Lámparas incandescentes halógenas

En ambos se les podrá hallar para funcionamiento en baja tensión (6, 12, 24, 48, 110 Volts, etcétera) y para 220 Volts.

- **Lámparas incandescentes convencionales**

Se fabrican en los tipo estándar clara y opalina, con filamento reforzado, decorativas, reflectoras de vidrio soplado, reflectoras de vidrio prensado PAR 38 y 56, etcétera. Además, son el tipo más familiar de luz con incontables aplicaciones en el hogar, tiendas y otros establecimientos comerciales. Este tipo de lámparas tienen una vida útil del orden de las 1 000 horas y sus ventajas incluyen bajo costo inicial, excelente calidad de calor, buen control óptico y versatilidad.

- **Lámparas incandescentes halógenas**

Son más que lámparas de incandescencia perfeccionadas, las que a diferencia de las estándar, contienen más del gas inerte un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo) en su gas de relleno. Este compuesto da lugar al principio de regeneración yodo-tungsteno permitiendo que los filamentos de la lámpara operen a temperaturas mayores sin ennegrecer las paredes de la ampolla.

Todo esto se traduce en una menor depreciación del flujo luminoso, un aumento de la eficiencia (20 % más que las estándar) y de la vida media (> 2 000 horas) de la lámpara. La temperatura de color es también mayor, produciendo luz más blanca que las incandescentes estándar.

Debido a que el funcionamiento de este tipo de lámparas requiere de altas temperaturas para que el ciclo de regeneración pueda realizarse, las ampollas son más pequeñas y compactas que las lámparas normales; además, la ampolla se construye de cristal de cuarzo que puede resistir temperaturas elevadas. Para la manipulación de estas lámparas hay que tener presentes dos cuestiones muy importantes: evitar la presencia de grasa sobre la ampolla de cuarzo, es decir, no deben tocarse con las manos, ya que a altas temperaturas se puede originar la desvitrificación del cuarzo con las anomalías consiguientes.

Su posición de trabajo debe ser siempre horizontal con una tolerancia máxima de unos 4 grados. Una mayor inclinación altera el equilibrio térmico de la regeneración, afectando seriamente a la vida de la lámpara. Estas se encuentran disponibles en una variedad de formas y tamaños y pueden ser usadas de manera efectiva en distintas aplicaciones de iluminación, incluyendo la de acentuación y de mostrador, faros delanteros de coches e iluminación proyectada exterior.

1.7.2. Lámparas de descarga gaseosa

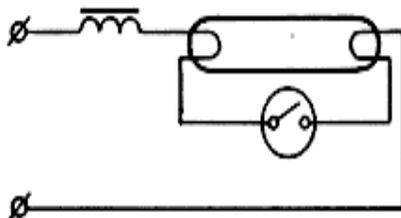
Las lámparas de descarga constituyen una forma alternativa de producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes, es por eso que su uso se ha extendido hoy en día. La luz emitida se consigue por medio de la excitación de gases y vapores metálicos (lámparas luminiscentes) sometidos a descargas eléctricas entre dos electrodos o de sustancias minerales sólidas fluorescentes activadas por una radiación ultravioleta (lámparas fluorescentes).

1.7.2.1. Características de funcionamiento

Para que se produzca la descarga eléctrica mencionada anteriormente es necesario una mínima tensión de encendido (o cebado). Luego del encendido la corriente que circula por la lámpara aumenta rápidamente debido a una gran cantidad de electrones que se liberan dentro del tubo de descarga. Este efecto la llevaría a la autodestrucción si no se colocara en serie con la lámpara algún elemento que limite la intensidad que circula por ella, en un valor tal que conserve constante la descarga a través del gas contenido en el tubo; este elemento es una reactancia cuyo nombre específico es balastro.

En la actualidad existen balastos que cumplen con todos estos requerimientos como los balastos electrónicos; a diferencia de los balastos electromagnéticos tienen un alto factor de potencia lo que conlleva a un menor consumo de energía, además son compactos y de menor tamaño, son silenciosos y tienen una alta frecuencia de trabajo lo que elimina los efectos estroboscópicos existentes al usar balastro electromagnéticos. En la figura 5 se muestra el circuito fundamental de funcionamiento de una lámpara de descarga con su balastro y su cebador.

Figura 5. **Circuito de funcionamiento de una lámpara de descarga**



Fuente: FORSTER, Richard. Tipos de lámparas e iluminación, enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. p. 46.

1.7.2.2. Tipos de lámparas de descarga

Estos tipos de lámpara se encuentran subdivididos por las características que se mencionarán, además la base o el principio de funcionamiento es el mismo, cuyas características cambian entre las lámparas, entre ellas están:

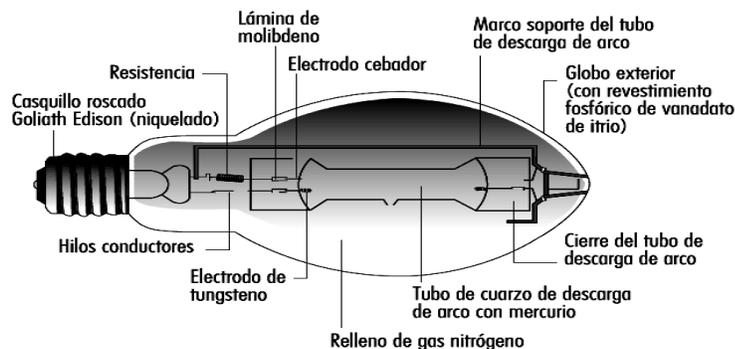
- Lámparas de mercurio a alta presión

Las lámparas de mercurio como se puede ver en la figura 6 son los miembros más antiguos de la familia de descarga de alta intensidad, aunque no son tan eficientes en cuanto a energía como las lámparas de haluros metálicos y las de sodio a alta presión, estas siguen siendo usadas en una variedad de aplicaciones. Su funcionamiento se basa en el mismo principio que el de las lámparas fluorescentes. Así como, una lámpara fluorescente de mercurio a baja presión genera casi exclusivamente radiaciones ultravioleta, con altas presiones de vapor el espectro cambia notablemente, emitiendo varias bandas que corresponden a colores violeta, azul, verde y amarillo; y emitiendo también una pequeña cantidad de radiaciones ultravioleta.

Las cualidades cromáticas de estas radiaciones no resultan muy buenas, debido en gran parte a la ausencia de radiaciones rojas, por lo que para mejorar el color, un revestimiento fosfórico es aplicado a la bombilla añadiendo luz roja, dando como resultado una lámpara con un mejor rendimiento cromático. Existen versiones de lujo con mayor contenido de rojo, que proporcionan un mayor rendimiento lumínico y reproducen mejor el color.

Las lámparas de descarga de alta presión son más compactas y tienen mayores cargas eléctricas, requieren tubos de descarga de arco hechos de cuarzo para soportar la presión y la temperatura. El tubo de descarga de arco va dentro de una envoltura exterior de vidrio con una atmósfera de nitrógeno o argón- nitrógeno para reducir la oxidación y las chispas.

Figura 6. Partes de una lámpara de mercurio



Fuente: FORSTER, Richard. Tipos de lámparas e iluminación, enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. p. 47.

A todas las lámparas de descarga de alta presión les cuesta alcanzar su pleno rendimiento. La descarga inicial se realiza a través del gas conductor interior y el metal se evapora a medida que aumenta la temperatura de la lámpara, aumentando la presión del vapor de mercurio y con ella la potencia activa consumida y el flujo luminoso emitido, hasta alcanzar, al cabo de 3 o 4 minutos, los valores normales de régimen.

La intensidad absorbida por el circuito se inicia con un valor del orden del 40 % al 50 % mayor que el nominal y va reduciéndose progresivamente a presión estable, la lámpara no se vuelve a cebar inmediatamente sin un equipo de control especial.

Se produce una demora de aproximadamente 3 a 4 minutos mientras la lámpara se enfría suficientemente y se reduce la presión, de modo que basta la tensión de alimentación normal o el circuito de ignición para restablecer el arco. Además, ofrecen una buena reproducción del color con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3 600 grados Kelvin, es importante resaltar que la duración de estas lámparas viene limitada por el tiempo de vida del filamento, principal causa de fallo.

Además, la depreciación del flujo se debe al ennegrecimiento de la ampolla por la evaporación del gas y la pérdida de eficacia de los polvos fluorescentes. En general, la vida media de este tipo de lámparas se sitúa en torno a las 6 000 horas. Una característica, es que no necesitan balastro ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente, haciendo posible la sustitución de estas lámparas por las incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones.

1.7.3. Lámparas de vapor de sodio

La constitución de las lámparas es similar a la de las de vapor de mercurio, de las que se diferencia en que, además de mercurio, contienen otro tipo de metales.

Una lámpara de haluros metálico puede utilizar varios metales diferentes, cada uno de los cuales emite un color característico específico, entre ellos cabe citar: disprosio (verde-azul de banda ancha), indio (azul de banda estrecha), litio (rojo de banda estrecha), escandio (verde-azul de banda ancha), sodio (amarillo de banda estrecha), talio (verde de banda estrecha), estaño (rojo-naranja de banda ancha). Con lo que se obtiene mayor rendimiento lumínico y sobre todo una mejor reproducción cromática.

Tienen un período de arranque de 3 a 5 minutos que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga; y el reencendido se da de 10 a 20 minutos, dependiendo del tipo de luminaria y de la potencia de la lámpara. Aunque las condiciones de funcionamiento son similares a las de las lámparas de vapor de mercurio, la adición de halogenuros hace necesario para su funcionamiento un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque están en el orden de 1 500 a 5 000 V. Como todas las lámparas de descarga, estas deben ser conectadas a la red a través de una reactancia que controle la intensidad, debiendo tener especial cuidado en que la combinación reactancia-arrancador sea la adecuada.

1.7.3.1. Característica de funcionamiento

No existe una mezcla estándar de metales, por lo que puede ser de diferentes fabricantes no sean compatibles en aspecto o funcionamiento. Tanto la temperatura de color proporcionada, la vida media de la lámpara, como la eficacia luminosa obtenida dependen de este concepto.

Como ya se ha dicho, la principal cualidad de estas lámparas es la reproducción cromática, por lo que la utilización especialmente indicada en aquellos casos en los que la reproducción cromática sea fundamental, como por ejemplo, en áreas de producción, inspección, almacenes, así como, en aplicaciones en exteriores, en sí, son una alternativa ideal en un sinnúmero de aplicaciones.

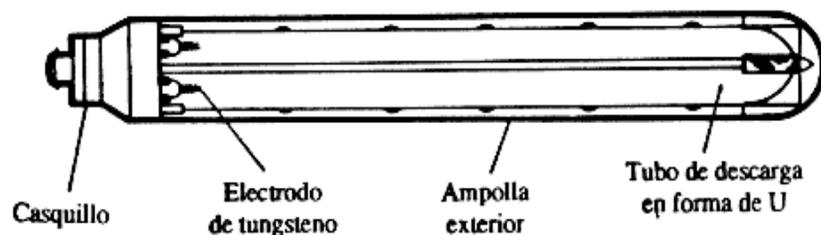
1.7.3.2. Tipos de lámparas de vapor de sodio

Por lo general la mayoría de las lámparas comparten un mismo principio y la tecnología de fabricación cambia por lo cual se pueden dividir estas lámparas, entre los casos que se pueden mencionar están:

- Lámparas de sodio a baja presión

El tubo de descarga de arco como se muestra en la figura 7 tiene un tamaño similar al tubo fluorescente, pero está hecho de un vidrio contrachapado especial con una capa interior resistente al sodio. El tubo de descarga de arco tiene forma de U estrecha y va dentro de una envoltura exterior al vacío para asegurar la estabilidad térmica. Durante el cebado, el gas neón del interior de la lámpara produce un intenso resplandor rojo.

Figura 7. Lámpara de sodio a baja presión



Fuente: SANDOVAL, José. Fuentes luminosas. p. 41.

El proceso de encendido de una lámpara de vapor de sodio a baja presión dura unos 10 minutos y al final se obtiene una radiación color amarillo monocromático próxima a la sensibilidad máxima del ojo humano.

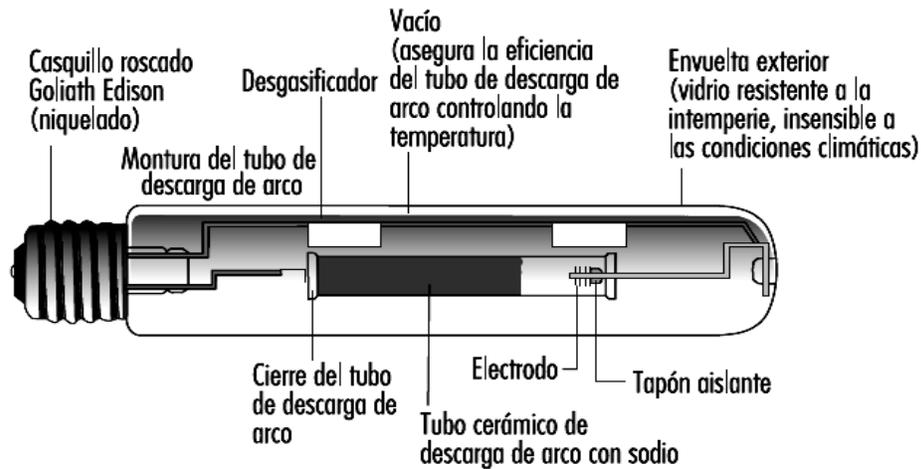
Por ello, las lámparas de sodio de baja presión son las más eficaces que existen, a casi 200 lúmenes/vatio, aunque su aplicación viene limitada por la condición de que la discriminación de los colores no tenga importancia visual, como en el caso de las carreteras principales, los pasos subterráneos y las calles residenciales.

La tensión mínima de arranque que necesitan estas lámparas es del orden de los 390 Volts para potencias de lámparas pequeñas (35 Watts) y del orden de los 600 Volts para las de gran potencia (180 Watts). Por tal motivo, se hace imprescindible en el circuito un elemento que además de controlar la intensidad, como en todas las lámparas de descarga, eleve la tensión de la red al valor necesario; esto se consigue mediante reactancias autotransformadoras de dispersión. En muchas situaciones estas lámparas están siendo reemplazadas por lámparas de sodio de alta presión. Su menor tamaño ofrece mejor control óptico, particularmente en el alumbrado de carreteras, donde existe cada vez mayor preocupación por el excesivo resplandor del cielo.

- Lámparas de sodio a alta presión

Estas lámparas son parecidas a las de mercurio de alta presión, pero ofrecen mejor eficiencia (más de 100 lúmenes/vatio) y una excelente constancia del flujo luminoso. La naturaleza reactiva del sodio requiere que el tubo de descarga de arco se fabrique con alúmina policristalina translúcida, ya que el vidrio o el cuarzo son inadecuados. El globo de vidrio exterior contiene un vacío para evitar chispas y la oxidación. La descarga de sodio no emite radiación ultravioleta, por lo que los revestimientos fosfóricos no tienen ninguna utilidad. Algunas bombillas son esmeriladas o revestidas para difuminar la fuente de luz (véase la figura 8).

Figura 8. Lámpara de vapor de sodio a alta presión



Fuente: FORSTER, Richard. Tipos de lámparas e iluminación, enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. p. 48.

Al aumentar la presión del sodio, la radiación se convierte en una banda ancha alrededor del pico amarillo y su coloración es de un blanco dorado, sin embargo, esto ocasiona la disminución de la eficiencia.

Generalmente, se utilizan las lámparas normales para el alumbrado exterior, las lámparas de lujo para los interiores industriales y las blancas son para aplicaciones comerciales y de exposición. Debido a la presión elevada de sodio en el tubo de descarga, para el encendido de estas lámparas es preciso aplicar tensiones de pico comprendidas entre 2 800 y 5 500 Volts, por lo que además de la imprescindible reactancia hay que colocar arrancadores especiales capaces de generar los impulsos de encendido.

La intensidad de arranque de estas lámparas es del orden del 40 % al 50 % superior al valor nominal que se alcanza una vez transcurrido el tiempo de encendido (5 minutos). La potencia activa consumida por la lámpara va aumentando hasta alcanzar su valor nominal máximo, que junto con la potencia aparente determinará el factor de potencia típico de estos circuitos y que como en los demás casos resultará ser del orden de 0,5. Al igual que las otras lámparas de descarga, si por alguna circunstancia se desconectan, no pueden volver a encenderse hasta transcurrido el tiempo necesario para que la presión del sodio descienda a valores inferiores. Así, el tiempo de reencendido suele ser del orden de 2 a 3 minutos.

2. BALASTROS

2.1. Breve historial

Antes de las lámparas de descarga y las lámparas incandescentes, se utilizaba el alumbrado por gas. Los primeros faroles requerían que un farolero recorriese las calles al atardecer para ir encendiéndolas, pero años después se empezaron a emplear dispositivos de encendido automático que prendían la llama al activarse el paso de gas. Los primeros faroles fueron fabricados en el Imperio Árabe. Las primeras farolas eléctricas empleadas, eran del tipo arco eléctrico, inicialmente las velas eléctricas, velas Jablochoff o velas Yablochkov desarrolladas por el ruso Pavel Yablochkov en 1875. Se trataban de lámparas de arco eléctrico con electrodos de carbón que empleaban corriente alterna, que garantizaba que los electrodos ardieran de forma regular.

Las velas Yablochkov fueron usadas por primera vez para alumbrar los grandes almacenes Grand Magasins de Louvre, en Paris en los 80, poco después fueron instaladas de forma experimental en el puente Holborn Viaduct y la calle Thames Embankment de Londres. Más de 4 000 de estas lámparas estaban en uso en 1881, aunque por entonces ya se habían desarrollado mejoras en las lámparas de arco diferencial por parte de Friederich von Hefner-Alteneck de la empresa alemana Siemens & Halske.

En los Estados Unidos fue rápida la adopción del alumbrado de arco. En 1890 habían instaladas alrededor de 130 000. Timișoara, en la actual Rumania, fue la primera ciudad de la Europa Continental en contar con alumbrado público por electricidad. El 12 de noviembre de 1884 instaló 731 lámparas. Jerez de la Frontera y Haro, en 1890, fueron las primeras ciudades españolas en hacer uso de alumbrado público por electricidad.

El ayuntamiento de Jerez fue el primero en comenzar a instalar este tipo de alumbrado en sus calles, mientras que Haro fue el primero en completar el proceso de instalación en todo su entramado urbano. La luz de arco eléctrico tenía dos grandes inconvenientes. Emite una luz intensa y gran desprendimiento de calor, aunque útil para zonas industriales como los astilleros, era incómoda para las calles de las ciudades. Además requiere mucho mantenimiento debido al rápido desgaste de los electrodos de carbón.

A finales del siglo XIX, con el desarrollo de lámparas incandescentes baratas, brillantes y fiables, las de luz de arco quedaron en desuso para el alumbrado público, permaneciendo para usos industriales. La lámpara fluorescente se usó brevemente después de la lámpara incandescente en alumbrado público, principalmente debido a que no es una fuente puntual de luz, aún cuando son más eficientes que las lámparas incandescentes.

Posteriormente, se desarrolló la lámpara de vapor de mercurio de alta presión, que es una lámpara de arco eléctrico cuya descarga ocurre dentro de un gas bajo alta presión, por lo que se llamó HID, por sus siglas en inglés High Intensity Discharge, también se conocen como DAI, Descarga en alta intensidad, en estas lámparas debido a la degradación de los componentes internos, se pierde intensidad luminosa rápidamente, pero es una fuente puntual de luz.

Posterior a la lámpara de vapor de mercurio, se desarrolló la lámpara de vapor de sodio de baja presión, que emite una luz monocromática, después se desarrolló la lámpara de vapor de sodio de alta presión, cuya luz es ámbar, pero tiene un índice de rendimiento de color un poco mayor, es una fuente de luz mas puntual y de un tamaño menor que la lámpara de vapor de sodio de baja presión, lo que facilita su manejo y permite un mejor diseño de los luminarias, esta lámpara entra dentro de la categoría HID o DALI.

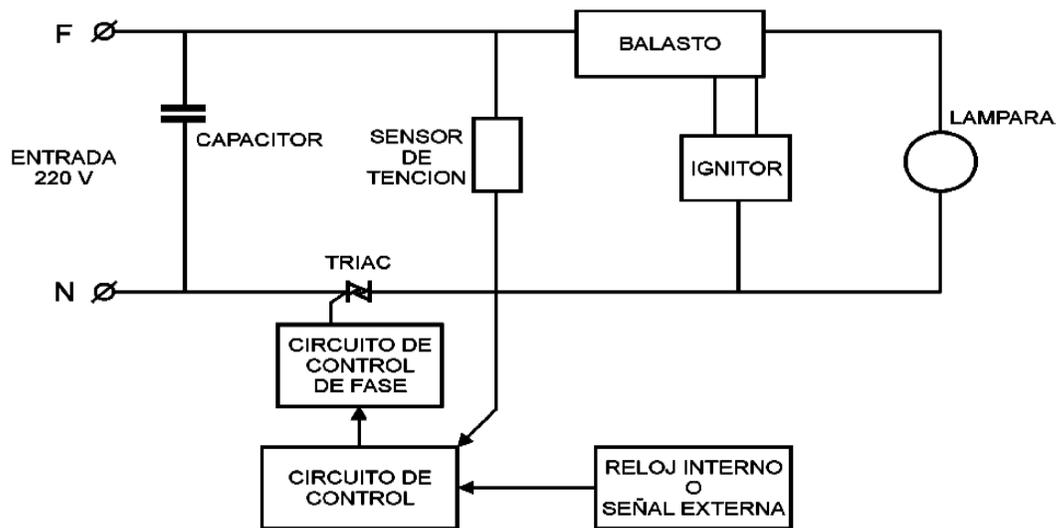
2.2. Introducción a los balastos

Las lámparas de alta densidad de descarga requieren de balastos para limitar la corriente en las mismas para el correcto nivel de operación y así proporcionar el nivel de voltaje de arranque apropiado para iniciar y mantener el arco. Cada balastro está diseñado para una lámpara específica, tamaño de bulbo, rango de voltaje y frecuencia de la línea de alimentación. Las lámparas diferentes no son intercambiables debido a que la potencia es controlada por el balastro y no por la lámpara. Los tamaños de las lámparas no se pueden intercambiar sin cambiar de balastro.

2.2.1. Principio de funcionamiento de un balastro

La revolución electrónica ha dado lugar a mejoras drásticas en el funcionamiento de los balastos. El balastro electrónico está basado en una tecnología enteramente diferente a la del balastro electromagnético.

Figura 9. Diagrama de un balastro electrónico



Fuente: http://www.wamco.com.ar/pdf/Equipos_Complementarios_Iluminacion.pdf.

[Consulta: febrero de 2013].

Enciende y regula las lámparas fluorescentes en altas frecuencias generalmente mayores a 20 kiloHertz, usando componentes electrónicos en vez del tradicional transformador. Un aspecto muy importante en la evolución que han tenido los balastos electrónicos dentro de los sistemas de iluminación, son las ventajas que presentan con respecto a los balastos electromagnéticos tradicionales, tales como: la eliminación del parpadeo de las lámparas en el encendido, el ruido audible, la habilidad para ajustar la salida de luz de la lámpara a casi cualquier nivel cuando es usado un control de intensidad luminosa.

Aunque los balastos electromagnéticos presentan gran simplicidad y bajo costo, estos tienen que trabajar a frecuencia de red lo cual, trae como consecuencia un elevado peso y gran volumen, así como, bajo rendimiento. Por ello, los balastos electrónicos de alta frecuencia son utilizados hoy en día para la alimentación de lámparas fluorescentes. Comparado con el balastro tradicional electromagnético con el electrónico, este puede proporcionar mayor rendimiento, control de potencia de salida, larga vida a la lámpara y reducido volumen.

El desarrollo de nuevas topologías en la implementación de un factor de potencia alto y balastos de bajo costo se ha convertido en una importante rama de investigación en el área de la electrónica de potencia. Varias soluciones pueden ser obtenidas de las literaturas. Una primera solución para implementar un alto factor de potencia en un balastro está basada en la integración de las dos etapas que lo constan, gracias a la reducción de elementos de control por medio de compartición de una o más interrupciones.

2.2.2. Características eléctricas de las lámparas HID

Una breve caracterización de las lámparas vapor de sodio de alta intensidad HID está relacionada con la utilización de balastos y se resumen en los siguientes puntos:

2.2.2.1. Encendido

Las lámparas HID necesitan un voltaje apropiado, entre los electrodos para iniciar y mantener una descarga luminiscente.

Además, el balastro debe proporcionar suficiente corriente a un voltaje de la descarga de resplandor (aprox. 90 Volts para HPS) y 180 Volts para MH obligando a la transición de resplandor al arco.

2.2.2.2. Tiempo de calentamiento

El tiempo de calentamiento de las lámparas HID es de varios minutos, en este período, la resistencia de la lámpara (medida mediante la aplicación de corriente de onda cuadrada) aumenta continuamente desde un valor bajo a un valor esencialmente nominal más alta. Por lo tanto, el balastro debe actuar como una fuente de corriente casi constante proporcionando suficiente aumento (casi lineal) de potencia de la lámpara.

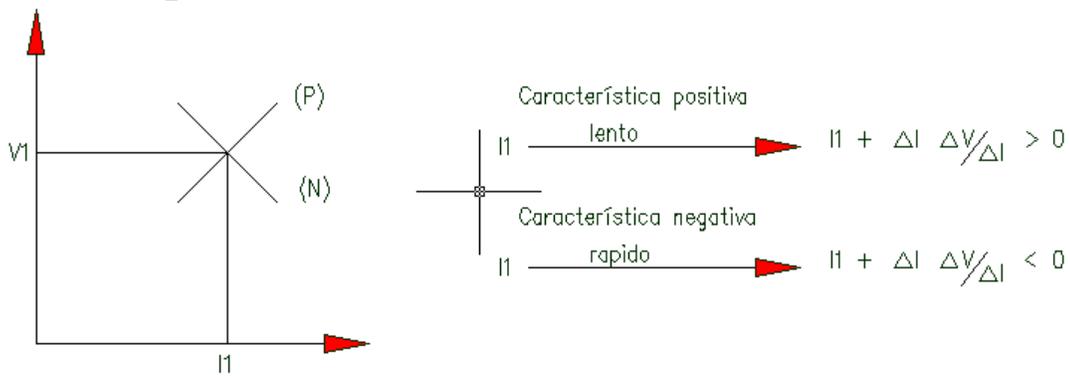
2.2.2.3. Aumento de tensión de la lámpara

Lámparas de HPS, en particular, tienen un aumento excesivo de la tensión de la lámpara durante su vida. Este aumento de la tensión puede alcanzar aproximadamente ciento setenta por ciento (170 %) del valor de cien horas de operación. Por lo tanto, un balastro debe mantener la potencia de la lámpara dentro de un rango aceptable de energía derivada de la curva del balastro.

2.2.2.4. Característica IV

La curva característica de voltaje y corriente de la lámpara de HID muestra que si la corriente de la lámpara se ve obligado a cambiar con un cierto valor (ΔI) las lámparas pueden responder de dos maneras diferentes, como se muestra en la figura 10.

Figura 10. **Curvas características de voltaje y corriente**



Fuente : <http://www.ballastdesign.com/overview.shtml>. [Consulta: febrero de 2013].

