UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

AREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

"AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA REDES DE ALUMBRADO PÚBLICO EXTERIOR EN EL AEIRNNR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA"

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniera Electromecánica.

TESISTA:

MARIA SOLEDAD PINOS LOPEZ
sole2_pinos@hotmail.com

DIRECTOR:
ING. JUAN PABLO CABRERA SAMANIEGO.

Loja – Ecuador

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

CERTIFICACIÓN

ING. JUAN PABLO CABRERA SAMANIEGO, Director de la Tesis: ***"AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA REDES DE ALUMBRADO PÚBLICO EXTERIOR EN EL AREA DE LA ENERGIA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA"*** de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, a petición de la parte interesada;

CERTIFICA:

Que el presente Proyecto de Investigación fue elaborado bajo mi dirección, y una vez que ha sido culminado, autorizo la presentación del mismo para los fines legales pertinentes.

Loja, Noviembre de 2013

Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego.
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, ***María Soledad Pinos López***, declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Autora: María Soledad Pinos López

Firma: .....

Cédula: 1103920102

Fecha: 02 de Enero de 2014

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, María Soledad Pinos López, declaro ser autora de la tesis titulada: "***AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA REDES DE ALUMBRADO PÚBLICO EXTERIOR EN EL AREA DE LA ENERGIA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA",*** como requisito para optar al grado de ***Ingeniera Electromecánica***; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repertorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dos días del mes de Enero del dos mil catorce, firma la autora

Firma.....

Autora: María Soledad Pinos López

Cédula: 1103920102

Dirección: Cdla. Pío Jaramillo Alvarado

Correo electrónico: sole2_pinos@hotmail.com

Teléfono: 2577617. **Celular:** 0988435383

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego.

Tribunal de Grado: Ing. Daniel Enrique Mahuad Ortega, Mg. Sc.

Ing. Norman Augusto Jiménez León, Mg. Sc.

Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis padres, a toda mi familia y amigos por brindarme su apoyo incondicional.

Al Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego por ser un educador con vocación y haberse convertido en un gran amigo.

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a la culminación exitosa de mi carrera profesional.

DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas

A mis padres, familia y amigos que en el transcurso de los años han sido la fuerza que me motiva a continuar luchando.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN i

AUTORÍA..... ii

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO. iii

AGRADECIMIENTO iv

DEDICATORIA..... v

ÍNDICE DE CONTENIDO 1

ÍNDICE DE TABLAS..... 7

ÍNDICE DE FIGURAS..... 9

a. TÍTULO. 11

b. RESUMEN. 12

SUMMARY 13

c. INTRODUCCIÓN 14

c.1. CONSIDERACIONES GENERALES 14

c.1 ORIGEN DEL ESTUDIO 14

c.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 14

c.4. OBJETIVO GENERAL 14

c.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14

d. REVISION LITERARIA..... 15

d.1 CAPÍTULO 1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO 15

d.1.1. LA LUZ..... 15

d.1.2. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO 15

d.1.3. PROPIEDADES DE LA LUZ 16

d.2. MAGNITUDES UNIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS..... 18

d.2.1. EL FLUJO LUMINOSO (Φ) 19

d.2.2. LA INTENSIDAD LUMINOSA (I)..... 19

d.2.4. LA LUMINANCIA (L)..... 21

d.2.5. EFICACIA LUMINOSA (η) 22

d.2.6. RENDIMIENTO ENERGÉTICO 23

d.2.7. COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (η_u). 23
d.2.8. CONTRASTE UMBRAL DE LUMINANCIA. 23
d.3. EL COLOR EN LAS FUENTES DE LUZ. 24
d.3.1. ATRIBUTOS DEL COLOR EN UNA FUENTE DE LUZ. 24
d.4. GRÁFICOS Y DIAGRAMAS. 26
d.4.1. DIAGRAMA POLAR O CURVAS DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA 26
d.4.2. MATRIZ DE INTENSIDADES LUMINOSAS 28
d.4.3. DIAGRAMAS ISOCANDELA 29
d.4.4. CURVAS ISOLUX. 30
d.5.1. INTRODUCCIÓN 32
d.5.2. SITUACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN ECUADOR 33
d.5.3. RESPONSABILIDADES DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN ECUADOR 34
d.5.4. EL BUEN ALUMBRADO DE VÍAS. 34
d.5.4.1. CRITERIOS DE CALIDAD 35
d.6. ALUMBRADOS PÚBLICOS. 39
d.6.1. OBJETIVOS DE UN ALUMBRADO PÚBLICO 39
d.6.2. FACTORES DETERMINANTES EN UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO 39
d.6.3. INFLUENCIA DE LAS EXIGENCIAS DE TRÁFICO VEHICULAR EN EL ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO. 40
d.6.4. NIVELES PERMITIDOS DE PARÁMETROS DE ILUMINACIÓN DE CALZADAS VEHICULARES (NORMA CIE 115:1995) 40
d.6.5. SEPARACIÓN (d) 41
d.6.6. CONSIDERACIONES ESPECIALES DE VISIÓN 41
d.6.7. LOS LÚMENES PUPILA. 45
d.7. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN 46
d.7.1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA 48
d.7.2. ETIQUETADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 48
d.8. FUENTES DE ILUMINACIÓN PARA ALUMBRADO PÚBLICO 49
d.8.1. LÁMPARA 49
d.8.2. LUMINARIA 50
d.8.3. EQUIPOS AUXILIARES 50
d.8.3.1. LOS IGNITORES O CEBADORES. 51

d.8.3.2. LOS BALASTOS 51
d.8.4. MÉTODOS DE CONTROL 52
d.8.4.1. REGULADORES O ATENUADORES DE ILUMINACIÓN 52
d.8.5. CLASIFICACIÓN PARA LUMINARIAS DE ALUMBRADO PÚBLICO (CIE). 53
d.8.5.1. EL ALCANCE. 53
d.8.6. LA DISPERSIÓN 54
d.8.7. EL CONTROL 55
d.8.8. FUENTES DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL PARA ALUMBRADO PÚBLICO. 56
d.8.9. VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESIÓN. 56
d.8.91. GENERALIDADES. 56
d.8.9.2. COMPONENTES 56
d.8.9.3. ENCENDIDO 57
d.8.9.4. PERIODO DE ENCENDIDO 57
d.8.9.5. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO 58
d.8.9.5.1. Eficacia luminosa 58
d.8.9.6. CARACTERÍSTICA CONSTRUCTIVA TÍPICA. 58
d.8.9.7. ENERGÍA ESPECTRAL 59
d.8.9.8. BALANCE ENERGÉTICO. 59
d.9. LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN. 59
d.9.1. GENERALIDADES. 59
d.9.2. COMPONENTES. 60
d.9.3. ENCENDIDO Y REENCENDIDO. 61
d.9.4. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO. 61
d.9.5. CARACTERÍSTICA CONSTRUCTIVA TÍPICA 63
d.9.6. ENERGÍA ESPECTRAL. 63
d.9.7. BALANCE ENERGÉTICO 64
d.10. LÁMPARA LED 64
d.10.1. GENERALIDADES 64
d.10.2. ENCENDIDO 64
d.10.3. DESARROLLO 64
d.10.4. CARACTERÍSTICA CONSTRUCTIVA TÍPICA 65
d.11. LA LUMINARIA DE INDUCCIÓN PARA ALUMBRADO PÚBLICO. 66

d.11.1. BREVE INTRODUCCIÓN. 66
d.11.2. CLASIFICACIÓN DE LAS LÁMPARAS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA. 66
d.11.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO. 66
d.11.3.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA LÁMPARA DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA INTERNA DE ALTA FRECUENCIA. 67
d.11.3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA LÁMPARA DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA EXTERNA DE BAJA FRECUENCIA. 68
d.11.5. VENTAJAS Y CARACTERÍSTICAS. 70
d.11.5.1. CONSUMO REAL. 70
d.11.5.2. EFICACIA LUMÍNICA VISUAL. 70
d.11.5.3. VIDA ÚTIL. 71
d.11.5.5. ATENUACIÓN (DEGRADACIÓN) DE LA LUZ. 72
d.11.5.6. ENCENDIDO. 72
d.11.5.7. DISTORSIÓN ARMÓNICA. 72
d.11.5.8. RENDIMIENTO ELÉCTRICO. 72
d.11.5.9. FOTOCATALIZADOR. 73
d.11.5.10.RESISTENCIA A VIBRACIONES E INMUNIDAD ELECTROMAGNÉTICA. 73
d.12. ESTUDIO TÉCNICO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LÁMPARAS DE INDUCCIÓN FRENTE A OTROS TIPOS DE LÁMPARAS 74
d.12.1. CONSIDERACIONES GENERALES 74
d.12.2. PARÁMETROS DE COMPARACIÓN 74
d.12.2.1. FILAMENTO. 74
d.12.2.2. FACTOR DE POTENCIA. 74
d.12.3. TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO. 75
d.12.4. VIDA ÚTIL. 76
d.12.5. TIEMPO DE ENCENDIDO Y RECUPERACIÓN TIEMPO DE ENCENDIDO. 77
d.12.6. TEMPERATURA DEL COLOR TEMPERATURA DEL COLOR (ºK) 77
6.2.7. ÍNDICE DE RENDIMIENTO DEL COLOR (CRI) 79
d.12.8. MANTENIMIENTO DE LA LUMINANCIA 80
d.12.9. FUNCIONES DE PROTECCIÓN. 81
d.12.10. PARPADEO 82
d.12.11. CONTENIDO DE MERCURIO CONTENIDO DE MERCURIO (mg) 82

d.12.12. PARÁMETROS DE LUZ DE LA LÁMPARA DE INDUCCIÓN 83
d.12.13. TABLA COMPARATIVA..... 83
d.13. ESTUDIO DE UN CASO ESPECÍFICO 83
d.13.1. FRANJA ESCOGIDA 84
d.14. CONTROL 97
d.14.1. CONTROL INTELIGENTE..... 98
d.15. IMPACTO AMBIENTAL. 100
d.16. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO.....101
e.- MATERIALES Y MÉTODOS.....102
e.1. EVALUACIÓN FINANCIERA 102
e.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE PROYECTO.....102
e.2.1. PROYECTOS DE INSTALACIÓN 102
e.2.2. PROYECTOS DE REPOSICIÓN 102
e.2.3. PROYECTOS DE EQUIPAMIENTO 103
e.2.4. PROYECTOS DE AMPLIACIÓN 103
e.3. IDENTIFICACIÓN DE BENEFICIOS.....103
e.3.1. BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 104
e.3.2BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO 104
e.3.3. BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA 104
e.3.4. BENEFICIOS TOTALES 105
e.3.5. CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE BENEFICIOS. 106
e.3.6. AHORRO EN COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. 106
e.3.8. VALORIZACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO 108
e.3.9. AHORRO EN CONTAMINACIÓN LUMÍNICA 108
e.3.10 CUANTIFICACIÓN DE BENEFICIOS POR MENOR DISPOSICIÓN DE LÁMPARAS CONTAMINANTES. 108
e.4. IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN.....109
e.5. LUGAR DE ESTUDIO Y ANÁLISIS.....112
e.6. CONSUMO DE ENERGÍA.....112
e.6.1. AHORRO DE ENERGÍA 113
e.6.2. COSTOS DE ENERGÍA:.....113
e.7. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO. 114

e.8. ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS ALTERNATIVAS....114
e.8.1. SUPUESTOS Y CONDICIONES....115
f. RESULTADOS....116
f.1. ESCENARIO 1....116
f.2. ALTERNATIVA 2A: INSTALACIÓN CON LÁMPARAS DE INDUCCIÓN EXTERNA DE BAJA FRECUENCIA 250W....117
f.3. ALTERNATIVA 2B: INSTALACIÓN CON LÁMPARAS DE INDUCCIÓN EXTERNA DE BAJA FRECUENCIA 250W CON CONTROLES INTELIGENTES....117
f.4. CUADRO DE RESULTADOS....118
f.5. ESCENARIO 2....118
f.6. ESCENARIO 3....119
g. DISCUSIÓN....122
h. CONCLUSIONES....124
h.1. CONCLUSIONES....124
h.1.1. CONCLUSION GENERAL....124
h.1.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS....125
i. RECOMENDACIONES....126
j. BIBLIOGRAFÍA....127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....127
REFERENCIAS WEB....128
k.- ANEXOS....130
k.1.TABLAS DE MEDICIONES....130
ANEXO 2. COSTOS DE INVERSIÓN Y GASTOS ESCENARIO 1....137
ANEXO 4.COSTOS ESCENARIO 3....144
ANEXO 6. DATOS IMPORTANTES PARA LA SUSTITUCIÓN DE LUMINARIAS....147
ANEXO 7. DATASHEET LUMINARIAS DE INDUCCIÓN EXTERNA....149
ANEXO 9. CIUDADES USANDO TECNOLOGÍA DE INDUCCIÓN EN ALUMBRADO PÚBLICO....152
ANEXO 10. GLOSARIO DE TÉRMINOS....153

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Longitudes de onda de diferentes tipos de radiación…… 6
Tabla 2. Rendimiento de color…… 15
Tabla 3. Temperatura de color correlacionada…… 15
Tabla 4. Deslumbramiento molesto…… 29
Tabla 5. Niveles permitidos de parámetros de iluminación de calzadas…… 38
Tabla 6. Luminancia de adaptación fotópica…… 38
Tabla 7. Foto recepción de la Visión Humana…… 40
Tabla 8. Factores de corrección de lúmenes a lúmenes pupila…… 40
Tabla 9. Eficiencia energética…… 42
Tabla 10. Calificación energética…… 42
Tabla 11. Clases de eficiencia energética…… 45
Tabla 12. Luminarias (Cut-off, Semi cut-off, Non cut-off)…… 51
Tabla 13. Control de deslumbramiento…… 53
Tabla 14. Diferencias entre lámparas de inducción de alta y baja frecuencia…… 58
Tabla 15. Comparación del factor de potencia…… 61
Tabla 16. Comparación de la temperatura de funcionamiento…… 62
Tabla 17. Comparación de vida útil…… 63
Tabla 18. Comparación de tiempo de encendido…… 65
Tabla 19. Comparación de temperatura de color…… 68
Tabla 20. Comparación del índice de rendimiento del color…… 72
Tabla 21. Comparación del contenido de mercurio…… 72
Tabla 22. Tabla comparativa general…… 73
Tabla 23. Comparación de resultados simulados…… 75
Tabla 24. Consumo estimado de energía Sodio AP…… 81
Tabla 25. Consumo estimado de energía IEM-E…… 82
Tabla 26. Costos estimados de energía…… 86
Tabla 27. Resultados Costo Anual Equivalente…… 92
Tabla 28. Resultados Beneficio Ne…… 98
Tabla 29. Indicadores financieros alternativa 2ª…… 101
Tabla 30. Indicadores financieros alternativa 2b…… 103
Tabla 31. Cuadro de resultados…… 104
Tabla 32. Cuadro de resultados, porcentaje de ahorro…… 105
Tabla 33. Resultados Costo Anual Equivalente…… 106
Tabla 34. Resultados Beneficio Neto…… 108
Tabla 35. Mediciones Lámpara 1…… 109
Tabla 36 Mediciones Lámpara 2…… 110
Tabla 37 Mediciones Lámpara 3…… 111

Tabla 38. Mediciones Lámpara 4…… 112
Tabla 39. Mediciones Lámpara 5…… 115
Tabla 40. Mediciones Lámpara 6…… 116
Tabla 41. Mediciones Lámpara 7…… 117
Tabla 42 Mediciones Lámpara 8…… 119
Tabla 43. Mano de obra y equipos A. Sodio…… 121
Tabla 44. Construcción de Red A. Sodio…… 122
Tabla 45. Materiales A. Sodio…… 123
Tabla 46. Dirección Técnica - A. Sodio…… 123
Tabla 47. Dirección Administrativa- A. Sodio…… 124
Tabla 48. Mano de Obra y Equipos- A. Inducción…… 125
Tabla 50. Dirección técnica- A. Inducción…… 128
Tabla 52. Control con Smart Server- A. Inducción…… 142
Tabla 51. Instalación y Administración- A. Inducción…… 143
Tabla 52. Mano de Obra y Equipos A. Inducción con S.S…… 144
Tabla 53. Mano de Obra y Equipos A. Inducción con S.S…… 145
Tabla 54. Materiales- A. Inducción con S.S…… 146
Tabla 55 Dirección Técnica y Administrativa A. Inducción con S.S…… 148
Tabla 56 Mano de Obra A. Inducción con S.S…… 149
Tabla 57 Equipos- A. Inducción con S.S…… 151
Tabla 58 Materiales- A. Inducción con S.S…… 153
Tabla 59 Dirección Técnica y Administrativa- A. Inducción con S…… 154
Tabla 60. Mano de Obra - A. Inducción con C.I…… 155
Tabla 61. Equipos - A. Inducción con C.I…… 166
Tabla 62. Materiales - A. Inducción con C.I…… 173
Tabla 63. Dirección Técnica y Administrativa - A. Inducción con C.I…… 174

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1. Espectro electromagnético……. 3
Fig.2. Espectro de la luz que irradia el sol a medio día despejado…… 4
Fig.3. Tipos de reflexión……. 5
Fig.4. Refracción……. 5
Fig.5. Tipos de transmisión……. 6
Fig.6. Flujo luminoso……. 7
Fig.7. Intensidad luminosa……. 8
Fig.8. Iluminancia…… 9
Fig.9. Ley inversa de los cuadrados…… 9
Fig.10. Componentes de la iluminancia……. 10
Fig.11. Eficacia luminosa……. 11
Fig.12. Representación diagrama polar o curvas de distribución luminosa……. 17
Fig.13. Diagrama polar……. 19
Fig.14. Matriz de intensidades luminosas……. 21
Fig.15. Diagramas Isocandela…… 22
Fig.16. Curvas isolux…… 25
Fig.17. Zona coeficiente de iluminación en los alrededores (SR)……. 26
Fig.18. Calidad de iluminación……. 28
Fig.19.Ojo humano……. 29
Fig.20.Curva de eficiencia luminosa en condiciones fotópicas y escotópicas……. 30
Fig.21.Etiquetado de eficiencia energética……. 31
Fig.22.Alcance…… 32
Fig.23.Dispersión…… 33
Fig.24. Alcance y Dispersión de la luminaria…… 35
Fig.25. Característica constructiva típica de una lámpara de Hg a alta presión……. 37
Fig.26. Energía espectral…… 39
Fig.27. Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión……. 41
Fig.28. Curva típica de mortalidad y depreciación luminosa para una lámpara de SAP…… 42
Fig.29. Característica constructiva típica de una lámpara de SAP…… 45
Fig.30. Energía espectral…… 48
Fig.31. Balance energético de una lámpara de sodio a alta presión…… 49
Fig.32. Característica constructiva típica lámpara LED…… 50
Fig.33. Estructura lámpara de inducción interna……. 50
Fig.34. Estructura lámpara de inducción externa…… 54
Fig.35. Energía espectral…… 58
Fig.36. Comparación del factor de potencia…… 59

Fig.37. Comparación de la temperatura de funcionamiento…… 60
Fig.38. Comparación de vida útil…….. 68
Fig.39. Comparación de tiempo de encendido…….. 69
Fig.40. Comparación de temperatura del color…….. 70
Fig.41. Temperatura del color de diferentes fuentes luminosas…… 74
Fig.42. Comparación del índice de rendimiento del color…….. 75
Fig.43. Mantenimiento de lúmenes pupila Fuente: Ptl Solar…….. 76
Fig.44. Mantenimiento de luminancia Fuente: GIL…….. 78
Fig.45. Mantenimiento de luminancia Fuente: Formetco…….. 79
Fig.46. Mantenimiento de luminancia Fuente: UGS…… 80
Fig.48. Mantenimiento de lúmenes pupila Fuente: Ptl Solar…… 82
Fig.49. Diagrama Flujo de Fondo 1…….. 86
Fig.50. Diagrama Flujo de Fondo Sodio- Alta presión…… 89
Fig.51. Diagrama Flujo de Fondo – Escenario 1…….. 94
Fig.52. Diagrama Flujo de Fondo – Escenario 2…….. 95
Fig.53. Diagrama Flujo de Fondo – Escenario 3…….. 96
Fig.54. Accent Inducción Roadway…….. 98
Fig.55. Datasheet - Lámparas de Inducción…….. 99

a. TÍTULO.

"AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA REDES DE ALUMBRADO PÚBLICO EXTERIOR EN EL AREA DE LA ENERGÍA LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA"

b. RESUMEN.

El alumbrado público es un fragmento importante del sector eléctrico, ya que se determina como una necesidad dentro del desempeño diario en la vida del ser humano moderno, influyendo en su desarrollo y aportando a su seguridad.

El presente estudio pretende analizar una alternativa tecnológica, que en el transcurso de los años ha sido mejorada hasta el punto de ser presentada alrededor del mundo como una opción de optimización de los sistemas de iluminación, la tecnología llamada de "inducción magnética" no es nueva, pero sus grandes avances en los últimos años, justifican su uso.
Los diferentes capítulos de este estudio le dan una secuencia al análisis de las lámparas de inducción frente a distintos tipos de lámparas utilizadas en alumbrado público: las que actualmente se están usando en la ciudad de Loja y las que usan tecnología LED, que también han presentado un considerable avance tecnológico. Esta secuencia determina en su inicio, la definición de los conceptos necesarios para el entendimiento de todo este estudio, después se especifican las cualidades necesarias y normas utilizadas para que un alumbrado público cumpla de la mejor manera con sus objetivos, más adelante se realiza el análisis de las lámparas seleccionadas y un capítulo completo dedicado a las lámparas de inducción magnética, para después realizar la comparación entre las distintas lámparas parámetro a parámetro, además de mediciones y simulaciones del estado actual de una franja de la Universidad Nacional de Loja (UNL), acompañada de la simulación del comportamiento que tendría la misma franja con lámparas de inducción. Al final se realiza un análisis financiero que compara una instalación totalmente nueva de lámparas de sodio a alta presión en contra de una instalación de lámparas de inducción magnética y una alternativa adicional de lámparas de inducción magnética usando controles inteligentes de alumbrado público, todo esto en el alumbrado público del Área de la energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables (AEIRNNR).

El estudio realizado y sus conclusiones, destacan que la decisión en la implementación de lámparas de inducción magnética y en particular las que usan controles inteligentes, depende además de una análisis financiero del interés que le tengan las entidades que regulan el alumbrado público a la eficiencia energética y a la visión del comportamiento del alumbrado público, en confort visual y mucho más importante en lo que se refiere a la influencia que este marca dentro del desempeño, integridad y seguridad de los ciudadanos.

SUMMARY

Street lighting is an important fragment of the electricity sector, as it is determined as a necessity in the daily performance in modern human life, influencing its development and contributing to its security.

This study aims to analyze a technological alternative , that over the years has been improved to the point of being presented around the world as an optimization option lighting systems , the technology called " magnetic induction " is not new but its great advances in recent years , justify its use .

The different chapters of this study give a sequence analysis of induction lamps compared to other types of lamps used in streetlights: those that are currently being used in the city of Loja and using LED technology have also presented considerable technological advance. This sequence determines its inception , the definition of the concepts necessary for understanding throughout this study , then specify the necessary qualities and standards used for street lighting as best meets their goals later analysis is performed selected lamps and an entire chapter devoted to magnetic induction lamps , then the comparison between different parameter lamps , as well as measurements and simulations of the current state of a strip of the National University of Loja (UNL) , accompanied by the simulation of the behavior that would have the same range with induction lamps . In the end it makes a financial analysis comparing a brand new installation of lamps high pressure sodium against an installation of magnetic induction lamps and an additional alternative magnetic induction lamps using intelligent lighting controls , all in the Energy's Area , Industry and non-Renewable Natural Resources (AEIRNNR).

The study and its findings, emphasize that the decision to implement magnetic induction lamps and particularly those that use smart controls also depends on a financial analysis of the interest that you have the entities regulating lighting energy efficiency and vision lighting behavior in visual comfort and more important with regard to the influence this performance brand within, integrity and security of citizens

c. INTRODUCCIÓN

c.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El alumbrado público de la ciudad de Loja ha sufrido permanentes cambios, debido a la necesidad de conseguir: mayor ahorro de consumo de energía eléctrica, mejor iluminación y como producto de la constante búsqueda de colaborar a la mejora del sistema eléctrico, disminuir pérdidas y tratar de mitigar problemas de alumbrado público de corto plazo, como alto consumo de energía, reemplazos permanentes, mal funcionamiento y daños constantes.

c.1 ORIGEN DEL ESTUDIO

La aparición de nuevas tecnologías para alumbrado público determina las alternativas para cubrir este servicio, tratando siempre de optimizar lo ya existente, este estudio pretende hacer un análisis objetivo de las lámparas que usan tecnología de inducción, al parecer, son una opción digna de análisis.

c.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de las necesidades fundamentales de la comunidad de la ciudad de Loja está el alumbrado público, su buen funcionamiento es determinante al momento de evitar accidentes de tránsito y disminuir la inseguridad, esto actualmente conlleva un gran consumo de energía eléctrica con altos costos, pérdidas en el sistema eléctrico y un impacto ambiental que finalmente se refleja en perjuicios económicos.
La optimización del desempeño del alumbrado público es una excelente alternativa en la solución de los problemas planteados.

c.4. OBJETIVO GENERAL

Analizar el modo de explotación, funcionamiento y componentes de Alumbrado público exterior, y si es necesario para elaborar un plan de mejoras.

c.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y valorar la situación y estado de los componentes en cada instalación
- Determinar la calidad de energía que brinda el sistema.
- Desarrollar un plan de mejoras.

d. REVISION LITERARIA

d.1 CAPÍTULO 1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO

d.1.1. LA LUZ

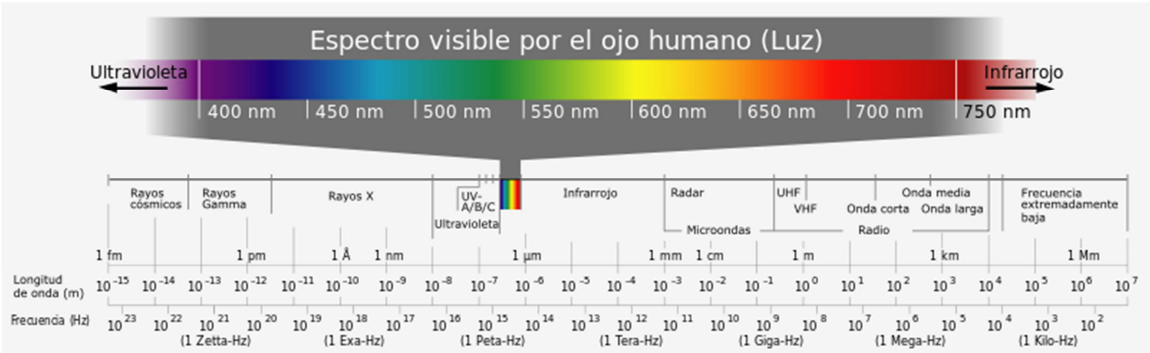
La luz que llega a nuestros ojos y nos permite ver, es un pequeño conjunto de radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 770 nm. [38]

d.1.2. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La luz forma parte del espectro electromagnético que comprende diferentes tipos de ondas. Cada uno de estos tipos de onda comprende un intervalo definido por una magnitud característica que puede ser la longitud de onda (λ) o la frecuencia (*f*). La relación entre ambas es [38]:

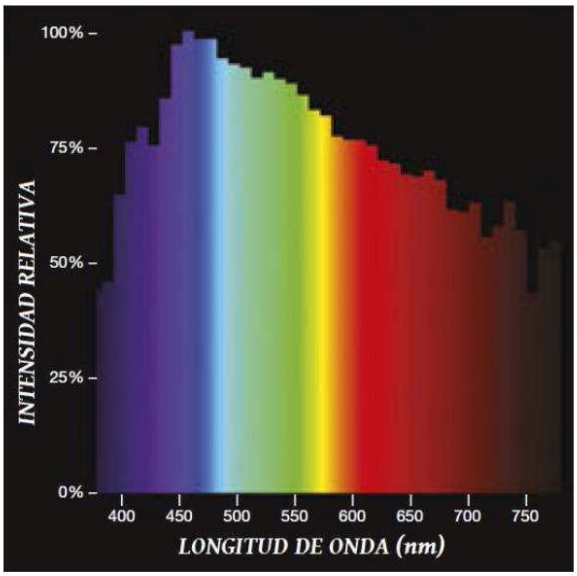
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde c es la velocidad de la luz en vacío (c = $3*10^8$m/s)



Fuente: INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION CIE.

Ilustración 1. *Espectro Electromagnético*



Fuente: INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION CIE.

Ilustración 2. *Espectro de la luz que irradia el sol a medio día despejado*

d.1.3. PROPIEDADES DE LA LUZ

Cuando la luz encuentra un obstáculo en su camino choca contra la superficie de este y una parte es reflejada. Si el cuerpo es opaco el resto de la luz será absorbida. Si es transparente una parte será absorbida como en el caso anterior y el resto atravesará el cuerpo transmitiéndose. Así pues, tenemos tres posibilidades:

- Reflexión.
- Transmisión-refracción.
- Absorción.

Para cada una se define un coeficiente que nos da el porcentaje correspondiente en tanto por uno. Son el factor de reflexión (ρ), el de transmisión (τ) y el de absorción (α) que cumplen:

- $\rho + \tau + \alpha = 1$ Cuerpos transparentes
- $\rho + \alpha = 1$ Cuerpos opacos ($\tau = 0$)

d.1.3.1. La reflexión

La reflexión es un fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes (ya sean gases como la atmósfera, líquidos como el agua o sólidos) y está regida por la ley de la reflexión.
La dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie. Si es una superficie brillante o pulida se produce la reflexión regular en que toda la luz sale en una única dirección. Si la superficie es mate y la luz sale desperdigada en todas direcciones se llama reflexión difusa. Y, por último, está el caso intermedio, reflexión mixta, en que predomina una dirección sobre las demás. Esto se da en superficies metálicas sin pulir, barnices, papel brillante, etc.

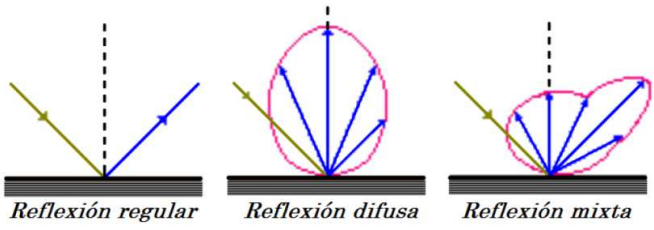


Ilustración 3. *Tipos de reflexión*

d.1.3.2. La refracción

La refracción se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes según la ley de la refracción. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente.

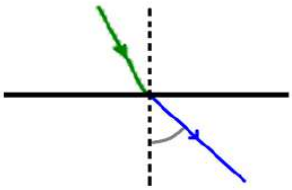


Fig. 4. Refracción

d.1.3.3. La transmisión

La transmisión se puede considerar una doble refracción. Si pensamos en un cristal; la luz sufre una primera refracción al pasar del aire al vidrio, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar de nuevo al aire. Si después de este proceso el rayo de luz no es desviado de su trayectoria se dice que la transmisión es regular como pasa en los vidrios transparentes. Si se difunde en todas direcciones tenemos la transmisión difusa que es lo que pasa en los vidrios translúcidos. Y si predomina una dirección sobre las demás

tenemos la mixta como ocurre en los vidrios orgánicos o en los cristales de superficie labrada.

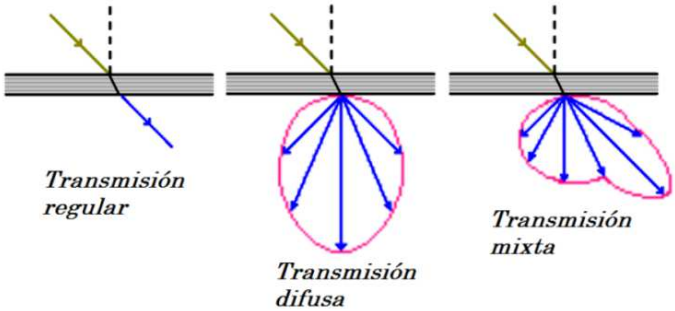


Fig.5. Tipos de transmisión

d.1.3.4. La absorción

La absorción es un proceso muy ligado al color. El ojo humano sólo es sensible a las radiaciones pertenecientes a un pequeño intervalo del espectro electromagnético. Son los colores que mezclados forman la luz blanca. Su distribución espectral aproximada es:

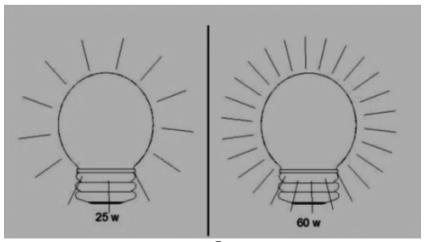
Cuando la luz blanca choca con un objeto una parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie y el resto son reflejados. Las componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos. Si las refleja a todas es blanco y si las absorbe a todas es negro. Un objeto es rojo porque refleja la luz roja y absorbe las demás componentes de la luz blanca. Si iluminamos el mismo objeto con luz azul lo veremos negro porque el cuerpo absorbe esta componente y no refleja ninguna. Queda claro, entonces, que:
El color con que percibimos un objeto depende del tipo de luz que le enviamos y de los colores que este sea capaz de reflejar.

d.2. MAGNITUDES UNIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS

Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de vías públicas existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento, confort visual, etc.). Afortunadamente, hoy en día estos cálculos están muy mecanizados.
No obstante, es recomendable tener nociones de algunos de ellos para comprender mejor la mecánica de cálculo. Así tras estudiar algunos conceptos previos de iluminación, veremos soluciones prácticas de alumbrado viario y los niveles de iluminación recomendados. [38]

d.2.1. EL FLUJO LUMINOSO (Φ)

Para hacernos una idea consideraremos dos bombillas, una de 25 w y otra de 60 w, está claro que la de 60 w dará una luz más intensa, pues bien, 25 w y 60 w es la potencia que consumen las bombillas pero solo a la parte que se convierte en luz visible se le llama flujo luminoso al cual definiríamos como: la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente y valorada por el ojo humano. Su unidad es el lumen (lm). [12]



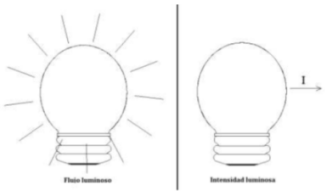
$$\mathbf{\Phi} = \frac{Q}{T}[lm]$$

Fig. 6. Flujo luminoso

Q = Cantidad de luz emitida en lúmenes por segundo.
T = Tiempo en segundos.

d.2.2. LA INTENSIDAD LUMINOSA (I)

Una vez clara la idea del flujo luminoso, está claro que éste se presenta en todas direcciones del espacio, pero por la necesidad de conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio definimos la intensidad luminosa: la intensidad luminosa representa la intensidad con que se proyecta la luz en una dirección determinada. Su unidad es la candela (cd).



$$\mathbf{I} = \frac{\Phi}{\omega}[cd]$$

Fig. 7. Intensidad luminosa

Φ = Flujos luminoso.
ω= Unidades de ángulo sólido[1].

