



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Eléctrica



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA ILUMINACIÓN LED DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE AMBATO Av. LUIS ANÍBAL GRANJA SECTOR HUACHI CHICO”

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia

Autores:

Murillo Andrade Carlos David

Paucar Flores Kevin David

Tutor:

Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda.

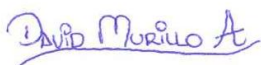
Latacunga – Ecuador

2 019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Nosotros **Murillo Andrade Carlos David** y **Paucar Flores Kevin David** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA ILUMINACIÓN LED DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE AMBATO Av. LUIS ANÍBAL GRANJA SECTOR HUACHI CHICO”, de la ciudad de Ambato siendo el Ing. Franklin Vásquez; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.”



Murillo Andrade Carlos David

C.I:1804398517



Paucar Flores Kevin David

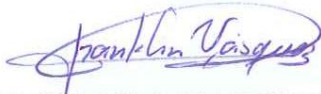
C.I: 180472566-9

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA ILUMINACIÓN LED DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE AMBATO Av. LUIS ANÍBAL GRANJA SECTOR HUACHI CHICO”, de **Murillo Andrade Carlos David** y **Paucar Flores Kevin David**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes Científico-Técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero del 2019



.....
MSc. Franklin Hernán Vásquez Teneda

CC: 171043449-7

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS; por cuanto, el o los postulantes: **Murillo Andrade Carlos David** y **Paucar Flores Kevin David** con el título de Proyecto de titulación: “**ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA ILUMINACIÓN LED DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE AMBATO Av. LUIS ANÍBAL GRANJA SECTOR HUACHI CHICO**” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Febrero 2019

Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)
Nombre: MsC. Ángel León Segovia
CC: 050204135-3



Lector 2
Nombre: MsC. Carlos Pacheco Mena
CC: 050307290-2



Lector 3
Nombre: MsC. Rommel Suárez Vinueza
CC: 180416535-3



EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.

Trabajando con energía..!



DEPARTAMENTO DE DISTRIBUCIÓN
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE D.

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

TRÁMITE N°: 31 ENF 2019

FECHA:

RECIBIDO POR:

En calidad de representante Administrativo de la **EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A**, a petición verbal de los interesados, certifico que:

Los señores **Paucar Flores Kevin David**, portador de la cédula de ciudadanía N° **180472566-9** y **Murillo Andrade Carlos David**, portador de la cédula de ciudadanía N° **180439851-7** realizaron el Trabajo Investigativo de grado con el tema:

“ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA ILUMINACIÓN LED DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE AMBATO Av. LUIS ANÍBAL GRANJA SECTOR HUACHI CHICO”,

Bajo la supervisión de esta área, siguiendo todos los lineamientos y requerimientos establecidos por la EEASA.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultad a los interesados, hacer uso de este documento en forma de que se estime conveniente.

Atentamente,


Ing. Sara Espinoza



JEFE DE SECCIÓN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre, quien siempre ha dejado sus ocupaciones para estar a mi lado. A mi Abuelito Néstor, por ser el héroe en mi diario vivir y principal gestor de mi formación. A mi Abuelita a quien quiero como a una madre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A Cristopher y Alex, porque los amo infinitamente hermanitos. A mi novia por el amor, apoyo y paciencia a lo largo de mi carrera. A mi compañero, Kevin porque sin el equipo que formamos, no habiéramos logrado esta meta.

Carlos...

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida, la fuerza y por bendecirme para llegar a esta instancia del camino como es la culminación de mí carrera Universitaria.

A mis padres José y Teresa por el amor, respeto, cariño, y el apoyo incondicional tanto moral y económicamente. Por sus valores inculcados para hacer de mí una mejor persona y todos los sacrificios que han hecho para poder terminar mis estudios. También quiero agradecer a mis hermanas quiénes siempre me han estado alentando a terminar mis estudios, a mi abuelita quien con sus consejos y su bendición siempre me ha apoyado en los momentos más difíciles.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi y los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica quienes con su profesionalismo proporcionaron los conocimientos, necesarios para un aprendizaje integral como profesionales y seres humanos.

Kevin....

DEDICATORIA

Este Trabajo de Investigación está dedicado a mis queridos PADRES porque lo que soy y lo que tengo se los debo a ellos.

A mis hermanas María José e Ingrid por creer en mí capacidad y por sus palabras de aliento que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi abuelita quien siempre me ha motivado a seguir adelante, a luchar por mis sueños, a no desmayar en los momentos más difíciles que tuve que atravesar. A mis familiares quienes siempre me han sabido brindar su apoyo durante mis estudios Universitarios. A mi amigo y compañero Carlos quien a lo largo de la carrera me ha extendido su mano. A mi novia quien siempre me motivo a seguir adelante.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Kevin...

ÍNDICE GENERAL

Declaración de autoría -----	ii
Aval del tutor de proyecto de investigación -----	iii
Aprobación del tribunal de titulación -----	iv
Certificación-----	v
Agradecimiento-----	v
Dedicatoria -----	vi
Agradecimiento-----	vii
Dedicatoria -----	viii
Resumen -----	xx
Abstract -----	xxi
Aval de traducción -----	xxii
1. Información del proyecto-----	1
2. Descripción del proyecto-----	3
3. Justificación del proyecto -----	4
4. Beneficiarios del proyecto -----	4
5. El problema de investigación-----	5
5.1 Situación problemática-----	5
5.2 Planteamiento del problema -----	5
6. Objetivos:-----	5
6.1. Objetivo general-----	5
6.2. Objetivos específicos-----	5
7. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados: -----	6
8. Fundamentación científico técnica -----	8
8.1 Introducción-----	8
8.2 Alumbrado público -----	8
8.3 Clasificación de las vías -----	8
8.4 Luminarios -----	10
8.4.1 Factores de los que depende la decisión de iluminar una vía -----	11

8.4.2	Uso adecuado de luminarios -----	11
8.4.3.	Tipos de luminarias utilizadas en alumbrado público -----	13
8.5	Nivel de luminancia -----	22
8.5.1	Uniformidad de luminancia -----	23
8.6	Factor de utilización -----	23
8.7	Factor de mantenimiento -----	24
8.8	Relación entre separación y altura de los puntos de luz -----	24
8.9	Sistema de localización de las luminarias -----	24
8.10	Limitación del deslumbramiento -----	26
8.11	Coeficiente de iluminación en los alrededores -----	26
8.12	Guiado visual y óptico -----	27
8.13	Altura de montaje de iluminación -----	27
8.14	Saliente de las luminarias -----	28
8.15	Ubicación de las luminarias -----	29
8.16	Postes de alumbrado publico -----	29
8.16.1	Espaciamiento entre postes de alumbrado público -----	30
8.16.2	Distancia entre luminarias de alumbrado público -----	31
8.16.3	Superficie de la calzada -----	31
8.17	Procedimientos de diseño de alumbrado público -----	32
8.18	Alimentación y sistema de distribución de energía eléctrica al alumbrado público ----	32
8.19	Selección del transformador -----	33
8.19.1	Cálculo de la carga por tramos -----	34
8.20	Continuidad de servicio -----	34
8.20.1	Calidad de energía -----	35
8.20.2.	Distorsión armónica -----	36
8.20.3	Análisis de distorsión armónica en iluminación led -----	39
8.20.4	Filtros para mitigar armónicos -----	40
8.20.5	Cálculo de filtros armónicos -----	42
9.	Hipótesis -----	48
10.	Metodología -----	48
10.1	Tipos de metodología de investigación -----	48
10.2	Diseño básico metodológico -----	48
10.3	Técnicas -----	48
10.3.1	Observación directa -----	48
11.	Análisis y discusión de los resultados -----	49

11.1.	Datos característicos de las luminarias utilizadas en el estudio-----	49
11.2	Disposición de luminarias-----	50
11.2.1	Luminarias tipo led-----	50
11.2.2	Luminarias tipo vapor de sodio-----	54
11.3	Análisis del flujo luminoso de las luminarias tipo vapor de sodio y led-----	55
11.4	Análisis de los parámetros eléctricos de las luminarias tipo vapor de sodio y led-----	60
11.4.1	Descripción del sistema eléctrico de los circuitos de las luminarias led-----	60
11.4.2	Ingreso de datos en el analizador de carga-----	61
11.4.2.1	Procedimiento de configuración que se realiza para la medición de datos del sistema eléctrico-----	61
11.4.3	Análisis de datos obtenidos a través de mediciones-----	66
11.4.4	Análisis de datos obtenidos a través de la simulación Easy Power-----	78
11.4.5	Soluciones propuestas-----	84
11.5	Comprobación del filtro (led)-----	90
11.6	Análisis técnico – económico (led)-----	93
11.6.1	Cálculo del TIR y el TMAR:-----	94
11.6.2	Descripción del sistema eléctrico de los circuitos de las luminarias vapor de sodio-----	95
11.6.3	Presupuesto de luminarias vapor de sodio-----	113
11.6.4	Comparación de los resultados entre las luminarias tipo led y las luminarias vapor de sodio-----	113
12.	Impactos (técnicos, sociales, ambientales o económicos):-----	115
13.	Presupuesto para la propuesta del proyecto:-----	115
14.	Conclusiones y Recomendaciones-----	116
14.1.	Conclusiones:-----	116
14.2.	Recomendaciones:-----	116
15.	Bibliografía-----	117
16.	Anexos-----	119
16.1	Anexo 1-----	119
	Diagrama unifilar de luminarias led-----	119
16.2	Anexo 2-----	120
	Diagrama unifilar de luminarias vapor de sodio-----	120

16.3	Anexo 3-----	121
	Diagrama unifilar de corrida inicial de flujos de potencia de luminarias led-----	121
16.4	Anexo 4-----	122
	Diagrama unifilar de corrida inicial de flujos de potencia de luminarias de vapor de sodio ---	122
16.5	Anexo 5-----	123
	Diagrama unifilar de corrida inicial de flujos armónicos de luminarias tipo led -----	123
16.6	Anexo 6-----	124
	Diagrama unifilar de corrida inicial de flujos armónicos de luminarias tipo vapor de sodio.--	124
16.7	Anexo 7-----	125
	Diagrama unifilar de corrida final de flujos armónicos con filtro de luminarias tipo led. -----	125
16.8	Anexo 8-----	126
	Diagrama unifilar de corrida final de flujos armónicos con filtro de luminarias tipo led. -----	126
16.9	Anexo 9-----	127
	Curva de potencia activa de las luminarias led-----	127
16.10	Anexo 10 -----	128
	Curva de potencia activa de las luminarias vapor de sodio -----	128
16.11	Anexo 11 -----	129
	Curva de potencia aparente de las luminarias led-----	129
16.12	Anexo 12 -----	130
	Curva de potencia aparente de las luminarias vapor de sodio-----	130
16.13	Anexo 13 -----	131
	Curva de potencia reactiva de las luminarias led -----	131
16.14	Anexo 14 -----	132
	Curva de potencia reactiva de las luminarias vapor de sodio-----	132
16.15	Anexo 15 -----	133
	Curva de thd de voltaje de las luminarias led-----	133
16.16	Anexo 16 -----	134
	Curva de thd de voltaje de las luminarias vapor de sodio-----	134
16.17	Anexo 17 -----	135
	Curva de thd de corriente de las luminarias led -----	135
16.18	Anexo 18 -----	136
	Curva de thd de corriente de las luminarias vapor de sodio -----	136

16.19 Anexo 19 -----	137
Fotografías de la instalación del analizador de carga -----	137

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Tipos De Luminarios Usados En Alumbrado Público Vista Lateral Y Frontal	10
Figura 2: Curva Alargada Longitudinalmente.....	10
Figura 3: Curva Circular.....	11
Figura 4: Característica Constructiva Típica De Una Lámpara De Mercurio De Alta Presión	14
Figura 5: Energía Espectral	15
Figura 6: Característica Constructiva Típica De Una Lámpara De Mercurio De Alta Presión	16
Figura 7: Característica Constructiva Típica De Una Lámpara De Sodio De Alta Presión	16
Figura 8: Lámpara LED.....	17
Figura 9: Eficiencia Luminosa	19
Figura 10: Flujo Luminoso.....	20
Figura 11: Representación De La Eficacia Luminosa	20
Figura 12: Representación De La Intensidad Luminosa	21
Figura 13: Curvas Fotométricas De Lámparas De Estudio	22
Figura 14: Coeficiente De Iluminación En Alrededores	26
Figura 15: Diagrama De Alimentación Trifásica Con Celda Fotoeléctrica De Encendido	33
Figura 16: Flujo Normal De Corrientes Armónicas	36
Figura 17: Respuesta Del Filtro Sintonizado Ante Diferentes Factores De Calidad.....	44
Figura 18: (A) Unifilar Sin Compensador. (B) Unifilar Con Compensador.....	47
Figura 19: Circuito 2 De Sistema De Iluminación	51
Figura 20: Circuito 2 De Sistema De Iluminación	52
Figura 21: Circuito 3 De Sistema De Iluminación	53
Figura 22: Circuito De Luminarias Tipo Vapor De Sodio	54
Figura 23: Flujo Luminoso.....	56
Figura 24: Eficiencia Luminosa	57
Figura 25: Coeficiente De Uniformidad General	58
Figura 26: Cobertura De Iluminación Tipo LED	59
Figura 27: Cobertura De Iluminación Tipo Vapor De Sodio	59

Figura 28: Diagrama Unifilar De Luminarias Tipo LED	60
Figura 29: Analizador De Carga FLUKE 435 II	61
Figura 30: Configuración Del Sistema Eléctrico.....	62
Figura 31: Modo De Conexión De Las Sondas	62
Figura 32: Configuración De Voltaje	63
Figura 33: Configuración De Voltaje	63
Figura 34: Configuración De La Frecuencia	64
Figura 35: Diagrama Fasorial De Voltaje.....	64
Figura 36: Diagrama Fasorial De Corriente	65
Figura 37: Parámetros Eléctricos.....	65
Figura 38: Periodo De Medición	66
Figura 39: Datos Registrados	66
Figura 40: Curva De Carga Diaria.....	72
Figura 41: Armónicos Individuales De Voltaje.....	74
Figura 42: Armónicos Individuales De Corriente	78
Figura 43: Simulación Inicial Del Sistema De Alumbrado Público.....	79
Figura 44: Simulación De La Corrida De Flujo Inicial Del Sistema De Alumbrado Público LED	80
Figura 45: Simulación De La Corrida De Flujo De Armónicos Inicial Del Sistema De Alumbrado Público.....	81
Figura 46: % THD De Voltaje.....	82
Figura 47: Simulación Del % THD De Corriente	83
Figura 48: Colocación Del Filtro.....	90
Figura 49: Simulación Del %THD De Voltaje.....	91
Figura 50: Simulación Del %THD De Corriente	92
Figura 51: Diagrama Unifilar De Luminarias Vapor De Sodio	96
Figura 52: Curva De Carga Diaria.....	99
Figura 53: Armónicos Individuales De Voltaje.....	101
Figura 54: Armónicos Individuales De Corriente	106
Figura 55: Simulación Inicial Del Flujo De Potencia De Alumbrado Público De Luminarias De Vapor De Sodio	107
Figura 56: Simulación De La Corrida De Flujo Inicial Del Sistema De Alumbrado Público De Vapor De Sodio	108

Figura 57: Simulación De La Corrida De Armónicos Inicial Del Sistema De Alumbrado Público De Vapor De Sodio	110
Figura 58: % THD De Voltaje.....	111
Figura 59: Simulación Del %THD De Voltaje.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Áreas del conocimiento del proyecto	3
Tabla 2: Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	6
Tabla 3: Clasificación de las vías públicas	9
Tabla 4: Uso adecuado de luminarios.....	12
Tabla 5: Clasificación de lámparas.....	13
Tabla 6: Lámpara LED	17
Tabla 7: Comparación de luminarias.....	25
Tabla 8: Altura de montaje de luminarias	28
Tabla 9: Longitud del brazo de las luminarias	29
Tabla 10: Longitud del brazo de las luminarias	30
Tabla 11: Relación distancia entre luminarias a la altura de montaje	31
Tabla 12: Perturbaciones de la red	35
Tabla 13: Rangos de distorsión armónica total para algunos balastos.....	37
Tabla 14: Límites de la distorsión armónica de voltaje para sistemas de distribución según la norma IEEE.	38
Tabla 15: Límites de inyección de corriente armónico según la IEEE 519 – 1992.	40
Tabla 16: Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado	41
Tabla 17: Datos de luminarias tipo vapor de sodio	49
Tabla 18: Datos de luminarias tipo vapor de sodio	49
Tabla 19: Datos de luminarias tipo LED	50
Tabla 20: Datos de luminarias tipo LED.....	51
Tabla 21: Datos de luminarias tipo LED.....	52
Tabla 22: Datos de luminarias tipo vapor de sodio	54
Tabla 23: Flujo luminoso.....	55
Tabla 24: Eficiencia luminosa	56
Tabla 25: Uniformidad general de iluminancia.....	57
Tabla 26: Características del transformador.....	60
Tabla 27: Recopilación de Datos de Luminarias tipo LED según FLUKE 435.....	67
Tabla 28: Recopilación de Datos de Luminarias tipo LED según FLUKE 435.....	68
Tabla 29: Recopilación de Datos de Luminarias tipo LED según FLUKE 435.....	69
Tabla 30: Valores de Factor de Potencia	70
Tabla 31: Valores de Niveles de Voltaje	70

Tabla 32: Valores de Niveles de Voltaje	71
Tabla 33: Límites de la distorsión armónica de voltaje para sistemas de distribución según la norma IEEE.	72
Tabla 34: Valores de THD de voltaje.....	73
Tabla 35: Valores de armónicos de voltaje individual	73
Tabla 36: Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente.....	76
Tabla 37: Límites de distorsión de corriente	76
Tabla 38: THD de corriente.....	77
Tabla 39: Valores de armónicos de Corriente individual	77
Tabla 40: Análisis del factor de potencia de los circuitos	81
Tabla 41: Análisis total del factor de potencia del sistema de iluminación	81
Tabla 42: Análisis del THD de Voltaje del sistema de iluminación	82
Tabla 43: Análisis del THD de Corriente del sistema de iluminación	83
Tabla 44: Datos de filtros para luminarias LED.....	90
Tabla 45: THD de Voltaje corregidos	91
Tabla 46: Análisis total del % THD de Corriente	92
Tabla 47: Flujos de carga.....	94
Tabla 48: Características del transformador.....	95
Tabla 49: Recopilación de Datos de Luminarias tipo Vapor de Sodio según FLUKE 435	97
Tabla 50: Valores de Factor de Potencia	98
Tabla 51: Niveles de Voltaje min, med y max de las fases	98
Tabla 52: Límites de la distorsión armónica de voltaje para sistemas de distribución según la norma IEEE.	100
Tabla 53: Valores de THD de voltaje.....	100
Tabla 54: Valores de armónicos de voltaje individual	101
Tabla 55: Valores de Corriente de la línea	103
Tabla 56: Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente.....	104
Tabla 57: Límites de distorsión de corriente	105
Tabla 58: THD de corriente.....	105
Tabla 59: Análisis de armónicos individuales de corriente.....	106
Tabla 60: Análisis del factor de potencia de los circuitos	109
Tabla 61: Análisis total del factor de potencia del sistema de iluminación	109
Tabla 62: Análisis de sobre carga del sistema de iluminación.....	109

Tabla 63: Análisis total de los armónicos de voltaje del sistema de iluminación	111
Tabla 64: Análisis total de los armónicos de corriente del sistema de iluminación	112
Tabla 65: Presupuesto para implementación del proyecto	113
Tabla 66: Presupuesto para implementación del proyecto	113
Tabla 67: Presupuesto para implementación del proyecto	115

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO:” ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA ILUMINACIÓN LED DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE AMBATO Av. LUIS ANÍBAL GRANJA SECTOR HUACHI CHICO”

Autor/es:

Murillo Andrade Carlos David

Paucar Flores Kevin David

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado en la Avenida Luis Aníbal Granja, relacionado al alumbrado público instalado en esta avenida que se encuentra en la ciudad de Ambato. La finalidad de este proyecto fue detectar y corregir la presencia de armónicos de corriente y de voltaje en las luminarias tipo LED que se encuentran actualmente instaladas, para así poder cumplir con los límites establecidos por las regulaciones nacionales CONELEC 008/11 y las normativas internacionales.

Con el fin de conocer acerca del tema se realizó una investigación bibliográfica y de campo, la misma que permitió enriquecer el tema propuesto. Se instaló un medidor de calidad de energía FLUKE 435, en las 8 cámaras de transformación, que alimentan toda la red del alumbrado público de la avenida y se realizó el análisis de las respectivas mediciones encontrando la presencia de armónicos de corriente. Con ayuda del software EASY POWER se realizó el análisis del flujo de carga para determinar las caídas de voltaje, pérdidas de potencia, flujos de potencia, factor de potencia y cargabilidad del sistema eléctrico, además se realizó un análisis de flujo armónico para determinar el nivel de armónicos en la industria.

Se planteó alternativas de solución para la reducción de los niveles de contaminación armónica que son producidos por el uso de las luminarias tipo LED, además se indicó las ventajas de las luminarias LED mediante la comparación con las luminarias instaladas anteriormente. Al final de la investigación se añaden conclusiones y recomendaciones a seguir y se procede a plantear la propuesta con la evaluación técnica y económica.

Palabras clave: contaminación armónica, luminarias tipo LED, eficiencia energética.

UNIVERSITY TECHNICAL OF COTOPAXI

FACULTY OF SCIENCE AND APPLIED ENGINEERING

**THEME: “ARMONIC ANALYSIS IN LED LIGHTING SYSTEMS
STREETLIGHT LOCATED IN AMBATO ON LUIS ANÍBAL GRANJA AVENUE
IN HUACHI CHICO”**

Authors:

Murillo Andrade Carlos David

Paucar Flores Kevin David

ABSTRACT

This research was carried out on Luis Aníbal Granja Avenue related to the streetlight installed on this Avenue located in Ambato. The research purpose was to detect and correct the harmonics presence of current and voltage in LED luminaires that are currently installed, to fulfil with the limits established by national regulations CONELEC 008/11 and international standards.

To know about the theme, a bibliographic and field research was carried out, which allowed to improve this research. A FLUKE 435 energy quality meter was installed in the 8 transformation chambers that supply the whole streetlight network on the avenue and the analysis of the respective measurements was carried out, detecting the current harmonics presence. With the EASY POWER assistance software, the load flow analysis was carried out to determine voltage drops, power losses, power flows, power factor and chargeability of the electrical system. In addition, a harmonic flow analysis was carried out to define the level of harmonics in the industry.

Alternative solutions were considered for the reduction of harmonic pollution levels produced by the use of LED luminaires. LED luminaires advantages were also showed through a comparison with previously installed luminaires.

At the end of this research, conclusions and recommendations are added and the proposal is presented with the technical and economic evaluation.

Keywords: harmonic pollution, LED luminaires, energy efficiency



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERIA ELECTRICA** de la Unidad Académica de **CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS: MURILLO ANDRADE CARLOS DAVID** con número de cedula **180439851-7** y **PAUCAR FLORES KEVIN DAVID** con número de cedula **180472566-9**, cuyo título versa “**ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA ILUMINACIÓN LED DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE AMBATO Av. LUIS ANÍBAL GRANJA SECTOR HUACHI CHICO**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Febrero del 2019

Atentamente,

Lda. Verónica Rosales M. Sc.
ENGLISH TEACHER

Lda. VERÓNICA ALEXANDRA ROSALES PIJAL MSc.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 1003106984



CENTRO
DE IDIOMAS

PROYECTO DE TITULACIÓN II

1. INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:

“Análisis de armónicos en la iluminación led de sistemas de alumbrado público en la ciudad de Ambato Av. Luis Aníbal Granja sector Huachi Chico”

Fecha de inicio:

Abril del 2 018

Fecha de finalización:

Febrero del 2 019

Dirección:

Avenida Luis Aníbal Granja sector Huachi Chico

Ciudad:

Ambato

Facultad que auspicia

Facultad Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Eléctrica

Proyecto de investigación vinculado:

Calidad de Energía en Sistemas Eléctricos.

Equipo de Trabajo:**TUTOR DEL PROYECTO INVESTIGACIÓN:**

Nombre: Ing. Franklin Vásquez

Celular: 0992582968

Correo electrónico: franklin.vasquez@utc.edu.ec

Dirección: Latacunga

ESTUDIANTE (I)

Nombre : Carlos David
 Apellido : Murillo Andrade
 Fecha de Nacimiento : 22/01/1994
 Estado Civil : Soltero
 Nacionalidad : Ecuatoriano
 Cedula N° : 180439851-7
 Domicilio : Ambato / Cdl. Nuevo Ambato
 Teléfono : 0999864891
 e-mail : carlos.murillo7@utc.edu.ec
 Educación Primaria : Unidad Educativa “Luis A. Martinez”
 Educación Secundaria : Unidad Educativa “Guayaquil”

**ESTUDIANTE (II)**

Nombre : Kevin David
 Apellido : Paucar Flores
 Fecha de Nacimiento : 31/07/1995
 Estado Civil : Soltero
 Nacionalidad : Ecuatoriano
 Cedula N° : 180472566-9
 Domicilio : Quero/Parroquia Yanayacu
 Teléfono : 0992855811
 e-mail : kevin.paucar9@utc.edu.ec
 Educación Primaria : Unidad Educativa “Ecuador”
 Educación Secundaria : Unidad Educativa “Guayaquil”

**Área de conocimiento:**

En la tabla 1.1 se indican las áreas de conocimiento, de acuerdo a los campos de educación y capacitación CINE de la UNESCO

Tabla 1: Áreas del conocimiento del proyecto

Campo Amplio	Campo Específico	Campo detallado
07 Ingeniería y construcción	081 Ingeniería y profesiones afines	0711 Ingeniería y procesos químicos 0713 Electricidad y energía 0714 Electrónica y automatización

Fuente: UNESCO (2017)

Línea de Investigación:

Conversión y uso racional de la energía eléctrica. (Se relaciona con la línea de energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental).

Sub líneas de investigación de la Carrera:p

Calidad de energía

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El desconocimiento por parte de las autoridades encargadas de la administración del alumbrado público de la avenida Luis Aníbal Granja, sobre el control de los parámetros eléctricos que garanticen un servicio energético continuo, ha provocado que las luminarias operen fuera de los niveles adecuados ocasionando daños en los equipos y disminución de su vida útil.

El servicio del alumbrado público tiene como finalidad satisfacer las condiciones básicas de iluminación de las calles, avenidas y vehículos. La demanda de este servicio es requerida constantemente debido al crecimiento de la población y del desarrollo urbano, por lo que es necesario ofrecer una iluminación eficiente. Sin embargo, la instalación de luminarias de vapor de sodio ha ocasionado problemas como la inyección de armónicos y el aumento de consumo de energía lo que origina un servicio deficiente y costoso.

El propósito del proyecto es analizar el estado actual del alumbrado público de toda la avenida, para determinar si cumple con los estándares nacionales e internacionales basada en la norma CONELEC 008/11, que tiene como objetivo normar las condiciones técnicas, económicas y financieras que permitan a las distribuidoras de energía eléctrica prestar el servicio de alumbrado público general con calidad, eficiencia y precio justo.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El alumbrado público de la avenida Luis Aníbal Granja, debe garantizar una iluminación continua y eficiente, de aquí parte la necesidad de realizar un estudio de la calidad del alumbrado público de la vía. El estudio se enfoca en el análisis de los niveles de armónicos de voltaje y corriente que generan las luminarias tipo LED. La presencia de armónicos en la red eléctrica impide el suministro de energía eficiente, además de acortar la vida útil de las luminarias.

En base a publicaciones hechas sobre los armónicos, las lámparas de vapor de sodio que se encontraban instaladas anteriormente para el alumbrado, son una fuente de inyección elevada de armónicos a la red. De acuerdo a lo expuesto anteriormente es necesario realizar un análisis sobre el nivel de disminución de armónicos al reemplazar estas luminarias por tecnología tipo LED, dichos resultados tienen que ser comparados con lo establecido por las normas nacionales e internacionales.

Al realizar este estudio comparativo se puede comprobar que la iluminación tipo LED es una tecnología más limpia y con menor producción de armónicos, pero para obtener un servicio de alumbrado adecuado se debe regirse a normas que indican el nivel de los parámetros eléctricos, debido a esto se evalúa el servicio desde el punto de vista de la calidad de servicio y desde el energético, para poder efectuar los ajustes necesarios para obtener un sistema eficiente que permita ahorrar recursos económicos.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Al ofrecer un óptimo servicio de alumbrado público, cuyos parámetros eléctricos cumplan con lo que está establecido en las normas nacionales e internacionales, se podrá ofrecer beneficios a nivel social, puesto que al tener una buena iluminación en la vía de estudio, la comunidad obtiene beneficios tales como: seguridad al transitar por la avenida, el confort visual al conducir.

Otro de los beneficios que se obtienen al proveer de un excelente alumbrado público, es el ahorro de energía, el mismo que es determinante para el ahorro económico, logrando un uso racional y eficiente de recursos energéticos, contribuyendo con la conservación del medio ambiente.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1 Situación Problemática

En la actualidad el cambio de las luminarias LED por las luminarias comunes se ha dado de una forma masiva en cada uno de los sectores de consumo: residencial, comercial, industrial y en el alumbrado público. Los actuales sistemas de iluminación están formados por varios componentes como lámparas incandescentes y lámpara fluorescentes, lo que conlleva a tener una baja eficiencia luminosa y el aumento de la gran cantidad de inyección de armónicos a la red eléctrica, a causa del uso de balastos que son requeridos para el funcionamiento de las lámparas fluorescentes.

En el Ecuador el tema de iluminación LED aplicado al alumbrado público es poco conocido, no cuenta con información detallada que indiquen los beneficios y desventajas de utilizar esta tecnología en la iluminación exterior. En la ciudad de Ambato, sector Huachi Chico en la avenida Luis Aníbal Granja, no existe un análisis actual de la cantidad de armónicos que aportan a la red eléctrica y del ahorro técnico y económico, que presentan estas luminarias con respecto a las que estaban instaladas, y a la vez no cuenta con procedimientos de levantamiento de información y de documentos respecto al alumbrado público.

5.2 Planteamiento del Problema

¿Cómo disminuir la contaminación armónica de las luminarias tipo LED del alumbrado público del sector Huachi chico?

6. OBJETIVOS:

6.1. Objetivo General

- Evaluar los niveles de armónicos de voltaje y corriente presentes en las luminarias del alumbrado público de la Avenida Luis Aníbal Granja mediante el análisis de las mediciones realizadas con el equipo analizador de redes para poder detectar posibles fallas en el alumbrado y sus posibles soluciones.

6.2. Objetivos Específicos

- Recopilación de las principales características de luminarias LED en potencia e iluminancia mediante el estudio de la información consultada para obtener las ventajas del uso de la tecnología tipo LED con respecto a los que se encontraban instalados en el área de estudio

- Determinar el nivel de los parámetros eléctricos y de la contaminación armónica de las luminarias tipo LED a través del análisis de los datos obtenidos en mediciones para que a través de simulaciones se pueda encontrar los problemas más representativos que se genera en este sistema de alumbrado público.
- Proponer alternativas de solución a los problemas encontrados a través de un análisis técnico económico de dichas propuestas para cumplir con las regulaciones emitidas nacionales e internacionales y así poder reducir los costos de consumo.

7. Actividades y Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados:

Tabla 2: Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Objetivo 1: Recopilación de las principales características de luminarias LED en potencia e iluminancia mediante el estudio de la información consultada para obtener las ventajas del uso de la tecnología tipo LED con respecto a los que se encontraban instalados en el área de estudio	Análisis de las condiciones actuales del sistema eléctrico del alumbrado público	Levantamiento del diagrama unifilar, distancias y número de luminarias Identificación de la red eléctrica que alimenta a las luminarias LED	Investigación de campo y Observación directa Trabajo de oficina

<p>Objetivo 2: Determinar el nivel de los parámetros eléctricos y de la contaminación armónica de las luminarias tipo LED a través del análisis de los datos obtenidos en mediciones para que a través de simulaciones se pueda encontrar los problemas más representativos que se genera en este sistema de alumbrado público</p>	<p>Estudio y simulación de los datos obtenidos por el analizador de carga</p>	<p>Obtener las mediciones correspondientes para evaluar el estado y el comportamiento de los parámetros eléctricos de las luminarias</p> <p>Visualizar y evaluar el nivel de armónicos presentes en las luminarias</p>	<p>Mediciones con el analizador de carga FLUKER 435</p> <p>Simulación de la red eléctrica de las luminarias para determinar el nivel de armónicos a través del EASY POWER</p> <p>Simulación en el programa DIALUX para conocer el nivel de luminancia e irradiación de las luminarias tanto de vapor de sodio como tipo LED</p>
<p>Objetivo 3: Proponer alternativas de solución a los problemas encontrados a través de un análisis técnico económico de dichas propuestas para cumplir con las regulaciones emitidas nacionales e internacionales y así poder reducir los costos de consumo</p>	<p>Realizar un análisis técnico económico en base a los resultados obtenidos del analizador y de los simuladores</p>	<p>Encontrar las soluciones técnicas y económicas más viables para contrarrestar los problemas que afectan a la vida útil de las luminarias debido a la contaminación armónica</p>	<p>Comparación de las posibles soluciones planteadas en base a las necesidades técnicas y económicas más favorables</p>

Elaborado por: Los Autores

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Introducción

En este apartado se presenta las definiciones básicas relacionadas con el diseño de un sistema de iluminación, que son fundamentales para el entendimiento de este proyecto de investigación, además se estudia las tecnologías de iluminación existentes, poniendo énfasis en las tecnologías que van a ser objeto principal de estudio, como son: las lámparas convencionales y las de tecnología tipo LEDs.

Finalmente se hace un repaso sobre los conceptos referidos a calidad de energía eléctrica, tratando especialmente sobre los armónicos, que producen los dos tipos de luminarias que se van a utilizar para realizar la comparación, además se definirá los indicadores de calidad que se tiene que cumplir de acuerdo a normas nacionales e internacionales.

8.2 Alumbrado Público

La principal función del alumbrado público es permitir la circulación en horas de la noche o en áreas oscuras (túneles), con niveles aceptables de seguridad y confort, tanto para conductores como para peatones. Con el pasar del tiempo el alumbrado público ha constituido, un servicio básico debido a que la funcionalidad del alumbrado ha aumentado, como prevención del crimen, mejora en la economía de las ciudades gracias a su estética, facilidad en la orientación para peatones y conductores, seguridad en el tráfico, y seguridad social de los peatones y residentes

Las funciones del alumbrado público suelen estar definidas con base en los siguientes aspectos:

- Ubicación (urbana o rural)
- Sector (industrial, residencial, comercial)
- Función de la red (flujo, acceso, local)
- Infraestructura (doble carril, un solo carril)

Los requisitos fotométricos se suelen expresar en términos de luminancia para las vías destinadas al tráfico de automotores, mientras que para las vías locales y residenciales se evalúa en términos de iluminancia [1].

8.3 Clasificación de las vías

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

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

Se ha introducido una clasificación de las luminarias en función de la diferente densidad de tráfico y de la composición del mismo, datos que determinan su importancia en la red general de vías públicas.

En la tabla 3, se resumen las características de las vías públicas según la clasificación:

Tabla 3: Clasificación de las vías públicas

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

Fuente: [2]

8.4 Luminarios

En el mercado existe una amplia variedad de luminarios, cuya eficiencia varía notablemente. Para identificar los de mayor eficiencia es necesario evaluar el nivel de iluminación y la forma de distribuir la luz: ésta también tiene relación con la altura de montaje y separación entre postes. En la figura 1 se indican los tipos de luminarios usadas en alumbrado público vista lateral y frontal.

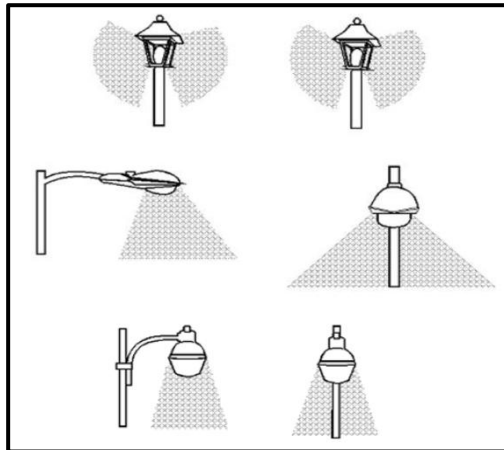


Figura 1: Tipos de luminarios usados en alumbrado público vista lateral y frontal

Fuente: [3]

El luminario aloja los elementos activos del sistema como los controles el balastro y la lámpara: puede iluminar con curva alargada longitudinalmente o curva circular según se utilice para vialidades o para tramos especiales de las mismas o en áreas abiertas. Según la figura 2 las luminarias se colocan en una curva longitudinalmente, mientras que en la figura 3 las luminarias se colocan en curvas circulares.

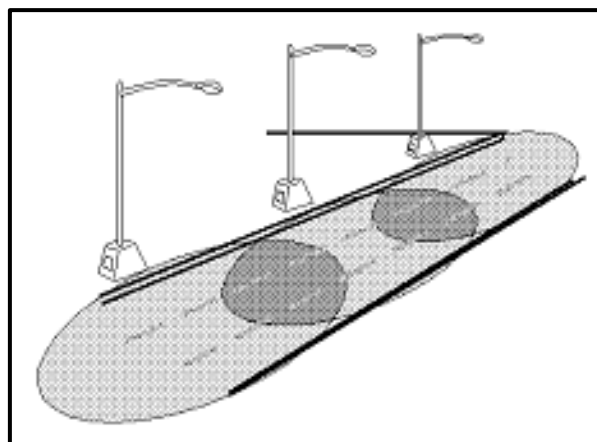


Figura 2: Curva alargada longitudinalmente

Fuente: [3]

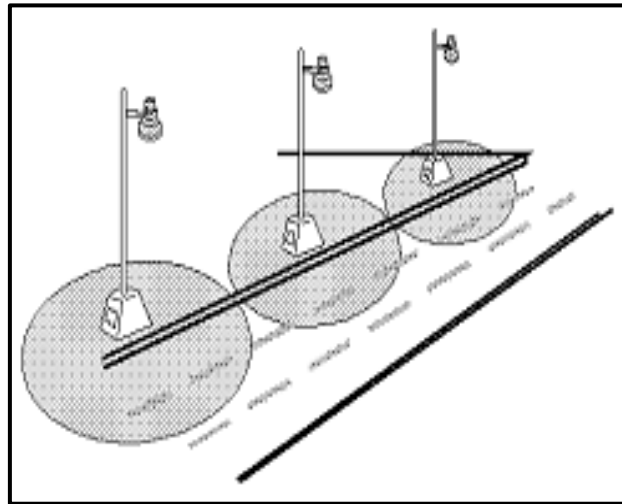


Figura 3: Curva circular

Fuente: [3]

La selección de uno u otro, así como el espaciamiento, altura, número de hileras y el tipo de acabado de la superficie reflejante receptora de la luz, depende del criterio de diseño del sistema. Como se puede observar, hay que tomar en cuenta diferentes aspectos para alcanzar la calidad total del servicio.

8.4.1 Factores de los que depende la decisión de iluminar una vía

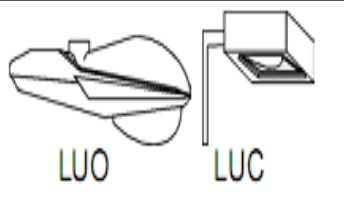
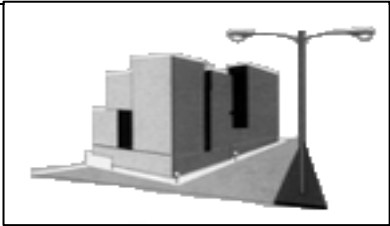
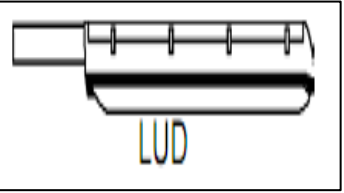
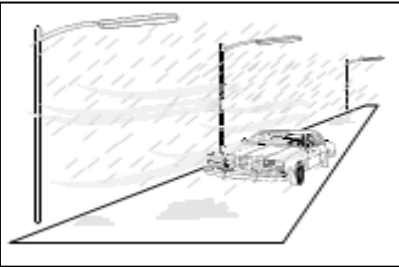
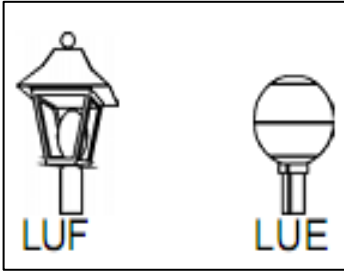
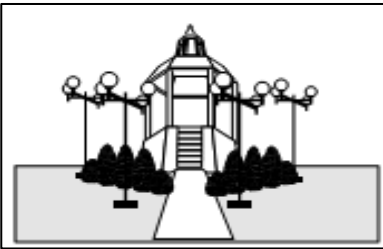
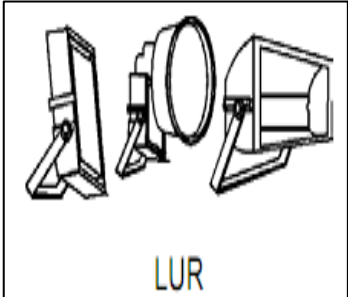

Los factores más importantes que determinan si una vía debe ser iluminada son:

1. La naturaleza de la vía (por ejemplo, autopista o carretera) determinada en función de su trazado y también por la proporción de accidentes nocturnos.
2. La intensidad y composición del tráfico (por ejemplo, tráfico rápido o mezcla de rápido y lento)
3. Los puntos peligrosos y otras situaciones especiales tales como, intersecciones con otras carreteras, pasos para peatones, ciclistas y otras interrupciones en la continuidad del tráfico, que pueden presentar a los conductores situaciones inesperadas, fundamentalmente durante las horas de oscuridad [3].