Si la corriente se cambia poco a poco, (es decir, menos de un minuto) y con un cierto valor (ΔI) de la tensión de la lámpara cambia sólo con un valor pequeño. En este caso la luz se comporta como un diodo Zéner no ideal bidireccional. Además, si el cambio es rápido (<1 segundo) una disminución del voltaje de la lámpara es producida por la lámpara de mayor corriente y viceversa. Por lo tanto, si una lámpara se conecta directamente a una fuente de tensión, un estado muy inestable puede resultar.

Cualquier fluctuación pequeña de corriente puede causar la extinción o un aumento de corriente muy rápido, lo cual puede dañar la lámpara, ya que resulta prácticamente un cortocircuito de la fuente de voltaje. Evidentemente, un balastro debe actuar como una fuente de corriente que permite determinar la tensión de lámpara.

2.2.2.5. Resonancia acústica

Cuando las lámparas HID operan en alta frecuencia ($f > 4$ kiloHertz), ondas de presión (resonancia acústica) pueden ocurrir en el tubo de descarga, este fenómeno puede dar lugar a distorsiones de arco visible, lo que disminuye el tiempo de vida de la lámpara y, en algunos casos, el agrietamiento de los tubos. Las resonancias acústicas son impulsadas por la potencia instantánea del período de la luz. En conclusión se puede afirmar que la aparición de resonancias acústicas de alta frecuencia pueden ser considerado como un factor de limitación para una aplicación amplia y confiable de alta frecuencia (< 60 kiloHertz) del suministro de balastos electrónicos para lámparas HID.

2.2.2.6. Fenómeno por cataforesis

Puede resultar cuando una lámpara funciona con corriente continua. Esto se da en la operación de la separación de la mezcla del gas de llenado, ya que el sodio es transportado hacia el lado del cátodo del tubo, haciendo que la lámpara sea inadecuada para fines de iluminación. Por lo tanto, la polaridad de la corriente de la lámpara debe ser cambiado periódicamente por el balastro (es decir, cada 10 metros) proporcionando un flujo axial homogéneo. Se recomienda una componente de corriente continua aproximadamente de cero; obviamente, la situación es diferente para las lámparas HID especiales diseñados para una operación continua.

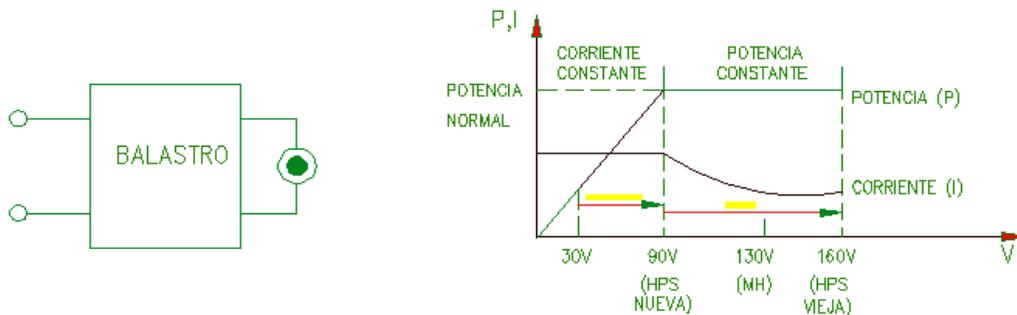
2.2.3. Definición de un balastro

De acuerdo con las características particulares de las lámparas HID descritos anteriormente, un balastro como se muestra en la figura 10, tiene una entrada que se conecta a una determinada fuente de voltaje (generalmente 50/60 Hetz sinusoidal), puede ser considerado como un balastro HID si la salida conectada a una lámpara de HID cumple con lo siguiente:

- Como fuente de corriente alterna simétrica que proporciona.
 - Una corriente efectiva constante entre cero y el voltaje mínimo de la lámpara a la potencia nominal de la lámpara.
 - Una potencia efectiva casi constante igual a la potencia nominal de la lámpara entre el voltaje mínimo y máximo de la lámpara.
- Se incluye un dispositivo de encendido apropiado para el inicio.

De acuerdo con la definición de un balastro para las lámparas HID como se observa en la figura 11 (curva de un balastro), la corriente de la lámpara (I) contra voltaje de la lámpara (V), y la potencia de la lámpara (P) contra la tensión de la lámpara (V). Todos los valores deben ser interpretados como la tensión efectiva de la lámpara. El voltaje de la lámpara (voltaje de arco de descarga) en el arranque en frío es de aproximadamente 20 Volts. En la definición, por simplicidad, se utiliza un valor de cero (cortocircuito) como voltaje mínimo de salida. La corriente en el rango de $0 < \text{Volts}_{\text{out}} < 20$ Volts puede reducirse, pero debe ser lo suficientemente alto obligando a la transición de descarga luminiscente para la descarga de arco en una cierta tensión de descarga luminiscente determinado por la lámpara.

Figura 11. **Curva de un balastro**



Fuente: <http://www.ballastdesign.com/overview.shtml>. [Consulta: enero de 2013].

2.2.4. **Clasificación de un balastro**

Con la modulación de la temperatura en el tubo de descarga (el parpadeo, el reencendido de pico), densidad máxima de corriente en los electrodos y resonancia acústica, la frecuencia y pico de corriente en la lámpara (o potencia) puede considerarse el punto de partida lógico para el método sencillo de clasificar un balastro. La eficiencia (energía pérdida) podría considerarse como el parámetro básico que directamente afecte el aumento de temperatura. La temperatura ambiente alrededor del balastro afectará la confiabilidad y la vida calculada del producto. Además el ahorro de energía se determina directamente por la eficiencia.

2.2.4.1. **Frecuencia**

Los balastos trabajan en alta frecuencia con el fin de controlar el flujo luminoso de la lámpara sin afectar su operación. El ciclo de atenuación de la lámpara puede programarse en fábrica de acuerdo al requerimiento de cada usuario.

2.2.4.2. Factor de cresta

La corriente y la potencia de la lámpara fluctúa periódicamente donde la frecuencia de la potencia instantánea es el doble de la frecuencia de corriente de la lámpara, con la excepción de la operación de onda cuadrada donde la potencia instantánea es constante. La fluctuación puede ser caracterizada por factores de cresta, como se muestra en la siguiente parte.

2.2.4.3. Factor de corriente de cresta

$C_i = I_m / I_e$ ($C_i > 1$) donde I_m es la amplitud (o valor máximo) y que I_e es el valor de la corriente efectiva de la lámpara. C_i depende en gran medida la forma de onda actual: $C_i = 1$ (onda cuadrada), $C_i = 1,4$ (senusoidales), $1,1 < C_i < 1,7$ (por tramos exponencial). Para las operaciones de pulso de corriente C_i puede ser esencialmente mayor que uno.

2.2.4.4. Factor de potencia de cresta

$C_p = P_m / P_e$ ($C_p > 1$), donde P_m es la potencia instantánea máxima y P_e es el potencia efectiva. Si la resistencia de la lámpara es casi constante en un período, entonces C_p es aproximadamente igual a C_i . En el caso de una lámpara de corriente de onda cuadra, $C_p = C_i = 1$. Además, si $C_p > 1$ pueden ocurrir en el funcionamiento resonancias acústicas de alta frecuencia.

Utilizando la frecuencia y los factores actuales de la cresta de una clasificación simple de balastos HID que se muestra en la tabla I. La operación de corriente ($C_i \gg 1$) tiene algunas características específicas tales como una disminución del color de la luz, con un aumento de la temperatura a baja frecuencia de operación, problemas de resonancia.

En la operación de onda cuadrada no hay parpadeo ni problemas relacionados con picos de reencendido y resonancia acústica, pero el circuito del balastro es más complejo y costoso.

Tabla I. **Clasificación de balastros**

$\begin{matrix} C_i \\ f \end{matrix}$	$= 1,0$	$= 1,5$	$>> 1,0$
frecuencia baja	onda cuadrada de frecuencia baja	onda senoidal de baja frecuencia o tramos exponenciales	pulso de baja frecuencia
frecuencia alta	onda cuadrada de frecuencia alta	onda senoidal de alta frecuencia o tramos exponenciales	pulso de alta frecuencia

Fuente: <http://www.ballastdesign.com/overview.shtml>. [Consulta: enero de 2013].

2.2.4.5. Eficiencia

La eficiencia y el ahorro de energía están estrechamente relacionados, la capacidad de manejo de la temperatura ambiente y la fiabilidad puede ser considerada como un factor crucial de acuerdo a la aplicación práctica de los balastros. Por lo tanto, la siguiente subclasificación de los balastros con respecto a la eficiencia puede estar justificada:

- Convencionales (núcleo y bobina)
- Baja eficiencia (<80 %)
- De alta eficiencia (> 85 %)

- Electrónico
- Muy baja eficiencia (<85 %)
- Baja eficiencia (85 % - 90 %)
- De alta eficiencia (90 % - 93 %)
- Muy alta eficiencia (> 93 %)

La temperatura media dentro de un balastro electrónico depende de la temperatura externa del ambiente (que puede ser de hasta 50 grados centígrados para aplicaciones industriales de HID) y el aumento de la temperatura que está relacionado directamente con la pérdida de potencia del balastro. Por lo tanto, la eficiencia de un balastro electrónico para lámparas HID puede ser un factor de limitación importante de acuerdo con las aplicaciones.

2.2.4.6. Factor de potencia

Para el balastro de un alto factor de potencia se recomienda especialmente en el rango de alta potencia (> 150 Watts).

- Alto factor de potencia: PF > 90 %
- Bajo factor de potencia: PF < 90 %

Bajo factor de potencia de los equipos puede dar como resultado un aumento de la corriente efectiva en la alimentación y distorsión armónica. En el otro lado una unidad extra (preregulador de factor de potencia) es necesaria, disminuye la eficiencia y confiabilidad. El costo del balastro puede incrementarse un 30 %.

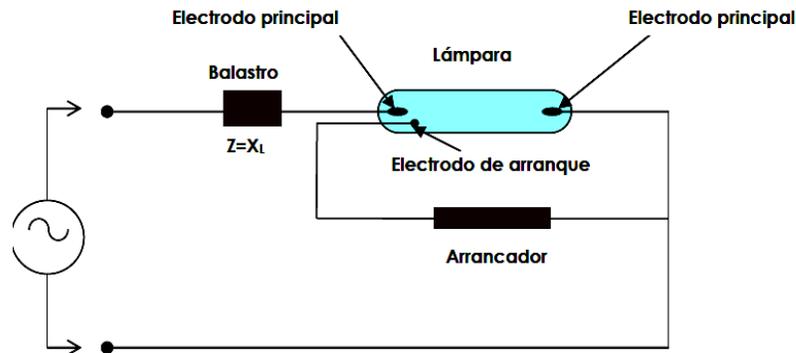
2.2.5. Tipos más usuales de un balastro

El funcionamiento de una lámpara depende de varios dispositivos entre ellos se encuentran el balastro, cuyas características han cambiado en el transcurso del tiempo, por lo cual se mencionarán los más importantes como:

2.2.5.1. Balastros electromagnéticos

Los balastros magnéticos utilizan la reactancia inductiva (bobina o reactor) para limitar y estabilizar la corriente. En la figura 12 se muestra un diagrama básico del uso del balastro magnético, este puede ser un transformador para elevar o disminuir la tensión requerida por la lámpara; adicionalmente se utiliza un arrancador para iniciar la descarga en la lámpara y dispositivos adicionales para un funcionamiento óptimo, como es el capacitor para la corrección del factor de potencia y el protector térmico para evitar sobrecalentamientos.

Figura 12. **Circuito básico para la limitación de la corriente de la lámpara de descarga**



Fuente: GARCÍA , Gustavo. Compatibilidad electromagnetica de balastos electronicos. p. 9.

Para la instalación de luminarias, se debe tener en cuenta la tensión de red y frecuencia de la red, las dimensiones y los valores máximos térmicos, así como, cualquier potencial de generación de ruido. Los balastos magnéticos se han optimizado en cuanto a sus campos magnéticos y cargas, de manera que el ruido no pueda ser percibido. Sin embargo, el diseño de la luminaria puede causar vibraciones magnéticas que afectan a grandes áreas. En el diseño de las luminarias, por lo tanto, podría ser necesario para adaptarse a una sección de acordeón o ranuras, para evitar la propagación de las vibraciones y por lo tanto el ruido que se genera.

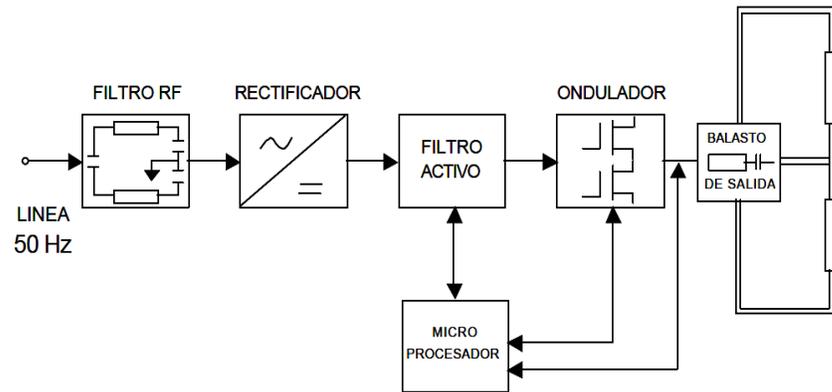
La vida útil de un balastro inductivo está determinada principalmente por el material elegido para el aislamiento de la bobina. La temperatura máxima de liquidación denota la temperatura (TW) que el aislamiento puede soportar durante un período de 10 años de un funcionamiento continuo en condiciones nominales. Esta temperatura máxima no debe superarse en condiciones reales para asegurar que el balastro puede lograr su vida de servicio completo.

La temperatura del devanado del balastro que se mide en la luminaria se compone de la temperatura ambiente de la luminaria, las condiciones térmicas dentro de la luminaria y la pérdida de potencia del balastro. El DT de marcado en la placa del balastro proporciona una medida de la pérdida de potencia del balastro. Además de esto, la pérdida de potencia de los circuitos balastro-lámpara se mide de acuerdo con la Norma EN 50294. Este método constituye la base para la clasificación de energía CELMA de los balastos y también se aplica en la Directiva Europea 2000/55/CE, valores máximos reglamento de la entrada de alimentación de circuitos de lámparas fluorescentes.

2.2.5.2. Balastos electrónicos

El uso de los balastos electrónicos ha mejorado notablemente la eficiencia de los sistemas de iluminación y sobre todo el aspecto del ahorro de energía. Hay varios factores que han permitido mejorar la eficiencia de dichos sistemas con el uso de este tipo de balastos, entre ellos: el mayor rendimiento de la lámpara, menores pérdidas debidas al balastro y la integración en un solo dispositivo para las funciones requeridas en la operación de la lámpara. Los aspectos más importantes en el mejoramiento de la eficiencia en los sistemas de iluminación utilizando balastos electrónicos se presentan a continuación.

Figura 13. Diagrama de bloques de un balastro electrónico

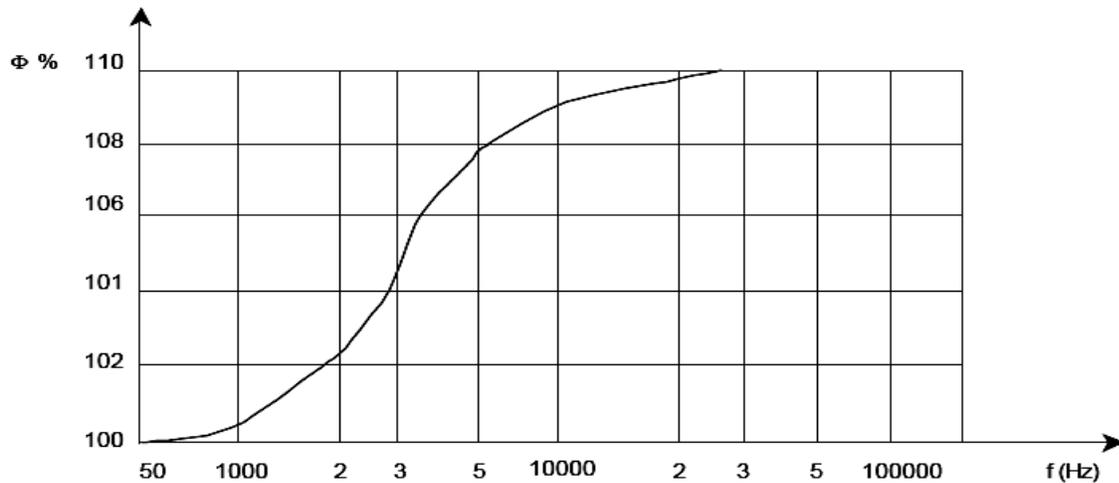


Fuente: http://www.wamco.com.ar/pdf/Equipos_Complementarios_Illuminacion.pdf.
[Consulta: enero de 2013].

- Mayor rendimiento de la lámpara

Los balastros electrónicos trabajan a frecuencias superiores al límite audible o sea por encima de los 18 KiloHertz. En la figura 14, se observa cómo un aumento de la frecuencia de alimentación de la lámpara produce un aumento del rendimiento lumínico de aproximadamente el 10 %.

Figura 14. **Flujo luminoso en función de la frecuencia utilizada en la señal de alimentación de la lámpara**

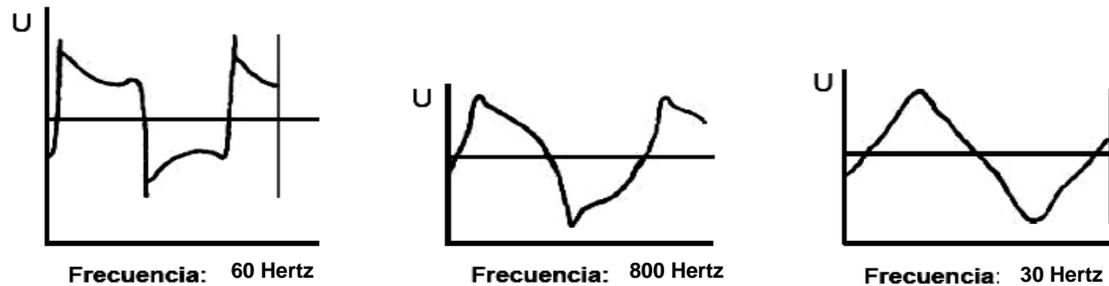


Fuente: <http://www.wamco.com.ar>. [Consulta: febrero de 2013].

Utilizando balastos electrónicos a frecuencias por encima de 20 kiloHertz, se logra un ahorro de energía, dado que es necesario entregar un 10 % menos a la lámpara para obtener igual flujo luminoso que el obtenido a 50 Hertz con balastos magnéticos.

El fenómeno de mejora en el rendimiento en alta frecuencia se explica a partir del cambio en la forma de la onda de tensión de arco, como puede verse en la figura 15.

Figura 15. **Formas de onda de la tensión de arco en función de la frecuencia**



Fuente: <http://www.wamco.com.ar>. [Consulta: febrero de 2013].

Los picos que se observan a baja frecuencia en la forma de onda representan un consumo de energía adicional que necesita la lámpara para sostener la ionización, dado que cerca de los cruces por cero algunos iones se alcanzan a recombinar, es decir, comienza el apagado de la lámpara. Al variar la tensión de alimentación lentamente (baja frecuencia) el efecto es más notable.

Al aumentar la frecuencia, aumenta la velocidad del cambio alrededor del cruce por cero y los iones no tienen tiempo de recombinarse, por lo que no necesitan esa energía adicional y desaparecen los picos en la forma de onda de la tensión de arco.

- Reducción de las pérdidas en el balastro

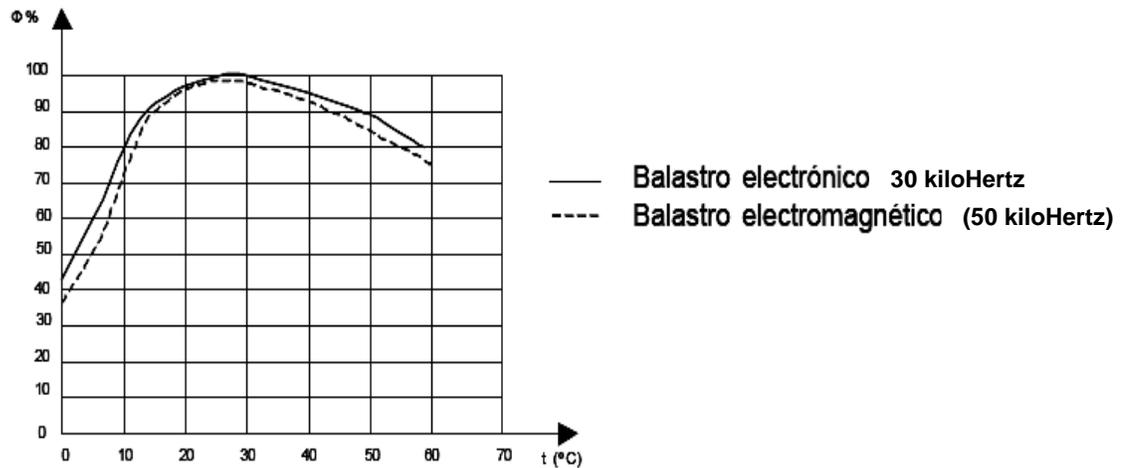
La alta frecuencia utilizada en los balastros electrónicos, hace que los dispositivos utilizados en su construcción sean más pequeños, por lo tanto, las pérdidas son menores y el volumen del balastro es menor respecto a los magnéticos.

Como ejemplo: en un sistema de 2 lámparas de 36 watts, las pérdidas por los balastos magnéticos son de alrededor de 20 watts (10 watts por cada balastro); al contrario, con un balastro electrónico se tiene pérdidas de 6 watts a 7 watts.

- Mejor rendimiento de la luminaria

El calor en las luminarias generado por la lámpara y el balastro disminuye, esto se debe a que; a diferencia del uso de balastos magnéticos en la alimentación de la lámpara, con los balastos electrónicos la lámpara requiere menor energía y sus pérdidas son menores. Por otro lado, la eficiencia luminosa (lúmenes/watt) depende de la temperatura en la lámpara; en la figura 16 se muestra una curva típica de la eficiencia luminosa en función de la temperatura para un balastro magnético y electrónico, se puede observar que la mayor eficiencia luminosa se tiene a temperatura ambiente (25 grados centígrados) para ambos, aunque un poco mayor con el balastro electrónico; fuera de esta temperatura, la eficiencia luminosa disminuye en ambos, siendo de mayor magnitud en el balastro magnético.

Figura 16. **Eficiencia luminosa en función de la temperatura en la luminaria**



Fuente: <http://www.wamco.com.ar>. [Consulta: enero de 2013].

Por ejemplo, una luminaria con 1 lámpara de 36 Watts y balastro magnético trabajando a temperatura ambiente, tiene una temperatura de aproximadamente 40 grados centígrados y con un balastro electrónico es de aproximadamente 35 grados centígrados, estos valores en la figura 16 corresponden a un factor de depreciación de 0,92 y 0,96 respectivamente, por lo tanto; se tiene 4 % de mayor eficiencia luminosa usando balastos electrónicos.

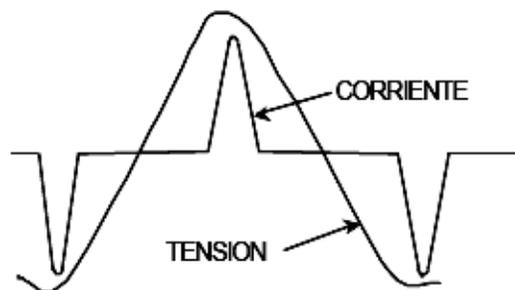
Por otra parte, los balastos electrónicos tienen dos factores que afectan la eficiencia del consumo de energía en los sistemas de iluminación; estos son: la distorsión armónica y el factor de potencia.

- Distorsión armónica y factor de potencia

La distorsión armónica en los balastos electrónicos que utilizan como fuente de alimentación, corriente alterna; se debe principalmente a la electrónica de potencia en el proceso de rectificación de esta señal. En este proceso, se deforma la señal de corriente de entrada, generando armónicos en las terminales de alimentación del balastro y bajo factor de potencia.

En la figura 17 se muestra la deformación de la señal de corriente, esta tiene un alto contenido de armónicos, donde la tercera puede tener valores superiores al 80 % de la fundamental. Además de las pérdidas debidas a los armónicos, estos pueden interferir a otros sistemas o equipos. En los balastos electrónicos que operan con corriente directa; la distorsión armónica se debe principalmente a la deformación de la señal que fluye por la lámpara.

Figura 17. **Forma de onda de la corriente de entrada**



Fuente: <http://www.wamco.com.ar>. [Consulta: enero de 2013].

Como el bajo factor de potencia en los balastos electrónicos se debe a la distorsión armónica; se utilizan circuitos electrónicos dedicados para disminuirla y en consecuencia corregir el factor de potencia.

2.2.5.3. Funcionamiento de un balastro electrónico

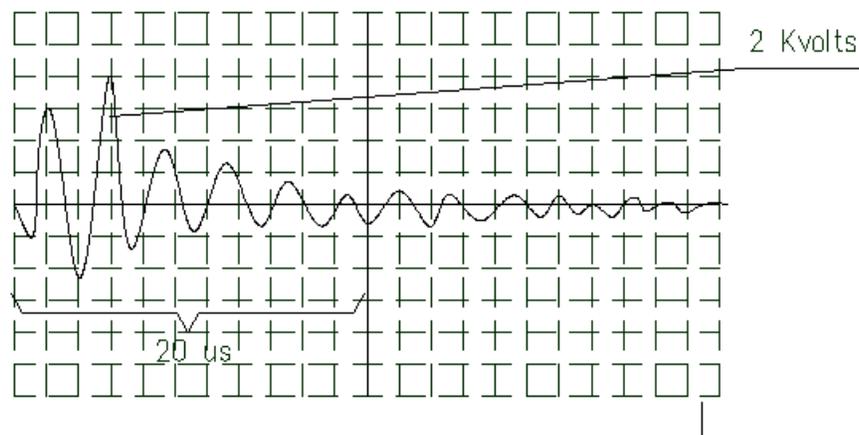
En general, los balastos electrónicos deben cumplir el objetivo de limitar y estabilizar la corriente de excitación de la lámpara, la complejidad para cubrir dicho objetivo depende de los dispositivos que se utilizan para su construcción; tales como:

- Balastro electrónico discreto: en la generación de la señal de alta frecuencia utiliza transistores (bipolares o *mosfet*), SCR's y diodos.
- Balastro electrónico con controlador: utiliza un circuito integrado para controlar y generar la señal de alta frecuencia, en algunos se tienen terminales de control y monitoreo.
- Balastro electrónico con microcontrolador: con el microcontrolador se pueden realizar diversas tareas, adicionalmente a la generación y control de la señal de alta frecuencia; como es el control y monitoreo remoto del consumo de energía, control del tiempo de encendido, monitoreo de operación y condiciones físicas del balastro, administración de la energía, personalización de la operación del sistema de iluminación a gran escala, etcétera. Se utiliza en sistemas de iluminación de alta eficiencia.

Estos dispositivos generan una señal con tensión controlada de alta frecuencia o baja frecuencia. Normalmente, el valor de esta frecuencia es mayor al límite superior de la frecuencia audible (20 kiloHertz). Para las lámparas fluorescentes, las frecuencias utilizadas están en el intervalo de frecuencia de 20 kiloHertz a 90 kiloHertz, típicamente operan en el intervalo de frecuencia de 45 kiloHertz - 60 kiloHertz.