[1] Ángulo sólido (ω): es el ángulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado, que se corresponde $\omega = \frac{S_e}{r^2}$ a zona del espacio limitada por una superficie cónica. Mide el tamaño aparente de ese objeto. Su unidad es el estereorradián (sr). Para calcular el ángulo sólido de una superficie, se proyecta el objeto sobre una esfera de radio conocido, siendo su proyección S_e.[5]

Nota: El flujo luminoso y la intensidad luminosa son magnitudes características de las fuentes de luz, indicando la primera la cantidad de luz emitida por dicha fuente en 1 segundo en todas direcciones, mientras que la segunda indica la cantidad de luz emitida en un segundo en una determinada dirección.

d.2.3. LA ILUMINANCIA (E)

Cuando se iluminan objetos situados a diferentes distancias, se puede apreciar que los cercanos están fuertemente iluminados en comparación a los lejanos donde la iluminación es débil. Esta sencilla experiencia recoge muy bien el siguiente concepto de iluminancia: luminancia o nivel de iluminación es la cantidad de luz que recibe una superficie independientemente de la dirección de la cual llega el flujo luminoso a esta superficie, su unidad es el lux (lx).

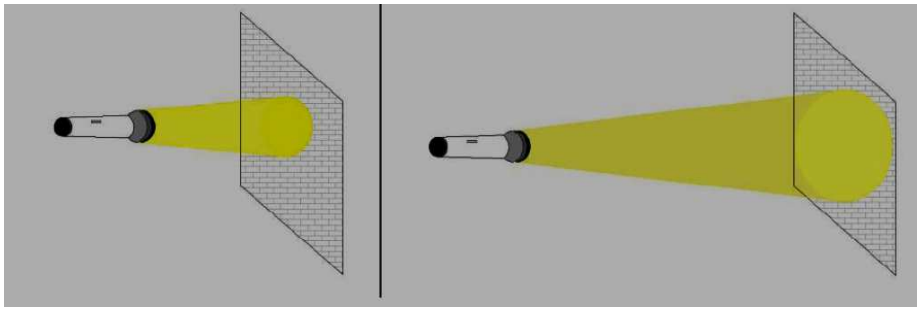


Fig. 8. Iluminancia

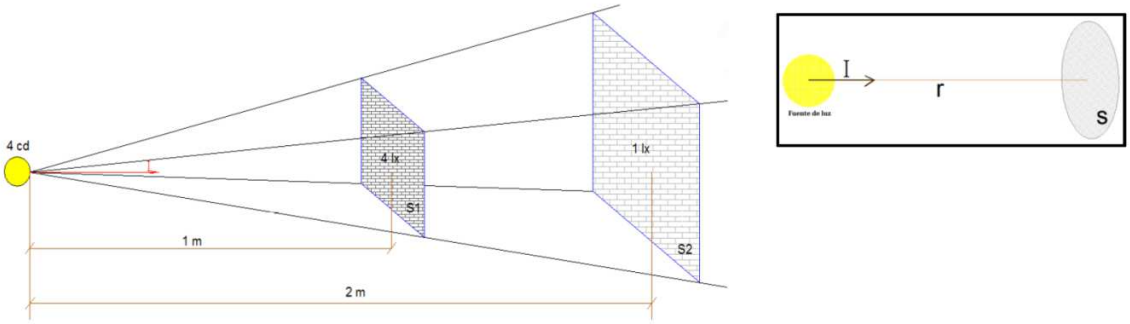
$$\mathbf{E} = \frac{\Phi}{S}[lx]$$

Φ = Flujo luminoso
S = Superficie en m^2

A lo que ocurre con el ejemplo de la linterna se le conoce como ley inversa de los cuadrados, que relaciona la intensidad luminosa I y la distancia de la fuente, esta ley es válida solo si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie.

Ley inversa de los cuadrados:

***I* =** Intensidad luminosa
r = Distancia de la fuente de luz a la superficie a iluminar



Fuente: RAMIREZ VAZQUEZ, José. "Luminotecnia - Enciclopedia CEAC de Electricidad". Ediciones CEAC S. A. Barcelona. 1992

Fig. 9. Ley inversa de los cuadrados [5]

Si la luz incidente no es perpendicular, hay que descomponer la iluminancia recibida en una componente vertical y otra vertical a la superficie.

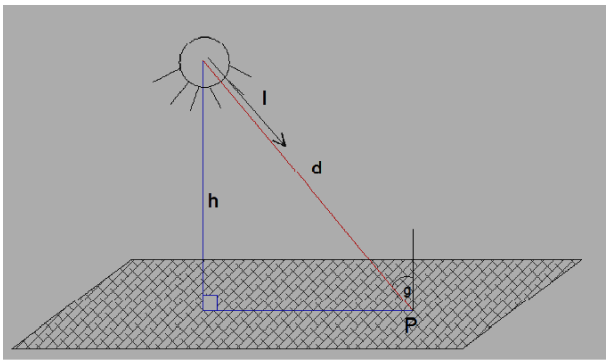


Fig. 10. Componentes de la iluminancia

$$\mathbf{Ep} = \frac{\mathrm{I}\cos \mathrm{g}}{d^2}$$

Ep = Iluminancia en el punto p
g = Ángulo formado entre la vertical y la línea de luz incidente
d = Distancia entre la fuente de luz y el punto P.

d.2.4. LA LUMINANCIA (L)

Hasta ahora se ha hablado de magnitudes que informan sobre las propiedades de las fuentes de luz (flujo luminoso e intensidad luminosa) o sobre la luz que llega a la superficie (iluminancia). Pero no se ha dicho nada de la luz que llega al ojo, que a fin de cuentas es la que vemos, de esto trata la luminancia, ya sea el caso que se vea una fuente de luz o el reflejo procedente de un cuerpo.

Con todo esto claro definimos luminancia como: la intensidad luminosa que emite una superficie reflectora ajena a la fuente luminosa por unidad de superficie perpendicular a la dirección de la luz, su unidad es el Lambert.

$$\mathbf{L} = \frac{\mathrm{I}}{S}[cd/cm^2]$$

I = Intensidad luminosa
S = Superficie en cm^2.

d.2.5. EFICACIA LUMINOSA (*η*)

Ya se mencionó al hablar del flujo luminoso que no toda la energía eléctrica consumida por la lámpara se transforma en luz visible. Parte se pierde por calor, parte en forma de radiación no visible (infrarrojo, ultravioleta, etc.)
Eficacia luminosa es la relación entre el flujo luminoso de una fuente de luz y la potencia suministrada a ella, expresada en lm/W, esta depende de dos factores: el porcentaje de la potencia eléctrica que se transforma en radiación visible y la distribución espectral de la radiación emitida por la fuente en relación con la curva de sensibilidad espectral del sistema visual humano, donde surge que 1 watt de potencia radiante de 555 nm equivale a 683 lm/W, valor que correspondería a la máxima eficacia luminosa posible, sin embargo, las fuentes luminosas no tienen valores tan altos de eficacia luminosa.

$$\boldsymbol{\eta} = \frac{\Phi}{P}[\boldsymbol{lm/w}]$$

η = Flujo luminoso.
P = Potencia en vatios.

Fuente: RAMIREZ VAZQUEZ, José. "Luminotecnia - Enciclopedia CEAC de Electricidad". Ediciones CEAC S. A. Barcelona. 1992

Fig.11. Eficacia luminosa

d.2.6. RENDIMIENTO ENERGÉTICO

El rendimiento energético global de una instalación de alumbrado puede definirse como el cociente entre la energía luminosa necesaria para la realización de una actividad determinada y el consumo de energía eléctrica correspondiente. [17]

$$R = \frac{S * Ni}{P} [lm/w]$$

R = Rendimiento energético global de la instalación, lumen/W.
Ni = Nivel de iluminación requerido en el plano de trabajo, lux (lumen/m2).
S = Superficie a alumbrar, m^2.
P = Potencia total de la lámparas instaladas, W.

d.2.7. COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (η_u).

Se refiere a la relación entre el flujo luminoso que alcanza la calzada y el flujo emitido por la lámpara.

$$\boldsymbol{\eta_u} = \frac{\Phi_u}{\Phi_L}$$

$\boldsymbol{\eta_u}$ = Coeficiente de utilización.
$\boldsymbol{\Phi_u}$ = Flujo luminoso que alcanza la calzada.
$\boldsymbol{\Phi_L}$= Flujo luminoso emitido por la lámpara.

Varía según el tipo de luminaria (rendimiento y distribución fotométrica), la disposición de los puntos de luz (altura y saliente sobre el bordillo), la anchura L de la calzada, el factor de reflexión de las fachadas de los edificios circundantes, en el caso de que los haya. En la práctica, el orden de magnitud del coeficiente de utilización se sitúa entre 0.2 y 0.5 para una vía de anchura similar a la altura de la instalación.

El valor del coeficiente de utilización lo suministra el constructor de las luminarias o por pruebas desarrolladas en un laboratorio. Habitualmente se proporcionan dos curvas, una correspondiente a la emisión anterior a la luminaria (lado de la calzada) y la otra relativa a la parte posterior (lado casas).

d.2.8. CONTRASTE UMBRAL DE LUMINANCIA.

Es una medida de su luminancia relativa al fondo sobre el cual es visto. Cuánto más grande es el contraste de luminancia, más fácil es detectar el estímulo. Hay, en términos generales, dos formas diferentes de definir el contraste de luminancia.

Para estímulos que son vistos sobre un fondo uniforme, el contraste de luminancia se define por convención como es la diferencia de la luminancia del objeto y la luminancia del entorno, está dado por:

$$C = \frac{L_0 - L_f}{L_f}$$

L_f: Luminancia del fondo.
L_0: Luminancia del detalle.

Un estímulo con contraste de luminancia cero o muy bajo, puede ser detectado si difiere en color del fondo, es decir, si tiene contraste cromático. La iluminación puede acentuar, o disminuir, el contraste cromático de un estímulo, según la composición espectral de la emisión de la fuente de luz utilizada.

d.3. EL COLOR EN LAS FUENTES DE LUZ.

Las cantidades fotométricas descriptas hasta aquí no toman en cuenta la composición espectral de la luz recibida por el ojo. Dos campos con igual luminancia pero con diferentes combinaciones de longitudes de onda se diferenciaran por su color. El color depende de la distribución espectral de la luz. Si prevalecen longitudes de onda largas del espectro visible, la luz se percibirá roja, si prevalecen las del medio el espectro la luz se percibirá amarilla/verde o si está concentrado en las bajas longitudes de onda se percibirá un azul. Como ya se mencionó anteriormente, si se combinan todas las longitudes de onda del espectro visible, en aproximadamente cantidades iguales, el ojo percibe una luz color blanca, como la del sol. [19]

d.3.1. ATRIBUTOS DEL COLOR EN UNA FUENTE DE LUZ.

d.3.1.1. EL TONO

El tono está asociado al color predominante, sea este espectral o no, es decir es el atributo asociado con el nombre de los colores básicos: rojo, amarillo, naranja, verde, azul o púrpura. En general, se describe el tono por la longitud de onda del color dominante. En el caso de un color no espectral como el púrpura, que resulta de una suma de luces rojas y azules, que no se corresponde con una longitud de onda, el tono se describe como la longitud de onda de su color complementario.

d.3.1.2. LA SATURACIÓN

La saturación corresponde a la pureza del color que determina el tono. Un color monocromático espectral tiene la mayor saturación, mientras la luz blanca, es una luz completamente no saturada.

d.3.1.3. LA CLARIDAD

La claridad se refiere a la cantidad de luz. Un mismo objeto puesto al sol o a la sombra solamente se diferencia por su claridad. Es una magnitud perceptual asociada al nivel de la intensidad que emite una fuente de luz, o a la proporción de la luz incidente que es reflejada en el caso de objetos. La claridad está asociada con la luminancia.

d.3.1.4. RENDIMIENTO DE COLOR - ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (CRI)

El rendimiento de color en una instalación de alumbrado es la capacidad que tienen las lámparas de reproducir los colores de los objetos que iluminan. Las exigencias en este aspecto varían enormemente, desde aplicaciones como el alumbrado vial, donde la identificación exacta del color no es precisamente necesaria, hasta casos especiales, como sucede en comercios, galerías de arte, etcétera, donde la reproducción de colores es imprescindible.
El rendimiento de color que presenta una lámpara se consigue en comparación con la obtenida mediante una luz de referencia.
Convencionalmente, el CRI varía entre 0 y 100, pero no debe entenderse como un porcentaje de fiabilidad de reproducción de cada uno de los colores, ya que se obtiene como promedio de las reproducciones efectuadas en los colores de una muestra. Dos lámparas pueden tener un mismo CRI y sin embargo reproducir de modo distinto un determinado color.

En la tabla siguiente se especifican los índices de rendimiento de color mínimos de las fuentes de luz, expresados en grupos de calidad según CIE:

Grupo de rendimiento de color (CIE)	Temperatura de color
1 (BUENO)	> 85
2 (NORMAL)	70 A 85
3 (MALO)	>70

Fuente: MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP.

Tabla 2. Rendimiento de color [6]

d.3.1.5. LA APARIENCIA DEL COLOR

Es el color que presenta la propia fuente de luz.

d.3.1.6. TEMPERATURA DE COLOR CORRELACIONADA (TCC)

Es el color emitido por una fuente de luz, en comparación al color de un cuerpo negro. La temperatura de color se mide en grados kelvin (ºK), calentando progresivamente un cuerpo negro (hierro o carbón), partiendo del cero absoluto (-273ºC) hasta una cierta temperatura, e ir observando la variación cromática de luz que va emitiendo, que empieza por el rojo y termina por el color blanco al llegar al punto de fusión. [12]

Apariencia del color	Temperatura de color
CALIDA	< 3300 ºK
INTERMEDIA	3300 a 5000 ºK
FRIA (LUZ DE DÍA)	> 5000 ºK

Fuente: MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP.

Tabla 3. Temperatura de color correlacionada

d.4. GRÁFICOS Y DIAGRAMAS

Cuando se habla en fotometría de magnitudes y unidades de medida se definen una serie de términos y leyes que describen el comportamiento de la luz y sirven como herramientas de cálculo. Pero no hemos de olvidar que las hipótesis utilizadas para definirlos son muy restrictivas (fuente puntual, distribución del flujo esférica y homogénea, etc.). Aunque esto no invalida los resultados y conclusiones obtenidas, nos obliga a buscar nuevas herramientas de trabajo, que describan mejor la realidad, como son las tablas, gráficos o programas informáticos. De todos los inconvenientes planteados, el más grave se encuentra en la forma de la distribución del flujo luminoso que depende de las características físicas muy particulares de las lámparas y luminarias empleadas. [38]

Los gráficos más habituales en luminotecnia, todos ellos enfocados a alumbrado público son:

- Diagrama polar o curva de distribución luminosa.
- Diagramas isocandela de alumbrado público. Proyección azimutal de Lambert.
- Curvas isolux.

d.4.1. DIAGRAMA POLAR O CURVAS DE DISTRIBUCIÓN LUMINOSA

En estos gráficos la intensidad luminosa se representa mediante un sistema de tres coordenadas (I, C, *y*). La primera de ellas representa el valor numérico de la intensidad

luminosa en candelas e indica la longitud del vector mientras las otras señalan la dirección. El ángulo C nos dice en qué plano vertical estamos y mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. En este último, 0º señala la vertical hacia abajo, 90º la horizontal y 180º la vertical hacia arriba. Los valores de C utilizados en las gráficas no se suelen indicar salvo para el alumbrado público.
En este caso, los ángulos entre 0º y 180º quedan en el lado de la calzada y los comprendidos entre 180º y 360º en la acera; 90º y 270 grados son perpendiculares al bordillo y caen respectivamente en la calzada y la acera.

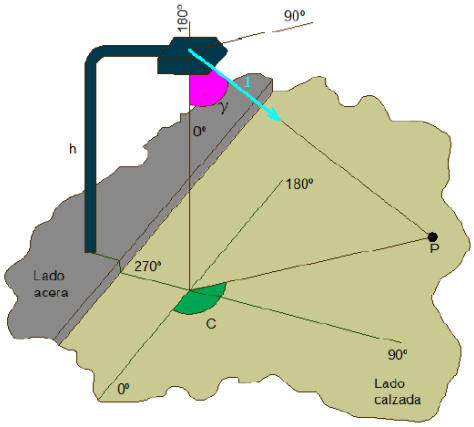


Fig. 12. Representación diagrama polar o curvas de distribución luminosa

Con un sistema de tres coordenadas es fácil pensar que más que una representación plana tendríamos una tridimensional. De hecho, esto es así y si representamos en el espacio todos los vectores de la intensidad luminosa en sus respectivas direcciones y uniéramos después sus extremos, obtendríamos un cuerpo llamado sólido fotométrico. Pero como trabajar en tres dimensiones es muy incómodo, se corta el sólido con planos verticales para diferentes valores de C (suelen ser uno, dos, tres o más dependiendo de las simetrías de la figura) y se reduce a la representación plana de las curvas más características.

En la curva de distribución luminosa, los radios representan el ángulo y las circunferencias concéntricas el valor de la intensidad en candelas. De todos los planos verticales posibles identificados por el ángulo C, solo se suelen representar los planos verticales correspondientes a los planos de simetría y los transversales a estos (C = 0º y C = 90º) y aquel en que la lámpara tiene su máximo de intensidad.

Para evitar tener que hacer un gráfico para cada lámpara cuando solo varía la potencia de esta, los gráficos se normalizan para una lámpara de referencia de 1000 lm. Para conocer los valores reales de las intensidades bastará con multiplicar el flujo luminoso real de la lámpara por la lectura en el gráfico y dividirlo por 1000 lm.

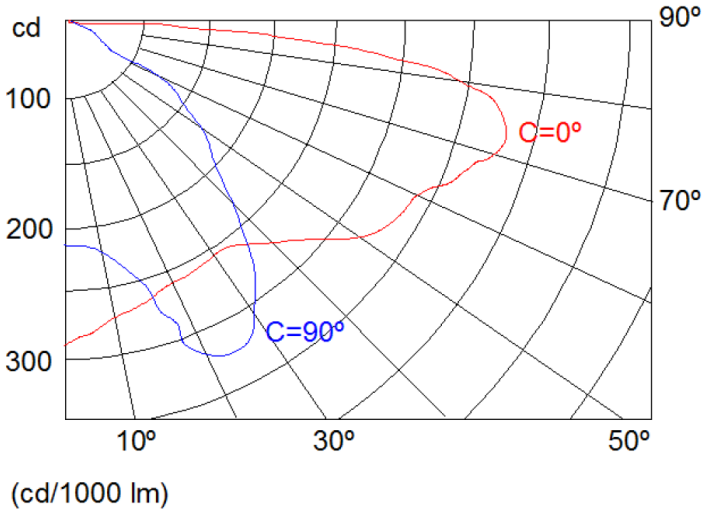


Fig. 13. Diagrama polar

$$I_{real} = \Phi lampara \frac{I_{gráfico}}{1000}$$

d.4.2. MATRIZ DE INTENSIDADES LUMINOSAS

También es posible encontrar estos datos en unas tablas llamadas matriz de intensidades luminosas donde para cada pareja de valores de C y obtenemos un valor de I normalizado para una lámpara de flujo de 1000 lm.

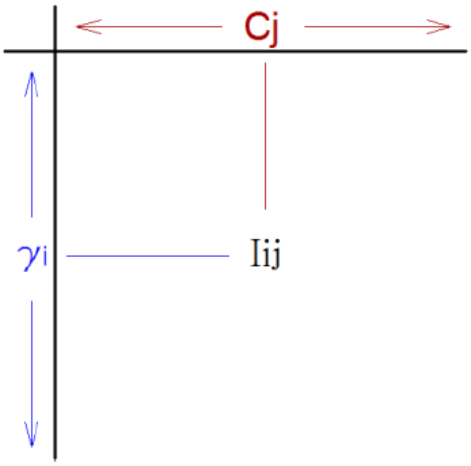
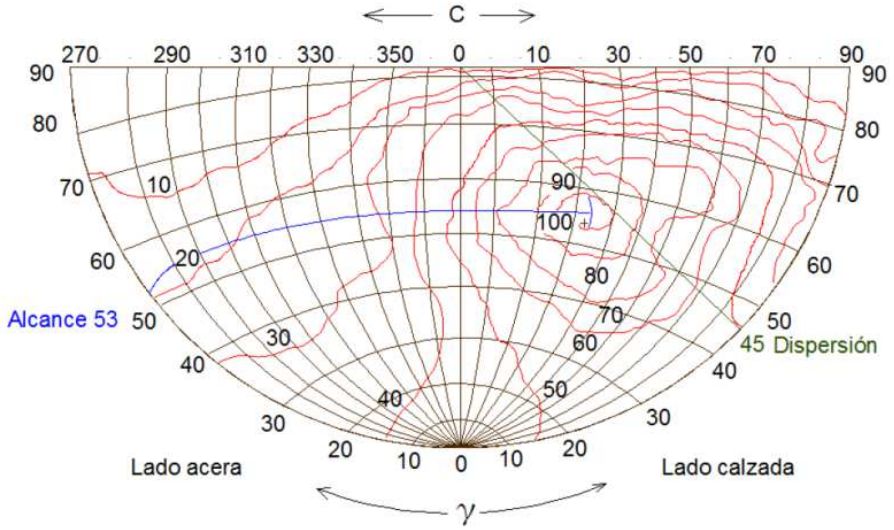


Fig. 14. Matriz de intensidades luminosas

d.4.3. DIAGRAMAS ISOCANDELA

A pesar de que las curvas de distribución luminosa son herramientas muy útiles y prácticas, presentan el gran inconveniente de que sólo nos dan información de lo que ocurre en unos pocos planos meridionales (para algunos valores de C) y no sabemos a ciencia cierta qué pasa en el resto. Para evitar estos inconvenientes y conjugar una representación plana con información sobre la intensidad en cualquier dirección se definen las curvas isocandela.

En las luminarias para alumbrado público, para definir una dirección, se utilizan los ángulos C y usados en los diagramas polares. Se supone la luminaria situada dentro de una esfera y sobre ella se dibujan las líneas isocandela. Los puntos de las curvas se obtienen por intersección de los vectores de intensidad luminosa con la superficie de esta. Para la representación plana de la superficie se recurre a la proyección azimutal de Lambert.



Fuente: programa DIALux

Fig. 15. Diagramas Isocandela

En estos gráficos, los meridianos representan el ángulo C, los paralelos y las intensidades, líneas rojas, se reflejan en tanto por ciento de la intensidad máxima.
Como en este tipo de proyecciones las superficies son proporcionales a las originales, el flujo luminoso se calcula como el producto del área en el diagrama (en estereorradianes) por la intensidad luminosa en esta área.

Además de intensidades y flujos, este diagrama informa sobre el alcance y la dispersión de la luminaria. El alcance da una idea de la distancia longitudinal máxima que alcanza el haz de luz en la calzada mientras que la dispersión se refiere a la distancia transversal.

d.4.4. CURVAS ISOLUX.

Las curvas vistas en los apartados anteriores (diagramas polares e isocandela) se obtienen a partir de características de la fuente luminosa, flujo o intensidad luminosa, y dan información sobre la forma y magnitud de la emisión luminosa de esta.
Por contra, las curvas isolux hacen referencia a las iluminancias, flujo luminoso recibido por una superficie, datos que se obtienen experimentalmente o por cálculo a partir de la matriz de intensidades usando la fórmula:

$$\mathbf{E}_{\boldsymbol{H}} = \frac{I(C,\gamma)}{\mathrm{H}^2}\, cos^3\gamma$$

$$\mathbf{E}_{\boldsymbol{V}} = \frac{I(C,\gamma) * cos^2\gamma}{\mathrm{H}^2}\, sin\,\gamma$$

$\boldsymbol{E_H}$ = Componente horizontal de la iluminancia en el punto de cálculo.
$\boldsymbol{E_V}$ = Componente vertical de la iluminancia en el punto de cálculo.
I = Intensidad luminosa de la luminaria para la curva y el ángulo.
H = Altura o diferencia de cotas entre la fuente luminosa y el punto de cálculo.
y = Ángulo que forman la dirección vertical desde la luminaria hasta el plano de trabajo y el rayo que une la fuente luminosa con el punto de cálculo.

Estos gráficos son muy útiles porque dan información sobre la cantidad de luz recibida en cada punto de la superficie de trabajo y son utilizadas especialmente en el alumbrado público donde de un vistazo nos podemos hacer una idea de cómo iluminan las farolas la calle.
Lo más habitual es expresar las curvas isolux en valores absolutos definidos para una lámpara de 1000 lm y una altura de montaje de 1 m.

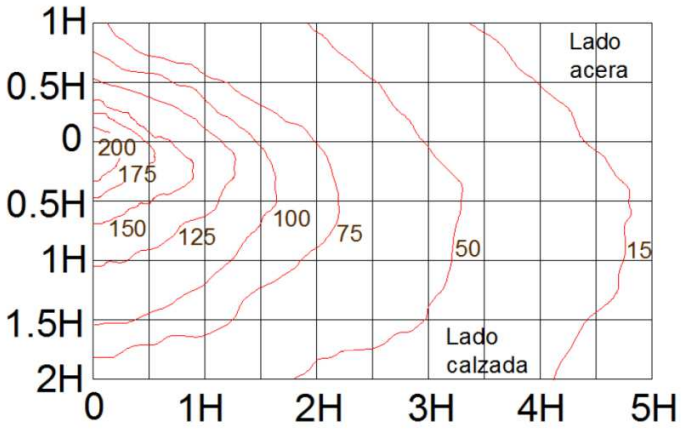


Fig. 16. Curvas isolux

Los valores reales se obtienen a partir de las curvas usando la expresión:

$$E_{H_{real}} = \mathrm{E}_{curva} \frac{\Phi_{L_{real}}}{1000} * \frac{1^2}{H^2}$$

E_{real} = Iluminancia real.
E_{curva} = Iluminancia proporcionada por la curva.
Φ_{Lreal} = Flujo luminoso real.
H = Altura o diferencia de cotas entre la fuente luminosa y el punto de cálculo.

d.5. VENTAJAS DE UNA BUENA ILUMINACIÓN

d.5.1. INTRODUCCIÓN

¿Qué es Eficiencia Energética?

Es el uso racional de energía, esto significa aprovecharla al máximo, sin sacrificio de la calidad de vida que brindan los servicios que recibimos de ella. Podemos seguir utilizando el computador, el automóvil o cualquier equipo que requiera de energía para funcionar, pero evitando el derroche de energía y, en consecuencia, reduciendo la producción de desechos contaminantes. Mediante la práctica de la eficiencia, se logrará un gran impacto en la sociedad, con beneficios económicos y ambientales.

¿Dónde está la Eficiencia Energética?

Todas las actividades que se realizan requieren de alguna forma de energía, por esto debemos ser cuidadosos en como la usamos. La iluminación, tanto de espacios públicos como en los hogares, juega un rol fundamental en la eficiencia energética ya que representa un importante consumo de energía eléctrica. Es posible reducir el consumo de energía en iluminación sin reducir el nivel de confort, de producción o la seguridad. La combinación de la luz natural, proveniente del sol, con el uso de la tecnología actualmente disponible de iluminación artificial eficiente, permite que se obtengan niveles de iluminación adecuados.

La luz como se dijo antes, es la parte de la energía radiante evaluada visualmente, es decir, la energía que, al interactuar con alguna superficie, se refleja o se trasmite hacia el sistema visual y produce la respuesta de los fotoreceptores, dotando al ser humano del sentido de la visión. Una comprensión integral de la luz implica, además de una aproximación desde la física, la consideración de la respuesta del ser humano, tanto psicológica como fisiológica, ya que la iluminación tiene un propósito más amplio que el de asegurar que los objetos sean vistos. La naturaleza de los vínculos y relaciones existentes entre las condiciones de iluminación y las características del objeto visual, así como los requerimientos que deben cumplirse para optimizar la habilidad y capacidad humana, son complejos y no existen “fórmulas mágicas” para resolver una dada situación. Esto se pone de manifiesto en la complejidad de estos estudios y la cantidad de variables involucradas, la mayoría de ellas no controlables. El análisis se hace más complejo si se tienen en cuenta las diferencias individuales, que pueden deberse a la edad de las personas o a las condiciones de la visión, y el peso que tiene la componente visual en la totalidad de la tarea que se está realizando.

Mientras la eficiencia visual se cuantifica a través de la velocidad y la precisión con que se realiza una tarea, el confort visual es una medida del grado en que las condiciones de iluminación predisponen favorablemente a las personas para realizar la tarea. Los aspectos que afectan a la eficiencia están relacionados con la tarea y su entorno inmediato, mientras que aquellos que influyen sobre el confort involucran aspectos más generales del medio ambiente iluminado. Por ejemplo, puede ocurrir que en una oficina el

nivel de iluminación corresponda al valor recomendado pero la fuente luminosa presente un parpadeo molesto, o la presencia de una ventana dentro del campo visual del usuario constituya un foco de distracción debido al deslumbramiento. En resumen, una buena solución en el diseño de un sistema de iluminación debe asegurar eficiencia visual, confort visual y un medio ambiente apropiado a las personas que utilizarán ese espacio, así como consideraciones: energéticas, condiciones térmicas, acústicas y visuales, ya que todas en conjunto conducirán a una mayor productividad en los usuarios de ese espacio.

d.5.2. SITUACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN ECUADOR

Según los datos obtenidos a diciembre de 2012 se encuentran instaladas en el país aproximadamente 1.625.196 luminarias, de las cuales un 76,6% corresponden a lámparas de vapor de sodio; 19,1% son lámparas de vapor de mercurio; 2,8 % son reflectores; 0,3% son lámparas de luz mixta; 0,4% lámparas incandescentes; 0,3% lámparas fluorescentes y 0,5% otro tipo de lámparas, lo que representa un enorme volumen de sustitución. La potencia total del alumbrado público es de 213 MW.

Las lámparas de vapor de mercurio, debido a su bajo costo, han sido utilizadas a gran escala en el alumbrado público del país; hoy en día, debido al crecimiento de la demanda de energía, a la necesidad de preservación del ambiente y a los avances tecnológicos, se hace necesario el uso de nuevas tecnologías con un alto rendimiento, las mismas que generan mayor cantidad de lúmenes por vatio como es el caso de las lámparas de sodio de alta presión e inducción magnética, con el fin de obtener ahorro en el consumo energético y la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero (CO_2).
Los principales problemas de ineficiencia energética en el alumbrado público son:

- Incorrecto funcionamiento de los dispositivos de maniobra,
- Pérdidas por depreciación lumínica,
- Uso de consumo de energía reactiva no deseable,
- Uso ineficiente del consumo debido a sobretensión de las líneas eléctricas,
- No se tienen instalado sistemas de control a nivel nacional.

Para la ejecución del proyecto, se pretende usar luminarias de vapor de sodio a alta presión con eficiencia mejorada, con tecnología de doble nivel, que permite reducir la potencia consumida por estas lámparas dependiendo de la hora. Estas luminarias poseen una vida útil de 24 horas reduciendo los costos de mantenimiento.

La posible sustitución se realizaría en dos etapas:

- Luminarias de vapor de mercurio
- Luminarias de vapor de sodio de 150W, 250W y 400W.

Está contemplado que la inversión será recuperada a través de los ahorros energéticos que se produzcan por disminución del consumo, sin que se produzcan variaciones tarifarias al alza, y por el contrario propiciar una disminución de la tarifa a futuro. La tecnología a utilizar podría ser modificada, dependiendo de las propuestas de las entidades inversoras.

d.5.3. RESPONSABILIDADES DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN ECUADOR

Según la REGULACIÓN No. CONELEC 008/11 emitida por el CONELEC referente al alumbrado público, se especifica que:

Las Empresas Distribuidoras son las responsables de la prestación del servicio de alumbrado público y están obligadas a:

- Expandir el sistema de alumbrado público general a fin de cubrir la demanda del servicio de conformidad con los planes de expansión.
- Cumplir con los parámetros establecidos de calidad de servicio y continuidad en la prestación del servicio de alumbrado público general, de conformidad a lo señalado en la normativa respectiva.
- Mantener actualizados sus inventarios de activos del alumbrado público general, en un sistema informático que permita su seguimiento y verificación por las autoridades de control.
- Ejecutar las acciones de expansión y mejoras del alumbrado público y reportar los indicadores de ejecución de las actividades.
- Instalar equipos que cumplan con criterios de eficiencia energética y las normas de preservación del medio ambiente.
- Reportar los índices de acuerdo a la normativa existente en aspectos relativos a especificaciones de Calidad y Continuidad del alumbrado público general (APG).

d.5.4. EL BUEN ALUMBRADO DE VÍAS

Considerando que para un conductor en carretera su campo visual se ve constituido de acuerdo a la norma CIE 115:1995 por:

- La calzada.
- La acera con bordillos y señalética
- El entorno formado por el cielo y los puntos luminosos formados por la superficie visible de las luminarias.

Por consiguiente, todo lo que aparezca en este campo visual debe ser apreciado por el conductor y las características que permiten conquistar este objetivo son:

- Nivel de luminancia en la vía.
- Uniformidad de la luminancia.
- La limitación del deslumbramiento causado por el sistema de alumbrado.

Para el análisis del cumplimiento de lo anterior el espacio a través del cual la luminaria envía el flujo luminoso hacia el suelo, se divide imaginariamente por medio de un plano vertical paralelo al eje de la calle que se debe iluminar. Algunos constructores consideran la relación anchura de la calle/altura de la instalación, expresan las distancias en múltiplos de la altura h y los flujos en tanto por ciento del flujo nominal de la lámpara, obteniendo curvas analógicas.

d.5.4.1. CRITERIOS DE CALIDAD

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como criterios de calidad. Son la luminancia media (Lm), los coeficientes de uniformidad (U_0, U_L), el deslumbramiento (TI y G) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR).

A continuación se presentan una serie de condicionamientos a los cuales de acuerdo con la CIE son los que la iluminación de tráfico vial y de peatones debe cumplir.

d.5.4.2. Características de una buena iluminación.

Dependiendo de los tipos de actividades que se realizan, los requerimientos y características de la iluminación varían. A lo largo del tiempo, se ha encasillado al alumbrado público en un determinado tipo de iluminación donde los niveles y exigencias no son tan elevados en comparación a otras, esto difiere dependiendo de la calidad de iluminación que se quiera brindar. Ciudades turísticas como Loja están obligadas a brindar el mayor confort y un mejor atractivo visual, pretendiendo siempre tomar en cuenta parámetros de distinguida calidad.

d.5.4.3. Percepción de formas plásticas.