8.4.2 Uso adecuado de Luminarios

Los tipos de luminarios que se ilustran a continuación son los más usuales en alumbrado de vialidades y exteriores. A cada uno de ellos se le ha asignado una clave para facilitar su identificación. El uso eficiente se alcanza cuando se ubican en los espacios y lugares adecuados. En la tabla 4 se indica el uso adecuado de cada luminaria utilizada para el alumbrado público.

Tabla 4: Uso adecuado de luminarios

Luminario		Lugar o espacio
		Vialidades vehiculares
		Autopistas, puertos, zonas abiertas de terminales y zonas con neblina
		Plazas, parques y jardines
		Iluminación decorativa de edificios, monumentos y fuentes

Fuente: [3]

Los tipos de lámparas pueden agruparse en:

- Incandescentes
- Fluorescentes
- De descarga de alta intensidad
- Inducción
- LED

De estos tipos de lámparas, las de mayor demanda en exteriores actualmente son las de descarga de alta intensidad. En la tabla 5 se indica la clasificación de las luminarias, identificando su uso y eficiencia de cada luminaria, en base al uso del alumbrado público.

Tabla 5: Clasificación de lámparas

Tipos		Uso	Eficiencia	
Incandescencia	Lámpara de filamento	Sólo se justifica en poblaciones aisladas, en forma provisional o en casos especiales; no recomendable	Baja	
Fotoluminiscencia	Fluorescentes	Recomendado ocasionalmente para pasos a desnivel y	Media/alta	
	Descarga gaseosa de alta intensidad	Sodio de alta presión	Alumbrado en exteriores, ocasionalmente en locales interiores grandes; recomendable	Alta
		Aditivos metálicos	Fachadas y monumentos, parques y jardines	Media/alta
Electroluminiscencia	Luz emitida por diodos	LED	Alumbrado en exteriores e interiores recomendable	Alta

Fuente: [3]

8.4.3. Tipos de luminarias utilizadas en alumbrado público

8.4.3.1 Lámparas de Mercurio de Alta Presión

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

abarca casi todo el espectro visible lo que nos proporciona una luz blanca amarilla mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión

El funcionamiento de estas lámparas se da a temperaturas elevadas, a una alta presión y el tubo de descarga debe soportar una gran agresión química que produce el sodio. El tubo está rodeado por una ampolla en el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.

Eficacia luminosa

La eficacia luminosa de aquellas que contienen recubrimientos fluorescentes es mayor que las que no lo tienen. Por ejemplo, una lámpara de igual potencia con recubrimiento fluorescente de 250 W llega a 51 lm/W o mayor frente a 46 lm/W en el caso que no contenga dicho recubrimiento. Además, la eficacia luminosa depende de la potencia, por ejemplo, para una lámpara de mercurio de alta presión de color mejorado de 80 W es de alrededor de 41 lm/W frente a 59 lm/W para una lámpara de 1 kW. Cabe observarse que la eficacia de una lámpara de vapor de mercurio es muy inferior a las de fluorescentes y de sodio de alta presión.

Vida útil

La vida útil de una lámpara de mercurio de alta presión se encuentra entre valores de 12 000 a 16 000 horas, dependiendo de la potencia. En la figura 4 se señala las características constructivas de las luminarias de mercurio de alta presión.

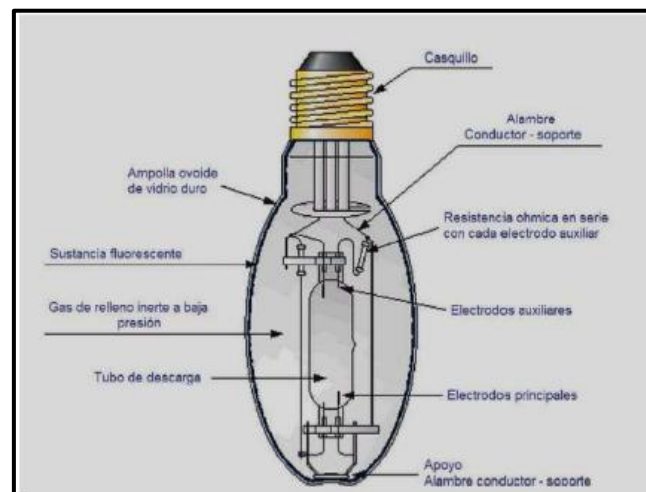


Figura 4: Característica constructiva típica de una lámpara de mercurio de alta presión

Fuente: [4]

Energía Espectral

En la figura 5 se indica la energía espectral de las luminarias de mercurio de alta presión, donde se visualiza el consumo mayor de energía.

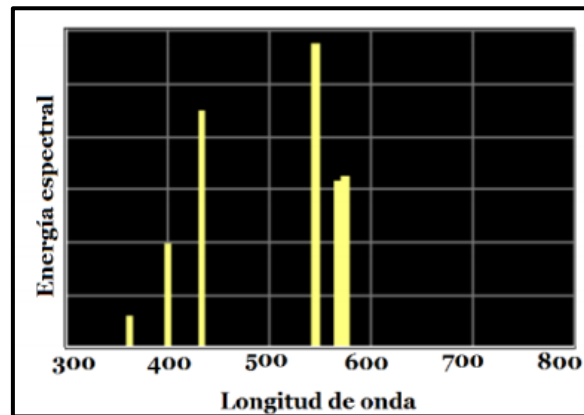


Figura 5: energía espectral

Fuente: [4]

8.4.3.2 Vapor de Sodio Alta Presión

Este tipo de lámparas a diferencia con las de baja presión es la cantidad de sodio que almacenan, estas lámparas poseen mayor cantidad, y además de este componente poseen mercurio y xenón, que son los que permiten que sea viable el encendido de la lámpara y a su vez limitan la elevación de calor en las paredes del tubo por el arco de descarga que se produce.

Eficacia luminosa

Como se indicó la eficacia decrece a medida que la presión de vapor de sodio aumenta debido al ensanchamiento y posterior desaparición del doblete del sodio, con lo que se elimina la radiación en la zona donde el sistema visual es más sensible. Otro factor que influencia la eficacia es la composición y presión del gas amortiguador y de arranque en el tubo de descarga. Como la conductividad térmica del sodio es alta, la eficacia luminosa es baja, pero a fin de contrarrestar este efecto se usan gases de amortiguación y arranque de baja conductividad térmica, a presiones mucho mayores que el vapor de sodio. Si se aumenta la presión del xenón desde 20 kPa a 200 kPa, la eficacia luminosa aumenta entre un 10 a 15 %, sin cambiar sus características de color, aunque la desventaja es que se necesitan ayudas extras para el arranque.

Vida útil

La vida útil para estas lámparas es de aproximadamente 16 000 horas dependiendo de su diseño. Sin embargo, este valor está limitado por el aumento en la tensión, aunque lento, que ocurre durante su vida. Este aumento es principalmente debido al ennegrecimiento de los extremos del tubo de arco debido a la dispersión del material emisor del electrodo. En la figura 6 se señala las características constructivas de las luminarias de mercurio de alta presión

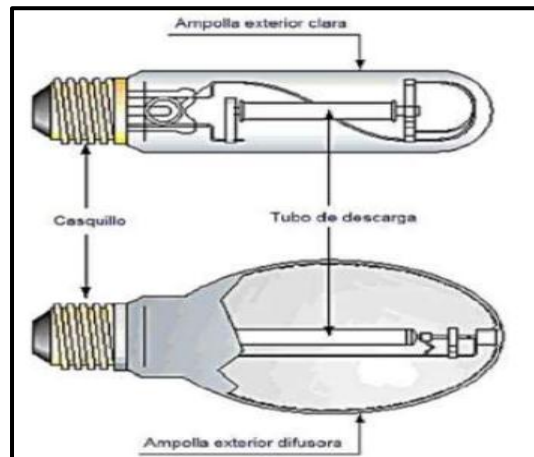


Figura 6: Característica constructiva típica de una lámpara de mercurio de alta presión

Fuente: [4]

En la figura 7 se indica la energía espectral de las luminarias de mercurio de alta presión, donde se visualiza el consumo mayor de energía

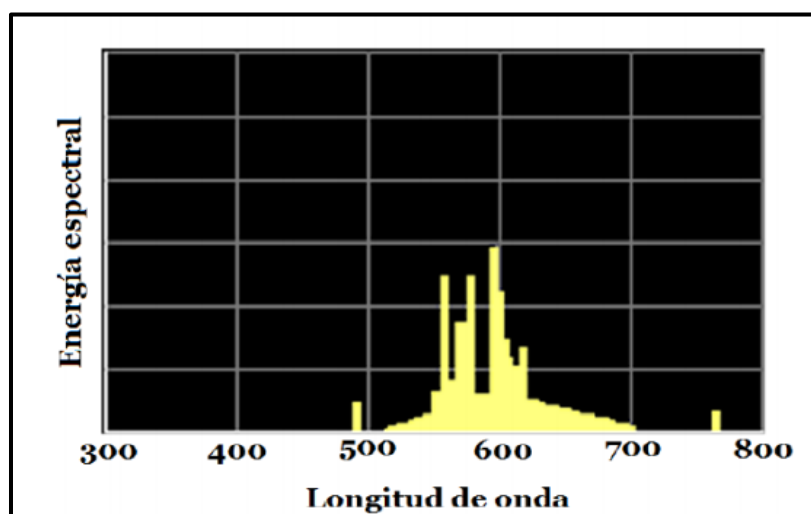


Figura 7: Característica constructiva típica de una lámpara de sodio de alta presión

Fuente: [4]

8.4.3.3. Luminarias LED

Las lámparas LED están conformados por bancos reunidos de diodos emisores de luz, es decir que una lámpara de este tipo está compuesta por una cierta cantidad de LEDs, esta cantidad va de acuerdo a la fuente luminosa a la que se desea llegar comparándose con lámparas de uso común como las fluorescentes y las incandescentes. Esta lámpara se caracteriza además por ser de estado sólido.

Este tipo de lámpara LED es usada para iluminación exterior, está compuesta por bancos de LEDs de alta luminosidad, empleada en calles y avenidas. Fue creada con el objetivo de sustituir a sus equivalentes en alumbrado público o exterior, como son las lámparas de vapor de sodio y de mercurio. Por ser construida bajo similares condiciones de todas las lámparas LED, posee las mismas características de bajo consumo y de vida útil además de su impacto en el medio ambiente [3].

En la figura 8 se indica los tipos de luminarias LED, que se usan comúnmente en el alumbrado público, debido a sus propiedades lumínicas.



Figura 8: Lámpara LED

Fuente: [4]

La tabla 6 indica las características de las luminarias LED, donde se especifica la vida útil y la eficiencia luminosa de cada luminaria.

Tabla 6: Lámpara LED

CARACTERÍSTICAS		
Vida Útil	30 000 - 50 000	Horas
Eficiencia Luminosa	70 - 120	Lm/W

Fuente: [4]

A continuación, se enumeran algunas de las ventajas de la iluminación LED frente a las tecnologías incandescentes y fluorescentes:

- Bajo consumo de energía, en esto se debe tener en consideración la tecnología con la que se está comparando el led, si lo que se requiere es hacer un reemplazo uno a uno con respecto a la tecnología de Na se usa **la relación 81 W Na por 50 W en Led**, se debe tener en cuenta que este reemplazo se realiza bajo los parámetros de eficiencia en el que es importante mantener los niveles de iluminación con un menor consumo de potencia activa; en cuanto a la relación de reemplazo uno a uno de las tecnologías fluorescentes, la relación es más estrecha debido a la buena efectividad de la tecnología fluorescente.
- Mayor tiempo de vida útil, oscila entre las 30 000 horas y 50 000 horas.
- En la mayoría de las luminarias de Alumbrado Público se encuentran dispositivos de protección contra sobrecorrientes independiente de la potencia de la misma, a diferencia de las luminarias de Sodio donde se encuentran fusibles para las luminarias con potencia mayor a 150 W.
- No existe presencia de mercurio evitando así la contaminación del medio ambiente, a diferencia de las demás tecnologías que cuentan con este componente.
- En iluminación interior, los tubos fluorescentes además de presentar mercurio producen campos magnéticos debido a su sistema de inducción magnética, es por esto que la tecnología Led presenta esta ventaja en relación a la tecnología Fluorescente al no producir campos magnéticos reduciendo de una manera significativa los niveles de radiación residual hacia el ser humano.
- En cuanto a su IRC (índice de reproducción cromática) presentan niveles superiores con respecto a las demás tecnologías, reproduciendo así mayores longitudes de onda lo que la hace más similar a la luz natural.
- Minimizan la contaminación por ruido producida por los balastos en las líneas de distribución y de usuarios finales.
- Se debe tener en consideración que se establece la comparación entre las luminarias de tecnología convencional versus su equivalente en tecnología led por flujo luminoso establecido a través de prueba de fotometría. [4]

En la figura 9 se indica un diagrama comparativo de eficiencia entre algunos tipos de lámparas tratados en el apartado anterior:

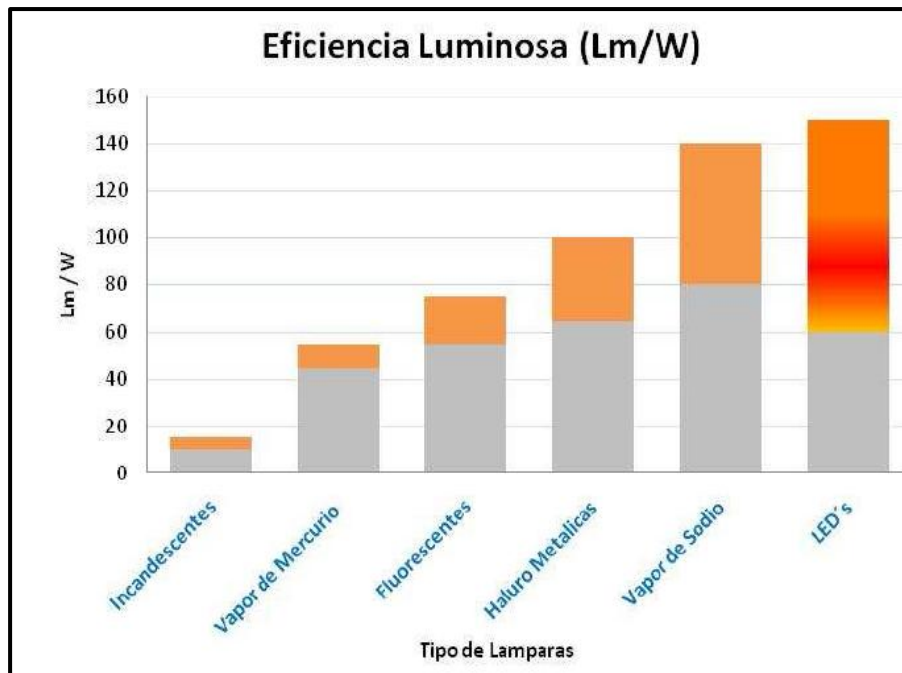


Figura 9: Eficiencia Luminosa

Fuente: [7]

La selección de uno u otro, así como el espaciamiento, altura y número de hileras, y el tipo de acabado de la superficie reflejante receptora de la luz, depende del criterio de diseño del sistema. Como se puede observar, hay que tomar en cuenta diferentes aspectos para alcanzar la calidad total del servicio. Los tipos de luminarios que se ilustran a continuación son los más usuales en alumbrado de vialidades y exteriores. El uso eficiente se alcanza cuando se ubican en los espacios y lugares adecuados. [6]

8.4.3.4 Parámetros de la iluminación LED

Para poder saber que tan bien se está iluminando un área determinada, es necesario tomar mediciones, para lo cual, se deben definir primero los parámetros relacionados con las mediciones de iluminación. Entre ellos se tiene:

Lumen: Es la unidad de la cantidad de luz o flujo luminoso (Φ) emitida por una fuente de luz puntual de una candela de intensidad dentro de un ángulo sólido de un estero radian por unidad de tiempo (un segundo).

Candela: Es la unidad de la intensidad luminosa (I) de una fuente de luz en una dirección dada producida en un $1/600\ 000$ de metro cuadrado de un cuerpo negro radiante a la temperatura de solidificación del platino.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} = \frac{\text{lumen}}{\text{esteroradian}} = \text{Candela} \quad (1)$$

Flujo luminoso: es la cantidad total de luz radiada o emitida por una fuente durante un segundo y que produce sensación luminosa en el ojo humano. En la figura 10 se señala el flujo luminoso de las luminarias

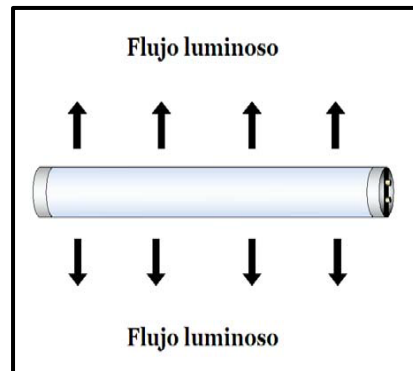


Figura 10: Flujo luminoso.

Fuente: [7]

Rendimiento luminoso (eficacia luminosa): Indica el flujo luminoso que emite una fuente de luz por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Se representa por la letra griega ϵ y su unidad es el lumen/vatio (lm/W).

$$\epsilon = \frac{\Phi_L}{P} \text{ [lm/W]} \quad (2)$$

Donde:

ϵ : Eficacia luminosa (lm/W)

P : Potencia activa (W)

En la figura 11 se señala la representación de la eficacia luminosa o del rendimiento luminoso:

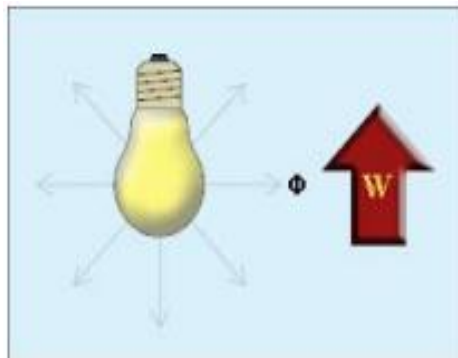


Figura 11: Representación de la eficacia luminosa

Fuente: [9]

Intensidad luminosa: Es la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa misma dirección, medido en estereorradianes (sr) [7].

$$I = \frac{\Phi_L}{\omega} [lm/W] \quad (3)$$

$$\omega = \frac{S}{r^2} [lm/W] \quad (4)$$

Donde:

I: Intensidad luminosa (cd)

Φ_L : Flujo luminoso (lm)

ω : Ángulo sólido (sr)

r: Radio de proyección (m)

En la figura 12 se señala la representación de la intensidad luminosa de las luminarias, estos conceptos se estudiarán más adelante.

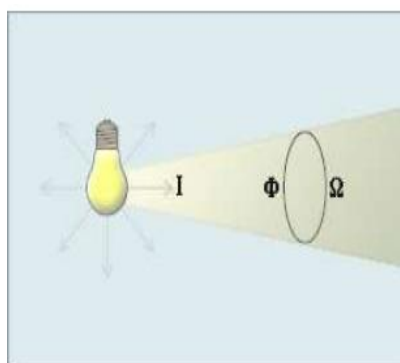


Figura 12: Representación de la intensidad luminosa

Fuente: [9]

Factor de Uniformidad General de Iluminancia LED

Es la relación entre el nivel de iluminación mínimo y el nivel de iluminación medio sobre una superficie de trabajo. Se simboliza por U_m y su unidad está dada en porcentaje (%).

Su expresión es:

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (5)$$

Curvas de distribución luminosa de lámparas de alumbrado publico

También se conocen como curvas fotométricas y es un diagrama polar donde se representa la intensidad luminosa de una luminaria, estas curvas se obtienen al tomar mediciones de la intensidad luminosa desde distintos ángulos alrededor de una luminaria. Cada luminaria tiene una curva de distribución en particular, lo cual permite escoger la más adecuada para una aplicación determinada. En la figura 13 se representa las curvas de distribución luminosa de las luminarias de estudio.

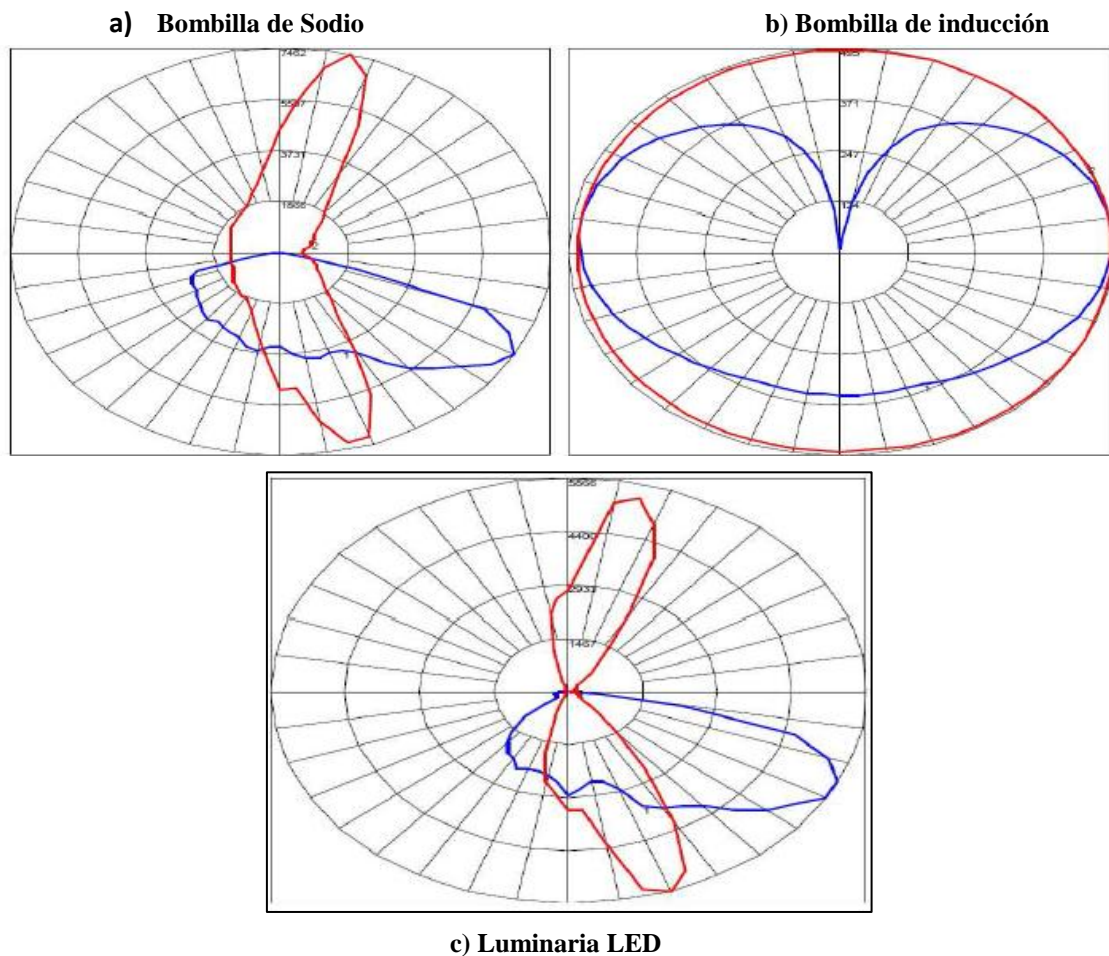


Figura 13: Curvas fotométricas de lámparas de estudio

Fuente: [1]

8.5 Nivel de Luminancia

La luminancia, es la medida de la brillantez de la superficie con la cual es percibida por un observador, por esto, el nivel de luminancia en la superficie de una calzada, influye sobre la sensibilidad a los contrastes del ojo del conductor y sobre el contraste de los

obstáculos en la vía con respecto al fondo; tiene una influencia directa sobre el rendimiento visual de los conductores.

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

8.5.1 Uniformidad de luminancia

El rendimiento como para la comodidad visual del conductor de un vehículo. Existen dos criterios de uniformidad, el uno es la uniformidad global designada por U_o y el otro criterio es el de la uniformidad longitudinal designada por U_l .

La uniformidad global y longitudinal, se definen así:

$$U_o = \frac{L_{min}}{L_{med}} \quad (6)$$

$$U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}} \quad (7)$$

Donde:

L_{min} : Luminancia mínima

L_{med} : Luminancia media

L_{max} : Luminancia máxima

8.6 Factor de Utilización

El factor de utilización de una luminaria se puede definir como la relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie, y el nominal emitido por la lámpara instalada. Este factor se obtiene de las curvas de utilización de la luminaria facilitadas por el fabricante.

$$f_u = \frac{\Phi_{superficie}}{\Phi_{lámpara}} \quad (8)$$

$\Phi_{superficie}$: Flujo de superficie

$\Phi_{lámpara}$: Flujo de lámpara

8.7 Factor de Mantenimiento

En el alumbrado público debe tenerse en cuenta al realizar los cálculos de la depreciación luminosa, a causa del envejecimiento de la lámpara y de la luminaria, por una parte, la pérdida de luz, por la suciedad que se va depositando sobre ambos elementos. El factor de mantenimiento puede considerarse como el producto de tres componentes:

$$FM = FE * DLB * Fb \quad (9)$$

Donde:

FM : Factor de Mantenimiento

FE: Depreciación de la luminaria por suciedad

DLB: Depreciación por disminución de flujo luminoso de la bombilla

Fb: Factor de balastro

8.8 Relación entre separación y altura de los puntos de luz

Esta relación afecta directamente a la uniformidad de la iluminación que se consigue sobre la calzada, a los valores absolutos de las luminancias y a las características fotométricas de la luminaria.

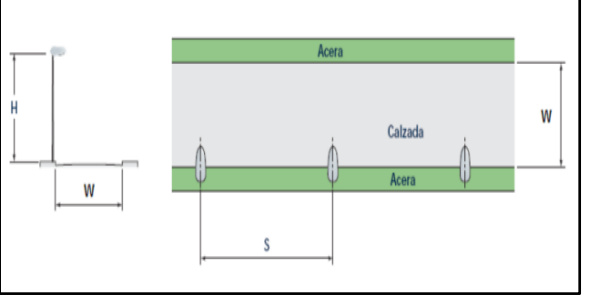

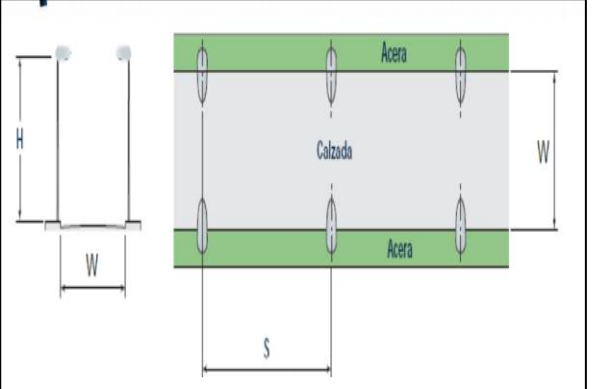
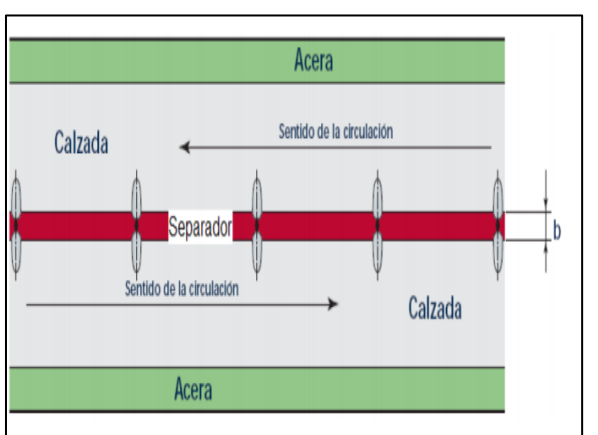
A medida que esta relación disminuye, la uniformidad de la iluminación es más elevada y mejor el reparto de luminancias, consiguiéndose una mayor comodidad visual para los usuarios de la calzada, esto causa un inconveniente ya que la instalación tendría un costo mayor, ya que es necesario distanciar menos las unidades luminosas o situar los puntos de luz a una mayor altura. De aquí que esta relación debe ser un compromiso entre las necesidades cualitativas de la iluminación y las posibilidades económicas por satisfacerlas [10].

8.9 Sistema de localización de las luminarias

Existen cuatro tipos de disposición, que son: disposición unilateral, disposición bilateral alternada (Zig-Zag), disposición bilateral opuesta, y disposición central doble. Se pueden obtener otras disposiciones de las combinaciones de estos cuatro tipos básico [3].

En la tabla 7 se indica la disposición de las luminarias en la vía:

Tabla 7: Comparación de luminarias

Disposición de las luminarias	Diagrama
<p>Disposición Unilateral: en esta disposición se instalan las luminarias a un solo lado de la vía. Para esto se debe utilizar la luminaria más apropiada que cumpla con los requisitos fotométricos, altura de montaje, interdistancia y menor potencia eléctrica</p>	
<p>Disposición Bi lateral Alternada (Zig – Zag): Cuando la vía presenta un ancho W superior a la altura de montaje H de las luminarias ($1,0 < (W/H) < 1,50$)</p>	
<p>Disposición Bilateral Opuesta: Cuando la vía presenta un ancho W muy superior a la altura de montaje H de las luminarias ($1,25 < (W/H) < 1,75$). En este caso, la iluminación consta de dos filas de luminarias: una a cada lado de la vía y cada luminaria se encuentra enfrentada con su correspondiente del lado contrario</p>	
<p>Disposición central doble: Donde los carriles de circulación en una dirección y otra se encuentran separados por un pequeño parterre que no debe ser menor de 1,5 m de ancho y no mayor a 4 m de ancho</p>	

Fuente: [2]

8.10 Limitación del Deslumbramiento

El deslumbramiento es el fuerte brillo que se presenta en el campo visual del conductor, este brillo es causado por la distribución fotométrica de la luminaria. El deslumbramiento hace que la visibilidad del conductor disminuya debido a los contrastes que se presentan en la vía. Conviene distinguir dos formas de deslumbramiento: el fisiológico que disminuye inmediatamente la capacidad visual del ojo por consiguiente la visibilidad y, el deslumbramiento psicológico, disminuye la comodidad visual y puede provocar nerviosismo y fatiga. Otros factores como superficies con alto factor de reflexión, superficies pulidas, señales y fuentes de luz extrañas, pueden también producir deslumbramiento. Normalmente, para cualquier luminaria o lámpara dada, el deslumbramiento se reduce cuando:

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

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

8.11 Coeficiente de iluminación en los alrededores

El coeficiente de iluminación en los alrededores es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta manera se asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores. Se obtiene calculando la iluminancia media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada [11].

En la figura 14 se señala el espacio que debe existir entre las luminarias y la calzada.

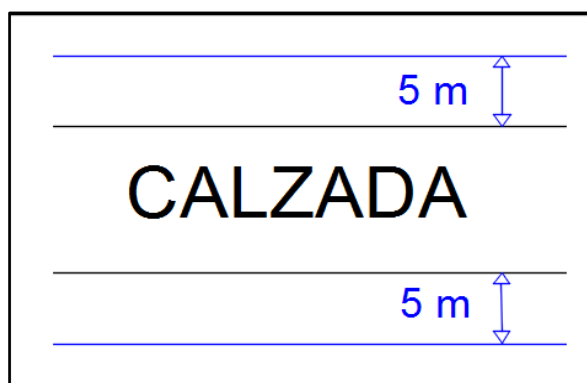


Figura 14: Coeficiente de iluminación en alrededores

Fuente: [11]

Desde el punto de vista constructivo y de iluminación, considerando también la importancia y características de la calle por luminar, existen distintas posibilidades de disposición de las luminarias, las más comunes son las que se mencionan a continuación.

8.12 Guiado visual y óptico

Para una circulación segura deben ser perfectamente visibles: el trazado de la vía, los límites de la misma, los posibles cruces y cualquier otro punto singular. El sistema de iluminación ha de contribuir a lograr esto, y para ello se requiere necesario lo siguiente:

- Incrementar la visibilidad de la calzada con respecto a las zonas aledañas y la visibilidad de las señales que sirve como guía y es parte de la calzada.
- La disposición de las luminarias ha de permitir detectar la suficiente distancia de la vía en el curso de la vía, los puntos de cruce y otros puntos singulares que contribuyan al guiado visual

A continuación, se define el guiado visual y óptico:

8.13 Guiado visual

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

8.14 Guiado óptico

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

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

8.13 Altura de Montaje de iluminación

La altura de montaje depende de la potencia luminosa de la fuente de luz, la distribución de la intensidad luminosa de la luminaria y el ancho de la calzada; mientras más potente

sea la fuente de luz y más ancha sea la calzada, mayor debe ser la altura de montaje requerida, para evitar excesivo deslumbramiento y proveer suficiente uniformidad transversal.

Por regla general, se considera apropiada una altura de montaje de 7,5 a 10,5 m; mientras que para luminarias de muy alta potencia luminosa, se recomienda una altura de 12 m o mayor. En la tabla 8, se muestran la altura de montaje de luminarias para diferentes potencias de lámparas.

Tabla 8: Altura de montaje de luminarias

Lámpara		Altura de montaje
Sodio alta presión	70 W	Hasta 8 m de altura
Mercurio	127 – 175 W	
Sodio de baja presión	35 – 55 W	
Sodio alta presión	150 – 250 W	Entre 8 y 12 metros
Mercurio	250 – 400 W	
Sodio de baja presión	90 – 135 W	
Sodio alta presión	400 W	Mayores a 12 metros
Mercurio	400 W	
Sodio de baja presión	180 W	

Fuente: [2]

8.14 Saliente de las luminarias

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

La longitud del brazo debe ser seleccionada de acuerdo al ancho de la calle como se sugiere a continuación en la tabla 9:

Tabla 9: Longitud del brazo de las luminarias

Ancho de la Calle	Longitud de brazo
4 m a 8 m	1,20 m
8 m a 10 m	1,80 m
10 m o más	2,40 m

Fuente: [2]

8.15 Ubicación de las luminarias

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

- La disposición unilateral se admite generalmente cuando el ancho (W) de la vía por iluminar es inferior a la altura (H) de las luminarias ($W < H$).
- En el caso de vías dobles, si el separador es estrecho y si las dos vías responden a la condición ($W < H$), la disposición más económica consiste en colocar sobre el separador postes provistos con dos luminarias que dirigen su flujo luminoso, respectivamente, hacia cada una de las vías laterales; sin embargo, la mejor solución luminotécnica consiste en colocar las luminarias en direcciones opuestas sobre el borde exterior de las dos vías.
- Las disposiciones bilaterales opuesta y alternada se recomiendan por lo general cuando el ancho de la vía es superior a la altura de las fuentes ($W > H$). Estas disposiciones aseguran en efecto una buena repartición de las zonas brillantes sobre la calzada. Para una vía medianamente ancha se recomienda la disposición bilateral alternada, mientras que para la vía muy ancha se recomienda adoptar la disposición bilateral opuesta.
- En el caso de vías dobles, con un separador medianamente ancho (3 a 5 m), se recomienda una disposición de las luminarias en direcciones opuestas sobre cada borde exterior de las dos vías, con una serie de luminarias intercaladas sobre el separador central si fuera necesario. Esto equivale a la disposición bilateral alternada para cada una de las calzadas [3].

8.16 Postes de alumbrado publico

Para alumbrado exterior en sus distintas modalidades, ya sea de calles avenidas y jardines. Uno de los elementos complementarios en algunos casos para luminarias, son los postes, llamados elementos de montaje pero que deben cumplir con ciertas solicitudes

mecánicas, como son: la carga que representa el viento, la carga por hielo o nieve en algunos casos, además deben resistir la acción corrosiva de los agentes atmosféricos y también poco pesados para facilitar el transporte, su instalación o su sustitución. Pueden tener distintas formas de acuerdo a su aplicación y desde el punto de vista del material, pueden estar constituidos de:

DE ACERO: Son muy usados por sus propiedades mecánicas cuando se emplean en ambientes corrosivos. Deben de ser debidamente tratados (galvanizados y/o con pintura anticorrosiva). Tienen la ventaja de tener un peso inferior a los postes de cemento.

DE CEMENTO ARMADO: Estos postes también son muy usados, sobre todo en algunas áreas corrosivas, tienen la ventaja de tener una larga duración sin requerir prácticamente de mantenimiento, tienen la desventaja de su peso que es elevado y que se refleja sobre los costos de montaje e instalación.

DE ALUMINIO: El peso es mucho menor que el de los dos tipos anteriores, esto reduce la dificultad constructiva, prácticamente no requieren mantenimiento, puesto que no son atacados por el medio ambiente. La desventaja de estos postes es su costo, que generalmente es superior a los de acero o de concreto armado. En la tabla 10 se indica la longitud del brazo que va dependiendo del ancho de la calle.

Tabla 10: Longitud del brazo de las luminarias

Ancho de la calle (metros)	Longitud del brazo (metros)
4 a 8	1,20
8 a 10	1,80
10 o más	2,40

Fuente: [3]

8.16.1 Espaciamiento entre postes de alumbrado publico

Este parámetro depende mucho de la calidad fotométrica de la luminaria y debe ser calculado en base a las curvas isolux propias de cada luminaria. Para una luminaria y fuente de luz en particular, montada a una altura predeterminada, el espaciamiento está determinado por el nivel promedio de luminancia recomendado para la calzada en consideración.

8.16.2 Distancia entre luminarias de alumbrado publico

Cuando está definida la altura de la luminaria, se puede calcular la distancia entre postes o centros luminosos. Valores indicativos de la relación distancia entre luminarias contra altura como valores indicativos se dan en la tabla 11:

Tabla 11: Relación distancia entre luminarias a la altura de montaje

Tipo de luminaria	Lámpara con gran superficie emitente	Lámpara de emisión concentrada (clara)
Cubierta	2,8 a 3,2	3,0 a 3,5
Semicubierta	3,0 a 3,5	3,2 a 3,5
Abierta	Diferente a 3,5	Diferente a 3,5

Fuente: [3]

8.16.3 Superficie de la calzada

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

- a) La claridad del color
- b) La textura
- c) El grado de desgaste y suciedad
- d) La presencia de agua.
- e) Las características de reflexión afectan directamente

Las características de reflexión afectan directamente tanto el nivel como la uniformidad de luminancia de la calzada y deben, por tanto, ser tomadas en cuenta en el diseño del sistema de alumbrado. No existe una clasificación exacta de los pavimentos de las vías ni un método simple que permita clasificarlos desde sus características fotométricas, sin embargo, se hace la siguiente distinción:

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

El pavimento es de color claro y de superficie rugosa. Debe además presentar una gran resistencia a la fricción y al deslizamiento de los vehículos y su perfil debe ser tal que el agua lluvia se evacúe rápidamente.

8.17 Procedimientos de diseño de alumbrado publico

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

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

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

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

8.18 Alimentación y sistema de distribución de energía eléctrica al Alumbrado Público

Las luminarias se conectan en paralelo con su fuente de alimentación y el voltaje depende de la potencia instalada. El sistema de distribución preferido es por lo general el trifásico con neutro. Distribuyendo las lámparas entre las fases y neutro, de manera que se equilibran las cargas.

En la figura 15 se indica el diagrama de alimentacion trifásica con celdas fotoelectricas.