Los balastos para las lámparas HID operan el intervalo de frecuencia 100 kiloHertz – 200 kiloHertz y se optimizan respecto a la resonancia acústica. Los balastos de baja potencia utilizan frecuencias típicas de 100 Hertz a 400 Hertz y lámparas de media potencia operan en frecuencias altas (100 kiloHertz – 200 kiloHertz); sin embargo, la frecuencia de operación depende de cada fabricante. El tipo de señal utilizado en el balastro electrónico puede ser pulsante, cuadrada o resonante; su uso depende de sus cualidades como es la distorsión armónica y generación de transitorios por conmutación. En la figura 18 se muestra una señal pulsante y en la figura 19 una señal cuadrada generada por conmutación.

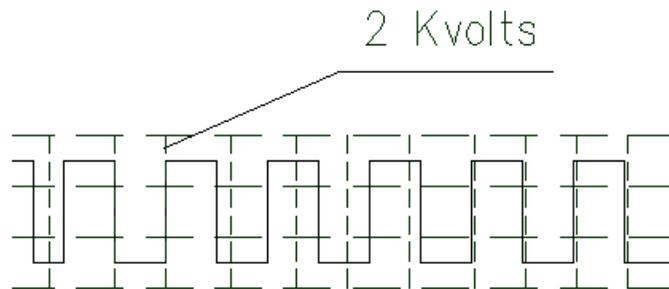
Figura 18. **Señal pulsante de alta frecuencia**



Fuente: GARCÍA, Gustavo. Compatibilidad electromagnética de balastos electrónicos.

p. 15.

Figura 19. **Señal cuadrada generada**



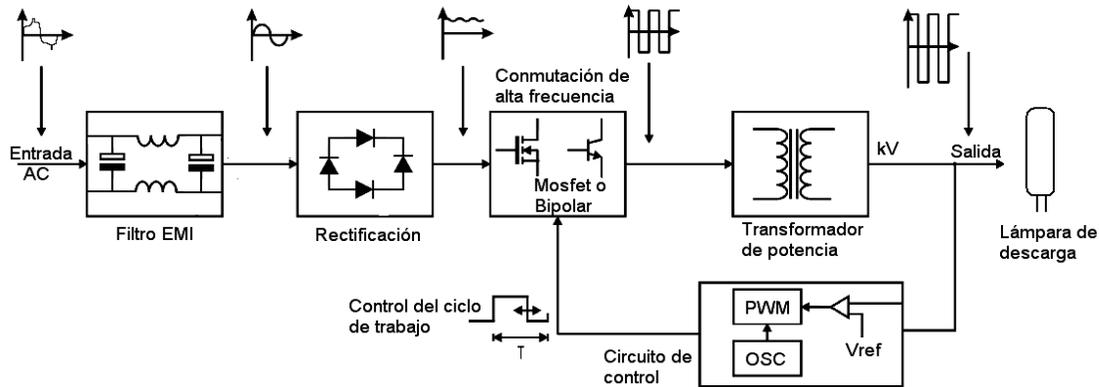
Fuente: GARCÍA, Gustavo. Compatibilidad electromagnética de balastos electrónicos.

p. 16.

En la figura 20, se muestra el diagrama de bloques de un balastro electrónico, donde, se puede observar un filtro EMI en la entrada, su función es limitar las EMI y la distorsión armónica de acuerdo a los límites establecidos en las Normas; posteriormente, la señal filtrada se rectifica para entrar a un circuito de conmutación de alta frecuencia, donde se genera una señal de alta frecuencia; después, esta pasa por un transformador para adecuarla al nivel requerido por la lámpara.

El circuito de control genera y controla la señal de alta frecuencia utilizada en el circuito de conmutación, además utiliza sensores y circuitos programables para administrar todo el proceso de generación y control, como son: la tensión de entrada, precalentamiento de la lámpara, la potencia de la lámpara, circuitos de protección, fluctuaciones de tensión, variaciones de la frecuencia y en algunos casos, detección de sobretensiones.

Figura 20. Diagrama de bloques de un balastro electrónico



Fuente: GARCÍA, Gustavo. Compatibilidad electromagnética de balastos electrónicos.

p. 16.

2.3. Consideraciones básicas

Entre las consideraciones para un buen funcionamiento de las lámparas se tomarán las básicas, las cuales se encuentran varios factores relacionados, entre ellos:

2.3.1. Corriente de la lámpara

Como solución al problema acústico de la resonancia, causado por una corriente de alta frecuencia de la lámpara, (50 Hertz – 500 Hertz) se sugiere la corriente de baja frecuencia de la lámpara de la onda cuadrada. En la operación de alta frecuencia, la gama de resonancia acústica más problemática debe ser evitada.

En la operación de la onda cuadrada las ventajas siguientes pueden ser alcanzadas:

- Potencia constante de la lámpara instantánea, resulta en una operación libre de resonancia acústica.
- No hay grandes cambios de temperatura, lo que elimina el parpadeo y menos carga del tubo de descarga de la pared.
- Densidad corriente constante en los electrodos dando por resultado una vida más larga de la lámpara.
- Perfil de temperatura constante en el tubo de descarga y la densidad constante (no fluctuante) actual.
- EMI (invariable) constante de la densidad corriente (según la salida) radicalmente se disminuye comparado a la operación de alta frecuencia.

2.3.2. Curva del balastro

Con el fin de evitar el consumo de energía adicional, causada por la curva de un balastro no ideal, se recomienda una curva de un balastro casi ideal, ya que se ilustra en la descripción.

De acuerdo con una curva de un balastro ideal para las siguientes características se pueden resumir:

- Lámpara de corriente constante en el tiempo de calentamiento.

- Potencia constante, igual a la potencia nominal de la lámpara en el rango requerido del voltaje de la lámpara. Por lo tanto, no se requiere ningún consumo de energía adicional según la línea de fluctuaciones y el aumento del voltaje de la lámpara causado por el envejecimiento.

2.3.3. Eficiencia y rango de temperatura

En aplicaciones industriales de la temperatura ambiente puede ser de 0 - 40 - 70 centígrados. Asumiendo un promedio de 30 Centígrados, el aumento de temperatura en el balastro y de acuerdo con los resultados experimentales aproximadamente el 94 % de eficiencia, especialmente en el rango de potencia más alta (250 Watts - 400 Watts), debe ser alcanzada. En la gama de baja potencia (50 Watts – 100 Watts), el rendimiento puede ser menor (92 %) a la misma temperatura ambiente. Automática a través de la protección de la temperatura se recomienda.

Algunas recomendaciones del diseño son mencionadas según los requisitos de la eficacia alta y de la confiabilidad:

- Se recomiendan los condensadores confiables y estables de la película (polipropileno, etcétera).
- Si es posible, el uso de condensadores electrolíticos debe ser evitado.
- Selección de material de la ferrita que tiene su densidad mínima de la pérdida de la base en la temperatura alta (90 – 100 Centígrados) se recomienda fuertemente.

Además, diseñando los elementos magnéticos (inductores y transformadores) para la subida de la baja temperatura (<20 Centígrados); así mismo, el diseño de los elementos magnéticos (bobinas y transformadores) para el aumento de temperatura baja (<20 Centígrados) incluso si se requiere de grandes núcleos de ferrita y un poco más caro también es recomendable. Por supuesto, otros métodos de diseño de fuentes conmutadas eficiente y confiable de energía deben ser tomados en consideración.

2.4. Recomendaciones para la línea de entrada

Las recomendaciones adecuadas para un buen funcionamiento de los equipos o sistemas electrónicos se pueden mencionar el voltaje, que tiene que tener una característica adecuada, entre otros están:

2.4.1. Rango de voltaje de entrada

Amplio rango de tensión de entrada no es recomendable que disminuye la eficiencia de la unidad de entrada (prerregulados del factor de potencia) y por lo tanto, la eficacia total en general.

Factor de potencia: 1,0 (> 98 %)

THD: <5 % (<10 %)

- Entrada de ruido de conducción: se filtra a un nivel aceptable
- Corriente de arranque: ninguna o limitada a un nivel aceptable

2.4.2. Entrada transitoria

Voltajes transitorios de entrada deben fijarse a un nivel apropiado. Dado que los transitorios de entrada dependerán en gran medida en el ambiente, una cuidadosa selección de los dispositivos de sujeción debe ser considerada.

2.4.3. Sobre y bajo protección del voltaje

En un máximo absoluto y mínimo nivel de tensión de entrada, determinada por el diseño del circuito se recomienda una desconexión automática.

2.5. Recomendaciones para la línea de salida

Las recomendaciones para una adecuada modalidad, características del equipo o sistema electrónico para el buen funcionamiento y un tiempo de vida útil de ello, se pueden mencionar los siguientes:

2.5.1. Protección de cortocircuito

Capacidad para la operación continua de cortocircuito y/o apagado automático después de cierto tiempo. Esto se debe tomar en cuenta debido a que es una protección principal.

2.5.2. Sin carga

Interrupción automático limitado por el tiempo de reencendido en caliente, reajuste OFF / ON. Cuando funciona con un período corto, el interruptor opera debido a que la corriente aumenta bruscamente, pero al tener un tiempo largo la corriente aumentará, pero ese aumento es momentáneo lo cual no hará funcionar el interruptor.

2.5.3. Ciclo

El balastro automáticamente apaga cuando el voltaje de la lámpara alcanza un nivel máximo por el envejecimiento. Los dispositivos electrónicos y eléctricos cambian su estructura física debido al uso continuo y el tiempo de trabajo.

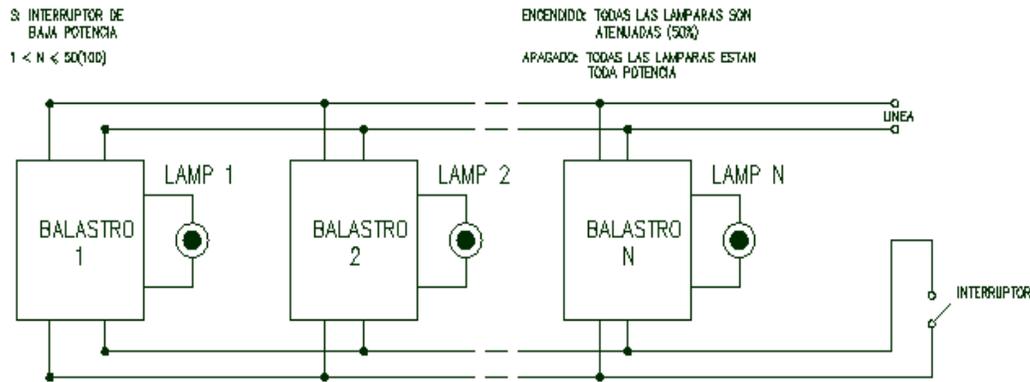
2.5.4. Focelda

Aplicándose una célula fotoconductor simple (fotorresistor) conectar con el balastro un interruptor de tiempo automático de la noche/día para las vallas puede ser observada opcionalmente.

2.5.5. Regulación

La potencia de la lámpara puede ser continua o por pasos discretos atenuado a la mitad de la potencia nominal de la lámpara (o menor para las lámparas HPS), una simple conexión de varios balastos (50-100) para la realización de un sistema de iluminación controlado por un solo interruptor de energía de baja atenuación, debe lograrse.

Figura 21. Sistema controlado de iluminación



Fuente: <http://www.ballastdesign.com/overview.shtml>. [Consulta: diciembre de 2012].

2.6. Interferencias electromagnéticas (EMI)

Son perturbaciones que afectan a cualquier sistema eléctrico y electrónico, pueden ser intencionales y no intencionales. Estos efectos se manifiestan cuando se tienen blindajes pobres en las líneas de alimentación y en equipos de alta sensibilidad, mal diseño en el alambrado, sistemas de tierra inapropiados, etcétera.

Las EMI se presentan en los sistemas y equipos eléctricos y electrónicos de forma conducida y radiada; las conducidas requieren de un medio físico como un conductor o línea de transmisión y se presentan como transitorios rápidos de corriente de carácter aleatorio. Las EMI requieren para transmitirse el espacio libre y se presentan como campos electromagnéticos.

El análisis y el control de las EMI se lleva a cabo por medio de la Compatibilidad Electromagnética (EMC) que se define como: la habilidad de un dispositivo electrónico para operar satisfactoriamente (susceptibilidad) en el ambiente electromagnético donde se encuentre, sin producir EMI excesivas que pudiera perturbar a otros equipos o sistemas en ese ambiente.

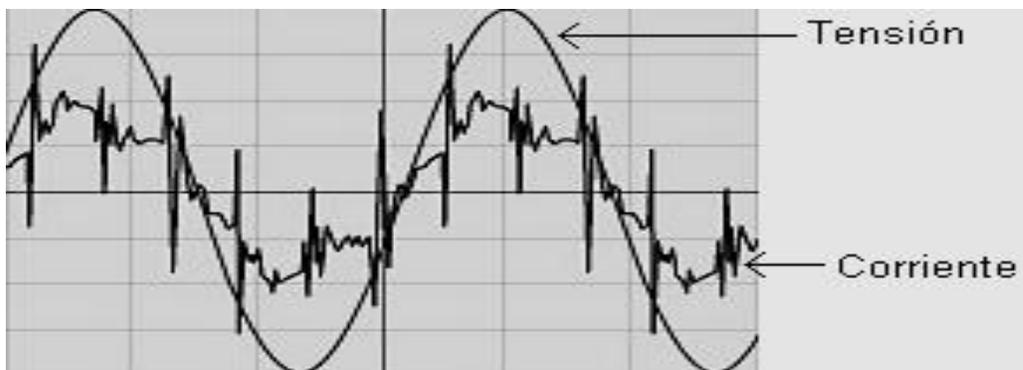
De tal forma que la comercialización de cualquier sistema que trabaja con energía eléctrica, debe satisfacer los requerimientos de Compatibilidad Electromagnética; para esto organizaciones internacionales y locales han desarrollado normas donde se especifican métodos de medición y límites permitidos para las EMI; los principales son el Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas (CISPR), el cual forma parte de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), Parte 18 de Estados Unidos, que es una norma regional.

Los balastos electrónicos se han vuelto populares en los sistemas de iluminación por sus ventajas mencionadas y para comercializarse deben cumplir con la temática de la Compatibilidad Electromagnética. A pesar de que dichos balastos electrónicos se están aplicando aún no están optimizados respecto a la emisión de interferencias, por lo que requieren de un análisis de su compatibilidad electromagnética. El problema principal que han presentado los balastos electrónicos respecto a las EMI es el ruido impulsivo en alta frecuencia tanto radiado como conducido. Este tipo de ruido conducido presenta niveles de tensión elevados de carácter aleatorio que puede llegar a generar mal funcionamiento (perturbar) a equipos o aparatos que se conecten a la misma línea de alimentación del balastro.

El ruido impulsivo radiado generado por los balastros electrónicos afecta principalmente a los sistemas de radiocomunicación por su alta sensibilidad. Otro problema importante es la distorsión armónica debida a los componentes electrónicos utilizados en su construcción y al igual que en el caso anterior la alta frecuencia y el nivel de tensión contribuyen al impacto que tienen en otros sistemas o dispositivos.

En la figura 22, se muestra la gráfica de tensión y corriente en las terminales de alimentación del balastro electrónico, en la cual se puede observar una gran distorsión armónica.

Figura 22. **Tensión y corriente en las terminales de alimentación de un balastro electrónico**



Fuente: GARCÍA, Gustavo. Compatibilidad electromagnética de balastros electrónicos.
p. 17.

Existen otras interferencias generadas por los balastros electrónicos que no son precisamente electromagnéticas (EMI), si no distorsiones por las no linealidades en un circuito (respuesta en frecuencia) y a ruido térmico en los componentes (características físicas), sin embargo, su impacto no es tan grave como el impulsivo.

2.7. Factores que influyen en una alta eficiencia y deben ser considerados por el instalador

Para tener una eficiencia mayor, se deben tener varios factores o características para el desempeño de las lámparas, entre estas se pueden mencionar:

2.7.1. Calibración

Los balastos deben estar ajustados al 100 % dentro de los límites estrictos de tolerancia que le permiten entregar a la lámpara su potencia nominal. El ajuste se realiza en la línea de producción, luego se efectúa el control de encendido junto con el ignitor y simultáneamente se hace el monitoreo en laboratorio con instrumental de precisión.

2.7.2. Tensión de la red

Un 10 % de aumento en la tensión de la red, ocasiona un aumento de potencia en la lámpara del 20 % al 25 %. Se recomienda verificar muy bien los desbalances de fase en instalaciones trifásicas ya que cuando el neutro no está sólidamente conectado, aumentos de tensiones de línea provocan la destrucción inmediata de las lámparas.

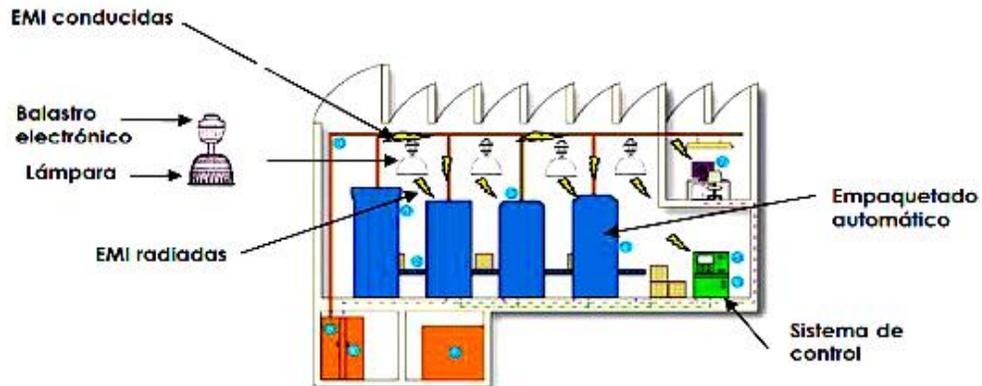
2.8. Compatibilidad electromagnética de los balastros electrónicos

Como ya se mencionó en los temas anteriores, la Compatibilidad Electromagnética (EMC) juega un papel muy importante en la comercialización de todos los dispositivos, equipos y sistemas que funcionan con energía eléctrica como son: equipo médico, sistemas de comunicaciones, sistemas de control, osciloscopios, etcétera, ya que; si no se satisfacen normas respecto a este tema, no se autoriza la comercialización. Las Normas de la EMC se enfocan a definir límites y métodos de medición de las EMI, por lo que en este tema se presenta la problemática de los balastros electrónicos respecto a la EMC.

2.8.1. Problemática de la compatibilidad electromagnética de los balastros

La afectación de interferencias por los balastros electrónicos es importante, ya que; son ampliamente utilizados en sistemas de iluminación aplicados en ambientes cerrados y abiertos. Los ambientes cerrados son naves industriales, centros comerciales, oficinas, zonas residenciales, túneles de autopistas, etcétera. Los ambientes abiertos son avenidas, carreteras, autopistas o cualquier vía pública, así como, áreas deportivas. En las figuras 23 y 24 se ilustran los efectos de las interferencias generadas por los balastros electrónicos a equipos, dispositivos y sistemas que funcionan con energía eléctrica.

Figura 23. Sistema de iluminación en ambiente cerrado

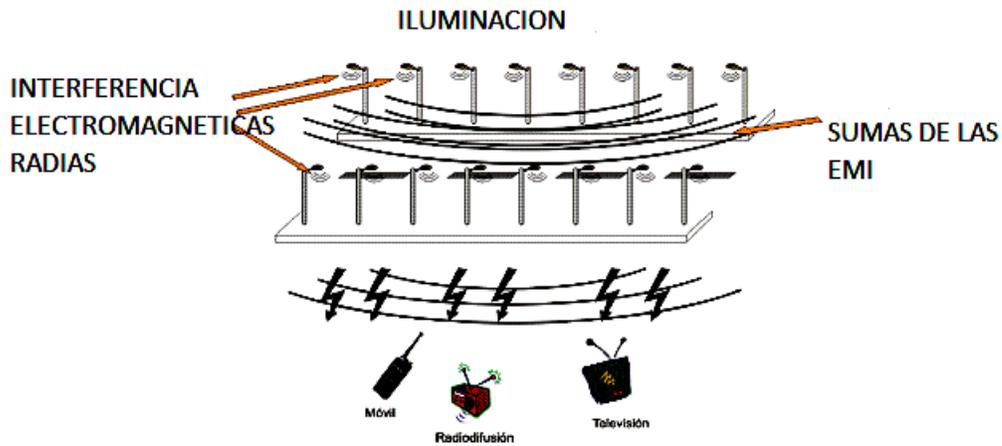


Fuente: GARCÍA, Gustavo. Compatibilidad electromagnética de balastos electrónicos.

p. 20.

La problemática de las EMI se agrava cuando se tiene una alta densidad de estos dispositivos, ya que las interferencias se suman; por ejemplo, en el alumbrado público donde la iluminación se lleva a cabo con lámparas de alta intensidad de descarga, principalmente de aditivos metálicos o vapor de sodio a alta presión, las cuales operan con tensiones elevadas; los niveles de EMI alcanzan campos eléctricos de hasta decenas de mVolts/metro, que pueden llegar a afectar varios servicios de radiocomunicación como la radiodifusión y la televisión comercial. Un esquema de este proceso se muestra en la figura 23. En conjuntos con luminarias, las EMI pueden dirigirse o concentrarse en una dirección, dependiendo de la geometría que se tenga.

Figura 24. **Sistema de iluminación en ambientes abiertos**



Fuente: GARCÍA, Gustavo. Compatibilidad electromagnética de balastros electrónicos
p. 21.

Las EMI generadas por el balastro electrónico también pueden afectarse a si mismo, ya que trabajan con microcontroladores y circuitos de control. En la tabla II se muestran algunos efectos que causan la EMI que se generan por los sistemas de iluminación con lámparas de descarga:

Tabla II. **Interferencias (EMI) en los sistemas de iluminación con lámparas fluorescentes**

Sistemas o dispositivos susceptibles a la EMI	Problema
Detección de tag (chip) en sistema antirrobo (librerías, centros comerciales, etcétera)	Fallas en la detección de productos con tags.
Dispositivos de control que usan comunicación por cables (sensores de movimiento, termostatos programables, etcétera)	Los controles no responden correctamente a los comando
Teléfonos inalámbricos, celulares, interpones, radios.	Chillidos o estática
Sistemas de control por líneas de alimentación (comercial y residencial)	Los controles no operan.
Equipo especial comúnmente encontrado en hospitales y laboratorios de investigación, tales como electrocardiograma, osciloscopios y computadoras	Lecturas erróneas e información mal grabado en las memorias de los equipos

Fuente: GARCÍA, Gustavo. Compatibilidad electromagnética de balastros electrónicos.
p. 26.

2.8.2. Normas de EMC aplicables a balastros electrónicos

No existe una norma específica para los balastros electrónicos a nivel Internacional ni local donde se establezcan los límites y métodos de medición de las perturbaciones, solo se tienen normas generales. Una de las normas de referencia internacional es la CISPR 15, en la cual se especifican los límites y métodos de medición de interferencias en iluminación eléctrica y equipos similares; cabe mencionar que la mayoría de los requerimientos de esta norma está enfocada a los sistemas de iluminación con lámparas fluorescentes.

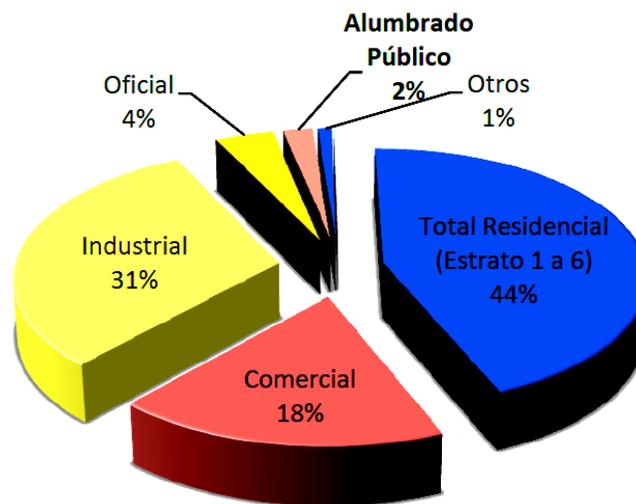
También, por la relación comercial que hay con los Estados Unidos de América, se consideraron los límites que especifica la Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission, FCC) en la parte 18c del Código de Regulaciones Federales (Code of Federal Regulations). Las normas mencionadas cubren sólo algunas partes de los requerimientos de los balastros electrónicos, con el fin de tener un aspecto más amplio de la EMC de los dispositivos que son objeto de este estudio, las Normas CISPR 11 y CISPR 16-2, son también consideradas, ya que, presentan límites y métodos para la caracterización de EMI que pueden aplicarse a los balastros electrónicos.

3. CÁLCULOS DEL BENEFICIO DEL PROYECTO

3.1. Servicio para alumbrado público

El 3 % de la energía eléctrica que se genera en el país es utilizada en el alumbrado público como lo demuestra en la figura 25.

Figura 25. Consumo de la energía eléctrica



Fuente: VEGA, Hernando. Consideraciones Técnico-Económicas de la aplicación de balastros de doble potencia en sistemas de alumbrado público. p. 2.

Si bien el porcentaje de utilización de la energía eléctrica en alumbrado público es pequeño, es muy importante buscar maneras de cómo optimizar este uso de la energía eléctrica y así mejorar la eficiencia del sistema, el bienestar de la comunidad y tener una actitud más amigable con el ambiente.

El alumbrado público es un servicio no domiciliario el cual tiene como finalidad iluminar lugares de libre acceso, en los que se incluyen las vías públicas, parques y demás espacios que se encuentren bajo responsabilidad del municipio con el fin de que se desarrollen actividades nocturnas dentro del sector urbano o rural, que además debe garantizar:

- Sensación de seguridad a los peatones y sus bienes. Sin embargo, la seguridad misma no está relacionada con puntos de luz instalados.
- Adecuada visibilidad de los conductores, una iluminación con valores de iluminancia y luminancia acordes según la velocidad y flujo vehicular de la vía, puede reducir el riesgo de accidentes de tráfico y así mismo la severidad.

Figura 26. **Aplicación de controles de iluminación**



Fuente: Proyectos de alumbrado, Municipalidad de Guatemala, zona 6.

Para garantizar el cumplimiento de los puntos anteriormente mencionados, se han ideado maneras de cómo tener un sistema de alumbrado eficiente y eficaz mediante la reducción de la emisión de flujo luminoso, teniendo en cuenta que en la noche y en la madrugada hay un bajo flujo vehicular, hay pocos peatones, y se presentan sobretensiones permanentes en la red, debido a la desconexión de cargas eléctricas.

A pesar de que se puede disminuir el flujo luminoso del alumbrado público, se puede mantener la sensación de seguridad, así mismo, se puede garantizar la seguridad de los conductores sin que esto comprometa la seguridad en el desplazamiento. En el Reino Unido, un estudio ha demostrado la poca incidencia que tiene la disminución de los niveles de iluminación con los accidentes de tráfico.

Por ejemplo en el Centro Histórico y otros sectores de la ciudad, se usarán luminarias de sodio de 250 Watts que proveen alta eficacia en luminosidad y requieren menor consumo de energía eléctrica. Más de tres millones doscientos mil quetzales se han invertido a través de la unidad de alumbrado público en diversas comunidades del municipio de Guatemala, en donde 55 proyectos de iluminación pública han sido ejecutados.

3.2. Datos históricos de facturación eléctrica

Para tener una buena facturación, se debe copilar información que se ha registrado eventualmente, con períodos de días, meses y años, dependiendo de la importancia a la cual se requiera analizar.