Todo objeto presente dentro de un campo visual debe proporcionar una sensación de tridimensionalidad o llamada de otra manera sensación plástica, para que esto se lleve a cabo, deben existir sombras o zonas con menor iluminación, las cuales ayudan a la percepción de las variaciones en la forma de los objetos apreciados por el contraste de brillos existentes entre las diferencias de iluminación entre sombras y luz reflejada.

d.5.4.4. Distribución de luz

Existen dos criterios generales para la correcta iluminación de un ambiente:
1. Que se cuente con un nivel de iluminación adecuado en el plano de trabajo.
2. Que el nivel de iluminación sea uniforme en el lugar.

Cuando prendemos una lámpara, sólo una parte de la energía eléctrica que consume se convierte en luz emitida, otra parte se convierte en calor y otras radiaciones no visibles. Para saber cuánta energía, de toda la que consume, es emitida en forma de luz, se utiliza la eficacia luminosa.

d.5.4.5. Nivel de iluminancia de la vía

El nivel de luminancia se da como el resultado de la reflexión directa y difusa de la luminaria y su lámpara sobre la calzada, ésta depende de:

- El revestimiento (naturaleza y estado) de la calzada.
- La superficie de distribución de la intensidad luminosa de la luminaria.
- La altura de suspensión del foco, distancia hacia el observador, y posición de la luminaria. Características lumínicas de la lámpara.
- Condiciones ambientales y geográficas del entorno.

La percepción de todo objeto en una calle de cualquier tipo se la realiza por un efecto de silueta, ya que sobre el revestimiento iluminado se miran a las personas en sombra. Por esto, la visibilidad del obstáculo depende de la luminancia de los elementos indicados y el contraste que pudieran tener con el obstáculo, es aquí donde se denota el Contraste de Luminancia.

d.5.4.6. Coeficientes de uniformidad

Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en la vía se analizan el rendimiento visual en términos del coeficiente global de uniformidad U_0 y la comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad UL (medido a lo largo de la línea central).

$$U_0 = Lmin/Lm$$

$$U_L = Lmin/L_{max}$$

Uo = Coeficiente global de uniformidad
$\boldsymbol{U_L}$ = Coeficiente longitudinal de uniformidad
$\boldsymbol{L_{min}}$ = Luminancia mínima
$\boldsymbol{L_m}$ = Luminancia media
$\boldsymbol{L_{max}}$ = Luminancia máxima

d.5.4.7. Depreciación del flujo luminoso

El flujo luminoso de una lámpara corresponde al valor medido luego de 100 horas de funcionamiento. Este valor va disminuyendo con el tiempo de funcionamiento.

d.5.4.8. Deslumbramiento

El deslumbramiento producido por las luminarias o los reflejos en la calzada, es un problema considerable por sus posibles repercusiones. En sí mismo, no es más que una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria. Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los usuarios.

d.5.4.9. Deslumbramiento molesto

Se llama deslumbramiento molesto a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa. Este fenómeno se evalúa de acuerdo a una escala numérica, obtenida de estudios estadísticos, que va del deslumbramiento insoportable al inapreciable.

G	Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

Fuente: *SILVA TUBÓN, Rommel Fabián. "Estrategias para el Manejo de la Demanda del Sistema de Alumbrado Público". EPN. Quito*

Tabla 4. Deslumbramiento molesto

Donde G depende de las características de la luminaria y la instalación.
Actualmente no se utiliza mucho porque se considera que siempre que no se excedan los límites del deslumbramiento perturbador este está bajo control.

d.5.4.10. Deslumbramiento perturbador (TI)

El deslumbramiento perturbador se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto. Para evaluar la pérdida de visión se utiliza el criterio del incremento de umbral (TI) expresado en tanto por ciento:

$$TI = 65\frac{L_V}{(L_m)^{0.5}}$$

TI= Deslumbramiento perturbador
L_V: Luminancia de velo equivalente
L_m: Luminancia media de la calzada.

d.5.4.11. Coeficiente de iluminación en los alrededores (SR)

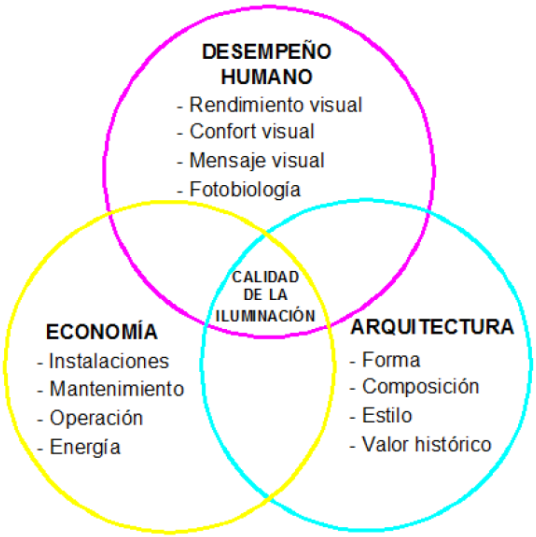
El coeficiente de iluminación en los alrededores (Surround Ratio, SR) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta manera se asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores. El SR se obtiene calculando la iluminancia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

Fuente: Realizado por Soledad Pinos

Fig. 17. Zona coeficiente de iluminación en los alrededores (SR)

d.5.4.12. Calidad de la iluminación

A modo de síntesis se puede decir que la consideración de la calidad de la iluminación engloba al de eficiencia energética y define un concepto más amplio de iluminación eficiente. [19]



Fuente: *EFFICIENT LIGHTING INITIATIVE (ELI). "Manual de Iluminación Eficiente". Editorial*

Fig. 18. Calidad de iluminación

d.6. ALUMBRADOS PÚBLICOS

El alumbrado en las vías públicas o indistintamente el alumbrado público representa un "servicio de iluminación que las entidades encargadas prestan a los habitantes en vías de tráfico vehicular, parques públicos y otros espacios de libre circulación vial o peatonal. Es un sistema compuesto por una serie de elementos, entre los que destacan: luminarias, brazos, lámparas, balastos, tableros, sistemas de control, postes y medidores. [38]

d.6.1. OBJETIVOS DE UN ALUMBRADO PÚBLICO

Los principales objetivos que se buscan cumplir al realizar una instalación de alumbrado público son:

- Brindar la iluminación necesaria para conseguir la máxima seguridad y comodidad de circulación, tanto vehicular como de peatones, procurando minimizar todo tipo de problemas visuales, principalmente el deslumbramiento.
- Contribuir a la mitigación de delincuencia y el vandalismo.
- Promover el avance y desarrollo de la comunidad.
- Estimular el desarrollo cívico, turístico y comercial.

En los últimos tiempos se han llevado a cabo diversos estudios estadísticos sobre la influencia que ejerce una buena iluminación de alumbrado público en la reducción de accidentes de circulación vehicular y de actos delictivos cometidos durante la noche, habiéndose llegado a conclusiones realmente sorprendentes. Por otra parte es un hecho incuestionable que el desarrollo comercial y turístico viene íntimamente ligado a la calidad de los alumbrados públicos.

d.6.2. FACTORES DETERMINANTES EN UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO

Por lo general pueden existir dos tipos de factores que determinen las características básicas de una instalación de alumbrado público, según predominen las exigencias de tráfico o las motivaciones estéticas. En la mayor parte de los casos ambos factores influyen conjuntamente aunque es más frecuente que las exigencias de tráfico revistan mayor importancia que las estéticas, teniéndose estas últimas más en cuenta a medida que las posibilidades económicas lo van permitiendo. En el desarrollo del presente estudio consideraremos ampliamente las posibles exigencias de tráfico vehicular, y teniendo en cuenta la característica turística de la ciudad de Loja.

d.6.3. INFLUENCIA DE LAS EXIGENCIAS DE TRÁFICO VEHICULAR EN EL ESTUDIO DE UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO.

Como es obvio, en cuanto mayor sea la intensidad de tráfico vehicular y/o la velocidad de circulación, mayor deberá ser la iluminación de dicha vía ya que es ampliamente conocido que la capacidad de percepción de un conductor para reaccionar ante una situación inesperada aumenta mientras mejor sea la iluminación.

Los bajos niveles de iluminación de alumbrados públicos motivados por razones de tipo económica aumentan el riesgo de sufrir accidentes de tránsito y ponen en peligro la seguridad física y mental de conductores y peatones.

d.6.4. NIVELES PERMITIDOS DE PARÁMETROS DE ILUMINACIÓN DE CALZADAS VEHICULARES (NORMA CIE 115:1995)

Como hasta aquí se ha descrito, existen 5 factores de importancia a tomarse en cuenta en el diseño de una instalación de alumbrado público:

L_{prom}: Luminancia promedio.
Uo : Coeficiente global de uniformidad.
Ul : Coeficiente longitudinal de uniformidad.
Tl ; Deslumbramiento perturbador.
SR: Coeficiente de iluminación a los alrededores.
A continuación se muestra una tabla que recoge los niveles permitidos de los parámetros antes mencionados según la norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination:

TIPO DE VÍA	CALZADAS VEHICULARES				RELACIÓN DE ALREDEDORES
CLASE DE ILUMINACIÓN	L_{prom}	U_o	U_l	TI	SR
	cd/m^2	≥ %	≥ %	≤ %	%
M1	2	40	50	10	50
M2	1,5	40	50	10	50
M3	1,2	40	50	10	50
M4	0,8	40	N.R.	15	N.R.
M5	0,6	40	N.R.	15	N.R.

Fuente: norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination

Tabla 5. Niveles permitidos de parámetros de iluminación de calzadas vehiculares

d.6.5. SEPARACIÓN (d)

La separación entre puntos de luz (d) debe ser tal que en la zona correspondiente a la proyección vertical del centro óptico de cada luminaria sobre la calzada, se reciba una parte del flujo emitido por el punto de luz contiguo; ello es necesario para obtener una satisfactoria uniformidad de la iluminación. La separación incide sobre los costes de la instalación debido a la cantidad de soportes y de luminarias.
La separación depende de la altura del montaje de los puntos de luz (h), del grado de deslumbramiento que pueda tolerarse y del grado de uniformidad de la iluminación que se desea obtener.

d.6.6. CONSIDERACIONES ESPECIALES DE VISIÓN

Desde hace ya algún tiempo está teniendo lugar a nivel mundial un acalorado debate científico sobre si el espectro luminoso de determinadas fuentes de luz tiene o no ventajas en determinadas condiciones de bajos niveles de iluminación.
Los términos "Visión mesópica" y "Visión Escotópica" son claves en esta controversia.
La discusión es especialmente importante en el campo del alumbrado exterior, tanto de vías de circulación de vehículos como de áreas residenciales, dónde usualmente se utilizan niveles de iluminación relativamente bajos. Hoy en día, este debate está más de actualidad que nunca, debido a que con la irrupción de la tecnología de la inducción es posible la producción de todo tipo de colores y todos los diferentes tonos de la luz blanca.
En esta discusión en ocasiones afloran algunos "sin-sentidos". A menudo la razón principal es una falta de conocimientos sobre la materia, probablemente comprensible, debido a que en ella entran en juego muchos, diferentes y complicados aspectos.

Hacer una comparación directa entre visión fotópica y visión escotópica, sin tener en cuenta el estado de adaptación del ojo, como en el caso de alumbrado viario, nos puede llevar a sacar conclusiones equivocadas. Otro error frecuentemente cometido, es tener en cuenta un solo aspecto de la visión mesópica.

Debemos considerar todos los aspectos, tanto de la visión directa ("on-line") como de la visión indirecta ("off-line"), conjuntamente con la contribución que un determinado espectro luminoso, debido a un mejor reconocimiento del color, puede aportar al rendimiento visual, aún en condiciones de bajos niveles de iluminación. A veces las condiciones de uniformidad de luminancias comúnmente utilizadas en las investigaciones sobre el terreno, son simplemente erróneas e incorrectamente utilizadas en las circunstancias que se dan en el caso anteriormente mencionado del alumbrado viario.

d.6.6.1. Visión Fotópica

Los conos son células sensibles a la luz que están concentradas en la fóvea de la retina del ojo. En la parte externa de la fóvea el número de conos disminuye drásticamente. La fóvea

es el área de la retina en el cual se forma una imagen muy nítida de la reducida área inmediata a la dirección de visión: se llama visión
"central" o visión "on-line". Los conos presentan su máximo nivel de actividad con la adaptación a luminancias de entre 3 y 10 cd/m2 y superiores.

Cuando hablamos de visión fotópica se hace posible la percepción del color, ya que disponemos de conos sensibles a cada uno de los tres colores primarios: rojo, verde y azul. La sensibilidad espectral en condiciones de visión fotópica alcanza su máxima sensibilidad en la longitud de onda del entorno de los 555nm, correspondientes al color amarillo-verdoso. En consecuencia las fuentes de luz con un alto contenido de amarillo en su espectro, pueden tener una alta eficacia. Normalmente todas las magnitudes de alumbrado (flujo luminoso, intensidad luminosa, luminancia, iluminancia, etc.) están definidas en función de su eficiencia según el espectro fotópico.

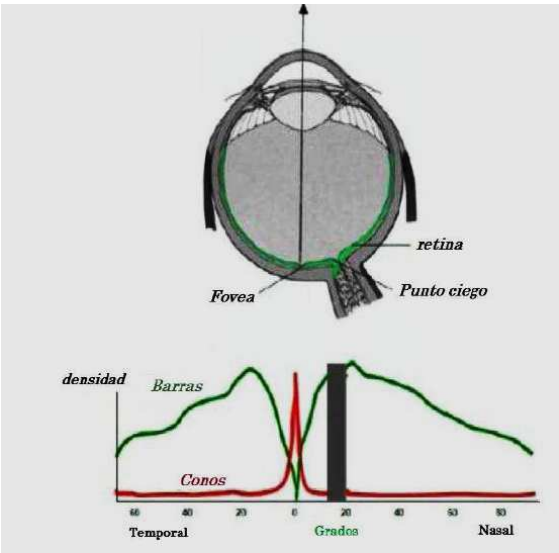
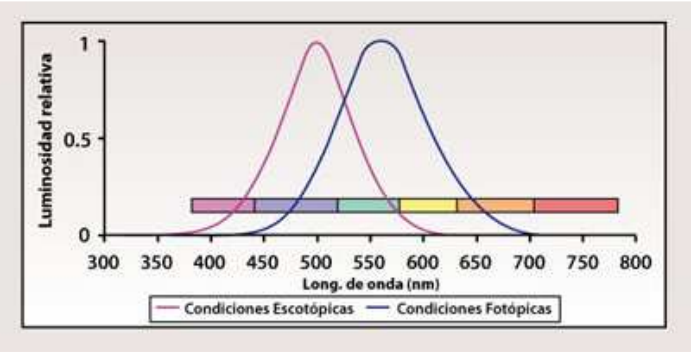


Fig. 18. Ojo humano

d.6.6.2. Visión escotópica

Los bastones son también células fotosensibles de una muy alta sensibilidad, cuya concentración se incrementa en el área exterior (periferia) de la retina. Su máxima concentración tiene lugar a 15° desde la dirección de la visión; el área central de la fóvea no contiene apenas bastones. Los bastones son por tanto importantes para la visión "periférica" o visión "off-line". Debido a que muchos de los bastones están conectados entre sí, la imagen formada a través de ellos no será muy definida. Su adaptación y mayor actividad es posible en niveles de luminancias de entre 0,01 y 0,003 cd/m2 e inferiores. La visión del color es imposible sólo con los bastones y alcanza su máxima sensibilidad en la longitud de onda del entorno de los 505nm, correspondientes al color azul-verdoso.



Fuente: *EFFICIENT LIGHTING INITIATIVE (ELI). "Manual de Iluminación Eficiente".*

Fig. 19. Curva de eficiencia luminosa en condiciones fotópicas y escotópicas

d.6.6.3. Visión mesópica

En condiciones de adaptación a niveles de entre 10 y 0,003 cd/m2 tanto los conos como los bastones están activos. Para la adaptación desde altos a bajos niveles de iluminación la actividad de los bastones adquiere una importancia crucial. La sensibilidad espectral total se desplaza gradualmente en la dirección de menores longitudes de onda, es decir en la dirección del color azul. Este efecto de adaptación dependiente es también llamado el "efecto Purkinje". Con el fin de determinar las consecuencias prácticas de este desplazamiento gradual de la sensibilidad espectral, en el área de la visión mesópica tenemos que distinguir entre visión directa ("foveál") y visión indirecta ("periférica").

d.6.6.3.1. Visión mesópica directa (On-line)

Debido a que la fóvea apenas contiene bastones, son los conos contenidos en ésta los que aquí juegan un papel determinante. Realmente la curva proporciona una buena predicción del rendimiento de la tarea visual para niveles de adaptación superiores a 0,01 cd/m^2. En este caso son aplicables los parámetros luminosos habituales de la visión fotópica. Incluso las calles débilmente iluminadas presentan niveles de iluminación (muy) superiores a 0,1 cd/m^2.

d.6.6.3.2. Visión mesópica indirecta (Off-line)

Esencialmente, determinar el comportamiento real a la sensibilidad espectral de un sistema visual bajo circunstancias de visión mesópica indirecta, es tremendamente difícil, si no imposible. En consecuencia el único procedimiento posible, es tratar de determinar el efecto de diferentes espectros luminosos sobre los criterios de rendimiento. Para el alumbrado viario adquiere mayor relevancia por la necesidad de ejecución de tareas. Rea y Bullough en USA utilizaron el criterio del tiempo de reacción de los motoristas además de un consorcio Europeo de cinco laboratorios independientes llamado MOVE2, el cual utilizó un criterio de tres etapas: puede un objeto ser visto por un motorista, en que

tiempo puede ser visto y, finalmente, si este puede ser reconocido3. Usualmente las investigaciones sobre visión periférica se realizan para ángulos aproximados de 10°. En un Comité Técnico (TC 1-58 "Visual performance in theme sopicrange") de la Comisión Internacional de Iluminación CIE se está trabajando conjuntamente para definir las bases de este tipo de investigaciones y unificar el sistema de medición fotométrica de la visión mesópica. A modo de ilustración sobre los efectos del espectro de una fuente de luz sobre la visión indirecta en visión mesópica la tabla nos muestra los resultados del modelo de MOVE. El porcentaje diferencial entre la luminancia calculada según el modelo de MOVE y la luminancia fotópica de fuentes de luz con diferentes valores S/P vendrán dados para los diferentes adaptación de luminancias.

Comparando el sodio a alta presión (ratio S/P de 0,65) con el blanco día de la Inducción (ratio S/P de 1,96) y con blanco-frío de Inducción (ratio S/P de 2,25) para un nivel de adaptación de 0,3 cd/m2, se demuestra que los niveles de iluminación con la luz blanco-día de la Inducción son efectivamente superiores.

. Igualmente con la luz blanco-frío de la Inducción los niveles son también superiores, que para el sodio a alta presión. Por supuesto estos valores se refieren exclusivamente a la visión indirecta.

		Luminancia de adaptación (fotópica $\left(cd/_{m^2}\right)$)		
Fuente de luz	**S/P**	**0,03**	**0,3**	**3**
SODIO A ALTA PRESIÓN	0,65	-24%	-10%	-3%
----------	1	0%	0%	0%
INDUCCIÓN MAGNÉTICA CÁLIDA	1,96	29%	13%	4%
INDUCCIÓN MAGNÉTICA FRÍA	2,25	64%	29%	9%

Fuente: norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination

Tabla 6. Luminancia de adaptación fotópica

Diferencia porcentual entre la luminancia efectiva y la luminancia fotópica para la visión indirecta mesópica para diferentes fuentes de luz caracterizadas por su S/P.

	VISIÓN		
FOTORECEPTORES	**FOTÓPICA**	**MESÓPICA**	**ESCOTÓPICA**
Conos	✓	✓	
Bastones		✓	✓
	Luz de día		*Condiciones de oscuridad*

Fuente: Norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination

Tabla 7. Foto recepción de la Visión Humana

d.6.7. LOS LÚMENES PUPILA

El modo cómo las personas ven y son psicológicamente afectadas por la iluminación es una consideración muy importante. Valorar la cantidad de luz emitida como "lúmenes" y medirla como "lux" en un plano de trabajo han sido la forma tradicional de describir y definir la cantidad de luz necesaria para realizar una variedad de tareas. Sin embargo, este concepto está siendo reexaminado sobre la base de los resultados de los estudios sobre el rendimiento visual y los impactos psicológicos de la iluminación. Además, el "índice de reproducción cromática" (CRI) y temperatura de color correlacionada (CCT) describen la calidad de la luz (en relación a la forma en que los verdaderos colores son percibidos por el ser humano en comparación con la percepción bajo un cielo de mediodía en un día claro).

Como la tecnología de iluminación cuenta con tipos y colores diversos, la simple medición de la cantidad de luz no resulta ser un enfoque adecuado para predecir si las personas pueden ver bien o mal. Un excelente ejemplo es la lámpara de bajo contenido de sodio, que produce muchos lúmenes, pero sólo dos colores (Amarillo y negro), la capacidad de distinguir los detalles, más allá de las formas de los objetos, se pierde prácticamente del todo con esta fuente de luz. Diferentes lámparas producen luz en diferentes rangos espectrales, mientras que hay sectores del espectro visible que no se emiten en absoluto y hay una gran variedad de rangos de emisión disponible con lámparas fluorescentes. La visión se ve afectada por muchos factores, desde la intensidad de luz, distribución, color y contraste, la reflexión, el deslumbramiento, la calidad del aire, el movimiento de los sujetos y los espectadores, etc. Nuestros ojos utilizan diferentes partes para ver una luz brillante y en condiciones de poca luz. El ojo contiene conos y bastones que trabajan en condiciones opuestas como ya se mencionó.

Los medidores de luz y las recomendaciones de los niveles de luz para realizar tareas, han sido calibrados tradicionalmente para la visión diurna y la iluminación interior en general, con base en la respuesta fotópica. Sin embargo, los estudios indican que calibrar la visión escotópica es mucho más complicado de lo que se pensaba, y resulta muy afectada por el tamaño de la pupila. En conferencias recientes, algunos presentadores animan a los diseñadores a especificar el porcentaje de luz escotópica/fotópica (Factor S/P) de las lámparas para su selección, con el fin de mejorar el diseño, la eficiencia y una mejor visión de los usuarios.

A continuación se expresa la eficacia con que el ojo humano percibe los lúmenes, basada en el tamaño de la pupila y su efecto sobre la visión. Los factores de corrección aplicados a los valores convencionales de lúmenes por vatio producen un valor para “lúmenes pupila” por vatio, que es una medida de la eficacia con que el ojo ve la luz que se emite. Esto se debe a que la pupila es más receptiva a la luz en el extremo azul del espectro, en condiciones de poca luz.

FUENTE DE LUZ	LUMEN POR VATIO CONVENCIONAL	FACTOR DE CORRECCIÓN S/P	LÚMENES PUPILA POR VATIO
SODIO A BAJA PRESIÓN	165	0,38	**63**
HALOGENURO METÁLICO	85	1,49	**126**
INDUCCIÓN (5000ºK)	80	1,97	**158**
INDUCCIÓN (6500ºK)	80	2,19	**175**
SODIO A ALTA PRESIÓN	72	0,63	**45**
INCANDESCENTE	15	1,26	**19**

Fuente: norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination

Tabla 8. Factores de corrección de lúmenes a lúmenes pupila

d.7. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN

La eficiencia energética de una instalación de alumbrado exterior se define como la relación entre el producto de la superficie iluminada por la iluminancia media en servicio de la instalación entre la potencia activa total instalada.

$$\varepsilon = \frac{S * Em}{P}\left(\frac{m^2 * lux}{W}\right)$$

ε : Eficiencia energética de la instalación de alumbrado exterior
P: Potencia activa total instalada (lámparas y equipos auxiliares)
S: Superficie iluminada
Em: Iluminancia media en servicio de la instalación, considerando el mantenimiento previsto
La eficiencia energética se puede determinar mediante la utilización de los siguientes factores:

$$\varepsilon = \varepsilon_L * f_m * f_u\left(\frac{m^2 * lux}{W}\right)$$

ε_L: Eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares
f_m: Factor de mantenimiento de la instalación
f_u: Factor de utilización de la instalación

Factor de mantenimiento*:* Es la relación entre los valores de iluminancia que se pretenden mantener a lo largo de la vida de la instalación de alumbrado y los valores iniciales.

Factor de utilización: Es la relación entre el flujo útil procedente de las luminarias que llega a la calzada o superficie a iluminar y el flujo emitido por las lámparas instaladas en las luminarias.

El ***factor de utilización*** de la instalación es función del tipo de lámpara, de la distribución de la intensidad luminosa y rendimiento de las luminarias, así como de la geometría de la instalación, tanto en lo referente a las características dimensionales de la superficie a iluminar (longitud y anchura), como a la disposición de las luminarias en la instalación de alumbrado exterior (tipo de implantación, altura de las luminarias y separación entre puntos de luz).

Para mejorar la eficiencia energética de una instalación de alumbrado se podrá actuar incrementando el valor de cualquiera de los tres factores anteriores, de forma que la instalación más eficiente será aquella en la que el producto de los tres factores – eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares y factores de mantenimiento y utilización de la instalación sea máximo.

A la hora de proponer una reforma de la instalación de alumbrado, se tendrán en consideración los siguientes aspectos:

a. Se iluminará únicamente la superficie que se quiere dotar de alumbrado.
b. Se instalarán lámparas de elevada eficacia luminosa compatibles con los requisitos cromáticos de la instalación.
c. Se utilizarán luminarias y proyectores de rendimiento luminoso elevado.
d. El equipo auxiliar será de pérdidas mínimas.
e. El factor de utilización de la instalación será el más elevado posible.
f. El factor de mantenimiento de la instalación será el mayor alcanzable.

Iluminancia media en servicio da E_m (lux)	***Eficiencia energética de referencia ε_R (m^2*lux/w)***
>30	22
25	20
20	17.5
15	15
10	12
<7.5	9.5

Fuente: norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination

Tabla 9. Eficiencia energética

d.7.1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

Las instalaciones de alumbrado exterior, excepto las de alumbrado de señales y anuncios luminosos, festivos y navideños, se calificarán en función de su índice de eficiencia energética. El índice de eficiencia energética (I_ε) se define como el cociente entre la eficiencia energética de la instalación y el valor de eficiencia energética de referencia (ε_R) en función del nivel de iluminancia media en servicio proyectada, que se indica en la tabla de continuación.

$$I_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_R}$$

Iluminancia media en servicio da E_m (lux)	***Eficiencia energética de referencia ε_R (m^2*lux/w)***
>30	32
25	29
20	26
15	23
10	18
<7.5	14

Fuente: norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination

Tabla 10. Calificación energética

d.7.2. ETIQUETADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

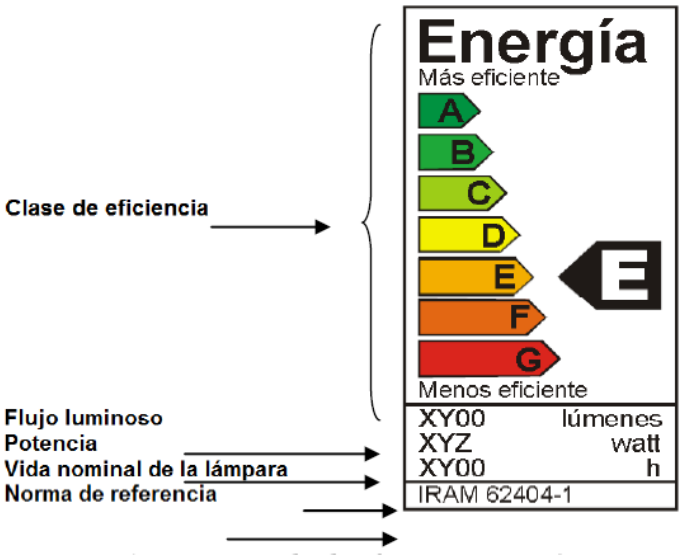
Las etiquetas de Eficiencia Energética se adhieren a los productos para brindar información a los consumidores sobre el desempeño energético del equipamiento que consume energía. Esta información permite incorporar el consumo energético dentro de las variables que inciden en la decisión de compra de los consumidores. En general, las etiquetas incluyen información adicional como ser la cantidad de energía que consume el equipo, la eficiencia energética del mismo y/o su capacidad de aislamiento térmico o trasmitancia.

Con objeto de facilitar la interpretación de la calificación energética de la instalación de alumbrado y en consonancia con lo establecido en otras reglamentaciones, se define una etiqueta que caracteriza el consumo de energía de la instalación mediante una escala de siete letras que va desde la letra A (instalación más eficiente y con menos consumo de energía) a la letra G (instalación menos eficiente y con más consumo de energía). El índice utilizado para la escala de letras será el índice de consumo energético (ICE) que es igual al inverso del índice de eficiencia energética:

$$ICE = \frac{1}{I_\varepsilon}$$

ICE = Índice de consumo energético
I_ε = Índice de eficiencia energética

A continuación se muestra un ejemplo de etiqueta (Instituto Argentino de Normalización)



Fuente: CRUZ NARVÁEZ, Cesar. Mejora del Consumo de Alumbrado Público en la E.E.Q.S.A. EPN

Fig. 20. Etiquetado de eficiencia energética

Clase de Eficiencia Energética	Índice de Consumo Energético	Índice de Eficiencia Energética
A	ICE <0,91	I_ε>1,1
B	0,91 ≤ ICE< 1,09	1,1 ≥I_ε> 0,92
C	1,09 ≤ ICE< 1,35	0,92 ≥I_ε> 0,74
D	1,35 ≤ ICE< 1,79	0,74 ≥I_ε> 0,56
E	1,79 ≤ ICE< 2,63	0,56 ≥I_ε> 0,38
F	2,63 ≤ ICE< 5,00	0,38 ≥I_ε> 0,20
G	5,00 ≤ ICE	0,20 ≥I_ε

Fuente: norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination

Tabla 11. Clases de eficiencia energética

d.8. FUENTES DE ILUMINACIÓN PARA ALUMBRADO PÚBLICO

d.8.1. LÁMPARA

Las lámparas son los aparatos encargados de generar la luz. En la actualidad, en alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico.

Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las de vapor de sodio a baja y alta presión siendo éstas últimas las consideradas como la mejor opción de reemplazo por los organismos encargados del alumbrado público (EERSSA) dentro la provincia de Loja por sus características técnicas y económicas.

d.8.2. LUMINARIA

Las luminarias, por contra, son aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares además de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta. Para ello, adoptan diversas formas aunque en alumbrado público predominan las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada. Las podemos encontrar montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces.
Es importante, pues, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios
Antiguamente las luminarias se clasificaban según las denominaciones cut-off, semicut-off y non cut-off.

	Máximo valor permitido de la intensidad emitida para un ángulo de elevación		Dirección de la intensidad máxima
	80 º	90 º	
Cut-off	≤ 30 cd /1000 lm	≤ 10 cd /1000 lm	≤ 65 º
Semicut-off	≤ 100 cd /1000 lm	≤ 50 cd /1000 lm	≤ 75 º
Non cut-off	> 100 cd /1000 lm	> 50 cd /1000 lm	≤ 90º

Fuente: norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination

Tabla12. Luminarias (Cut-off, Semi cut-off, Non cut-off)

En la actualidad, las luminarias de alumbrado público se clasifican según tres parámetros (alcance, dispersión y control), lo cual se analizará al detalle más adelante.

d.8.3. EQUIPOS AUXILIARES

Para que las lámparas de descarga funcionen correctamente es necesario, en la mayoría de los casos, la presencia de elementos auxiliares: arrancadores (cebadores o ignitores) y balastos. Estos son necesarios dado que las lámparas de descarga no son capaces de arrancar ni de controlar por si solas la corriente de circulación. Adicionalmente, en

aquellas que poseen un factor de potencia muy bajo, se necesitan capacitores para su corrección.

d.8.3.1. LOS IGNITORES O CEBADORES.

Son dispositivos que suministran un breve pico de tensión entre los electrodos del tubo, necesario para iniciar la descarga y vencer así la resistencia inicial del gas a la corriente eléctrica.
Tras el encendido, continúa un periodo transitorio durante el cual el gas se estabiliza y que se caracteriza por un consumo de potencia superior a la nominal.

d.8.3.2. LOS BALASTOS

Por el contrario, son dispositivos que sirven para limitar la corriente que atraviesa la lámpara, estabilizando el circuito, de lo contrario, se daría un exceso de electrones circulando por el gas que aumentaría el valor de la corriente hasta producir la destrucción de la lámpara.

Este equipamiento auxiliar depende de la potencia de la lámpara a alimentar y cumple un importante rol en las condiciones de servicio, duración y eficacia de las mismas.
Estos elementos tienen un consumo eléctrico que puede representar entre un 15% y un 30% del consumo de la lámpara a servir.

Según su principio de funcionamiento, los balastos pueden ser de diferente tipo y de diferente eficiencia: balastos electromagnéticos y balastos electrónicos.
El balasto electromagnético fue el primer tipo que se utilizó en las lámparas fluorescentes. Son fabricados para trabajar conectados a la línea de suministro eléctrico de corriente alterna de 50 o 60 hertz (Hz) de frecuencia, dependiendo de la red de cada país. Los balastos electrónicos han superado a los electromagnéticos al operar a altas frecuencias (25 a 32 kHz) evitando así el parpadeo de la luz en las lámparas de descarga.

Por otro lado, la lámpara operando a alta frecuencia tiene una mayor emisión de flujo luminoso, con el mismo consumo eléctrico.

Este funcionamiento óptimo de la lámpara reduce su consumo y la sobrecarga a la cual se ve sometida, por lo que aumenta su vida y eficacia. Los balastos electrónicos por sí mismos, consumen a su vez menos energía eléctrica y poseen un alto factor de potencia. Si bien estos balastos generan armónicos, los mismos son suprimidos con filtros en el propio equipo.

d.8.4. MÉTODOS DE CONTROL

La correcta utilización de métodos de control en la iluminación contribuye también al ahorro de energía y a crear el ambiente más adecuado en cada caso.

d.8.4.1. REGULADORES O ATENUADORES DE ILUMINACIÓN

d.8.4.1.1 El regulador lineal o dimmer

Permite regular el flujo luminoso de las fuentes (incandescentes o de descarga) de acuerdo a las condiciones de servicio. La atenuación se especifica en un porcentaje del flujo luminoso sin atenuación y algunos productos que se ofrecen declaran capacidades de 0 al 100%, o sea regulación total. Las posibilidades que estos brindan son mucho más amplias que las obtenibles vía conmutación de grupos de lámparas o luminarias, sin afectar la regularidad. Los atenuadores aprovechan las ventajas que la electrónica y la técnica de alta frecuencia ofrecen, siendo en muchos casos una prestación incorporada en los propios balastos electrónicos.

d.8.4.1.2. Reguladores electrónicos HF

Son balastos electrónicos controlables que proporcionan a las lámparas fluorescentes o fluorescentes compactas una alimentación de alta frecuencia, permitiendo variar el flujo luminoso en un rango de 3 % al 100 % del valor máximo. Permiten un arranque de la lámpara sin parpadeo y evitan el efecto estroboscópico. Normalmente cuentan con entradas digitales de control que permiten integrar el equipo a sistemas inteligentes.
La utilización de estos equipos puede producir ahorros importantes en el consumo de energía eléctrica de la instalación.

d.8.4.1. 3. Dimmer auto-regulado por señal horaria.