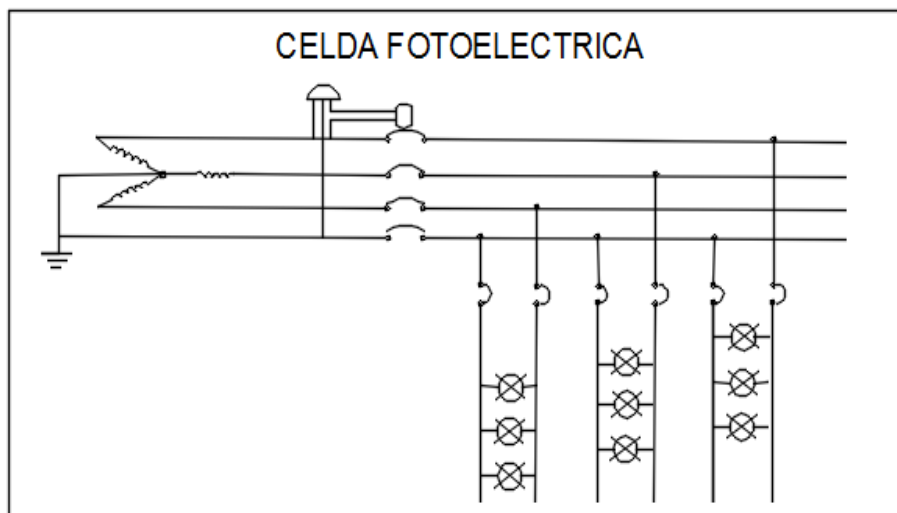


Figura 15: Diagrama de alimentación trifásica con celda fotoeléctrica de encendido

Fuente: [3]

Este sistema de distribución es usado en calles y centros urbanos, así como para calles que se encuentran fuera de las zonas de alta densidad de población. Cada sección de alimentación puede variar entre 300 y 500 metros, con la posibilidad de tener distintos puntos de alimentación. La alimentación con sistemas monofásicos (fase - neutro) se recomienda que se adopte solo en los casos de instalación con cargas pequeñas, es decir, que se alimente a un número reducido de secciones de lámparas.

Para cualquiera de los sistemas de alimentación, la caída de tensión debe estar limitada al 4 o 5 %, este valor está relacionado con la carga (corriente) y la distancia a que se alimentan, por lo que en los circuitos derivados a cada grupo de luminarias se pueden emplear conductores calibre Núm. 12 o 10 AWG, claro está que, a distancias grandes con valores de carga elevados, se deben tener secciones de conductores mayores. El sistema de mando o control de los sistemas de iluminación de calles se puede hacer por medio de un relevador o celda fotoeléctrica o, en ocasiones, por medio de un interruptor termomagnético general con interruptores para controlar cada circuito derivado

8.19 Selección del Transformador

El tipo de transformador a implementar en los lugares de intervención del OR es de tipo convencional; estos deben ser de fácil adaptación en postadura exterior, sumergidos en aceite para evitar los aumentos de temperatura y daños de aislamiento y también deberán ser autorregulados. En cuanto a la capacidad del transformador a seleccionar cabe destacar que este está determinado por el valor nominal de la carga a instalar (KVA de la carga) pudiendo consumir el 100 % de capacidad del transformador; el OR establece que

los transformadores a usar serán de 15 y 25 KVA monofásicos para iluminación independiente de vías.

En otros lugares como escenarios deportivos, zonas verdes o áreas especiales donde los requerimientos lumínicos sean mayores se aceptará la presencia de transformadores de más capacidad para suplir la carga de estas luminarias que en la mayoría de casos son proyectores y reflectores.

8.19.1 Cálculo de la carga por tramos

El cálculo de la carga instalada en un circuito de alumbrado público debe hacerse por tramos, circuitos o de la manera más cómoda y ordenada, a continuación, se presenta la forma como se direcciona dicho cálculo.

$$S(va) = \sum_{i=1}^k (\#luminarias) \times (S \text{ de cada luminaria}) \quad (10)$$

Donde:

S= Potencia aparente total instalada (kVA).

K= Número de referencias de luminarias distintas presentes en el diseño.

I= Tipo de luminaria.

#Luminarias (i) = Número de luminarias instaladas del tipo i en el tramo en consideración.

S/Luminarias (i) = Potencia aparente de la luminaria i.

8.20 Continuidad de Servicio

De acuerdo a la Regulación CONELEC 008/11, señala que el alumbrado público general deberá encendido durante la noche y durante las horas del día en las cuales las condiciones climáticas o de seguridad determinen que sea necesario la iluminación artificial.

El tiempo medio de encendido del alumbrado público general será de doce (12) horas. Dependiendo del tipo de alumbrado y si está ubicado en zonas en las que sea posible su apagado, sin molestar la circulación normal de personas (ciclovías, paseos de parques entre otros), se deberá ubicar dispositivos temporizadores para el control de su operación en horarios especiales [8].

8.20.1 Calidad de Energía

La calidad de energía, se refiere a qué tan cercanas son las señales de voltaje y corriente respecto a la señal fundamental para la operación del sistema de potencia, es decir la señal sinusoidal. Las perturbaciones que afectan la calidad de potencia se pueden clasificar de acuerdo con varios criterios como: amplitud, ancho de banda, duración, permanentes o aleatorias. Para analizar las perturbaciones de tipo permanente, se suele evaluar el comportamiento del sistema entre la frecuencia fundamental y el armónico 50 [7].

Tomando como criterio permanencia o aleatoriedad de las perturbaciones, surges, sags, y swells que se ubican en la categoría de aleatorios, mientras que los armónicos, inter-armónicos, flicker y fluctuaciones de voltaje, se consideran de naturaleza permanente, es decir ocurren en el estado estable del sistema. De las perturbaciones de tipo permanente mencionadas anteriormente, solo los armónicos serán analizados en este proyecto de investigación. La presencia de estos equipos en la red hace que se produzcan perturbaciones en la misma, por lo que este problema está directamente relacionado con la calidad de onda. En la Tabla 12 se muestran las principales perturbaciones de acuerdo al parámetro afectado.

Tabla 12: Perturbaciones de la red

Parámetro afectado	Tipo de perturbación
Amplitud	Ruidos en modo diferencial y modo común Impulsos en modo diferencial y modo común Variaciones lentas de voltaje Variaciones rápidas de voltaje Flicker Microcortes Cortes largos
Formas de onda permanente	Armónicos (distorsión)
Frecuencia	Variaciones de frecuencia
Simetría	Desequilibrios (asimetría)

Fuente: [11]

8.20.2. Distorsión Armónica

La distorsión armónica de corriente y de voltaje aparece principalmente en presencia de cargas de comportamiento no lineal presentes en el sistema. Las cargas no lineales son aquellas en las cuales la corriente no es proporcional a la del voltaje aplicado. La Figura 16 muestra un ejemplo de la circulación de las corrientes armónicas [7].

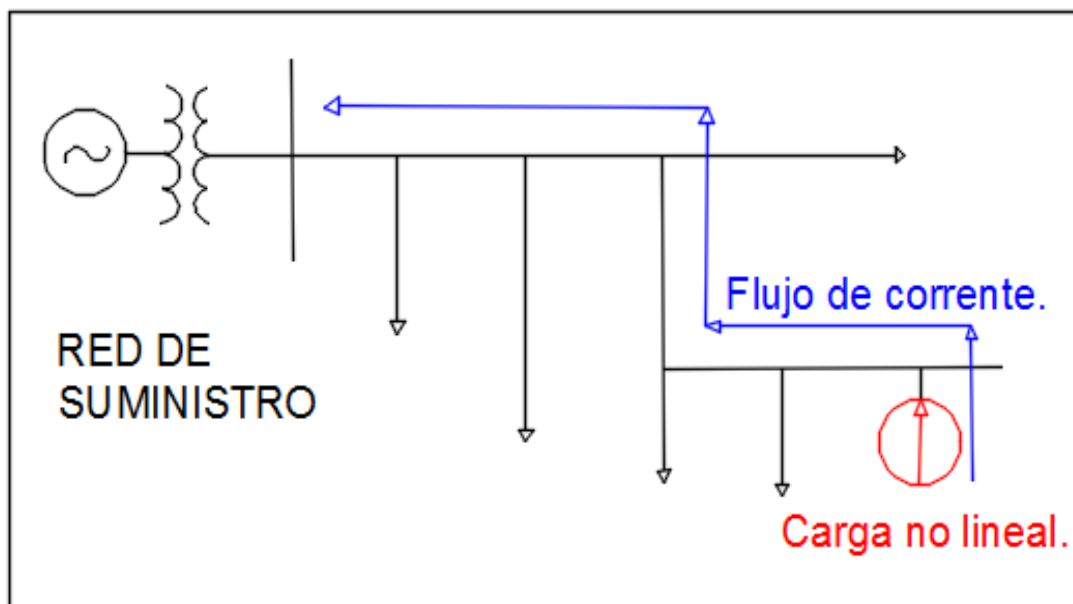


Figura 16: Flujo normal de corrientes armónicas

Fuente: [9]

Se puede observar como el flujo normal de las corrientes armónicas, sin bancos de capacitores, va desde la carga no línea hacia la red de suministro, debido a que éstas fluyen hacia donde se encuentran las impedancias más bajas.

8.20.3. Indicadores de calidad

Para cuantificar la distorsión existente en una señal es preciso definir parámetros e índices que determinen su magnitud y contar con equipos de medición adecuados. A continuación, se presenta los siguientes índices:

8.20.3.1 Distorsión Armónica

La distorsión armónica es causada por varios dispositivos electrónicos utilizados en oficinas o en la industria, como, por ejemplo: fax, computadoras, impresoras, fotocopiadoras y variadores de velocidad. Estos dispositivos distorsionan la señal senoidal corriente y voltaje en los circuitos eléctricos, corrientes transitorias son producidas, algunas de las cuales contribuyen al incremento de la corriente que circula por el neutro en un sistema trifásico.

La distorsión armónica total (THD) se mide en miliamperios y en ocasiones es expresada como un porcentaje de la corriente no distorsionada utilizada por el sistema de iluminación. Debido a que las corrientes armónicas no son útiles para el sistema de iluminación, estas pueden contribuir a la reducción del factor de potencia.

De acuerdo en la tabla 13 se señala los rangos de distorsión armónica total para los diferentes balastos de las luminarias.

Tabla 13: Rangos de distorsión armónica total para algunos balastos.

Tipo de Balastro	Rango
Electromagnético	25 – 30 %
Electrónico de Fluorescentes Compactas	18 – 80 %
Electrónico Estándar	<20 %
Electrónico de baja THD	<10 %

Fuente: [4]

Los balastos producen generalmente menos de 20 % de THD, aunque hay ciertos balastos electrónicos que pueden producir menos del 10 % de THD.

8.20.3.2 Distorsión total armónica de voltaje y corriente (THD)

El THD representa el porcentaje total de la distorsión de la señal respecto al valor de la fundamental. Ésta puede ser calculada tanto para la corriente como para el voltaje.

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} I_h^2}}{I_1} \quad (11)$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{V_1} \quad (12)$$

Donde:

I_h O V_h : Componente armónica de corriente o voltaje respectivamente.

h: Número del armónico

h_{\max} : Armónico máximo definido según el criterio o norma utilizada

I_1 O V_1 : Componente fundamental de corriente o voltaje respectivamente

THD_I o THD_V: Tasa de distorsión total de corriente o voltaje respectivamente

8.20.3.3. Distorsión armónica individual (THD)

Mide la relación entre la componente armónica “n” de una onda periódica de voltaje o corriente y la componente fundamental de la misma onda.

$$\text{IHD}_I = \frac{I_h}{I_1} \quad (13)$$

$$\text{IHD}_V = \frac{V_h}{V_1} \quad (14)$$

Donde:

I_h O V_h : Componente armónica de corriente o voltaje respectivamente.

h : Número del armónico

I_1 O V_1 : Componente fundamental de corriente o voltaje respectivamente

THD_I o THD_V : Tasa de distorsión total de corriente o voltaje respectivamente

8.20.3.4 Límites de Distorsión de Voltaje

Es importante notar que la definición de la distorsión armónica total THD que se utiliza es diferente a la convencional ya que se expresa la distorsión en función al voltaje nominal, que es un valor constante para cada usuario, estableciéndose así, una base fija de evaluación a lo largo del tiempo.

Para el estudio de la distorsión armónica de voltaje, en este proyecto de investigación se toma como referencia la norma IEEE 519 – 1992. De acuerdo en la tabla 14 se señala los límites de distorsión armónica de voltaje.

Tabla 14: Límites de la distorsión armónica de voltaje para sistemas de distribución según la norma IEEE.

Tensión	Distorsión armónica de tensión individual %	Distorsión de tensión total, THD [V_n]%
$U \leq 69 \text{ kV}$	3,0 %	5,0 %
$69 \text{ kV} < U \leq 161 \text{ kV}$	1,5 %	2,5 %
$U > 161 \text{ kV}$	1,0 %	1,5 %

Fuente: [12]

8.20.3 Análisis de distorsión armónica en iluminación LED

Los artículos consultados sobre la distorsión armónica en iluminación LED, realizaron las mediciones necesarias para evidenciar los armónicos generados expresados en porcentaje; escogen diferentes luminarias LED de ensayo, cada una con su respectiva potencia, la mayoría se fundamentan en iluminación LED fija y otros en iluminación LED dimerizable. Como referencia en la norma IEEE para la distorsión armónica, se selecciona como objeto de estudio y profundización el **tercer armónico** y el THD de la iluminación LED, ya que estos pueden indicar la mayor afectación a la red. Uno de los factores importantes analizados radica en el cumplimiento de las normas aplicadas y el análisis del controlador que acompaña a cada luminaria LED

8.20.3.1 Límites de Distorsión de Corriente

Las corrientes armónicas para cada usuario son evaluadas en la acometida y los límites se establecen en base a la relación entre la corriente de cortocircuito y demanda máxima de corriente de la carga del usuario.

Para el estudio de la distorsión armónica de corriente, en este proyecto de investigación se toma como referencia la norma IEEE 519 – 1992.

a) Distorsión Total de Demanda

TDD es la distorsión armónica basada en la máxima corriente de demanda (componente fundamental). Es una medida de la distorsión armónica total de la corriente en el PCC (punto de conexión común) para la carga total conectada

b) Relación de Corriente de Cortocircuito a la Corriente de Carga $\frac{I_{sc}}{I_{L1}}$

Es la medida de la relación de corriente de cortocircuito disponible en el PCC a la máxima corriente de carga en el mismo punto. Esto es una medida de la rigidez del sistema eléctrico relativo a la carga.

c) Contenido armónico de corriente

Se calcula sobre la base de índices que consideran el porcentaje de contenido armónico individual en la onda de corriente y el valor del TDD (Factor de Distorsión Total de la Demanda) de la carga conectada por los Agentes en los puntos de conexión. Para efectos de esta Regulación, se consideran las armónicas comprendidas entre la 2° y la 30°, incluyendo las mismas

d) Límites de Armónicos

Los valores límites de contenido armónico, de TDD y más procedimientos para aplicación de límites, se regirán a lo indicado en la guía IEEE 519 Control armónico. Una tabla con los límites señalados en esa guía se indica a continuación [10]:

La tabla 15 señala los límites de inyección de corriente armónico según la regulación IEEE – 512.

Tabla 15: Límites de inyección de corriente armónico según la IEEE 519 – 1992.

Sistemas de distribución (120 V – 69 kV)						
$\frac{I_{sc}}{I_L}$	Tasa individual admisible en relación a I_L (%)					TDD (%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
< 20	4,00	2,00	1,50	0,60	0,30	5,00
20 – 50	7,00	3,50	2,50	1,00	0,50	8,00
50 – 100	10,00	4,50	4,00	1,50	0,70	12,00
100 – 1000	12,00	5,50	5,00	2,00	1,00	15,00
> 1000	15,00	7,00	6,00	2,50	1,40	20,00
Sistemas de distribución (69 kV – 161 kV)						
< 20	2,00	1,00	0,75	0,30	0,15	2,50
20 – 50	3,50	1,75	1,25	0,50	0,25	4,00
50 – 100	5,00	2,25	2,00	0,75	0,35	6,00
100 – 1000	6,00	2,75	2,50	1,00	0,50	7,50
> 1000	7,00	3,50	3,00	1,25	0,70	10,00
Sistemas de distribución (> 161 kV)						
< 50	2,00	1,00	0,75	0,30	0,15	2,50
≥ 50	3,00	1,50	1,15	0,45	0,22	3,75

Fuente: [12]

8.20.4 Filtros para mitigar Armónicos

La solución de problemas de armónicos está caracterizada en preventiva y correctiva. Las soluciones preventivas: son aquellas medidas discretas mediante las cuales se busca evitar los armónicos y sus consecuencias. Estas incluyen:

- Cancelación de fase o control de armónicos en convertidores de potencia.
- Desarrollo de métodos y procedimientos para controlar, reducir o eliminar los armónicos en los equipos del sistema de potencia, principalmente condensadores, transformadores y generadores.

Para intentar mantener los armónicos en niveles de seguridad suficiente, las normativas de ámbito nacional y las recomendaciones de organismos internacionales desarrollan ciertos límites de cada armónico individual y también límites para los coeficientes de distorsión armónica [11].

Las soluciones correctivas se llevan a cabo con el objetivo de eliminar problemas de armónicos existentes, e incluyen:

- El uso de filtros
- La desintonización de un circuito de resonancia previo mediante la reconfiguración de la red o la localización de los bancos de condensadores.

8.20.4.1 Filtro Pasivo Sintonizado

Estos filtros son pasivos y se conectan en paralelo al sistema de distribución general o a cargas individuales con la finalidad de reducir el nivel de armónicos producido por las cargas no lineales, además de estos proporciona potencia reactiva fundamental para compensar el factor de potencia. Cuando los filtros se instalan en el bus principal de distribución, su potencia total está conformada por grupos o pasos y son accionados por contactores de acuerdo al requerimiento de potencia reactiva del sistema ante una condición dada. En la tabla 16 se indica las ventajas de los filtros pasivos sintonizados.

Tabla 16: Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado

Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado.
✓ Mejora el factor de potencia en el circuito secundario de baja voltaje lo que hace que mejore el sistema de distribución aguas arriba.
✓ Reducción de distorsión armónica de voltaje y corriente en circuitos de bajo voltaje
✓ Reducción de corriente de neutro causada por tercer armónico.
✓ Mejora de la regulación de voltaje en las redes de bajo voltaje
✓ Optimización de la capacidad de entrega de energía a un mayor número de usuarios por transformador
✓ Aumento de la vida útil del transformador y de equipos.
✓ Mejora la calidad de potencia de suministro en especial de la forma de onda de la señal de voltaje y regulación de voltaje
✓ Bajo costo de implementación.

Fuente: [14]

8.20.5 Cálculo de Filtros Armónicos

Lo que se pretende establecer en este punto, es poder determinar mediante cálculos sugeridos a lo largo de este estudio los filtros de distorsión armónicas que se debe colocar a la entrada del horno de inducción, además, de poder determinar el tipo de filtro armónico a utilizar. En la actualidad es imprescindible el uso de estos equipos ya que ayudan a mantener un sistema eléctrico más estable y con equipos con una mayor vida útil, ya que los armónicos en la actualidad son el enemigo silencioso de los sistemas eléctricos [12].

Es por ello que éste estudio va dedicado especialmente a mejorar la calidad de energía de las luminarias, a lo largo del desarrollo de esta se ha podido determinar que los filtros a instalarse serán filtros sintonizados pasivos ya que son los que se ajustan y requieren en el sistema eléctrico en mención, es lo que se ha podido determinar a lo largo de este estudio.

➤ **Se realiza el siguiente Cálculo**

Hay que calcular la potencia reactiva que se necesita para compensar el sistema de donde:

$$Q_{\text{eff}} = (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) * P \quad (15)$$

Donde:

θ_1 = Ángulo del Factor de potencia actual

θ_2 = Ángulo del Factor de potencia deseado

Se calcula la reactancia efectiva del filtro

$$X_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{li}}^2}{Q_{\text{eff}}} \quad (16)$$

Teniendo identificada la armónica que se desea filtrar, se debe de considerar un porcentaje menor de la frecuencia de sintonía, como lo sugiere la norma **IEEE-1531-2003** para evitar posibles resonancias de sintonía en el sistema. En este proyecto se manejará el 6 % menor de la frecuencia de sintonía para los cálculos a realizar

$$X_c = \frac{(h^{*0,6})^2}{(h^{*0,6})^2 - 1} * X_{\text{eff}} \quad (17)$$

Donde:

$$h = \frac{f \text{ fundamental}}{f \text{ armónico}} \quad (18)$$

En la ecuación que se muestra a continuación realizamos el cálculo del capacitor, su unidad de medida es el faradio

$$C = \frac{1}{2\pi F X_c} \quad (19)$$

Reactor

Para sacar valores de impedancia, nos remitimos a la ecuación que se muestra a continuación:

$$Z = R + \left[\omega L - \frac{1}{\omega C} \right] \quad (20)$$

Donde R, L, C son la resistencia, inductancia y capacitancia de los elementos del filtro, respectivamente, y ω es la frecuencia angular del sistema de potencia. Si necesitamos XL:

$$XL = \frac{X_c}{h^2} \quad (21)$$

Para el cálculo del inductor, expresado en henrios:

$$L = \frac{XL}{2\pi F} \quad (22)$$

Factor de Calidad

Dentro del análisis de los filtros pasivos sintonizados, un parámetro muy importante es el factor de calidad, el cual relaciona la habilidad de un filtro para disipar energía absorbida a la frecuencia sintonizada. Un valor grande Q_f de implica un valle a la frecuencia resonante de un filtro y por lo tanto captura el amontonamiento de frecuencia armónica. Factor de calidad debe considerarse entre 20 a 30. En la figura 17 se indica la respuesta del filtro sintonizado ante diferentes factores de calidad.

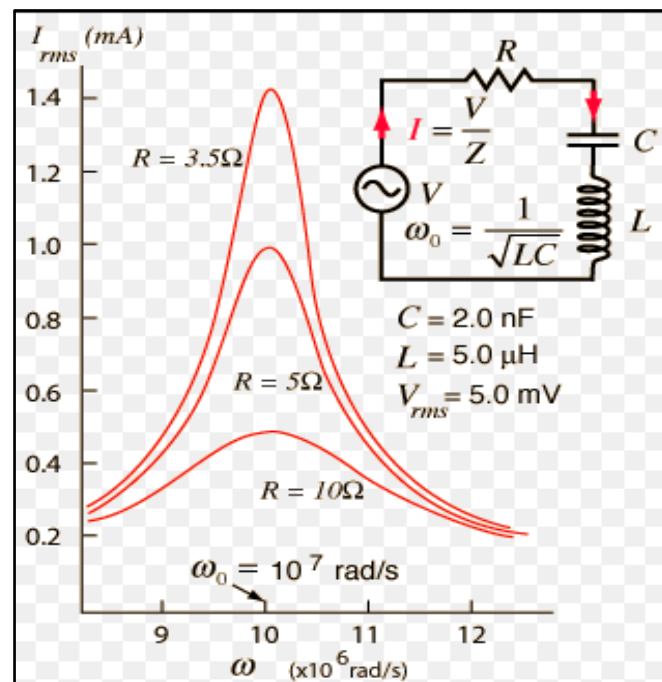


Figura 17: Respuesta del filtro sintonizado ante diferentes factores de calidad

Fuente: [14]

Resistencia de un filtro

El cálculo de la resistencia de un filtro está dado por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{X_l \cdot h \cdot 0,6}{Q_f} \quad (23)$$

Donde:

H= es el orden armónico a que se encuentra.

6% = es el porcentaje en que debe disminuirse el valor del orden armónico para evitar resonancia

Q_f = Factor de calidad

Potencia reactiva del filtro (frecuencia fundamental):

$$k_{\text{var filtro}} = \frac{V_1^2 \cdot l - l}{X_c - X_L} \quad (24)$$

a) Comprobación del diseño del Filtro que establece la Norma IEEE-18 2002

1.- Sintonización a la frecuencia:

Para que el filtro se sintonice a la frecuencia requerida se debe cumplir la siguiente condición.

$$X_c = X_L \quad (25)$$

Corrientes armónicas

Para comprobar que el filtro no vaya a sufrir daño por posibles sobre corrientes debido a la presencia de corrientes armónicas, se procede a corroborar que no rebase un 1,35 % de la corriente fundamental

$$I_{\text{fund}} = \frac{V_{LL\text{sist}}}{\sqrt{3} \cdot X_c - X_L} \quad (26)$$

Para el cálculo de las corrientes armónicas inyectadas por la carga no lineal se usa el porcentaje de la corriente fundamental

$$I_h = \% c \quad (27)$$

Donde

h= armónica inyectada por la carga no lineal

%= porcentaje de la corriente armónica con respecto a la fundamental, obtenido del espectro armónico de corriente de la carga no lineal, proporcionado como dato de sistema.

Si observamos la ecuación que sigue nos da la corriente total que circula por el filtro, la cual viene dada por:

$$I_{\text{total rms}} = \sqrt{I_h^2 + \dots + I_n^2} \quad (28)$$

Donde:

h = armónica inyectada por la carga no lineal

n = Numero armónicas inyectadas por la carga no lineal

$$\% \text{ Margén de Corriente} = \frac{I_{\text{total rms}}}{I_{\text{fund}}} * 100 \leq 135\% \quad (29)$$

Voltajes de Diseño del Capacitor.

Como siguiente paso está el cálculo del voltaje a frecuencia fundamental, además de los voltajes provocadas por los armónicos. El valor de voltaje pico del filtro no debe sobrepasar el 120% del voltaje pico del sistema.

$$V_c = I_{\text{fund}} * X_c \quad (30)$$

$$V_c(h) = \sum_h^n (v(h)) = \sum_h^n (I(h) \times \frac{X_c}{n}) \quad (31)$$

$$V_{cL-N \text{ total pico}} = \sqrt{2}(V_c + V_{c(h)}) \quad (32)$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * V_{L-N \text{ SISTEMA}} \quad (33)$$

$$V_{L-N \text{ SISTEMA}} = \frac{V_{II \text{ sist}}}{\sqrt{3}} \quad (34)$$

La verificación de la norma se realiza por medio de la ecuación

$$\frac{V_{c \text{ L-N total pico}}}{V_{c \text{ L-N pico sist}}} * 100 \leq 120 \% \quad (35)$$

8.20.5.1 Norma IEEE – 1531 -2003

Según (IEEE, 2033) La instalación de un filtro de armónicos de derivación pasiva cerca de cargas que producen armónicos es uno de los métodos comunes para mitigar la distorsión armónica. El propósito del filtro de armónicos es derivar parte de la corriente armónica de la carga en el filtro para reducir la cantidad que va al sistema de energía eléctrica.

b) Principales consideraciones de diseño

Criterios de desempeño

Requisitos de energía reactiva (kVAR)

Es esencial conocer la potencia reactiva capacitiva necesaria y sus correspondientes ahorros, para optimizar los costes del sistema. Además, los requisitos de potencia reactiva y de control de voltaje podrían dictar la necesidad de que el banco de filtros de armónicos se conmute en pasos o no. Posteriormente, los tamaños kVAR totales y de paso se determinan normalmente por el flujo de carga de frecuencia fundamental y los requisitos de control de voltaje.

Limitaciones armónicas

Estos se definen en términos de lo siguiente:

c) Limitaciones del sistema

Estos se definen para garantizar que el equipo funcionará correctamente y no fallará debido a la distorsión armónica excesiva.

Frecuencia de sintonía:

Partiendo de que la frecuencia fundamental es de 50 o 60 Hz, el número de orden determina el número de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la fundamental: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, orden natural de los números.

También se define como la relación que hay entre la frecuencia de armónico (f_n) y la frecuencia fundamental (f_{60})

$$h = \frac{f_n}{f_{60}}$$

Esquema Unifilar de referencia

En una instalación industrial tipo se tienen cargas lineales, que pueden ser modeladas mediante una admitancia o impedancia, y cargas no lineales, que se modelarán sustituyéndolas por fuentes de intensidad a las frecuencias a las que generan los armónicos. Se establece por tanto un análisis lineal del problema. La Figura 4(a) muestra el esquema típico de una instalación industrial simple. Está compuesta por un transformador que alimenta a unas cargas lineales, simbolizadas en el esquema unifilar por un motor, y no lineales, representadas por el rectificador. Para reducir los armónicos que las cargas no lineales de la instalación vierten a la red se colocará un compensador pasivo, que podrá ser un banco de condensadores o bien un banco de filtros sintonizados, de forma que el esquema unifilar que se usará finalmente. En la Figura 18 se indica el diagrama unifilar de los filtros [11].

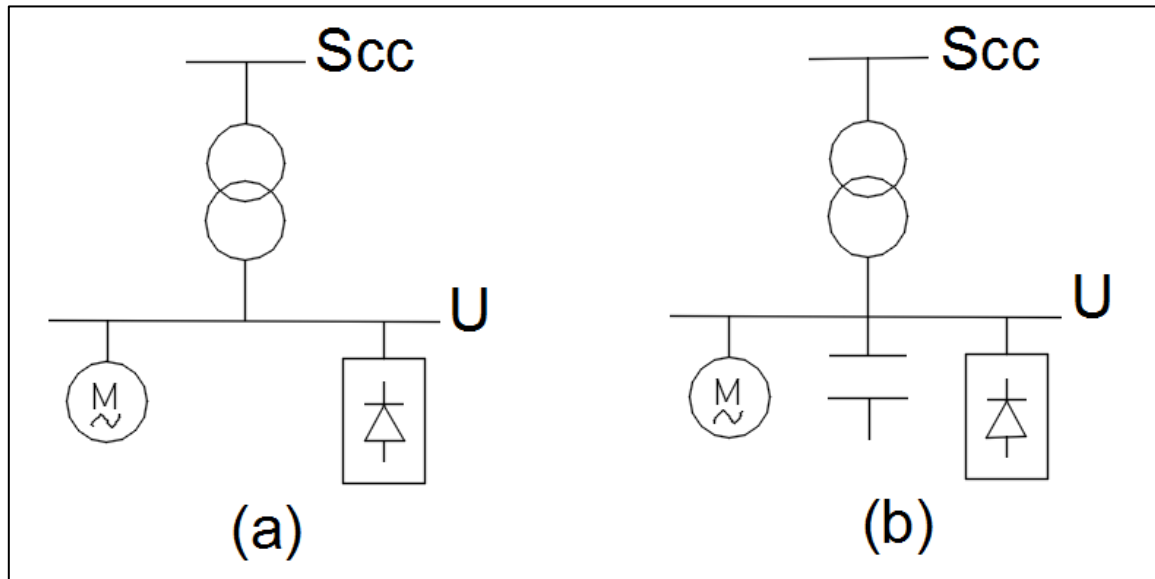


Figura 18: (a) Unifilar sin compensador. (b) Unifilar con compensador

Fuente: [13]

9. HIPÓTESIS

El análisis de armónicos en el alumbrado público del sector Huachi Chico permitirá evaluar los niveles de armónicos de voltaje y corriente presentes en las luminarias, a la vez detectar la deficiente iluminación.

10. METODOLOGÍA

10.1 TIPOS DE METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Investigación bibliográfica

La investigación es de campo ya que se realizará una recopilación de las principales características y ventajas de las luminarias LED para analizar las condiciones actuales del sistema eléctrico del alumbrado público del sector Huachi Chico.

Investigación experimental

La investigación es experimental ya que se realizará mediante una simulación de la red eléctrica de las luminarias en el programa DIALUX para determinar el nivel de armónicos y para conocer el nivel de luminancia e irradiación de las luminarias tanto de vapor de sodio como tipo LED.

10.2 DISEÑO BÁSICO METODOLÓGICO

Tipos de estudio:

De campo. Esta investigación se realizó en el sector de Huachi Chico, para evaluar los niveles de armónicos de voltaje y corrientes en las luminarias del alumbrado público.

Experimentales. Se realizó una Simulación de la red eléctrica de las luminarias para determinar el nivel de armónicos.

10.3 TÉCNICAS

10.3.1 Observación directa

En el sector de Huachi Chico se realizó continuas visitas donde se pudo observar las fallas que tiene el alumbrado público, recopilando información para encontrar los problemas existentes y aplicar las debidas medidas correctivas.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

11.1. Datos Característicos de las luminarias utilizadas en el estudio

a) Datos de Luminarias tipo Vapor de Sodio

Tabla 17: Datos de luminarias tipo vapor de sodio

Luminarias tipo Vapor de Sodio		
Descripción	Valor	Unidades
Voltaje	110	V
Frecuencia	60	Hz
Potencia	250	Watts
Flujo luminoso	28 993,75	lm
Ángulo de apertura	120	grados
Luz útil	54	%

Fuente: Los autores

En la tabla 17 se señala las características de las luminarias tipo vapor de sodio, se detalla el nivel de voltaje al que se alimenta y su frecuencia. Los parámetros que se toman en cuenta para el análisis de la eficiencia energética, son la potencia de cada luminaria, el flujo luminoso y el ángulo de apertura, estos datos permiten escoger la tecnología más útil para el alumbrado público.

b) Datos de Luminarias tipo LED

Tabla 18: Datos de luminarias tipo vapor de sodio

Luminarias tipo LED		
Descripción	Valor	Unidades
Voltaje	110	V
Frecuencia	60	Hz
Potencia	70	Watts
Flujo luminoso	7 776,63	lm
Ángulo de apertura	140	grados
Luz útil	77	%

Fuente: Los autores

En la tabla 18 se indica las características de las luminarias de tipo LED, que se encuentran localizadas en la avenida Luis Aníbal Granja. Realizando una comparación entre las luminarias tipo LED y vapor de Mercurio, se puede concluir que la tecnología tipo LED tiene un mayor flujo luminoso y un mayor ángulo de apertura, por ende, la cobertura de iluminación es mayor en las luminarias tipo LED.

11.2 Disposición de luminarias

11.2.1 Luminarias tipo LED

a) Circuito 1 LED:

Tabla 19: Datos de luminarias tipo LED

DESCRIPCIÓN	CIRCUITO 1	UNIDADES
Potencia Instalada	3,9	kW
Protección	100	A
Equipo	Luminaria	-----
Potencia Unitaria	150	W
Nº Lámparas	26	-----
Separación de cada luminaria	30	M
Longitud total	390	m
Cable	2 x 1/0	AWG

Fuente: Los Autores

En la avenida Luis Aníbal Granja se puede identificar ocho circuitos (cámaras de transformación). El Circuito 1 que comprende desde la luminaria 344 595 hasta la luminaria 344 608, el circuito es bifásico, que está conformado por luminarias tipo led.

En la tabla 19 se describe el número de luminarias que conforman el circuito, son 26 luminarias tipo LED, el circuito es alimentado por un transformador de 25 kVA y una protección de 100 amperios. La longitud del primer circuito es de 390 m, con un cable de calibre de 1/0, posteriormente se realizará el análisis de los parámetros eléctricos de todos los circuitos.

En la tabla 21 se describe el circuito 3 que está conformado por 30 luminarias tecnología tipo LED, la distancia que conforma este circuito es de 420 metros, la alimentación de este circuito es por medio de dos conductores calibre de 1/0. La potencia total que se encuentra instalada es de 4,5 kW.

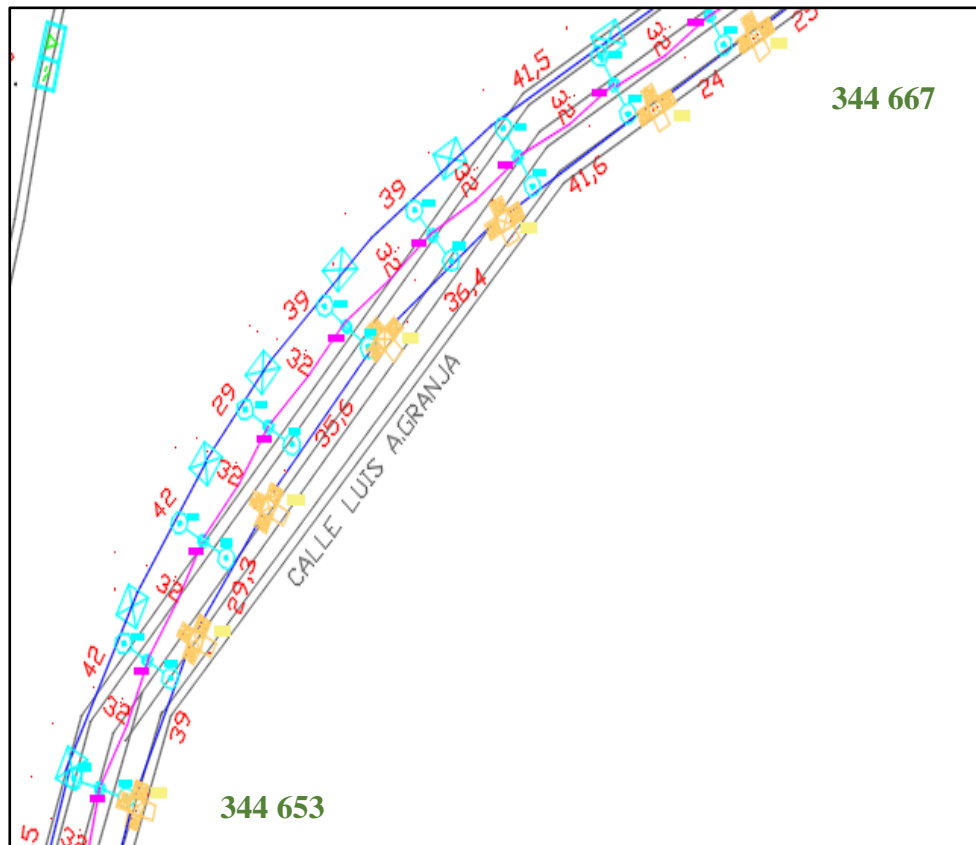


Figura 21: Circuito 3 de Sistema de Iluminación

Fuente: Los Autores

En la figura 21 se visualiza el tercer circuito que conforma desde la luminaria 344 653 hasta la luminaria 344 667. Este circuito es bifásico con una alimentación de 220 V, con una configuración central doble. El circuito es un sistema subterráneo que recorre con un calibre de conductor de 2/0 AWG que parte desde el pozo subterráneo, este circuito conforma el circuito total.

En la figura 22 se visualiza el circuito de luminarias vapor de sodio, la configuración que presenta este circuito es una disposición central doble, con 250 luminarias en total, el circuito era subterráneo y formado por una sola cámara de transformación. Este circuito tiene una potencia total instalada de 22,5 kW, el objetivo de especificar estos parámetros es poder identificar el tipo de luminarias más eficientes.

11.3 Análisis del flujo luminoso de las luminarias tipo Vapor de Sodio y LED

Para el análisis del flujo luminoso de los tipos de luminarias de estudio, se realiza la simulación en el programa de luminotecnía DIALUX, el que permite ingresar los datos de las luminarias y calcular la iluminancia y la eficacia luminosa. A continuación, se resume los valores de niveles de iluminancia obtenidos por la simulación y se realiza la comparación de resultados entre luminarias Vapor de sodio y LED

a) Análisis de la iluminancia.

Tabla 23: Flujo luminoso

	MUESTRA					
	# luminarias	Potencia Unitaria	Potencia Total Equivalente	Distancia	Flujo Luminoso	Unidades
Luminarias Vapor de Sodio	90	250 W	22,5 kW	1 350 m	5 330	Lúmenes
Luminarias LED	150	150 W	22,5 kW	2 250 m	89 076	Lúmenes

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la tabla 23 se muestra la comparación de los niveles máximos del flujo luminoso, estos valores son proporcionados del simulador DIALUX. El valor de iluminancia promedio es uno de los parámetros que determinan si un sector de iluminación cualquiera que sea este sitio se encuentra dentro de los parámetros mínimos de funcionamiento correcto y si el lugar se encuentra correctamente iluminado. De acuerdo a estos valores se determina qué tipo de luminaria tiene mayor flujo luminoso, para una correcta iluminación en el alumbrado público.

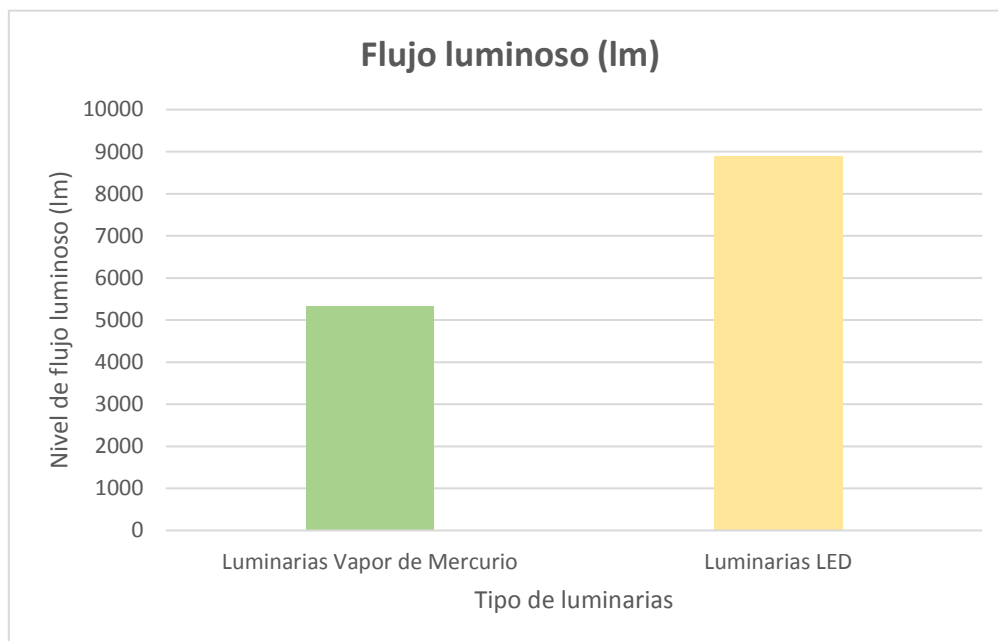


Figura 23: Flujo luminoso

Fuente: Los Autores

De acuerdo al gráfico de barras 23 se puede visualizar, que las luminarias vapor de sodio presentan un flujo luminoso de 5 330 lúmenes, mientras que las luminarias tipo LED cuentan con 89 076 lúmenes, donde se puede concluir que las luminarias led tienen un rango mayor de flujo luminoso, lo que significa que tienen mayor nivel de luminancia y son recomendables para el uso del alumbrado público.

b) Análisis de la eficiencia luminosa.