3.2.1. Tasas para alumbrado público

Para establecer tasas municipales por el alumbrado público, debe establecerse lo siguiente:

- Debe establecerse si la municipalidad aprobó en alguna oportunidad el cobro de la tasa por alumbrado público y determinar el número del acuerdo municipal y fecha de publicación en el diario oficial.
- Solicitar a la empresa de distribución eléctrica la elaboración de estudio técnico para determinar cuál es la tasa más adecuada, en función del consumo mensual por ese concepto y el número de usuarios del servicio de energía eléctrica.
- La empresa de distribución eléctrica presenta a la municipalidad el resultado del estudio técnico y presenta varias propuestas de tasa municipal, por alumbrado público.
- La Corporación Municipal analiza y decide qué tasa se adapta más a la situación económica de la población y a los costos que representa para la Municipalidad.
- La Corporación Municipal emite acuerdo aprobando la tasa determinada y autorizando a la empresa de distribución para el cobro de la misma por cuenta de la Municipalidad.
- El tesorero municipal debe encargarse de determinar mensualmente, cuál es el estado de cuenta del alumbrado público, el cual es operado por la empresa de distribución eléctrica.

- El tesorero debe hacer las operaciones respectivas de ingresos y egresos en la caja y en la ejecución del presupuesto, según los documentos de crédito y débito que emita la empresa de distribución eléctrica.

Esto es importante, porque es un ingreso cuantioso que muchas municipalidades no reportan, para efectos del cálculo de la distribución del situado (10 %) constitucional y las otras transferencias del gobierno central.

De conformidad con lo establecido en el Decreto 93-96, del Congreso de la República, Ley General de Electricidad, corresponde a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-, entre otros, velar por el cumplimiento de la misma y su reglamento, así como, de las normas que se emitan relacionadas con el sector eléctrico.

En el Artículo 96, del Reglamento de la Ley General de Electricidad, preceptúa que al monto facturado por las Distribuidoras, por venta de electricidad a sus consumidores finales, se adicionarán los montos por tasas e impuestos de Ley, no considerados en el cálculo de tarifas y relacionados directamente con el suministro y que la Comisión podrá autorizar la inclusión de la tasa por alumbrado público en la factura mensual emitida para el usuario final por el suministro de energía eléctrica, cuando haya un acuerdo en este sentido entre el distribuidor y la Municipalidad. Algunos aspectos del cobro de facturación de energía eléctrica se basan en la tasa municipal que los guatemaltecos deben pagar a la Municipalidad de Guatemala.

Se ha notado que la tasa de cobro en la factura por parte de la empresa eléctrica se basa entre los acuerdos de la Municipalidad y la empresa eléctrica, en el acuerdo de la fecha 9 de mayo de 1970 modificado por sus similares de fecha 17 de diciembre de 1986, 29 de mayo de 1991, 22 de septiembre de 1993 y 7 julio de 1999, como indica, que en acuerdo del concejo municipal de fecha 7 de julio de 1999, se aplicó una reducción temporal a la tasa municipal de alumbrado público con el fin de contribuir a disminuir el monto total de la facturación del servicio de electricidad lo que afectó considerablemente las finanzas municipales, incidiendo negativamente en el mantenimiento y mejoramiento del alumbrado público y semáforos, así como, la expansión del servicio en áreas no cubiertas.

Habiendo transcurrido un período prudencial desde que se hizo la indicada reducción temporal y que la facturación a cargo de la Municipalidad de Guatemala por alumbrado público se ha incrementado considerablemente; es necesario restituir el porcentaje de la tasa por dicho concepto, con el fin de cumplir no sólo con los compromisos de la prestación del servicio sino con las inversiones necesarias previstas en materia de iluminación.

La tasa municipal de alumbrado público de las vías públicas del municipio de Guatemala, debe ser satisfecha mensualmente por los consumidores de energía eléctrica del distrito municipal en 13 % sobre el valor total del consumo facturado mensualmente, entendiéndose por consumo lo realmente consumido en kilowatts/hora/mes y kilowatts y será pagado al momento de cancelar el servicio de electricidad, más los ajustes que aplique la empresa eléctrica de Guatemala, S.A., comercializadora eléctrica de Guatemala, S.A., cuyo giro ordinario de sus actividades comerciales sea la generación, distribución de energía y potencia eléctrica en cualquiera de sus presentaciones: domiciliar, comercial o industrial a uno o más consumidores finales.

En mayo del 2011, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), a petición de la Municipalidad de Guatemala, autorizó que se incrementará la tasa municipal por consumo de alumbrado público de 10 % a 13 %, lo que equivale a un aumento del 30 %. Dicho incremento cobró vigencia el 1 de junio del 2011. A raíz de esta decisión, 10 municipalidades más han solicitado a la CNEE que también les sea autorizada un alza en la tasa municipal por consumo de alumbrado público hasta el 13 %, para incrementar sus ingresos, que han disminuido por los recortes en los aportes del Estado.

Las comunas que han solicitado a la CNEE esta autorización pertenecen a los municipios de Chinautla, Fraijanes, San Pedro Ayampuc, Chuarrancho y San Pedro Sacatepéquez, localizados en el departamento de Guatemala y a los municipios de Siquinalá, San Vicente Pacaya, Puerto San José, La Gomera y Masagua, ubicados en el departamento de Escuintla.

3.3. Consideraciones iniciales

Siendo la luz un elemento esencial de nuestra capacidad de ver y necesaria para apreciar la forma, el color y la perspectiva de los objetos que les rodean, principalmente en la noche cuando la misma se reduce en gran cantidad, se hace necesario poseer un sistema de alumbrado público que cumpla con ciertos aspectos del bienestar humano y dado que la vista es capaz de adaptarse a situaciones de iluminación deficiente, a veces no se consideran estos aspectos con la seriedad que se debería.

El correcto diseño de un sistema de iluminación debe ofrecer eficiencia y cuando se habla de eficiencia se refiere, entre otras cosas, al ahorro de energía.

Por lo expuesto anteriormente, un eficiente sistema de alumbrado público debe estar orientado a fomentar:

- La calidad de vida urbana.
- La protección hacia la biodiversidad.
- El ahorro energético.

Por lo tanto, se propone un nuevo sistema de alumbrado público que atienda los siguientes aspectos:

- Iluminación adecuada.
- Distribución uniforme del flujo luminoso.
- Reducción del flujo luminoso del 50 % a partir de determinadas horas de la noche en que la actividad decrece, mediante la utilización de dispositivos de doble nivel de potencia en los circuitos, permaneciéndose los mismos valores de uniformidad existente antes de la reducción.
- Armonía en la estética.

3.4. Consideraciones generales

Para alcanzar una iluminación pública eficiente, deben adoptarse las siguientes medidas técnicas:

- Emplear luminarias de alto rendimiento.

- Alimentar las lámparas con equipos auxiliares de bajas pérdidas estas permiten lograr el alumbrado de calles, avenidas y autopistas que demandan los criterios de seguridad vial con menor consumo energético.

Sin embargo, los requerimientos del nivel de iluminación pueden ser variables durante las horas nocturnas. Por ejemplo, una autopista con alta densidad de tránsito en las primeras horas de la noche, requiere un nivel de iluminancia superior durante ese período que durante las horas posteriores. En este caso y teniendo en cuenta que no se debe perjudicar el nivel de seguridad, se puede instalar un equipo que ahorre energía mediante la disminución de la potencia de las lámparas. Para que este proyecto pueda realizarse adoptando los criterios del alumbrado eficiente deberán respetarse las siguientes premisas:

- Mantener la relación de uniformidad del alumbrado.
- Mantener el nivel de alumbrado en los cruces e intercambiadores de tránsito.
- Alcanzar el nivel de luminancia e iluminancia que brinde seguridad a los conductores, a los peatones y permita la prevención de actos de vandalismo, especialmente en áreas pobladas.
- Los equipos a utilizar no deberán perjudicar la vida útil de la lámpara ni de los equipos auxiliares asociados.

3.5. Requisitos del sistema

Los equipos para ahorro de energía deben diseñarse respetando las premisas expuestas anteriormente. Para ello, es necesario tener en cuenta:

- Las lámparas de sodio de alta presión aceptan como máximo, sin degradar su vida útil, una reducción de potencia del 50 %. Esto se debe a que una reducción del 40 % de la potencia produce una caída del 50% del flujo luminoso, pues la reducción de la potencia disminuye la temperatura del arco perdiendo eficiencia.
- El arranque de la lámpara debe producirse en el modo de funcionamiento normal, no en el de potencia reducida. Si no se hiciera así, se pueden dañar las lámparas acortando su vida útil.
- La reducción de potencia debe realizarse de manera tal que no se produzca el apagado de la lámpara.
- Ante una eventual caída de tensión o microcorte en la línea de alimentación, el equipo debe permitir la correcta operación del ignitor para producir el encendido de las lámparas.
- El costo del equipamiento para obtener el ahorro energético debe permitir alcanzar la amortización de la inversión en un lapso que justifique la misma.

3.6. Sistemas utilizados

Básicamente existen dos sistemas: central e individual con caída del 50 % del flujo luminoso, pues la reducción de la potencia disminuye la temperatura del arco perdiendo eficiencia.

3.6.1. Sistema central

En este sistema un equipo colocado en la cabecera de la línea controla la tensión nominal (220 Volts) de alimentación de todas las columnas de alumbrado. Al conectarse el sistema, el equipo entrega tensión a la línea de iluminación permitiendo el encendido a pleno de las lámparas. Transcurridas las horas de máximo nivel de tránsito, el equipo, mediante una programación horaria o una señal externa, reduce la tensión de la línea disminuyendo la potencia de las lámparas con el consiguiente ahorro de energía. Los fabricantes de lámparas Osram y Philips no aconsejan el uso de equipos centrales porque disminuyen la vida de las lámparas y las coloca fuera de garantía.

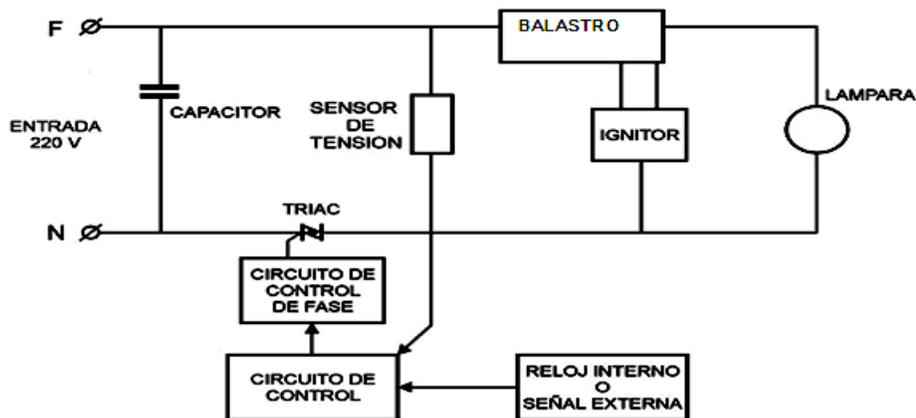
3.6.2. Sistema individual

Este sistema coloca en cada lámpara un equipo que, mediante un reloj electrónico interno o una señal externa, varía la tensión de alimentación o la corriente de lámpara reduciendo la potencia.

Los sistemas individuales pueden operar bajo alguno de los siguientes principios:

- Una llave electrónica (triac) varía la tensión de alimentación del conjunto balastro-lámpara mediante el control del ángulo de fase. Un reloj electrónico interno o una señal externa realiza el control recortando la tensión de alimentación del conjunto, variando de esa manera la tensión eficaz de entrada.

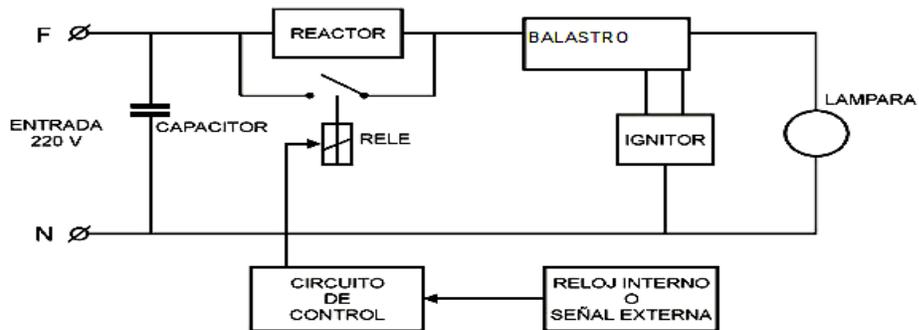
Figura 27. Sistema individual



Fuente: <http://www.wamco.com.ar/tecnica.php>. [Consulta: noviembre de 2012].

- Un reactor adicional es intercalado en serie con el balastro. Un reloj electrónico interno o una señal externa comanda un relé que conecta el reactor adicional aumentando la impedancia del circuito y de esta manera disminuye la corriente que circula por la lámpara.

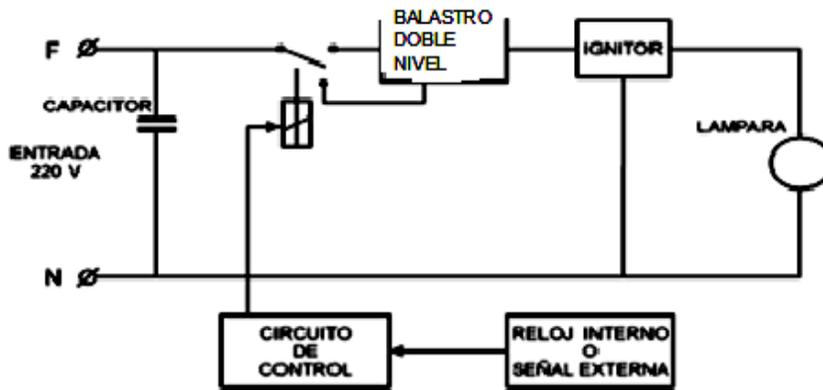
Figura 28. Sistema individual con un reactor adicional



Fuente: <http://www.wamco.com.ar/tecnica.php>. [Consulta: noviembre de 2012].

- Un balastro con un devanado adicional. El circuito electrónico del equipo posee un relé programado para conectar al inicio del alumbrado la menor impedancia del balastro. Luego de las horas prefijadas o de una señal externa el relé conmuta a la salida del balastro que posee mayor impedancia disminuyendo la corriente de lámpara con el consiguiente ahorro de energía.

Figura 29. Sistema individual con un devanado adicional



Fuente: <http://www.wamco.com.ar/tecnica.php>. [Consulta: noviembre de 2012].

3.7. Costos iniciales

Los costos iniciales del balastro dependen del costo en sí de los balastros a instalar dentro del proyecto a realizar. La opción de equipos es un porcentaje más caro, ver la figura 30.

3.7.1. Costos de instalación

La opción de equipos de doble nivel de potencia es algo mayor (aproximadamente 10 %) considerando el costo de instalación de la línea de mando. Si se instalara un sistema de conmutación temporizado, los costos de la instalación serían los mismos. Si se instalara un sistema de conmutación temporizado, los costos de la instalación serían los mismos.

3.7.2. Costo inicial lámparas

Debido a que cada una tiene una clasificación, y su tipo de construcción es diferente, el costo cambia haciendo que sea alto o bajo, además, se debe contar con otros factores como los siguientes:

3.7.3. Energía consumida

La opción de equipos doble nivel de potencia representa de un 20 % a un 25 % de ahorro, esto depende del funcionamiento adecuado de cada uno de los dispositivos.

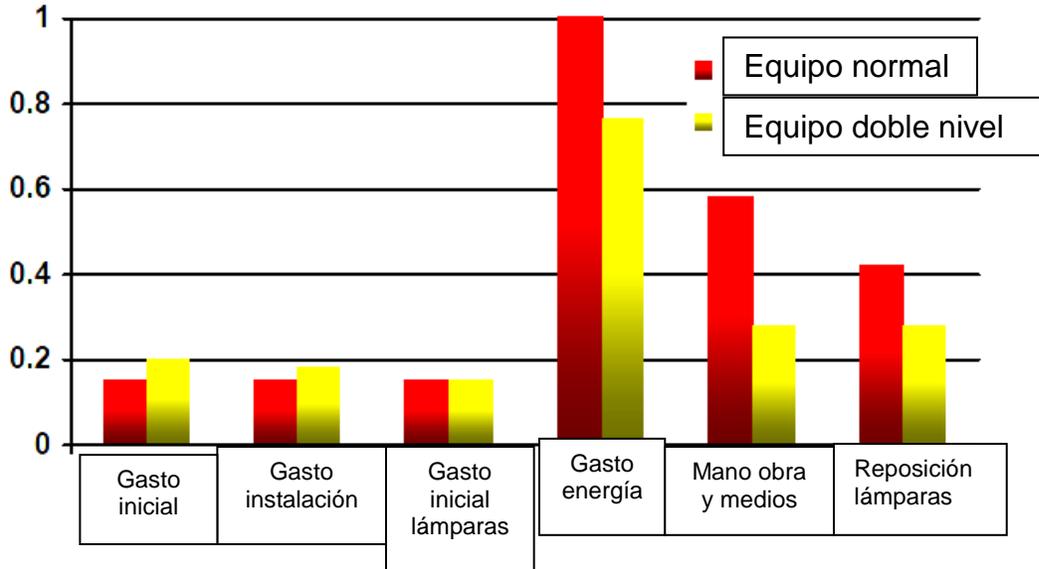
3.7.4. Gastos de mano de obra y medios

La opción de equipos doble nivel de potencia representa un 50 % de ahorro como se puede observar en la figura 30, la cual da un detalle específico en cuanto a la economía de la lámpara al momento de elegirlos.

3.7.5. Gastos de reposición de lámparas

La opción de equipos doble nivel de potencia representa un 33 % de ahorro como se puede observar en la figura 30, comparándolos con otro tipo de equipo.

Figura 30. **Comparación de gastos de Balastos convencionales
Con los balastos de doble potencia**



Fuente: ITALOVA. Guía de implementación para ahorro de energía. p. 25.

3.8. Evaluación del consumo energético

En toda área se emplea energía, por lo que es necesario identificar áreas con mayor uso intensivo de ella. Es decir, se debe efectuar una Evaluación Energética con el fin de estimar estándares de consumo por áreas.

Para una Evaluación Energética eficaz es conveniente diferenciar con claridad las diversas áreas, sistemas de servicio o tecnologías, con el fin de iniciar el proceso de registro de datos energéticos.

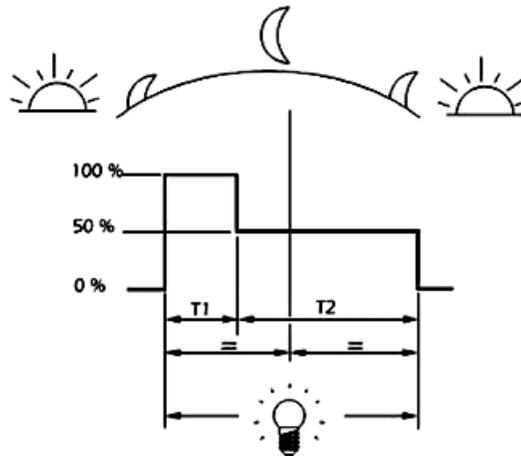
3.8.1. Cómo opera el sistema

En la mayoría de las aplicaciones no es necesario hacer un gran esfuerzo para conseguir un consumo más bajo de energía. Este IPM (Intelligent Power Management) trabaja en función de una secuencia temporal establecida igual a la referencia de más y menos tiempo del horario programado.

Para una comprensión más sencilla véase la figura 31 que registra el promedio del tiempo de encendido de los últimos 4 días. De acuerdo con esto, los tiempos establecidos T1 y T2 están dando 2 puntos de referencia. En el primero el ECG (equipo electrónico) cambia desde el 100 % hasta el 50 % y en el segundo se mantiene en el 50 % hasta la desconexión del equipo. Hay una diferencia posible de verano e invierno.

Cuando el tiempo de encendido sea mayor de 11 h 30' es tiempo de invierno y al contrario, cuando el tiempo de encendido es menor de 11 h 30' es tiempo de verano. Por tanto, puede ser utilizada una programación única para cada vez, opción invierno: a las 4 horas 30 minutos de funcionamiento, el equipo entra en el segundo nivel (potencia reducida), opción verano: a las 3 horas 30 minutos de funcionamiento, el equipo entra en el segundo nivel (potencia reducida).

Figura 31. **Promedio de tiempo de encendido**



Fuente: RAT. Eficiencia energética para alumbrado público. p. 2.

3.8.2. Modelos de balastos electrónicos

- SOH 70 IPM (Posibilidad de programar en un segundo nivel sólo bajo pedido).
- SOH 100 IPM
- SOH 150 IPM
- SOH 250 IPM
- DOBLE NIVEL- Versión Z- con sujeción a la tracción

3.8.3. Empresas surtidoras de equipos electrónicos para lámparas de sodio alta presión

Para la adaptabilidad de estos nuevos sistemas de reducción de potencia se puede consultar al distribuidor. Por ejemplo, si se puede incorporar la reducción de potencia por programa, el equipo deberá estar dotado de un sistema electrónico que cambia los tiempos de trabajo. El cliente necesita decidir los tiempos de conmutación y los balastos cambiarán de acuerdo con los tiempos seleccionados.

Los tiempos establecidos T1 y T2 están dando 2 puntos de conmutación. En el primero el ECG (Equipo electrónico) cambia desde el 100 % hasta el 50 % y en el segundo vuelve al 100 % hasta la desconexión del equipo. El cliente necesita especificar 4 puntos de conmutación o sólo 2 para todo el año. Esto tendría sentido para áreas cercanas al ecuador donde la diferencia temporal no es tan grande.

Tabla III. **Empresas surtidoras de balastos electrónicos**

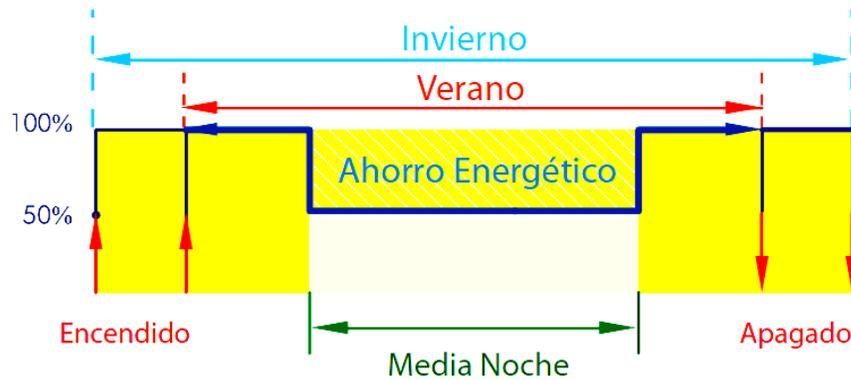
Brand	Model	SOH50	SOH70	SOH100	SOH150	SOH250	
	Lamp type	(Z)	(Z)	(Z)	(Z)	(Z)	
Philips	MASTER SON-T PIA PLUS	✓	✓	✓	✓	✓	
	SON-T PLUS	✓	✓	✓	✓		
	SON-T PRO		✓		✓		
OSRAM	NAV-T SUPER 4Y	✓	✓	✓	✓	✓	
	NAV-T SUPER	✓	✓	✓	✓		
	NAV-T 4Y		✓		✓		
VIALLOX	NAV-T		✓		✓	✓	
	NAV-E SUPER 4Y			✓	✓		
	NAV-E SUPER	✓	✓	✓	✓		
	NAV-E 4Y	✓	✓		✓		
SYLVANIA	SHP-TS	✓	✓	✓	✓		
	SHP-S	✓	✓	✓	✓		
GE	LUCALOX® T		✓	✓	✓	✓	
LUCALOX	LUCALOX® D	✓	✓				
	LUCALOX® XO	✓	✓	✓			
IWASAKI	EYE SUNLUX					✓	

Fuente: RAT. Eficiencia energética para alumbrado público. p. 3.

3.8.4. Manejo del horario de regulación sin comunicación externa

Con la tecnología IPM y sin usar un temporizador o pulsador manual, el dispositivo inteligente mantiene la regulación predeterminada en los intervalos de tiempo diferentes en respuesta a la estación de verano o invierno, ver figura 32.

Figura 32. Manejo de horario para ahorro de energía



Fuente: RAT. Eficiencia energética para alumbrado público. p. 3.

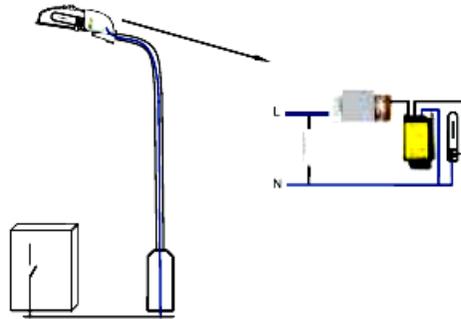
3.8.5. Reducción de los gastos de mantenimiento e instalación

Una unidad, elimina el condensador, el arrancador (ignitor) y el interruptor de potencia asociados a los balastos magnéticos, ampliando el tiempo de vida de la lámpara y reduciendo los costes de mantenimiento de los componentes.

Balastro magnético convencional

- Sistema complicado de componentes
- Más consumo de energía, más emisiones de CO₂
- Más gastos de mantenimiento

Figura 33. **Conexión de balastro convencional**

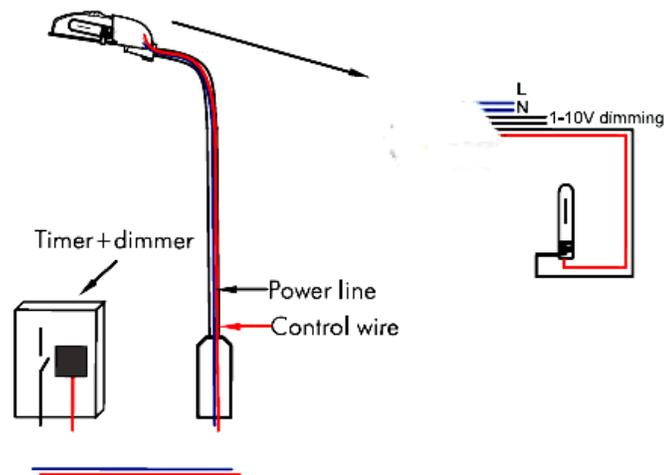


Fuente: RAT. Eficiencia energética para el alumbrado público. p. 4.

Balastro electrónico regulable de bajo voltaje

- Instalación simple
- Menores costes de instalación
- Conexión extra de cable de control
- Más mantenimiento costes de instalación

Figura 34. **Conexión de balastro electrónico**



Fuente: RAT. Eficiencia energética para el alumbrado público. p. 4.

3.8.6. **Potencia consumida por el balastro electrónico**

Depende fundamentalmente del proyecto, de la eficiencia de los componentes y de la potencia de la lámpara elegida. La energía que resulta del consumo diario, debe ser abonada durante años y ella impactará fuertemente en el presupuesto de todos los períodos de la gestión municipal. Este aspecto del gasto en el alumbrado público es el de mayor importancia y por lo tanto, debe ser considerado como tal. Como se analizó, el gasto en el consumo eléctrico es el más importante para considerar en el presupuesto del alumbrado (56 %). Todos los ahorros que se puedan lograr en el consumo eléctrico, impactarán fuertemente en la disminución de las partidas asignadas al alumbrado y se podrán destinar a otros rubros de la gestión municipal.

En comparación con los balastos magnéticos, el balastro electrónico puede reducir las facturas de la electricidad en un 27 % y la regulación en un doble nivel puede incrementar el ahorro de energía al 46 % anualmente.