Está diseñado para instalaciones cuyo nivel de iluminación se desea variar según un programa horario preestablecido.
Tal es el caso de sistemas de alumbrado de calles que modifican la potencia de la lámpara, según la variación horaria del flujo de tránsito. O en la iluminación perimetral, para diferenciar horarios de circulación y horarios en donde solo se necesita luz por razones de seguridad. La señal es aportada por un timer electrónico incorporado al equipo, y el flujo se regula en uno o varios escalones, en cada lámpara.
Se destacan las ventajas de estos sistemas frente al método convencional consistente en apagar grupos de luminarias, afectando la regularidad de la iluminación.d.8.4.1. 4. Sensores de presencia.

Son detectores Infrarrojos Pasivos que permiten la conmutación de lámparas en zonas en donde no se detecta la presencia de personas durante un lapso de tiempo.

d.8.4.1.5. Detectores de presencia de luz diurna.

Se trata de fotocélulas que captan la iluminación de una parte del local, censando la cantidad de luz que llega del exterior para así proceder a atenuar la iluminación artificial de esa zona. Tiene la finalidad de disminuir el consumo de energía y los resultados dependen de la cantidad de iluminación natural que se disponga.

d.8.4.1.6. Sistemas automáticos de control.

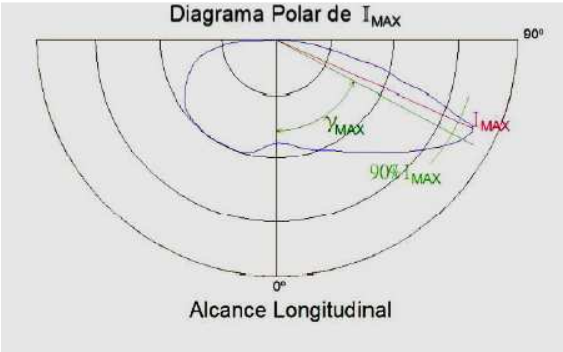
La integración de sensores ocupacionales, sensores de luz diurna, atenuadores lineales y otros dispositivos de supervisión y control en una sola unidad (Sistema Automático de Control), utilizados para la realización de un mejor manejo energético de las instalaciones de iluminación parecería ser el tema del futuro.
Existe suficiente cantidad de información sobre instalaciones reales que usan estos sistemas. Los resultados, medidos en términos económicos dependen del tipo de instalación, del derroche y desaprovechamiento de la energía previo a la instalación y del diseño de Sistema que se haga.

d.8.5. CLASIFICACIÓN PARA LUMINARIAS DE ALUMBRADO PÚBLICO (CIE).

Las luminarias de alumbrado público se clasifican según de la CIE por tres parámetros (alcance, dispersión y control) que dependen de sus características fotométricas. Los dos primeros nos informan sobre la distancia en que es capaz de iluminar la luminaria en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente. Mientras, el control nos da una idea sobre el deslumbramiento que produce la luminaria a los usuarios.

d.8.5.1. EL ALCANCE.

El alcance es la distancia, determinada por el ángulo, en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de que corresponden al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa.



Alcance corto	$\gamma_{max} < 60°$
Alcance intermedio	$60° < \gamma_{max} < 70°$
Alcance largo	$\gamma_{max} > 70°$

Fig.21. Alcance

d.8.6. LA DISPERSIÓN

La dispersión es la distancia determinada por el ángulo, en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de ésta y se encuentra más alejada de la luminaria.

Dispersión estrecha	$\gamma_{90} < 45°$
Dispersión media	$45° < \gamma_{90} < 55°$
Dispersión ancha	$\gamma_{90} > 55°$

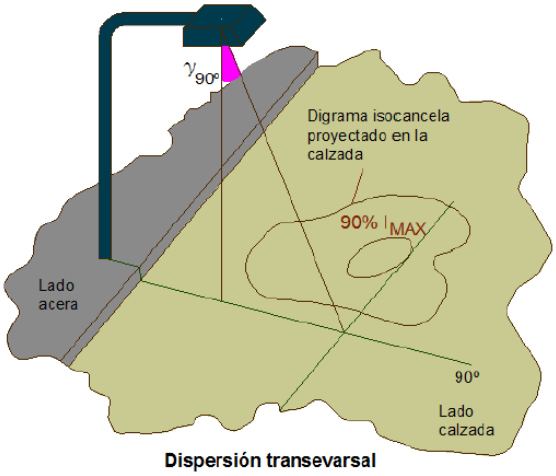


Fig. 22. Dispersión

Tanto el alcance como la dispersión pueden calcularse gráficamente a partir del diagrama isocandela relativo en proyección azimutal.

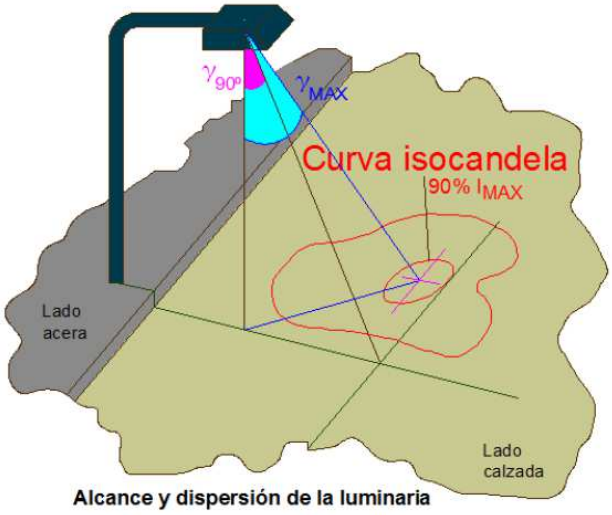


Fig. 23. Alcance y Dispersión de la luminaria

d.8.7. EL CONTROL

El control nos da una idea de la capacidad de la luminaria para limitar el deslumbramiento que produce.

Control limitado	SLI< 2
Control medio	2 ≤SLI ≤ 4
Control intenso	SLI> 4

Fuente: norma CIE 115:1995 de la International Commission on Illumination

Tabla 13. Control de deslumbramiento

$$SLI = 13.84 - 3.31 log I_{80} * \log\left(\frac{I_{80}}{I_{88}}\right)^{0.5} - 0.88 log \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1.29 \log F + c$$

SLI **=** Control o Índice específico de luminaria
I_{80} =Intensidad luminosa emitida por la luminaria con un ángulo de elevación igual a 80º en el plano C=0.

I_{88} = Intensidad luminosa en el caso de 88º.
F = es la superficie aparente de la luminaria vista bajo un ángulo de 76º.
C = es un factor de corrección del color que vale: 0.4 para SAP

d.8.8. FUENTES DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL PARA ALUMBRADO PÚBLICO.

A continuación se describirán los principales tipos de fuentes de iluminación artificial para alumbrado público, haciendo énfasis a aquellas que están siendo utilizadas actualmente en la Ciudad de Loja y a las que por desarrollo tecnológico representan una opción de uso y de reemplazo.

d.8.9. VAPOR DE MERCURIO A ALTA PRESIÓN.

d.8.91. GENERALIDADES.

A alta presión, la descarga de mercurio es principalmente radiación azul y verde. Para mejorar el color, un revestimiento fosfórico aplicado a la bombilla añade luz roja, estas lámparas radian a una temperatura del color alrededor de los 4000ºK con una reproducción del color de 45 con una larga vida útil pero con una considerable depreciación lumínica.

d.8.9.2. COMPONENTES

La mayoría de las lámparas de mercurio se construyen con doble envoltura:
El interior o tubo de descarga, está relleno de un gas inerte (argón) y una cantidad de mercurio. El arco inicial se establece por la ionización del argón, que es el gas auxiliar en esta lámpara. Una vez establecido este arco, el calor generado vaporiza el mercurio líquido presente en el tubo de descarga.

El exterior cumple múltiples funciones:

- Proteger al tubo de descarga de corrientes de aire y cambios de temperatura exterior.
- Contener un gas inerte (generalmente nitrógeno) para prevenir la oxidación de las partes internas de la lámpara e incrementar la tensión de ruptura a través del bulbo.
- Proveer una superficie interna que actúe de soporte para el recubrimiento de fósforo.
- Actuar como filtro para quitar de la radiación emitida ciertas longitudes de onda no deseadas (UV-B y UV-C). En general, los tubos de descarga de las lámparas de mercurio se construyen de silicio fundido, con cintas de molibdeno selladas en sus extremos que actúan como conductores de corriente. El bulbo exterior se hace generalmente de vidrio duro (borosilicato), pero puede ser de otro tipo de vidrio si

la polución, el ataque químico del medio ambiente o el choque térmico no son factores decisivos para la lámpara, o bien si se desea obtener características especiales de transmisión.

d.8.9.3. ENCENDIDO

El encendido de una lámpara de mercurio de alumbrado público se consigue mediante un electrodo auxiliar o de arranque, el que se ubica a una distancia muy cercana de uno de los electrodos principales y se conecta al otro mediante una resistencia de alto valor, normalmente 25000 ohmios. Cuando se conecta la lámpara se presenta un gradiente de alto voltaje entre uno de los electrodos principales y el auxiliar de arranque que ioniza el gas en forma de descarga luminosa, permaneciendo la corriente limitada por el resistor. La descarga luminosa se propaga a través del tubo de descarga bajo la influencia del campo eléctrico existente entre los dos electrodos principales.

Cuando la descarga luminosa alcanza el electrodo más alejado, se incrementa la corriente considerablemente. Como resultado de esto, los electrodos principales se calientan hasta que la emisión aumenta lo suficiente como para permitir que la descarga luminosa se transforme completamente en una descarga de arco, el electrodo auxiliar deja de actuar en el proceso en virtud de la elevada resistencia conectada en serie con él.

Por lo general se usa un electrodo auxiliar, ya que los electrodos poseen un recubrimiento emisivo con varios óxidos metálicos y porque la mezcla de vapor en la lámpara en frío es tal que puede arrancar con una tensión de 220 V. El gradiente de tensión entre el electrodo principal y el auxiliar, es capaz de ionizar el gas en esa zona, y formar una descarga luminosa.
Cuando la descarga alcanza el otro electrodo, se incrementa la corriente, y como consecuencia se calientan los electrodos principales hasta la temperatura apropiada de emisión de electrones por el bombardeo producido por el arco.
Una vez alcanzado este punto el electrodo auxiliar deja de intervenir en el proceso.
La radiación ultravioleta emitida generalmente se aprovecha transformándola a luz visible por medio de un recubrimiento de polvo fluorescente.

d.8.9.4. PERIODO DE ENCENDIDO

El tiempo transcurrido desde el momento en que se conecta la lámpara hasta que alcanza el 80% de emisión de luz total, es aproximadamente de 4 minutos. Las lámparas de mercurio a alta presión, que llevan una capa de fósforo para mejorar el rendimiento, se designa como HPL - N y generalmente tienen una ampolla exterior ovoidal de vidrio.

d.8.9.5. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO

d.8.9.5.1. 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 un 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.

d.8.9.5.2. Vida útil

La vida útil de una lámpara de mercurio de alta presión se encuentra entre valores de 12000 a 16000 horas, dependiendo de la potencia.

d.8.9.6. CARACTERÍSTICA CONSTRUCTIVA TÍPICA

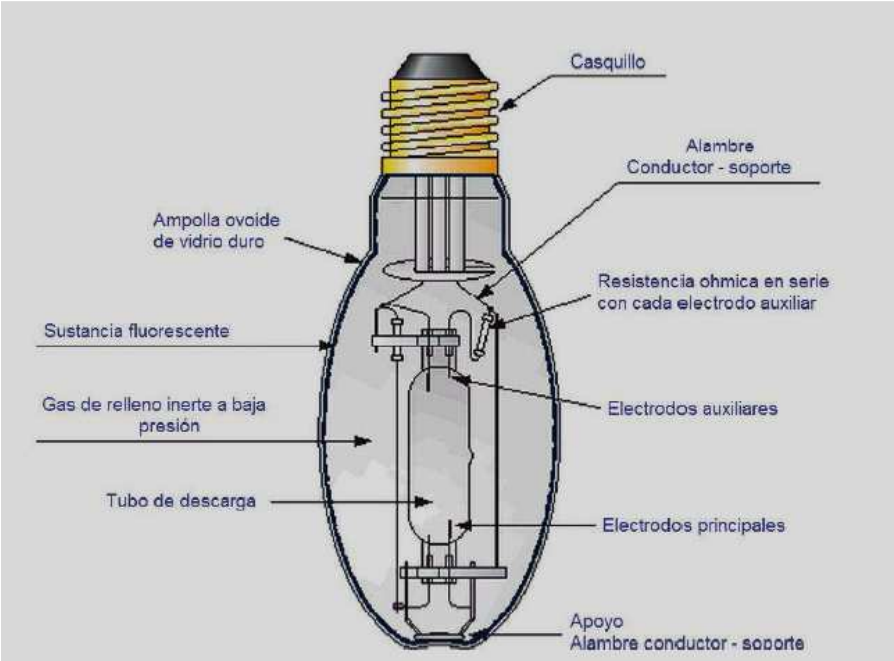


Fig. 24. Característica constructiva típica de una lámpara de mercurio de alta presión

d.8.9.7. ENERGÍA ESPECTRAL

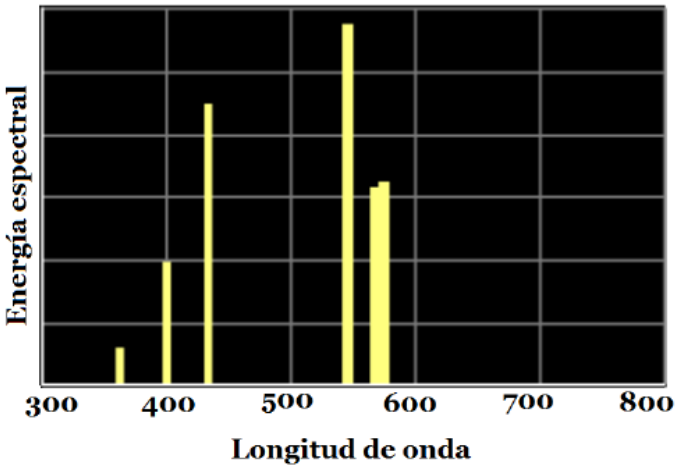


Fig. 25. Energía espectral

d.8.9.8. BALANCE ENERGÉTICO.

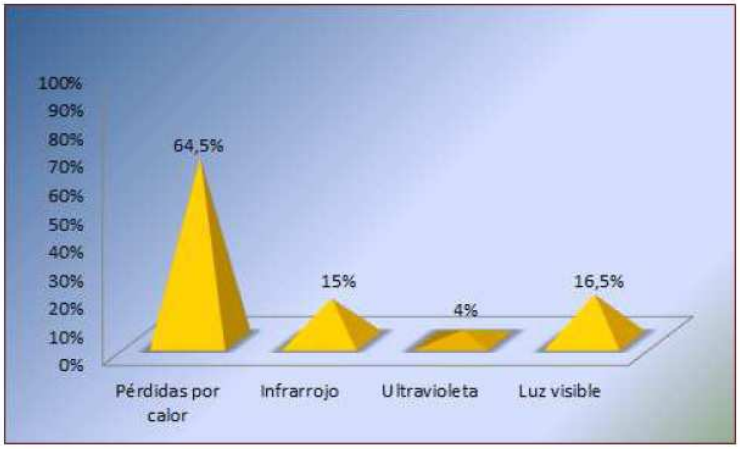


Fig. 26. Balance energético de una lámpara de mercurio a alta presión

d.9. LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN.

d.9.1. GENERALIDADES.

La lámpara de sodio de alta presión radia en todo el espectro visible, en contraste con las lámparas de sodio de baja presión, que solo radia en 589 nm. Las lámparas de sodio estándar, con una presión del sodio entre 5 a 10 kPa, poseen en general una temperatura de color entre 1900 a 2200 K y un índice de rendimiento de color de 22. A medida que la

presión del sodio aumenta por arriba de 27 kPa, la línea de radiación (589 nm) del sodio es absorbida por el gas circundante más frío y re-emitida como un espectro casi continuo a ambos lados de las líneas, haciéndose éstas cada vez más débiles. Esto resulta en una región "negra" de 20 nm de ancho en la zona de 589 nm, como se observa en la figura de su energía espectral.

Incrementado la presión del vapor de sodio incrementa el porcentaje de longitudes de onda larga emitidas, mejora el índice de rendimiento del color hasta un valor de 65, aunque la eficacia y la vida disminuyen.

d.9.2. COMPONENTES.

Tubo de descarga.

Como ya se indicó anteriormente se construyen dos envoltorios o cápsulas, la interior, donde se produce el arco, se construye con alúmina policristalina, sintetizada en forma de tubo, la cual no reacciona con el sodio, con alta resistencia a la temperatura y alto punto de fusión. Esta sustancia es translúcida, insensible al vapor de sodio caliente (1500 K) con un punto de fusión de 2300 K A pesar de que este material es translúcido, provee una buena transmisión de radiación visible en más del 90%.

Gas de relleno.

El tubo de arco contiene xenón como gas de encendido con una presión en frío de 3 kPa, y una pequeña cantidad de una amalgama de sodio-mercurio la cual es parcialmente vaporizada cuando la lámpara alcanza la temperatura de operación.
Las presiones del vapor de sodio y mercurio para la lámpara estándar en régimen normal de funcionamiento son de 10 kPa y 80 kPa respectivamente. El mercurio actúa como un gas amortiguador para aumentar la presión del gas y reducir las pérdidas térmicas de la descarga al disminuir la conductividad térmica del vapor caliente. El mercurio no produce ninguna radiación significativa.

Ampolla exterior.

El bulbo externo de borosilicato puede estar al vacío o lleno de un gas inerte. Sirve para prevenir ataques químicos de las partes metálicas del tubo interior así como el mantenimiento de la temperatura del tubo del arco, aislándolo de los efectos de la temperatura ambiente. Las lámparas de sodio estándar tienen formas tubulares u ovoides, siendo la de forma tubular siempre de vidrio claro. El tipo de vidrio usado depende de la potencia de la lámpara. Muchas de estas lámparas pueden operar en cualquier posición, la misma no tiene efecto sobre el flujo luminoso.

d.9.3. ENCENDIDO Y REENCENDIDO.

Debido a que estas lámparas no tienen un electrodo de encendido por su menor diámetro, se suministra un pulso de alta tensión, entre 1,5 a 5 kV, mediante un ignitor, para ionizar al gas de encendido que es el xenón. Una vez encendida, la lámpara se calienta en 10 minutos aproximadamente, durante el cual va cambiando de color.
Una vez que se ha establecido el arco, la tensión del mismo es baja por la baja presión de vapor. El color inicialmente es blanco por la descarga del xenón, cambiando luego a amarillo después de unos veinte segundos. Durante este tiempo el sodio se evapora y poco a poco se involucra en la descarga.

d.9.4. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO.

d.9.4.1. Eficacia.

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.
La eficacia de todas estas lámparas está en un rango entre 80 a 130 lm/W, dependiendo de la potencia de la lámpara y de las propiedades de reproducción del color. La lámpara de sodio “blanco” tiene una eficacia de 43 lm/W, valor un 45 % menor de las de sodio de alta presión estándar.
Las mismas poseen un tubo de descarga de óxido de aluminio sintetizado, alojado en una envoltura tubular de vidrio transparente al vacío.

d.9.4.2. Vida y depreciación luminosa.

La vida útil para estas lámparas es de aproximadamente 16000 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.

La parte ennegrecida absorbe radiación, la cual calienta los extremos del tubo de arco y vaporiza las amalgamas de sodio adicional.
Esto incrementa la presión en el tubo de arco y consecuentemente la tensión del arco. La difusión de sodio a través de los extremos sellados de tubo de arco y la combinación de sodio contenido en el arco con impurezas del tubo limitan también la vida de estas lámparas. En la Figura 29 se muestran curvas típicas de mortalidad y depreciación luminosa para una lámpara de sodio de alta presión en función de las horas de operación.

Debido a que la presión de operación en estas lámparas es menor que en el caso de las de mercurio, el tiempo de reencendido es menor. Sin embargo, como se ha dicho, necesita un pico de tensión bastante grande para arrancar, de modo que si se interrumpe la tensión de la red no puede encender de inmediato. La lámpara debe enfriarse lo suficiente para que la presión de vapor de sodio en el bulbo de descarga sea tal que el impulso producido por el arrancador permita iniciar la descarga. Este tiempo es en general menor de 1 minuto y se calienta en 3 a 4 minutos.

En las lámparas que tienen un arrancador incorporado este tiempo puede ser mayor, ya que estos dispositivos se desconectan después de cada encendido por medio de un interruptor bimetálico que debe enfriarse antes de poder funcionar nuevamente. El periodo de enfriamiento puede durar de 10 a 15 minutos.

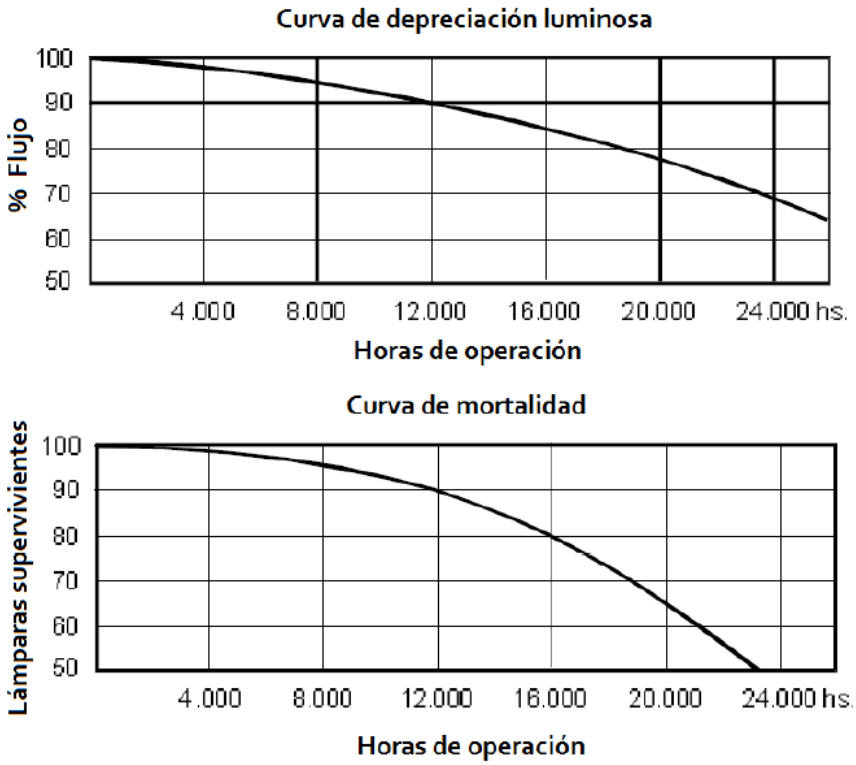


Fig. 27. Curva típica de mortalidad y depreciación luminosa para una lámpara de sodio de alta presión

d.9.5. CARACTERÍSTICA CONSTRUCTIVA TÍPICA

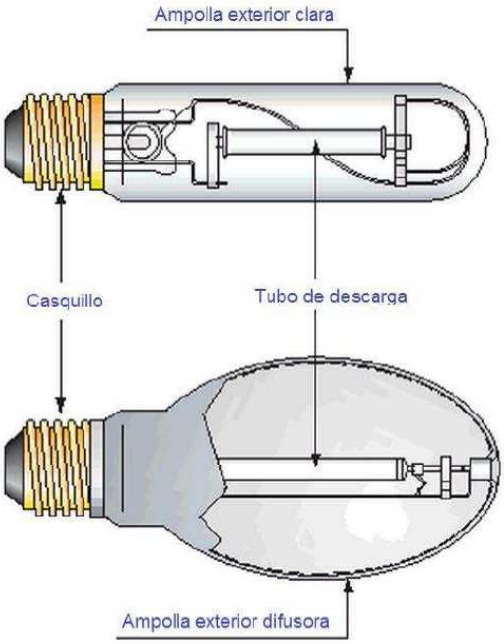


Fig.28. Característica constructiva típica de una lámpara de sodio de alta presión

d.9.6. ENERGÍA ESPECTRAL

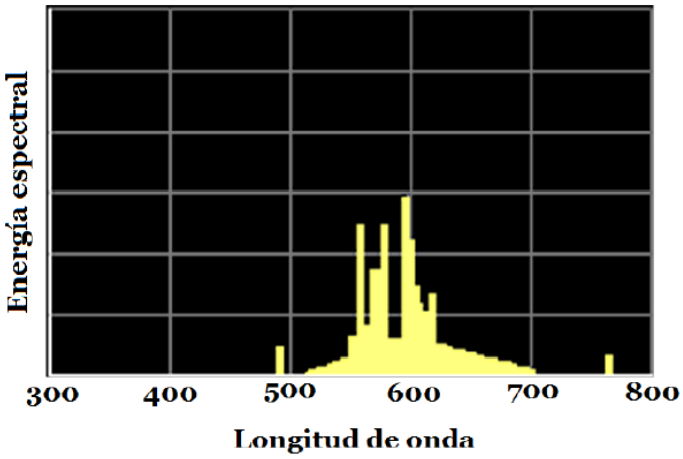


Fig. 29. Energía espectral

d.9.7. BALANCE ENERGÉTICO

Fig.30. Balance energético de una lámpara de sodio a alta presión

d.10. LÁMPARA LED

d.10.1. GENERALIDADES

Un diodo LED, acrónimo de Light Emitting Diode (diodo emisor de luz), es un dispositivo semiconductor con recubrimiento de plástico que emite luz monocromática que puede variar desde el ultravioleta, pasando todo el espectro de luz visible hasta el infrarrojo. [50]

d.10.2. ENCENDIDO

Su funcionamiento se basa en que cuando se polariza directamente y es atravesado por la corriente eléctrica este emite luz donde el color depende del material semiconductor empleado en su construcción.

d.10.3. DESARROLLO

Este tipo de lámpara promete ser una de las más eficientes en el futuro, hoy en día existen inconvenientes que se deben enfrentar tales como su excesivo precio, el calor que disipan, la cantidad de lúmenes por vatio que hasta la fecha existen registros de haber alcanzado los 110m son aspectos que una vez superados o minimizados harán de este tipo de lámpara una gran opción para alumbrado público.

La principal causa de la depreciación del flujo luminoso de un LED es el calor generado en el interfaz de unión del LED. Al no emitir radiación infrarroja (IR), el calor producido en el proceso de generación de luz, debe ser disipado por conducción o convección. Un aumento continuo de la temperatura de funcionamiento provocará dos efectos: Una depreciación del flujo emitido y una depreciación permanente del flujo máximo.

d.10.4. CARACTERÍSTICA CONSTRUCTIVA TÍPICA

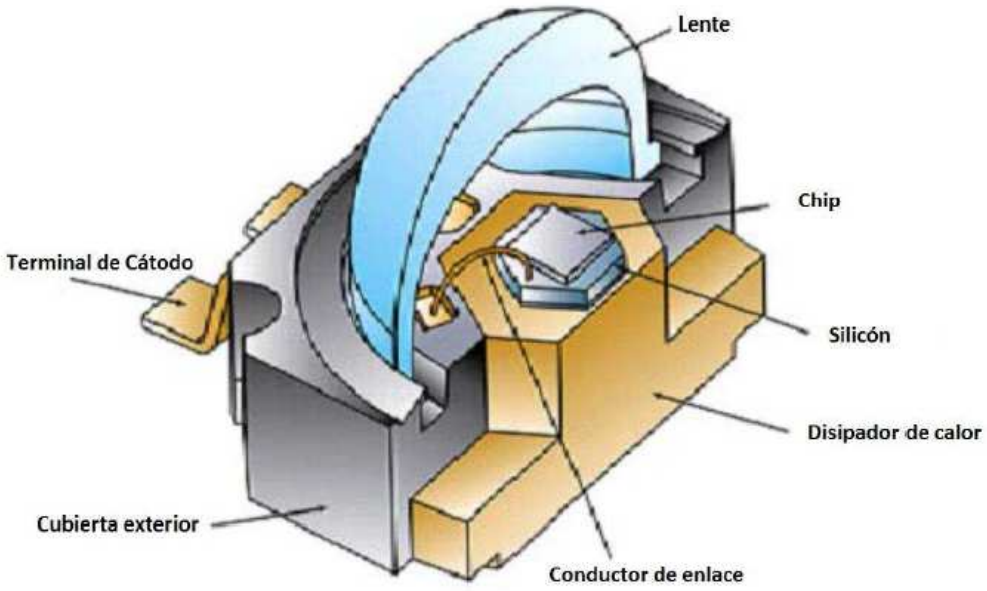


Fig.31. Característica constructiva típica lámpara LED

d.11. LA LUMINARIA DE INDUCCIÓN PARA ALUMBRADO PÚBLICO.

d.11.1. BREVE INTRODUCCIÓN.

La Lámpara de Inducción Electromagnética “sin electrodos” (IEM) es un nuevo concepto de muy alta tecnología para el ahorro energético en la iluminación, basado en el principio de gas de descarga de las lámparas fluorescentes y en el principio de la inducción electromagnética de alta frecuencia.
Se denomina como "la lámpara sin electrodos" (electrodless), ya que no tiene filamentos ni electrodos como el común de las lámparas.

El filamento de incandescencia o el electrodo es el elemento fundamental para fuentes comunes de luz y la vida útil de estas depende de la vida útil del filamento de incandescencia o de los electrodos utilizados.
La vida útil de la lámpara de IEM (sin electrodos) es ilimitada en este aspecto por no existir elementos que se desgasten, por lo que la vida útil puede prolongarse ampliamente. La vida útil de las lámparas de IEM es sólo determinada por el nivel de calidad, el diseño de los circuitos y demás componentes electrónicos.

d.11.2. CLASIFICACIÓN DE LAS LÁMPARAS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

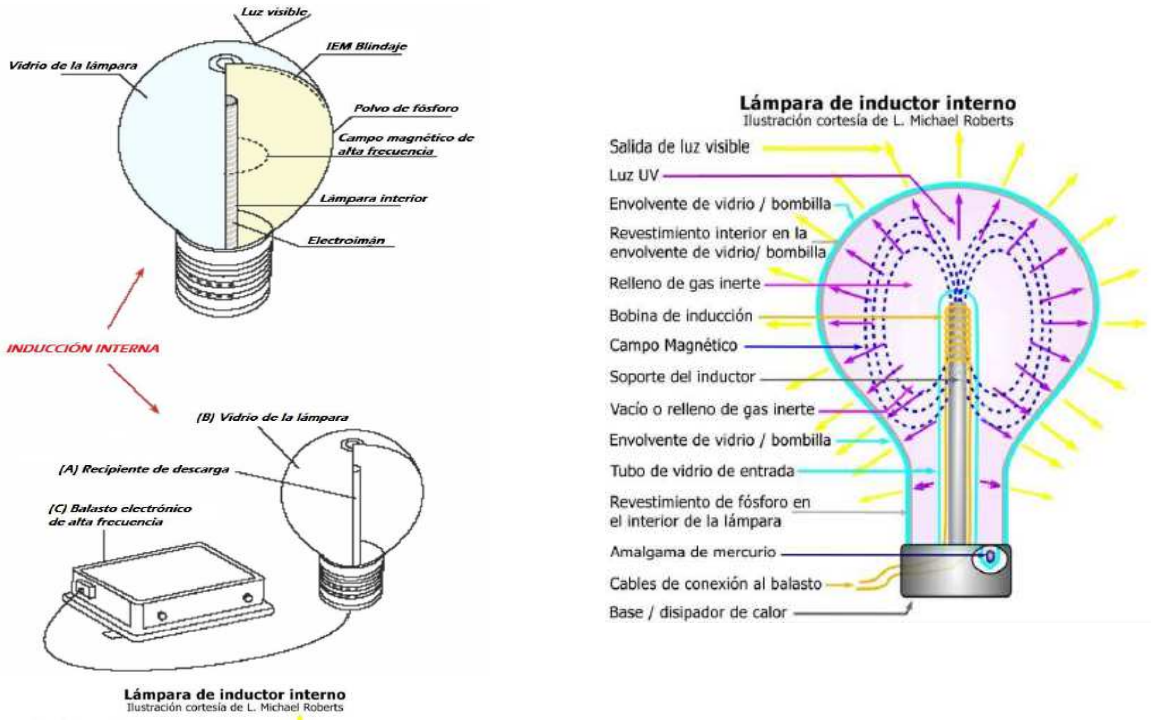
- Lámpara de Inducción Electromagnética INTERNA (IEM-I) de alta frecuencia (sin electrodos: frecuencia de operación: 2.65MHz.
- Lámpara de Inducción Electromagnética EXTERNA (IEM-E) de baja frecuencia (sin electrodos): frecuencia de operación: 2.50KHz

d.11.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Las lámparas de descarga electromagnética son una evolución de las lámparas fluorescentes, pero con la diferencia de que no usan un electrodo para inducir una corriente en el interior. La rotura del electrodo o desgaste del electrodo son las principales causas de fallo de las lámparas de descarga, ya sean de halogenuros, vapor de sodio o fluorescentes.
Al igual que las lámparas fluorescentes, el recubrimiento exterior transforma esa radiación en luz visible.

d.11.3.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA LÁMPARA DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA INTERNA DE ALTA FRECUENCIA.

La Lámpara de inducción electromagnética interna de alta frecuencia, está compuesta por un bulbo, una antena y una fuente de poder (alimentación).
Después de la llegada de energía a la fuente de poder, el generador de alta frecuencia que posee, envía un voltaje constante con 2.65MHz hacia la antena que está instalada dentro del bulbo y conectada a un balasto electrónico de la lámpara a través de un cable de alta frecuencia. La antena crea un fuerte campo magnético estático dentro del bulbo, generando una reacción e ionización del gas que se encuentra al vacío dentro de las 2 paredes del bulbo, formando un plasma. Cuando los átomos de plasma reaccionan, la energía obtenida anteriormente se irradia en forma de 253.7nm de radiación ultravioleta, cumpliendo con el proceso de transformación de la energía. Entonces, el fósforo tricolor que posee el bulbo en su superficie interna, será estimulado lo que permitirá emitir una luz visible. En cuanto al diseño de la fuente de poder y gracias a que su factor de potencia llega a niveles mayores de 0,98 el generador de alta frecuencia puede enviar una tensión constante y una alta frecuencia constante cuando la lámpara está encendida. Así que, aunque la tensión de entrada de la fuente de alimentación fluctúe dentro de cierto rango (170v – 270v), el brillo de la lámpara y su luminosidad no va a cambiar.