Tabla 24: Eficiencia luminosa

MUESTRA						
	# luminarias	Potencia Unitaria	Potencia Total Equivalente	Distancia	Eficiencia luminosa	Unidades
Luminarias Vapor de Sodio	90	250 W	22,5 kW	1 350 m	43,17	lm/W
Luminarias LED	150	150 W	22,5 kW	2 250 m	62,55	lm/W

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la tabla 24 se indica los niveles de eficiencia luminosa de los tipos de luminarias, LED y vapor de sodio. La eficiencia luminosa depende directamente del flujo

luminoso del lugar de estudio. Este factor tiene prioridad, demandando un alto nivel de este factor, para evitar comportamientos erróneos y bruscos en el sistema de alumbrado público.

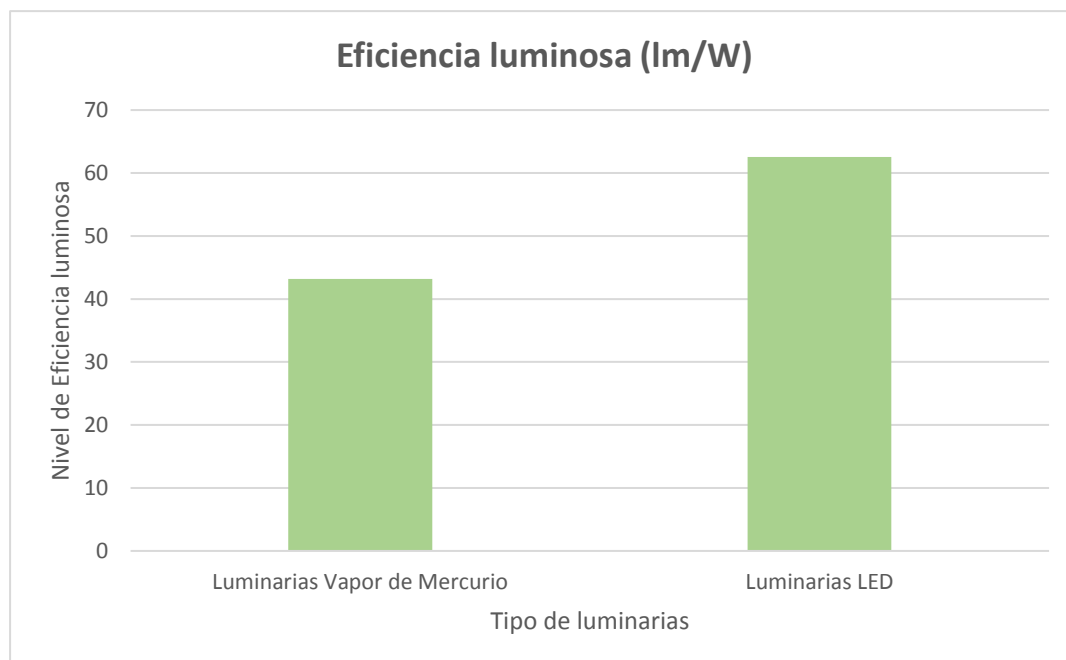


Figura 24: eficiencia luminosa

Fuente: Los Autores

Según la figura 24 se indica los niveles de eficiencia luminosa, de las luminarias tipo vapor de mercurio y tipo LED. Se puede concluir que las luminarias tipo LED, tienen mayor eficiencia luminosa a comparación que las luminarias tipo vapor de mercurio, como se mencionó anteriormente tanto el flujo luminoso como la eficiencia luminosa tienen relación directa entre ellos, por lo tanto estos dos factores en las luminarias LED se encuentran en niveles mayores que las de vapor de sodio.

c) Uniformidad general de iluminancia

Tabla 25: Uniformidad general de iluminancia

	Luminarias tipo LED	Luminarias de vapor de mercurio	Valor nominal establecido
E_{min}	5,52	15,39	$\geq 5,00 \leq 7,50$
E_{max}	1,52	0,58	$\geq 1,00$
U_o	0,60	0,35	$\geq 0,40$
U_g	0,85	0,40	$\geq 0,60$

Fuente: Los Autores

Según la tabla 25 se muestra los índices de uniformidad general de iluminancia de los dos tipos de luminarias de estudio, estas mediciones se obtienen a través de la simulación en DIALUX. Estos coeficientes de uniformidad es uno de los parámetros que determinan si el sector de iluminación, se encuentra con un nivel de iluminación uniforme y amplia, considerando que el área sin iluminación entre luminarias debe ser mínima.

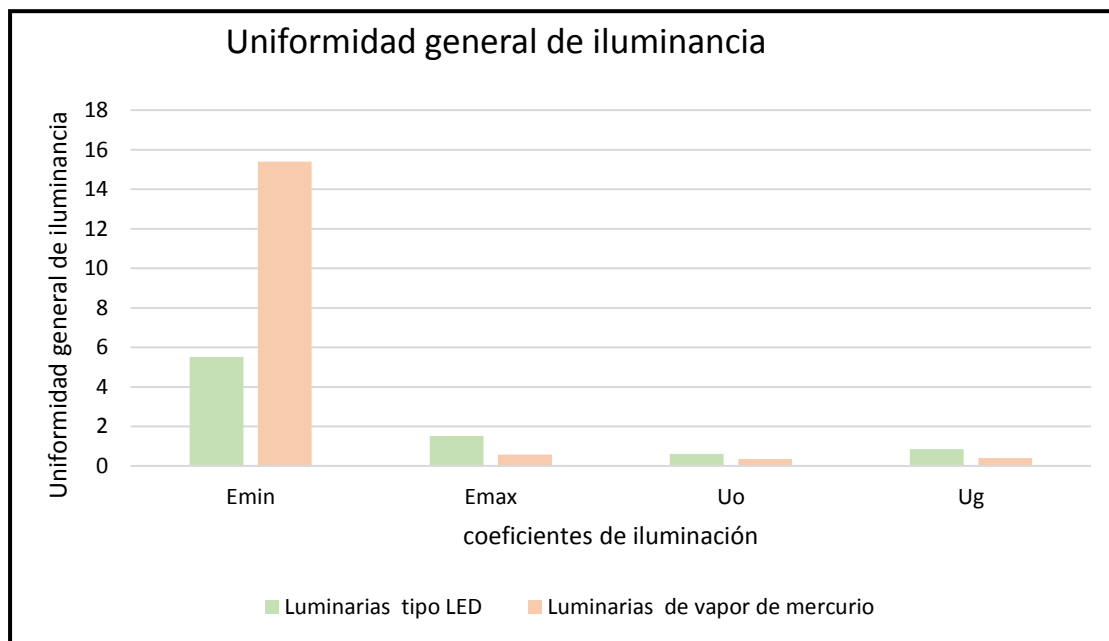


Figura 25: Coeficiente de uniformidad general

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la tabla 25 se analiza la uniformidad de la iluminancia, tanto en luminarias led como en luminarias de vapor de sodio, donde el simulador establece si los niveles calculados cumplen o no con lo estipulado. Los valores de la uniformidad de las luminarias LED cumplen con el valor nominal estipulado por el software de simulación, esto significa que la distribución de la luz es uniforme para todas las áreas, mientras que los valores de uniformidad de las luminarias vapor de sodio están fuera de los valores nominales estipulados.

d) Cobertura de la iluminación

Luminarias Tipo LED:

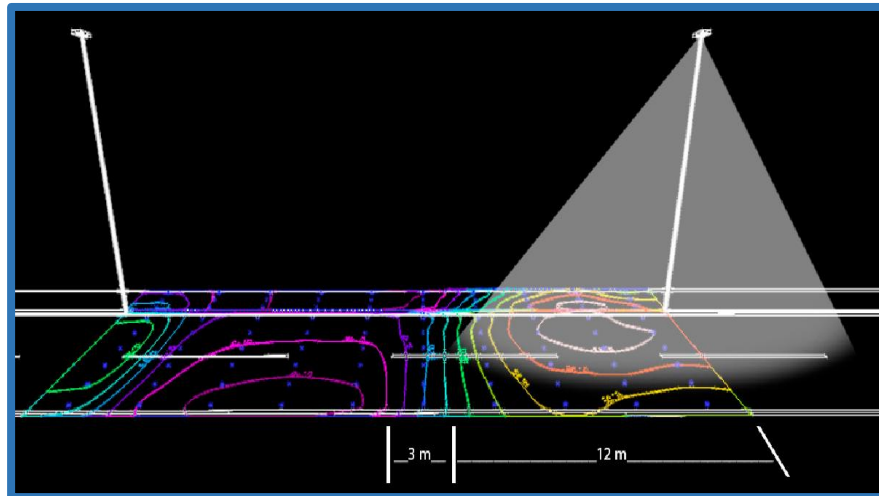


Figura 26: Cobertura de iluminación tipo LED

En la figura 26, se puede observar que, para la iluminación tipo LED, existe una cobertura lumínica de 12 m y de luminaria a luminaria queda una distancia de 3 m sin iluminar, esto se puede comprobar mediante sus curvas fotométricas, donde la intensidad luminosa de estas luminarias es mayor.

Luminarias Vapor de Sodio:

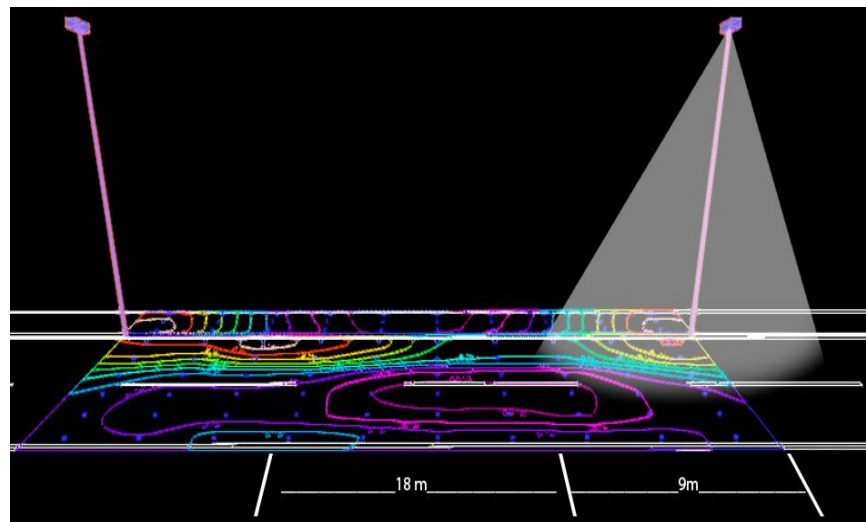


Figura 27: Cobertura de iluminación tipo Vapor de Sodio

Fuente: Los Autores

En la figura 27, se puede observar que, para la iluminación tipo Vapor de Sodio, existe una cobertura lumínica de 9 m y de luminaria a luminaria queda una distancia de 18 m sin iluminar, esto se puede comprobar mediante sus curvas fotométricas, donde la

intensidad luminosa de estas luminarias es menor. Por lo tanto, se concluye que las luminarias tipo LED, tienen un mayor flujo luminoso que las luminarias vapor de sodio.

11.4 Análisis de los parámetros eléctricos de las luminarias tipo Vapor de Sodio y LED

11.4.1 Descripción del sistema eléctrico de los circuitos de las luminarias LED

Tabla 26: Características del transformador

12 Marca:	INATRA
Voltaje de alta:	13 800 V
Voltaje de baja:	220 V
Capacidad:	25 kVA
Tipo de conexión:	DYn5
Nivel básico de aislamiento (BIL):	95 kV
Frecuencia:	60 Hz

Fuente: Los Autores

La Av. Luis Aníbal Granja del sector Huachi Chico, dispone de alumbrado público que está conformado por luminarias tipo LED de potencia de 150 Watts. En la tabla 26, se indica las características del sistema eléctrico de los circuitos de las luminarias LED, donde el sistema de iluminación está formado por tres cámaras de transformación, cada transformador tiene una capacidad de 25 Kva, con una impedancia del 2,3 % y con un nivel del voltaje de 13,8 kV a 220 V. La alimentación consta con dos conductores de 1/0 AWG.

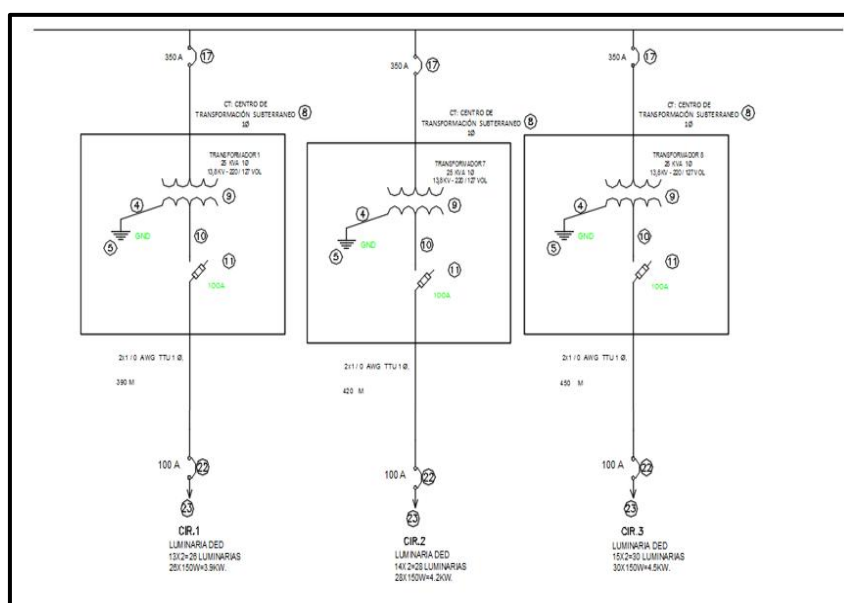


Figura 28: Diagrama Unifilar de luminarias tipo LED

Fuente: Los Autores

En la figura 28, se indica el diagrama unifilar del sistema eléctrico de las luminarias LED, en el diagrama se visualiza tres circuitos, cada uno alimentado con transformadores tipo Pad Mount. El diagrama unifilar completo se indica en el **ANEXO 1**, donde se especifica el número de luminarias conectadas a cada uno de los alimentadores.

11.4.2 Ingreso de datos en el analizador de carga

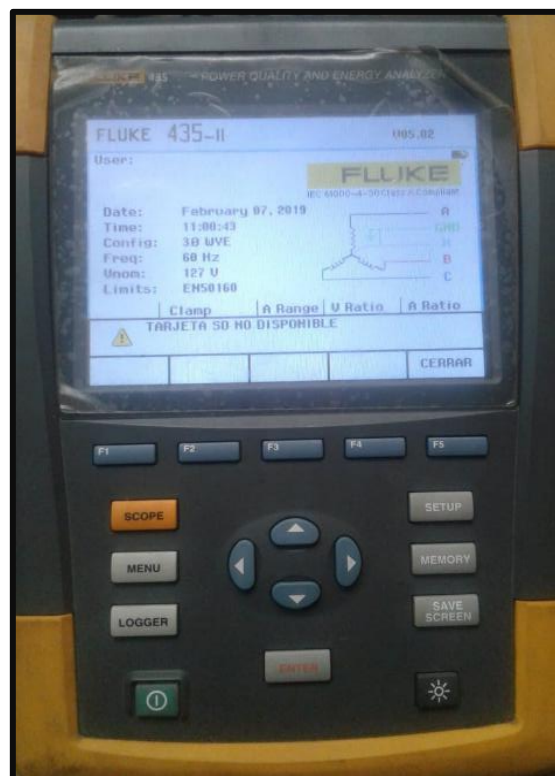


Figura 29: Analizador de carga FLUKE 435 II

Fuente: Los Autores

Para el análisis de los parámetros eléctricos de los circuitos de luminarias Led y de las luminarias Vapor de Sodio. El analizador que se utiliza para este estudio es el FLUKE 435 II, como se indica en la figura 29. El analizador se instaló en el lado de bajo voltaje de cada transformador de los tres circuitos de las luminarias tipo LED y del circuito de luminarias Vapor de Sodio. Las mediciones se toman en un periodo de tiempo de 10 minutos por siete días como indica la regulación CONELEC 004/01.

11.4.2.1 Procedimiento de configuración que se realiza para la medición de datos del sistema eléctrico

1. Para iniciar la configuración del analizador se escoge la configuración del sistema eléctrico de los circuitos de las luminarias tipo LED y de las luminarias tipo vapor de

sodio. De acuerdo a la figura 30 se indica que la configuración adecuada para los circuitos de estudio es bifásico a 220 Voltios.

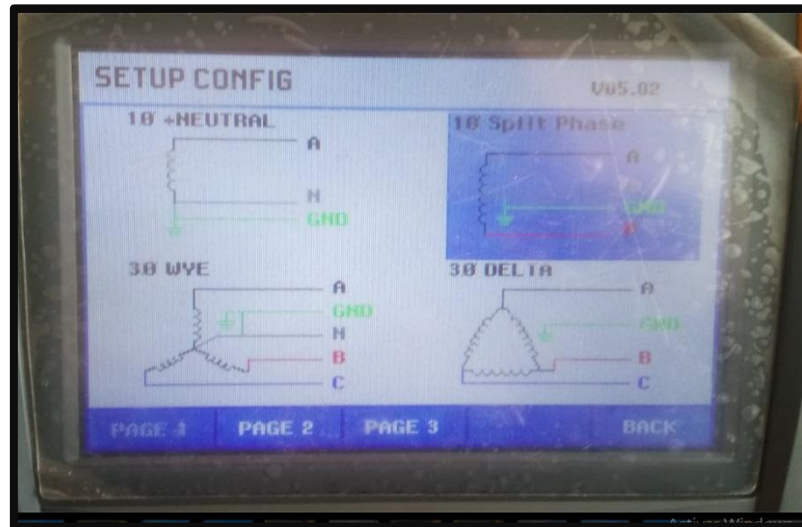


Figura 30: Configuración del sistema eléctrico.

Fuente: Los Autores

2. Una vez ingreso el modo de configuración del sistema eléctrico, el analizador de carga indica la forma de conexión de las sondas de voltaje y de corriente del analizador, como se indica en la figura 31.



Figura 31: Modo de conexión de las sondas

Fuente: Los Autores

Siguiendo el diagrama esquemático se procede a realizar las conexiones de las sondas de voltaje y de corriente, es importante conectar las sondas de tierra para proteger el sistema eléctrico, tal como se indica en la figura 32.



Figura 32: Configuración de voltaje

Fuente: Los Autores

3. Como siguiente paso se escoge el nivel de voltaje de alimentación, el voltaje para la configuración estrella (fase – neutro) es de 127 Voltios y la configuración delta (fase – fase) es de 220 Voltios, tal como se indica en la figura 33.

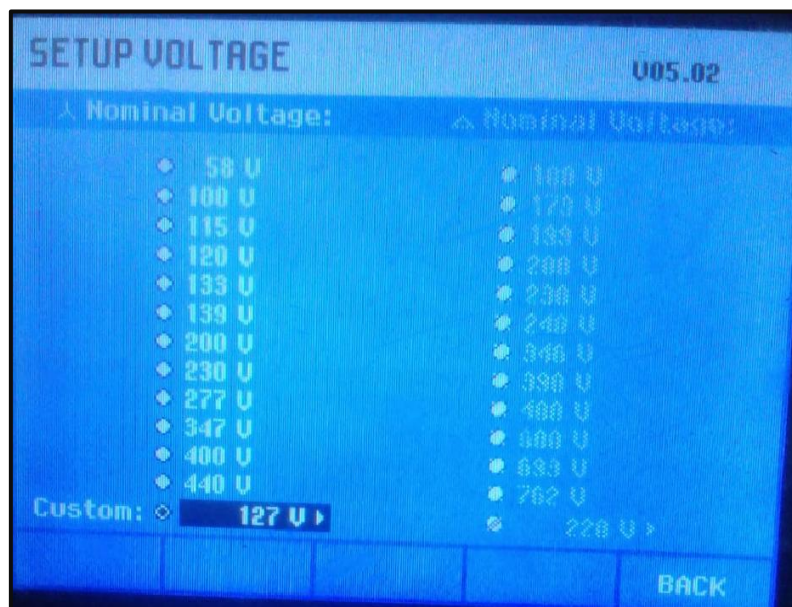


Figura 33: Configuración de voltaje

Fuente: Los Autores

4. Otro parámetro que se debe configurar es la frecuencia, de acuerdo a los establecido en el sistema eléctrico ecuatoriano que es de 60 Hz como se indica en la figura 34.



Figura 34: Configuración de la frecuencia

Fuente: Los Autores

5. Una vez ingresado los datos para las mediciones y conectado las sondas de corriente y de voltaje al sistema eléctrico, se debe verificar la conexión correcta de las sondas tanto de corriente como de voltaje, esta comprobación se lo realiza mediante los diagramas fasoriales, si la conexión es correcta el desfase debe estar cada 120° para la fase A, B y C, estos diagramas fasoriales de voltaje se indica en la figura 35 y para los fasores de corriente se presenta en la figura 36.

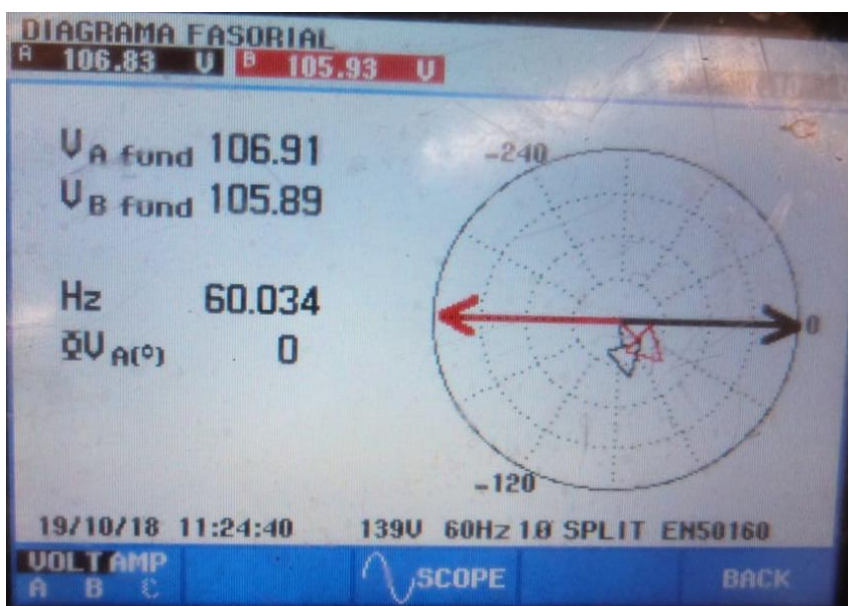


Figura 35: Diagrama fasorial de voltaje

Fuente: Los Autores

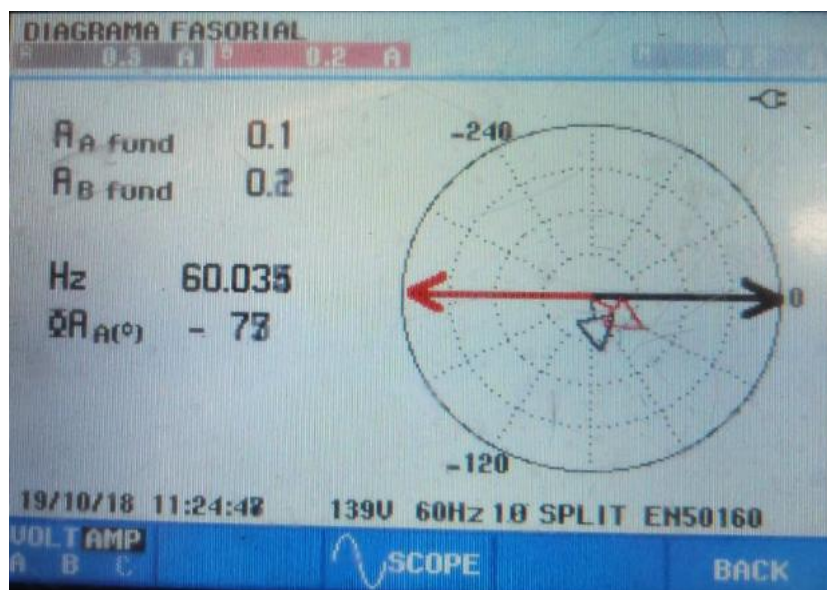


Figura 36: Diagrama fasorial de corriente

Fuente: Los Autores

- Para poder comenzar con las mediciones, se escoge los parámetros eléctricos que se requiere analizar como niveles de voltaje, corriente, factor de potencia, valores de potencias (activa, reactiva y aparente), niveles de contaminación armónica, tal como se indica en la figura 37.

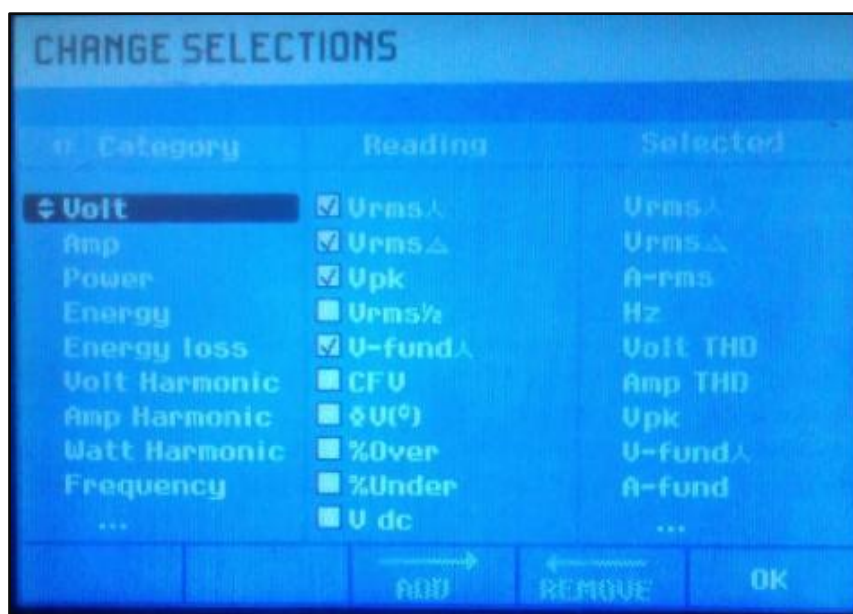


Figura 37: Parámetros Eléctricos.

Fuente: Los Autores

- Una vez seleccionado los parámetros eléctricos para el análisis, se programa el periodo de medición de acuerdo a lo establecido por la norma, cada 10 minutos durante siete días, tal como se indica en la figura 38.

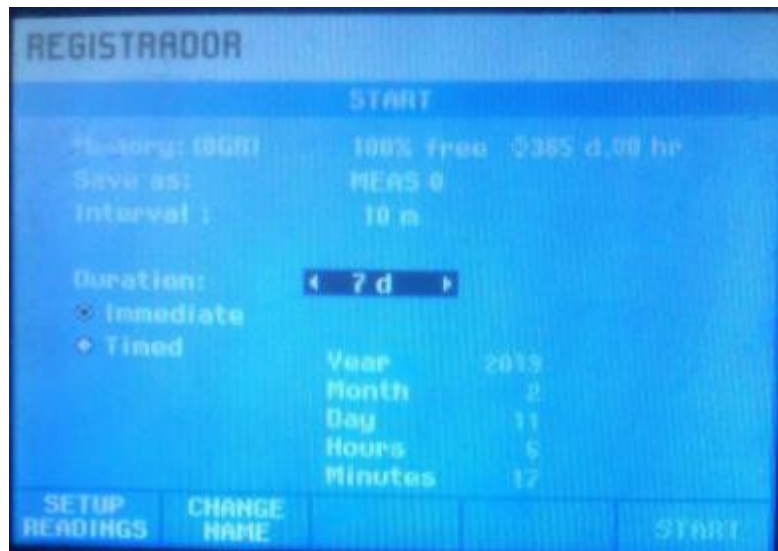


Figura 38: Periodo de medición

Fuente: Los Autores

8. Después de dar inicio a las mediciones, el analizador comienza a registrar los parámetros configurados en el mismo. Como se indica en la figura 39 el analizador toma mediciones en tiempo real.



Figura 39: Datos registrados

Fuente: Los Autores

11.4.3 Análisis de datos obtenidos a través de mediciones

Para el análisis de potencias se debe tomar en cuenta el periodo de trabajo de las luminarias en la Av. Luis Aníbal Granja Sector Huachi Chico. De acuerdo a la regulación nacional de Calidad de Energía CONELEC 004/01 se considera los días de período de

estudio de 7 días en periodos de estudio de 10 minutos, en horarios de 18H00 hasta las 06H00.

1. Luminarias Tipo LED

Circuito 1 LED:

Tabla 27: Recopilación de Datos de Luminarias tipo LED según FLUKE 435

Voltaje	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
L 1- N	105,37	108,37	110,60	V
L 2-N	104,71	107,58	109,67	V
Corriente				
L 1	19,40	19,73	20,57	A
L 2	19,27	19,60	20,50	A
Frecuencia	59,91	60,00	60,08	Hz
Potencia Activa				
L 1	2,07	2,08	2,12	kW
L 2	2,04	2,06	2,09	kW
Total	4,11	4,14	4,11	kW
Potencia Aparente				
L 1	1,20	2,14	2,17	kVA
L 2	1,18	2,11	2,15	kVA
Total	2,38	4,25	4,32	kVA
Potencia Reactiva				
L 1	0,15	0,37	0,39	kVAR
L 2	0,15	0,38	0,40	kVAR
Total	0,31	0,39	0,40	kVAR
Energía Activa				
L 1	62,45	63,10	63,82	kWh
L 2	62,43	63,20	63,86	kWh
Total	124,98	126,30	127,68	kWh

Fuente: Los Autores

En la tabla 27 se indica el resumen de los datos arrojados por el analizador, para estos parámetros eléctricos permiten determinar los niveles de voltaje, corriente, potencias, factor de potencia de cada fase y total. La tabla representa los valores tomados para el circuito 1

Circuito 2 LED:**Tabla 28:** Recopilación de Datos de Luminarias tipo LED según FLUKE 435

Voltaje	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
L 1-N	118,30	119,08	122,24	V
L 2-N	117,57	118,38	119,27	V
Corriente				
L 1	18,07	19,05	19,89	A
L 2	18,97	19,23	20,12	A
Frecuencia	59,95	60,00	60,03	Hz
Potencia Activa				
L 1	2,00	2,02	2,03	kW
L 2	2,01	2,03	2,06	kW
Total	4,01	4,05	4,09	kW
Potencia Aparente				
L 1	1,30	1,47	2,04	kVA
L 2	2,50	2,41	2,05	kVA
Total	3,80	3,88	4,09	kVA
Potencia Reactiva				
L 1	0,16	0,17	0,10	kVAR
L 2	0,11	0,22	0,20	kVAR
Total	0,27	0,29	0,30	kVAR
Energía Activa				
L 1	64,45	65,30	66,82	kWh
L 2	62,63	63,20	64,92	kWh
Total	126,98	128,50	131,74	kWh

Fuente: Los Autores

En la tabla 28 se indica el resumen de los datos arrojados por el analizador, para estos parámetros eléctricos permiten determinar los niveles de voltaje, corriente, potencias, factor de potencia de cada fase y total. La tabla representa los valores tomados para el circuito 2

Circuito 3 LED:**Tabla 29:** Recopilación de Datos de Luminarias tipo LED según FLUKE 435

Voltaje	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
L 1	107,97	109,52	110,35	V
L 2	107,94	108,08	110,20	V
Corriente				
L 1	19,40	19,00	20,37	A
L 2	18,97	19,78	20,00	A
Frecuencia	60,00	60,00	60,02	Hz
Potencia Activa				
L 1	2,08	2,09	2,10	kW
L 2	2,08	2,09	2,11	kW
Total	4,16	4,18	4,21	kW
Potencia Aparente				
L 1	1,97	2,00	2,01	kVA
L 2	1,91	2,00	2,02	kVA
Total	3,88	4,00	4,03	kVA
Potencia Reactiva				
L 1	0,30	0,39	0,59	kVAR
L 2	0,22	0,29	0,20	kVAR
Total	0,52	0,68	0,79	kVAR
Energía Activa				
L 1	68,45	75,21	76,14	kWh
L 2	69,43	75,69	76,49	kWh
Total	137,88	150,80	152,63	kWh

Fuente: Los Autores

En la tabla 29 se indica el resumen de los datos arrojados por el analizador, para estos parámetros eléctricos permiten determinar los niveles de voltaje, corriente, potencias, factor de potencia de cada fase y total. La tabla representa los valores tomados para el circuito 3.

Después de indicar cada uno de los parámetros eléctricos de los circuitos de luminarias tipo LED, se procede a realizar el análisis del cumplimiento de los parámetros de calidad de energía de acuerdo a la regulación CONELEC 004/01.

a) Análisis del factor de Potencia (LED)

Tabla 30: Valores de Factor de Potencia

	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	Observación
Factor de Potencia	0,97	0,96	0,97	Cumple con la Regulación

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la tabla 30 se indica los valores del factor de potencia de los circuitos de las luminarias LED, se indica un factor de potencia promedio de 0,97, según la regulación CONELEC 004/01 el factor de potencia debe ser mayor a 0,92; por lo tanto, el factor de potencia se encuentra dentro de los valores establecidos por la norma.

b) Análisis de Niveles de Voltaje (LED)

Para el análisis de los niveles de voltaje, se debe aplicar la fórmula de índice de calidad para el nivel de voltaje, establecida en la regulación CONELEC 004/01:

$$\Delta V_K(\%) = \frac{V_K - V_n}{V_n} \quad (36)$$

Donde:

ΔV_K : Variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_K : Voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n : Voltaje nominal en el punto de medición.

Tabla 31: Valores de Niveles de Voltaje

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0 %	± 10,0 %

Fuente: Los Autores

Según la tabla 31 los niveles de voltaje dependen de la zona en donde se ha realizado la medición: zona urbana o zona rural, la Subetapa 1 comprende medio voltaje (distribución), la Subetapa 2 al nivel de consumidor. Por consiguiente, las luminarias LED, corresponde a la categoría Bajo voltaje, zona urbana y Subetapa 2, cuya variación es menos del $\pm 8\%$ como se resalta en la tabla 31:

Los datos obtenidos a través del registrador de carga, se analiza para determinar si existen desniveles de voltaje en los circuitos de alimentación de las luminarias LED.

Tabla 32: Valores de Niveles de Voltaje

	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	Observación
Niveles de Voltaje Máximo	4,81 %	4,21 %	4,65 %	Cumple con la Regulación

Fuente: Los Autores

De acuerdo a lo especificado en la tabla 32 los circuitos de las luminarias LED, presentan un desbalance promedio del 4,81%, lo que significa que no presenta desbalances de voltaje ya que estos parámetros se encuentran bajo el 8 % establecido por norma.

c) **Análisis de la carga Diaria**

Para la elaboración de la curva de carga se trabajó con las potencias medidas durante siete días por el analizador de carga, para esto se analiza el día más representativo del funcionamiento de las luminarias que fue el día 24 de Agosto del 2018. La curva de carga representa un comportamiento lineal característico, donde la demanda pico se presenta a las 19:20 am.

En la representación gráfica indicada se puede observar que no varía la demanda o carga eléctrica en el intervalo de tiempo, la demanda es constante.

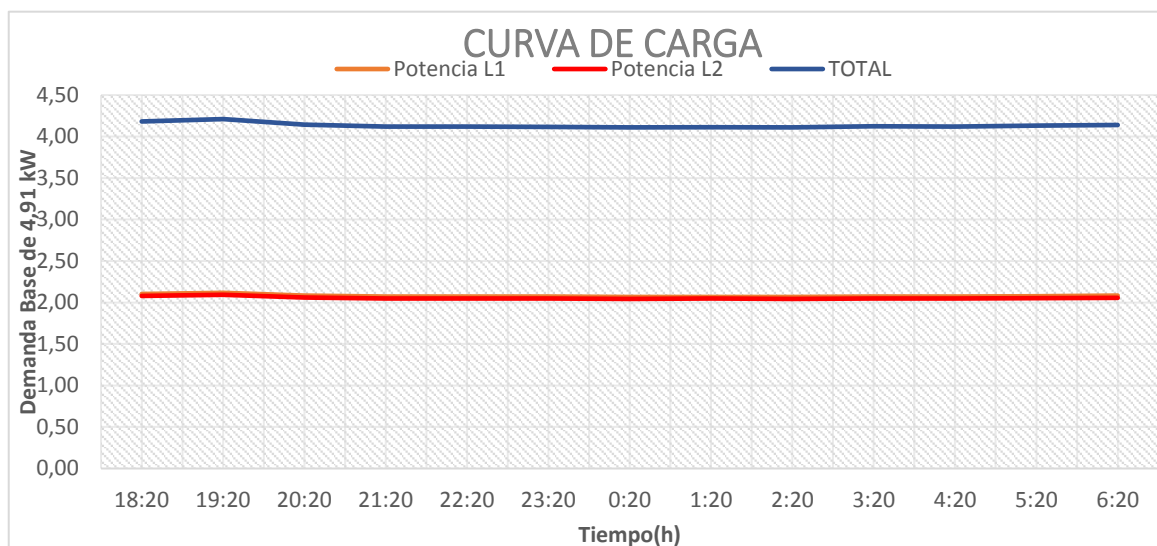


Figura 40: Curva de carga diaria

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 40 se puede observar la curva típica del consumo de las luminarias tipo LED, dicha curva es constante ya que no existen variaciones significativas de carga. Dicha curva es analizada en un periodo de tiempo de 24 horas, donde la potencia máxima es de 2 kW.

d) Análisis de los armónicos de Voltaje (LED)

- **THD de Voltaje total (LED)**

Para el análisis de la presencia de armónicos de voltaje, se debe determinar si el nivel de THD de voltaje sobrepasa el límite establecido por la norma IEEE – 519, para cada circuito. Para esto se debe basar en la tabla de niveles de THDV, de acuerdo al nivel de voltaje de alimentación de las luminarias. Como se indica en el Anexo 15

Tabla 33: Límites de la distorsión armónica de voltaje para sistemas de distribución según la norma IEEE.

Tensión	Distorsión armónica de tensión individual %	Distorsión de tensión total, THD [V_n]%
$U \leq 69 \text{ kV}$	3,0 %	5,0 %
$69 \text{ kV} < U \leq 161 \text{ kV}$	1,5 %	2,5 %
$U > 161 \text{ kV}$	1,0 %	1,5 %

Fuente: [12]

De acuerdo la tabla 33 el nivel de THD de voltaje que se debe cumplir de acuerdo al nivel de voltaje de las luminarias que es menor a 69 kV es del 5,0 %, para esto se debe analizar los datos registrados de cada circuito.

Tabla 34: Valores de THD de voltaje

	% THDV Total Medido			%THDV Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
	%THDV mínimo	%THDV promedio	%THDV máximo		
Circuito 1	1,46	2,26	4,50	5.0 %	Cumple
Circuito 2	1,38	2,10	4,05	5.0 %	Cumple
Circuito 3	1,52	2,87	4,00	5.0 %	Cumple

Fuente: Los Autores

Según los datos presentados en la tabla 34 el THD de voltaje es aproximadamente de 4,18 %, lo cual se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma. Con este valor se puede concluir que el sistema de luminarias LED no tiene armónicos de Voltaje.

- **THD de Voltaje individual (LED)**

Tabla 35: Valores de armónicos de voltaje individual

	% THDV Individual Medido					%THDV Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
	3°	5°	7°	9°	11°		
Circuito 1	1,98 %	1,48 %	0,62 %	0,81 %	0,28 %	3.0 %	Cumple
Circuito 2	1,75 %	1,35 %	0,58 %	0,82 %	0,22 %	3.0 %	Cumple
Circuito 3	1,60 %	1,28 %	0,50 %	0,78 %	0,19 %	3.0 %	Cumple

Fuente: Los Autores

Según la tabla 33 el porcentaje de los armónicos individuales de voltaje debe estar dentro del 3%, para esto se considera los niveles totales de los armónicos individuales de voltaje de las barras del circuito, en la tabla 35 se indica el nivel de armónicos impares de voltaje que presenta el sistema eléctrico.