Tabla IV. **Comparación de consumo de potencia en la utilización de diferentes balastos**

Lámparas Sodio Alta Presión Período de Tbjó Lámpara: 12 Horas	50W	70W	100W	150W	250W
	POTENCIA CONSUMO (KW/Año)- Valores aprox.				
<u>Balasto convencional No Regulable</u> PF: 0.8 Eficiencia: 0.8	312	432	614	920	1490
<u>Balasto Electrónico No Regulable- 1 NIVEL</u> PF: 0.98 Eficiencia: 0.9	233	330	466	695	1152
<u>Balasto Electrónico Regulable DOBLE NIVEL</u> 100% período: 6H. 50% período: 6H.	170	249	350	519	862

Fuente: RAT. Eficiencia energética para el alumbrado público. p. 5.

3.8.7. Horas de uso

El ahorro de energía estará dado por la diferencia del costo entre la energía consumida durante toda la noche a plena potencia y la energía consumida durante el mismo período pero con el equipo disminuyendo el nivel de potencia luego de las primeras 5 horas. Se consideran 11 horas diarias de funcionamiento total del alumbrado el control de regulación de nivel proporciona flexibilidad en la aplicación, maximiza el ahorro de energía y también, rentabiliza la inversión más rápidamente (ver figura 35).

Figura 35. **Ahorro de energía con la nueva tecnología en alumbrado público**



Fuente: RAT. Eficiencia energética para el alumbrado público. p. 6.

3.8.8. Consumo energético de lámparas instaladas en alumbrado público

Para encarar un proyecto de estas características hay que prestar especial atención a cada uno de los componentes del sistema, procurando de ser posible, que los mismos sean de la máxima eficiencia para que en conjunto representen un ahorro sustancial: lámparas de alta eficiencia, luminarias de alto rendimiento y equipos auxiliares de alta eficiencia.

Respecto a los dos primeros puntos, se han producido avances en los últimos años, siendo las lámparas de sodio alta presión alto rendimiento las adecuadas en el momento de la elección de un sistema orientado al ahorro energético. Estas alcanzan 130 Lumen / Watt con un promedio de vida útil entre 24 000 horas y 32 000 horas.

Un alto rendimiento de las luminarias, como la elección de las ópticas adecuadas para cada aplicación, permitirá elegir la menor potencia de lámpara posible obteniendo el nivel de luminancia que se requiera en cada caso.

No menos importantes son las cuestiones referentes al mantenimiento de los equipos: el reemplazo en el momento adecuado de las lámparas evita tanto que los niveles de iluminancia se reduzcan por acercamiento al límite de supervivencia, como la destrucción de los equipos auxiliares por el continuo encendido y apagado de las lámparas. La limpieza de las ópticas de las luminarias en períodos regulares también contribuye fuertemente al mantenimiento de los parámetros adecuados.

Desde el punto de vista de los equipos auxiliares, hay varias formas de lograr ahorros sustanciales de energía basados en los adelantos tecnológicos actuales. También hay que tener en cuenta los criterios básicos de diseño de los mismos, como las pérdidas de potencia de los balastos producidas tanto en el cobre como en el hierro. Estas pérdidas se reducen utilizando alambre de cobre con bajos índices resistivos [Ohm / metro] y laminación con aleación de hierro – silicio menores a los 2 Watt / kilogramo.

3.9. Valoración de la inversión

Para asegurar una larga vida útil es necesario comprar elementos de alta calidad, que además, serán la base de un bajo mantenimiento permitiendo un importante ahorro de dinero.

Si se toma en cuenta un sistema con lámpara de vapor de sodio alta presión de 250 Watt y se consideran los costos iniciales y operativos en el alumbrado público, la participación del equipo auxiliar respecto de la luminaria completa es del 6 % a 7 % y respecto del costo operativo a lo largo del período de vida del sistema (10 años) el 0,8 % a 0,9 % (incluyendo amortización, mantenimiento y gasto de energía). Es decir, que un buen equipo auxiliar participa con menos del 1 % en el costo operativo del período considerado.

Estos cálculos realizados por los entes oficiales, parten del supuesto que la luminaria y el equipo auxiliar se amortizarán en un periodo no menor a 10 años. Además, se consideran los costos del reemplazo de la lámpara al final de su vida útil o lámpara agotada. Si los materiales clave como el equipo auxiliar, lámparas y luminarias, se compran al menor precio inicial, el costo operativo puede ser muy alto, como consecuencia del recambio antes del período de amortización.

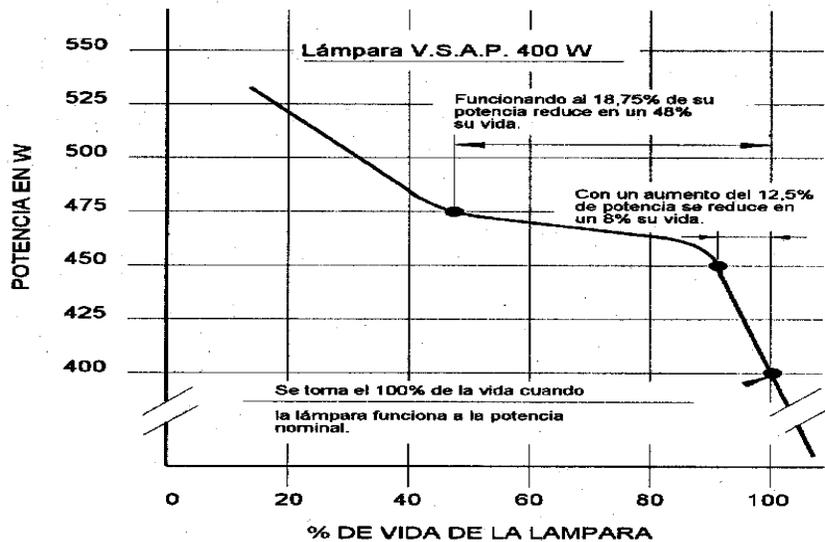
La luminaria y equipo auxiliar deben amortizarse en no menos de 10 años. Antes de comprar se debe analizar qué condiciones técnicas deben reunir los equipos para funcionar durante 10 años, recordando que su costo inicial (6 % a 7 %) representa, en estas condiciones, menos del 1 % del costo operativo. Si a esto se adiciona que la diferencia entre comprar un equipo de calidad y otro sin ningún tipo de garantía ni trayectoria es del 5 % al 10 %, la decisión es indiscutible frente al costo operativo total. La calidad ahorra recursos.

3.10. La eficiencia energética en iluminación pública con balastos electrónicos

Es indudable, que la aportación de los equipos descritos anteriormente, los balastos electromagnéticos y estabilizadores en el campo del ahorro energético ha sido importante. Ambos tienen no obstante limitaciones, por dos conceptos básicos: la baja eficiencia o rendimiento energético de los equipos, y otros problemas derivados que afectan a la funcionalidad u operatividad. Como se dice, está bien tratar de obtener una economía, adaptando los niveles de iluminación a las necesidades viales, pero no se puede obviar que en los equipos auxiliares necesarios para el funcionamiento de las lámparas de descarga se generan pérdidas evaluadas entre el 14 % y el 20 % solamente en los balastos electromagnéticos.

Haciendo una ponderación estimativa en función del tipo de alumbrado, potencia utilizada y componentes del equipo asociado, el consumo real de potencia en la red se incrementa entre un 9,3 % y un 27,5 %. Sobre la potencia nominal de la lámpara (figura 36).

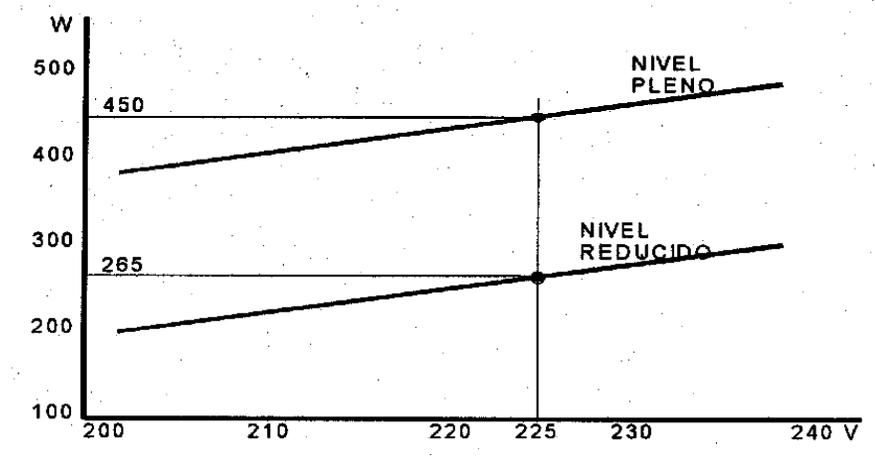
Figura 36. Consumo de potencia de una lámpara V.S.A.P. 400 Watt



Fuente: Energía, optimización de la eficiencia energética en iluminación. p. 9.

En el caso de los balastos de doble nivel, es necesario considerar, además, la influencia de las variaciones de la tensión sobre la potencia en la lámpara y como consecuencia en las pérdidas adicionales y reducción de la vida útil. En general sobretensiones del 10 % en red dan lugar a sobrepotencias del 30 % en las lámparas de descarga. Como ilustración se muestran las figuras 37 y 38.

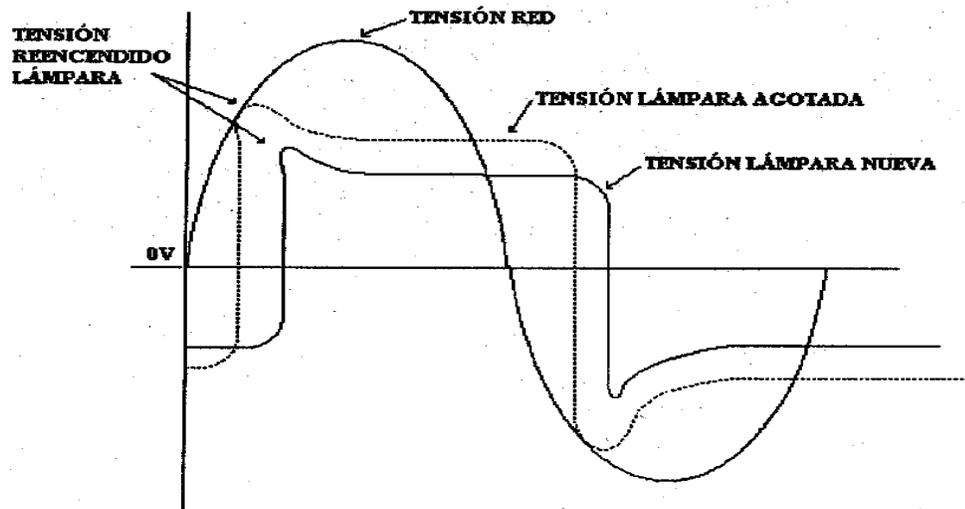
Figura 37. Variación de potencia respecto al voltaje



Fuente: Energía, optimización de la eficiencia energética en iluminación. p. 8.

Las lámparas a lo largo de su vida útil, sufren un envejecimiento natural, que se manifiesta en incrementos de la tensión de arco, a la vez que una disminución del desfase entre la tensión de arco y la tensión de red (figura 38).

Figura 38. Reducción de vida de la lámpara



Fuente: Energía, optimización de la eficiencia energética en iluminación. p. 38.

Cuando la tensión de reencendido, iguala o supera el valor instantáneo correspondiente en la tensión de red, se produce la extinción del arco, habiéndose alcanzado el final de la vida útil o estado de lámpara agotada.

Los reguladores de línea, basan su función como reductores de flujo y potencia en la reducción de la tensión de red. Puede decirse pues, que las dos acciones, el aumento de la tensión de arco como consecuencia del envejecimiento natural por funcionamiento y la disminución de la tensión de red por actuación del propio reductor, suman sus efectos respecto a alcanzar la igualdad entre los valores de reencendido y valor instantáneo de la tensión de red o dicho de otra forma el punto de extinción de arco o final de vida útil de la lámpara. Este efecto se acentúa, sobre aquellas lámparas más alejadas del equipo reductor, como consecuencia de las caídas de tensión a lo largo de los conductores de la instalación de alumbrado.

Lamentablemente, en la práctica, aquel ahorro del 40 % pretendido durante las horas de reducción, queda disminuido, ya que, se hará necesaria una reposición de lámparas más frecuente, lo que supone sobrecostos en la explotación del alumbrado.

3.11. Pérdidas propias, alta frecuencia y potencia consumida

En todas las condiciones de funcionamiento, (máxima potencia y nivel reducido) las pérdidas propias del balastro, no superan el 4 % o 5 % de la potencia eléctrica consumida por la lámpara.

Por trabajar la lámpara en alta frecuencia, mejora el rendimiento lumínico, es decir, la relación lúmenes/vatio, respecto al que esa misma lámpara daría alimentada a través de un balastro electromagnético estándar, a su tensión nominal y a una frecuencia de red de 50 Hertz o 60 Hertz.

Todo esto hace posible que la lámpara controlada por el balastro, consume de la red una potencia equivalente a su potencia nominal para dar el mismo o incluso más flujo que con equipo estándar ahorrando todas las pérdidas de estos últimos.

Ejemplo:

Suponiendo una instalación de alumbrado compuesta por 60 puntos de luz con lámparas de vapor de sodio alta presión de 100 W. Y para una red de tensión nominal 220 Volts 60 Hertz.

Con un equipo estándar el consumo de potencia de cada punto de luz sería de 116 Watts. Y por tanto el consumo de esta instalación sería:

$$60 \times 116 = 6\,960 \text{ Watts}$$

Para el mismo flujo, con el balastro:

$$60 \times 100 = 6\,000 \text{ Watt}$$

Diferencia o ahorro energético:

960 Watt

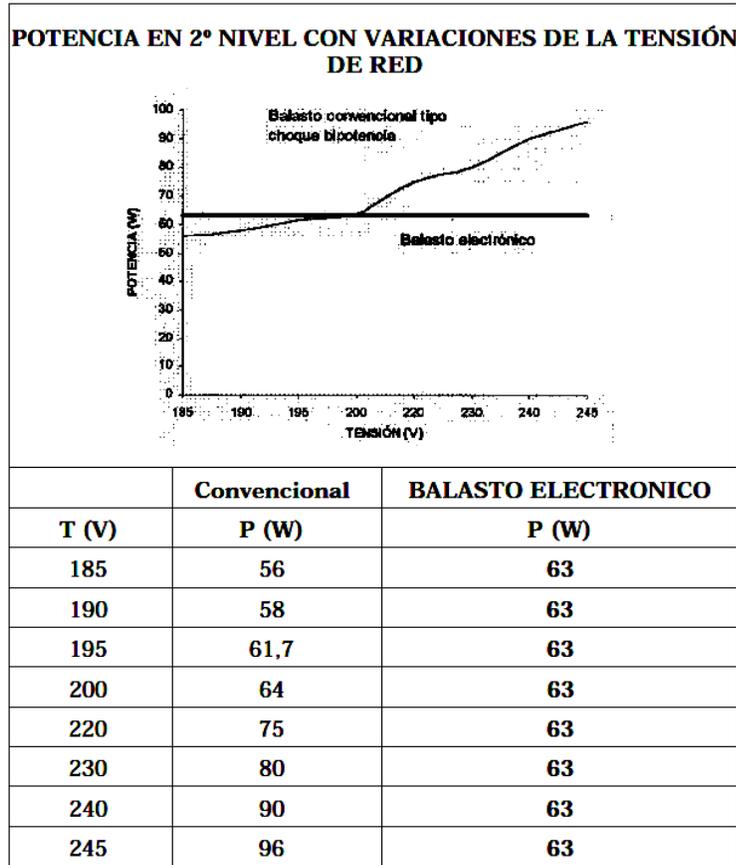
3.12. Estabilización de la potencia frente a variaciones de la tensión de red

El balastro electrónico mantiene estable, con precisión de 1 Watts, el consumo de red de una lámpara determinada, frente a variaciones de la tensión comprendidas entre 180 Volts y 250 Volts. En el caso de sobretensiones y comparándolo con equipos convencionales, incluso con los balastos electromagnéticos, la estabilización de potencia proporcionaría un ahorro adicional de hasta un 30 %, en función de la magnitud de dicha sobretensión. Suponiendo sentencias, en cualquier punto de la línea se aseguraría tanto el arranque como el funcionamiento estable de las lámparas. Por importante, conviene aclarar que la estabilización de potencia frente a variaciones de la tensión de red, se produce de igual forma en cualquiera de los estados de funcionamiento: máxima potencia o potencia reducida.

3.13. Pruebas de sobreintensidades durante el proceso de arranque de las lámparas

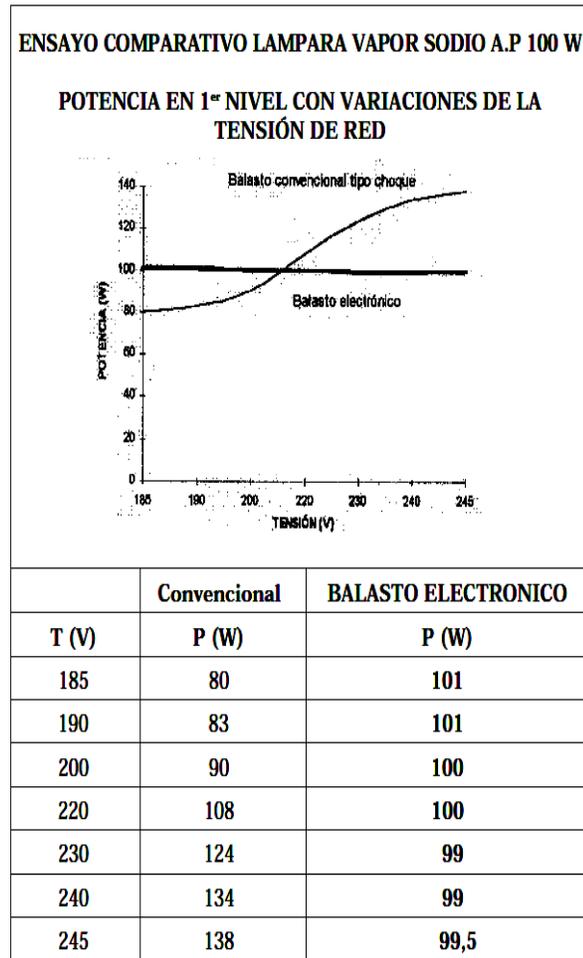
Se presentan en forma de gráficos y tablas de valores (figura 39 y 40) los resultados de un ensayo real sobre una misma lámpara de vapor de sodio de alta presión con el balastro electrónico y con un balastro convencional.

Figura 39. **Ensayo comparativo lámpara de vapor de sodio de alta presión de 100 Watts**



Fuente: Energía, optimización de la eficiencia energética en iluminación. p. 10.

Figura 40. **Potencia segundo nivel con variaciones de la tensión de red**



Fuente: Energía, optimización de la eficiencia energética en iluminación. p. 12.

La lámpara, en el momento de ensayo tenía un envejecimiento previo de 350 horas de funcionamiento y una potencia nominal de 100 Watts. El balastro fue elegido entre varios de una misma serie de fabricación, de forma que su impedancia o relación tensión corriente correspondiera a la nominal para esta potencia, con lo que a efectos de esta prueba pudiera considerarse como balastro patrón.

Durante el proceso de arranque y hasta que las lámparas alcanzan la estabilidad térmica y de parámetros eléctricos y lumínicos, se producen sobreintensidades en la red, hasta valores que pueden alcanzar 2 veces la intensidad nominal.

Tabla V. **Valor que toma la intensidad en el momento de la conexión respecto a la intensidad de régimen**

Valor que toma la intensidad en el momento de la conexión respecto a la intensidad de régimen		
Tipos de lámpara	Tiempo de encendido para alcanzar el régimen	I conexión / In de régimen
Incandescencia	Instantáneo	1,0
Fluorescentes compactos	1 segundo	2,0
Halogenuros Metálicos	2 minutos	1,3
Lámparas V.M.	4-5 minutos	1,6
Lámparas V.S.A.P.	6-7 minutos	1,2
Lámparas V.S.B.P.	7-12 minutos	0,95

Fuente: Energía, optimización de la eficiencia energética en iluminación. p. 12.

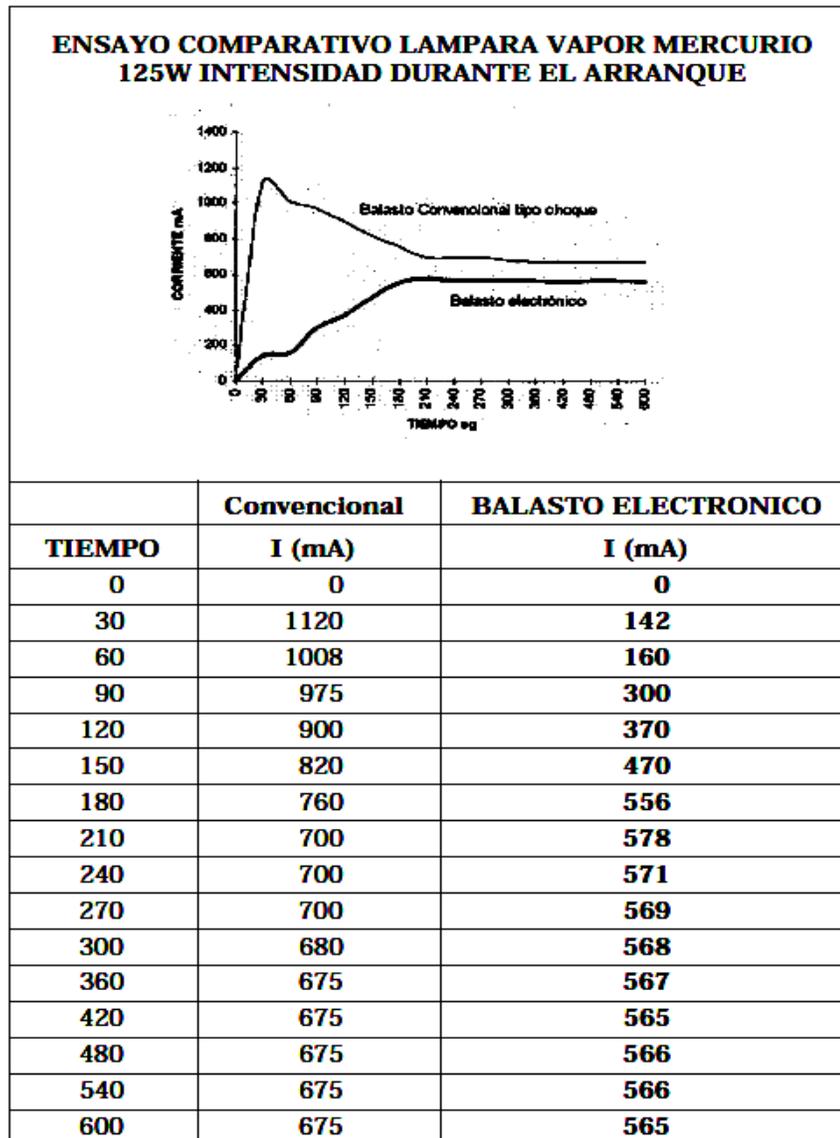
Para cumplir con la reglamentación aplicable en algunos países, sobre las instalaciones de alumbrado público y minimizar las pérdidas adicionales en la línea por caída de tensión y por causa de las sobreintensidades a las que se hace referencia en el párrafo anterior, es recomendable u obligatorio aplicar un coeficiente de simultaneidad de 1,8 en el cálculo de las secciones de los conductores en dichas instalaciones.

En algunos casos, en función del tipo de contratación con las compañías de distribución de energía eléctrica, la sobreintensidad en el arranque obliga a una contratación superior a la nominal con la consecuencia de sobrecostos a lo largo de la explotación, por el concepto del costo fijo del término de potencia.

Estos problemas, de dimensionada contratación, podrían eliminarse con la utilización del balastro, ya que, la intensidad durante el proceso de arranque nunca sobrepasa el valor nominal después de la estabilización.

En la figura 41, se muestran los resultados comparativos de un ensayo real referente a la evolución de la corriente en el arranque, sobre una misma lámpara 125 Watts, de vapor de mercurio, con equipo convencional y el balastro.

Figura 41. Ensayo comparativo de la lámpara de vapor mercurio



Fuente: Energía, optimización de la eficiencia energética en iluminación. p. 14.

3.14. Sistema de protección para el balastro

El balastro electrónico debe incorporar entre otras de sus funciones protecciones que conviene mencionar. Para evitar daños a la cual eleva el costo de las lámparas o cambios permanente de esta.

3.14.1. Contra circuito abierto

En el caso de que la lámpara esté desconectada o desactivada se desactiva tanto la tensión de alimentación a la lámpara como la generación de impulsos de arrancador.

3.14.2. Contra cortocircuitos

Accidentales del lado de la lámpara incluso si estos quedasen de forma permanente. Una corriente alta provoca un golpe brusco al balastro lo cual puede cambiar la estructura física y química de la misma y como consecuencia un mal funcionamiento.

3.14.3. Paso a segundo nivel o potencia reducida

Se realiza de forma automática a partir de un tiempo prefijado después de la conexión del alumbrado de forma autónoma, sin necesidad de línea de mando auxiliar o cualquier otro dispositivo para la temporización.

Normalmente, este tiempo está prefijado en 5 horas 40 minutos, de forma que considerando que las horas de servicio de un alumbrado público anuales son aproximadamente 4277 horas el 50 % de estas corresponderían al nivel máximo o de plena potencia y el otro 50 % al nivel de potencia reducido.

3.15. Análisis del consumo de energía eléctrica del alumbrado público en Guatemala con balastos electrónicos

Se analizará la factibilidad técnico-económica del reemplazo de balastos electromagnéticos por los de tipos electrónicos, basados en el ahorro de energía, potencia del balastro y en la posibilidad de modular la potencia entregada a las lámparas en horarios convenientes. Este estudio se basa en el reemplazo y descarte del balastro electromagnético. No se ha considerado el posible valor de reventa del rezago, ni el costo de mano de obra de reemplazo, ni los costos de importación de los balastos electrónicos.

Los valores de rendimiento de los balastos electromagnéticos fueron los indicados en el estudio de pérdidas en los balastos de luminarias de alumbrado público, tabla III, que indica como fuente el catálogo luminarias Cooper. Los precios y características de los balastos electrónicos fueron obtenidos de la firma Energy Saver S.A. de Argentina.

Con base en los consumos de energía dados en los catálogos de los fabricantes de balastos para lámparas de sodio de alta presión se realizó un análisis de la diferencia en el consumo de potencia entre los balastos electromagnéticos y los electrónicos para tres tipos de lámparas: 100 Watts, 250 Watts y 400 Watts.

Tabla VI. **Pérdidas de un balastro electrónico**

Lámpara	Balastro electromagnético	Balastro Electrónico
W	Pérdidas (W)	Pérdidas (W)
100	30	5,0
250	35	12,5
400	42	20,0

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Calculando el consumo de energía anual para ambos tipos de balastros considerando tiempo de encendido de 12 horas diarias, a potencia nominal.