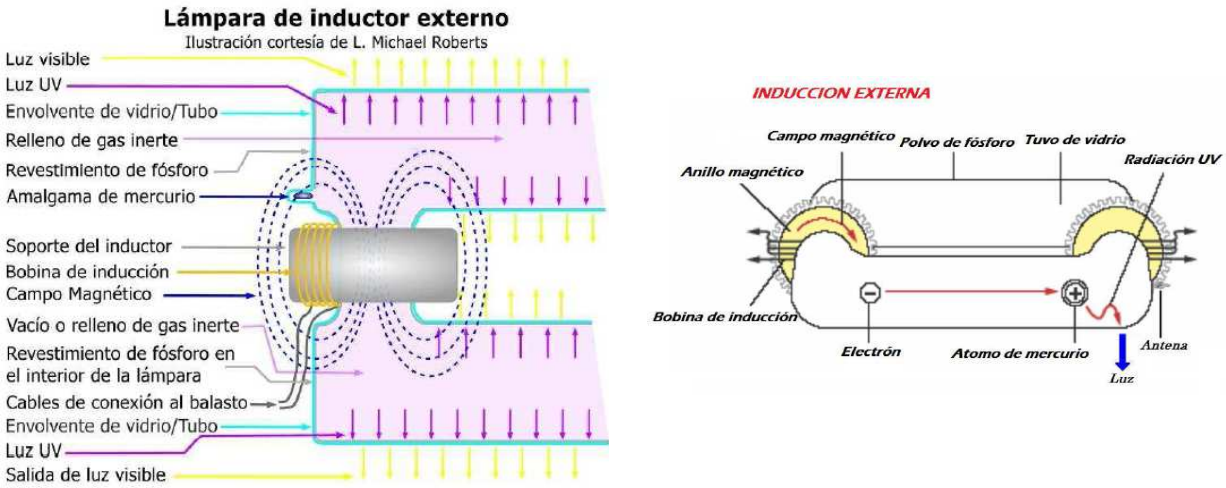


Fuente : http://www.disenolamp.com/publico/documentos/propiedades_luz.pdf

Fig.32. Estructura lámpara de inducción interna

d.11.3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA LÁMPARA DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA EXTERNA DE BAJA FRECUENCIA.

La Lámpara de inducción electromagnética externa de baja frecuencia, está compuesta por un bulbo, una antena de doble poder y una fuente de poder (alimentación). Después de la llegada de energía a la fuente de poder, el generador de alta frecuencia envía un voltaje constante hacia los 2 anillos metálicos, a través de un cable de alta frecuencia. Los anillos, son los encargados de producir el campo magnético alrededor del tubo de vidrio. En otras palabras, el acoplador de energía (anillos metálicos), que se instalan en el exterior del bulbo y conectado con el balasto electrónico de la lámpara a través del cable de alta frecuencia, va a crear un fuerte campo magnético estático en el espacio de descarga de la cáscara de cristal. Así, la ruta circular del campo magnético, motivado por el bucle, forma un circuito cerrado, lo que genera la aceleración de los electrones libres. Entonces, estos electrones libres que chocan con los átomos de mercurio, permiten que el gas que se encuentra al vacío dentro del bulbo genere una reacción e ionización del mismo, formando un plasma. Cuando los átomos de plasma reaccionan, la energía obtenida anteriormente se irradia en forma de 253.7nm de radiación ultravioleta, cumpliendo con el proceso de transformación de la energía. Entonces, el fósforo tricolor que posee el bulbo en su superficie interna, será estimulado lo que permitirá emitir una luz visible.



Fuente : http://www.disenolamp.com/publico/documentos/propiedades_luz.pdf

Fig. 33. Estructura lámpara de inducción externa

d.11.4. DIFERENCIAS ENTRE LÁMPARAS DE INDUCCIÓN DE ALTA FRECUENCIA Y DE BAJA FRECUENCIA

Objetos Comparativos	Características de lámpara sin electrodo de baja frecuencia	Características de lámpara sin electrodo de alta frecuencia
Características Básicas	Estructura del núcleo magnético exterior, Fácil de dispersión de calor flexible d selección del tamaño y figura de tubo, dos configuraciones de simple anillo magnético y doble anillos magnéticos, con mucha ductancia	LA estructura del núcleo interior, difícil de dispersión de calor, solo a estructura de bulbo, simple núcleo magnético con poca ductancia
	Amplio rango de selección de potencia, los diferentes tubos de 15W hasta 400W	Estrecho rango de selección de potencia (depende de los diferentes fabricantes)
	Se ofrecen para los clientes distintos o potencia de lámparas sin electrodo (50w, 60w,70w, 100w, 250w, etc)	Distintos tipos de potencia
	Baja temperatura de la superficie de tubo	Alta temperatura de la superficie de tubo
	Buen rendimiento de encendido a baja temperatura	Mal rendimiento de encendido en baja temperatura
Diferencia de coincidencia a los dispositivos eléctricos	Se aplica el IC chip especial con la frecuencia constante, y se puede ajustar en un amplio rango.	Se produce las CA señales de salida de clase MHz con la forma de auto radiación del núcleo magnético.
	Con IC chip particular y tecnología de ajustamiento, se puede ajustar luz flexible.	Fácil de ajustar la luz
Diferencia de fotometría	Estructuras redondas y rectangulares, se aplica reflector especial para usar en muchas ocasiones.	Estructura del bulbo, similar al punto de luz, se coincide al reflector ordinario. Es más fácil proyectar el reflector
	La eficiencia luminosa es un poco alta que la de HID de igual potencia	La eficiencia luminosa es un poco más baja que la lámpara sin electrodo de baja frecuencia de igual potencia

Fuente: *CONELEC.Regulación No. CONELEC 008/11 - Prestación del Servicio de Alumbrado Público General –APG. Quito. Noviembre 2011*

Tabla 14. Diferencias entre lámparas de inducción de alta y baja frecuencia

Por las razones arriba descritas y por experiencias de consumidores alrededor del mundo se elige la lámpara de inducción externa de baja frecuencia, a continuación se presentan más características de esta lámpara.

d.11.5. VENTAJAS Y CARACTERÍSTICAS.

d.11.5.1. CONSUMO REAL.

El consumo de la lámpara del que usualmente se habla, es el consumo de la fuente de luz que ilumina, es decir, del bulbo o la ampolleta y no del consumo real de la lámpara integrada. Por lo tanto, el cálculo del consumo de energía eléctrica no es exacto. En general, el consumo de energía de los balastos para lámparas de halurometal o lámparas de sodio de alta presión es más de un 20% del consumo de la ampolleta. Es decir, el consumo real total es:

$$Consumo_{Real\ Total} = Consumo_{Ampolleta} + Consumo_{Balasto}$$

Así por ejemplo, para una lámpara de 250W de sodio o de halurometal:

$$Consumo_{Real\ Total} = 250W + 50W = 300W$$

Con la lámpara de Inducción Electromagnética (IEM), el consumo de energía para la fuente de luz (bulbo) es tan bajo, que perfectamente puede no ser considerado. Supondremos que con 5% de fluctuación, el consumo de la fuente de alimentación puede compensar el consumo de la fuente de luz. Entonces podemos concluir que:
Por lo tanto, la lámpara de IEM (también llamada “lámpara sin electrodos”) puede ahorrar alrededor del 20% de la energía que utilizan las lámparas comunes con el mismo poder. Y este cálculo sólo ha considerado el principio de diseño de la lámpara de IEM, sin tomar en cuenta otras características de eficacia lumínica de la lámpara de IEM, que hace que el producto pueda ahorrar aún más energía.

d.11.5.2. EFICACIA LUMÍNICA VISUAL.

Por lo general, la “eficiencia lumínica” (Lm/W) se considera como un importante indicador para determinar el ahorro de energía de las diferentes fuentes de luz.
Teóricamente, se dice que las lámparas con una eficiencia lumínica superior tienen mejor capacidad para ahorrar energía. De acuerdo a los resultados de las pruebas efectuadas a los diferentes tipos de lámparas, la eficiencia lumínica de las lámparas de sodio de alta presión tienen de 90 a 110 Lm/W; el de las lámparas de halurometal tienen 85 Lm/W., y las lámparas de IEM (sin electrodos) es sólo de 70 a 80 Lm/W. Sin embargo, la conclusión es totalmente diferente según la percepción de las pupilas humanas. A diferencia de los instrumentos, que sólo se limitan a medir la eficiencia lumínica, las pupilas pueden evaluar la“eficacia lumínica real y efectiva” de una lámpara de acuerdo a diferentes ambientes, colores, eficiencias, capacidad de reproducción de color y todos los factores anteriores integrados.

Los ojos tienen altos requerimientos de los colores, mientras que muchas fuentes de luz no tienen la capacidad para mostrar los colores. Por ejemplo, las lámparas de sodio sólo tienen una buena representación de los colores amarillo y gama de grises; bajo otras gamas de colores, los ojos solamente pueden identificar los perfiles de los objetos, perdiendo la capacidad de identificar los detalles. En muchos ambientes de trabajo, la gente erróneamente suele aumentar la potencia de las lámparas comunes con el fin de mejorar la "eficiencia lumínica" y así poder distinguir mejor los colores. No sólo no obtienen los resultados de colores esperados, sino además, producen una gran cantidad de pérdidas de energía. Dado que la reproducción de colores de una lámpara de sodio es muy baja con un índice de rendimiento del color < 40 CRI y el de una lámpara de IEM es > 80 CRI, su real "eficacia lumínica" baja considerablemente. Cabe recordar que el CRI es la medida de rendimiento de color o también denominado "índice de menor distorsión del color", siendo el máximo = 100, que es el color que reproduce la luz solar a medio día. Por tanto, las lámparas con un mayor CRI tendrán una menor distorsión del color. Diferentes test realizados con distintos instrumentos, han arrojado como resultado, que la efectividad de la eficiencia lumínica de la lámpara de sodio es sólo alrededor de 60, mientras que la lámpara de IEM alcanza un valor alrededor de 120. Por lo anterior, podemos concluir que con las lámparas de IEM se puede lograr un mejor efecto visual con menos potencia (el poder de la lámpara de IEM es dos veces más que el de las lámparas de sodio y halurometal, es decir, una lámpara de IEM de 200W de consumo está en la capacidad de sustituir a una lámpara de sodio de alta presión de 400W).

d.11.5.3. VIDA ÚTIL.

La lámpara de IEM es una tecnología de iluminación basada en el principio de gas de descarga de las lámparas fluorescentes y en el principio de la inducción electromagnética de alta frecuencia. Se denomina como "lámpara sin electrodos" ya que no tiene filamentos o electrodos como el común de las lámparas. La vida útil de dichas lámparas está determinada por la vida útil del filamento o electrodo de la lámpara común. La vida útil de la lámpara sin electrodos no se limita, por lo que la vida útil puede, en teoría, prolongarse de manera indefinida y cuantificarse por el deterioro de otros elementos. La vida útil teórica para la lámpara sin electrodos es superior a las 100 000 horas y en promedio por sobre las 60 000 horas. [36]

d.11.5.4. FUENTE DE LUZ SALUDABLE.

Las frecuencias de operación de las fuentes de luz, tales como lámparas fluorescentes, lámparas de sodio y lámparas de haluro metal, son 50Hz – 60Hz.
En esta frecuencia, el ojo humano puede sentir el parpadeo de la luz. En cuanto a la lámpara de baja frecuencia sin electrodos (IEM), la frecuencia de funcionamiento es 2.50KHz, superando el alcance de identificación del ojo humano a captar el efecto

estroboscópico. Adicionalmente, la lámpara de IEM posee un bulbo empavonado con contenidos de fósforo que permiten una mejor reproducción de colores (CRI> 80) y un menor encandilamiento que el producido por las lámparas de sodio y de haluro metal. Estos dos elementos (bajo efecto estroboscópico y bajo encandilamiento) hacen que la lámpara de IEM alivie el daño a los ojos. Es más, el producto no contiene mercurio líquido.

d.11.5.5. ATENUACIÓN (DEGRADACIÓN) DE LA LUZ.

"Atenuación de la luz" es la reducción de la eficacia lumínica nominal de las fuentes de luz, después de ser utilizada durante un largo período de tiempo y bajo condiciones nominales de funcionamiento. Diferentes fuentes de luz tienen diferentes velocidades de atenuación de la luz ya que tienen diferentes principios de operación lumínica y diferentes materias primas. Gracias al principio de funcionamiento especial de las lámparas de IEM (sin filamento), con un bulbo al vacío y un muy buen aislamiento, la lámpara de IEM tiene una baja atenuación de la luz (no más de 16% de atenuación de la luz se genera después del funcionamiento de 20 000 horas), mostrando actuaciones de ahorro energético y buen efecto lumínico. Las lámparas de ahorro de consumo atenuarán 50% de la luz después de haber sido utilizadas durante 1.000 horas y una lámpara fluorescente común atenuará más del 30% después de haber sido utilizada durante 2 000 horas. La constante de la eficacia lumínica es también un indicador de ahorro de energía. La reducción de la eficacia lumínica (atenuación de la luz) en el marco mismo del consumo eléctrico (potencia), es también un tipo de derroche energético.

d.11.5.6. ENCENDIDO.

Menos de 0,5 segundos es el tiempo de partida; sin necesidad de precalentamiento, la lámpara de IEM enciende instantáneamente.

d.11.5.7. DISTORSIÓN ARMÓNICA.

Si bien los balastos electrónicos usados en las lámparas de inducción, generan armónicos, los mismos son suprimidos con filtros incorporados en el propio equipo, dando un THD<10%. [51]

d.11.5.8. RENDIMIENTO ELÉCTRICO.

Un factor de potencia # 0,98, una pequeña corriente armónica; utilizable en un amplio rango de tensión eléctrica. Con variaciones de voltajes de 110V-260V puede trabajar en forma estable.

d.11.5.9. FOTOCATALIZADOR.

Las pantallas o difusores de las luminarias (algunos fabricantes), están recubiertas de un Foto catalizador (ONID-TA), el cual reduce considerablemente la adhesión de partículas que obstruyan el paso de la luz generando un efecto de auto limpieza. [48]

d.11.5.10.RESISTENCIA A VIBRACIONES E INMUNIDAD ELECTROMAGNÉTICA.

Si bien los sistemas de inducción para alumbrado público son motivo de polémica, Havells México presento una luminaria de inducción en el primer trimestre del presente año con el aval FIDE, que se distingue por las estrictas pruebas a las que son sometidas las luminarias en los laboratorios, este aval contempla la óptima resistencia de las luminarias de inducción a las vibraciones provocadas por la circulación vehicular, además de poseer inmunidad electromagnética, se comprobaron parámetros como su vida útil y su poca necesidad de mantenimiento.

d.12. ESTUDIO TÉCNICO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LÁMPARAS DE INDUCCIÓN FRENTE A OTROS TIPOS DE LÁMPARAS

d.12.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Cada una de las comparaciones a realizarse serán analizadas entre la lámpara de inducción de baja frecuencia contra la lámpara basada en tecnología LED, la lámpara de mercurio a alta presión y la lámpara de sodio a alta presión, esto por ser cada una de estas usualmente utilizadas y consecuentemente consideradas como una competencia tecnológica y de eficiencia dentro del alumbrado de vías públicas en la Ciudad de Loja.

d.12.2. PARÁMETROS DE COMPARACIÓN.

d.12.2.1. FILAMENTO.

Los filamentos son el más sensible de los componentes de una lámpara si es que ésta posee uno, ya que durante su funcionamiento, cualquier forma de vibración o perturbación eléctrica puede causar su rotura. Este componente también determina la vida de la lámpara y suele ser la causa de fracaso prematuro y aumento del costo de sustitución, así como los gastos de explotación.

Mercurio a alta presión:
Posee un electrodo principal y uno de arranque.

Sodio a alta presión:
Posee un electrodo principal.

Inducción electromagnética de baja frecuencia:
No poseen electrodo.

6.2.1.4. SolidState Light LED:

No poseen electrodo.

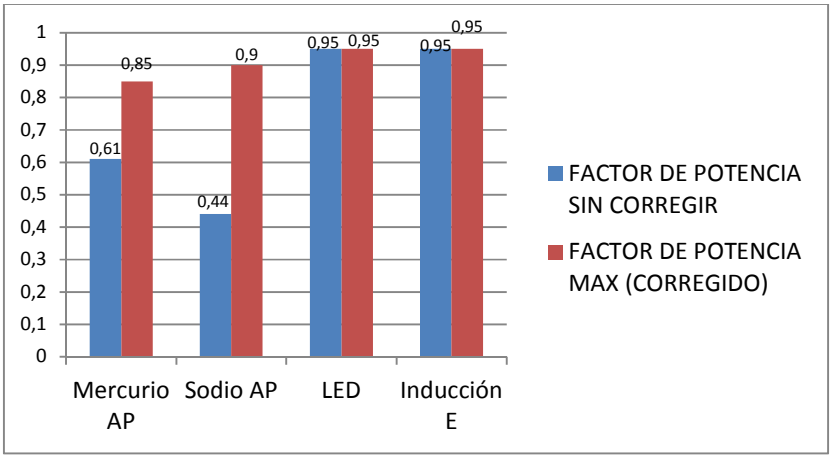
d.12.2.2. FACTOR DE POTENCIA.

Esta es la medida de la capacidad de un aparato eléctrico para realizar un trabajo respecto a la potencia demandada. Esta es la relación de potencia activa, que es la verdaderamente utilizada, respecto a la potencia aparente, que es la que realmente circula por los cables. El sistema de inducción electromagnética de baja frecuencia tiene un factor de potencia de 0.98, mientras que los rangos de otros sistemas oscilan entre un 0.38 y un 0.60

	FACTOR DE POTENCIA SIN CORREGIR	FACTOR DE POTENCIA MAX (CORREGIDO)
Mercurio AP	0.61	0.85
Sodio AP	0.44	0.90
LED	0.95	0.95
Inducción E	0.95	0.95

Fuente: *Iluminet.*

Tabla 15. Comparación del factor de potencia. [36]



Elaborado por: *Soledad Pinos*

Fig. 35. Comparación del factor de potencia.

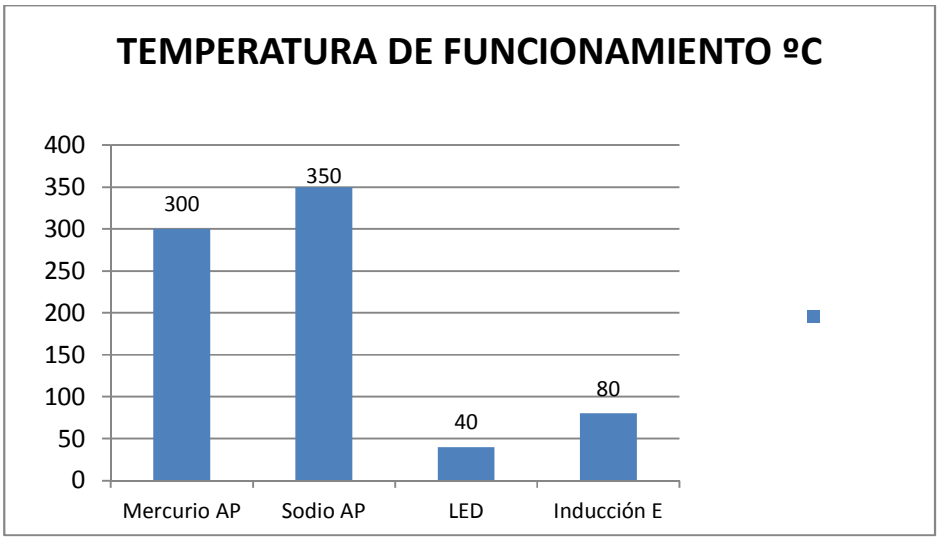
d.12.3. TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO.

La temperatura del funcionamiento de una lámpara viene determinada por las pérdidas por efecto joule que estas presentan

	TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO ºC
Mercurio AP	300
Sodio AP	350
LED	40
Inducción E	80

Fuente: *Iluminet*

Tabla 16. Comparación de la temperatura de funcionamiento.



Elaborado por: *Soledad Pinos*

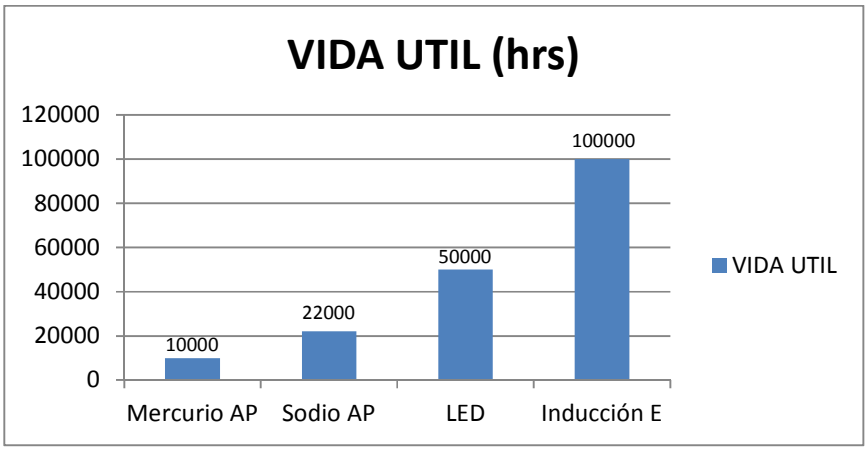
Fig. 36. Comparación de la temperatura de funcionamiento.

d.12.4. VIDA ÚTIL.

	VIDA UTIL
Mercurio AP	10 000
Sodio AP	22 000
LED	50 000
Inducción E	100 000

Fuente: *Iluminet*

Tabla 17. Comparación de vida útil



Elaborado por: *Soledad Pinos*

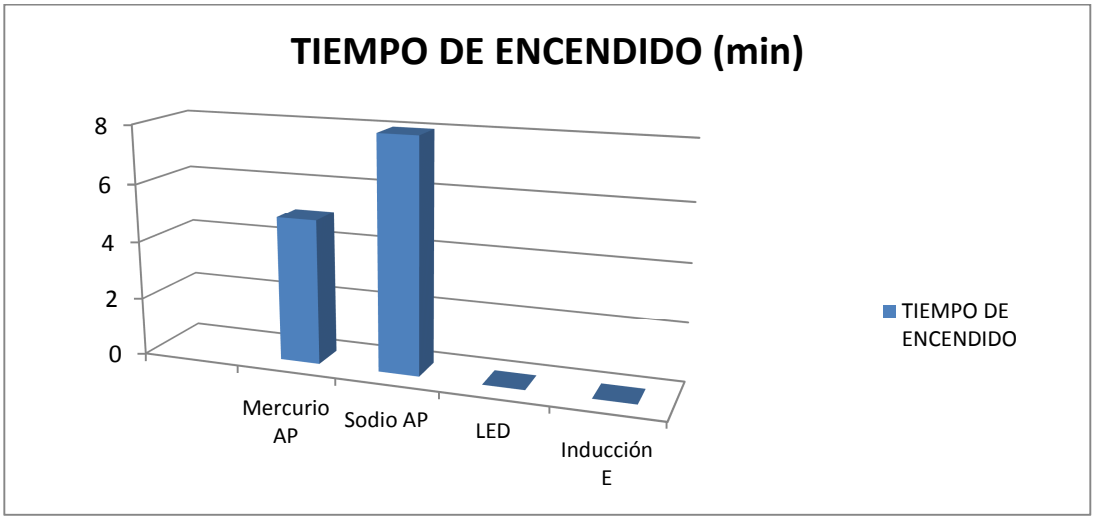
Fig.37. Comparación de vida útil.

d.12.5. TIEMPO DE ENCENDIDO Y RECUPERACIÓN TIEMPO DE ENCENDIDO.

	TIEMPO DE ENCENDIDO (min)
Mercurio AP	4-5
Sodio AP	5-10
LED	INSTANTANEO
Inducción E	INSTANTANEO

Fuente: *Iluminet*

Tabla 18. Comparación de tiempo de encendido.



Elaborado por: *Soledad Pinos*

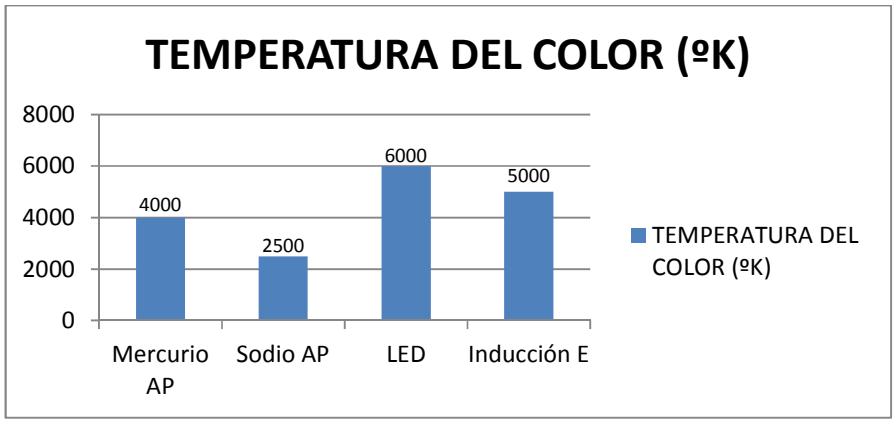
Fig. 38. Comparación de tiempo de encendido

d.12.6. TEMPERATURA DEL COLOR TEMPERATURA DEL COLOR (ºK)

	TEMPERATURA DEL COLOR (ºK)
Mercurio AP	4 000
Sodio AP	2 500
LED	6 000
Inducción E	5 000

Fuente: *Iluminet*

Tabla 19. Comparación de temperatura de color



Elaborado por: *Soledad Pinos*

Fig.39. Comparación de temperatura del color

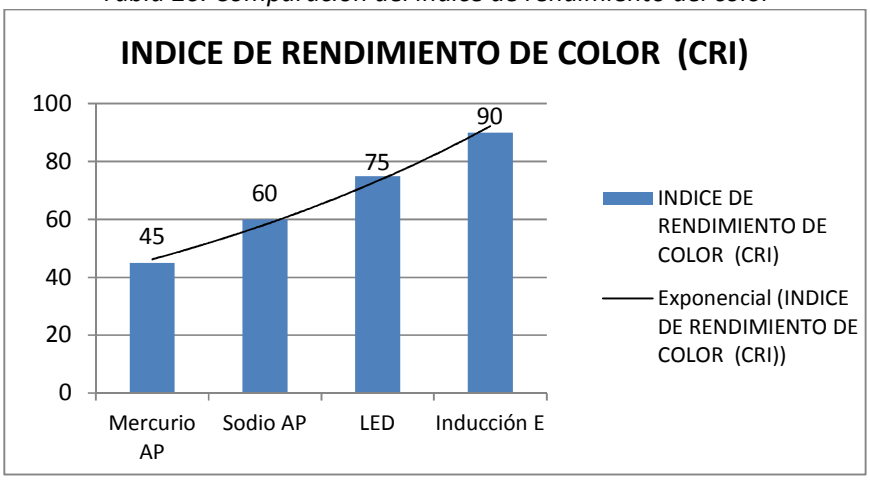
Fig.40. Temperatura del color de diferentes fuentes luminosas

6.2.7. ÍNDICE DE RENDIMIENTO DEL COLOR (CRI)

	INDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR (CRI)
Mercurio AP	45
Sodio AP	60
LED	75
Inducción E	90

Fuente: *Iluminet*

Tabla 20. Comparación del índice de rendimiento del color



Elaborado por: *Soledad Pinos*

Fig. 41. Comparación del índice de rendimiento del color

El sistema de inducción electromagnética de baja frecuencia ofrece un alto índice de rendimiento de color pues una buena calidad de luz no debe afectar los verdaderos colores de los objetos, pudiendo las personas ver el objeto iluminado tal como es y no como parece ser. Trabajos gráficos, de estampación, industria textil, galerías, museos, iluminación de carreteras, grandes almacenes, etc. donde los colores se perciben como un factor importante, se ven beneficiados al ser iluminados con este sistema.

d.12.8. MANTENIMIENTO DE LA LUMINANCIA

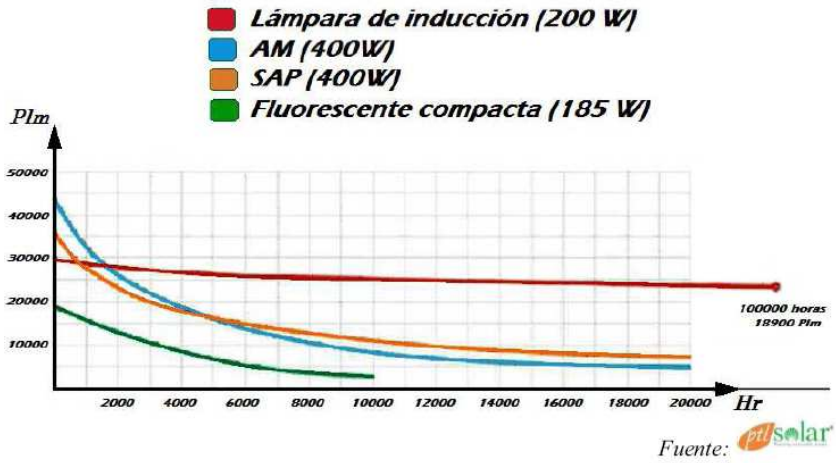
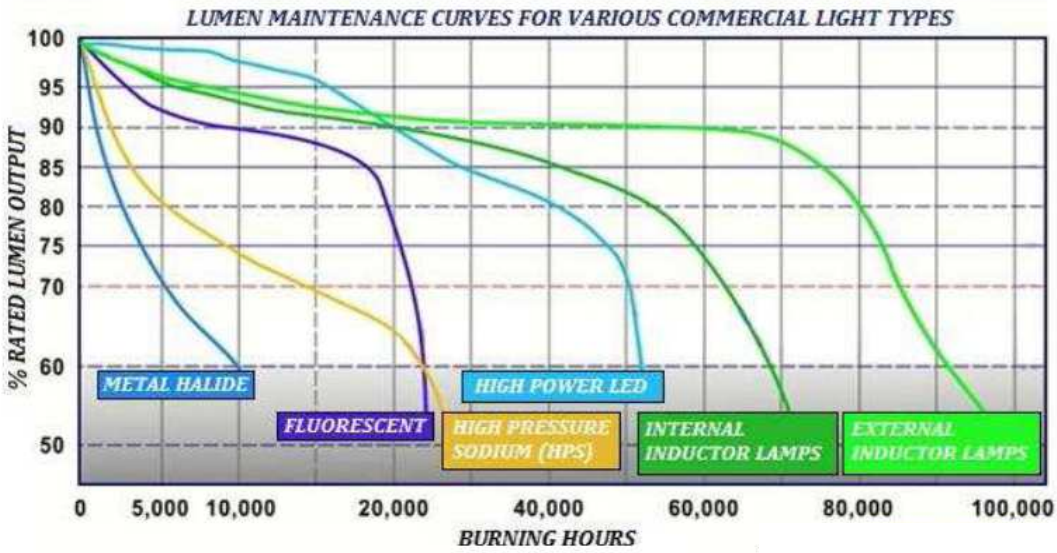
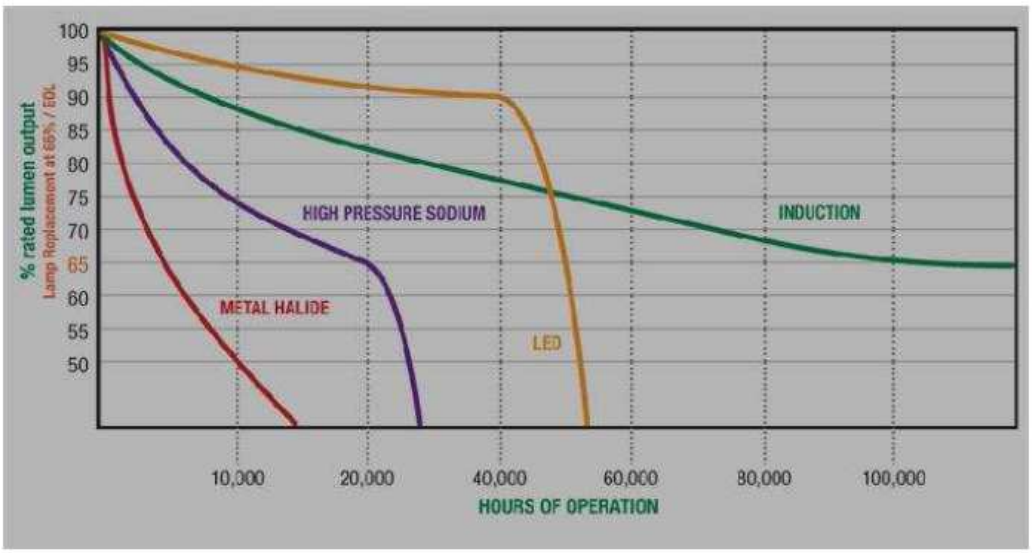


Fig. 42. Mantenimiento de lúmenes pupila.



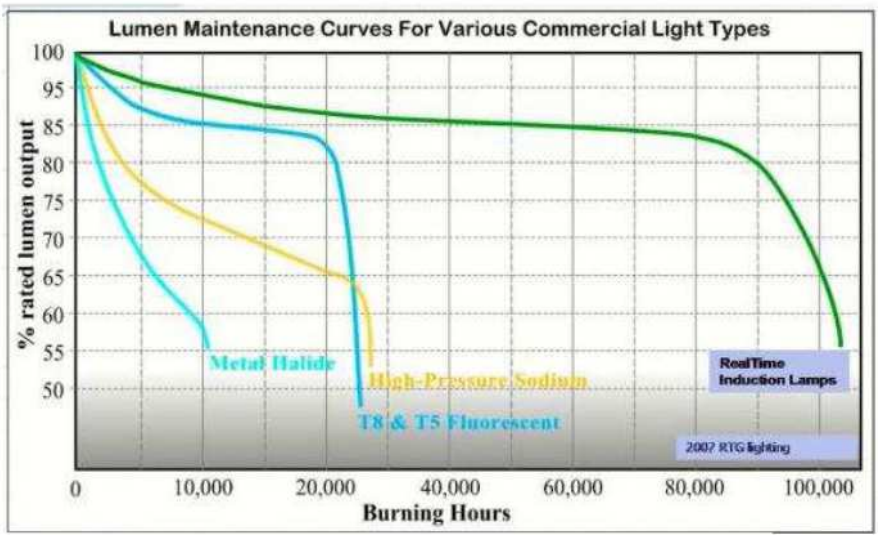
Fuente: *Global Induction Lighting*

Fig. 43. Mantenimiento de la luminancia.