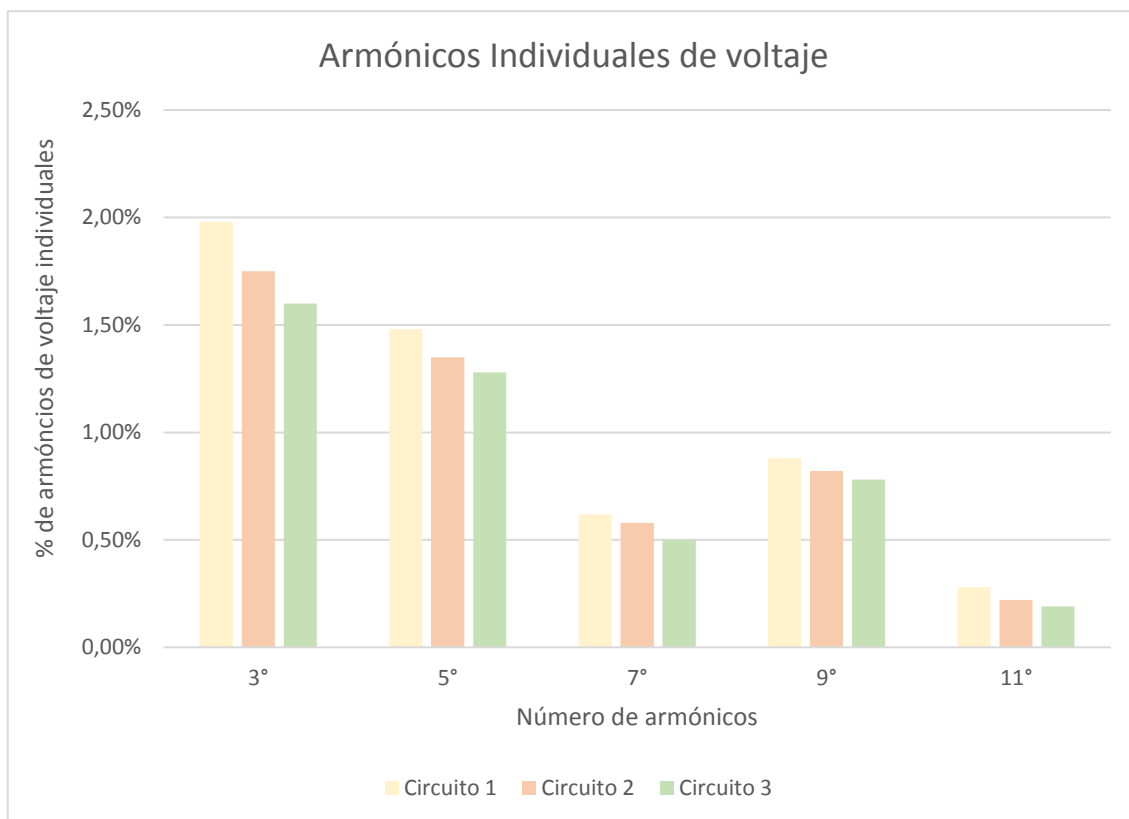


Figura 41: Armónicos individuales de voltaje

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 41, se analiza que el porcentaje de los armónicos de voltaje individuales, se encuentran por debajo del 2 %, por lo tanto, no hay presencia de armónicos de voltaje.

a) Análisis de los armónicos de Corriente (LED)

Para el análisis de los armónicos de corriente, se debe realizar primero el análisis del THD de corriente, donde se debe realizar los cálculos correspondientes para determinar a qué nivel de THDI corresponde de acuerdo a la norma IEEE -519. Esto se realiza para cada circuito, y se considera los siguientes datos:

Potencia de alimentación: 25 kVA

Nivel de Voltaje de funcionamiento: 220 V

Impedancia: 2,3 %

Con los datos expuestos anteriormente, se consideran para realizar el cálculo de armónicos de corriente para todos los circuitos de alimentación de la vía. El transformador es de 25 kVA y cuenta con un porcentaje de impedancia de 2,3 % o 0,023

$$I_{CC} = \frac{1}{X_{p.u}} \quad (37)$$

$$I_{CC} = \frac{1}{0,023}$$

$$I_{CC} = 43,48$$

Para obtener el valor de la relación $\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{L,pu}}$ se calcula la corriente de carga I_L en amperios, para posteriormente obtener la corriente de carga en valores en por unidad $I_{L,pu}$. Para obtener la corriente de carga se emplea la siguiente ecuación:

$$S = V * I_L * \sqrt{3} \quad (38)$$

$$I_L = \frac{S}{V * \sqrt{3}}$$

La potencia que se considera es la del transformador 25 kVA, el voltaje es el del secundario del transformador 220 V.

$$I_L = \frac{25\,000}{220 * \sqrt{3}} = 65,61 \text{ A}$$

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{43,48}{65,61}$$

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_L} = 0,663$$

A continuación, se debe calcular el TDD:

TDD: Distorsión de demanda total, distorsión de corriente armónica en % de la máxima corriente de carga demandada.

El TDD se calcula para cada uno de los circuitos a partir de la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de línea, para cada circuito. En la tabla 36 se presenta los valores obtenidos y necesarios para el análisis del nivel de corrientes armónicas del sistema.

Tabla 36: Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente

Circuito 1	X_{pu}	I_{cc}	I_{cc}/I_{Lpu}
Fase 1	0,023	43,48	138,70
Fase 2	0,023	43,48	139,15
Circuito 2			
Fase 1	0,023	43,48	138,00
Fase 2	0,023	43,48	138,25
Circuito 3			
Fase 1	0,023	43,48	138,90
Fase 2	0,023	43,48	138,98

Fuente: Los Autores

En la tabla 36 se indica el resumen de la relación de (I_{cc}/I_{Lpu}) que está en un promedio de 138,92. De acuerdo a lo establecido en la norma IEEE-519, este valor que debe estar entre $100 < 1000$ donde la TDD permitida es del 15 %.

Tabla 37: Limites de distorsión de corriente

Sistemas de distribución (120 V – 69 kV)						
$\frac{I_{sc}}{I_L}$	Tasa individual admisible en relación a I_L (%)					TDD (%)
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
$< 20^{(1)}$	4,00	2,00	1,50	0,60	0,30	5,00
$20 < 50$	7,00	3,50	2,50	1,00	0,50	8,00
$50 < 100$	10,00	4,50	4,00	1,50	0,70	12,00
$100 < 1000$	12,00	5,50	5,00	2,00	1,00	15,00
> 1000	15,00	7,00	6,00	2,50	1,40	20,00

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la tabla 37, indica los valores permitidos de la tasa de distorsión armónica por la norma IEEE 519, que de acuerdo a los valores analizados y calculados el valor permitido para el sistema de iluminación es del 15 %.

- **THD de Corriente (LED)**

Tabla 38: THD de corriente

	% THDI Total Medido			%THDI Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
	%THDI mínimo	%THDI promedio	%THDI máximo		
Circuito 1	3,29	16,50	33,74	15.00	No Cumple
Circuito 2	3,10	16,05	32,20	15.00	No Cumple
Circuito 3	3,02	16,00	31,00	15.00	No Cumple

Fuente: Los Autores

Según los datos analizados el THD de corriente de la tabla 38, es aproximadamente de 33,74 %, lo cual se encuentra fuera de los rangos establecidos por la norma. Con este valor se puede concluir que el sistema de luminarias LED tiene armónicos de Corriente, por lo tanto, es necesario realizar el análisis de los armónicos individuales de corriente. Como se indica en el Anexo 17.

- **Armónicos de Corriente individual (LED)**

Tabla 39: Valores de armónicos de Corriente individual

	% THDI Individual Medido					%THDI Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
	3°	5°	7°	9°	11°		
Circuito 1	14,1 %	6,0 %	3,7 %	3,7 %	1,5 %	12.00	No Cumple
Circuito 2	13,85 %	5,35 %	3,48 %	3,45 %	1,32 %	12.00	No Cumple
Circuito 3	13,60 %	5,88 %	3,20 %	3,28 %	1,09 %	12.00	No Cumple

Fuente: Los Autores

Según la tabla 39 el armónico más representativo del sistema es el tercero, con un porcentaje del 13,85 % el mismo que sobrepasa al 12 % establecido por la regulación, por

lo tanto, existe armónicos de corriente, posteriormente se planteara soluciones para mitigar estos armónicos de corriente.

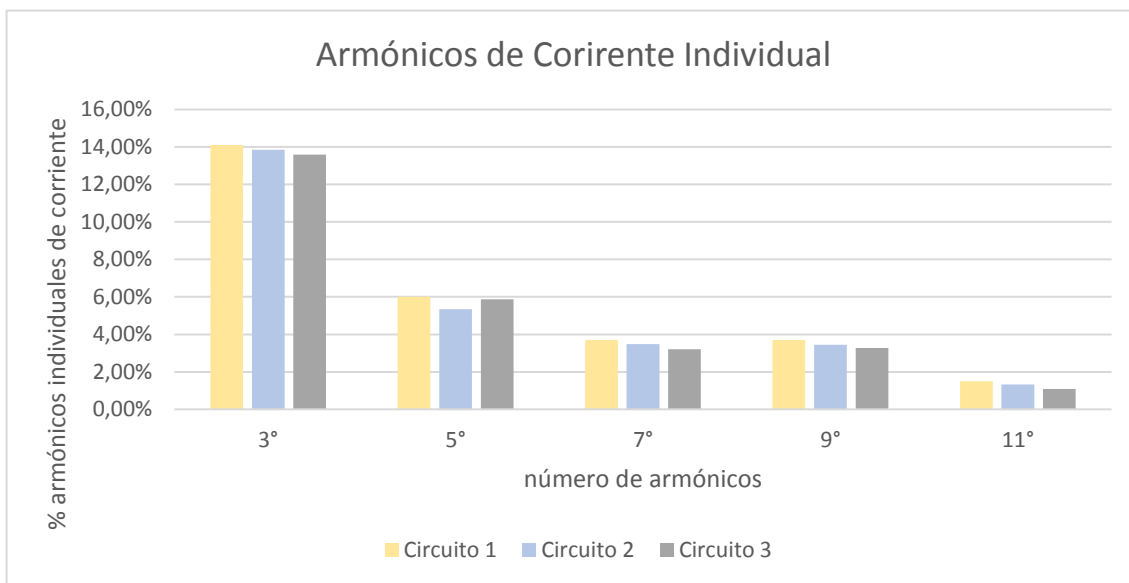


Figura 42: Armónicos individuales de corriente

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 42, se analiza que el porcentaje de los armónicos de corriente individuales, se encuentran fuera del 12 %, por lo tanto, hay presencia de armónicos de corriente y se visualiza que solo el tercer armónico es el que sobrepasa la norma establecida.

11.4.4 Análisis de datos obtenidos a través de la simulación EASY POWER

11.4.4.1 Simulación Inicial de las luminarias tipo LED

Una vez teniendo la información inicial del sistema de iluminación tipo LED, se procede a ingresar los datos en el software, obtenidos en las mediciones.

Los datos ingresados en el software son los siguientes:

- Transformador de 13,8 kV a 220 V de 25 kVA
- Tres conductores de calibre 1/0 AWG
- Carga total conectada al transformador:

Circuito 1: 3,9 kW

Circuito 2: 4,2 kW

Circuito 3: 4,5 kW

Estos datos se ingresan al software de simulación para determinar cuáles son los problemas y así plantear soluciones para mejorar el servicio de alumbrado público. A continuación, se indica el ingreso del diagrama al programa de simulación

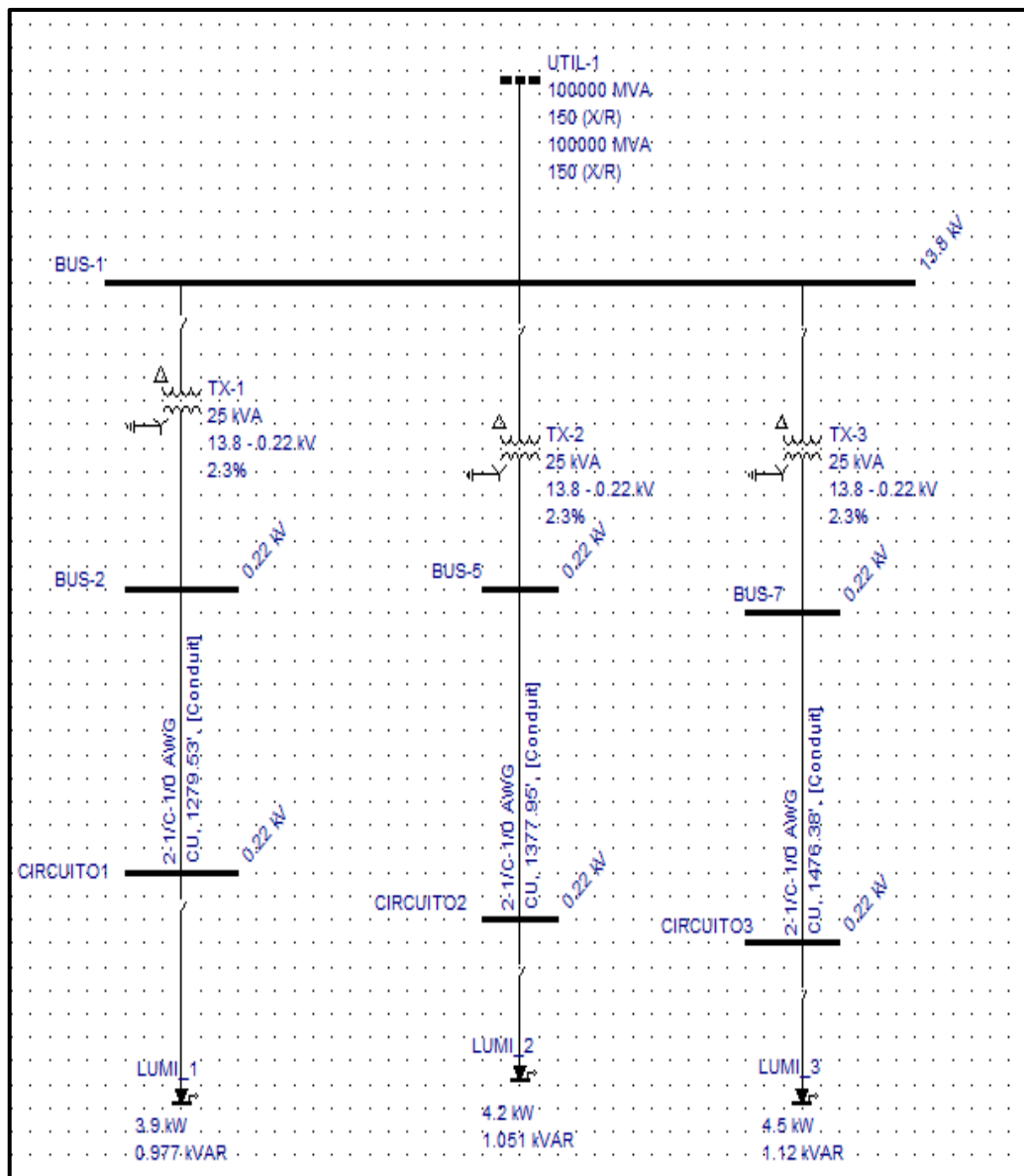


Figura 43: Simulación inicial del sistema de alumbrado público

Fuente: Los Autores

En la figura 43 se indica el diagrama unifilar de los tres circuitos de las luminarias tipo LED, en el software de simulación EASY POWER. Una vez ingresado los datos al software de simulación, se realiza la primera corrida de flujos de potencia, para encontrar los problemas del circuito, además de indican los reportes del software de la corrida de flujos.

➤ **Corrida de Flujo Inicial en el software EASY POWER**

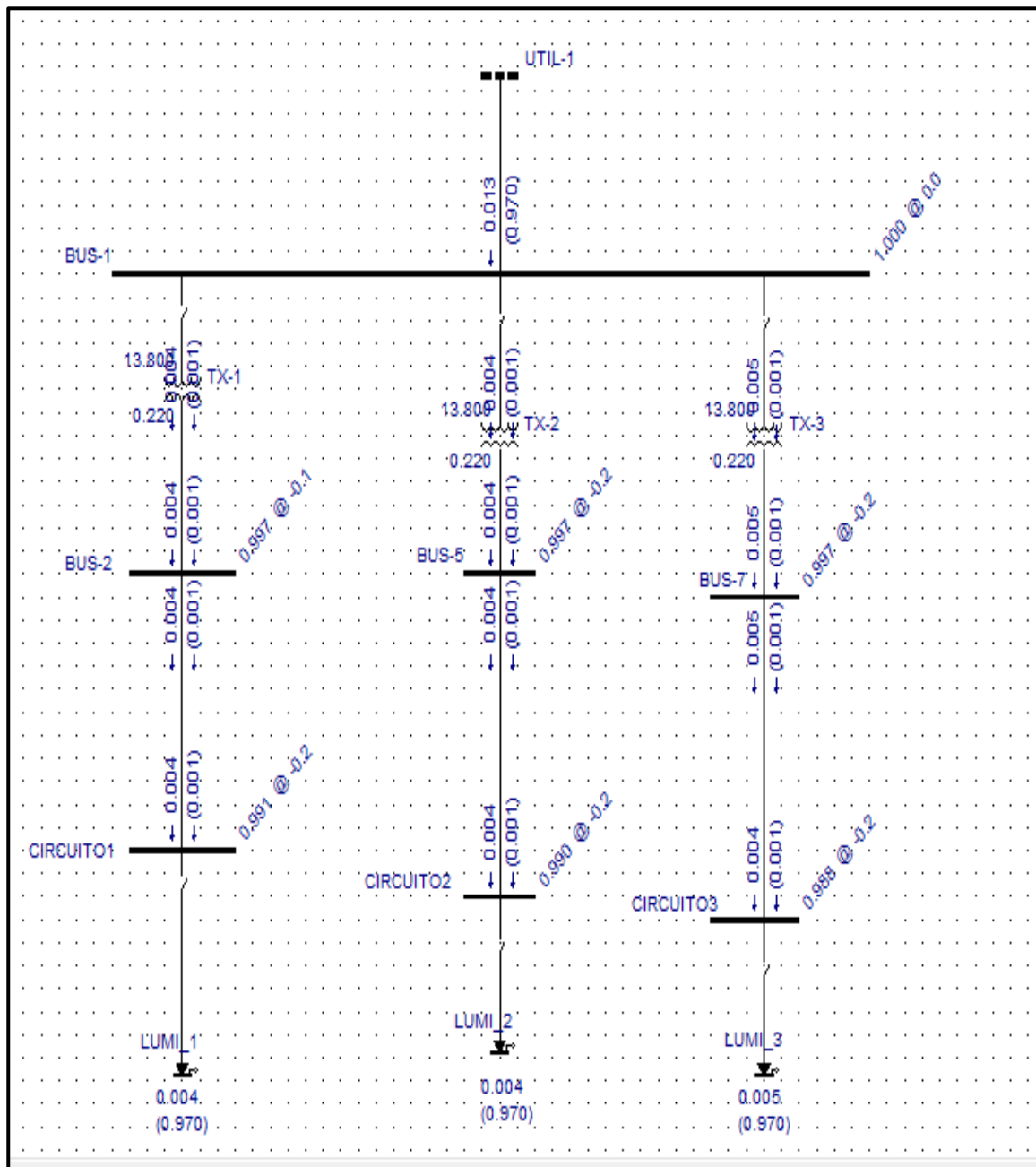


Figura 44: Simulación de la corrida de flujo inicial del sistema de alumbrado público LED

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 44 se indica la corrida de flujo de potencia inicial donde se indica el nivel de factor de potencia de cada circuito. El factor promedio que se visualiza en la figura 44 es de un promedio del 0,97, el mismo que concuerda con los datos del analizador de carga, Como se indica en el Anexo 15

➤ **Problemas encontrados mediante la simulación (LED)**

a) **Factor de Potencia**

Tabla 40: Análisis del factor de potencia de los circuitos

Nombre	Base kV	Factor de Potencia
CIRCUITO 1	0,220	0,970
CIRCUITO 2	0,220	0,970
CIRCUITO 3	0,220	0,970

Fuente: Los Autores

De acuerdo la tabla 40 el factor de potencia del sistema, está en 0,97 el mismo que esta sobre el 0,92. El factor de potencia que arroja el simulador es por cada circuito, cada uno de ellos cumple con lo establecido por la norma.

Tabla 41: Análisis total del factor de potencia del sistema de iluminación

Total	PF
Generador	0,98
Carga	0,97

Fuente: Los Autores

En la tabla 41 se indica el factor de potencia por el sistema de transformación (generador) y por la carga en total del sistema, el mismo que se encuentra dentro de lo establecido por la norma. Estos datos sirven como respaldo de los valores tomados por el analizador, estos valores concuerdan tanto en el analizador como en el simulador.

➤ **Corrida de Flujo Armónico Inicial en el software EASY POWER (LED)**

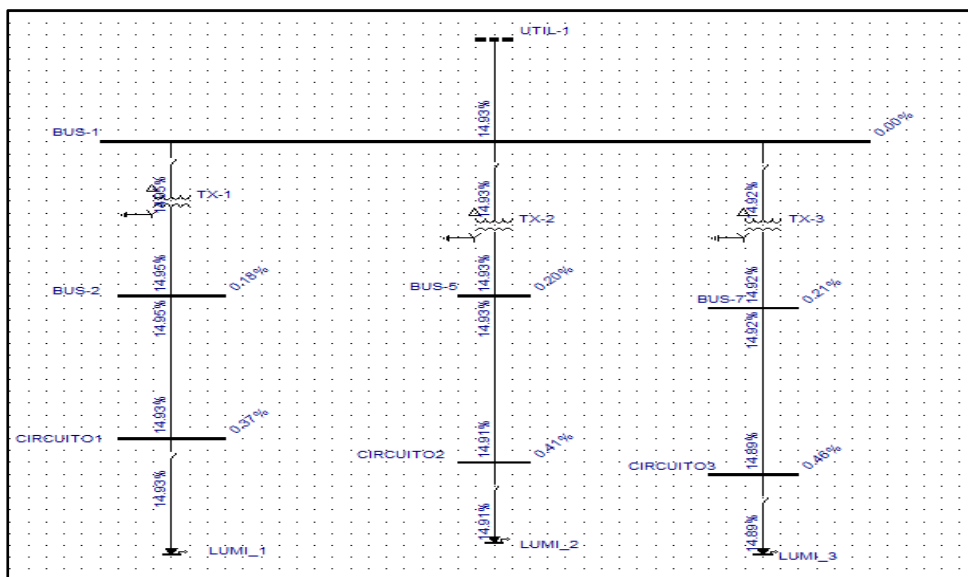


Figura 45: Simulación de la corrida de flujo de armónicos inicial del sistema de alumbrado público

Según la figura 45 se indica la corrida de flujos de armónicos tanto de voltaje como de corriente para las luminarias LED, en el grafico se puede observar que el nivel del THDV está por debajo del 3 %, los mismos que se encuentran dentro de la norma y los valores del THDI sobrepasa el 15 %, datos que concuerdan con el analizador de datos.

a) Armónicos de Voltaje

Después de realizar la corrida de armónicos del diagrama eléctrico del sistema de luminarias LED, se analiza el nivel de porcentaje del THD de voltaje en cada barra del diagrama:

Tabla 42: Análisis del THD de Voltaje del sistema de iluminación

BARRA	% THD VOLTAJE	%THDV Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
CIRCUITO 1	1,98 %	3.0 %	Cumple
CIRCUITO 2	1,35 %	3.0 %	Cumple
CIRCUITO 3	2,15 %	3.0 %	Cumple

Fuente: Los Autores

Según la tabla 42 se indica el nivel del THD de voltaje, que se representa en porcentaje el mismo que se encuentra por debajo del 5 % que señala la norma, estos datos que arroja son el total por cada circuito, donde se debe considerar que este porcentaje es tomado en cada barra.

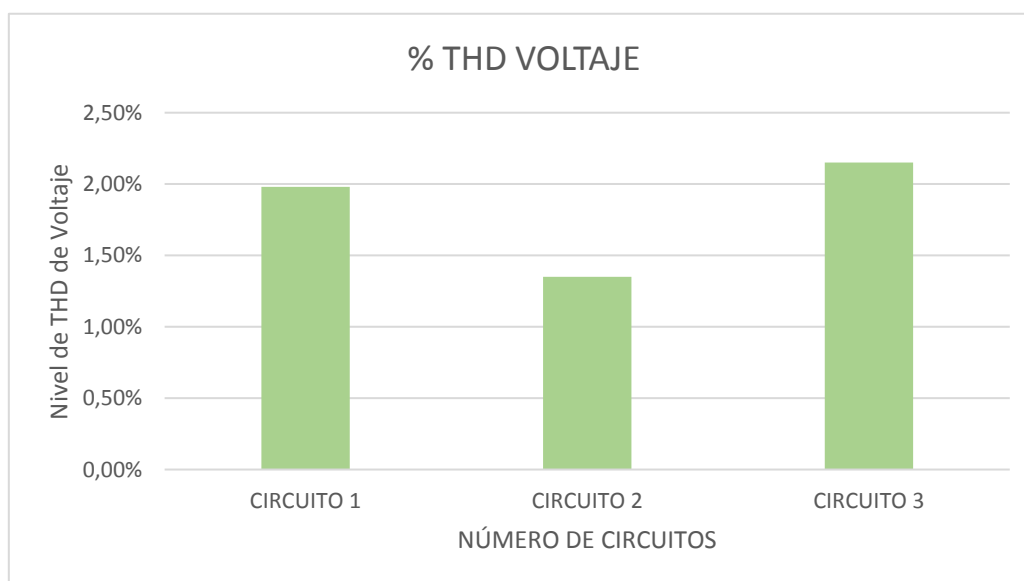


Figura 46: % THD de Voltaje

Fuente: Los Autores

Según la figura 46 se indica que el THD de voltaje se encuentra en un valor promedio de 1,83 %, dicho valor se encuentra dentro de lo establecido por la norma por lo tanto no existe armónicos de voltaje, valor que concuerda con los datos totales del analizador de carga por lo tanto estos datos son correctos.

b) Armónicos de Corriente

Después de realizar la corrida de armónicos del diagrama eléctrico del sistema de luminarias LED, se analiza el nivel de porcentaje del THD de corriente en las cargas del diagrama:

Tabla 43: Análisis del THD de Corriente del sistema de iluminación

CARGA	% THD CORRIENTE	% THDI Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
CARGA 1	13,98 %	15 %	Cumple
CARGA 2	14,65 %	15 %	Cumple
CARGA 3	12,65 %	15 %	Cumple

Fuente: Los Autores

Según la tabla 43 se indica el nivel del THD de corriente, que se representa en porcentaje el mismo que se encuentra por encima del 15 % que señala la norma, estos datos que arroja son el total por cada circuito, donde se debe considerar que este porcentaje es tomado en cada carga.

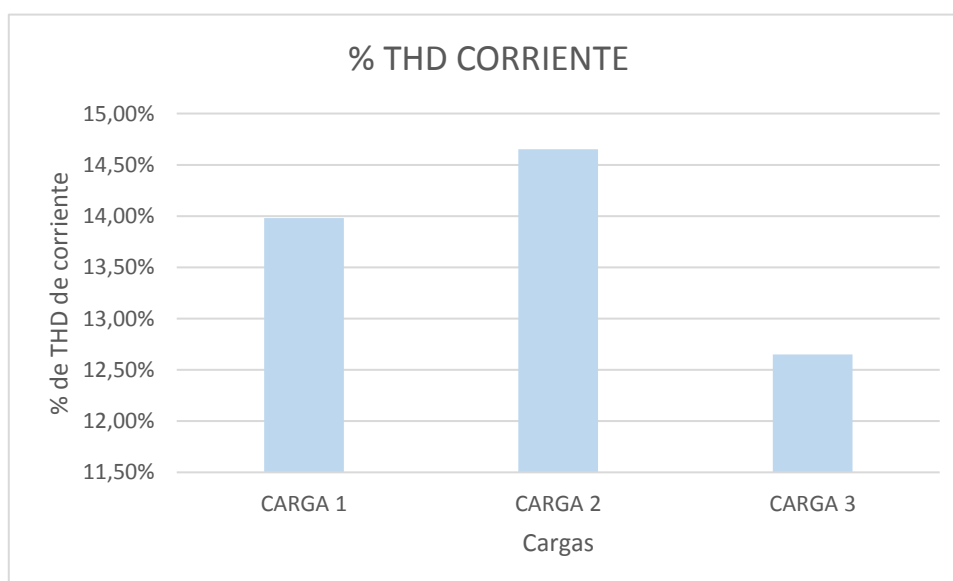


Figura 47: Simulación del % THD de Corriente

Según la figura 47 se indica que el THD de corriente se encuentra en un valor promedio de 15,00 %, dicho valor se encuentra dentro de lo establecido por la norma por lo tanto no existe armónicos de voltaje, valor que concuerda con los datos totales del analizador de carga por lo tanto estos datos son correctos.

11.4.5 Soluciones Propuestas

a) Cálculo Para Diseño del Filtro Armónico de las luminarias tipo LED

➤ Circuito 1

Potencia consumida en las luminarias tipo LED= **4,21 kW**

Lo primero que se procede a realizar es el cálculo de los ángulos, utilizado como datos el valor medido del factor de potencia y como segundo dato el valor al cual deseo llevar el factor de potencia.

$$f_{p1}=0,97 \quad \theta_1 = \cos^{-1}(0,97) = 14,070$$

$$f_{p2}=0,98 \quad \theta_2 = \cos^{-1}(0,98) = 11,478$$

Con los datos de los ángulos saco los KVAR efectivos (Q_{eff})

$$Q_{\text{eff}} = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$Q_{\text{eff}} = 4,21 (\tan (14,070) - \tan (11,478))$$

$$Q_{\text{eff}} = 0,201 \text{ kVAR}$$

Este valor en KVAR es el que se deberá instalar en total del sistema en el punto de conexión del horno de inducción

El siguiente paso es calcular la reactancia efectiva del filtro

$$X_{\text{eff}} = \frac{(V_{\text{ll sist}})^2}{Q_{\text{eff}}}$$

$$X_{\text{eff}} = \frac{(220 \text{ v})^2}{0,201 \times 10^3}$$

$$X_{\text{eff}} = 1,09 \Omega \text{ x fase}$$

$$h = \frac{f \text{ armonico}}{f \text{ fundamental}}$$

$$h = \frac{180}{60} ; h=3 ; \quad 3*6\% = 0,18 ; \quad 3-0,18 = 2,82$$

Cálculo de la reactancia capacitiva

$$X_c = \frac{(hx0,6)^2}{(hx0,6)-1} * X_{\text{eff}} \quad C = \frac{1}{2*\pi*f*X_c}$$

$$X_c = \frac{(2,82)^2}{(2,82)^2 - 1} * 2,91$$

$$X_c = 3,33 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 3,33} = 7,97 * 10^{-4} F = 796,57 * 10^{-6} F$$

$$C = 796,57 \mu F$$

Debemos elegir un capacitor de valor comercial de 820 Uf

Cálculo de la reactancia inductiva

$$X_l = \frac{X_c}{h^2}$$

$$X_l = \frac{3,33}{3^2}$$

$$X_l = \frac{3,33}{9}$$

$$X_l = 0,37 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 * \pi * f}$$

$$L = \frac{0,37 \Omega}{2 * \pi * 60}$$

$$L = 9,815 * 10^{-4} H$$

$$L = 0,9815 * 10^{-3} H$$

$$L = 0,9815 mH$$

Cálculo de la Resistencia del Filtro

$$R = \frac{X_l * h * 0,6}{Q_f}$$

$$R = \frac{0,37 \Omega * 2,82}{20}$$

$$R = 0,0522 \Omega$$

Cálculo de la Impedancia del Filtro

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$$

$$Z = 0,0522 \Omega + j \left(2 * \pi * 60 * 0,9815 * 10^{-3} - \frac{1}{2 * \pi * 60 * 0,79657 * 10^{-3}} \right)$$

$$Z = 0,0522 \Omega + j (0,37 - 3,33)$$

$$Z = 0,0522 - j 2,96$$

Cálculo de los kVAR del Filtro

$$Kvar_{filtro} = \frac{V_i^2 (1 - h)}{X_c - X_l}$$

$$Kvar_{filtro} = \frac{(220)^2}{3,33 - 0,37}$$

$$Kvar_{filtro} = 16351,35$$

$$K_{\text{var}_{\text{filtro}}}=0,0164 \text{ MVA}$$

COMPROBACIÓN

Para que el filtro pasivo serie RLC se sintonice a la frecuencia requerida, se debe cumplir la siguiente condición:

$$X_c = X_L \qquad X_L = X_C \times h$$

$$X_c = \frac{3,33}{2,82} \qquad X_L = 0,37 \times 2,82$$

$$X_c = 1,18 \qquad X_L = 1,04$$

$$1,18 = 1,04$$

Corriente- El valor eficaz de la corriente en el filtro no debe sobrepasar los 135 % de la corriente fundamental.

Corriente Fundamental

$$I_{\text{fund}} = \frac{\frac{V_{\text{ll sist}}}{\sqrt{3}}}{X_c - X_L}$$

$$I_{\text{fund}} = \frac{\frac{220}{\sqrt{3}}}{3,33 - 0,37}$$

$$I_{\text{fund}} = 42,91 \text{ A}$$

Corrientes Armónicas

$$I_h = \% \times \text{fund}$$

$$I_{3\%} = 1\,410 = \frac{I_3}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{1\,410 \times 42,91 I_3}{100} \qquad I_3 = 32,86 \text{ A}$$

$$I_{5\%} = 600 = \frac{I_5}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{600 \times 42,91 I_5}{100} \qquad I_5 = 13,98 \text{ A}$$

$$I_{7\%} = 370 = \frac{I_7}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{370 \times 42,91 I_7}{100} \qquad I_7 = 16,71 \text{ A}$$

$$I_{9\%} = 370 = \frac{I_9}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{370 \times 42,91 I_9}{100} \qquad I_9 = 16,71 \text{ A}$$

$$I_{11\%} = 150 = \frac{I_{11}}{I_{fund}} \times 100 = \frac{150 \times 42,9 I_{11}}{100} \quad I_{11} = 3,50 \text{ A}$$

$$I_{total \text{ rms}} = \sqrt{I_f^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2}$$

$$I_{total \text{ rms}} = \sqrt{(42,91)^2 + (32,86)^2 + (13,98)^2 + (16,71)^2 + (16,71)^2 + (3,50)^2}$$

$$I_{total \text{ rms}} = 60,722 \text{ A}$$

VERIFICACIÓN DE LA NORMA

$$\% \text{margen de corriente} = \frac{I_{total \text{ rms}}}{I_{fundamental}} \times 100 \% \leq 135 \% I_{Fund} \text{ Se encuentra dentro de la norma}$$

$$\% \text{margen de corriente} = \frac{60,722}{42,91} \times 100 \% \leq 135 \%$$

$$I_{total \text{ rms}} = 130,33\% \leq 135\% \text{ SE ENCUENTRA DENTRO DE LA NORMA}$$

El valor de voltaje pico del filtro no debe sobrepasar el 120 % del voltaje pico del sistema.

$$V_c = I_{fund} \times X_C$$

$$V_c = 42,91 \times 3,33$$

$$V_c = 142,89 \text{ V}$$

$$V_{c(h)} = \sum_h^n (v(h)) = \sum_h^n \left(I(h) \times \frac{X_C}{n} \right)$$

$$V_{c(h)} = V_{(3)} + V_{(5)} + V_{(7)} + V_{(9)} + V_{(11)} + V_{(13)}$$

$$V_{c(h)} = \left(I_{(3)} \times \frac{0,57}{5} \right) + \left(I_{(5)} \times \frac{0,57}{5} \right) + \left(I_{(7)} \times \frac{0,57}{7} \right) + \left(I_{(11)} \times \frac{0,57}{11} \right) + \left(I_{(13)} \times \frac{0,57}{13} \right)$$

$$V_{c(h)} = \left(32,86 \times \frac{3,33}{3} \right) + \left(13,98 \times \frac{3,33}{5} \right) + \left(16,71 \times \frac{3,33}{7} \right) + \left(16,71 \times \frac{3,33}{9} \right) + \left(3,50 \times \frac{3,33}{11} \right)$$

$$V_{c(h)} = 36,47 + 9,31 + 7,95 + 0,67 + 6,18 + 1,06$$

$$V_{c(h)} = 61,64 \text{ V}$$

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = \sqrt{2} (V_c + V_{c(h)})$$

$$V_{\text{L-N SISTEMA}} = \frac{V_{\text{ll sist}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = \sqrt{2}(142,89+61,64)$$

$$V_{\text{L-N SISTEMA}} = \frac{220 \text{ V}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = 289,25 \text{ V}$$

$$V_{\text{L-N SISTEMA}} = 127,02 \text{ V}$$

$$V_{\text{L-N pico sistema}} = \sqrt{2} \times V_{\text{L-N SISTEMA}}$$

$$V_{\text{L-N pico sistema}} = \sqrt{2} \times 127,02 \text{ V}$$

$$V_{\text{L-N pico sistema}} = 179,63 \text{ V}$$

VERIFICACIÓN DE LA NORMA

$$\frac{V_{c \text{ L-N total pico}}}{V_{\text{L-N pico sistema}}} \times 100 \% \leq 120 \%$$

$$\frac{179,63 \text{ V}}{289,25 \text{ V}} \times 100 \% \leq 120 \%$$

$$62,10 \% \leq 120 \% \quad \text{SI CUMPLE}$$

El valor eficaz del voltaje del filtro no debe sobrepasar EL 110 % del voltaje eficaz del sistema.

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = \sqrt{(V_{c1})^2 + (V_{c3})^2 + (V_{c5})^2 + (V_{c7})^2 + (V_{c11})^2 + (V_{c17})^2}$$

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = \sqrt{(142,89)^2 + (4,98)^2 + (1,48)^2 + (0,62)^2 + (0,88)^2 + (0,28)^2}$$

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = 142,99 \text{ V}$$

$$V_{\text{L-N rms SISTEMA}} = \frac{V_{\text{L-N sist}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{L-N rms SISTEMA}} = \frac{220 \text{ V}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{L-N rms SISTEMA}} = 127,02 \text{ V}$$

VERIFICACIÓN DE LA NORMA.