Tabla VII. **Comparación de consumo anual**

Lámpara	Con balastro electromagnético	Con balastro Electrónico
W	Consumo anual (kWh/año)	Consumo anual (kWh/año)
100	569	460
250	1 248	1 150
400	1 936	1 840

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

El ahorro de energía anual valorizado a 0,1US\$/kiloWattshora será

Tabla VIII. **Comparación de ahorro de energía anual**

Potencia Lámpara	Diferencia energía	Diferencia económica
W	kWh ahorrados/año	US\$ ahorrados/año
100	109	10,9
250	98	9,8
400	96	9,6

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

El tiempo de repago será

Tabla IX. **Repago**

Potencia lámpara	Costo del balastro	Repago
W	US\$/balastro	Años
100	48,50	4,4
250	60,80	6,2
400	71,10	7,4

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Ya que el balastro electrónico permite la utilización de potencia reducida en las lámparas con una programación temporal se consideró el caso de utilización de estos a plena potencia durante 6 horas y las otras 6 horas con una reducción del 40 %.

Tabla X. **Comparación de consumo entre balastro electromagnético y electrónico**

Potencia Lámpara	Con balastro electromagnético	Con balastro electrónico a potencia reducida 6 horas/día
W	kWh/año	kWh/año
100	569	368
250	1 248	920
400	1 936	1 472

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

El ahorro energético anual valorizado a 0,1 US\$/kiloWattshora resulta ser:

Tabla XI. **Ahorro energético anual**

Potencia lámpara	Diferencia consumo energía	Diferencia económica anual
W	kWh/año	US\$/año
100	201	20
250	328	33
400	464	46

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Lo que daría un tiempo de repago de los nuevos balastros de:

Tabla XII. **Repago de balastros electrónicos**

Potencia lámpara	Costo del balastro	Repago
W	US\$/balastro	Años
100	48,50	2,4
250	60,80	1,9
400	71,10	1,5

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

4. ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO PÚBLICO CON BALASTROS ELECTRÓNICOS

4.1. Objetivo

El objetivo del presente análisis es determinar el impacto de los nuevos balastos en términos de su contribución al espectro armónico como consecuencia del uso de tecnologías de electrónica de potencia utilizados en estos elementos.

Podrá conocerse el nivel de Distorsión Armónica Total THD porcentajes en los circuitos 89 y 151 de EEGSA, en las redes que parten de las subestaciones San Juan de Dios y Montecristo, así como, el impacto en algunos de los principales componentes de la red de baja tensión y la red de media tensión.

4.2. Aspectos metodológicos

Entre los aspectos metodológicos, de este estudio se parte de la clasificación de las líneas primarias por calibres de conductores definidos por el código de colores proporcionado, considerando las estimaciones de longitud conforme a la topología de la red según calibre y número de fases. Adicionalmente se considera un conjunto de transformadores de distribución para ambos circuitos mediante la elaboración de dibujos esquemáticos de los circuitos 89 y 151 con los elementos más relevantes.

Los modelos desarrollados permiten ejecutar flujos armónicos múltiples de 60 Hertz en el rango de frecuencias que han sido proporcionados mediante la información proporcionada por los analizadores de redes de EEGSA, con lo que se puede obtener una serie de parámetros tales como: el nivel de THD %, voltajes y corrientes múltiples de 60 Hertz.

Para la simulación de flujos de potencia y armónicos se emplea el *software* POWERFACTORY 14,0 DIGSILENT que utiliza las ecuaciones de potencia clásicas según el algoritmo Newton-Raphson para el análisis de flujos de potencia y armónicos de redes balanceadas y desbalanceadas. La fuente de información es tomada de la base de datos proporcionada por el AMM con valores actuales y la información proporcionada por EEGSA.

4.3. Datos fuente

Para el uso del programa de simulación de estudios eléctricos Powerfactory 14,0 / DIGSILENT, es necesario documentar una base de datos con información de entrada, de la cual se hace una descripción sucinta de los principales elementos.

4.3.1. Conductores de media tensión

Se dispone de un código de colores para los calibres de los conductores primarios, tanto para el circuito 89 como para el 151, tal como se muestra en tabla XIII:

Tabla XIII. **Conductores de media tensión**

	Mv	Color	Tipo	Calibre	S mm ²	RdcΩ/km20*	Rac Ω/km75*	D mm	Amp
1	Eagle		ACSR	556	347,81	0,1	0,123	24.206	800
2	Pinguin		ACSR	4/0	125,1	0,262	0,384	14,3	390
3	Linnnet		ACSR	336	198,19	0,167	0,203	18.288	570
4	Flicker		ACSR	477	273,03	0,118	0,144	21.488	710
5	Raven		ACSR	1/0	62,39	0,525	0,715	10.122	255
6	Sparrow		ACSR	2	39,23	0,833	1.109	8.016	195
7	Swan		ACSR	4	24,71	1.329	1.716	6.355	145

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

4.3.2. **Conductores de baja tensión**

Para la red de baja tensión, tanto para el circuito 89 como para el 151, se utilizan principalmente los conductores descritos en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla XIV. **Conductores de baja tensión**

LV	TIPO	CALIBRE	NOMBRE	Rdcohm/km 20 grados
1	WP	2	Peach	0,8742
2	WP	1/0	Quince	0,55

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

4.3.3. Transformadores

En el análisis del circuito 89 – San Juan de Dios, se consideran un conjunto de transformadores monofásicos en las siguientes capacidades y cantidades:

Tabla XV. **Transformadores monofásicos circuito 89**

CANTIDADES DE XF CKTO 89	
Capacidad	Cantidad
XF25kVA	134
XF50kVA	172

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Estos transformadores a su vez tienen cargas de baja tensión abastecidas por ramales secundarios que en promedio tienen un número de ramales asociados con una longitud promedio definida para cada una de las capacidades de los transformadores analizados, según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XVI. **Vanos promedios por transformador para el circuito 89**

Capacidad	Long_Sec(m)	Vanos:Sec
XF 25 kVa	200,66	6
XF 50 kVa	135,73	4

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Las cargas de baja tensión han sido modeladas a partir de datos de consumo (kilowatts / hora / mes) con lo que pueden inferirse valores de demanda coincidental por transformador en los análisis de flujos de potencia. Estos datos de partida se muestran a continuación:

Tabla XVII. **Consumo circuito 89 por transformador**

Capacidad	Usuarios	kwh	Lum	kwh	Mobiliario	kwh	kwh total
XF 25 kVa	43	32 051,86	4	2 160,00	0,13	43,52	34 255,38
XF 50 kVa	25	21 604,22	2	879,07	0,14	45,21	22 528,50

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

En el análisis del circuito 151 – Montecristo, se consideran un conjunto de transformadores monofásicos en las siguientes capacidades y cantidades:

Tabla XVIII. **Cantidad de transformadores para el circuito 151**

Capacidad	Cantidad
XF10kVA	479
XF25kVA	308
XF50kVA	217

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Estos transformadores a su vez tienen cargas de baja tensión abastecidas por ramales secundarios que en promedio tienen un número de ramales asociados con una longitud promedio definida para cada una de las capacidades de los transformadores analizados, según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XIX. **Vanos promedios por transformador para el circuito 151**

Capacidad	Long_Sec(m)	Vanos_Sec
XF 10 kVa	146,465553	4
XF 25 kVa	200,35	6
XF 50 kVa	115,97	6

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Las cargas de baja tensión han sido modeladas a partir de datos de consumo (Kilowatts/ hora / mes) con lo que pueden inferirse valores de demanda coincidental por transformador en los análisis de flujos de potencia. Estos datos de partida se muestran a continuación:

Tabla XX. **Consumo circuito 151 por transformador**

Capacidad	Usuarios	kwh	Lum	kwh	Mobiliario	kwh	kwh total
XF 10 kVa	6	381,004,384	1	26,605,428	0	0	407,609,812
XF 25 kVa	15	9,259,02	2	937,99	-	-	10 197,01
XF 50 kVa	9	7,847,95	2	1,010,32	-	-	8 858,27

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Adicionalmente se cuenta con las siguientes tablas XXI y XXII que a continuación muestra los datos de desempeño de los transformadores de distribución utilizados en las redes de los circuitos 89 y 151.

Tabla XXI. Datos de desempeño de transformador para el circuito 89

50kVA
Transformer Products

COOPER Power Systems

Electrical Test Report 541267

Customer Name: AMERICAN & CARIBBEAN INT'L COR	CPS Sales Order #: 0000652311
Customer PO: 0400746	Customer Req #:
Catalog #: KTG411076Y50G5	Type: POLE
Primary Voltage: 13200GY/7620	Customer Material #:
Secondary Voltage: 120/240	Nameplate KVA: 50.0
Taps: 105.00/102.50/100.00/97.50/95.00	Phase: 1
Class: ONAN	Cycles: 60 Hz
Note: No Load Loss data corrected to: 85.0 °C	Rise: 65
Load Loss data corrected to : 85.0 °C	Insulating Fluid: MINERAL OIL
No Load Loss data reported at : 100 %	

Serial Number	Sequence Number	Test Date	No Load Loss	Load Loss	Total Loss	%IEX	%IZ	%IX	%IR	%Reg @ 0.8	%Reg @ 1.0
CP0502048381		04/19/2005	115	319	434	0.31	1.28	1.09	0.64	1.17	0.65
CP0502048382		04/19/2005	113	342	455	0.30	1.30	1.10	0.69	1.21	0.70
CP0502048383		04/19/2005	111	314	425	0.30	1.27	1.10	0.63	1.17	0.64
CP0502048384		04/19/2005	114	319	433	0.28	1.25	1.07	0.64	1.16	0.65
CP0502048385		04/19/2005	110	329	439	0.28	1.28	1.10	0.66	1.19	0.67

Fuente:

http://www.cooperindustries.com/content/public/en/power_systems/products/transformers_and_components/singlephase_overhead/completely-self-protected-transformer.html [Consulta: febrero de 2013]

Tabla XXII. Datos de desempeño de transformador para el circuito 151

25kVA
Transformer Products

COOPER Power Systems

55-1267

Electrical Test Report

Customer Name: AMERICAN & CARIBBEAN INT'L COR
 Customer PO: 0400746
 Catalog #: KTG111076Y25G5
 Primary Voltage: 13200GY/7620
 Secondary Voltage: 120/240
 Taps: No Taps
 Class: ONAN

CPS Sales Order #: 0000652311
 Customer Req #:
 Type: POLE
 Customer Material #:
 Nameplate KVA: 25.0
 Phase: 1
 Cycles: 60 Hz
 Rise: 65
 Insulating Fluid: MINERAL OIL

Note: No Load Loss data corrected to: 85.0 °C
 Load Loss data corrected to : 85.0 °C
 No Load Loss data reported at : 100 %

Serial Number	Sequence Number	Test Date	No Load Loss	Load Loss	Total Loss	%IEX	%IZ	%IX	%IR	%Reg @ 0.8	%Reg @ 1.0
CP0502048202		03/31/2005	58	170	228	0.28	1.77	1.63	0.68	1.53	0.69
CP0502048204		03/31/2005	59	169	228	0.30	1.76	1.62	0.68	1.52	0.69
CP0502048205		03/31/2005	60	193	253	0.31	1.81	1.64	0.77	1.60	0.78
CP0502048206		04/05/2005	61	203	264	0.30	1.81	1.62	0.81	1.62	0.82
CP0502048207		04/05/2005	60	176	236	0.28	1.75	1.60	0.71	1.53	0.72

Fuente:

http://www.cooperindustries.com/content/public/en/power_systems/products/transformers_and_components/singlephase_overhead/completely-self-protected-transformer.html [Consulta: febrero 2012]

4.3.4. Fuentes de armónicos

El patrón del espectro armónico desbalanceado correspondiente a cada uno de los tipos de balastos, el Convencional (Conv) y el Electrónico (Elec), es conforme a las mediciones proporcionados por EEGSA y que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla XXIII. **Comparación de desbalance armónico para cada balastro**

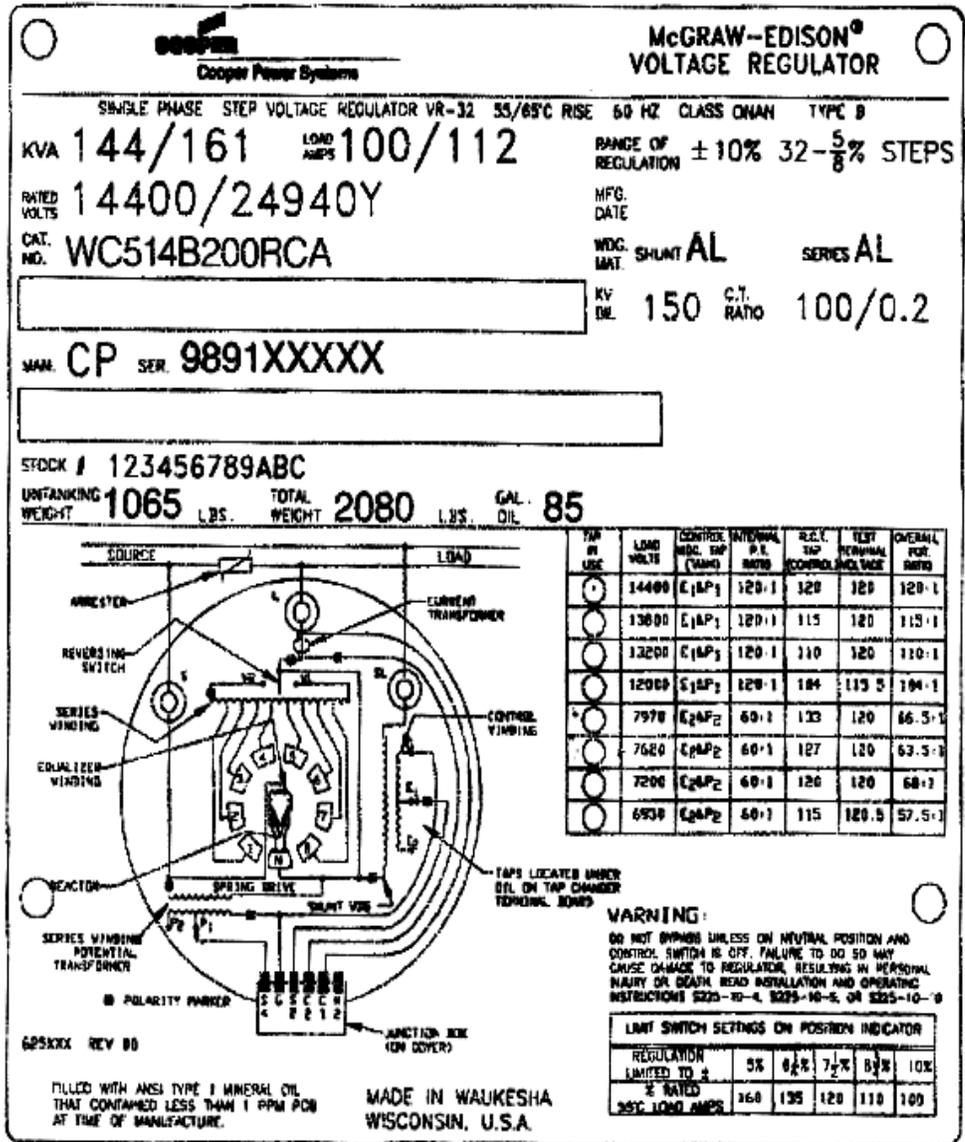
Armonico	f(Hz)	B100Conv	B150Conv	B250Conv	B100Conv	B150Conv	B250Conv
		la_h/la%	la_h/la%	la_h/la%	la_h/la%	la_h/la%	la_h/la%
2	120	5,63	4,61	6,98	5,26	6,56	4,61
3	180	12,48	3,17	17,83	7,25	7,53	3,17
4	240	4,80	4,61	4,64	4,21	4,81	4,61
5	300	53,66	3,19	40,29	6,47	6,53	3,19
6	360	4,20	3,43	3,88	4,29	4,87	3,43
7	420	6,26	2,38	5,44	6,32	5,85	2,38
8	480	3,53	2,41	4,66	3,67	3,63	2,41
9	540	3,74	2,30	5,42	4,40	4,07	2,30
10	600	3,41	4,00	5,42	3,88	3,95	4,00

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

4.3.5. Regulador

Los datos de placa del regulador de voltaje VR-32 han sido considerados en el análisis de flujos armónicos en la red de media tensión equivalente.

Figura 42. Regulador de voltaje VR-32



Fuente:

http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/powersystems/resources/library/225_VoltageRegulators/S2251010S.pdf [Consulta: febrero de 2012]

4.4. Modelos

Un modelo en este caso es una forma de observar un objeto en una perspectiva diferente tal es el caso de sus propiedades, creando un sistema, para ello se usa ecuaciones matemáticas y físicas que crearan una ecuación que definirá su comportamiento en cualquier condiciones a la cual será sometido.

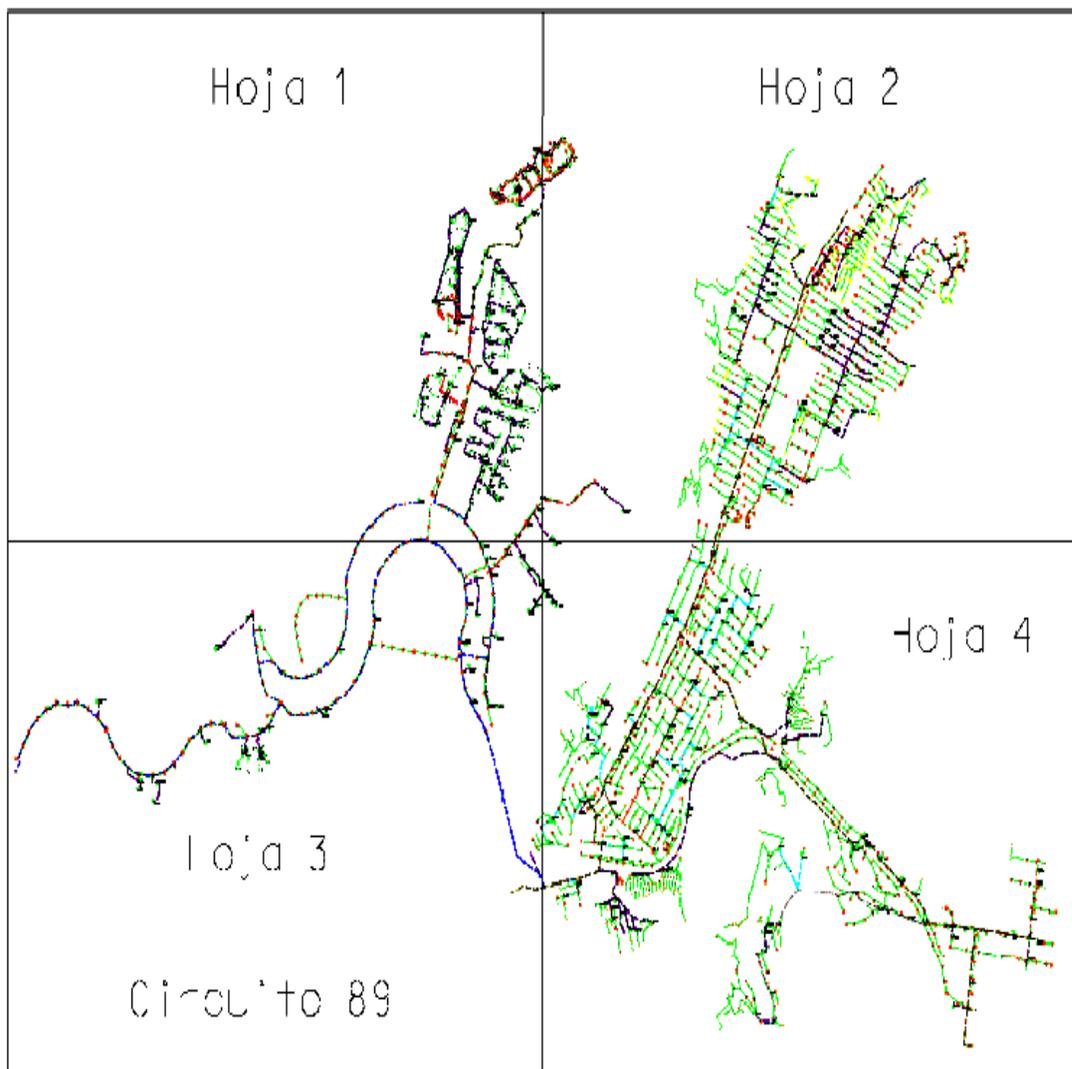
4.4.1. Modelos de Circuitos

Para tener una perspectiva mejor respecto al comportamiento de cada dispositivo se debe crear un circuito equivalente al sistema a la cual se requiera analizar y con ello tener una mejor visión de su funcionamiento.

4.4.1.1. Circuito 89

Para la red correspondiente a San Juan de Dios se ha utilizado la topología proporcionada según la figura circuito 89, en forma tal que revele los datos proporcionados en las tablas correspondientes a los transformadores contabilizados en las tablas proporcionados por EEGSA y los valores de demanda coincidental por nodo correspondiente a las bases de datos del administrador del mercado mayorista AMM.

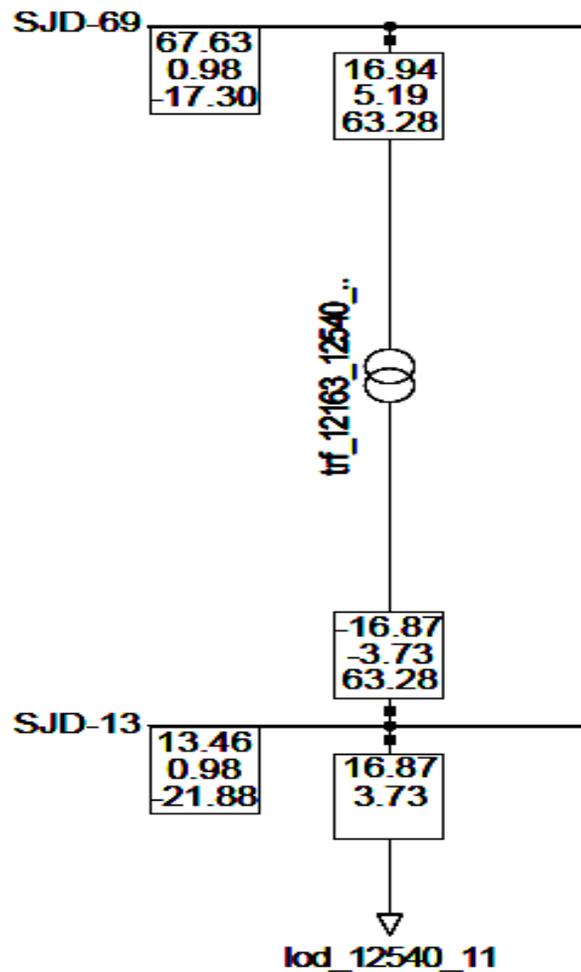
Figura 43. Red correspondiente a San Juan de Dios circuito 89



Fuente: Datos proporcionados por EEGSA. Manual de operación sistema SCADA
[Consulta: febrero de 2012].

Figura 44. Valores de demanda coincidental por nodo para el circuito

89



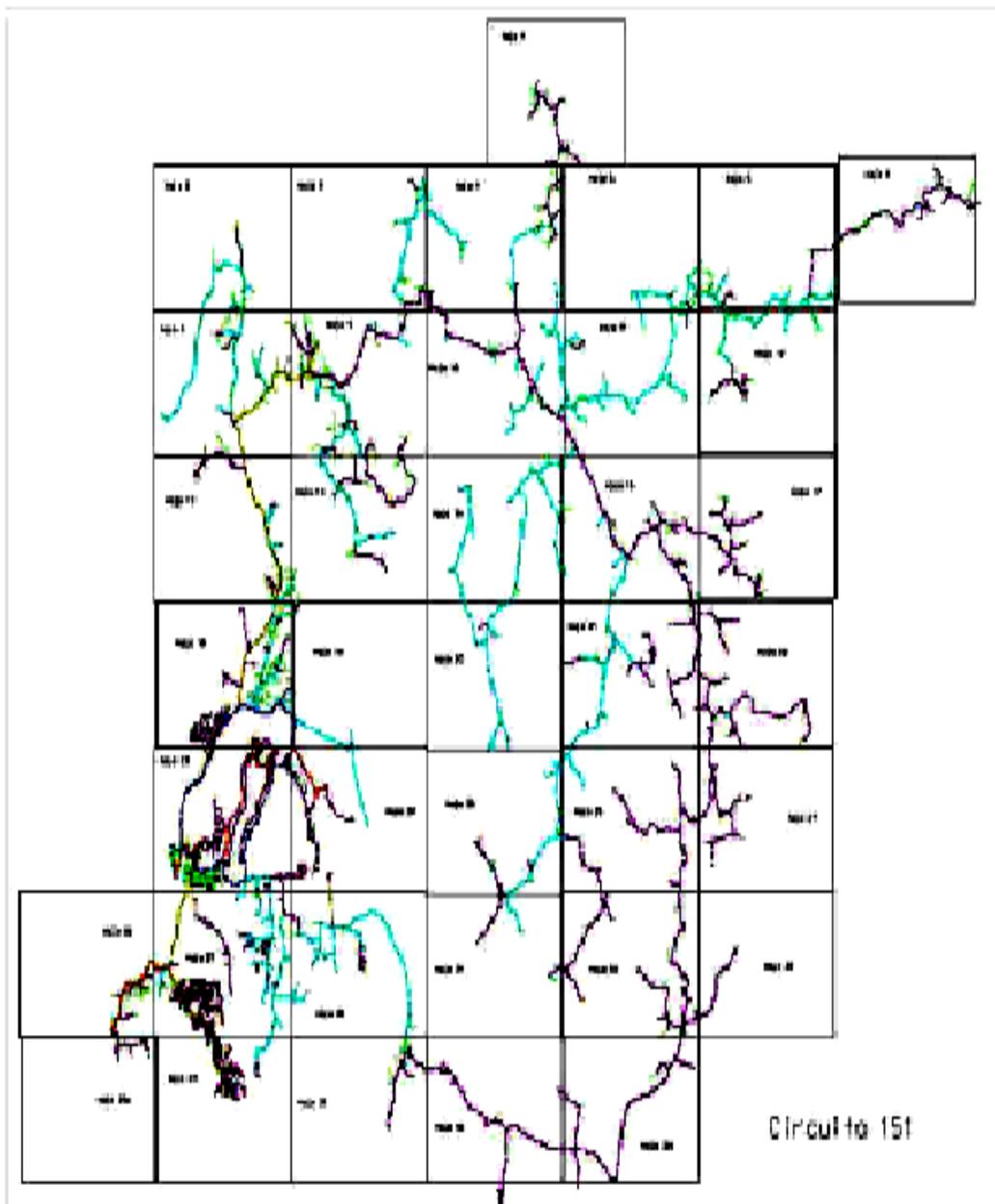
Fue
nte:
Dat
os
pro
por
cio
nad
os
por
AM
M.
Ma
nua
l de
ope
raci
ón
sist
em
a
SC
AD
A

[Consulta: febrero de 2012].

4.4.1.2. Circuito 151

Para la red correspondiente a Montecristo se ha utilizado la topología proporcionada según la figura circuito 151, en forma tal que revele los datos proporcionados en las tablas correspondientes a los transformadores contabilizados en las tablas proporcionados por EEGSA y los valores de demanda coincidental por nodo correspondiente a las bases de datos del administrador del mercado mayorista AMM.