Fuente: *Formetco.*

Fig.44. Mantenimiento de luminancia



Fuente: *Global Induction Lighting*

Fig.45. Mantenimiento de luminancia.

d.12.9. FUNCIONES DE PROTECCIÓN.

El balasto electrónico utilizado en los sistemas de inducción cuenta con funciones especiales para la detección de fallas, la protección en circuito abierto y de la potencia de cortocircuito transitoria, al igual que la pérdida de suministro. El funcionamiento se reanudará después del restablecimiento del suministro normal de energía, de forma

instantánea, garantizando con esto la vida útil de la lámpara de inducción y del balasto electrónico.

d.12.10. PARPADEO

d.12.10.1. Mercurio a alta presión

Las lámparas de mercurio a alta presión presentan mucho parpadeo si es que existen fluctuaciones de voltaje.

d.12.10.2. Sodio a alta presión:

Las lámparas de mercurio a alta presión presentan bajo parpadeo si es que existen fluctuaciones de voltaje.

d.12.10.3. Inducción electromagnética de baja frecuencia:

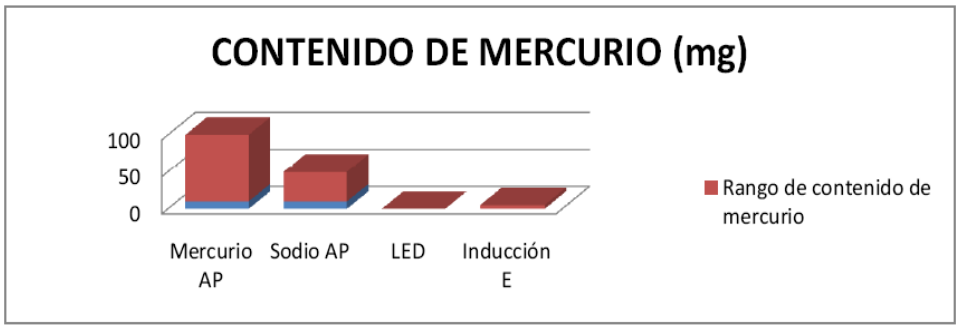
Las lámparas de inducción presentan un parpadeo imperceptible para el ojo humano.

d.12.11. CONTENIDO DE MERCURIO CONTENIDO DE MERCURIO (mg)

	CONTENDO DE MERCURIO (mg)
Mercurio AP	10 – 100
Sodio AP	10 – 50
LED	0
Inducción E	5

Fuente: *Cape Cod Cooperative Extension*

Tabla 21. Comparación del contenido de mercurio



Fuente: *Cape Cod Cooperative Extension*

Fig.46. Comparación del contenido de mercurio.

d.12.12. PARÁMETROS DE LUZ DE LA LÁMPARA DE INDUCCIÓN

Los parámetros de iluminación general de la lámpara de inducción son mejores que los de la iluminación convencional por diversas razones: la temperatura de color puede ser de 2700 a 6500 K y el índice de rendimiento de color (CRI) es más de 80 hasta un 90 con la eficacia del sistema de iluminación de 85 lm/W. La ventaja de unos mejores parámetros hace que la lámpara de inducción produzca una luz más brillante, más suave, más cómoda y más natural que las demás fuentes de luz. Gracias al alto índice de rendimiento del color, las personas pueden identificar el color de los objetos mucho mejor.

d.12.13. TABLA COMPARATIVA

		Mercurio AP	Sodio AP	LED	Inducción E
Filamento		Si	No	No	No
Factor de Potencia		0.61	0.44	0.98	0.98
Temperatura de Funcionamiento (ºC)		300	350	40	80
Vida Útil (hrs)		10 000	24 000	50 000	100 000
Tiempo de Encendido		4 – 5 min	5 – 10 min	Instantáneo	Instantáneo
Temperatura del color ºK		4 000	2 500	5 000	5 000
Inice de Rendimiento de Color (CRI)		< 69	< 69	75	> 80
Mantenimiento de Luminaria		Gráfico			
Eficiencia Promedio	Fotópica	43	90	200	150
	Lm/w	50	120	90	80
Parpadeo		Mucho	Medio	Nulo	Indetectable
Contenido de Mercurio (mg)		10-100	10-50	Nulo	< 5
Brillo		Mucho	Mucho	Ninguno	Ninguno
Degradación Lumínica a 2 000 Hrs		45%	30%		5%
Distorsión Armónica		≤ 35%	≤ 35%	< 10%	< 10%

Fuente: *iluminet*

Tabla 22. Tabla comparativa general

d.13. ESTUDIO DE UN CASO ESPECÍFICO

Una vez analizada cada una de las tres opciones de lámparas, se escoge la lámpara de sodio a alta presión y la lámpara de inducción de baja frecuencia para realizar una comparación mucho más práctica, se estudió un caso en particular de iluminación vial, escogiendo el área de la Energía de la UNL de la ciudad de Loja que es una avenida de mediana circulación vehicular con un estudio de iluminación reciente y con instalaciones no mejoradas.

El procedimiento a usar es el siguiente:

1. Toma de datos de la estructura de la franja
2. Investigación de la lámpara instalada
3. Medición del flujo luminoso en el campo.

4. Simulación de la franja bajo condiciones actuales.
5. Comparación de resultados medidos y simulados.
6. Investigación de la lámpara de reemplazo.
7. Simulación de la franja bajo condiciones de reemplazo.
8. Comparación de resultados simulados

d.13.1. FRANJA ESCOGIDA

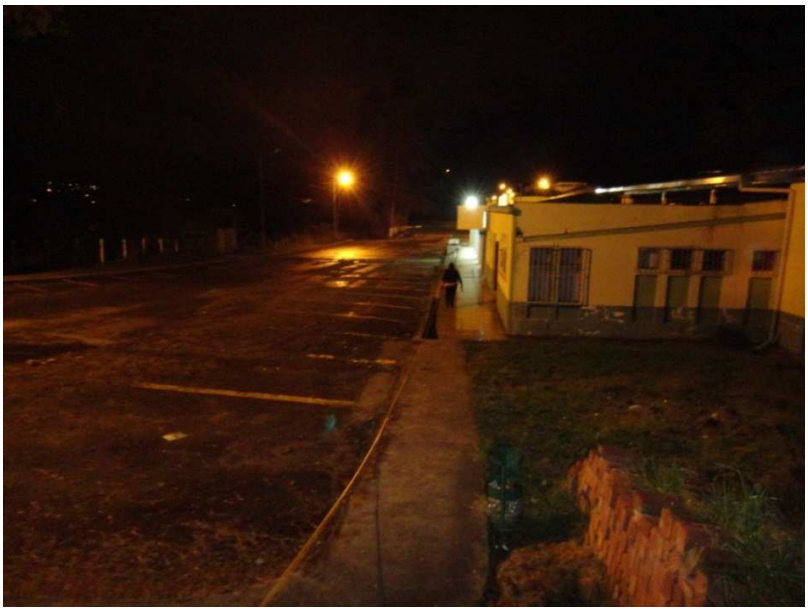


Fig.47. *Fotografía franja escogida*

Fig. 48. *Fotografía de un carril de la franja escogida*

d.13.1.1. DATOS DE LA ESTRUCTURA DE LA FRANJA

d.13.1.1.1. Altura de montaje

La altura a la cual están ubicadas las luminarias varía de acuerdo a los requerimientos de iluminación que se han considerado para su diseño en las diferentes zonas del lugar de la vía de acceso en estudio de la Universidad Nacional de Loja, esta varía entre 9.5m y 11.3m.

d.13.1.1.2. Distancia entre puntos de luz

La distancia promedio entre postes de la avenida es de 40m.

d.13.1.2. Lámparas instaladas

- Sodio a Alta presión de 400 W con balasto de control de doble nivel de potencia.
- Mercurio 250W.

d.13.1.3. Resultados de la medición del flujo luminoso en el campo

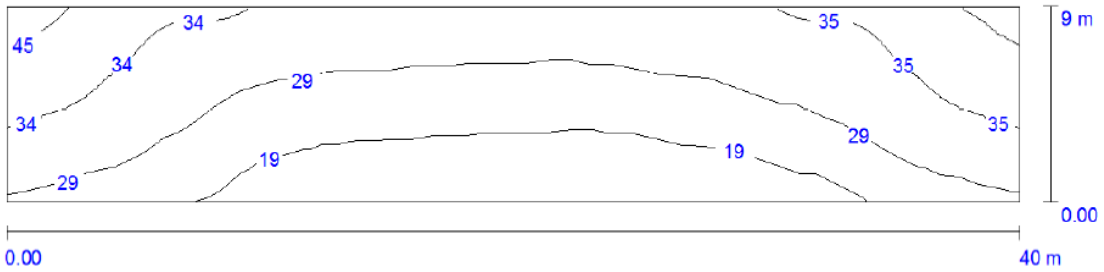


Fig. 47. Resultados de la medición de flujo luminoso en el campo

d.13.1.4. Simulación de la franja bajo condiciones actuales

d.13.1.4.1. GELIGHTING - BRISA HPS400W Pos 4A / Hoja de datos de luminarias

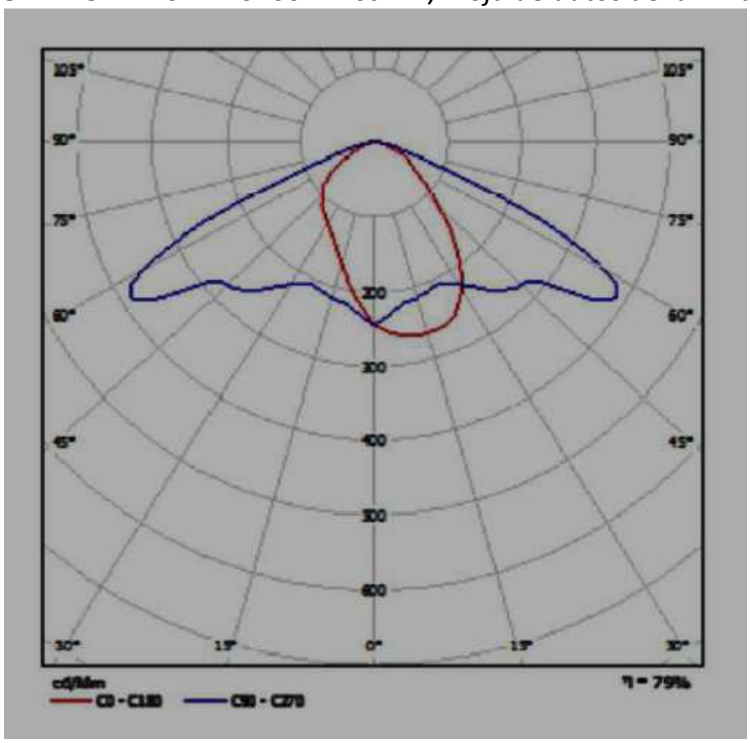


***Fig. 48**. Hoja de datos de luminaria: GELIGHTING - BRISA HPS400W*

d.13.1.4.2. Rendering 3D

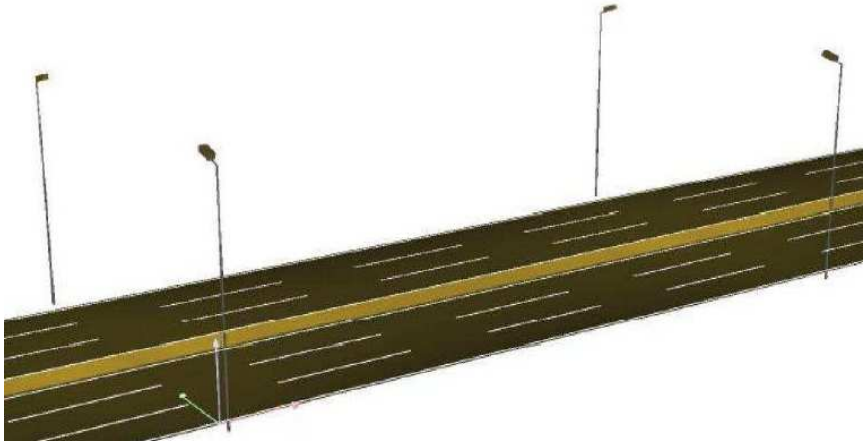


***Fig. 49**. RENDERIZADO 3D LIMINARIAS EN CONDICIONES ACTUALES*

d.13.1.4.3. Recuadro de evaluación Calzada 1 & Calzada 2 / Isolíneas (E)

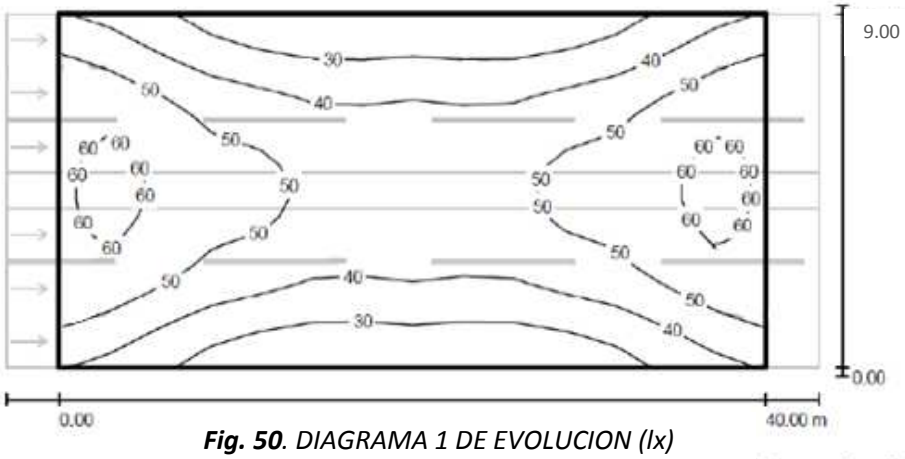


***Fig. 50**. DIAGRAMA 1 DE EVOLUCION (lx)*

alores en Lux, Escala 1 : 329

Trama: 14 x 21 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
44	21	65	0.467	0.318

d.13.1.4.4. Recuadro de evaluación Calzada 1 & Calzada 2 / Isolíneas (L)

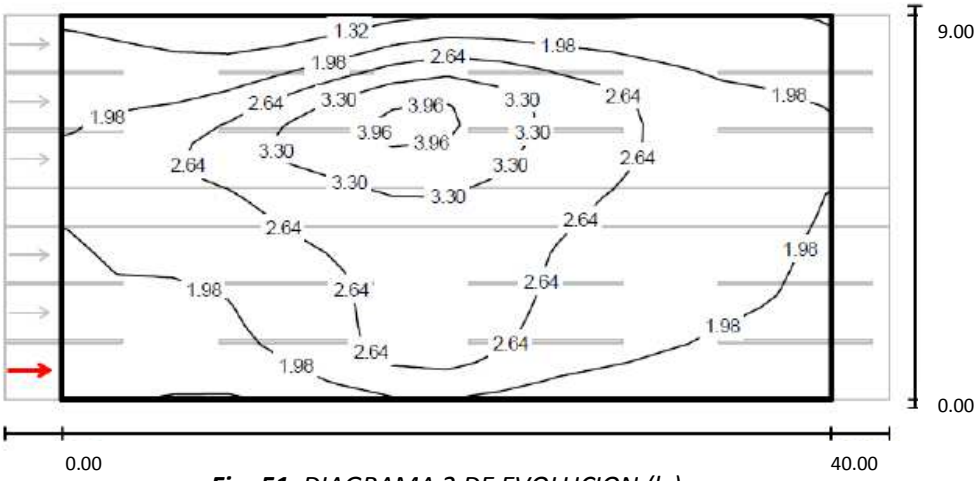


***Fig. 51**. DIAGRAMA 2 DE EVOLUCION (lx)*

Valores en Candela/m², Escala 1 : 329

Trama: 14 x 21 Puntos
Posición del observador: (-60.000 m, 1.500 m, 1.500 m)
Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Valores reales según cálculo:	2.33	0.41	0.56	3

d.13.1.5. Comparación de resultados medidos y simulados.

Los resultados de la simulación difieren en aproximadamente del 30% al 40% con los resultados medidos en el campo, esto se debe principalmente a dos factores importantes; las luminarias del Área de la energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja han sido reemplazadas una a una no en su totalidad ni tampoco con el estudio energético necesario para el respectivo reemplazo.

Como se analizó en capítulos anteriores, estos años de funcionamiento han mermado sus características originales a un rango aproximado del 67% de su "Rated Lumen Output". El objetivo de realizar medidas en el campo y compararlas con los valores simulados, es tener una idea mucho más clara de la realidad de la instalación y verificar que los errores que se están cometiendo mediante el uso del software, no son muy elevados.

d.13.1.6. Investigación de la lámpara de reemplazo.

Se analizará en adelante dos casos de reemplazo, la lámpara de sodio a alta presión de 400 W frente a la lámpara de inducción de baja frecuencia de 200 y 250 W para analizar cuál de las dos es más apta para el reemplazo.

6.3.1.7. Simulación de la franja bajo condiciones de reemplazo.

Los softwares de simulación usados para iluminación no son diseñados para tomar en cuenta parámetros de calidad de reproducción del color y estos siempre realizan sus cálculos dentro de la región fotópica de la visión, por lo cual los resultados obtenidos se presentan en desventaja hacia las lámparas de inducción, las cuales iluminan dentro de la visión mesópica, es decir tanto en la región fotópica como en la región escotópica de la visión. El datasheet de las luminarias de inducción se presenta en el ANEXO 10.

d.13.1.7.1. MHTLIGHTING MHT-RW-200E / Hoja de datos de luminarias.

Flujo luminoso (Luminaria)	11249 lm
Flujo luminoso (Lámpara)	16834 lm
Potencia de las luminarias	210,4 W
Valores máximos de la intensidad lumínica	
con 70°:	114 cd/klm
con 80°:	75 cd/klm
con 90°:	34 cd/klm

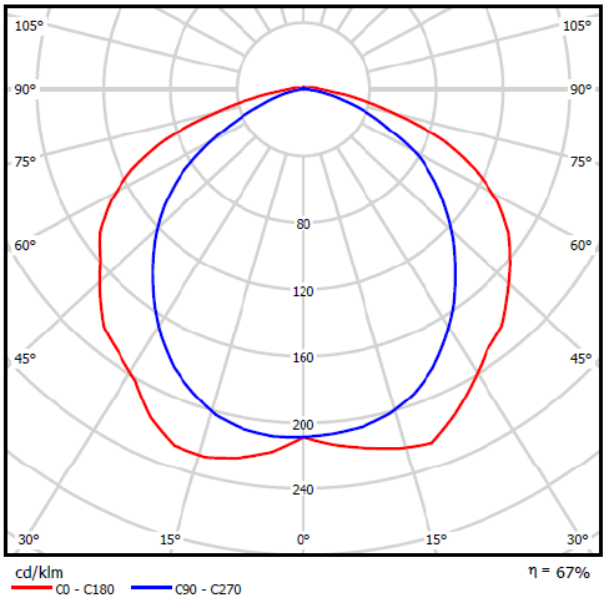


***Fig. 52**. DIAGRAMA POLAR /Hoja de Datos Luminarias*

6.3.1.7.2. Rendering 3D

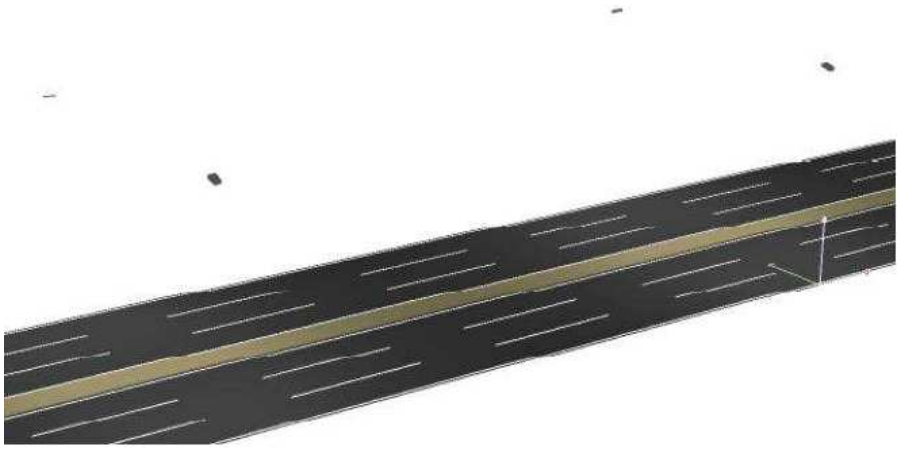


***Fig. 53.** RENDERIZADO 3D /Hoja de Datos Luminarias*

6.3.1.7.3. Recuadro de evaluación Calzada 1 & Calzada 2 / Isolíneas (E)

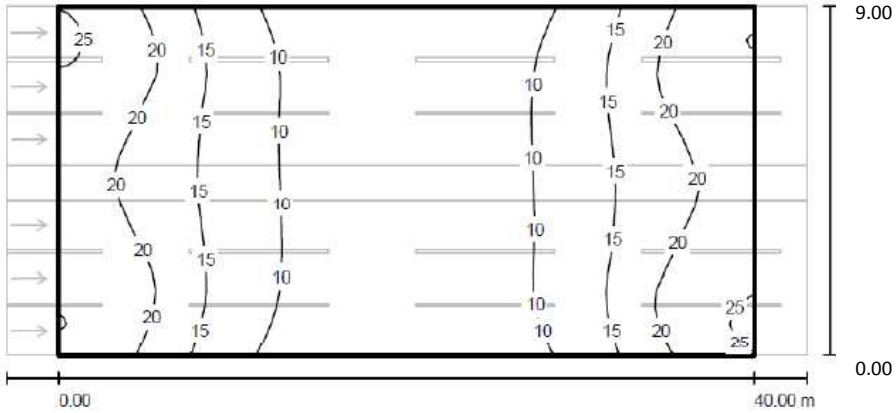


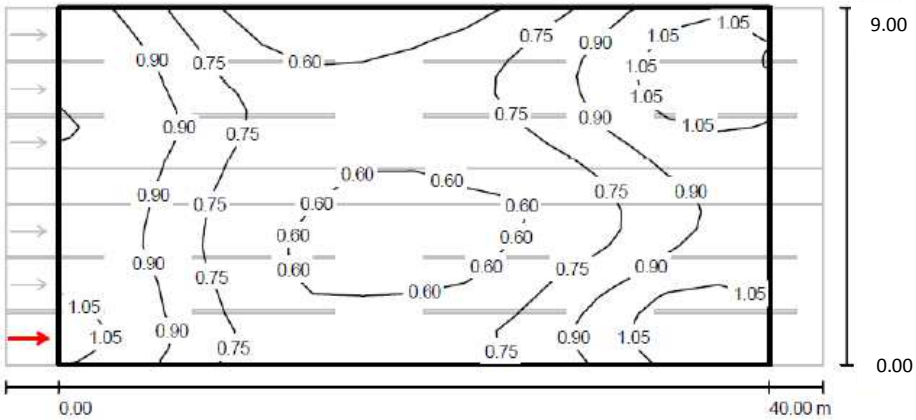
Fig. 54. *Evaluación Calzada 1 & Calzada 2 / Isolíneas (E)*

Valores en Lux, Esc

Trama: 14 x 21 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
14	6.19	25	0.445

d.13.1.7.4. Recuadro de evaluación Calzada 1 & Calzada 2 / Observador 1 /Isolíneas (L)



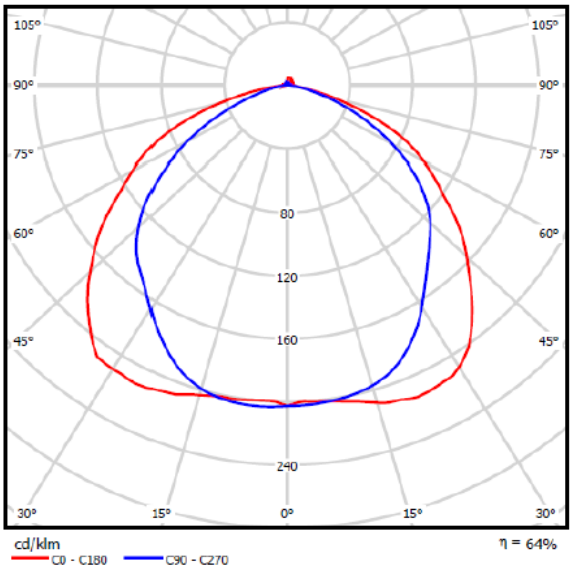
Valores en Candela/m², Escala 1 : 329

Trama: 14 x 21 Puntos
Posición del observador: (-60.000 m, 1.500 m, 1.500 m)
Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	Ul	TI [%]
Valores reales según cálculo:	0.80	0.59	0.54	7

Fig. 55*. Evaluación Calzada 1 & Calzada 2 / Observador 1 /Isolíneas (L)*

d.13.1.7.5. MHTLIGHTING MHT-RW-250E / Hoja de datos de luminarias



Flujo luminoso (Luminaria)	12750 lm
Flujo luminoso (Lámpara)	19875 lm
Potencia de las luminarias	263W

Valores máximos de la intensidad lumínica

con 70°:	114 cd/klm
con 80°:	67 cd/klm
con 90°:	24 cd/klm

***Fig. 56**. Hoja de datos de luminarias/ MHTLIGHTING MHT-RW-250E*

d.13.1.7.6. Rendering 3D.

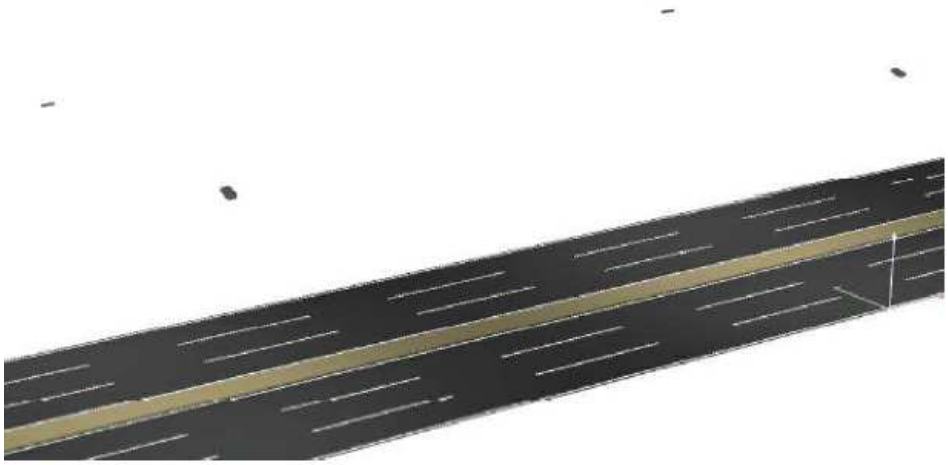
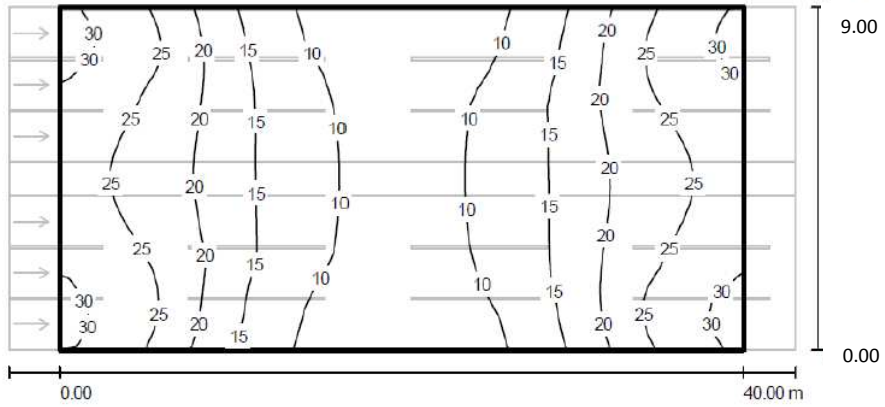


***Fig. 57**. Rendering 3D*

d.13.1.7.7. Recuadro de evaluación Calzada 1 & Calzada 2 / Isolíneas (E)



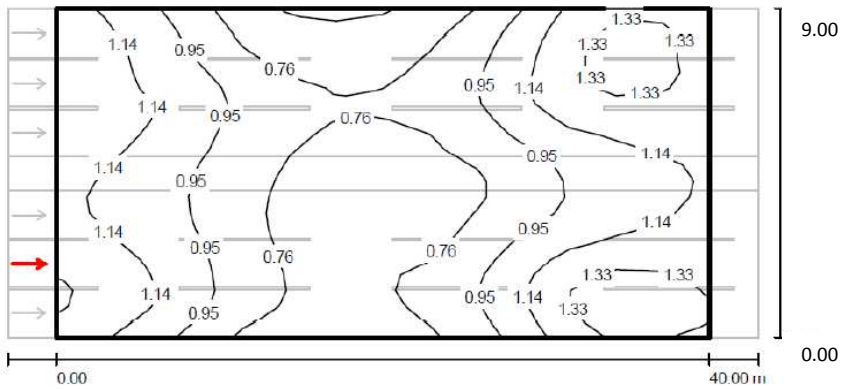
Valores en Lux, Escala 1 : 329

Trama: 14 x 21 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
18	6.91	31	0.394	0.226

***Fig. 58**. Evaluación Calzada 1 & Calzada 2 / Isolíneas (E)*

d.13.1.7.8. Recuadro de evaluación Calzada 1 & Calzada 2 / Observador 2 / Isolíneas (L)



Valores en Candela/m², Escala 1 : 329

Trama: 14 x 21 Puntos
Posición del observador: (-60.000 m, 4.500 m, 1.500 m)
Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	Ul	TI [%]
Valores reales según cálculo:	0.98	0.57	0.55	4

d.13.1.8. Comparación de resultados simulados

Los resultados de las simulaciones con los parámetros más importantes en comparación a los estándares de la norma CIE se resumen a continuación:

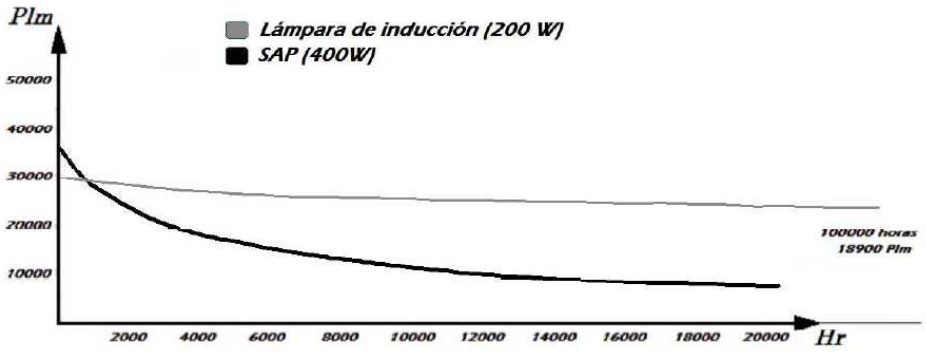
	Lprom	***U_o***	***U_l***	***Tl***	***E_m***	***E_{min}***	***E_{max}***	***E_{min}/E_{max}***	***E_{min}/E_m***
	Cd/m^2	***≥ %***	***≥ %***	***≥ %***	***lx***	***lx***	***lx***		
Norma	***2***	***40***	***50***	***10***					
Sodio 400w	*2.33*	*0.41*	*0.56*	*3*	*44*	*21*	*65*	*0.318*	*0.467*
Inducción 200 w	*0.8*	*0.59*	*0.54*	*7*	*14*	*6.19*	*25*	*0.247*	*0.445*
Inducción 250w	*0.98*	*0.57*	*0.55*	*4*	*18*	*6.91*	*31*	*0.226*	*0.394*

***Realizado por**: Soledad Pinos*

Tabla 23. Comparación de resultados simulados

Como se puede observar la lámpara de inducción electromagnética de baja frecuencia cumple con la norma, exceptuando el parámetro del cual es el que causa controversia.
Lo que es necesario tomar en cuenta son los factores que determinan la calidad de la iluminación frente a la cantidad de iluminación; la reproducción del color, el desempeño de las lámparas de inducción tanto en la región fotópica como escotópica de la visión humana, es decir, la calidad de la visión en condiciones tanto de poca luz como de moderada iluminación son factores determinantes que califican a la calidad de la iluminación.

Si bien las lámparas de inducción electromagnética no cumplen con la norma en lo que se refiere a luminancia, estas mantendrán esta misma luminancia por mucho más tiempo dentro de un rango aceptable de buena iluminación en calidad y calidad, en comparación con las lámparas de sodio a alta presión, las cuales pierden sus características iniciales en muy corto tiempo como se puede observar en la figura.

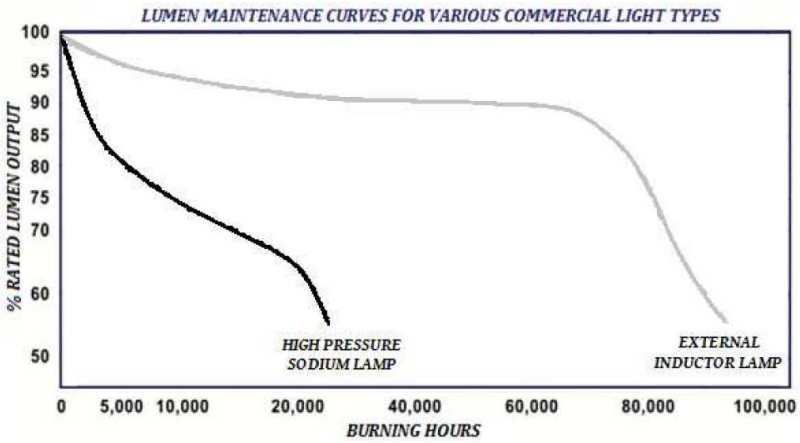


***Fuente:** Cape Cod Cooperative Extension*

Fig. 60. Mantenimiento de lúmenes pupila Inducción Externa vs SAP

El análisis llevado a cabo con ayuda de las simulaciones no ha tomado en cuenta la calidad de reproducción del color y como se mencionó anteriormente el rango de visión

escotópica que cubren las luminarias de inducción no se ve contemplado en las simulaciones, por tanto no se están tomando en cuenta las ventajas y desventajas absolutas.