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{V_{c \text{ L-N total rms}}}{V_{\text{L-N rms SISTEMA}}} \times 100 \% \leq 110 \%$$

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{142,99 \text{ V}}{127,02} \times 100 \% \leq 110 \% V_{\text{L-N rms SISTEMA}}$$

$$\% \text{margen de voltaje} = 104,18 \% \leq 110 \% V_{\text{L-N rms SISTEMA}}$$

SE CUMPLE_ DENTRO DE LA NORMA

El último factor evalúa el calentamiento del dieléctrico del filtro.

$$Q_{3\phi \text{ recalculado}} = \frac{(V_{c \text{ L-N total rms}})^2}{X_c} \times 3 = \frac{(127,02V)^2}{0,57} \times 3$$

$$Q_{3\phi \text{ recalculado}} = 84,92 \text{ kVAR}$$

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{Q_{3\phi \text{ recalculado}}}{Q_{3\phi}} \times 100 \% \leq 135 \%$$

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{84,92 \text{ kVAR}}{360,46 \text{ kVAR}} \times 100 \% \leq 135 \%$$

$$\% \text{margen de voltaje} = 102,275 \% \leq 135 \% \quad \text{SI CUMPLE}$$

Calentamiento del Dieléctrico

$$\sum \downarrow h = (V(h) \times I(h)) \leq 1,35 Q_{3\phi \text{ recalculado}}$$

$$\sum \downarrow h = 3((264,62)(464,24) + (23,67)(1,36) + (18,11)(0,94) + (15,32)(0,67))$$

$$\sum \downarrow h = 3(12 \ 2961,11)$$

$$\sum \downarrow h = 368 \ 883 \text{ VAR}$$

$$\sum \downarrow h = 368,883 \text{ kVAR}$$

$$368,883 \leq 1,35 \times 368,66$$

$$368,883 \leq 497,691 \quad \text{SI CUMPLE}$$

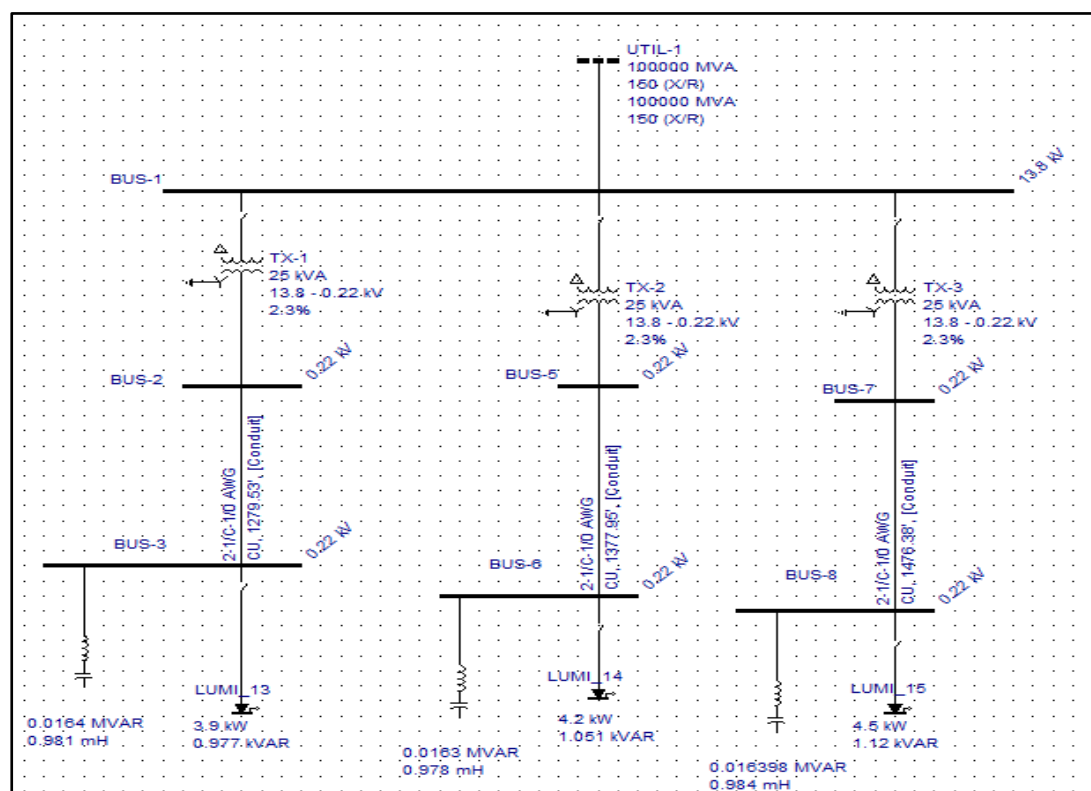
Tabla 44: Datos de filtros para luminarias LED

	CIRCUITO 1	CIRCUITO 2	CIRCUITO 3
Resistencia (R)	0,0522 Ω	0,05221 Ω	0,052199 Ω
Inductancia (Xl)	0,37 Ω	0,369 Ω	0,371 Ω
Capacidad del filtro (Q)	0,22 MVAR	0,2199 MVAR	0,2211 MVAR

Fuente: Los Autores

El anterior procedimiento se debe realizar para todos los circuitos, en la tabla 44 se especifica los datos del filtro que será ingresado en el simulador para corregir los armónicos de corriente. Los datos necesarios de calcular para el diseño de un filtro son: la resistencia, inductancia y capacidad del filtro.

11.5 Comprobación del filtro (LED)

**Figura 48:** Colocación del filtro

Fuente: Los Autores

El tipo de filtro que se instala en las luminarias LED, es pasivo el mismo que consta de una combinación de una bobina, una resistencia y un capacitor, dicho capacitor se coloca paralelo a la carga como se indica en la figura 48.

a) Análisis de Armónicos de voltaje (LED)

Tabla 45: THD de Voltaje corregidos

BARRA	% THD VOLTAJE	%THDV Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
CIRCUITO 1	1,98 %	3.0 %	Cumple
CIRCUITO 2	1,35 %	3.0 %	Cumple
CIRCUITO 3	2,15 %	3.0 %	Cumple

Fuente: Los Autores

Una vez colocado el filtro se realiza la corrida de flujos armónicos y se obtiene los nuevos valores de los armónicos de voltaje, en la tabla 45 se observa que el % de THD de Voltaje se reduce a menos del 3 %, valor que es altamente recomendado para un sistema de iluminación.

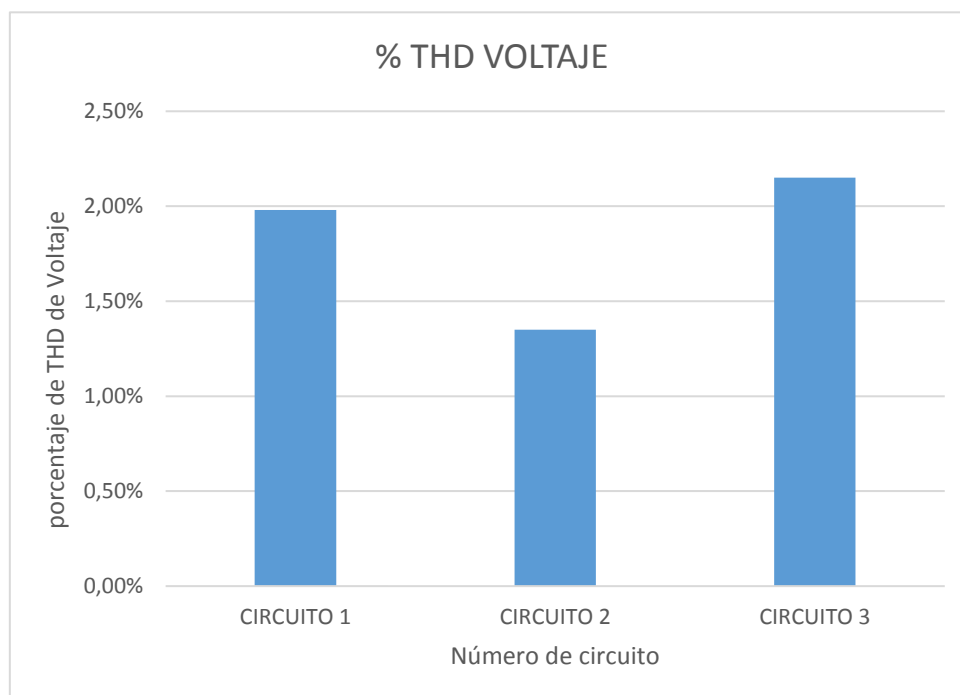


Figura 49: Simulación del %THD de Voltaje

Fuente: Los Autores

En la figura 49 se indica los valores resultantes del porcentaje del THD de voltaje, una vez tomado los datos del THD de voltaje se realiza un diagrama de barras para identificar en qué porcentaje se encuentra los armónicos de voltaje. Donde se puede observar que en la gráfica se encuentra menos al 3 %, llegando a cumplir con la norma.

b) Análisis de Armónicos de corriente (LED)

Tabla 46: Análisis total del % THD de Corriente

CARGA	% THD CORRIENTE
CARGA 1	1,59 %
CARGA 2	1,72 %
CARGA 3	1,34 %

Fuente: Los Autores

Se obtiene los nuevos valores de los armónicos de corriente, en la tabla 46 se observa que el % de THD de Corriente se reduce a un 2 %, valor que es altamente recomendado para un sistema de iluminación, debido a que los armónicos de corriente afectan más a los circuitos eléctricos.

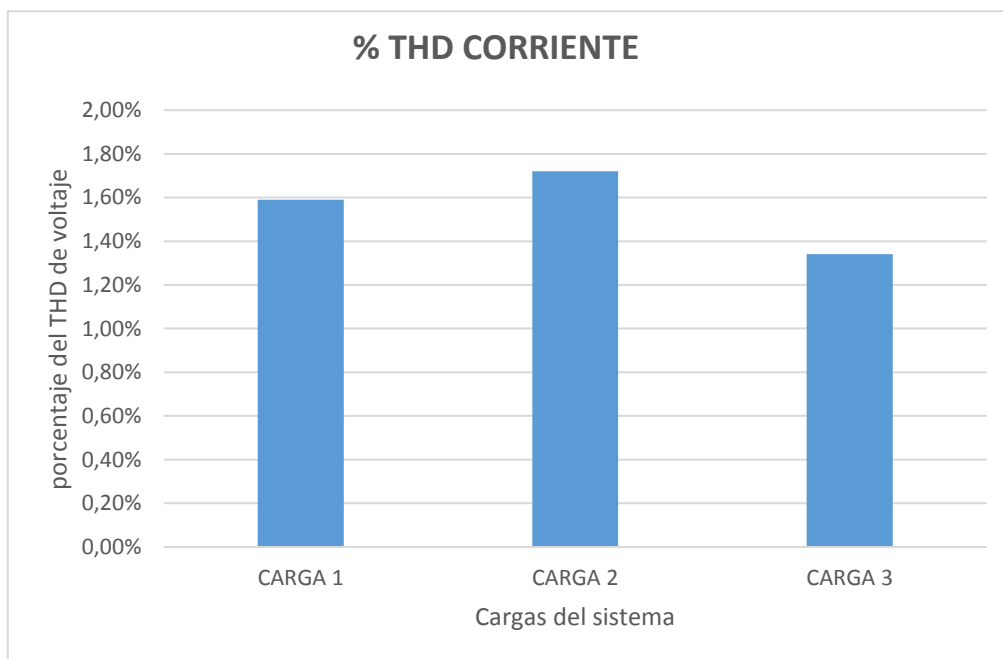


Figura 50: Simulación del %THD de Corriente

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 50, se analiza que el porcentaje de los armónicos de corriente individuales, se encuentran dentro del 2 %, por lo tanto, no hay presencia de armónicos de corriente.

11.6 Análisis Técnico – Económico (LED)

➤ Ahorro energético al implementar las soluciones propuestas de luminarias LED

Cálculo de Pérdidas:

Pérdidas Iniciales=0,013 MW

Pérdidas finales=0,003 MW

$$0,013 \times 10^6 \text{ W} \times \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 13 \text{ kW}$$

$$0,003 \times 10^6 \text{ W} \times \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 3 \text{ kW}$$

Pérdidas Iniciales en hora pico=14 kW

Pérdidas finales en hora pico= 5 kW

Pérdidas totales=Pérdidas Iniciales-Pérdidas finales (39)

Pérdidas totales=13 kW-3 kW

Pérdidas totales= 10 kW

Calculo de las pérdidas de energía

Perdidas de Energía=Perdidas en valor en kW*días*horas (40)

$$\# \text{ de horas de carga equivalentes (EH)} = \frac{\text{Energía total consumidas en un periodo (kWh)}}{\text{Carga máxima (kW)}} \quad (41)$$

Carga máxima=12,6 kW

Energía total consumidas en un periodo (kWh)=312,047 kWh

$$\text{EH} = \frac{312,047 \text{ kWh}}{12,6 \text{ kW}}$$

EH=24,76 h

Perdidas de Energía=Pérdidas totales en kW*semanas*horas

Perdidas de Energía= 10 kW*4 semanas* 24,76 horas

$$\text{Perdidas de Energía} = 990,4 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Se multiplica la Energía por el costo del kWh este valor es tomado del pliego tarifario

$$\text{Costo por perdidas} = 990,40 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * 0,038 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo por perdidas} = 37,64 \frac{\text{USD}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{Costo por perdidas} = 451,62 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro económico} = 451,62 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

11.6.1 Cálculo del TIR y el TMAR:

Para el cálculo de estos parámetros tomamos en consideración los siguientes datos:

- Inversión del Proyecto: 661,92 USD
- Ahorro económico por energía consumida anual: 451,62 $\frac{\text{USD}}{\text{año}}$
- Instalación de los equipos recomendados: 500,00 USD
- Mantenimiento de los equipos: 200,00 USD
- Además se tomara en cuenta una tasa de inflación del 0,9%

Tabla 47: Flujos de carga

CUENTAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIÓN	(661,92)										
AHORRO POR		451,62	470,00	489,13	509,04	529,76	551,32	573,76	597,11	621,41	646,70
INSTALACIÓN		500,00									
MANTENIMIENTO		200,00	208,14	216,61	225,43	234,60	244,15	254,09	264,43	275,19	286,39
FLUJO NETO	(661,92)	(248,38)	261,86	272,52	283,61	295,15	307,17	319,67	332,68	346,22	360,31

Fuente: Los Autores

- **Cálculo del TIR:** 23,33 %
- **Cálculo del TMAR:** 864,76
- **Tiempo de recuperación:** 5 años

De acuerdo a la tabla 47 se visualiza que el proyecto es rentable puesto que el período de recuperación de la inversión de capital se da en un tiempo razonable de cinco años ya que el tiempo de vida útil de los equipos es de diez años, además de esto se debe considerar

los beneficios que generan como el ahorro de energía y las luminarias funciona adecuadamente.

11.6.2 Descripción del sistema eléctrico de los circuitos de las luminarias Vapor de Sodio

El complejo Catiglata, dispone de alumbrado público de luminarias tipo vapor de sodio de 250 Watts. El sistema de iluminación está formado por una cámara de transformación es decir un solo circuito, cada transformador tiene una capacidad de 75 kVA, con un nivel del voltaje de 13,8 kV a 220 V. La alimentación consta con dos conductores de 1/0 AWG.

Tabla 48: Características del transformador

Marca:	INATRA
Voltaje de alta:	13 800 V
Voltaje de baja:	220 V
Capacidad:	75 kVA
Tipo de conexión:	DYn5
Nivel básico de aislamiento (BIL):	95 kV
Frecuencia:	60 Hz

Fuente: Los Autores

El complejo Catiglata, donde se realizó el análisis de las luminarias de vapor de sodio dispone de alumbrado público que está conformado por luminarias de potencia de 250 Watts.

En la tabla 48, se indica las características del sistema eléctrico de los circuitos de las luminarias vapor de sodio, donde el sistema de iluminación está formado por una cámara de transformación, el transformador tiene una capacidad de 75 kVA y con una impedancia del 2%, con un nivel del voltaje de 13,8 kV a 220 V. La alimentación consta con dos conductores de 1/0 AWG.

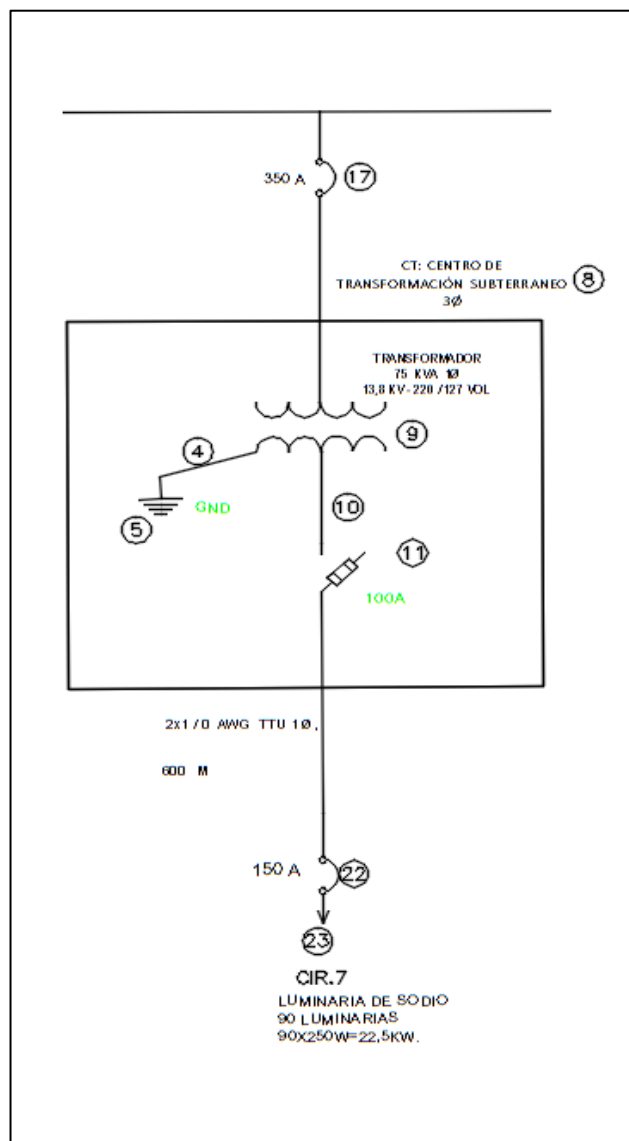


Figura 51: Diagrama Unifilar de luminarias Vapor de Sodio

Fuente: Los Autor

En la figura 51, se indica el diagrama unifilar del sistema eléctrico de las luminarias de Vapor de Sodio, en el diagrama se visualiza un circuito en total, el mismo que esta alimentado con un transformador tipo Pad Mount. El diagrama unifilar completo se indica en el ANEXO 2, donde se especifica el número de luminarias conectadas a cada uno de los alimentadores.

11.6.3 Análisis de Parámetros eléctricos de las Luminarias Tipo Vapor de Sodio

Para el análisis de potencias se debe tomar en cuenta el periodo de trabajo de las luminarias en. De acuerdo a la regulación nacional de Calidad de Energía CONELEC 004/01 se considera los días de período de estudio de 7 días del 13 al 20 de noviembre del 2018, en periodos de estudio de 10 minutos, en horarios de 18H00 hasta las 06H00.

Tabla 49: Recopilación de Datos de Luminarias tipo Vapor de Sodio según FLUKE 435

Voltaje	Mínimo	Promedio	Máximo	Unidades
L 1- N	110,29	113,16	115,23	V
L 2-N	110,29	113,16	115,23	V
Corriente				
L 1	0,50	5,11	9,90	A
L 2	0,53	5,17	10,03	A
Frecuencia	59,91	60,00	60,08	Hz
Potencia Activa				
L 1	0,50	7,13	11,00	Kw
L 2	0,75	3,29	11,00	Kw
Total	1,25	10,42	22,00	Kw
Potencia Aparente				
L 1	0,10	2,34	9,67	Kva
L 2	0,50	5,88	11,48	Kva
Total	0,60	8,22	21,15	Kva
Potencia Reactiva				
L 1	0,13	6,92	10,01	Kvar
L 2	0,20	4,11	8,01	Kvar
Total	0,33	11,04	18,02	Kvar
Energía Activa				
L 1	210,80	220,10	220,60	KWh
L 2	310,18	330,15	350,40	kWh
Total	520,98	560,25	570,90	kWh

Fuente: Los Autores

En la tabla 49 se indica el resumen de los datos arrojados por el analizador, para estos parámetros eléctricos permiten determinar los niveles de voltaje, corriente, potencias, factor de potencia de cada fase y total. La tabla representa los valores tomados para el circuito de las luminarias de vapor de sodio.

Después de indicar cada uno de los parámetros eléctricos de los circuitos de luminarias tipo Vapor de Sodio se procede a realizar el análisis del cumplimiento de los parámetros de calidad de energía de acuerdo a la regulación CONELEC 004/01.

a) Análisis del factor de Potencia (Vapor de Sodio)

Tabla 50: Valores de Factor de Potencia

Valores	MIN	MED	MAX	OBSERVACIONES
F.P L1	0,33	0,56	0,56	No cumple con la regulación
F.P L2	0,32	0,52	0,72	No cumple con la regulación
F.P. PROMEDIO	0,32	0,54	0,72	No cumple con la regulación

Fuente: Los Autores

Según la tabla 50, se indica los datos registrados de los circuitos de luminarias vapor de Sodio, se indica un factor de potencia promedio de 0,54, según la regulación CONELEC 004/01 el factor de potencia debe ser mayor a 0,92; por lo tanto, el factor de potencia se encuentra fuera de los valores establecidos por la norma.

b) Análisis de Niveles de Voltaje (Vapor de Sodio)

Tabla 51: Niveles de Voltaje min, med y max de las fases

	V1L RMS	V2L RMS
VOLTAJE MÍNIMO	0,26 %	0,26 %
VOLTAJE MEDIO	2,88 %	2,88 %
VOLTAJE MÁXIMO	4,75 %	4,75 %

Fuente: Los autores

Se determina si existen desbalances de voltaje, en el circuito de luminarias de vapor de sodio, que no debe ser mayor al $\pm 8,0$ % establecido por CONELEC 004/01

En la tabla 51, se aprecia que los valores de las líneas se encuentran dentro de los límites permitidos, la variación máxima que presenta el circuito está por debajo del $\pm 8,0$ %, por lo tanto, cumplen con la regulación no existe desniveles de voltaje.

c) Análisis de la carga Diaria (Vapor de Sodio)

Para la elaboración de la curva de carga se trabajó con las potencias medidas durante siete días por el analizador de carga, para esto se analiza el día más representativo del funcionamiento de las luminarias que fue el día 14 de Noviembre del 2018. La curva de carga representa un comportamiento lineal característico, donde la demanda pico se presenta a las 23:49 pm.

En la representación gráfica indicada se puede observar que no varía la demanda o carga eléctrica en el intervalo de tiempo, la demanda es constante.

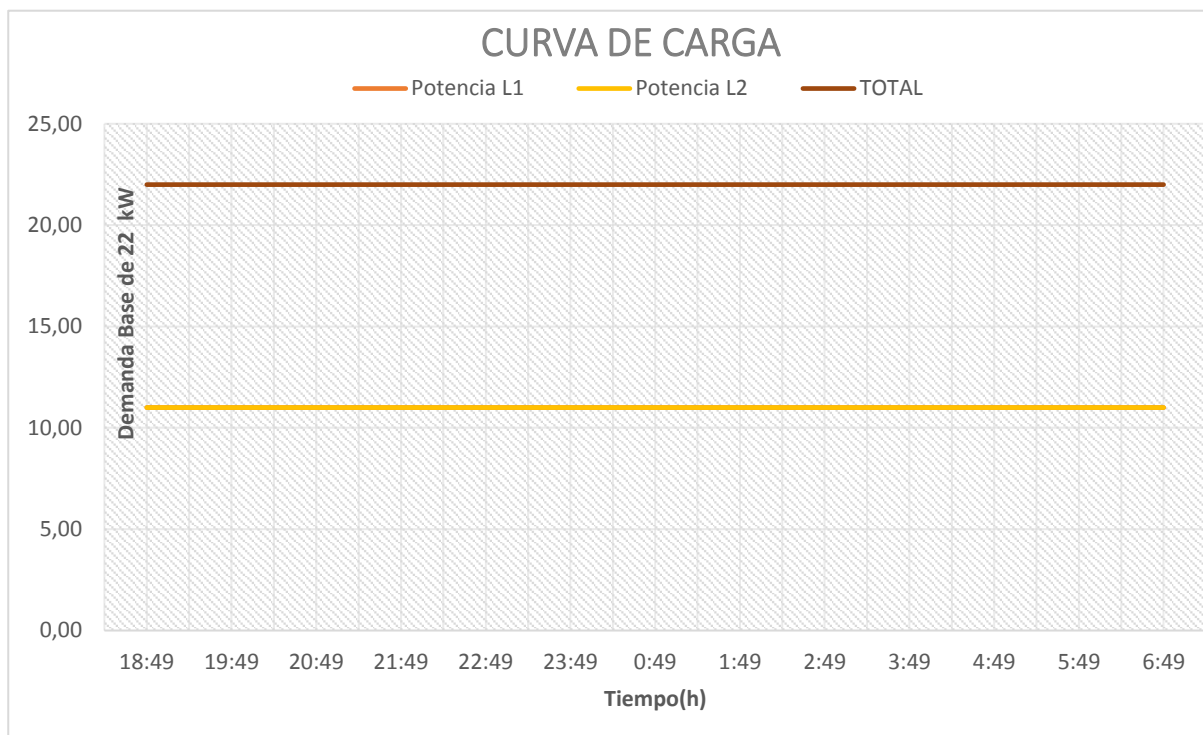


Figura 52: Curva de carga diaria

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 52 se puede observar la curva típica del consumo de las luminarias tipo vapor de sodio, dicha curva es constante ya que no existen variaciones significativas de carga. Dicha curva es analizada en un periodo de tiempo de 24 horas, donde la potencia máxima es de 10 kW.

d) Análisis de los armónicos de Voltaje (Vapor de Sodio)

- **THD de Voltaje total**

Para el análisis de la presencia de armónicos de voltaje, se debe determinar si el nivel de THD de voltaje sobrepasa el límite establecido por la norma IEEE – 519, para cada circuito. Para esto se debe basar en la tabla de niveles de THDV, de acuerdo al nivel de voltaje de alimentación de las luminarias.

Tabla 52: Límites de la distorsión armónica de voltaje para sistemas de distribución según la norma IEEE.

Tensión	Distorsión armónica de tensión individual %	Distorsión de tensión total, THD [V_n]%
$U \leq 69 \text{ kV}$	3,0 %	5,0 %
$69 \text{ kV} < U \leq 161 \text{ kV}$	1,5 %	2,5 %
$U > 161 \text{ kV}$	1,0 %	1,5 %

Fuente: Los Autores

De acuerdo la tabla 52 el nivel de THD de voltaje que se debe cumplir de acuerdo al nivel de voltaje de las luminarias que es menor a 69 kV es del 5,0 %, para esto se debe analizar los datos registrados de cada circuito.

Tabla 53: Valores de THD de voltaje

	THDV PROMEDIO	THDV L1	THDV L2	%THDV Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
MÍNIMO	1,46	1,37	1,56	5,0 %	Cumple
MEDIO	2,26	2,20	2,33	5,0 %	Cumple
MÁXIMO	8,50	5,07	3,94	5,0 %	Cumple
OBSERVACIONES	El límite máximo del THD de las tres líneas es un 8,50 % donde excede el 5 % por lo que no cumple con la regulación				

Fuente: Los Autores

Según los datos presentados en la tabla 53 el THD de voltaje es aproximadamente de 8,50 %, lo cual se encuentra fuera de los rangos establecidos por la norma. Con este valor se puede concluir que el sistema de luminarias vapor de sodio tiene armónicos de Voltaje.

- **THD de Voltaje individual (Vapor de Sodio)**

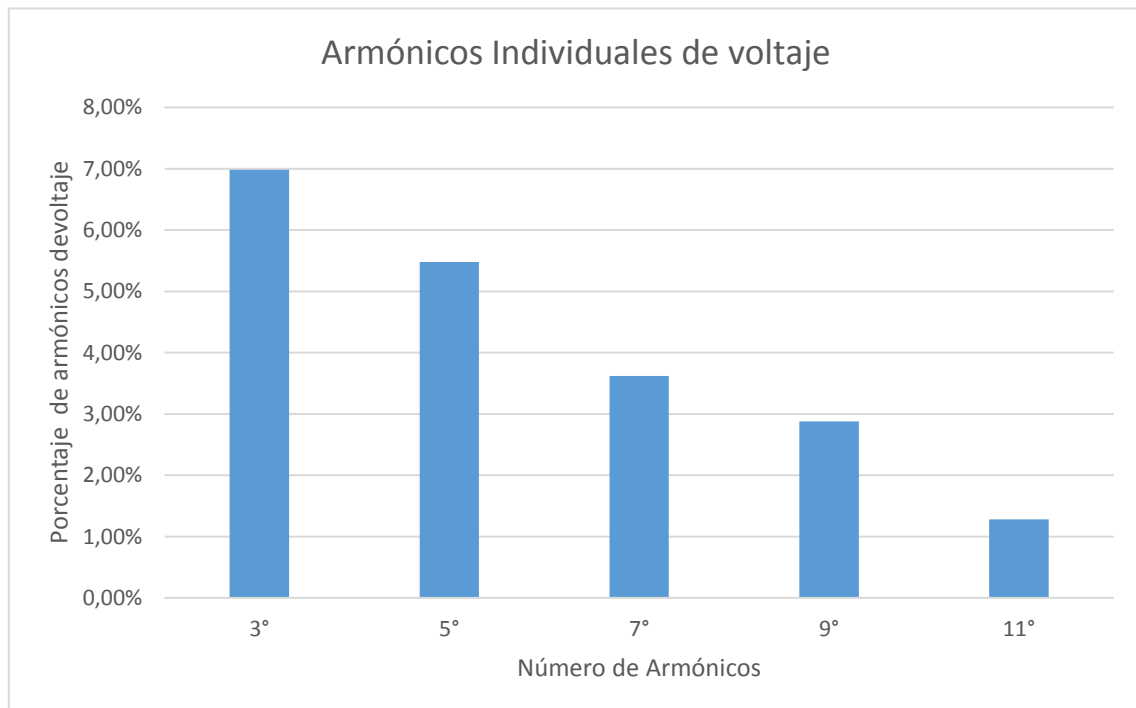
Una vez realizado el análisis del THD de voltaje Total, se estudia los armónicos individuales de voltaje, para esto se considera un porcentaje límite del 3 %, a continuación, en la tabla 54 se expone los datos de los armónicos individuales, se debe de considerar que los armónicos de voltaje se miden en las barras.

Tabla 54: Valores de armónicos de voltaje individual

THD DE VOLTAJE INDIVIDUALES						%THDV Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
	3°	5°	7°	9°	11°		
MÁXIMO	6,98 %	5,48 %	3,62 %	2,88 %	1,28 %	3.0 %	No cumple

Fuente: Los Autores

Según la tabla 54 el porcentaje de los armónicos individuales de voltaje debe estar dentro del 3 %, para esto se considera los niveles totales de los armónicos individuales de voltaje de las barras del circuito, en la tabla 54 se indica el nivel de armónicos impares de voltaje que presenta el sistema eléctrico, donde se concluye que el armónico que afecta más al circuito es el tercero.

**Figura 53:** Armónicos individuales de voltaje

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 53, se analiza que el porcentaje de los armónicos de voltaje individuales, se encuentran por debajo del 7 %, por lo tanto, hay presencia de armónicos de voltaje. Por lo tanto, se concluye que las luminarias led no presentan armónicos de voltaje, en cambio las luminarias vapor de sodio tiene porcentajes elevados de voltaje.

e) Análisis de los armónicos de Corriente (Vapor de Sodio)

Para el análisis de los armónicos de corriente, se debe realizar primero el análisis del THD de corriente, donde se debe realizar los cálculos correspondientes para determinar a qué nivel de THDI corresponde de acuerdo a la norma IEEE -519, se considera los siguientes datos:

Potencia de alimentación: 75 kVA

Nivel de Voltaje de funcionamiento: 220 V

Impedancia: 2,3 %

Con los datos expuestos anteriormente, se consideran para realizar el cálculo de armónicos de corriente para todos los circuitos de alimentación de la vía. El transformador es de 75 kVA y cuenta con un porcentaje de impedancia de 2,3 % o 0,023

$$I_{CC} = \frac{1}{X_{p,u}} \quad (42)$$

$$I_{CC} = \frac{1}{0,023}$$

$$I_{CC} = 43,48$$

Para obtener el valor de la relación $\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{L,pu}}$ se calcula la corriente de carga I_L en amperios, para posteriormente obtener la corriente de carga en valores en por unidad $I_{L,pu}$. Para obtener la corriente de carga se emplea la siguiente ecuación:

$$S = V * I_L * \sqrt{3} \quad (43)$$

$$I_L = \frac{S}{V * \sqrt{3}}$$

La potencia que se considera es la del transformador 75 kVA, el voltaje es el del secundario del transformador 220 V.

$$I_L = \frac{75\,000}{220 * \sqrt{3}} = 196,82 \text{ A}$$

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{43,48}{196,82}$$

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_L} = 0,221$$

Para el cálculo de la corriente de carga en por unidad se debe obtener los valores de corriente medidos por el analizador de carga:

Tabla 55: Valores de Corriente de la línea

	L1	L2
A RMS MÍNIMA	0,50	0,53
A RMS MEDIA	5,11	5,17
A RMS MÁXIMA	9,90	10,03

Fuente: Los autores

De acuerdo a la tabla 55 se indica el resumen de corrientes de las dos líneas, donde se indican valores mínimos, promedios y máximos por fase. Dichos valores servirán para calcular los niveles de la distorsión de armónicos de corriente.

A continuación, se debe calcular el TDD:

TDD: distorsión de demanda total, distorsión de corriente armónica en % de la máxima corriente de carga demandada.

Fase 1:

Obtenemos la corriente de carga en valores por unidad de la fase 1

$$I_{L_{pu}} = \frac{9,90}{196,82}$$

$$I_{L_{pu}} = 0,050$$

El factor α es igual a:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_L}$$

$$\alpha = \frac{43,48}{0,050} = 864,40$$

Fase 2:

Obtenemos la corriente de carga en valores por unidad de la fase 2 obtenemos la corriente de carga en valores por unidad de la fase 1

$$I_{Lpu} = \frac{10,03}{196,82}$$

$$I_{Lpu} = 0,051$$

El factor α es igual a:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_L}$$

$$\alpha = \frac{43,48}{0,051} = 852,91$$

A continuación, se presenta una tabla de los valores obtenidos y necesarios para el análisis del nivel de contenido de corrientes armónicas en el sistema:

Tabla 56: Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente

Fases	X_{pu}	I_{cc}	I_{cc}/I_{Lpu}
I₁	0,023	43,48	864,40
I₂	0,023	43,48	852,91

Fuente: Los autores

En la tabla 56 se indica el resumen de la relación de (I_{cc}/I_{Lpu}) que está en un promedio de 138,92. De acuerdo a lo establecido en la norma IEEE-519, este valor que debe estar entre $100 < 1\ 000$ donde la TDD permitida es del 15 %.

Para comenzar con el análisis de la presencia del porcentaje total del THD de corriente y de los armónicos individuales. Se debe considerar el porcentaje permitido del THD establecido por la regulación IEEE – 519.

Tabla 57: Límites de distorsión de corriente

Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución en General (desde 120 V hasta 69.000 V)						
Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de I_L						
Orden Armónico Individual (Armónicos Impares)						
$\frac{I_{sc}}{I_L}$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,5	12,0
100<1 000	12,0	5,5	5,0	2,0	0,7	15,0
>1 000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Donde:
 I_{sc} =máxima corriente de cortocircuito en el PCC
 I_L =máxima corriente de carga demandada (componente de frecuencia fundamental) en el PCC

Fuente: Norma IEEE 519 -1992

- **Análisis del THD de Corriente (Vapor de Sodio)**

Tabla 58: THD de corriente

THD VOLTAJE	THD PROMEDIO	THD L1	THD L2	% THDV Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
THD mínimo	19,20	17,36	21,04	15,0 %	No cumple
THD promedio	26,84	24,90	28,78	15,0 %	No cumple
THD max	48,73	46,59	50,86	15,0 %	No cumple

Fuente: Los Autores

Según los datos analizados el THD de corriente de la tabla 58, es aproximadamente de 48,73 %, lo cual se encuentra fuera de los rangos establecidos por la norma del 15 %. Con este valor se puede concluir que el sistema de luminarias tipo vapor de sodio tiene armónicos de Corriente, por lo tanto, es necesario realizar el análisis de los armónicos individuales de corriente.

- **Armónicos de Corriente individual (Vapor de Sodio)**

Tabla 59: Análisis de armónicos individuales de corriente

ARMÓNICOS DE CORRIENTE	IEEE – 519		OBSERVACIONES
CARGA	Rangos Establecidos		
Armónico 3	28,14 %	12 %	No cumple
Armónico 5	12,18 %	12 %	No cumple
Armónico 7	0,71 %	12 %	Cumple
Armónico 9	0,71 %	12 %	Cumple
Armónico 11	1,61 %	12 %	Cumple

Fuente: Los Autores

Según la tabla 59 se indica el nivel del THD de corriente, que se representa en porcentaje el mismo que se encuentra por encima del 12 % que señala la norma, estos datos que arroja son el total por cada circuito, donde se debe considerar que este porcentaje es tomado en cada carga.

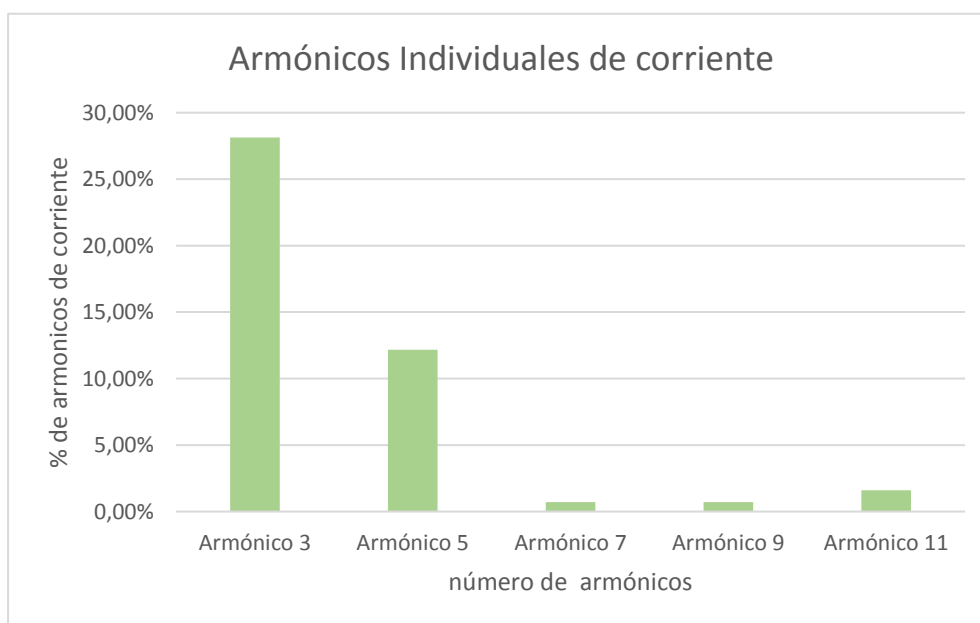


Figura 54: Armónicos individuales de corriente

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 54, se analiza que el porcentaje de los armónicos de corriente individuales, se encuentran fuera del 12 %, por lo tanto, hay presencia de armónicos de corriente y se visualiza que solo el tercer armónico es el que sobrepasa la norma establecida.

a) Simulación Inicial de las luminarias tipo Vapor de Sodio

Una vez teniendo la información inicial del sistema de iluminación tipo Vapor de Sodio, se procede a ingresar los datos en el software, obtenidos en las mediciones.

Los datos ingresados en el software son los siguientes:

- Transformador de 13.8 kV a 220 V de 75 kVA
- Tres conductores de calibre 1/0 AWG
- Carga total conectada al transformador:

Circuito 1: 22,5 kW

Estos datos se ingresan al software de simulación para determinar cuáles son los problemas y así plantear soluciones para mejorar el servicio de alumbrado público. A continuación, se indica el ingreso del diagrama al programa de simulación

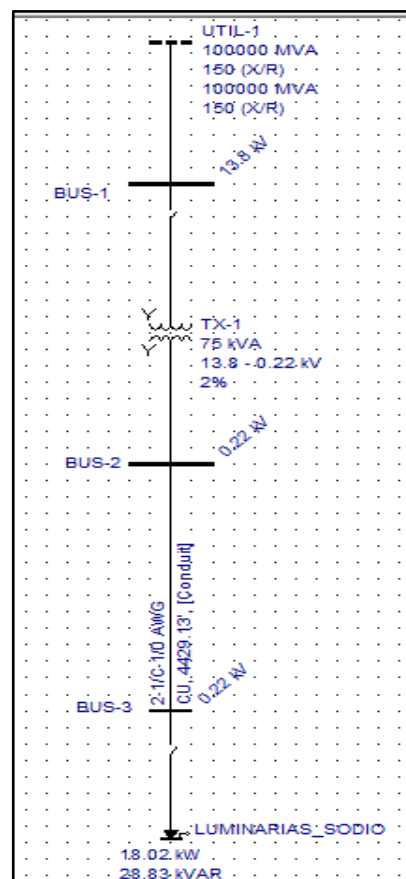


Figura 55: Simulación inicial del flujo de potencia de alumbrado público de luminarias de vapor de sodio

Fuente: Los Autores

En la figura 55 se indica el diagrama unifilar del circuito de las luminarias tipo vapor de sodio, en el software de simulación EASY POWER. Una vez ingresado los datos al software de simulación, se realiza la primera corrida de flujos de potencia, para encontrar los problemas del circuito, además de indican los reportes del software de la corrida de flujos.