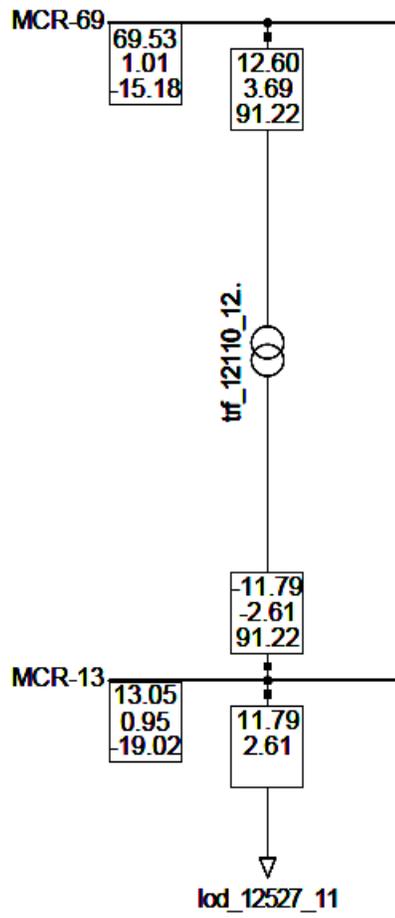
Figura 45. **Red correspondiente a Montecristo circuito 151**



Fuente: Datos proporcionados por EEGSA. Manual de operación sistema SCADA
 [Consulta: febrero de 2012].

Figura 46. **Valores de demanda coincidental por nodo para el circuito**

151



Fuente: Datos proporcionados por AMM. Manual de operación sistema SCADA
 [Consulta: febrero de 2012].

4.4.1.3. Modelos de Carga

Se utilizan dos tipos de cargas para el análisis en la red de baja tensión; en primer lugar, una carga general de 100 Watts, 150 Watts y 250 Watts para modelar la carga de las luminarias:

Figura 47. Cargas para el análisis de red de baja tensión

The screenshot shows the 'General Load' software interface. At the top, there is a title bar 'General Load - LV 25 c\LP100-1003-1.ElmLod'. Below the title bar, there are several tabs: 'Complete Short-Circuit', 'ANSI Short-Circuit', 'IEC 61353', 'RMS-Simulation', 'EMT-Simulation', 'Harmonics', 'Protection', 'Optimization', 'State Estimator', 'Reliability', and 'Description'. Underneath these tabs, there are three main sections: 'Basic Data', 'Load Flow', and 'VDE/IEC Short-Circuit'. The 'Input Mode' is set to 'S, cos(phi)'. Below this, there is a table with two columns: 'Operating Point' and 'Actual Values'. The table contains the following data:

Operating Point	Actual Values
Apparent Power: 0.1052632 kVA	0.1052632 kVA
Power Factor: 0.95 ind.	0.95
Voltage: 1 p.u.	
Scaling Factor: 1	1
<input checked="" type="checkbox"/> Adjusted by Load Scaling	Zone Scaling Factor: 1

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa General Load.

En segundo lugar, una carga de baja tensión que responde a factores de coincidentalidad y de utilización, en función del número de usuarios y por vano por transformador.

Figura 48. Factores de utilización y coincidencia

Low-Voltage Load - LV 25 c\US1.5KW-1A.EImLodlv

Basic Data | Reliability | Description

Name: US1.5KW-1A

Type: Library\LvType

Terminal: LV 25 c\T1\Cub_3 T1

Zone: ...

Area: ...

Out of Service

Technology: 1PH PH-N

Fixed Load Actual Values

Load Type: <input checked="" type="radio"/> S, cos(phi) <input type="radio"/> P, cos(phi) <input type="radio"/> U, I, cos(phi)	Voltage, U(L-L)	0.12 kV	0.12 kV
	Apparent Power, S	0 kVA	0 kVA
	Power Factor, cos(phi)	0.8 ind.	0.8
	Scaling Factor	1.	1.

Adjusted by Load Scaling

Night Storage Heater Actual Values

P: 0 kW 0 kW

Variable Load

Number of Customers	7 $\frac{+}{-}$	P/ Customer	0.266 kW
Utilisation Factor	0.7		
Max. Load	2.145203 kVA	Power Factor	0.95
Average Load	1.96 kVA		

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Low-Voltage Load.

4.4.1.4. Modelos de línea

Se tiene el modelo de alimentador de acometida con conductor tipo WP para los conductores que parten de los terminales secundarios del transformador y que conforman la red de baja tensión 120/240 VAC asociada a cada transformador.

Figura 49. Tipo de conductores WP

Line Type - Library WP2 Peach Line.TypeLine

ANSI Short-Circuit | IEC 61363 | RMS-Simulation | EMT-Simulation | Harmonics | Protection
 Optimization | State Estimator | Reliability | Description
 Basic Data | Load Flow | VDE/IEC Short-Circuit | Complete Short-Circuit

Name:

Rated Voltage: kV

Rated Current: kA

Nominal Frequency: Hz

Cable / OHL:

System Type: Phases: No. of Neutrals:

Parameters per Length 1,2-Sequence

Resistance R': Ohm/km

Reactance X': Ohm/km

Parameters per Length Zero Sequence

Resistance R0': Ohm/km

Reactance X0': Ohm/km

Parameters per Length, Neutral

Resistance Rn': Ohm/km

Reactance Xn': Ohm/km

Parameters per Length, Phase-Neutral Coupling

Resistance Rpn': Ohm/km

Reactance Xpn': Ohm/km

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Line Type.

Se tienen modelos más complejos para la red de media tensión para líneas cortas en distintas configuraciones, según el número de fases y calibres de los distintos segmentos de línea.

Para emular un sistema con retorno para las armónicas, se utiliza un cable de neutro que solo geométricamente reemplaza al cable de guarda, el cual se posiciona debajo de las 3 fases.

Para efectos de representación, se muestran los cuadros utilizados para una línea monofásica y una línea trifásica a 13,2 kilovoltios y las correspondientes matrices de resistencias y reactancias para el modelo trifásico, los cuales se utilizan discrecionalmente en función de los segmentos modelados en la red.

Figura 50. Sistema monofásico para análisis de armónicos

Tower Type - Library\1F Penguin 4_0.TypTow

RMS-Simulation | EMT-Simulation | Harmonics | Protection | Optimization | State Estimator | Reliability | Description
 Basic Data | Load Flow | VDE/IEC Short-Circuit | Complete Short-Circuit | ANSI Short-Circuit | IEC 61363

Name: 1F Penguin 4_0

Nominal Frequency: 60 Hz

Number of Earth Wires: 1

Number of Line Circuits: 1 Transposition: none

Input Mode:
 Geometrical Parameter
 Electrical Parameter

Earth Conductivity: 100 uS/cm

Types of Earth Conductors:

	Conductor Types TypCon
▶ Earth Conductor 1	Penguin 4_0

Conductor Types of Line Circuits:

	Conductor Types TypCon	Num. of Phases	Transposition
▶ Circuit 1	Penguin 4_0	1	

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Tower Type.

Figura 51. Sistema trifásico para análisis de armónicos

Tower Type - Library\3F Penguin 4_0.TypTow

RMS-Simulation | EMT-Simulation | Harmonics | Protection | Optimization | State Estimator | Reliability | Description
 Basic Data | Load Flow | VDE/IEC Short-Circuit | Complete Short-Circuit | ANSI Short-Circuit | IEC 61363

Name: 3F Penguin 4_0

Nominal Frequency: 60 Hz

Number of Earth Wires: 1

Number of Line Circuits: 1 Transposition: none

Input Mode:
 Geometrical Parameter
 Electrical Parameter

Earth Conductivity: 100 uS/cm

Types of Earth Conductors:

	Conductor Types TypCon
▶ Earth Conductor 1	Penguin 4_0

Conductor Types of Line Circuits:

	Conductor Types TypCon	Num. of Phases	Transposition
▶ Circuit 1	Penguin 4_0	3	<input type="checkbox"/>

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Tower Type.

Figura 52. **Matrices R-Z**

Matrix of Resistances R_{ij} [Ohm/km]:

	1	2	3	
▶ 1		08071487	08115635	▲
2	08071487	0.3422786	08071487	
3	08115635	08071487	0.3431567	

Matrix of Reactances X_{ij} [Ohm/km]:

	1	2	3	
▶ 1		0.2866274	0.2373693	▲
2	0.2866274	0.6680691	0.2866274	
3	0.2373693	0.2866274	0.6641719	

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Tower Type.

4.4.1.5. Modelos de balastros

Los balastros han sido modelados como cargas especiales, del tipo fuente de corriente el cual contiene el espectro armónico desbalanceado resultante de las mediciones de EEGSA.

Figura 53. Parámetros geométricos

Harmonic Sources - Library\B100Conv.TypHmccur

Basic Data | Description

Name: **B100Conv**

Balanced/Unbalanced Sources

Balanced

Unbalanced

Harmonics:

	Harmonic Order	la_h/la_1 %	lb_h/lb_1 %	lc_h/lc_1 %	phiA_h-phiA_1 deg	phiB_h-phiB_1 deg	phiC_h- de
▶ 1	1	5.63	0.	0.	0.	0.	▲
2	3	12.48	0.	0.	0.	0.	
3	4	4.8	0.	0.	0.	0.	
4	5	53.66	0.	0.	0.	0.	
5	6	4.2	0.	0.	0.	0.	
6	7	6.26	0.	0.	0.	0.	
7	8	3.53	0.	0.	0.	0.	
8	9	3.74	0.	0.	0.	0.	
9	10	3.41	0.	0.	0.	0.	

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Harmonic Sources.

Figura 54. **Modelación de balastos electrónicos**

Harmonic Sources - Library\B100Elec.TypHmccur

Basic Data | Description

Name: B100Elec

Balanced/Unbalanced Sources

Balanced

Unbalanced

Harmonics:

	Harmonic Order	la _h /la ₁ %	lb _h /lb ₁ %	lc _h /lc ₁ %	phiA _h -phiA ₁ deg	phiB _h -phiB ₁ deg	phiC _h -phiC ₁ deg
▶ 1	1	5.26	0.	0.	0.	0.	
2	3	7.25	0.	0.	0.	0.	
3	4	4.21	0.	0.	0.	0.	
4	5	6.47	0.	0.	0.	0.	
5	6	4.29	0.	0.	0.	0.	
6	7	6.32	0.	0.	0.	0.	
7	8	3.67	0.	0.	0.	0.	
8	9	4.4	0.	0.	0.	0.	
9	10	3.88	0.	0.	0.	0.	

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Harmonic Sources.

4.4.1.6. Modelos de transformadores de distribución

A continuación se mostrará un modelo de transformador, la cual dará una idea detallada, amplia, específica del dispositivo que se ejecutará posteriormente.

Figura 55. Modelos de transformadores de distribución

The screenshot displays the configuration window for a 2-Winding Transformer. The title bar reads "2-Winding Transformer - LV 25 c\XF 25KVA:ElmTr2". The interface includes several tabs: ANSI Short-Circuit, IEC 61363, RMS-Simulation, EMT-Simulation, Harmonics, Protection, Optimization, State Estimator, Reliability, and Description. The "Basic Data" tab is active, showing the following settings:

- Name: XF 25KVA
- Type: Library\T 0.025 MVA 13.2/0.24 kV
- HV-Side: LV 25 c\THV25\Cub_1 (THV25)
- LV-Side: LV 25 c\TLV25\Cub_1 (TLV25)
- Zone: HV-Side
- Area: HV-Side
- Out of Service: External Star Point:
- Number of parallel Transformers: 1
- Thermal Rating: ...
- Rating Factor: 1
- Rated Power: 0.025 MVA

Below the configuration fields, there are two sections for internal grounding impedance:

- Internal Grounding Impedance, HV Side: Star Point: Not connected
- Internal Grounding Impedance, LV Side: Star Point: Connected, Petersen Coil: Resistance, Re: 0 Ohm, Reactance, Xs: 0 Ohm

At the bottom of the window, a schematic diagram shows the transformer model. The HV-Side is connected to a bus labeled "0.025 kV". The LV-Side is connected to a bus with terminals labeled "DP1", "DP2", and "N".

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Winding Transformer.

4.4.1.7. Modelos de regulador

Estos tipos de modelos darán a conocer las diversidades de características que existen tanto en el campo de la electrónica y como la electricista, para tener una idea más amplia de cada una de ellas.

Figura 56. Modelos de reguladores

The screenshot displays the configuration interface for a '2-Winding Transformer - GridSmall\Reg McGraw Edison.ElmTr2'. The interface is organized into several sections:

- Navigation Tabs:** Includes 'ANSI Short-Circuit', 'IEC 61363', 'RMS-Simulation', 'EMT-Simulation', 'Harmonics', 'Protection', 'Optimization', 'State Estimator', 'Reliability', 'Description', 'Basic Data', 'Load Flow', 'VDE/IEC Short-Circuit', and 'Complete Short-Circuit'.
- Name:** 'Reg McGraw Edison'.
- Type:** 'Library\Siemens Reg'.
- HV-Side:** 'GridSmall\SJD 13.2KV - R\Cub_2' with a description 'SJD 13.2KV - R'.
- LV-Side:** 'GridSmall\SJD 13.2KV\Cub_4' with a description 'SJD 13.2KV'.
- Zone:** 'HV-Side'.
- Area:** 'HV-Side'.
- Options:** 'Out of Service' and 'External Star Point' are unchecked.
- Number of parallel Transformers:** '1'.
- Thermal Rating:** '...'.
- Rating Factor:** '1'.
- Rated Power:** '0.167 MVA'.
- Auto Transformer:** Checked.
- Internal Grounding Impedance, HV Side:**
 - Star Point:** 'Connected'.
 - Petersen Coil:** Unchecked.
 - Resistance, R_s:** '0 Ohm'.
 - Reactance, X_s:** '0 Ohm'.

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Winding Transformer.

4.4.1.8. Modelos de transformador de potencia media tensión

Los transformadores de media tensión tienen características diferentes de los demás, por lo cual a continuación se darán los parámetros previos que los rigen

Figura 57. Modelos de transformadores de potencia de media tensión

2-Winding Transformer - GridSmall\XF Power.ElmTr2 *

ANSI Short-Circuit | IEC 61363 | RMS-Simulation | EMT-Simulation | Harmonics | Protection
 Optimization | State Estimator | Reliability | Description
 Basic Data | Load Flow | VDE/IEC Short-Circuit | Complete Short-Circuit

Name:

Type: Library\trf_12163_12540_1

HV-Side: GndSmall\SJD 69\Cub_1 SJD 69

LV-Side: GndSmall\SJD 13.2KV\Cub_2 SJD 13.2KV

Zone: HV-Side ...

Area: HV-Side ...

Out of Service External Star Point

Number of parallel Transformers:

Thermal Rating: ...

Rating Factor: Rated Power 28 MVA

Internal Grounding Impedance, LV Side

Star Point: Connected

Petersen Coil

Resistance: Re Ohm

Reactance: Xe Ohm

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Winding Transformer.

4.4.1.9. Librería de modelos

Se muestra una vista de la base de datos completa utilizada en las simulaciones, para referencia de los distintos tipos utilizados para los diferentes elementos de red.

4.5. Análisis de las redes de baja tensión

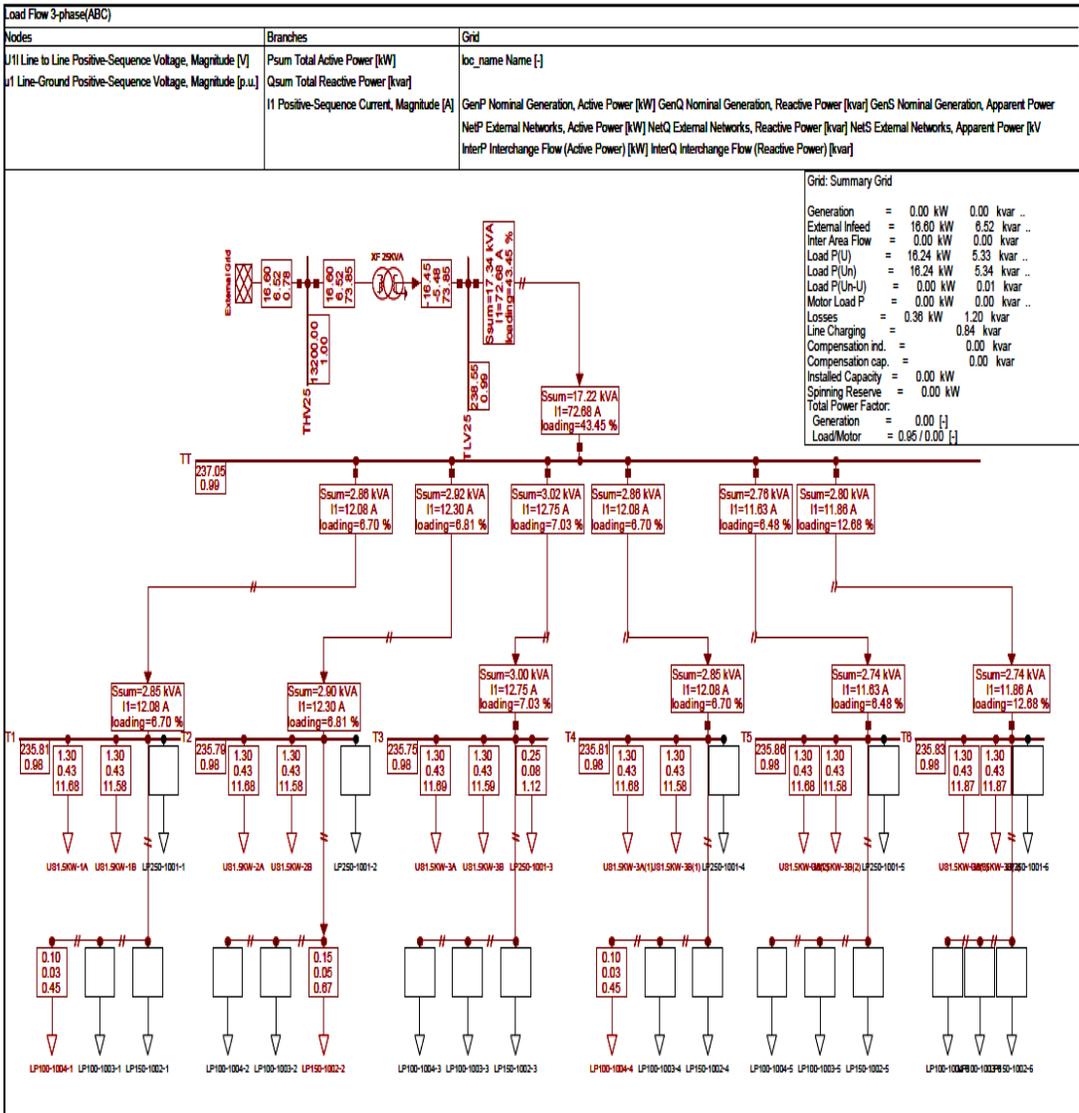
Las redes a nivel de baja tensión se analizan desacopladas para evaluar el impacto de las luminarias conectadas a los vanos secundarios que alimentan cada transformador en particular. Se muestra el modelo de la red de baja tensión para un transformador de 25 kilovatioamper.

Figura 59. Análisis de las redes de baja tensión

Grid: LV 25 e		System Stage: LV 25 e		Study Case: 25KVA e		Annex: / 1	
Grid: LV 25 e		Summary					
No. of Substations	0	No. of Busbars	12	No. of Terminals	15	No. of Lines	25
No. of 2-w Trfs.	1	No. of 3-w Trfs.	0	No. of syn. Machines	0	No. of asyn.Machines	0
No. of Loads	16	No. of Shunts	0	No. of SVS	0		
Generation	=	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA			
External Infeed	=	16.60 kW	6.52 kvar	17.83 kVA			
Inter Grid Flow	=	0.00 kW	0.00 kvar				
Load P(U)	=	16.24 kW	5.33 kvar	17.09 kVA			
Load P(Un)	=	16.24 kW	5.34 kvar	17.10 kVA			
Load P(Un-U)	=	0.00 kW	0.01 kvar				
Motor Load	=	0.00 kW	0.00 kvar	0.00 kVA			
Grid Losses	=	0.36 kW	1.20 kvar				
Line Charging	=		0.84 kvar				
Compensation ind.	=		0.00 kvar				
Compensation cap.	=		0.00 kvar				
Installed Capacity	=	0.00 kW					
Spinning Reserve	=	0.00 kW					
Total Power Factor:							
Generation	=	0.00	[-]				
Load/Motor	=	0.95 / 0.00	[-]				

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Date Manager.

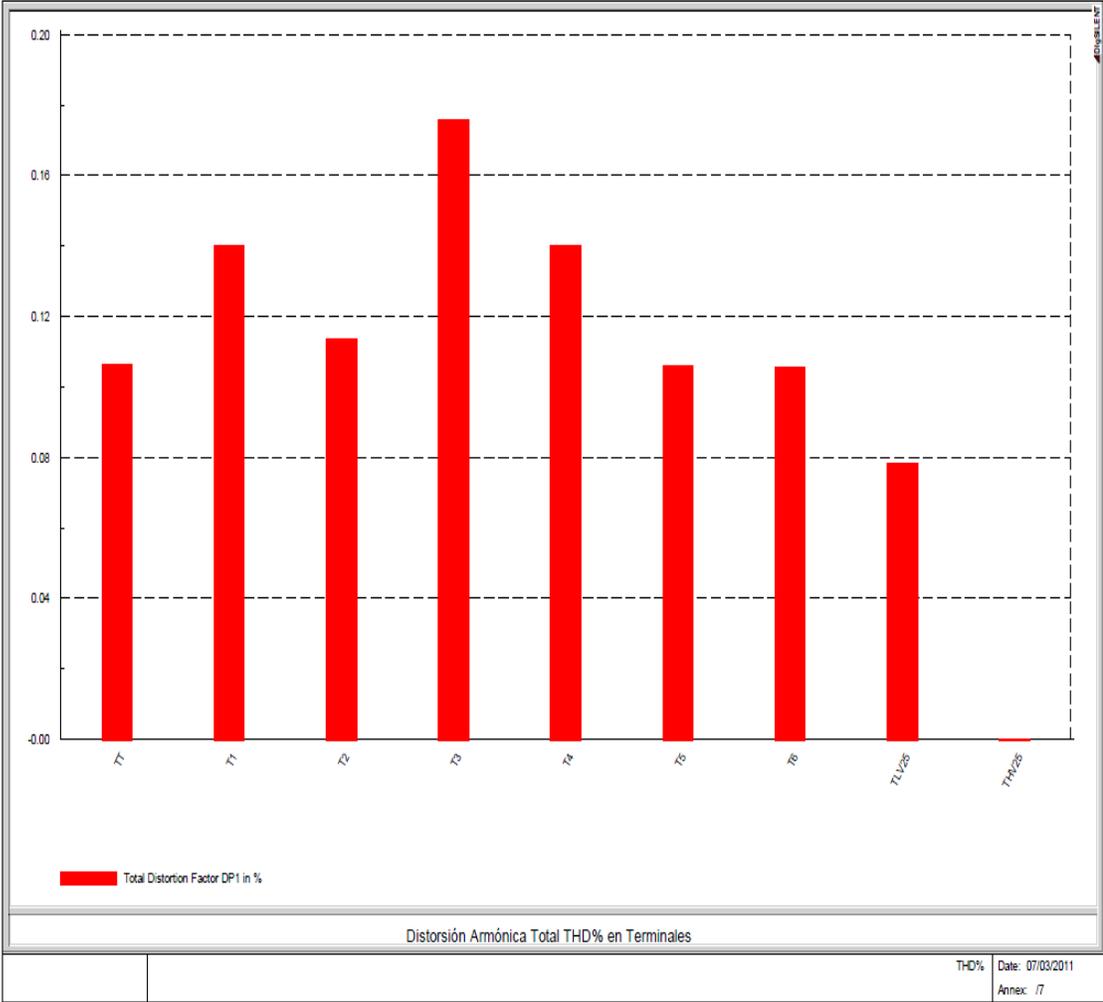
Figura 60. Análisis de armónicos y flujos de potencia



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Load Flow.

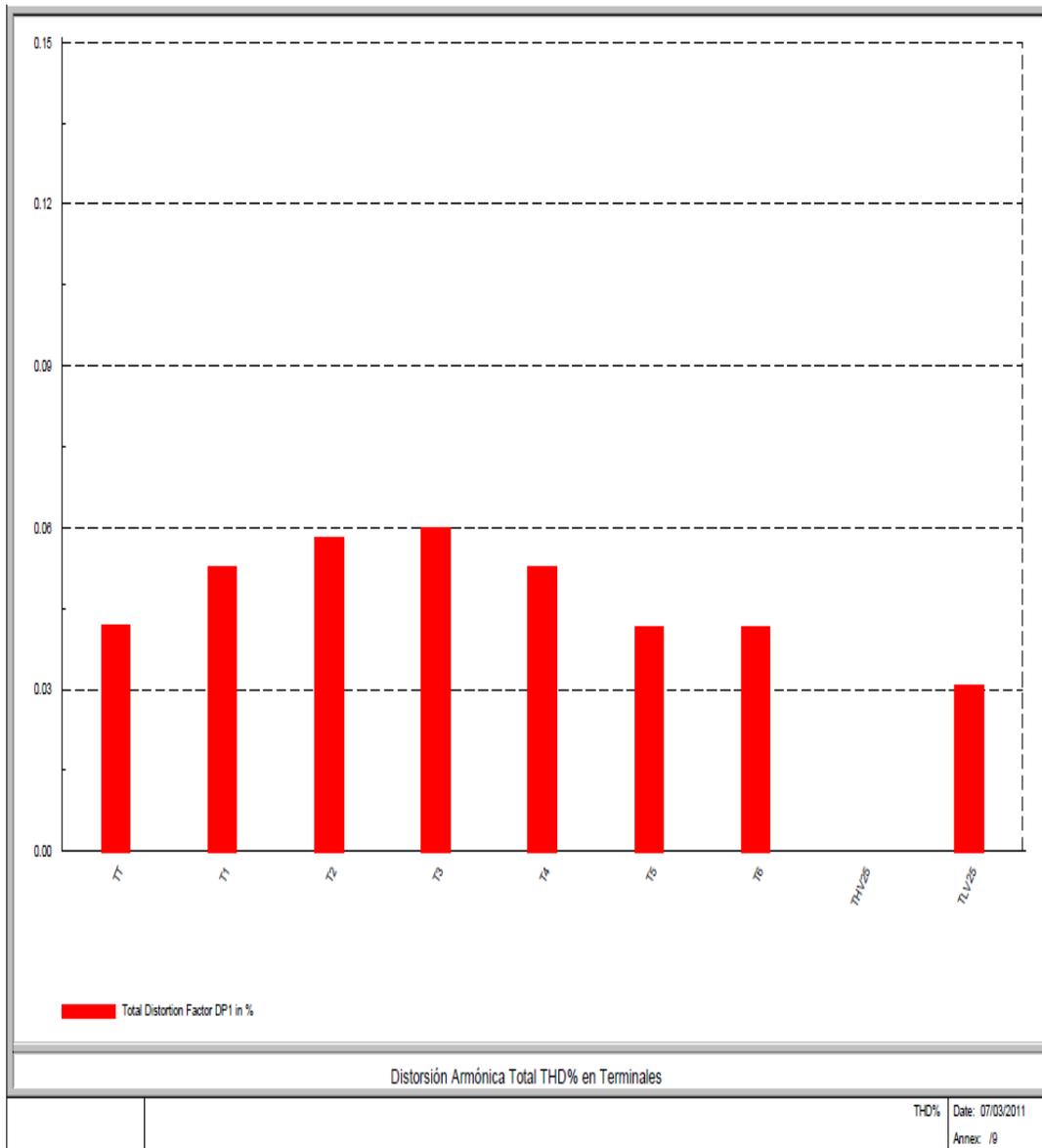
En las siguientes gráficas pueden apreciarse que los balastos electrónicos en realidad muestran un THD % de voltaje en todos los terminales más bajo que los balastos convencionales, principalmente como consecuencia de un valor significadamente superior en la 5ta armónica.