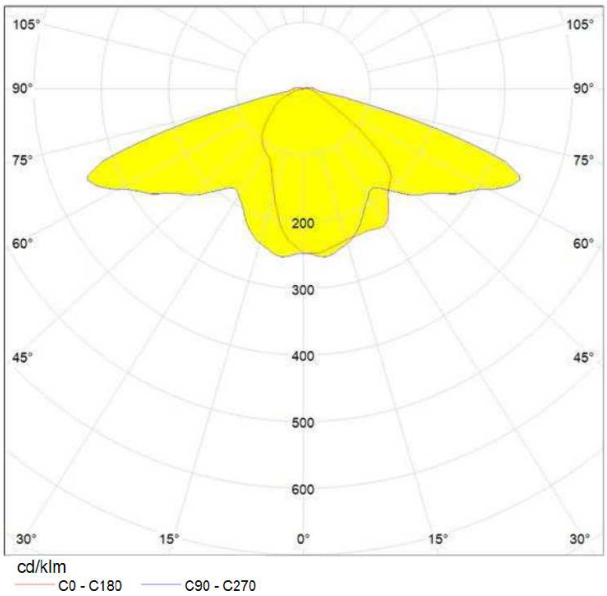
Fuente: *Cape Cod Cooperative Extension*

Fig. 61. Mantenimiento de luminancia Inducción Externa vs SAP

d.13.1.9. Fotometría Inducción vs SAP

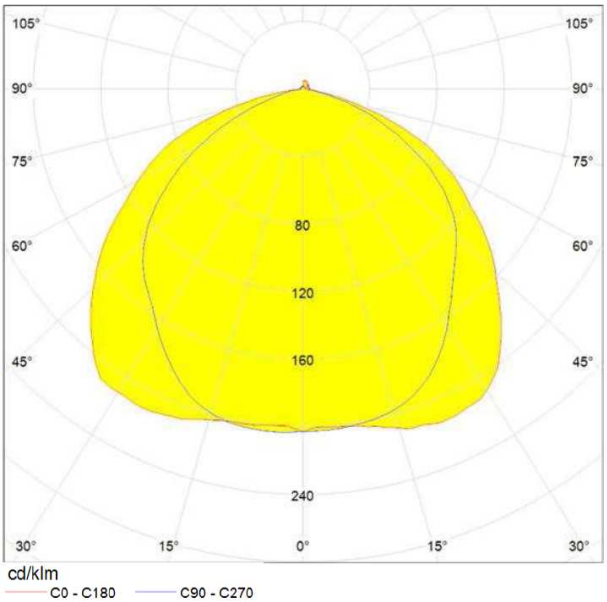
En alumbrado público la fotometría cumple un papel muy importante, la separación entre postes y la ubicación de estos son determinados indispensablemente por la fotometría, es por esto que merece un análisis particular.

La fórmula que determina la luminancia real de las lámparas $I_{real} = \Phi_{lámpara} \frac{I_{gráfico}}{1000}$, la cual toma en cuenta la eficiencia en lm/w de las lámparas que para las de sodio AP y de inducción externa son 130 lm/w y 90 lm/w respectivamente (las fotometrías solamente representan los Lm y no los lúmenes pupila PLM) y además que la potencia que se ha escogido para las lámparas de inducción es la mitad de las de sodio, un análisis de este tipo no tendría gran nivel comparativo, debido a las diferencias entre las dos, pero didácticamente se va a tomar en cuenta que la gran cantidad de lúmenes de las lámparas de SAP se ve compensada por la alta calidad de iluminación de las lámparas de inducción externa, por lo tanto se realizará una comparación objetiva de las fotometrías de estas dos lámparas.



***Fuente**: DIALux*

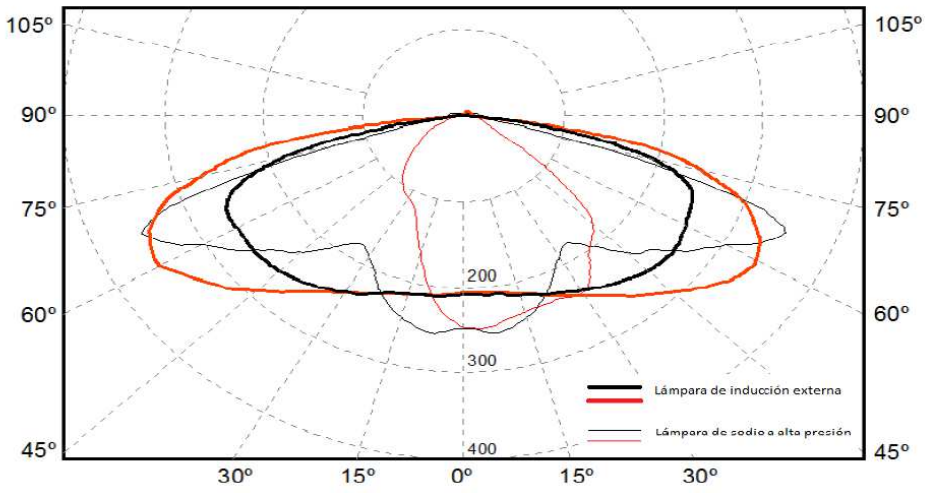
Fig. 62. Fotometría lámpara de inducción AP



Fuente: Resultados de análisis en programa DIALux

Fig. 63 Fotometría lámpara de Inducción E

Como se observa en las dos figuras anteriores, la fotometría de las dos lámparas se encuentra en diferentes escalas de visualización, a continuación se colocan las gráficas en la misma escala y se las superpone para así tener la capacidad de comparación.

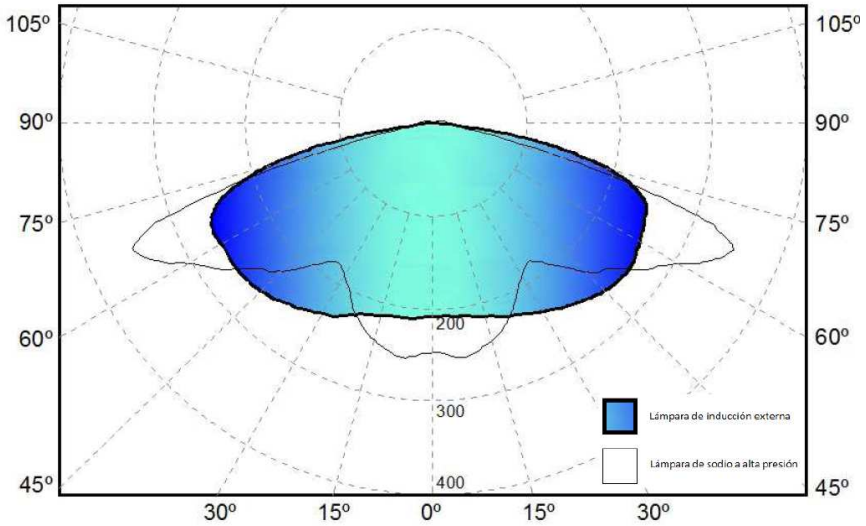


Fuente: *DIALux*

Fig.64. Fotometría Inducción externa vs SAP

Por la dificultad de analizar el gráfico anterior, se ve la necesidad de separarlo para cada uno de los ángulos de visión de las curvas.

d.13.10. Fotometría Inducción externa vs SAP (C90°-C270°)



Fuente: *Resultados de análisis en programa DIALux*

Fig. 65. Fotometría Inducción externa vs SAP (C90°-C270°)

d.13.11. Fotometría Inducción externa vs SAP (C0°-C180°)

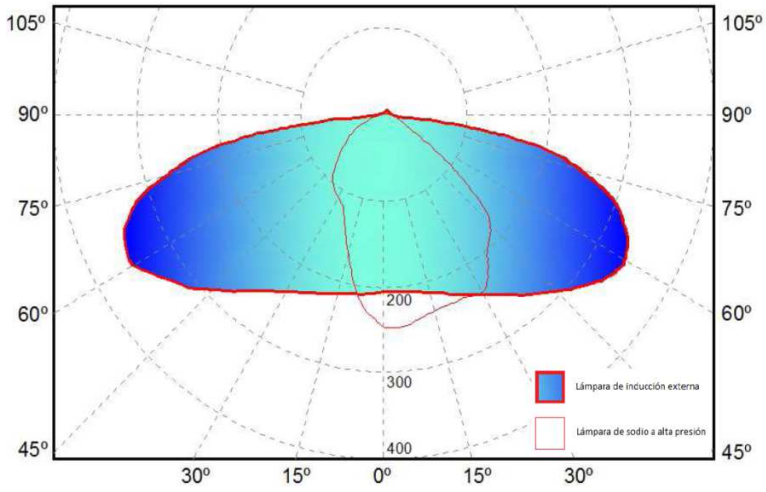


Fig.66. Fotometría Inducción externa vs SAP (C0°-C180°)

d.14. CONTROL

Debido al gran consumo de energía eléctrica del alumbrado público, cualquier control que se realice se ve reflejado en grandes ahorros; actualmente el control utilizado para las lámparas de sodio a alta presión en la franja analizada y generalmente en gran parte del Distrito es el de "doble nivel de potencia", el cual disminuye la potencia de las lámparas hasta un 60% en las horas cuando no es mucha su exigencia.

Este control fundamentalmente consiste en una reactancia electromagnética que se caracteriza constructivamente por tener dos bobinados en serie. Uno de ellos (el principal) proporciona la corriente y potencia nominales a la lámpara.
Cuando se desea obtener una reducción de iluminación se conecta el otro bobinado de forma que aumenta la impedancia, disminuyendo así la intensidad y potencia en la lámpara, con lo cual se disminuye el flujo luminoso

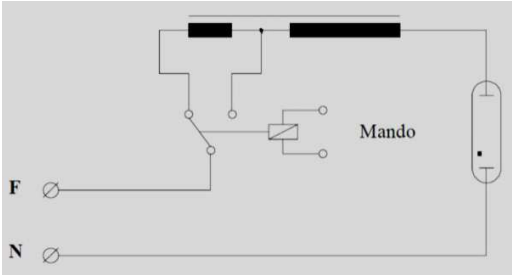


Fig.67. Control doble nivel de potencia.

En el caso de las lámparas de inducción este tipo de controles no es necesariamente el más adecuado, ya que el balasto electrónico y las características de las lámparas de inducción permiten una regulación gobernada por sistemas "inteligentes".

Existen 2 métodos principales para controlar las lámparas de inducción

- Regulación a través del interruptor (fotocélula), protocolo de comunicaciones de dos vías, a través de Power Line Carrier (PLC) o Wireless
- Regulación a través del interruptor
- La función de regulación de la iluminación de inducción es una función que puede ser controlada mediante una señal analógica 0-10V.

La característica de atenuación, sin embargo requiere una señal separada de baja tensión (0-10V) analógica aparte de la de la señal DC que, cuando se aplica a la reactancia, se reducirá la energía y la salida de luz a niveles pre-programados.
La señal de DC puede ser provista directamente por un interruptor a distancia o en un circuito separado dedicado de bajo voltaje, que puede controlar varias luces a través de un solo interruptor.

d.14.1. CONTROL INTELIGENTE

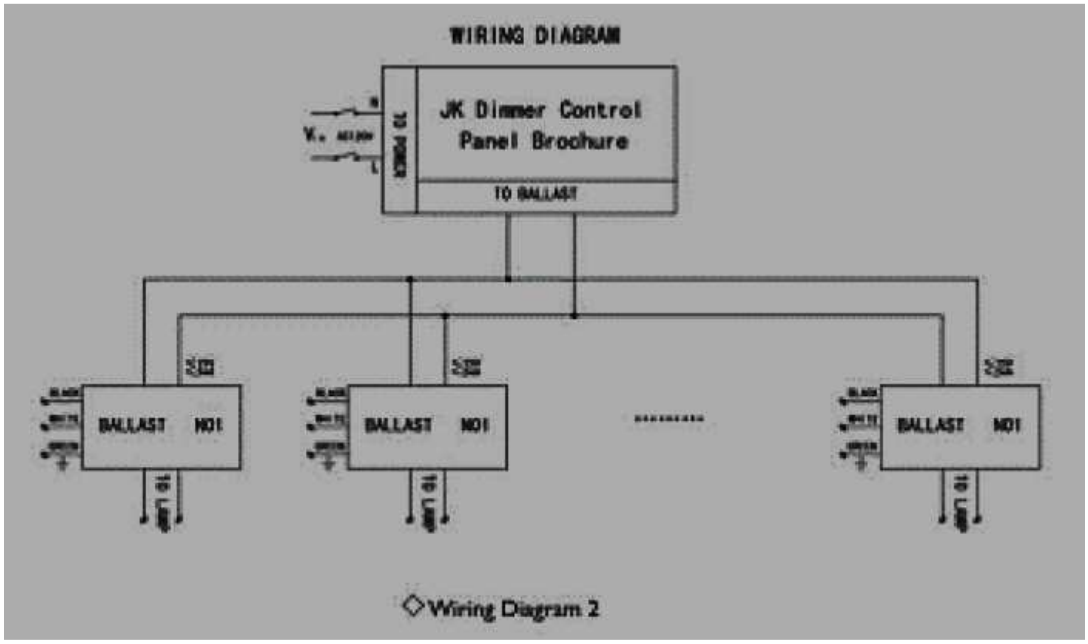


Fig. 58. Protocolo de Comunicaciones de dos vías

d.14.1.1. Protocolo de Comunicaciones de dos vías

Los controles mediante el protocolo de comunicaciones de 2 vías se puede lograr a través de una variedad de métodos, incluyendo Power Line Carrier (PLC) y Wireless.
La misma baja tensión del circuito que maneja el dimmability del balasto electrónico también lleva la comunicación de 2 vías de un dispositivo de control.
Esta comunicación no sólo permite al usuario controlar las luces a distancia
(on/off, dim) a través de aplicaciones basadas en PC, sino también puede proporcionar las siguientes funciones avanzadas:

- Cambiar la configuración y poner en práctica nuevos diseños.
- Los balastos se pueden comunicar de forma proactiva de nuevo al administrador de la aplicación brindando información sobre el estado de la lámpara, reduciendo los costos de mantenimientos innecesarios y costos de los servicios eléctricos.

A continuación se muestra un ejemplo de una aplicación de Alumbrado Público mediante el protocolo de controles inteligente más usado a nivel mundial basado en tecnología LonWorks para aligerar la carga de sus farolas de energía y reducir sus costos.

Muchas ciudades están mejorando sus tecnologías de alumbrado público a las luminarias de inducción y de LED, sin embargo, entre la inversión inicial de luces
LED y sus controles, la inversión es hasta 3 veces mayor que la de las luminarias de inducción. La inducción totalmente controlable que posee la capacidad de comunicación de dos vías es una buena alternativa con una menor necesidad de inversión.

d.14.1.2. SmartServer

El SmartServer, combinado con balastos electrónicos basado en la tecnología LonWorks, es la piedra angular de los sistemas de iluminación inteligentes alrededor del mundo.
La manera más avanzada de control y comenzando a lo que actualmente se denomina como “Smart Grids” en lo que se refiere a alumbrado público son los
Smart Servers los cuales poseen la facilidad de comunicación con la red de alumbrado público mediante power line.

d.14.1.2.1. Equipos de comunicaciones

Las funcionalidades de comunicación son:

- Realizar una configuración horaria de encendido y apagado.
- Almacenar diariamente informes y datos del estado de los equipos.
- Detectar sabotajes.
- La comunicación vía MODBUS con analizadores de redes.
- Gestionar las comunicaciones con la red de alumbrado público mediante acoplador trifásico.

- Permite la comunicación de los cuadros de control con los centros de supervisión a través de Ethernet, Wimax, Wifi, GPRS/3G.
- En caso de fallo el sistema continuará su funcionamiento, encendiendo automáticamente (modo noche) las luminarias al máximo de su potencia, pero sin realizar ninguna regulación.

Cada par de luminarias de inducción en la red de alumbrado público incluye un aparato de control que se ha integrado con uno de nuestros transceptores de línea de alimentación inteligentes. Esto le permite detectar automáticamente los fallos de la lámpara, la luz tenue en incrementos porcentuales, y reportar estadísticas vitales como la energía consumida, horas de funcionamiento de la lámpara, voltaje, corriente y temperatura de lastre.
Por ejemplo, las luces de inducción pueden parpadear en una secuencia predeterminada para ayudar a enrutar el tráfico de emergencia o ayudar al personal de respuesta de emergencia a localizar una escena de un accidente con mayor rapidez.

d.14.1.2.2. Gestionar con el software de host basada en Web.

Se tiene la capacidad de controlar toda la red mediante el uso de un software por medio de la Web, estos pueden ser proporcionados por varios fabricantes para obtener el entorno gráfico más adecuado a las necesidades, los cuales ofrecen un entorno muy visual para ayudar al personal de la ciudad a gestionar las comunicaciones WAN, es posible comprobar el estado del sistema, aumentar a más redes y mantener el control de todo mediante el mismo software para así recoger, organizar y almacenar datos.
Ellos también se extienden a aplicaciones de alto nivel, para su uso con bases de datos de servicios, facturación, notificación, gestión de energía y otros sistemas existentes.

El beneficio más notable es el ahorro de energía eléctrica, las lámparas de una red inteligente de iluminación de calles se adapta a los niveles de luz para satisfacer requisitos de tiempo real atenuar las luces de acuerdo a un calendario preestablecido o en respuesta a los fenómenos meteorológicos, como un aumento en la densidad de nubes.

d.15. IMPACTO AMBIENTAL.

A gran escala, el uso de iluminación de inducción se puede equiparar a la plantación de hectáreas de árboles, la eliminación de miles de coches de las carreteras, el ahorro de gas natural, y la reducción de la demanda de petróleo. Aunque el impacto inmediato de Ahorro de Energía es claro para todos, desde el punto de vista financiero y ambiental, hay muchos aspectos por tener en cuenta sobre una fuente de luz que dura más de 100.000 horas.

- Menor número de reemplazos y por ende menor uso de materiales en lámparas y balastos.
- Menos viajes de barcos y camiones para entregar los productos.
- Menos BTU usado para el enfriamiento de las lámparas.
- Menor uso de mercurio siendo éste una amalgama sólida que se recicla con facilidad. Los materiales constructivos de las lámparas de inducción (aluminio y vidrio) llegan a ser mucho más reciclables que los mismos LEDs, llegando hasta un efectivo del 98%.

Fig. 69. Luminaria de inducción externa de baja frecuencia

d.16. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

La tecnología de inducción para iluminación es fácilmente adaptable a los entornos actuales (en caso de sustitución de otras lámparas) mediante el aprovechamiento de los ya existentes puntos de montaje, cableado e infraestructura.

En cuanto a su mantenimiento, es ampliamente conocida la poca necesidad de este para el caso de las lámparas de inducción.

e.- MATERIALES Y MÉTODOS

e.1. EVALUACIÓN FINANCIERA

Este documento describe la evaluación financiera de proyectos de reemplazo de equipamiento de alumbrado en la vía pública, que implican la renovación de luminarias en uso, sin cambios en la capacidad y calidad de los servicios de iluminación que éstas prestan. Por ello, la formulación y evaluación de nuevos proyectos de alumbrado público queda fuera del alcance de esta versión metodológica. En particular, este estudio ha sido elaborado con el objetivo principal de proveer los elementos necesarios para decidir sobre el reemplazo de equipos por alternativas más eficientes energéticamente en el marco del mejoramiento de la eficiencia energética del alumbrado público.

e.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE PROYECTO

En los proyectos de alumbrado público pueden definirse cuatro tipologías básicas de proyecto.

e.2.1. PROYECTOS DE INSTALACIÓN

Corresponden a la construcción de una nueva red de alumbrado público en un lugar donde el servicio de iluminación era inexistente. Se adquieren e instalan nuevos equipos para la prestación de este servicio. Estos proyectos son evaluados con un criterio de costo-eficiencia.

e.2.2. PROYECTOS DE REPOSICIÓN

Implican la renovación total o parcial de un equipo ya existente, sin cambios de la capacidad y calidad de los servicios de dicho equipo, o con cambios que signifiquen mejorías pequeñas de la capacidad y calidad del servicio. De este modo, no se requiere determinar los beneficios de las situaciones con y sin proyecto, ya que en la comparación se anularían. En este caso los beneficios están dados exclusivamente por las diferencias en los costos totales de ambas situaciones. Notar que esta definición no excluye cambios en las tecnologías empleadas ya que éstos son usualmente introducidos para apuntar a mejoras en eficiencia energética. La clave está en reconocer que, bajo esta caracterización de los proyectos, lo relevantes es considerar los ahorros que estas mejoras tecnológicas generan.

e.2.3. PROYECTOS DE EQUIPAMIENTO

Consisten en la adquisición y/o instalación de nuevos equipos para algún servicio o proceso existente, estos equipos no reemplazan a ningún otro, ya que se adquieren para labores o tareas a ser dotadas de equipamiento por primera vez.

e.2.4. PROYECTOS DE AMPLIACIÓN

Consisten en el aumento de la capacidad del servicio por medio de la adquisición de equipamiento adicional o por medio del cambio tecnológico.

Notar que en los dos últimos no bastará con comparar los costos, sino que además, debido al aumento de capacidad en la situación con proyecto, se generarán beneficios con respecto a la situación sin proyecto. Además, cabe señalar que, en estos casos, los costos de producción y/o mantenimiento podrían incluso aumentar.

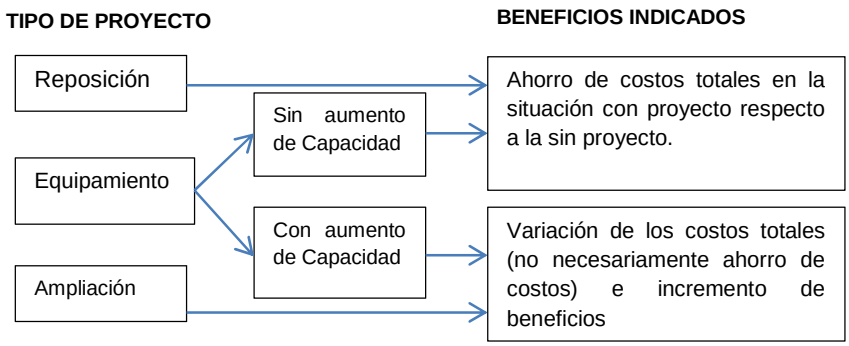


Fig. 70. Cuadro de beneficios de tipos de proyectos

***CP**: Con Proyecto*
***SP**: Sin proyecto*

e.3. IDENTIFICACIÓN DE BENEFICIOS

Los beneficios corresponden al valor que tiene para el país, ejecutar el proyecto, medido conceptualmente a través del aumento del consumo de los bienes y servicios producidos por el proyecto y por la liberación de recursos de los insumos que el proyecto genera.
En el caso de los proyectos que aumentan el nivel de servicio (ampliación y aumento de capacidad), es decir que, entregan una mayor cantidad de bienes y servicios, por ejemplo aumento de los índices de luminosidad, continuidad en la entrega, seguridad de la

programación de producción, los beneficios corresponden al aumento en el consumo de los bienes y servicios.

Por otra parte, en la evaluación de proyectos de reemplazo, **sólo son relevantes los costos entre ambas situaciones. Así, en este tipo de proyecto los beneficios están dados por la liberación de recursos de producción atribuida a la mejora tecnológica.**

En lo que sigue, se identifican una serie de beneficios asociados a los proyectos de reemplazo de alumbrado en la vía pública. Éstos son un grupo de los beneficios potencialmente medibles de este tipo de proyectos; no obstante, existen otros que son usualmente identificados como intangibles, o no cuantificables, tales como armonía del sistema de alumbrado con el paisaje y concientización del problema ambiental.

e.3.1. BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

El uso de tecnologías energéticamente más eficientes disminuye el consumo de energía eléctrica y nivel de potencia contratada para un mismo o mejor nivel de iluminación. Además, las características constructivas mejoradas de las alternativas que incorporan elementos de eficiencia energética aumentan la vida útil de los equipos al quedar éstos mejor protegidos al efecto de vientos, contaminación ambiental, variación de temperaturas y otros efectos ambientales que deprecian más rápidamente los equipos. De este modo es posible alargar los intervalos de tiempo requeridos para reemplazar componentes o piezas de éstos.

e.3.2BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que contribuye al fenómeno del cambio climático en la medida que se genere un aumento del efecto invernadero por sobre su valor normal, representa una externalidad negativa asociada a los proyectos de alumbrado público. La relación entre los GEI y los sistemas de iluminación, se da a través del consumo que estos últimos hacen de energía generada a partir de combustibles altamente contaminantes como carbón y otros combustibles fósiles. Es así como, una alternativa de proyecto que tenga asociada una disminución en el consumo de electricidad, podrá reconocer beneficios por ahorro en emisión de GEI.

e.3.3. BENEFICIOS POR DISMINUCIÓN DE CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La contaminación lumínica" es la emisión de flujo luminoso de lámparas, luminarias, reflectores, etc., en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se instalan las luces. Aumenta el brillo del cielo nocturno, por reflexión y difusión de la luz artificial en los gases

y en las partículas del aire alterando su calidad y condiciones naturales hasta el punto de hacer desaparecer estrellas y demás objetos celestes".

Chile es el único país en el mundo que cuenta con una Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica que busca prevenir este problema en los cielos nocturnos. Más aún, la contaminación lumínica es una externalidad negativa generada por proyectos de iluminación que puede también tener efectos sobre la visión del cielo nocturno, turismo astronómico, entre otros.
Por esto, proyectos que eviten o disminuyan la emisión de luz hacia el cielo por medio del uso de luminarias y sistemas adecuados, podrán incorporar beneficios por ahorro en contaminación lumínica generada.

e.3.4. BENEFICIOS TOTALES

Los beneficios indicados anteriormente corresponden básicamente a liberación de recursos, los que desplazan la curva de oferta hacia la derecha y abajo. Sea la curva de oferta de iluminación de la situación sin proyecto, el equilibrio se encuentra en el punto *C*, con un nivel de consumo $q^{sp} = q$ y un precio p^{sp}. La mejora tecnológica se traduce en una reducción de los costos marginales de producción, representados por la curva de oferta. Ésta se traslada a *s`* y el nuevo punto de equilibrio se encuentra a un precio más bajo p^{cp}, para el mismo nivel de consumo $q^{cp} = q$ (el nivel de servicio de iluminación permanece constante).

En la figura, se representa una curva de demanda perfectamente inelástica (caso extremo), con el supuesto implícito de que el nivel de servicio se mantiene constante.
Tal como se observa, el proyecto sustituye la producción por parte de tecnologías alternativas en la magnitud. Así, el ahorro de costos se mide como la diferencia entre el área bajo la curva de oferta y la curva de oferta, para las unidades que produce el proyecto.
Esto está dado por el área ABCD y corresponde a los beneficios atribuibles al proyecto de reemplazo de luminarias.

Este ejercicio supone que la función de costos incorpora las externalidades negativas que la provisión del servicio de iluminación genera. Por esto, los beneficios que el proyecto genera no vienen sólo por el lado del ahorro de costos directos, sino también por la disminución en las externalidades negativas correspondientes.

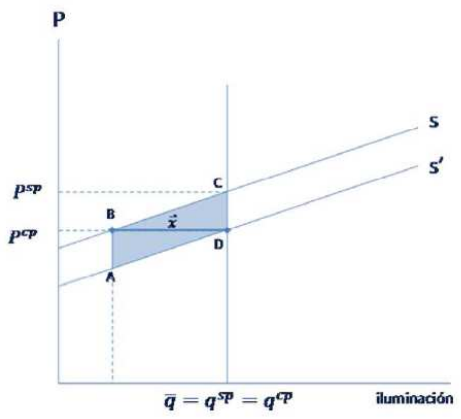


Fig.71. Curva de oferta con y sin proyecto.

e.3.5. CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE BENEFICIOS.

La cuantificación de los beneficios consiste en asignar unidades de medida apropiadas a los beneficios identificados. En este caso, proyectos de reposición de equipamiento sin aumento de capacidad y calidad de servicio, los beneficios están dados exclusivamente por las diferencias en los costos totales (inversión, operación y mantención) entre las situaciones CP y SP. Paralelamente, deberán estimarse los ahorros por externalidades negativas generadas.

e.3.6. AHORRO EN COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Los costos de operación son aquellos que ocurren durante todos los años de vida del proyecto a partir del momento en que los equipos del sistema de alumbrado quedan listos para entrar en funcionamiento. El costo total de operación es igual al costo fijo, que no depende del nivel de iluminación provisto, más los costos variables, que depende de la cantidad de unidades de servicio prestadas. Los costos fijos corresponden a los siguientes.

- Insumos y materiales necesarios para la prestación del servicio de iluminación.
- Remuneración del personal (operarios, profesionales, ayudantes, etc.).
- Gastos generales.
- Los costos variables corresponden a los siguientes:
- Consumo de energía.
- Mantenimiento.

A los fines de la simplificación del análisis y dado que se trata de supuesto con alta probabilidad de ocurrencia, los costos fijos se mantendrán constantes en las situaciones SP y CP, razón por la cual el proyecto no tendrá beneficios asociados al ahorro de costos fijos. No obstante, el proyecto sí tendrá beneficios por menor suministro de energía

requerido y por menores costos de mantenimiento, ya que se espera que las nuevas tecnologías – energéticamente eficientes – tengan a su vez una vida útil más prolongada.

Los costos de mantenimiento de las situaciones SP y CP deben ser determinados en función de un programa de mantenimiento propuesto que debe tener en consideración al menos los siguientes elementos:

- Vida útil de la lámpara.
- Depreciación luminosa de la lámpara.
- Ensuciamiento de la luminaria en función de su hermeticidad y costo de limpieza.
- Grado de contaminación atmosférica de la zona en que se encuentra la instalación.
- Pintado de los soportes.
- Revisión e inspección de los circuitos eléctricos de la instalación.
- Revisión, inspección, limpieza, asistencia, conservación y reemplazo de sustitución de los componentes instalados.
- Intervalo y costo de reemplazo de los componentes del sistema de iluminación.

La información de costos es generalmente proporcionada por las mismas empresas que venden o reparan los componentes del sistema de alumbrado. Puede especificarse como un porcentaje del valor inicial del equipo y generalmente los gastos de mantención crecen a medida que el equipo se hace más antiguo.

e.3.7. CUANTIFICACIÓN DE LA ENERGÍA/POTENCIA CONSUMIDA.

Para determinar el ahorro debe estimarse el consumo de energía eléctrica en las situaciones CP y SP de acuerdo a lo siguiente:

$$e_k = \frac{n_k * P_l}{P_k} * h$$

$\boldsymbol{e_k}$: es la energía anual consumida por las luminarias tipo k para un nivel de potencia dado (kWh/año).
$\boldsymbol{n_k}$: es el número de luminarias tipo k.
$\boldsymbol{P_l}$: es la potencia total del conjunto de luminarias tipo k (KW).
$\boldsymbol{P_k}$: es la potencia de la luminaria (W). Ésta considera la potencia de la lámpara además del consumo de todo el equipo eléctrico necesario para que la luminaria funcione correctamente.
$\boldsymbol{h}$: son las horas anuales de uso de la luminaria.

e.3.8. VALORIZACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO

Para valorar el ahorro de energía deberá aplicarse la siguiente ecuación:

$$A_e = T_{pe} * \Delta_e$$

$\boldsymbol{A_e}$: Es el ahorro en consumo de energía ($/año).
$\boldsymbol{T_{pe}}$: Es el cambio en la tarifa cobrada por la distribuidora de energía ($/KWh).
$\boldsymbol{\Delta_e}$: Es el cambio en la energía consumida (KWh/año) en la situación CP relativo a la situación SP.

e.3.9. AHORRO EN CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

El caso de la contaminación lumínica requiere ahondar en técnicas de estimación indirectas, ya que no existe un mercado asociado a ésta que pueda ofrecer una referencia sobre el valor que las personas asignan a los ambientes libres de contaminación lumínica (o con contaminación lumínica reducida) a partir de los precios observados en éste.

Así, el método de la valoración contingente surge como un método apropiado para valorar bienes sin mercado. La valoración contingente es un método de preferencias declaradas que se basa en la información que proporcionan las propias personas cuando se les pregunta sobre la valoración del objeto en análisis y captura el valor de no uso de un cielo sin contaminación lumínica, debido a la complejidad de realizar una encuesta de este tipo y de los recursos necesarios, quedará solamente citada pero no incluida en los cálculos referentes a este estudio.

e.3.10 CUANTIFICACIÓN DE BENEFICIOS POR MENOR DISPOSICIÓN DE LÁMPARAS CONTAMINANTES.

Para medir los beneficios generados por una menor disposición de lámparas o aparatos de alumbrado contaminantes hay que considerar que no todos poseen elementos tóxicos, y un estado unificado de los mismos, variando con esto la forma en que debe ser realizada su disposición final. Las ampolletas que contienen mercurio deben ser dispuestas en rellenos de seguridad para residuos peligrosos.
Aquellas que no contienen mercurio, son desechadas en rellenos sanitarios y aquellas que contienen mercurio sólido reutilizable necesitan de una cuantificación de los proceso de reutilización.
Es importante señalar que, si bien a la fecha no existe una normativa sobre el ingreso, manejo y disposición de productos que contienen mercurio, en la situación SP se debe

considerar que todas las ampolletas son desechadas de acuerdo a la situación “ideal”. Sólo así se estará definiendo el escenario base como uno optimizado.

El ahorro en costos de disposición final se estima entonces del siguiente modo:

Caso 1. Los aparatos de alumbrado contienen mercurio en la situación con y sin proyecto:

$$A_{DF} = E_{RSeg} * (Q_{SP} - Q_{CP})$$

Caso 2. Los aparatos de alumbrado contienen mercurio sólo en la situación sin proyecto:

$$A_{DF} = C_{RSeg} - C_{RSan} * (Q_{RSeg} – Q_{RSan})$$

A_{DF}: Son los ahorros monetarios generados por menor disposición de aparatos de alumbrado que contienen mercurio.
***E_{RSeg}*:** Es el costo de disponer en un relleno de seguridad una tonelada de aparatos de alumbrado.
Q_{SP}: Son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno de seguridad en la situación sin proyecto.
Q_{CP}: Son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno de seguridad en la Situación con proyecto.
C_{RSan}: Es el costo de disponer en un relleno sanitario una tonelada de aparatos de alumbrado
Q_{RSeg}: Son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno de seguridad.
Q_{RSan}: Son las toneladas de lámparas y tubos a disponer en el relleno sanitario.

Notar que la propuesta de valorización anterior se basa en la cuantificación de unidades de ampolletas o tubos de iluminación utilizados, y no del mercurio liberado al medio ambiente. Este enfoque es una buena aproximación del costo que significa para la sociedad la liberación de mercurio al medio ambiente producto de la disposición de los aparatos de alumbrado público.

e.4. IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN.