➤ **Corrida de Flujo Inicial en el software EASY POWER (Vapor de Sodio)**

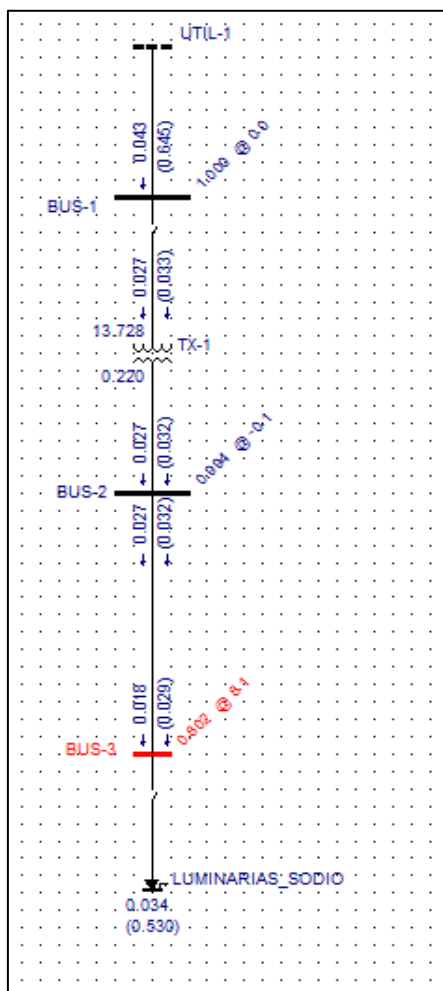


Figura 56: Simulación de la corrida de flujo inicial del sistema de alumbrado público de vapor de sodio

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 56 se indica la corrida de flujo de potencia inicial donde se indica el nivel de factor de potencia de cada circuito. El factor promedio que se visualiza en la figura 55 es de un promedio del 0,53, el mismo que concuerda con los datos del analizador de carga,

➤ **Problemas encontrados mediante la simulación**

b) Factor de Potencia

Tabla 60: Análisis del factor de potencia de los circuitos

Nombre	Base kV	Factor de Potencia
Barra 1	13,8	0,53
Barra 2	0,220	0,54
Barra 3	0,220	0,53

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la tabla 60 el factor de potencia del sistema, está en 0,53 el mismo que está bajo el 0,92. El factor de potencia que arroja el simulador es por el circuito, este no cumple con lo establecido por la norma.

Tabla 61: Análisis total del factor de potencia del sistema de iluminación

Total	PF
Generador	0,645
Carga	0,530

Fuente: Los Autores

En la tabla 61 se indica el factor de potencia por el sistema de transformación (generador) y por la carga en total del sistema, el mismo que se encuentra fuera de lo establecido por la norma. Estos datos sirven como respaldo de los valores tomados por el analizador, estos valores concuerdan tanto en el analizador como en el simulador

c) Sobrecarga de barras

Tabla 62: Análisis de sobre carga del sistema de iluminación

Barra	Base kV	Vpu	kV
BUS-3	0,220	0,802	0,176

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la tabla 62 los datos obtenidos en la simulación se puede observar que la barra en la cual están conectado las cargas de iluminación, se encuentra sobrecargado, para aliviar la sobrecarga es necesario aumentar el calibre de conductor, lo que significa mayor inversión económica.

➤ **Corrida de Flujo Armónico Inicial en el software EASY POWER (Vapor de Sodio)**

La corrida de flujos armónicos permite conocer el porcentaje del THD de voltaje en cada una de las barras del sistema eléctrico

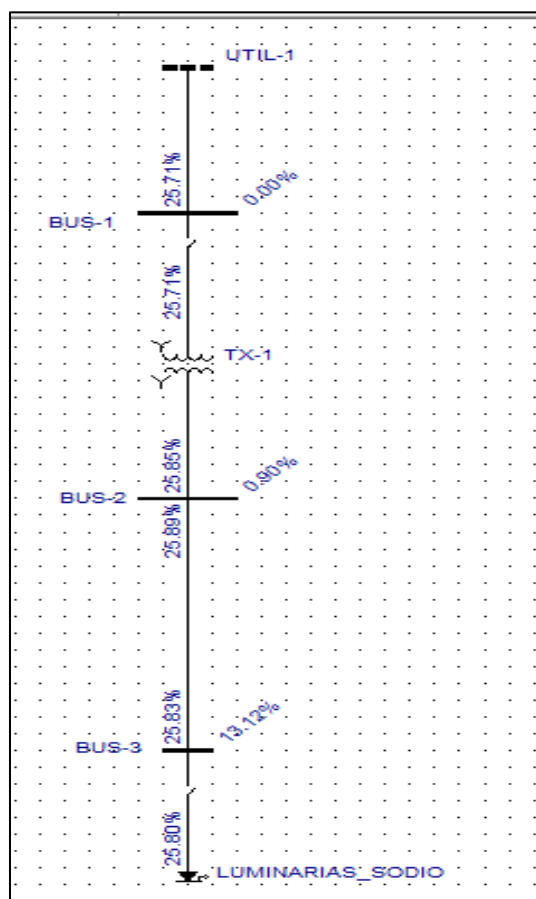


Figura 57: Simulación de la corrida de armónicos inicial del sistema de alumbrado público de vapor de sodio

Fuente: Los Autores

Según la figura 57 se indica la corrida de flujos de armónicos tanto de voltaje como de corriente para las luminarias vapor de sodio, en el gráfico se puede observar que el nivel del THDV está sobre el 13 %, los mismos que se encuentran fuera de la norma y los valores del THDI sobrepasa el 15 %, datos que concuerdan con el analizador de datos.

d) Armónicos de Voltaje (Vapor de Sodio)

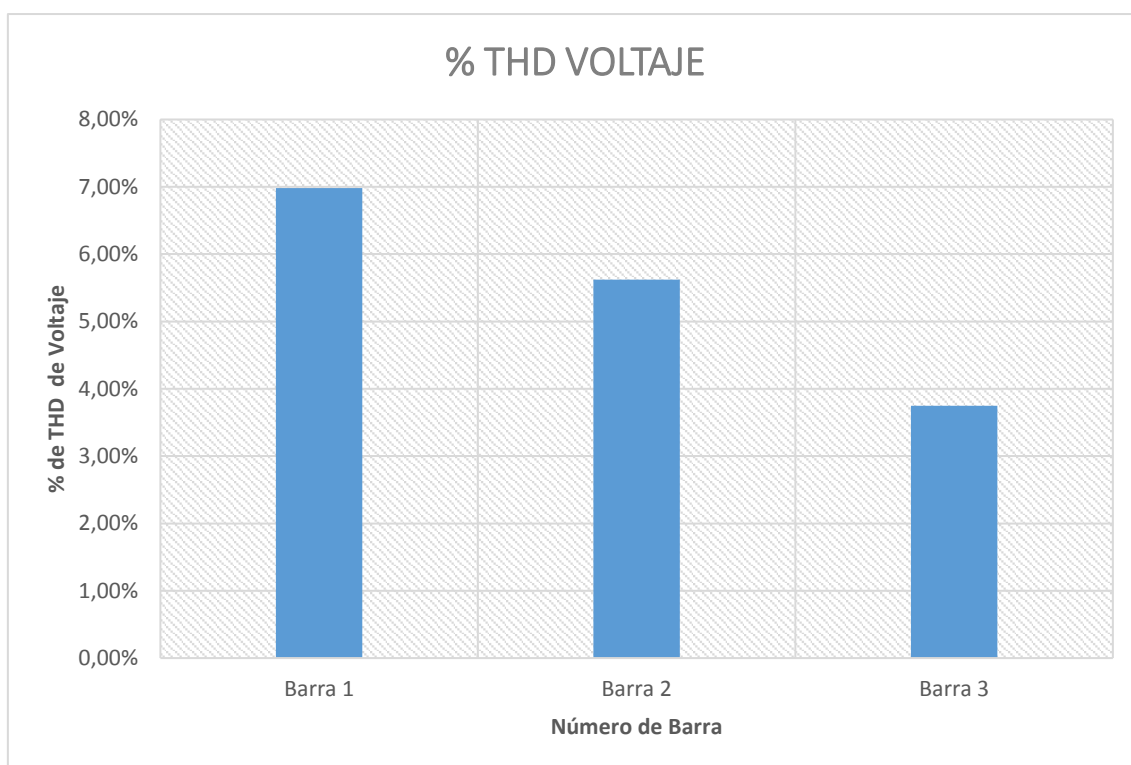
Después de realizar la corrida de armónicos del diagrama eléctrico del sistema de luminarias de Vapor de Sodio se analiza el nivel de porcentaje del THD de voltaje en cada barra del diagrama:

Tabla 63: Análisis total de los armónicos de voltaje del sistema de iluminación

BARRA	% THD VOLTAJE	%THDV Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
Barra 1	6,98 %	3.0 %	No Cumple
Barra 2	5,62 %	3.0 %	No Cumple
Barra 3	3,75 %	3.0 %	No Cumple

Fuente: Los Autores

Según la tabla 63 se indica el nivel del THD de voltaje, que se representa en porcentaje el mismo que se encuentra por encima del 5 % que señala la norma, estos datos que arroja son el total por cada circuito, donde se debe considerar que este porcentaje es tomado en cada barra.

**Figura 58:** % THD de Voltaje

Fuente: Los Autores

Según la figura 58 se indica que el THD de voltaje se encuentra en un valor promedio de 7 %, dicho valor se encuentra fuera de lo establecido por la norma por lo tanto existe

armónicos de voltaje, valor que concuerda con los datos totales del analizador de carga por lo tanto estos datos son correctos.

e) Armónicos de Corriente (Vapor de Sodio)

Después de realizar la corrida de armónicos del diagrama eléctrico del sistema de luminarias vapor de sodio se analiza el nivel de porcentaje del THD de corriente en las cargas del diagrama:

Tabla 64: Análisis total de los armónicos de corriente del sistema de iluminación

CARGA	% THD CORRIENTE	%THDI Total IEEE - 519	Cumple/No cumple
CARGA 1	16,20 %	15 %	Cumple
CARGA 2	18,20 %	15 %	Cumple
CARGA 3	19,25 %	15 %	Cumple

Fuente: Los Autores

Se obtiene los nuevos valores de los armónicos de corriente, en la tabla 64 se observa que el % de THD de Corriente se encuentra en un promedio del 17 % que se encuentra fuera de la norma y no es recomendable , debido a que los armónicos de corriente afectan más a los circuitos eléctricos

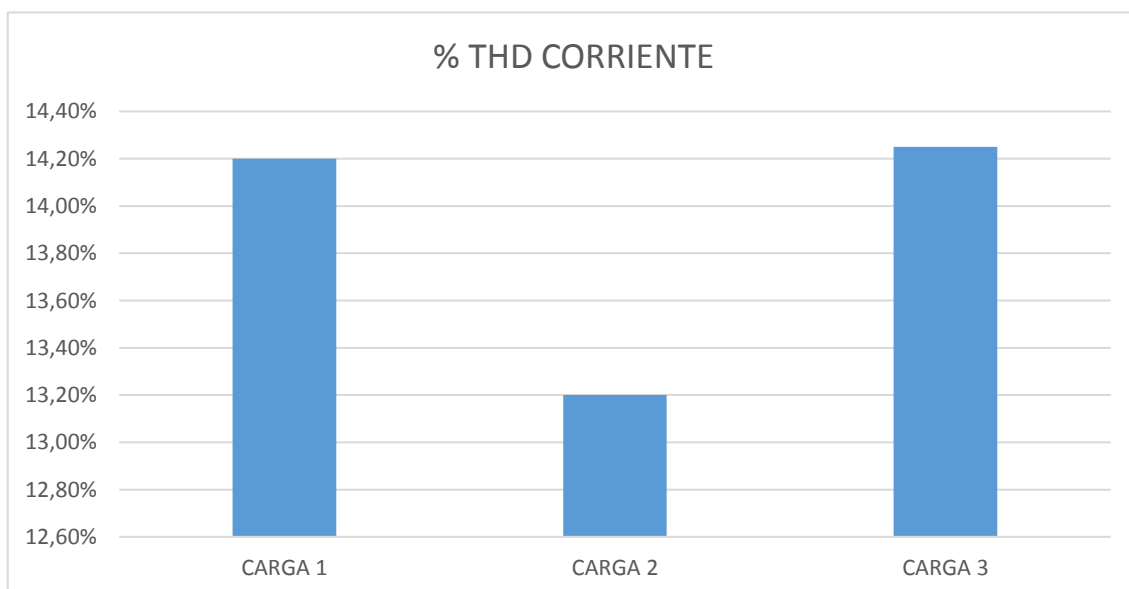


Figura 59: Simulación del %THD de Voltaje

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la figura 58, se analiza que el porcentaje de los armónicos de corriente individuales, se encuentran fuera del 12 %, por lo tanto, hay presencia de armónicos de corriente y se visualiza que solo el tercer armónico es el que sobrepasa la norma establecida.

11.6.3 Presupuesto de Luminarias vapor de sodio

Tabla 65: Presupuesto para implementación del proyecto

ÍTEM	EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Filtro electrónico de paso bajo/pasivo/de armónico AFQ	1	\$ 370	\$ 370,00
2	Conductor calibre 2/0 AWG	1 350 m	\$ 5,35	\$ 7 222,50
SUB TOTAL				\$ 7 592,00
IVA 12 %				\$911,10
TOTAL				\$ 8 503,10

Fuente: Los Autores

11.6.4 Comparación de los resultados entre las luminarias tipo LED y las luminarias vapor de sodio

Se realiza una comparación entre las luminarias LED y entre las luminarias vapor de sodio, para determinar cuáles de las dos tecnologías son mejores.

Tabla 66: Presupuesto para implementación del proyecto

	Luminarias LED	Luminarias Vapor de Sodio
Parámetros de Iluminación		
Flujo luminoso	89 076 lúmenes	5 330 lúmenes
Eficacia Luminoso	62,55 lm/W	43,17 lm/W
Uniformidad general de iluminancia	5,52	15,39
Parámetros eléctricos		
Desniveles de Voltaje	4,81 %	4,75 %
Factor de Potencia	0,97	0,54
% de THD de Voltaje	4,50 %	8,50 %
% de THD de Corriente	33,74 %	48,73 %

Fuente: Los Autores

Según la tabla 66 se puede establecer las ventajas de la utilización de las luminarias LED frente a las luminarias vapor de sodio.

a) Factores de Iluminación

Para determinar la eficiencia de las luminarias se lo hace mediante el análisis de los parámetros de iluminación:

- Las luminarias tipo LED, poseen niveles de flujo luminoso en porcentajes más elevados a comparación de las luminarias vapor de mercurio.
- Los niveles de uniformidad de las luminarias tipo LED se encuentran dentro de los rangos permitidos, mientras que las luminarias vapor de sodio tienen rangos fuera de los valores nominales.
- Las luminarias tipo LED cuentan con una iluminación más uniforme y con un mayor ángulo de cobertura, además la separación de iluminación entre luminarias LED, es menor en comparación con las vapor de mercurio.

b) Niveles de parámetros eléctricos.

- **Factor de Potencia:** El factor de potencia de las luminarias LED se encuentra dentro de la regulación, con un valor de 0,97 en cambio las luminarias vapor de sodio poseen un factor de potencia de 0,52 que es un valor muy bajo e incumple la norma.
- **Variaciones de Voltaje:** Las variaciones de voltaje se encuentran dentro del 8%, tanto en las luminarias tipo LED y tipo vapor de mercurio, debido a que las cargas son constantes.
- **Distorsión Armónica:** La Distorsión indica la cantidad de armónicos de corriente y de voltaje está fluyendo en las líneas de energía. De acuerdo a los estudios realizados, las luminarias tipo LED, presenta un menor porcentaje que las luminarias de vapor de sodio.
- **Niveles de Armónicos de Voltaje:** Los niveles de armónicos de voltaje en las luminarias LED, se encuentran dentro de la norma, en cambio las luminarias tipo vapor de Sodio están fuera de norma. Se concluye que las luminarias tipo vapor de mercurio inyectan armónicos de voltaje.

- **Niveles de Armónicos de Corriente:** Los niveles de armónicos de corriente en las luminarias LED, se encuentran fuera de la norma, en un porcentaje del 14 %, en cambio las luminarias tipo vapor de Sodio inyectan armónicos de corriente que están fuera de norma en un porcentaje del 17 %. Se concluye que las luminarias tipo vapor de mercurio inyectan mayor nivel de armónicos de corriente.
- **Factibilidad Económica:** Mediante una comparación entre luminarias LED y vapor de sodio, se concluye que económicamente es factible las luminarias tipo LED debido a que se invierte en un filtro de menor capacidad, mientras que en las luminarias tipo vapor de mercurio su inversión es más costosa, por el filtro de mayor capacidad y por el cambio de conductor.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS):

➤ FACTIBILIDAD OPERATIVA

Desde el punto de vista operativo el estudio es factible debido a que las propuestas de solución ayudarán a reducir los niveles de contaminación armónica de la red eléctrica de la vía en estudio.

➤ FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Las propuestas planteadas tienen factibilidad económica, puesto que es una inversión a corto plazo, dónde el principal beneficio económico será alargar la vida útil de las luminarias de alumbrado público.

13. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO:

Tabla 67: Presupuesto para implementación del proyecto

ÍTEM	EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Filtro electrónico de paso bajo/pasivo/de armónico FN 3410	3	\$ 197	\$ 591,00
SUB TOTAL				\$ 591,00
IVA 12%				\$ 70,92
TOTAL				\$ 661,92

Fuente: Los Autores

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. CONCLUSIONES:

- Las lámparas LED utilizadas en el alumbrado público, comparadas con las luminarias vapor de sodio, tienen mejor distribución lumínica. De acuerdo al análisis realizado las luminarias LED tienen una mejor uniformidad de la iluminación a comparación con las luminarias Vapor de Sodio. En el software de simulación DIALUX se pudo observar que el rango que cubre las luminarias es mayor que la de vapor de mercurio
- Se realizó el análisis de los parámetros eléctricos, donde se detectó un bajo factor de potencia y una sobrecarga de conductores en las luminarias vapor de sodio, a comparación de las luminarias tipo LED el factor de potencia es de 0,92 está dentro de la regulación.
- Las luminarias tipo Led es económicamente viable ya que solo se invierte en un filtro para la corrección de armónicos, mientras que, para corregir los niveles de armónicos de las luminarias de sodio, se necesita un filtro de mayor capacidad y el cambio de conductores.

14.2. RECOMENDACIONES:

- Es importante realizar un análisis técnico y económico a la hora de cambiar las luminarias tipo vapor mercurio por tecnología LED, para evaluar en que tiempo se recupera la inversión
- Es necesario realizar una evaluación sobre el cumplimiento de la calidad energía y mantener los valores dentro de rango establecido por las regulaciones nacionales e internacionales
- Al momento de recomendar y colorar una lámpara en el alumbrado público además de su eficiencia energética se debe tomar en cuenta su aprovechamiento de iluminación de la calzada con un aprovechamiento mayor al 80 %.

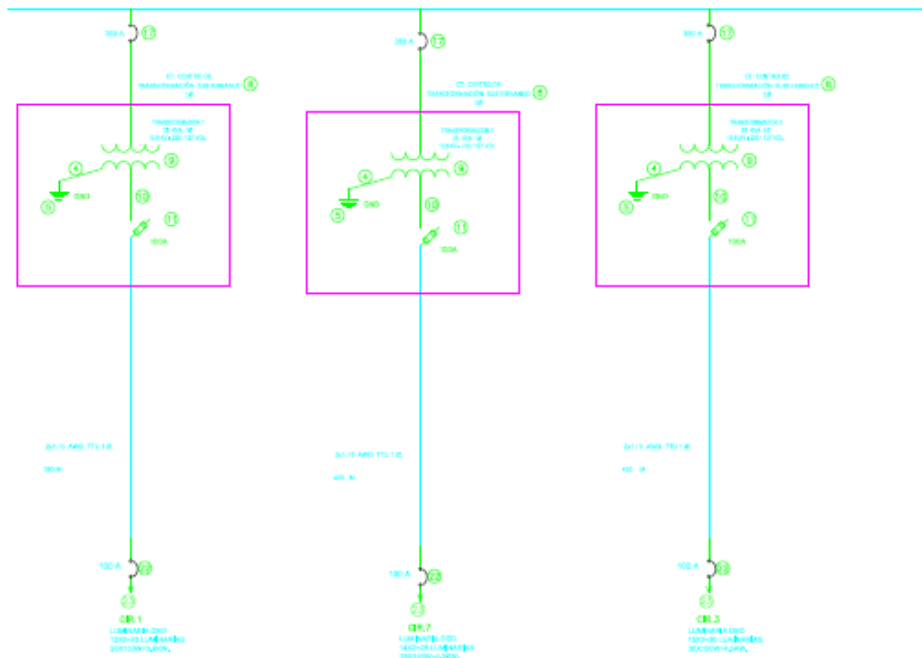
15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Acuña, Impacto de Alumbrado Público con LEDs en la Red de Distribución, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2 011.
- [2] G. M. Rosero, Bolaños, Evaluación Técnica - Económica del Ahorro de energía en un sistema de Alumbrado público, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2 016.
- [3] L. E. M. Lara, C. ., E. M. Mondragón y D. S. Bautista, Estudio y Análisis de Ingeniería en Alumbrado Público con luminarios de LED en la periferia del reclusorio Norte, México, D.F: Instituto Politécnico Nacional, 2 009.
- [4] P. Chantera y D. Tobar, Estudio de lámparas LED para alumbrado público y diseño de un sistema SCADA con control automático ON/OFF, Quito: Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, 2 013.
- [5] RALED, «Soluciones efectivas de iluminación,» ROY ALPHA, Bogotá, 2 017.
- [6] S. López, Iluminación y Alumbrado Público, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2 015.
- [7] Consejo Nacional de Energía, «Alumbrado Público,» Quito, 2 012.
- [8] J. Carachure y A. Sandoval, Análisis comparativo sobre luminarias de LEDs contra vapor de sodio de alta presión y aditivos metálicos en Alumbrado Público, México, D.F: INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2 012.
- [9] J. G. Escobar Simancas, Análisis comparativo, técnico- económico entre un sistema de iluminación convencional y uno util.
- [10] L. L. Chabla, Auqui y D. F. Córdova, Erráz, Eficiencia energética en el alumbrado público del centro histórico de Cuenca: Telecgestión y sustitución de luminarias, Cuenca: Universidad de Cuenca , 2 015.
- [11] G. Delgadillo, Ramirez y L. I. García Mancilla , Propuesta para el uso de LEDs en la iluminación de la Avenida Insurgentes Norte de la ciudad de México, México D.F: Instituto Politécnico Nacional, 2 010.

- [12] CONELEC, Regulación No. CONELEC 008/01, Quito: El Directorio del Consejo Nacional de Electricidad, 2 012.
- [13] A. D. R. Gil De Castro, Estudio y Caracterización de la calidad de suministro eléctrico en los sistemas de alumbrado, Córdoba: Servicio de Publicaciones de la universidad de Córdoba, 2 012.
- [14] IEEE_519_1 992, Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el control de armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia, IEEE, 1 992.
- [15] A. Lamas, J. De los Reyes, J. Baez y S. Acevedo, «Comparación de filtros sintonizados y desintonizados,» *IEEE*, vol. II, n° 3, pp. 2-10, 2 015.
- [16] J. Mora y Y. Cevallos, Estudio y análisis de calidad de energía enfocado en nivel de armonicos en el sistema eléctrico de la subestacion enfriadora Holcim Ecuador Planta Guayaquil, Guayaquil - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2 014.
- [17] IEEE, «Norma IEEE - 1 531 -2 003,» 2 033.
- [18] CIRCUITOR, «CIRCUITOR,» [En línea]. [Último acceso: Viernes Enero 2 019].
- [19] J. Arcila, «Ingeniería Especializada,» 2 017. [En línea]. Available: http://ingenieros.es/files/proyectos/Armonicos_en_sistemas_electricos.pdf.
- [20] A. Bravo y A. Pizano, Mejora del Alumbrado para Oficinas Nacionales del Inmueble Reforma de la Comisión Federal de Electricidad, Ciudad de México: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica, 2 016.
- [21] J. Gers, «Teoría y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos,» *TECSUP*, pp. 2-3, 2 008.

16. ANEXOS
16.1 ANEXO 1

DIAGRAMA UNIFILAR DE LUMINARIAS LED



- LEYENDA**
- ① CONDUCTOR DE C_u CABLEADO No. 2 AWG
 - ② VASILLA COOPERWELD 1.5 mm Ø x 1.5m
 - ③ CENTRO TRANSFORMACION AÉREO 30
 - ④ TRANSFORMADOR 1Ø EN POZO SUBTERRANEO, 25KVA, 13.8KV x220/127 V.
 - ⑤ CONDUCTOR DE C_u AISLADO TPO TTU 2No. 1Ø0C_u DESNUDO No.3/0 AWG
 - ⑥ BASE PORTAFUSIBLE 3ØV-25KA, CARTELINO FUSIBLES DE 100 V, 25KA, 3ø
 - ⑦ BREAKER 1Ø DE CADA PISO EXCITADO NUEVO
 - ⑧ CARGA LUMINARIA LED 100W

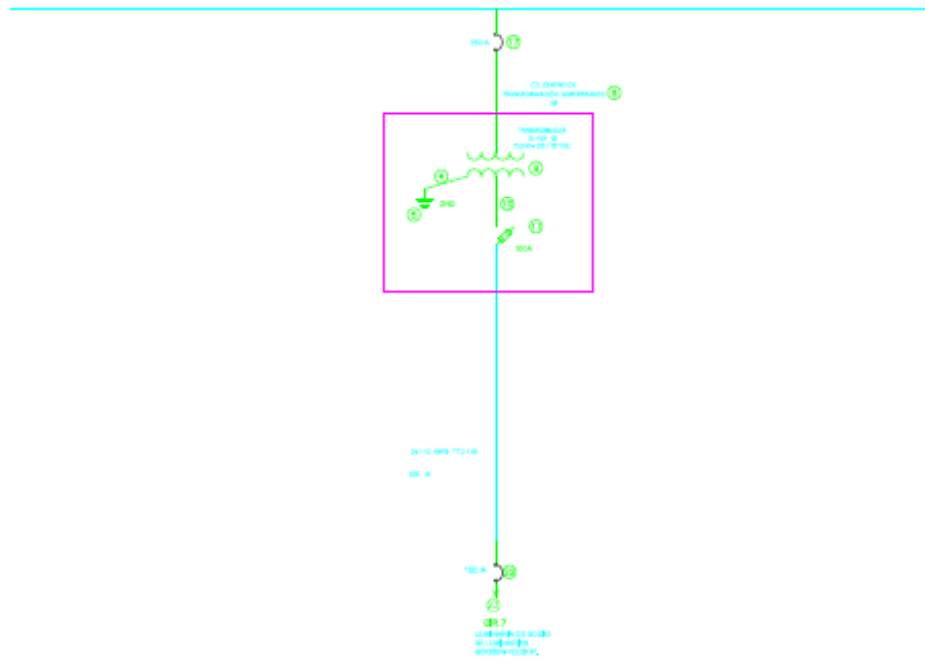
SIMBOLOGIA BAJO VOLTAJE

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN MONOFÁSICA 25 KVA EN POZO RELACION: 13.8 KV-220/127 V
	RED DE BV. SUBTERRANEO, MONOFÁSICO, 220/127V. COND. AISLADO DE C _u AISL. TTU, CONDUCTORES INDICADOS EN DUCTO DE PVC RÍGIDO
	ACOMETIDA CON CONDUCTORES TIPO TW C _u EN MANGUERA NEGRA DE PVC
	CONEXIÓN A TIERRA
	LUMINARIA LED PARA POSTE DE 70W
	BREAKER TERMOMAGNÉTICO

<p>CIYA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI INGENIERÍA ELÉCTRICA</p>	
<p>PROYECTO: TITULACION I</p>	<p>LUMINARIAS TIPO LED. PROYECTO DE INVESTIGACION Av. LUIS ANIBAL GRANJA SECTOR HUACHI CINCO</p>
<p>DEBIDO: MR. ROLO C. PAUCAR K.</p>	<p>DIAGRAMA UNIFILAR</p>
<p>REVISOR: ING. FRANKLIN YARQUEZ</p>	<p>MEDIO Y BAJO VOLTAJE 220 V/127V</p>
<p>RECOMENDADO: ALFONSO</p>	<p>FECHA: 1 DE 1</p>
<p>ALFONSO ING. FRANKLIN YARQUEZ</p>	<p>PROYECTO No. 1 FECHA: 1 DE 1 COORDINADOR: ALFONSO AUTOR: ALFONSO</p>

16.2 ANEXO 2

DIAGRAMA UNIFILAR DE LUMINARIAS VAPOR DE SODIO



- LEYENDA**
- ① CONDUCTOR DE Cc. CABLEADO No. 2 AWG
 - ② VARELA COMPRESIBLE 1.6 mm Ø x 1.8m
 - ③ CENTRO TRANSFORMACION AISLADO 3Ø
 - ④ TRANSFORMADOR 1Ø EN POZO SUBTERRANEO, DEVA, 15,0KV - 230/127 V.
 - ⑤ CONDUCTOR DE Cc. AISLADO 1ØO TTU 3Ø. UNCL 50MMX100X0.6 AWG
 - ⑥ BARRIO PORTAFUSIBLE 100V-20A, CORTACORRIENTE 100 V, 20A, 1ø
 - ⑦ BREAKER DE CADA PISO ESPECIO VIEJO
 - ⑧ CARGA LUMINARIA 100 10W

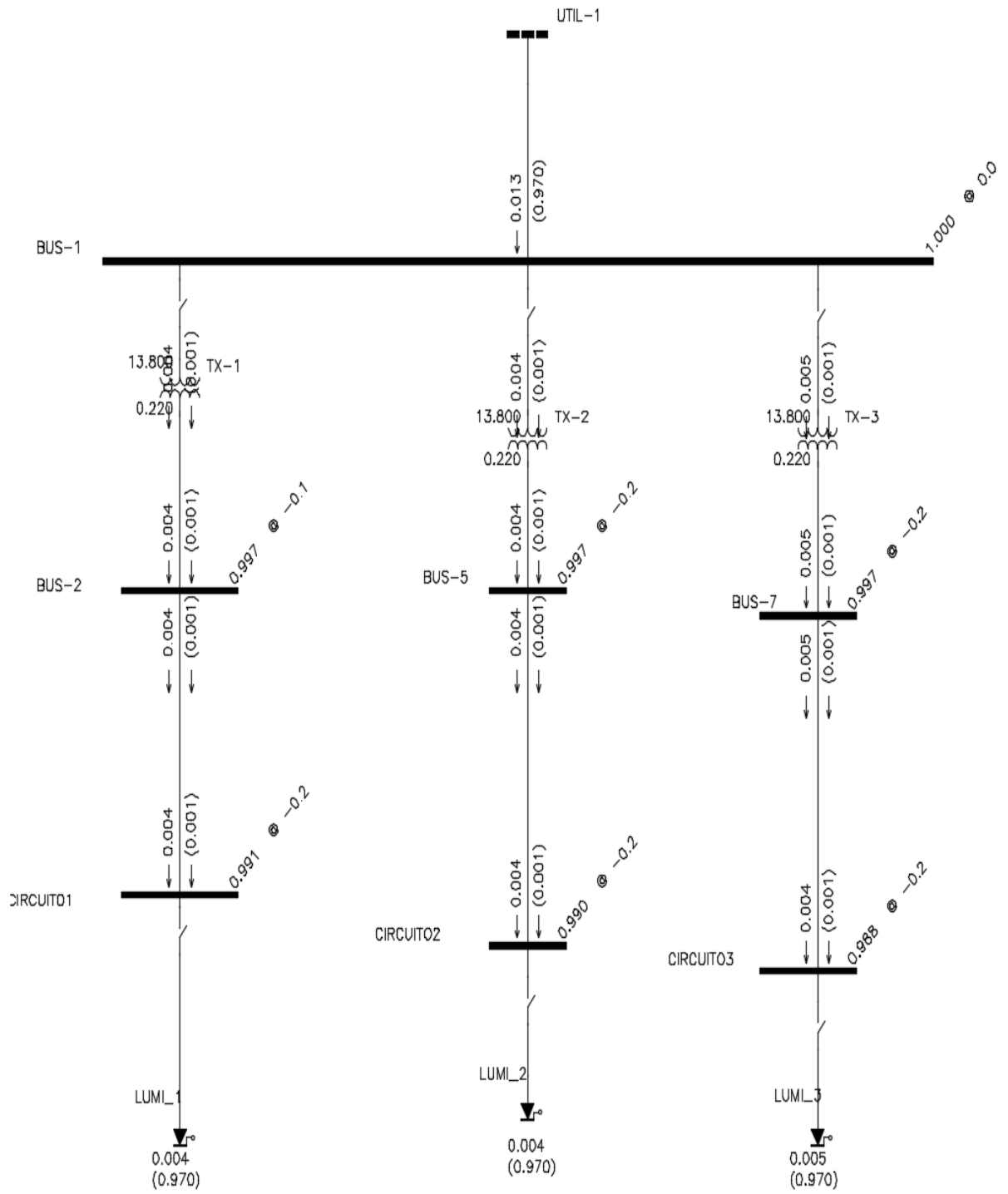
SIMBOLOGIA BAJO VOLTAJE

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION MONOFASICA 25 KVA EN POZO RELACION 13.8 KV/230/127 V
	RED DE BV. SUBTERRANEO, MONOFASICO, 220/127V, COND. AISLADO DE Cc. AISL. TTU, CONDUCTORES INDICADOS EN DUCTO DE PVC RIGIDO
	ACOMETIDA CON CONDUCTORES 1ØO 1W Cc. EN MANGUERA NEGRA DE PVC
	CONEXION A TIERRA
	LUMINARIA DE SODIO PARA POSTE DE 100W
	BREAKER TERMOMAGNETICO

CIYA		UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI INGENIERIA ELECTRICA			
PROYECTO: TITULACION II	LUMINARIAS VAPOR DE SODIO, PROYECTO DE INVESTIGACION COMPLEJO CATEDRATA-AMBIATO DIAGRAMA UNIFILAR MEDIO Y BAJO VOLTAJE 220 V/127V				
LUGAR: MIRALLO C - PASADAJE					
REVISOR: ING. FRANCEN VARGAS					
RECOMENDADO:					
FECHA: DICIEMBRE 2018	FECHA:	REVISOR:	FECHA:	REVISOR:	FECHA:
LUGAR:	FECHA:	REVISOR:	FECHA:	REVISOR:	FECHA:

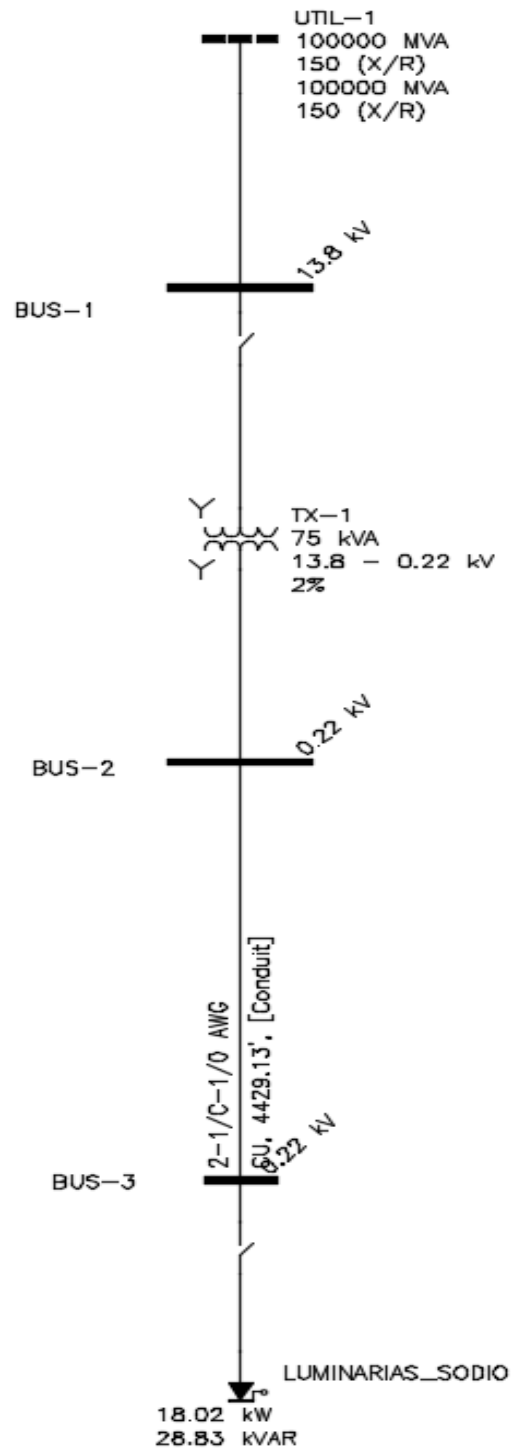
16.3 ANEXO 3

DIAGRAMA UNIFILAR DE CORRIDA INICIAL DE FLUJOS DE POTENCIA DE LUMINARIAS LED



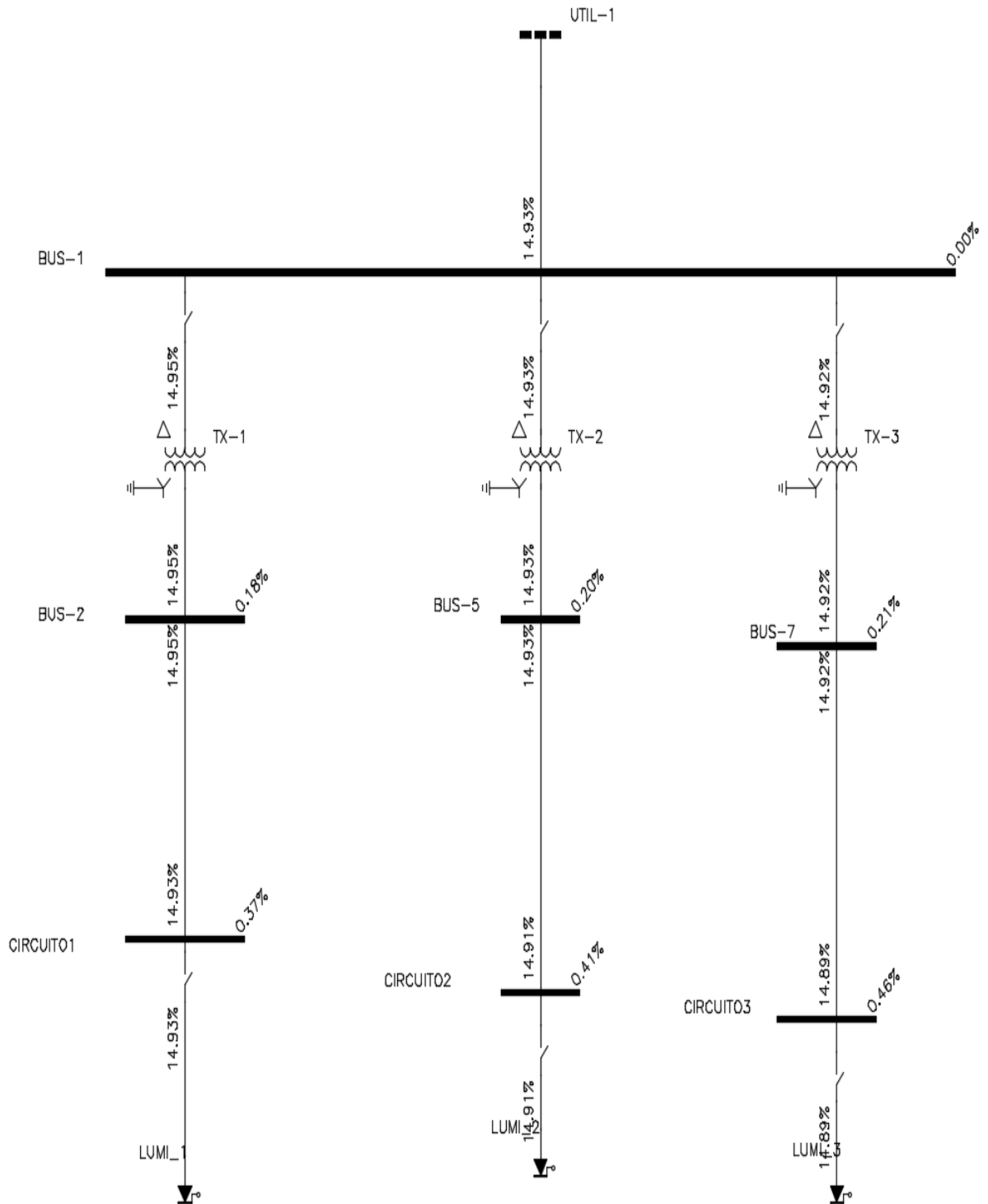
16.4 ANEXO 4

**DIAGRAMA UNIFILAR DE CORRIDA INICIAL DE FLUJOS DE POTENCIA
DE LUMINARIAS DE VAPOR DE SODIO**

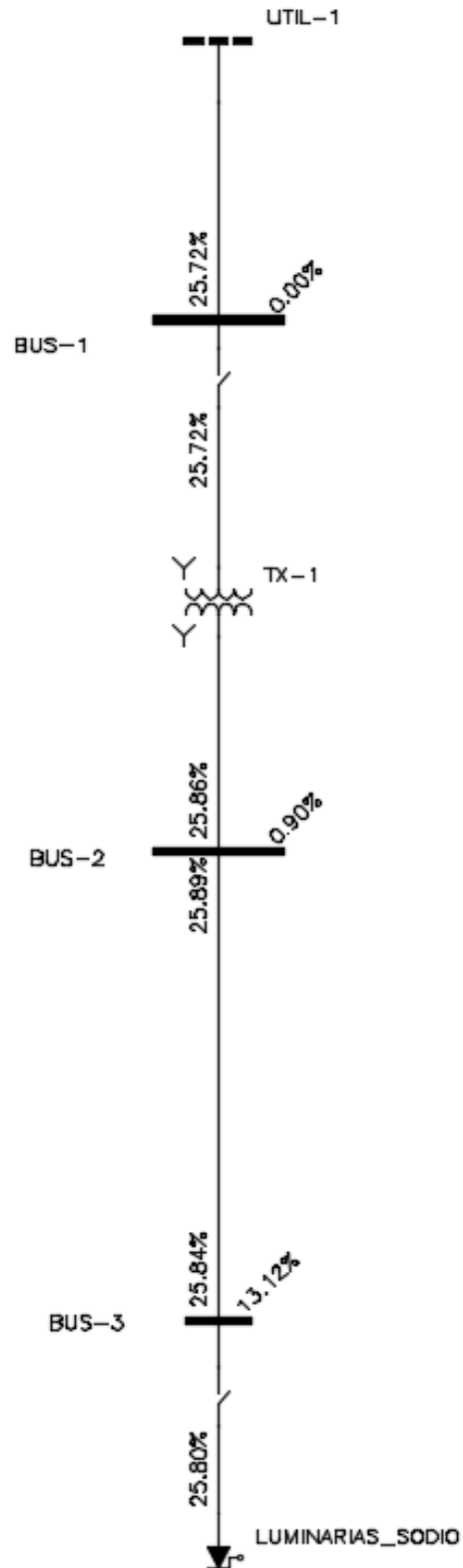


16.5 ANEXO 5

**DIAGRAMA UNIFILAR DE CORRIDA INICIAL DE FLUJOS ARMÓNICOS
DE LUMINARIAS TIPO LED**

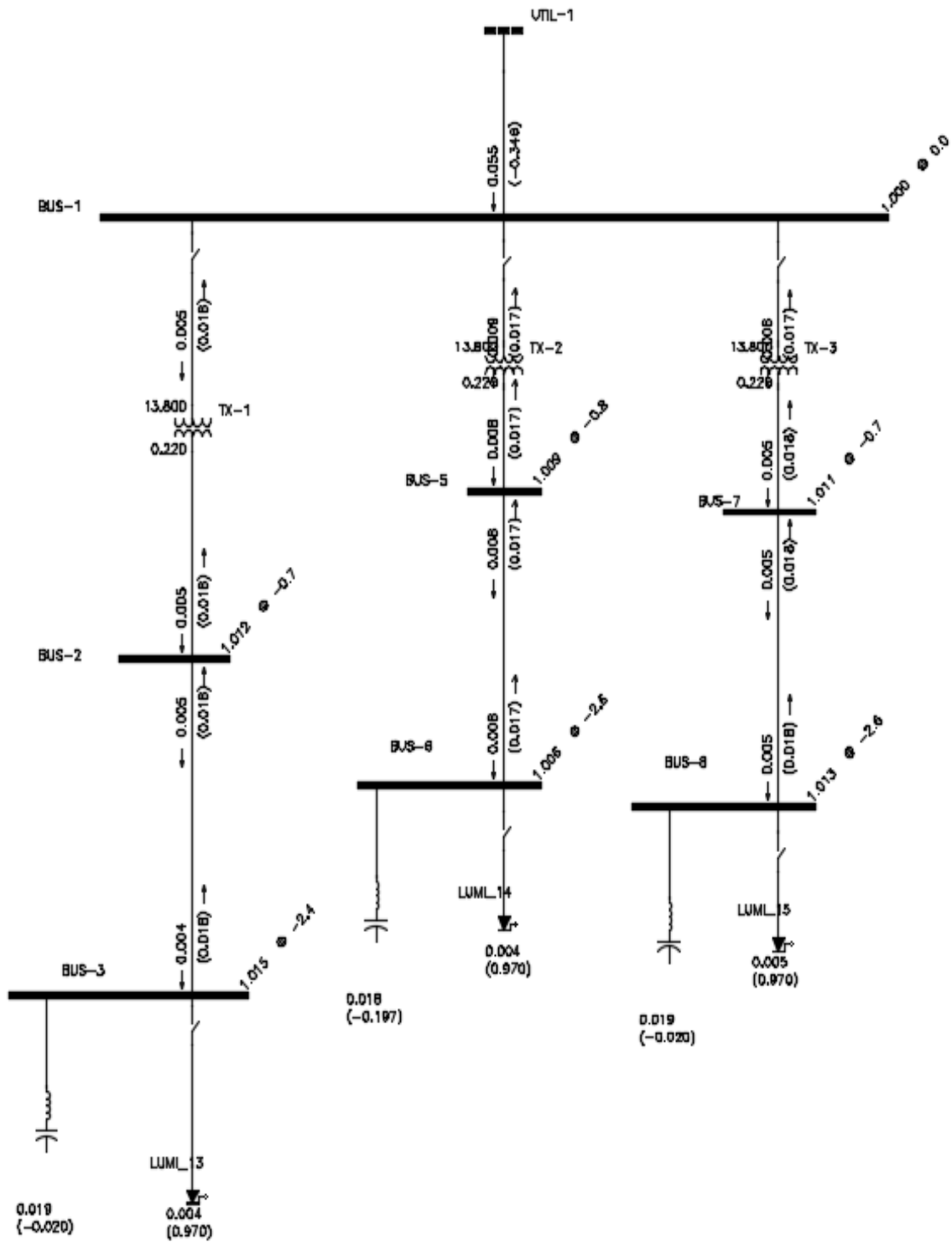


16.6 ANEXO 6

**DIAGRAMA UNIFILAR DE CORRIDA INICIAL DE FLUJOS ARMÓNICOS
DE LUMINARIAS TIPO VAPOR DE SODIO.**

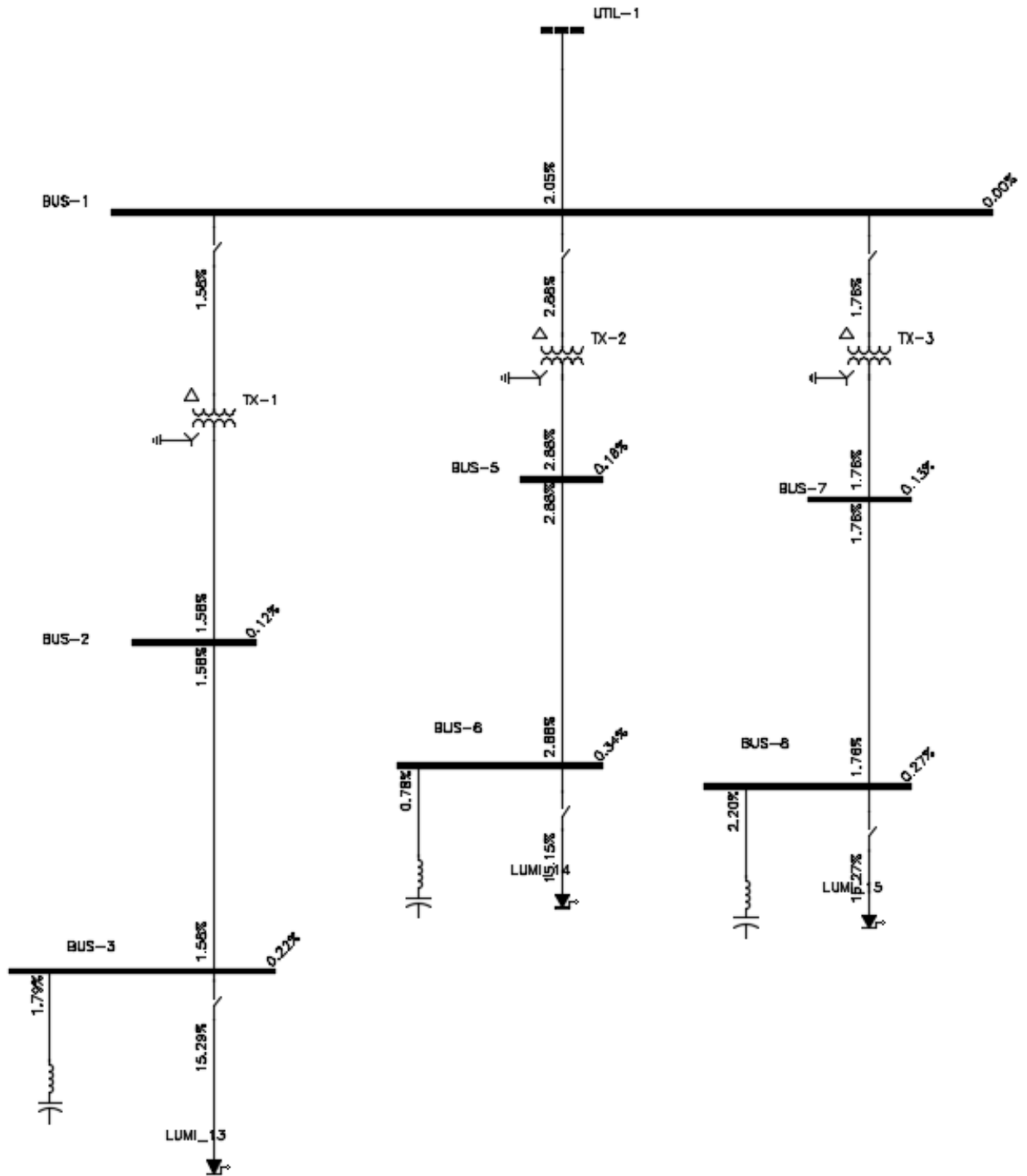
16.7 ANEXO 7

DIAGRAMA UNIFILAR DE CORRIDA FINAL DE FLUJOS ARMÓNICOS
CON FILTRO DE LUMINARIAS TIPO LED.



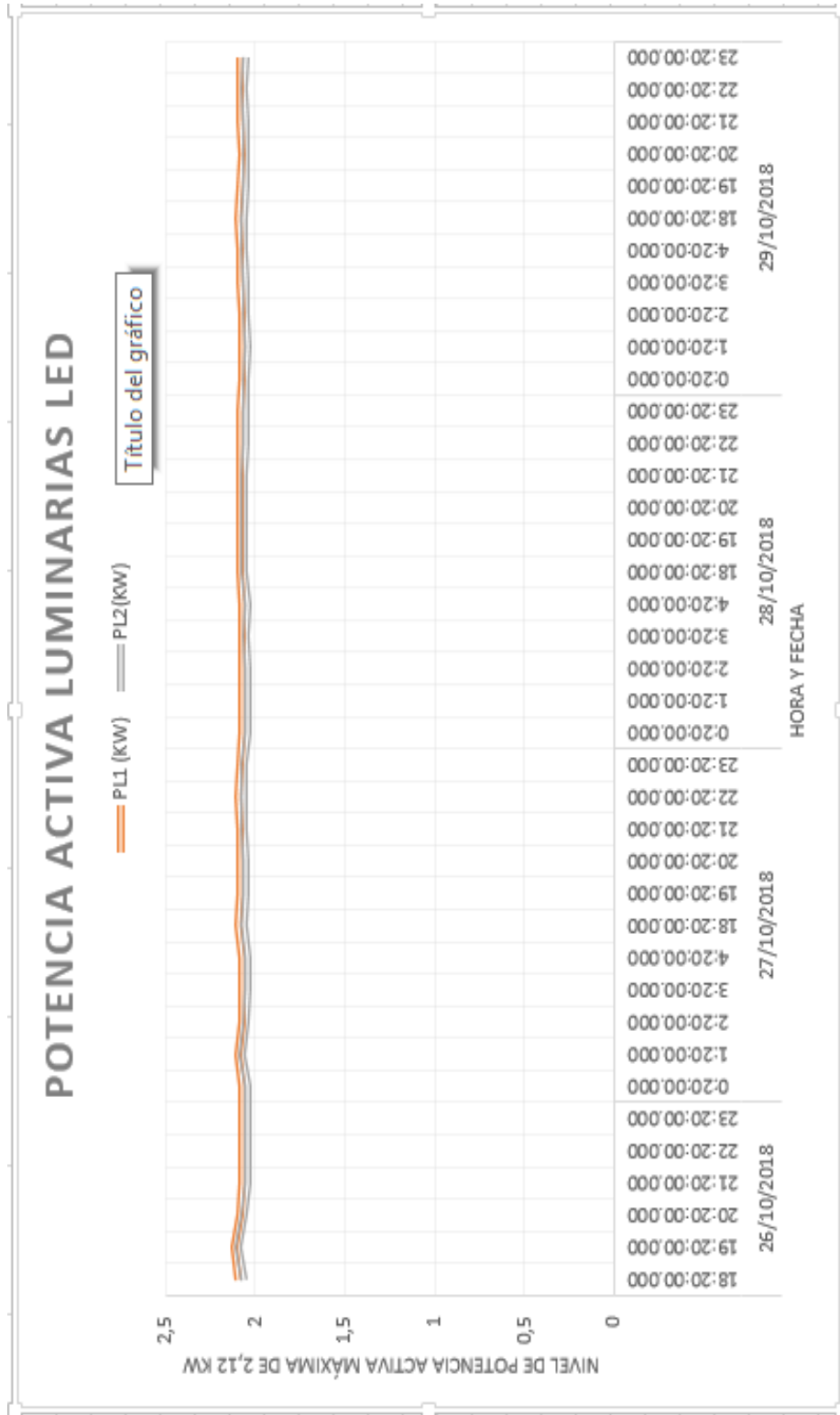
16.8 ANEXO 8

**DIAGRAMA UNIFILAR DE CORRIDA FINAL DE FLUJOS ARMÓNICOS
CON FILTRO DE LUMINARIAS TIPO LED.**



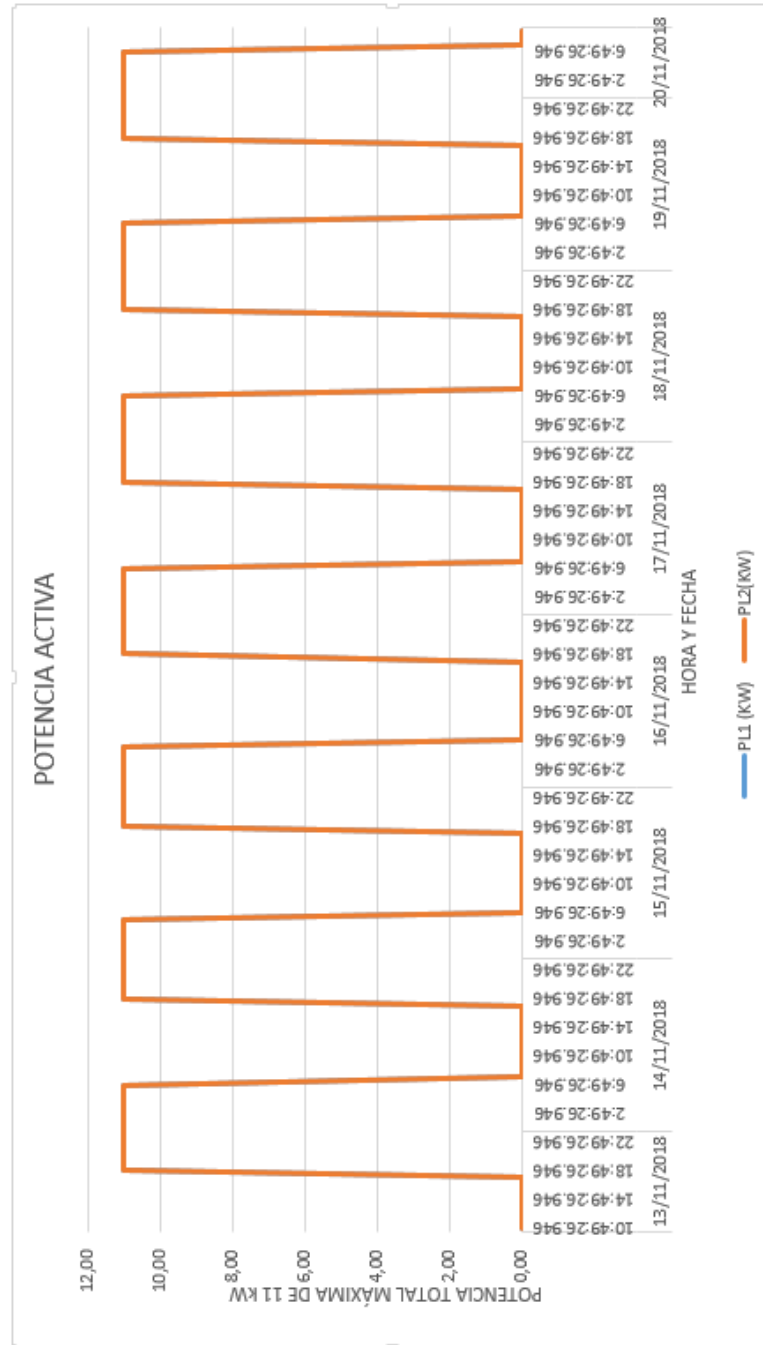
16.9 ANEXO 9

CURVA DE POTENCIA ACTIVA DE LAS LUMINARIAS LED



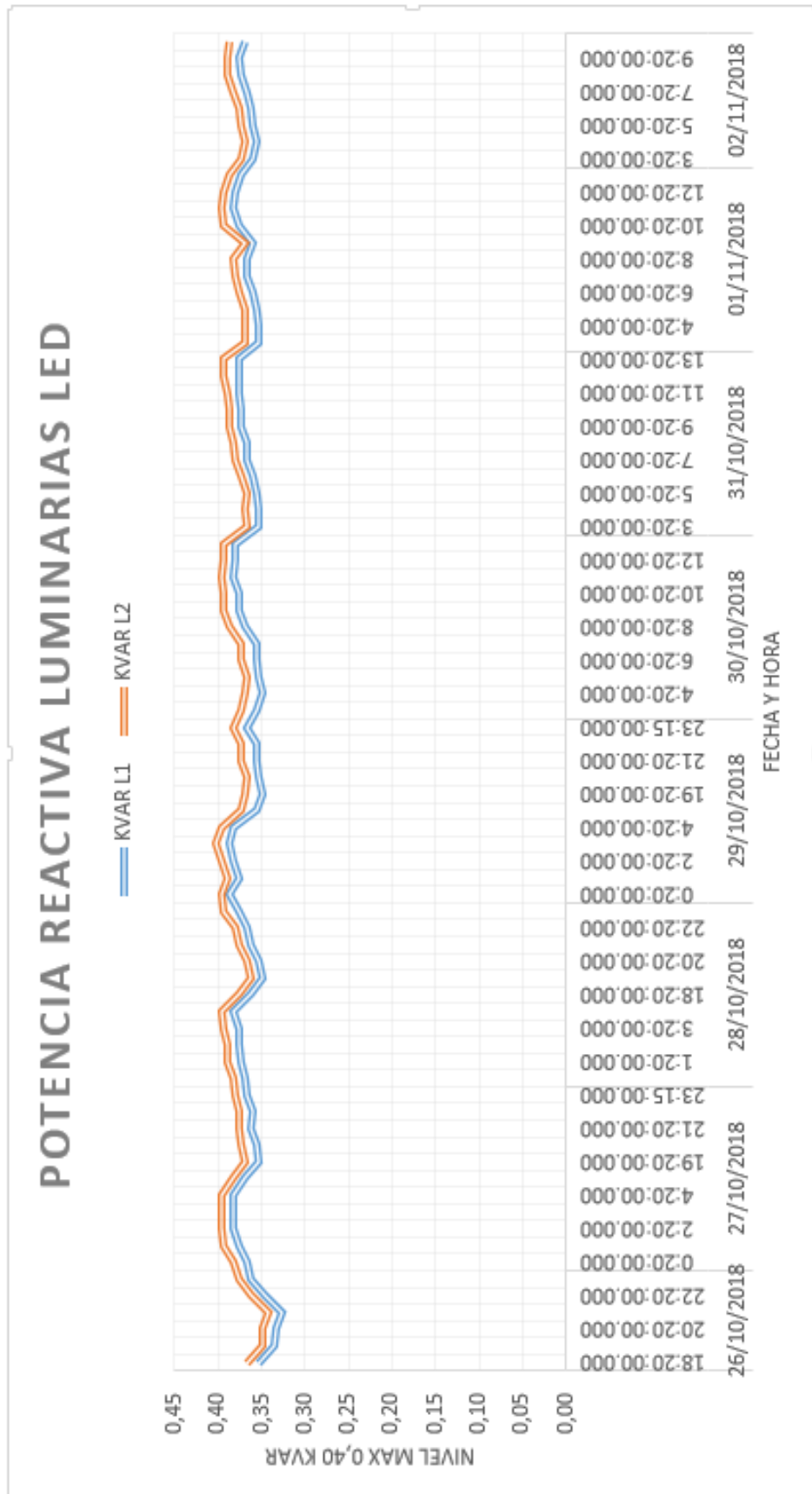
16.10 ANEXO 10

CURVA DE POTENCIA ACTIVA DE LAS LUMINARIAS VAPOR DE SODIO



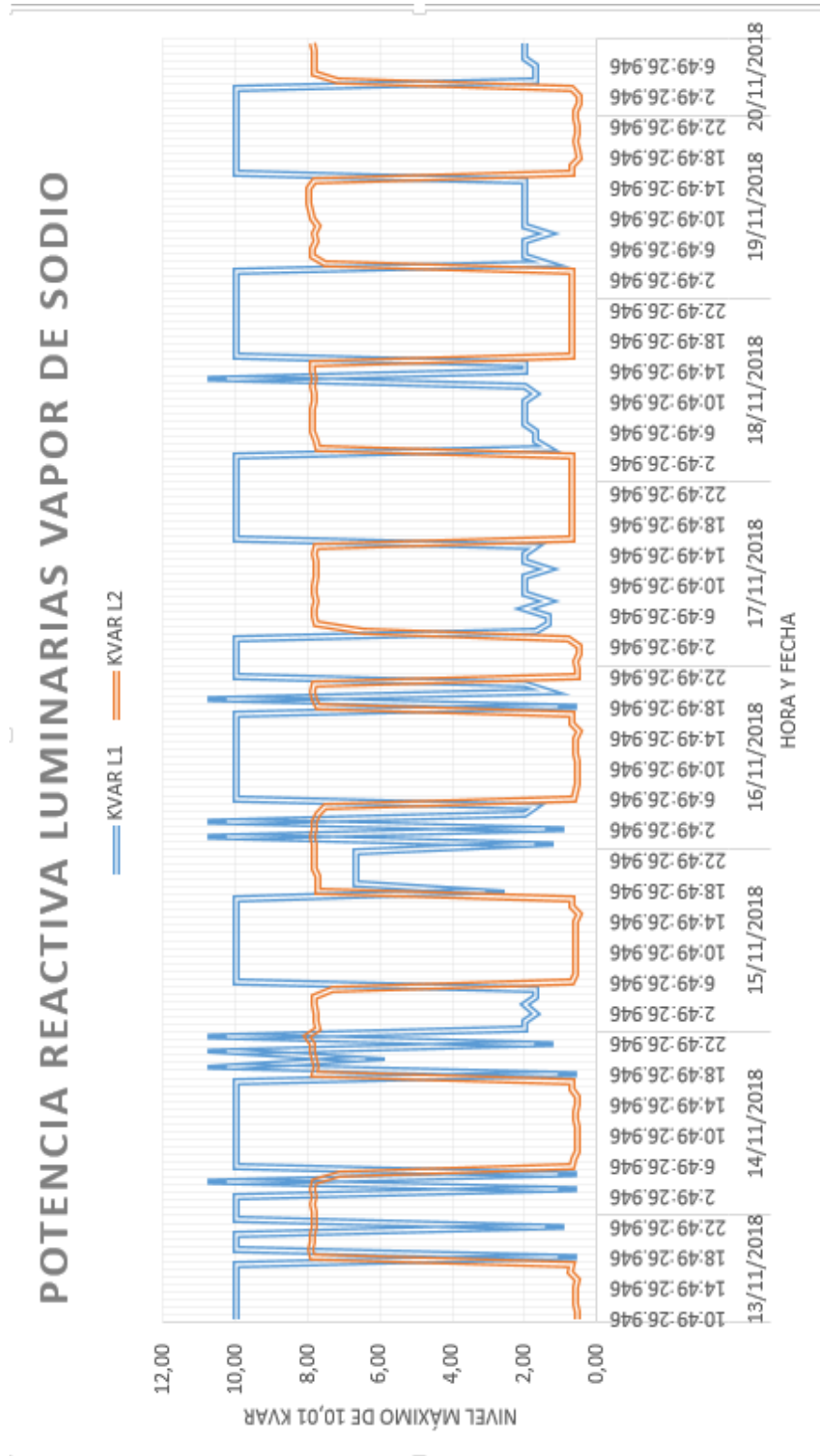
16.13 ANEXO 13

CURVA DE POTENCIA REACTIVA DE LAS LUMINARIAS LED



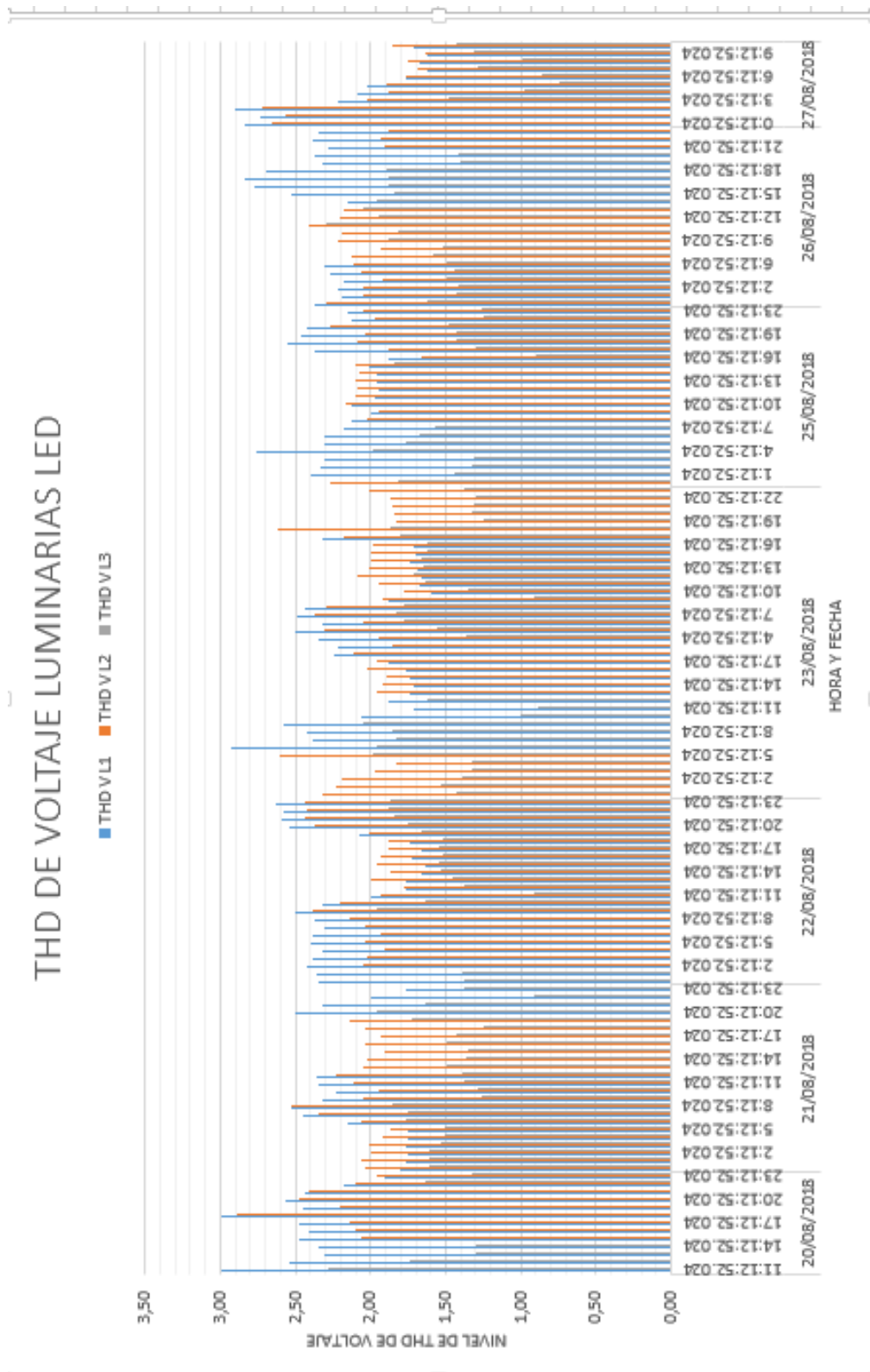
16.14 ANEXO 14

CURVA DE POTENCIA REACTIVA DE LAS LUMINARIAS VAPOR DE SODIO



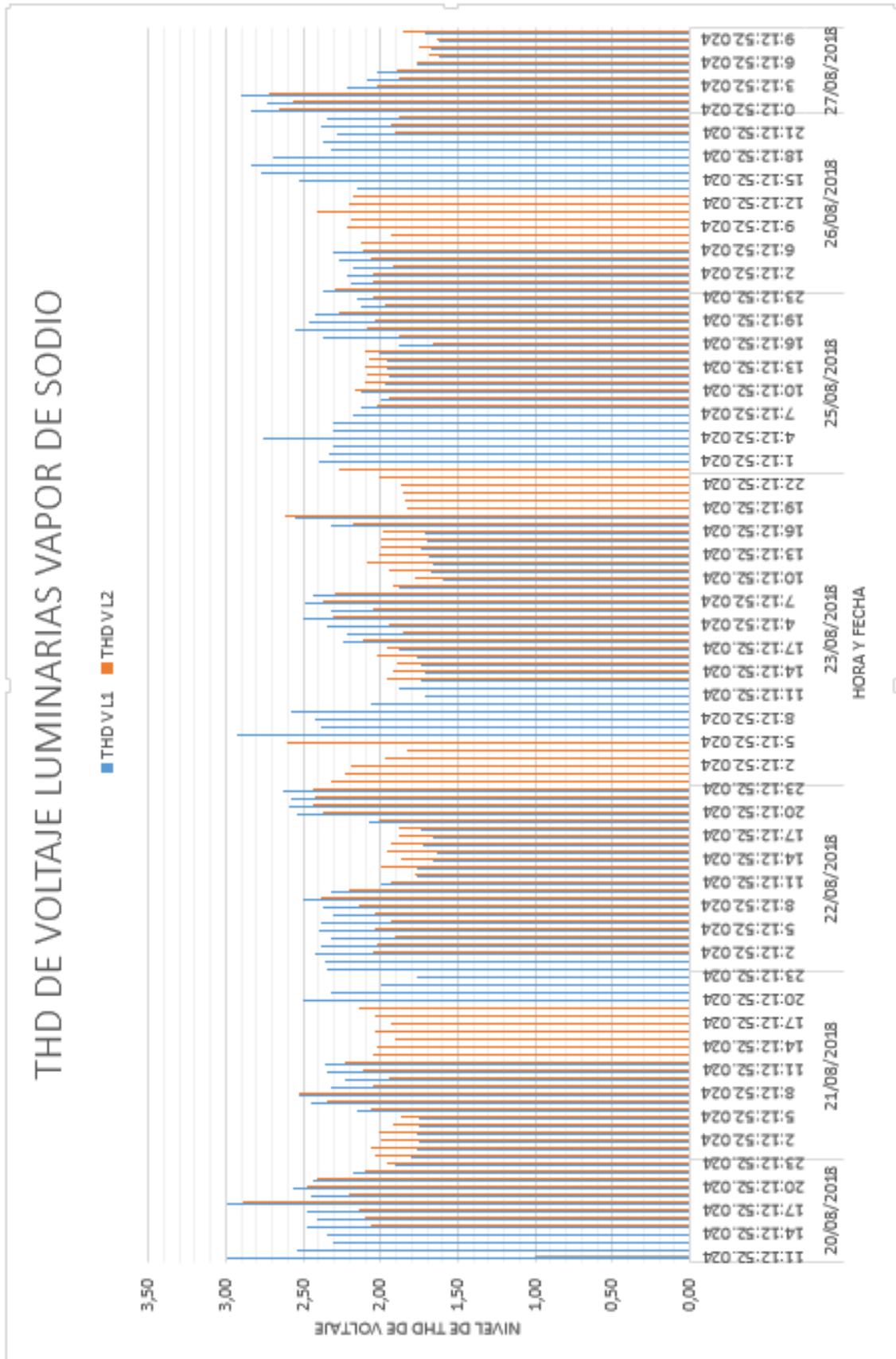
16.15 ANEXO 15

CURVA DE THD DE VOLTAJE DE LAS LUMINARIAS LED



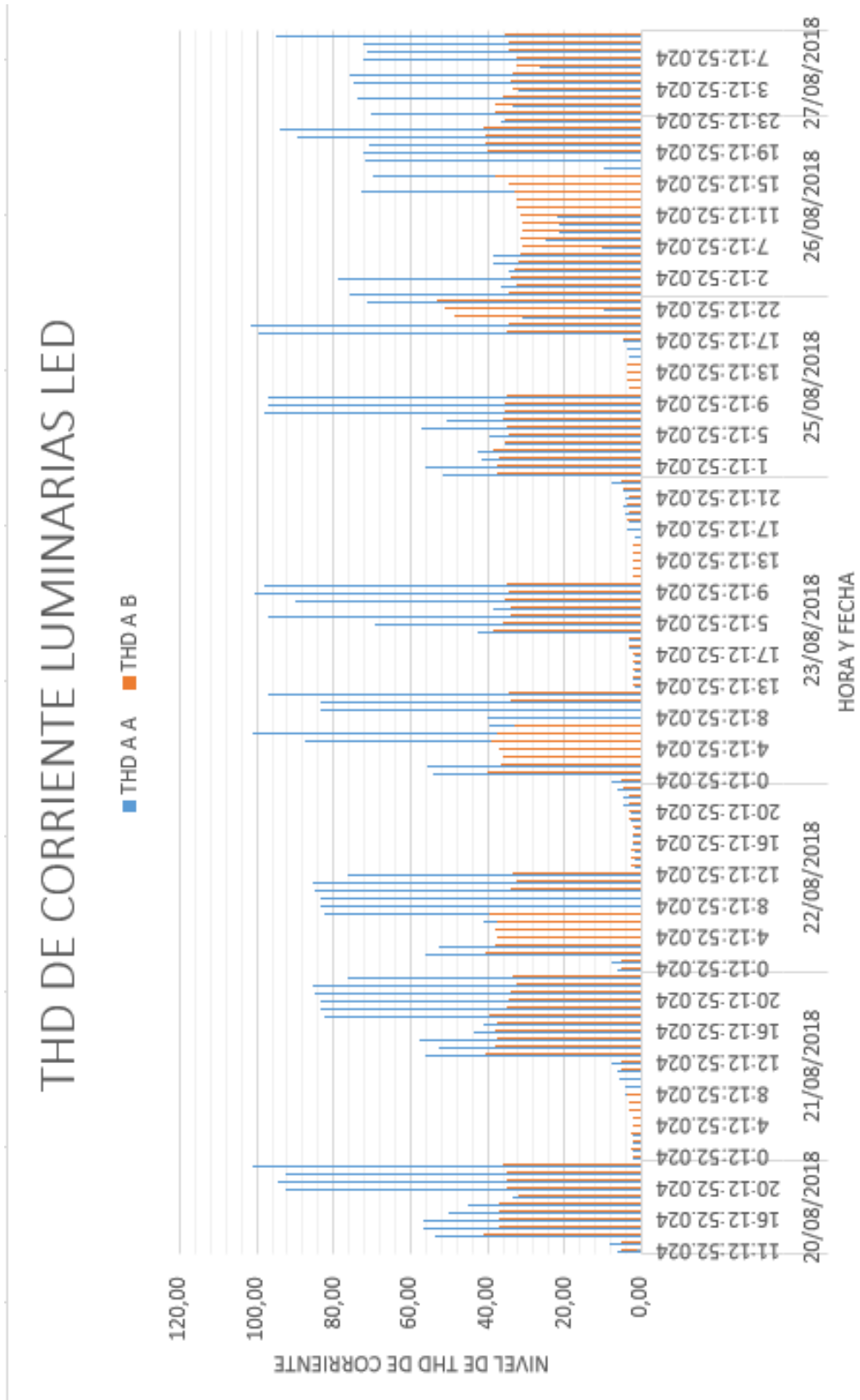
16.16 ANEXO 16

CURVA DE THD DE VOLTAJE DE LAS LUMINARIAS VAPOR DE SODIO



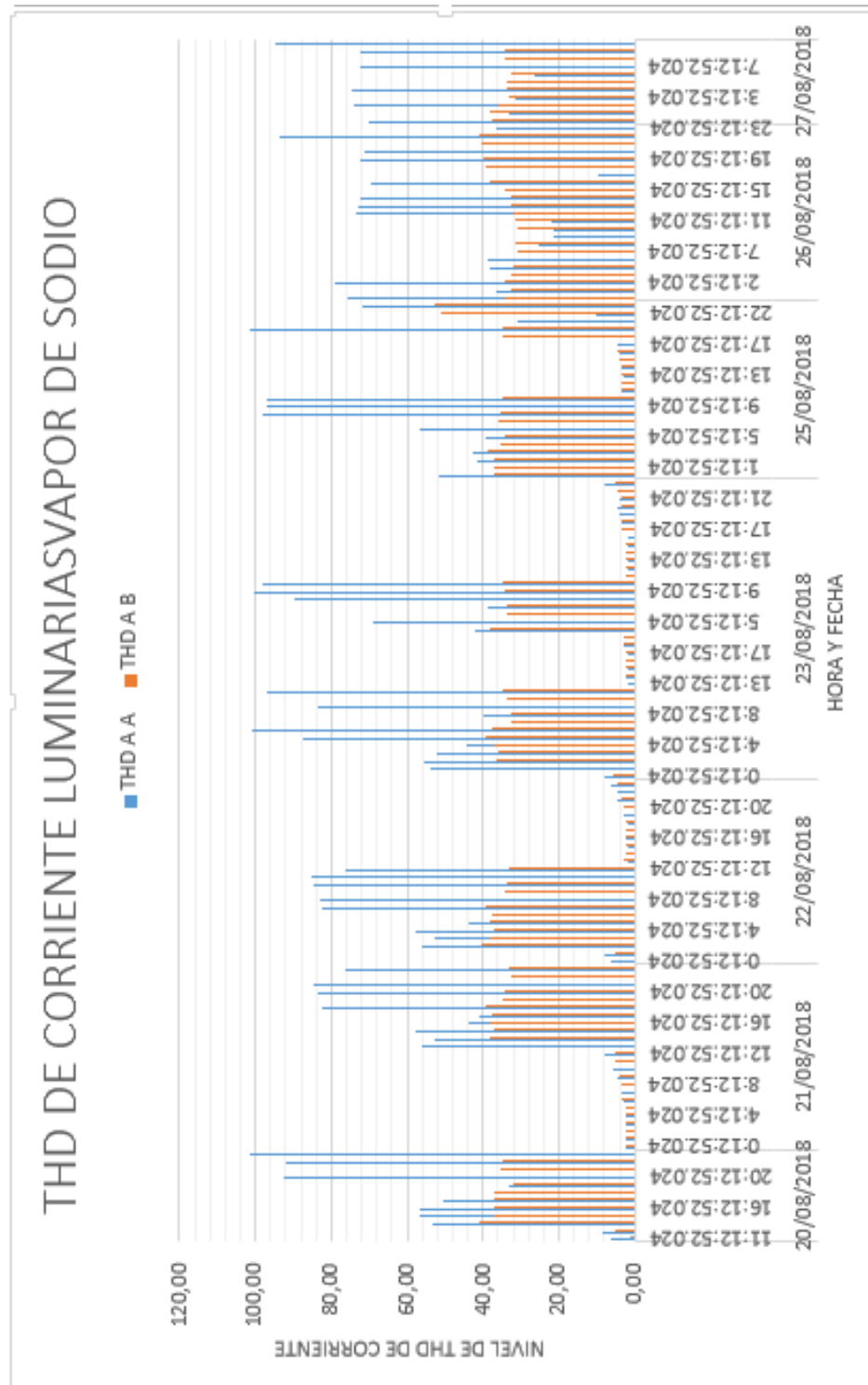
16.17 ANEXO 17

CURVA DE THD DE CORRIENTE DE LAS LUMINARIAS LED



16.18 ANEXO 18

CURVA DE THD DE CORRIENTE DE LAS LUMINARIAS VAPOR DE SODIO



16.19 ANEXO 19**FOTOGRAFÍAS DE LA INSTALACIÓN DEL ANALIZADOR DE CARGA**

Transformador de 75 kVA de los circuitos de luminarias LED.



Cámara de transformación de los circuitos de luminarias LED.



Tablero de Distribución de los circuitos de luminarias LED.



Tablero de Distribución de los circuitos de luminarias SODIO



Instalación del analizador en el tablero de distribución de las luminarias de vapor de sodio