Figura 61. Distorsión armónica total con balastos convencionales



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Figura 62. **Distorsión armónica total con balastos electrónicos**



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

Desde el punto de vista del usuario el terminal T3 es el más crítico por estar más próximo a la fuente de armónicos en tanto que el Terminal TLV 25 correspondiente a las bornas secundarias del transformador son las menos afectadas y por la impedancia del transformador casi son imperceptibles en el Terminal THV 25 correspondiente al lado de 13,8 kilovatios.

Nótese que el valor de corriente de quinta armónica que ve el transformador en el terminal de baja tensión TLV 25 es de 0,91 amperios usando balastos convencionales. Esto es en la escala muy superior a los 0,13 amperios, al usar los balastos electrónicos.

Se muestran además los valores correspondientes a los flujos de la 5ta armónica en particular.

Figura 63. Datos de flujos armónicos con balastos convencionales

Nominal Frequency 60.00 Hz Output Frequency 300.00 Hz Calculate THD Rated to Fundamental Frequency Values (IEEE)												
Grid: LV 25 c		System Stage: LV 25 c			Study Case: 25KVA c			Annex: / 1				
	Rated Voltage [kV]	300.00 Hz	Bus-voltage RMS [p.u.]	Sum [p.u.]	Distortion 300.00 Hz [%]	Tot. [%]	Current 300.00 Hz [A]	RMS []	Active Power 300.00 Hz [kW]	Tot. [kW]	300.00 Hz cosphi [-]	Total Loading [%]
T1												
Cub_2	/Lod	0.24	0.00	0.00	0.99	0.14	0.28					
Cub_3	/Lodlv	US1.5KW-1A					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_5	/Lodlv	US1.5KW-1B					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_1	/Lne	Line					0.23		0.00	-2.71	0.17	-0.95
Cub_4	/Lne	Line(21)					0.24		-0.00	0.10	-0.19	0.83
T2												
Cub_6	/Lodlv	0.24	0.00	0.00	0.99	0.11	0.25					
Cub_5	/Lod	US1.5KW-2A					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_7	/Lodlv	LP250-1001-2										
Cub_1	/Lne	US1.5KW-2B					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_4	/Lne	Line(1)					0.02		0.00	-2.76	0.01	-0.95
Cub_4	/Lne	Line(18)					0.02		-0.00	0.15	-0.16	0.95
T3												
Cub_6	/Lodlv	0.24	0.00	0.00	0.99	0.18	0.37					
Cub_5	/Lod	US1.5KW-3A					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_7	/Lodlv	LP250-1001-3					0.45		-0.00	0.25	-0.20	0.86
Cub_1	/Lne	US1.5KW-3B					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_4	/Lne	Line(2)					0.44		0.00	-2.86	0.19	-0.95
Cub_4	/Lne	Line(15)					0.00		0.00	0.00	1.00	1.00
T4												
Cub_6	/Lodlv	0.24	0.00	0.00	0.99	0.14	0.28					
Cub_5	/Lod	US1.5KW-3A(1)					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_7	/Lodlv	LP250-1001-4					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_1	/Lne	US1.5KW-3B(1)					0.23		0.00	-2.71	0.17	-0.95
Cub_4	/Lne	Line(5)					0.24		-0.00	0.10	-0.19	0.83
T5												
Cub_6	/Lodlv	0.24	0.00	0.00	0.99	0.11	0.22					
Cub_5	/Lod	US1.5KW-3A(2)					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_7	/Lodlv	LP250-1001-5					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_1	/Lne	US1.5KW-3B(2)					0.01		-0.00	-2.61	-0.52	-0.95
Cub_4	/Lne	Line(4)					0.00		0.00	0.00	1.00	1.00
T6												
Cub_6	/Lodlv	0.24	0.00	0.00	0.99	0.11	0.22					
Cub_5	/Lod	US1.5KW-3A(3)					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_7	/Lodlv	LP250-1001-6					0.01		0.00	1.30	0.52	0.95
Cub_1	/Lne	US1.5KW-3B(3)					0.01		-0.00	-2.61	-0.52	-0.95
Cub_4	/Lne	Line(3)					0.00		0.00	0.00	1.00	1.00
TLV25												
Cub_1	/Tr2	0.24	0.00	0.00	1.00	0.08	0.16					
Cub_2	/Lne	XF 25KVA					0.91		0.00	-16.45	0.09	-0.95
							0.91		-0.00	16.45	-0.09	0.95
TT												
Cub_1	/Lne	0.24	0.00	0.00	0.99	0.11	0.22					
Cub_4	/Lne	Line					0.23		-0.00	2.72	-0.14	0.95
Cub_5	/Lne	Line(3)					0.01		0.00	2.65	0.51	0.95
Cub_6	/Lne	Line(4)					0.01		0.00	2.62	0.52	0.95
Cub_6	/Lne	Line(5)					0.23		-0.00	2.72	-0.14	0.95
Cub_7	/Lne	Line(1)					0.02		-0.00	2.77	-0.00	0.95
Cub_8	/Lne	Line(24)					0.91		0.00	-16.35	0.14	-0.95
Cub_9	/Lne	Line(2)					0.44		-0.00	2.87	-0.15	0.95
THV25												
Cub_2	/Xnet	13.20	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00					
Cub_1	/Tr2	External Grid					0.01		-0.00	16.60	-0.02	0.93
							0.03		-0.00	16.60	-0.02	0.93

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Date Manager.

Nótese que el valor de corriente de 5ta armónica que ve el transformador en el terminal de baja tensión TLV25 es de 0,91 Amperie, usando balastos convencionales esto es en la escala muy superior a los 0,13 Amperie, al usar los balastos electrónicos

Figura 64. Datos de flujos armónicos con balastos electrónicos

Nominal Frequency		60.00 Hz		Output Frequency		300.00 Hz		Calculate THD Rated to Fundamental Frequency Values (IEEE)						
Grid: LV 25 a		System Stage: LV 25 a				Study Case: 25KVA a		Annex:		/ 1				
	Rated Voltage [kV]	300.00 Hz [p.u.]	Bus-voltage RMS [p.u.]	Sum [p.u.]	Distortion 300.00 Hz [%]	Tot. 300.00 Hz [%]	Current 300.00 Hz [A]	RMS []	Active Power 300.00 Hz [kW]	Tot. 300.00 Hz [kW]	cosphi [-]	Total [-]	Loading [%]	
T1	0.24	0.00	0.00	0.99	0.05	0.15								
Cub_2 /Lod	LP250-1001-1													
Cub_3 /Lodlv	US1.5KW-1A						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_5 /Lodlv	US1.5KW-1B						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_1 /Lne	Line						0.03		0.00	-2.71	0.17	-0.95		
Cub_4 /Lne	Line (21)						0.03		-0.00	0.10	-0.18	0.94		
T2	0.24	0.00	0.00	0.99	0.06	0.17								
Cub_6 /Lodlv	US1.5KW-2A						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_5 /Lod	LP250-1001-2													
Cub_7 /Lodlv	US1.5KW-2B						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_1 /Lne	Line (1)						0.04		0.00	-2.76	0.18	-0.95		
Cub_4 /Lne	Line (18)						0.04		-0.00	0.15	-0.19	0.94		
T3	0.24	0.00	0.00	0.99	0.06	0.17								
Cub_6 /Lodlv	US1.5KW-3A						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_5 /Lod	LP250-1001-3						0.04		-0.00	0.25	-0.19	0.94		
Cub_7 /Lodlv	US1.5KW-3B						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_4 /Lne	Line (15)						0.00		0.00	0.00	1.00	1.00		
Cub_8 /Lne	Line (2)						0.03		0.00	-2.86	0.17	-0.95		
T4	0.24	0.00	0.00	0.99	0.05	0.15								
Cub_6 /Lodlv	US1.5KW-3A(1)						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_5 /Lod	LP250-1001-4													
Cub_7 /Lodlv	US1.5KW-3B(1)						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_4 /Lne	Line (12)						0.03		-0.00	0.10	-0.18	0.94		
Cub_8 /Lne	Line (5)						0.03		0.00	-2.71	0.17	-0.95		
T5	0.24	0.00	0.00	0.99	0.04	0.12								
Cub_6 /Lodlv	US1.5KW-3A(2)						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_5 /Lod	LP250-1001-5													
Cub_7 /Lodlv	US1.5KW-3B(2)						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_4 /Lne	Line (9)						0.00		0.00	0.00	1.00	1.00		
Cub_8 /Lne	Line (4)						0.00		-0.00	-2.61	-0.52	-0.95		
T6	0.24	0.00	0.00	0.99	0.04	0.12								
Cub_6 /Lodlv	US1.5KW-3A(3)						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_5 /Lod	LP250-1001-6													
Cub_7 /Lodlv	US1.5KW-3B(3)						0.00		0.00	1.30	0.52	0.95		
Cub_4 /Lne	Line (6)						0.00		0.00	0.00	1.00	1.00		
Cub_8 /Lne	Line (3)						0.00		-0.00	-2.61	-0.52	-0.95		
TT	0.24	0.00	0.00	0.99	0.04	0.12								
Cub_1 /Lne	Line						0.03		-0.00	2.72	-0.14	0.95		
Cub_3 /Lne	Line (2)						0.03		-0.00	2.87	-0.14	0.95		
Cub_4 /Lne	Line (3)						0.00		0.00	2.65	0.51	0.95		
Cub_5 /Lne	Line (4)						0.00		0.00	2.62	0.52	0.95		
Cub_6 /Lne	Line (5)						0.03		-0.00	2.72	-0.14	0.95		
Cub_7 /Lne	Line (1)						0.04		-0.00	2.77	-0.14	0.95		
Cub_8 /Lne	Line (24)						0.13		0.00	-16.35	0.14	-0.95		
THV25	13.20	0.00	0.00	1.07	0.00	0.00								
Cub_2 /Xnet	External Grid						0.00		-0.00	16.60	-0.02	0.93		
Cub_1 /Tr2	XF 25KVA						0.00		-0.00	16.60	-0.02	0.93		
T12	0.24	0.00	0.00	0.99	0.06	0.18								
Cub_3 /Lod	LP150-1002-1													
Cub_1 /Lne	Line (21)						0.03		0.00	-0.10	0.20	-0.94		
Cub_2 /Lne	Line (22)						0.03		-0.00	0.10	-0.20	0.94		
T13	0.24	0.00	0.00	0.99	0.08	0.22								
Cub_3 /Lod	LP100-1003-1													
Cub_1 /Lne	Line (22)						0.03		0.00	-0.10	0.21	-0.94		
Cub_2 /Lne	Line (23)						0.03		-0.00	0.10	-0.21	0.94		
T14	0.24	0.00	0.00	0.99	0.09	0.25								
Cub_3 /Lod	LP100-1004-1						0.03		-0.00	0.10	-0.22	0.94		
Cub_1 /Lne	Line (23)						0.03		0.00	-0.10	0.22	-0.94		
TLV25	0.24	0.00	0.00	1.00	0.03	0.09								
Cub_2 /Lne	Line (24)						0.13		-0.00	16.45	-0.09	0.95		
Cub_1 /Tr2	XF 25KVA						0.13		0.00	-16.45	0.09	-0.95		

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Date Manager.

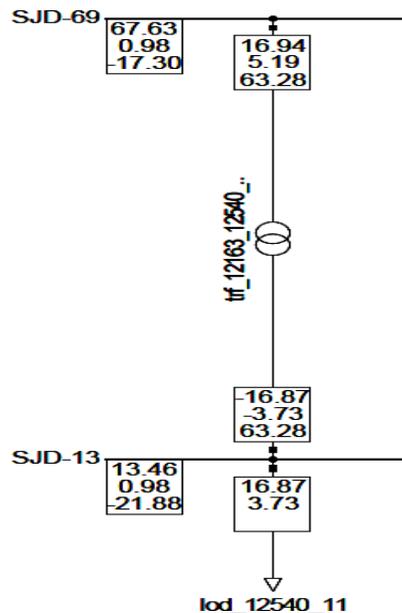
4.5.1. Demanda circuito 89

El nodo de retiro del circuito 89 es la subestación San Juan de Dios, la cual ha sido modelada por su equivalente de red en el sistema interconectado nacional, junto con su transformado 69/13,8 kilovatio y conjunto de reguladores de tensión en las barras de 13,8 kilovoltio.

Los modelos han sido tomados de la base de datos del administrador del mercado mayorista de Guatemala y muestra la demanda coincidental correspondiente al nodo en régimen de máxima demanda.

Aproximadamente un 35 % de esta demanda coincidental corresponde al circuito 89.

Figura 65. Demanda del circuito 89



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Tower Type.

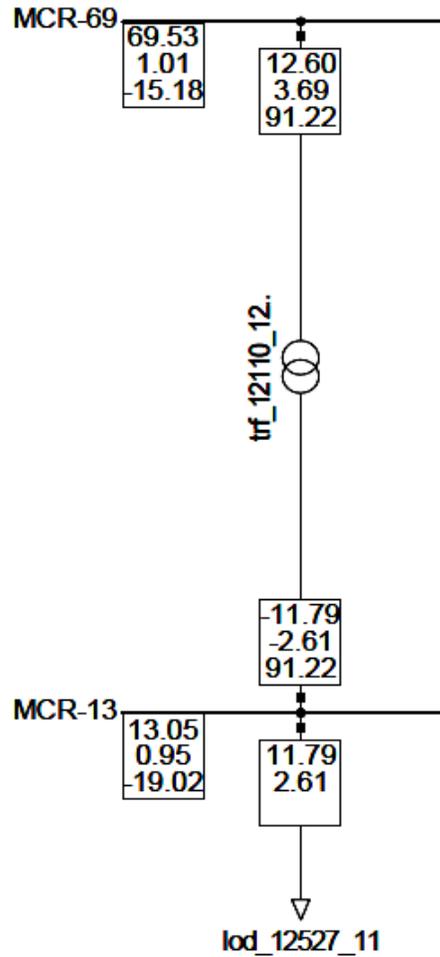
4.5.2. Demanda circuito 151

El nodo de retiro del circuito es la subestación Montecristo, la cual ha sido modelada por su equivalente de red en el sistema interconectado nacional, junto con su transformador 69/13,8 Kilovatio y conjunto de reguladores de tensión en la barra de 13,8 kilovoltio.

Los modelos han sido tomados de la base de datos del Administrador del Mercado Mayorista de Guatemala y muestran la demanda coincidental correspondiente al nodo en régimen de máxima demanda.

Aproximadamente un 35 % de esta demanda coincidental corresponde al circuito 151.

Figura 66. Demanda del circuito 151



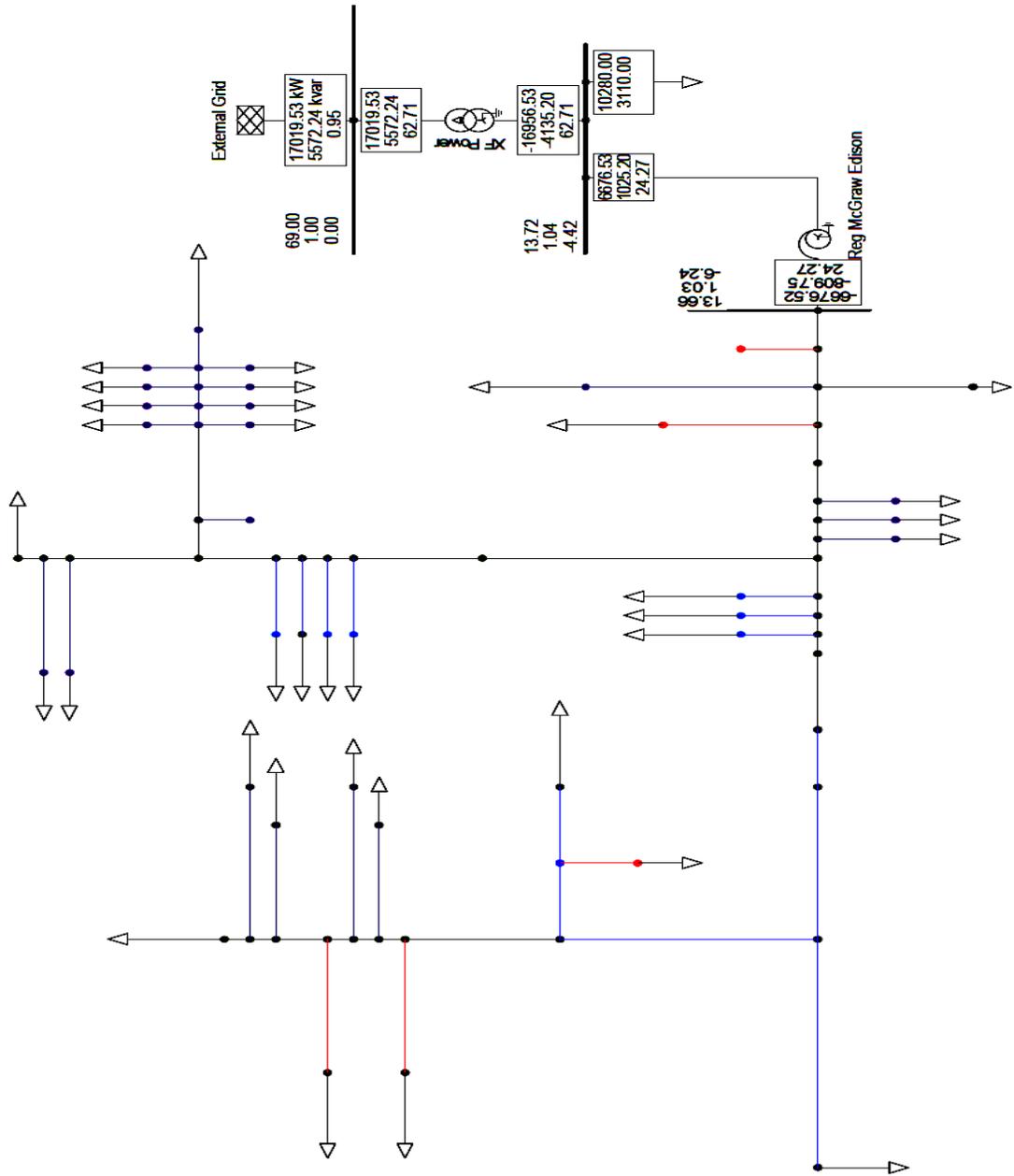
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Tower Type.

4.6. Análisis de las redes de media tensión

En esta sección se muestra una distribución comparativa del perfil de voltaje de las barras del sistema. Para demostrarse que no existen violaciones en el perfil de voltaje del sistema asociados a la presencia del proyecto; y que el resto de las barras se mantenga dentro de la banda de regulación +/- 5 %.

Se han hecho reducciones de red para los distintos tipos segmento en función de los calibres y el número de fases. En el diagrama a continuación se muestran los ramales atendiendo su código de colores y la demanda según su circuito y el resto de la demanda es asignada a operadores o circuitos de la misma subestación.

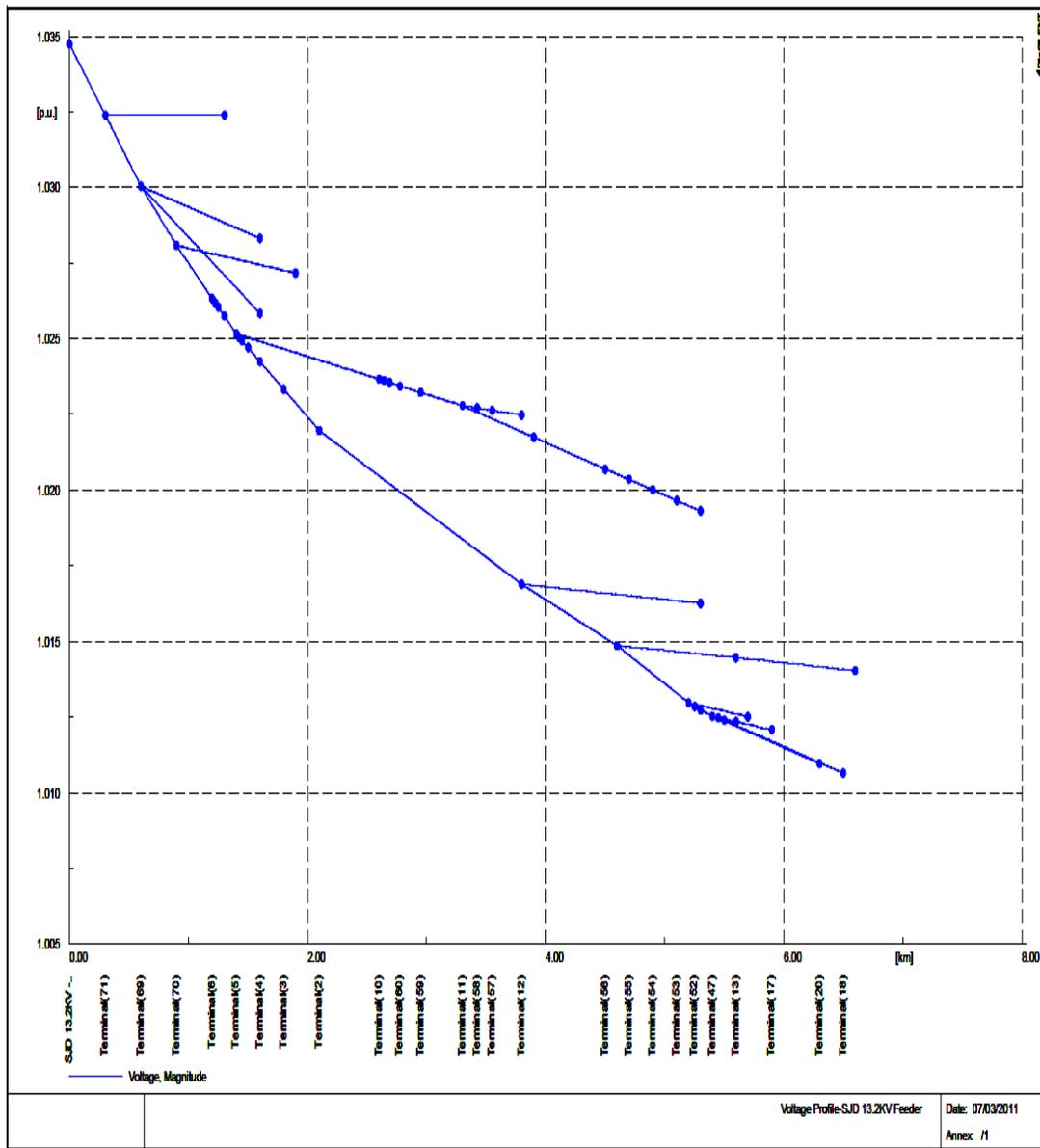
Figura 67. Análisis de armónicos de red de media tensión



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Tower Type.

También se muestra el perfil de caída de tensión el cual se mantiene dentro de la banda de regulación de los parámetros de calidad del +/- 5 %.

Figura 68. Perfil de caída de tensión



Fuente: elaboración propia, utilizando el Date Manager.

4.7. Resumen de resultados

A continuación se muestran algunos parámetros donde los dos comentarios relevantes son que las luminarias con balastos convencionales tienen mayor contenido armónico y que las pérdidas no tienen un cambio significativo.

Aparentemente hay anulación de armónicos como resultado de la forma en que interactúan estos dentro de la red de servicio del transformador. Con el cambio relativo de la potencia de la carga en el transformador electrónico, las pérdidas se activan un 1 % en la activa y 9 % en la reactiva. Prácticamente la activa no está cambiando de manera significativa. Las pérdidas con balastro electrónico se muestran asumiendo que puedan tener un consumo del 90 % con respecto del convencional.

Tabla XXIV. **Comparación de distorsión armónica entre balastos convencionales y electrónicos**

	TRANSFORMADOR DE 25 kVA		TRANSFORMADOR DE 50 kVA	
	CONVENCIONAL	ELECTRÓNICO	CONVENCIONAL	ELECTRÓNICO
Carga	23,33 kW X 7,65 kVAr	23,33 kW X 7,65 kVAr	19,55 kW X 6,42 kVAr	13,97 kW X 4,59 kVAr
Pérdidas de potencia	1,48 kW X 1,81 kVAr	1,48 kW X 1,81 kVAr	1,04 kW X 2,32 kVAr	0,79 kW X 2,05 kVAr
Distorsión total de armónicos, lado de baja del transformador	0,06	0,02	0,15	0,07
Fator de potencia	0,95	0,95	0,95	0,95

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa Microsoft Excel.

CONCLUSIONES

1. Se pudo observar en el análisis técnico, los beneficios de ahorro energético que puede proporcionar la utilización de nuevas tecnologías para el control de iluminación en el alumbrado público, por lo cual es una alternativa para dar un uso eficiente y eficaz de la energía eléctrica; si bien, su aplicación está relacionada con recursos disponibles de los municipios y electrificadoras.
2. Al implementar esta tecnología, se puede reducir la potencia de la lámpara, para que en condiciones de operación de la luminaria a potencia reducida y a potencia normal cumplan con el requerimiento de iluminación.
3. Analizando el desempeño eléctrico del balastro se nota que el valor óptimo de reducción de potencia en la bombilla de sodio es del 40 %, a pesar que técnicamente se podría llevar hasta un 50 %.
4. No se observan transferencia de armónicos en nivel significativo al lado de alta tensión de los transformadores de distribución.

RECOMENDACIONES

1. Que se ponga a disposición de las municipalidades, diseñadores y constructoras del país los resultados de este estudio, para que se puedan implementar y mejorar el servicio de sistemas de alumbrado público para que sea más eficiente.
2. Que en base a los resultados de este estudio se trate de implementar sistemas de cobro por alumbrado público, que le den mayor importancia al uso de sistemas eficientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Advancing the effective use of light for society and the environment.
[en línea] <http://www.lrc.rpi.edu/>. [Consulta: 12 de noviembre del 2012].
2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Resolución CNEE 31 – 2001.
[en línea] <http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2001/31-2001.pdf>. [Consulta: 14 de noviembre del 2012].
3. ——. Resolución CNEE 86 – 2001 [en línea]
<http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2001/86-2001.pdf>. [Consulta: 03 de octubre del 2012].
4. ——. Resolución CNEE 96 – 2004 [en línea]
<http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2001/96-2001.pdf>. [Consulta: 03 de noviembre del 2012].
5. *General Electric Iluminación* [en línea] <http://www.gelighting.com.ar>.
[Consulta: 12 de agosto del 2012].
6. General Electric. *Spectrum Balastros, Catálogo de Balastros para lámparas fluorescentes y de descarga*. 2007.
7. Industrias Wamco. S.A. [en línea] <http://www.wamco.com.ar>.
[Consulta: 30 de junio del 2012].

8. Laboratorio de alumbrado del gobierno del distrito federal. *Pruebas y Normatividad aplicables a productos de iluminación*. México: 2010.
9. *Lutron Lift Technology Expands Market for Automated Shading Solutions* [en línea] <http://www.aboutlightingcontrols.org>. [Consulta: 27 de septiembre del 2012].
10. Manual Técnico. Philips step dimming outdoor luminaries [en línea] http://www.lighting.philips.co.uk/.../Xitanium_CC_Xtreme [Consulta: 02 de noviembre del 2012].
11. Manual Técnico ELT. Balastro doble nivel de potencia. 2005. p. 24
12. SALAZAR, Alberto. *Proyecto ahorro de energía*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 50 p.
13. Philips. Iluminación [en línea] <http://www.philips.com>. [Consulta: 27 de julio del 2012].