Los costos de inversión corresponden a la adquisición de los equipos, incluyendo la inversión total en la compra, puesta en funcionamiento e incorporación de las modificaciones y/o adaptaciones de infraestructura requeridas y las instalaciones complementarias. Corresponde asignar este gasto en el momento inicial del proyecto (llamado momento cero).
La base para la estimación de las inversiones requeridas son en general cotizaciones obtenidas de una o más empresas proveedoras. Algunos elementos a considerar en la estimación de este monto:

- Número de luminarias a reemplazar.
- Costo de adquisición por luminaria.
- Costo de remoción y reemplazo de luminarias existentes. Deben incluirse los costos de transporte y disposición de luminarias en desuso en bodegas municipales o lugar a definir por el Municipio afectado.
- Costo de instalación por luminaria.
- Costo de reemplazo de brazos existentes en postes existentes.
- Reemplazo de brazos existentes por nuevos brazos en postes existentes.
- Suministro e instalación de nuevos tableros de control.
- Costo de reemplazo de lámparas y otros componentes cuya vida útil sea inferior al período de análisis.

Los costos de operación y mantenimiento son aquellos que se debe incurrir periódicamente y que se requieren a efectos de mantener el equipo en buen estado de funcionamiento y para que éste funcione y produzca o entregue los servicios previstos; entre ellos, insumos y materiales, remuneraciones del personal, gastos generales y especialmente la energía consumida.

A los fines de la evaluación socioeconómica, los costos de inversión, operación y mantenimiento deberán ajustarse a precios sociales. Esta corrección se explica en detalle en el capítulo de análisis de rentabilidad.

e.4.1. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.

El análisis de rentabilidad permite estimar los indicadores que servirán de guía para la toma de decisión y recomendación de ejecución del proyecto, su reformulación o su rechazo. La evaluación o valoración de los beneficios del proyecto implica la realización de dos etapas consecutivas: primero, la evaluación a precios privados y luego, la evaluación social.

La **evaluación a precios privados** permite estimar la factibilidad y viabilidad de las inversiones privadas asociadas al proyecto y estimar la pertinencia y conveniencia de establecer mecanismos de transferencias (subsidios o impuestos) cuando el valor actual neto de los beneficios privados es diferente del valor actual neto de los beneficios sociales. Asimismo, la evaluación a precios privados permite identificar la potencialidad de financiamiento del proyecto por parte del sector privado.

La **evaluación social** tiene por objetivo desarrollar el análisis comparado de la conveniencia de realizar el proyecto desde el punto de vista social y considerando todos los propósitos. La evaluación desde el punto de vista de la sociedad puede hacerse a precios de mercado, siempre que dichos precios reflejen adecuadamente la escasez de insumos y productos desde el punto de vista social. En caso contrario, deberían hacerse todos los ajustes correspondientes.

Dado que se trata de estimar la rentabilidad de proyectos que mantienen la calidad y nivel de servicio, sólo será relevante la comparación de costos entre las situaciones CP y SP y los efectos derivados del cambio en la tecnología empleada por los equipos (emisiones de gases y efecto invernadero y contaminación lumínica).

Para establecer el beneficio del reemplazo del equipo por una nueva tecnología, se realiza la actualización a valor presente de todos los costos y gastos en los que interviene.
En tal caso, se compararán alternativas de proyectos que tienen iguales beneficios y que por lo tanto se diferenciarán solamente por los costos. Por ello, debe usarse el **Valor Actual de Costos (VAC)** como indicador para seleccionar la alternativa de mínimo costo.

El VAC corresponde al flujo de costos constante para todos los períodos de la vida útil del equipo y se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$VAC = \sum_{i=0}^{n} \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

VAC: Es el valor actual de los costos.
Ci: Son los costos directos, secundarios e indirectos asociados a la inversión, además de las externalidades derivados de la operación y mantenimiento del equipo durante su vida útil.
r: Es la tasa activa de descuento.
n: Es el horizonte de evaluación del proyecto.

Cuando deben compararse alternativas de proyecto con distinta vida útil y mismo nivel de servicio, el indicador utilizado para compararlas debe ser el Costo Anual

Equivalente (CAE), que se estima de la siguiente forma:

$$CAE = VAC\left[\frac{(1+r)*r}{(1+r)^n - 1}\right]$$

CAE: es el costo anual equivalente.
VAC: es el valor actual de costos.
r: es la tasa activa de descuento.
n: es el horizonte de evaluación del proyecto.

En este caso, la alternativa recomendable es aquella que minimiza el CAE, y para establecer una comparación entre alternativas, se utiliza el beneficio adicional neto (BAN).

$$BAN = CAE_{ACTUAL} - CAE_{PROPUESTO}$$

BAN: es el beneficio adicional neto.
CAE_{actual}: es el costo anual equivalente de la alternativa de mayor costo.
$CAE_{propuesto}$: Es el costo anual equivalente de la alternativa de menor costo.

e.5. LUGAR DE ESTUDIO Y ANÁLISIS

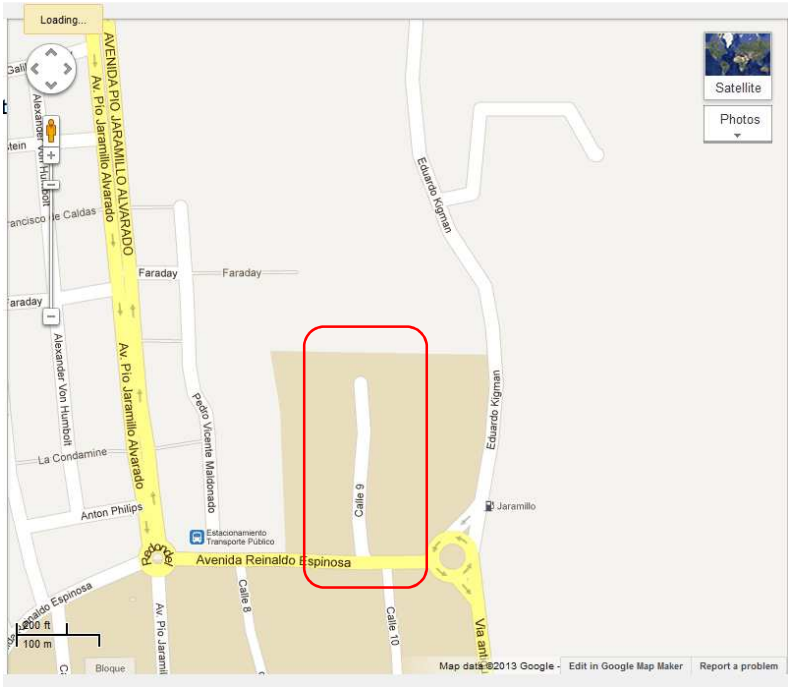


Fig. 72. Universidad Nacional de Loja - Área de la energía, Las industrias y los Recursos Naturales no Renovables

e.6. CONSUMO DE ENERGÍA

La potencia de las lámparas se mantiene en su estado nominal durante 4 horas, desde las 18:30 hasta las 22:30, reduciendo su potencia de consumo hasta un 60 % durante el aproximado de las 8 horas restantes de su funcionamiento, que por lo general termina de 6:00 a 6:30.

Lámpara	Consumo (w) real	Horas a potencia nominal	Horas a potencia reducida	Consumo diario (kwh)	Consumo mensual (kwh)
Sodio a Alta presión	448	4	8	3.94	123.25

***ealizado por**: Soledad Pinos*

Tabla 24. Consumo estimado de energía Sodio AP.

Se toma en cuenta que el funcionamiento de las lámparas de inducción sea similar al de doble potencia, lo cual es posible pero como se mencionó anteriormente, poco

recomendable, debido su perfecta adecuación a sistemas inteligentes, tendremos lo siguiente:

Lámpara	Consumo (w) real	Horas a potencia nominal	Horas a potencia reducida	Consumo diario (kwh)	Consumo mensual (kwh)
Inducción externa de baja frecuencia	262	4	8	2.31	71.47

***Realizado por**: Soledad Pinos*

Tabla 25. Consumo estimado de energía.

e.6.1. AHORRO DE ENERGÍA

Ahorro de energía	
KWh/mes	%
51.77	42.01

***Realizado por:** Soledad Pinos*

e.6.2. COSTOS DE ENERGÍA:

Para determinar los costos de energía por el alumbrado público, se debe aclarar que el 15 de marzo del 2012 el CONELEC deroga los cargos tarifarios aplicados para ese año, donde para la EERSSA por concepto de alumbrado público se destinaba 0.089 $/kWh, pero debido a que para el 2013 se espera definir la tarifa para alumbrado público, el 2012 es determinado como un año transitorio, donde el mecanismo es destinaron porcentaje del valor de la planilla por consumo que para agosto del 2012 es de 7,5%.
Es por este motivo que para el ejercicio se tomará la tarifa del valor de marzo del presente año.

Lámpara	Consumo mensual unitario (KWh)	Costo mensual Energía unitario a ($/KWh)	Costo mensual Energía UNL(sección estudiada)	Costo total de energía al año
Sodio a Alta presión	123.25	10.97	164.55	1 974.60
15 luminarias Inducción externa de baja frecuencia	71.47	6.36	95.40	1 144.80

***Realizado por:** Soledad Pinos*

Tabla 26. Costos estimados de energía

e.7. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO.

Debido a la reducción de la potencia al 60% de todas las lámparas (funcionamiento a doble nivel de potencia), se va a considerar por facilidad de cálculo que la vida útil de estas se ve afectada por esta modalidad de funcionamiento en cada uno de los aspectos que disminuyen mencionada vida útil en un 60% en estas horas, lo cual no es del todo cierto ya que es en el arranque y no en el funcionamiento nominal cuando las cualidades iniciales de las lámparas de descarga se van perdiendo de a poco.

Horas a potencia nominal	Horas a potencia reducida	Equivalente de potencia reducida de horas nominales	Equivalente en horas nominales de consumo diario
4	8	4.8	8.8

Realizado por: *Soledad Pinos*

Tabla 27. Tiempo de Funcionamiento

Equivalente de horas de funcionamiento anual:

$$Ehfa = 8.8\ \frac{horas}{dia} * 365\ \frac{dias}{año} = 3212\ \frac{horas}{año}$$

En la Comisión de Especificación de Equipos y Materiales de la Empresa Eléctrica Regional del Sur se establece que la vida útil de la lámpara de sodio a alta presión no debe ser inferior a 28000 horas, y conociendo que la vida útil promedio de las lámparas de inducción externa es de 100 000 horas consideraremos por facilidades de cálculo un mínimo de vida útil promedio para éstas de 84000 horas.

$$Vida\ util_{sodio\ alta\ presion} = \frac{28\ 000\ horas}{3102.5\ \frac{horas}{año}} = 9.024\ años\ \approx 9\ años$$

$$Vida\ util_{induccion\ E.B.F} = \frac{84\ 000\ horas}{3102.5\ \frac{horas}{año}} = 27.075\ años\ \approx 27\ años$$

e.8. ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS ALTERNATIVAS

En capítulos anteriores se han explicado todos los beneficios, las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de alumbrado público que se consideran en la ciudad de Loja y especialmente en la Zona de estudio y aplicación de la normativa como es el Área de la

Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la UNL; como idóneos para cumplir adecuadamente ésta función.
Se elegirá la alternativa que resulte más redituable al ser comparada entre sí.

e.8.1. SUPUESTOS Y CONDICIONES

Para realizar este estudio se hace necesario establecer varios supuestos en cuanto a los factores que podrían afectar el análisis, entre ellos se encuentra principalmente el costo de mantenimiento y los costos de reposición de cada uno de los sistemas planteados al finalizar su vida útil, para el primero se realizó la estimación de un 16% del costo de la energía en el caso de sodio a alta presión, el 5% para el caso de Inducción y el 3% para el caso de inducción con controles inteligentes, todo esto con ayuda de experiencias de personas inmersas dentro de cada una de las propuestas del sector energético. La asignación de los costos de los postes y demás elementos señalados en este estudio hacen referencia a estructuras destinadas únicamente al alumbrado público.

E.8.2. TASA DE OPORTUNIDAD

Según el Banco Central del Ecuador la Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento productivo empresarial para el mes de junio del 2013 es de 9,56% anual.

f. RESULTADOS

f.1. ESCENARIO 1

Se comparan las instalaciones desde cero de las diferentes alternativas.

f.1.1. Alternativa 1: Instalación con lámparas de sodio alta presión 400W doble nivel de potencia

Esta alternativa contemplara la instalación desde cero del alumbrado público de las instalaciones en estudio, se usará como referencia para los precios unitarios y materiales necesarios, el presupuesto proporcionado por la EERSSA.

f.1.2. Inversión

La inversión para este proyecto es de: $ 69 733.14los detalles de su cálculo se muestran en el ANEXO1.

f.1.3. Sustitución

Al cabo de 9 años como se estimó en el tiempo óptimo de funcionamiento, se debe realizar el cambio de luminarias, para esto se toman en cuenta tan solo los costos de las partes que se deben cambiar, debido a que generalmente los postes y algunos componentes duran aproximadamente 25 años.

Costo por sustitución: **($23 464.93)**

f.1.4. Indicadores Financieros alternativa 1

INDICADOR	SODIO
VAC	**23 464.93**
CAE	1 974.60

Realizado por: *Soledad Pinos*

Tabla 28*. Indicadores financieros alternativa 1*

CAE: costo anual equivalente.
VAC: valor actual de costos.

Detalles del cálculo ANEXO 4.

f.2. ALTERNATIVA 2A: INSTALACIÓN CON LÁMPARAS DE INDUCCIÓN EXTERNA DE BAJA FRECUENCIA 250W

f.2.1. Inversión

La inversión para este proyecto es de: $ **20 142.15** los detalles de su cálculo se muestran en el ANEXO 1, la referencia del proveedor de las lámparas de inducción es Real Time Technology Group Inc.

f.2.2. Indicadores Financieros

INDICADOR	INDUCCION
VAC	20 142.15
CAE	1 144.80

Realizado por: *Soledad Pinos*

Tabla 29*. Indicadores financieros alternativa 2a*

Detalles del cálculo ANEXO 4.

f.3. ALTERNATIVA 2B: INSTALACIÓN CON LÁMPARAS DE INDUCCIÓN EXTERNA DE BAJA FRECUENCIA 250W CON CONTROLES INTELIGENTES

Para este caso se analizara la misma instalación de luminarias de inducción de baja frecuencia pero controladas por medio de Smart Servers.

f.3.1. Control inteligente

El costo del control inteligente con smart servers es de: $ 22 001.91 los detalles de su cálculo se muestran en el ANEXO 1.

f.3.2. Inversión

La inversión para este proyecto es de: $ 72 802.19 los detalles de su cálculo se muestran en el ANEXO 1.

f.3.3. Indicadores Financieros

INDICADOR	INDUCCIÓN CI
VAC	22 001.91
CAE	1 144.80

Realizado por: *Soledad Pinos*

Tabla 30*. Indicadores financieros alternativa 2b*

Detalles del cálculo ANEXO 4.

f.4. CUADRO DE RESULTADOS

INDICADOR	SODIO	INDUCCION	INDUCCIÓN CI
VAC	23 464.93	20 142.15	22 001.91
CAE	1 974.60	1 144.80	1 144.80

Realizado por: *Soledad Pinos*

Tabla 31. *Cuadro de resultados.*

BN_{1-2a} =23 464.93- 20 142.15= 3 322.78

BN_{1-2b} =23 464.93- 22 001.91=1 463.02

AHORRO	%
alternativa 2a	25.02
alternativa 2b	28.01

Realizado por: *Soledad Pinos*

Tabla 32. *Cuadro de resultados, porcentaje de ahorro.*

Como se aprecia, existe un beneficio neto en cada una de las dos propuestas, pero la decisión de la implementación de cualquiera de ellas, dependerá no sólo de una visión financiera, ya que si bien la alternativa de solo cambiar las luminarias tiene un beneficio neto mayor, implementarla con controles inteligentes, adiciona otro tipo de prestaciones que no se han tomado en cuenta en este análisis ya que son parte de otros beneficios como: eficiencia energética intensiva, mayor seguridad, comunicación en tiempo real para el manejo de la logística.

Además de una instalación nueva, la sustitución es otra opción, para esto se debe considerar que las lámparas de sodio a alta presión deben ser reubicadas en lugares donde existan lámparas de menor eficiencia, hasta que se cumpla su vida útil, para después procurar mejorar los niveles de eficiencia energética con lámparas de inducción y además si su desarrollo lo permite, con lámparas LED.

f.5. ESCENARIO 2

La evaluación se realiza bajo el mismo mecanismo planteado para el escenario 1, tomando en cuenta el estado actual de nuestro caso de estudio, las luminarias de sodio a alta presión instaladas han cumplido en su mayoría los 4 primeros años de su vida útil, el procedimiento a realizar es la estimación de los costos de reubicación tomando en cuenta un total de pérdidas del 15% de la inversión anterior en el valor de su depreciación al cuarto año, se plantea la sustitución de las luminarias y la reubicación de las luminarias de

sodio en aquellos lugares donde hay existencia de lámparas de mercurio, se toman en cuenta los costos de su instalación y se plantea considerarlas como activos de reposición.

Para el desarrollo de este análisis se ha establecido una visión pesimista con relación a la vida útil de las lámparas de inducción, considerando que la misma disminuye en un 20%, por tal motivo se toma en cuenta un período de estudio de 22 años. Ver los costos y gastos en el ANEXO 2 y flujos de fondos en el ANEXO 5.

f.6. ESCENARIO 3

Se evalúa en este caso, el reemplazo de las luminarias de sodio a alta presión una vez culminada su vida útil. Ver los costos y gastos en el ANEXO 3 y flujos de fondos en el ANEXO 6.

f.6.1. Resultados comparativos entre escenarios

Todos los cálculos se realizaron de la misma manera que para el "escenario 1" y los resultados obtenidos son los siguientes:

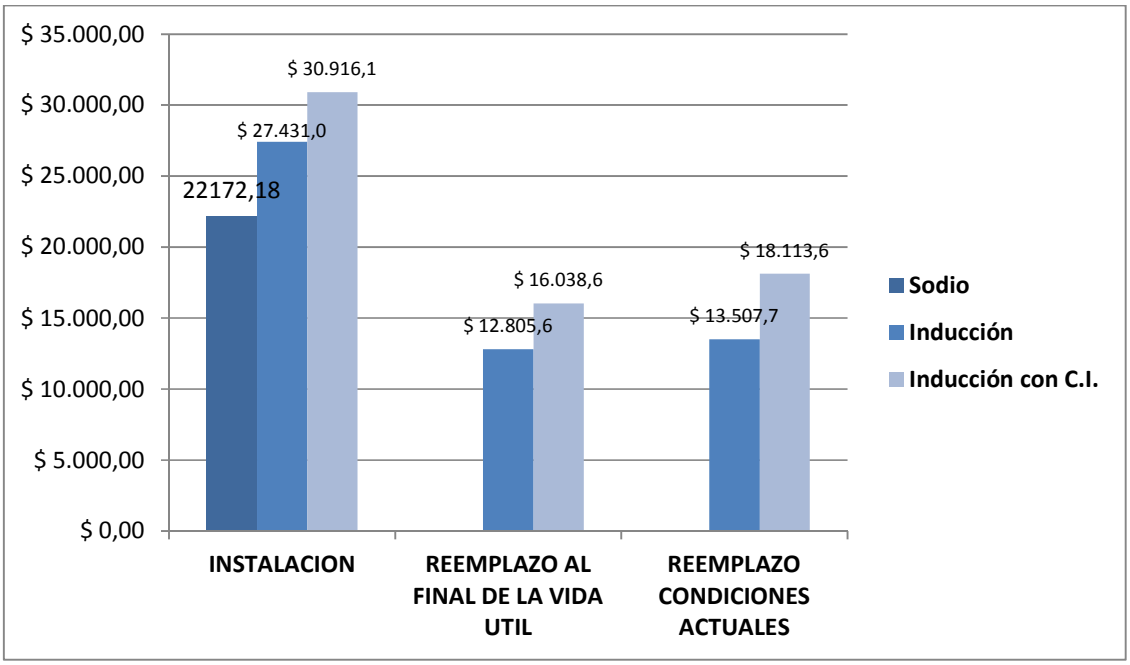
Ver diagramas comparativos en los ANEXOS 7, 8, 9.

f.6.2. Costo anual equivalente

	Sodio	Inducción	Inducción con C.I.	Años
INSTALACION	22172.18	27430.95	30.916.10	*27*
REEMPLAZO AL FINAL DE LA VIDA UTIL		12 805.56	16 038.60	27
REEMPLAZO CONDICIONES ACTUALES		13 507.72	18 113.60	15

Realizado por: *Soledad Pinos*

Tabla 33. Resultados Costo Anual Equivalente



Realizado por: *Soledad Pinos*

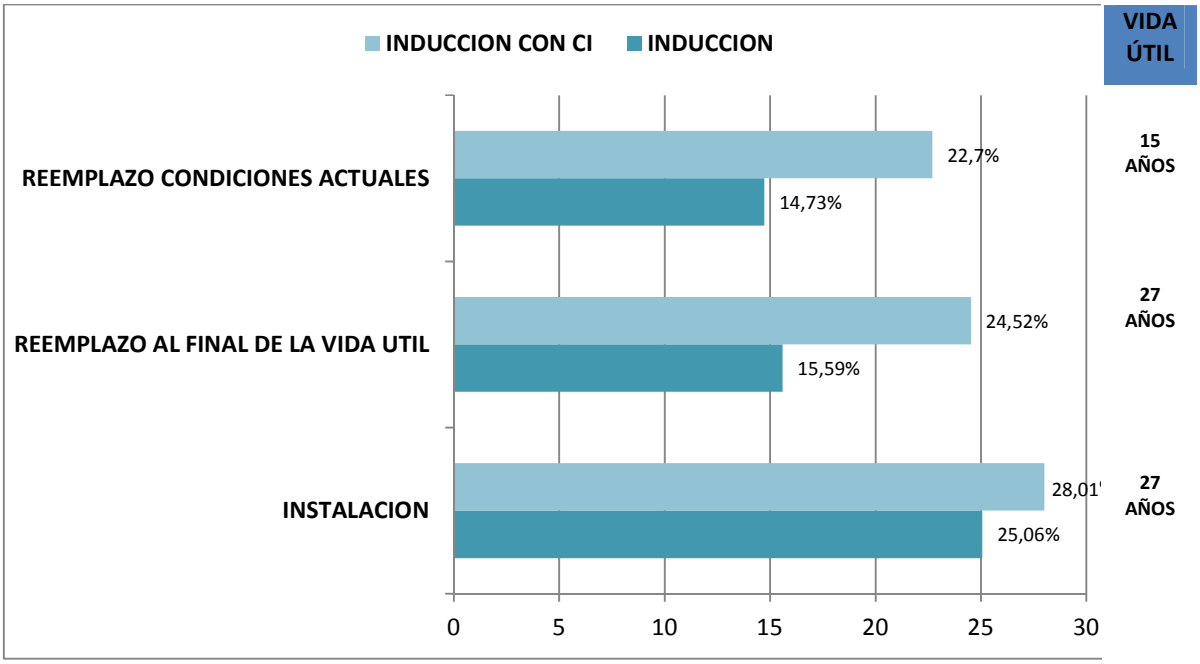
Fig. 60. Costo anual equivalente

f.6.3. Beneficio Adicional Neto

	Beneficio adicional neto (%)	
	inducción	*Inducción con CI*
INSTALACIÓN	*25.06*	*28.01*
REEMPLAZO AL FINAL D ELA VIDA UTIL	*15.59*	*24.52*
REEMPLAZO CONDICIONES ACTUALES	*14.73*	*22.70*

Realizado por: *Soledad Pinos*

Tabla 34. Resultados Beneficio Neto



Realizado por: *Soledad Pinos*

Fig. 61. Beneficio adicional neto

g. DISCUSIÓN

El costo elevado de la energía eléctrica en nuestro país produce la necesidad de buscar alternativas para conseguir el ahorro energético, en cuanto a esto, el consumo de energía por concepto de alumbrado público tiene un valor considerable dentro de los sistemas eléctricos.

En la actualidad a nivel mundial la incorporación de nuevos luminarios con lámparas de inducción electromagnética para alumbrado público de vialidades se considera como una excelente alternativa de sustitución para los tradicionales luminarios que aún se encuentran instalados y que continúan operando lámparas de aditivos metálicos, vapor de sodio en alta presión o vapor de mercurio, por lo que el ingeniero Gabriel Torres Aguilar, consultor en iluminación, nos presenta el siguiente articulo técnico.

El alumbrado público de vialidades es un sistema de iluminación utilizado para zonas públicas con tránsito vehicular y peatonal que proporciona una visión confortable, agudeza visual, rapidez de percepción y capacidad de visibilidad a los conductores y peatones en calles, calzadas, ejes viales, vías primarias, carreteras, bulevares y autopistas.

Hasta la fecha, en el alumbrado público de vialidades de casi todos los países del mundo se utilizan luminarios diseñados específicamente para operar lámparas de descarga en gas por alta presión (aditivos metálicos, vapor de sodio o vapor de mercurio) y recientemente se han desarrollado luminarios para operar fuentes luminosas artificiales de avanzada tecnología, como las lámparas tubulares rectangulares de inducción electromagnética con arillos inductores externos.

Una lámpara tubular rectangular de inducción electromagnética requiere de un generador electrónico de alta frecuencia, el cual produce una corriente eléctrica que es enviada a sus arillos inductores externos para generar un campo magnético fluctuante que induce una descarga eléctrica dentro del tubo de vidrio de forma rectangular. Esta descarga de corriente eléctrica inducida es un flujo de electrones que al colisionar con los átomos del vapor de mercurio y de los gases inertes, como el argón y/o criptón contenidos dentro de la lámpara, genera una radiación ultravioleta, la cual al atravesar el recubrimiento trifosforo del interior del tubo se convierte en una radiación visible al ojo humano.

Las lámparas tubulares rectangulares de inducción electromagnética con arillos inductores externos que se pueden utilizar en luminarios para alumbrado público de vialidades tienen las siguientes características:

- Potencias de lámpara de 80 y 120 W
- Flujo luminoso inicial fotopico de 6,400 lúmenes (80W) y 9,600 lúmenes (120 W).
- Relación S/P de 1.96
- Flujo luminoso inicial efectivo visual de 12,544 lúmenes verdaderos (80W) y 18,816 lúmenes verdaderos (120W)

- Vida útil promedio de 100 mil horas
- Índice de rendimiento de color de 80
- Temperatura de color de 5,000 K
- Eficacia promedio de 80 Lm/W
- Depreciación del flujo luminoso inicial fotópico y efectivo visual del 20% a las 70 mil horas de vida.
- Encendido y re-encendido rápido.
- Diámetro del bulbo de forma tubular rectangular de 2 1/8 pulgadas (5.4 centímetros).
- Baja concentración de mercurio.
- Tecnología de amalgama de mercurio para encendido en temperaturas extremas
- Baja luminancia superficial del tubo rectangular.
- Eliminación de la variación del flujo luminoso emitido (efecto flicker)
- Alta resistencia a la vibración e impacto mecánicos.
- Arillos inductores externos con núcleo de ferrita y devanados de cobre.
- Herraje metálico para fijación dentro del luminario.

Para su encendido y operación las lámparas tubulares rectangulares de inducción electromagnética con arillos inductores externos con potencias de 80 y 100 W requieren de un generador electrónico de alta frecuencia que tiene las siguientes características:

- Voltaje universal de alimentación de 120- 277 V
- Factor de potencia de 95%
- Distorsión total de armónicas THD <10%
- Frecuencia de operación de 250 KHz
- Potencia de consumo del 10% de la potencia de lámpara
- Temperatura de operación de -20 a 50°C.

Finalmente se realizó un análisis económico detallado, que permitió demostrar la factibilidad financiera del proyecto, determinando que la solución más aconsejable para el reemplazo e implementación en el Área de la Energía, es la de REEMPLAZO POR LÁMPARAS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

h. CONCLUSIONES

h.1. CONCLUSIONES

h.1.1. CONCLUSION GENERAL

- Se analizó el modo de explotación, funcionamiento y componentes de Alumbrado Público Exterior y se comparó las alternativas de reemplazo de las luminarias, llegando a la conclusión que la alternativa a menor plazo de recuperación de fondos invertidos y mayor beneficios para la Universidad Nacional de Loja es la de las lámparas de inducción magnética, pues esta alternativa nos muestra que invirtiendo un capital aproximadamente de 27 430.95 dólares, el mismo que se recuperará en un tiempo de 7 años; beneficiando a la Universidad y específicamente al área de la Energía reduciendo desde los gases de efecto invernadero hasta las pérdidas innecesarias de presupuesto para reemplazo de alumbrado público.
- Se destaca algunos puntos importantes de resultados obtenidos entre medición manual y simulación bajo parámetros reales a partir de datos y mediciones realizadas. El programa de simulación lumínica DIALux, nos permitió verificar que el reemplazo de las luminarias en el sector estudiado, es necesario, puesto que en las condiciones actuales que se encuentran instaladas y en funcionamiento no cumple ninguna norma de iluminación.

- Debido a que las lámparas de inducción electromagnética de baja frecuencia cumplen con la norma; es necesario tomar en cuenta los factores que determinan la calidad de la iluminación frente a la cantidad de iluminación; la reproducción del color, el desempeño de las lámparas de inducción tanto en la región fotópica como escotópica de la visión humana, es decir, la calidad de la visión en condiciones tanto de poca luz como de moderada iluminación son factores determinantes que califican a la calidad de la iluminación.

- Si bien las lámparas de inducción electromagnética no cumplen con la norma establecida dentro del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 ALUMBRADO PUBLICO, en lo que se refiere a luminancia, estas mantendrán esta misma luminancia por mucho más tiempo dentro de un rango aceptable de buena iluminación en cantidad y calidad, en comparación con las lámparas de sodio a alta presión, las cuales pierden sus características iniciales en muy corto tiempo.

h.1.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- Se analizó y valoró la situación y estado de los componentes en cada instalación determinando que en la actualidad las instalaciones se encuentran en estado precario y en condiciones obsoletas, sin contar con la tecnología necesaria para su buen funcionamiento.
- Se determinó la calidad de energía que brinda el sistema instalado en la actualidad y éste no es el adecuado, se encuentra en proceso de reemplazo urgente, puesto que la luminancia e iluminancia se encuentran por debajo de los márgenes permitidos.

- Se estableció un plan de mejoras a partir de las tablas comparativas que se elaboraron durante el desarrollo del proyecto de tesis, constituyendo así varias alternativas de reemplazo de luminarias, analizando financiera y económicamente cada uno de las alternativas planteadas, para que sea la Universidad Nacional de Loja, quien decida finalmente que alternativa tomar.

- Con el reemplazo de luminarias de inducción electromagnética estaremos reduciendo costos innecesarios para la Universidad, reduciendo gases de invernadero para la atmosfera (CO_2), coadyuvando al avance tecnológico y la sustitución de material obsoleto y dañado.

- Algunos de los beneficios identificados por la implementación de un sistema de iluminación usando lámparas de inducción con controles inteligentes son: la reducción del consumo de energía eléctrica, la reducción de efectos tóxicos en la salud de las personas, la versatilidad del control del sistema de alumbrado púbico, la disminución de pérdidas en el sistema eléctrico, el acceso a información de parámetros eléctricos en tiempo real, el aumento del confort visual, el cuidado del ambiente y el aumento de la seguridad.

- El control automático de alumbrado público usando smart servers, determina la garantía de una buena iluminación y el monitoreo del sistema de alumbrado, ya que se tiene acceso a diversa información por luminaria y por tanto a parámetros eléctricos que permiten el análisis de su comportamiento.

- La gran cantidad de factores que intervienen dentro del análisis de iluminación para alumbrado público, determinaron también el costo del mismo. A medida que avanza la tecnología, si bien los costos de su adquisición son más elevados, en el caso de las lámparas de inducción alrededor de un 40%-50% más, se deben tomar en cuenta aspectos técnicos y de logística que disminuyen los costos de operación, mantenimiento, perdidas, emisiones de CO_2, toxicidad y tratamiento adecuado de sus componentes, beneficios que en este caso alcanzan como mínimo un 50% de ahorro en consumo de energía eléctrica, un 90% de ahorro en costos de

mantenimiento y dado el alto factor de potencia de su funcionamiento y la baja producción de armónicos, se establece disminución de pérdidas.

- Existió un beneficio adicional neto en cada uno de los tres escenarios de análisis: antes, durante y después de la implementación donde el uso de lámparas de inducción identifica que cuando se añaden controles inteligentes su beneficio en promedio crece 3.2%, apuntando a un beneficio adicional no menor al 12% y alcanzando un máximo de 25%.

i. RECOMENDACIONES

- Analizar, estudiar e implementar el cuadro de analítico del escenario 2 a partir de reemplazo por inducción electromagnética. En caso de que la Universidad Nacional de Loja contara con el presupuesto necesario, se recomienda implementar a todo el sistema el smart server de control inteligente, que ayudaría a mantener bajo control algún tipo de desperfecto o daño repentino.

- Si la Universidad considera que el reemplazo total de las lámparas vigentes por las de inducción no es necesario, y que solamente se debería cambiar parcialmente algunos de los elementos instalados (luminarias dañadas u obsoletas, postes, relés,) se recomienda revisar las alternativas de remplazo de luminarias después de la vida útil, esquematizado en el anexo 3 y 4 de costos CIF de Inversión y gastos escenario 2.
- Regularizar el mantenimiento de las luminarias y de todo el sistema de alumbrado público perteneciente al Universidad Nacional de Loja.

- Mencionar en todos los proyectos de alumbrado público y de iluminación en general, los impactos sociales y ambientales que conllevaría su desarrollo e implementación, ya que son factores que ameritan un profundo análisis.

- Añadir como parte de cualquier proyecto de iluminación, una base de investigación de experiencias reales, fundamentadas en pruebas piloto dentro de su determinado campo de aplicación.

- Implementar proyectos de alumbrado público con controles inteligentes que permitan acumular experiencias que aporten a la toma de decisiones que contribuyan al desarrollo del alumbrado vial.

- Estimar los costos involucrados en un proyecto de alumbrado público, con criterios técnicos basados en experiencias de otros proyectos similares ejecutados.

j. BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BOYCE, P. R. "Human Factors in Lighting". New York, Macmillan.2001

[2] COLOMA YANEZ, Luis. "El Ahorro de Energía en el Campo de la Iluminación". EPN. Quito. Tesis. Diciembre 1999.

[3] CONELEC. Regulación No. CONELEC 008/11 - Prestación del Servicio de Alumbrado Público General –APG. Quito. Noviembre 2011.

[4] CRUZ NARVÁEZ, Cesar. "Mejora del Consumo de Alumbrado Público en la E.E.Q.S.A". EPN. Quito. Tesis. 2008.

[5] EEQSA. "Normas para Sistemas de Distribución Parte C Especificaciones Técnicas de Equipos y Materiales". Quito. Edición 2009.

[6] EFFICIENT LIGHTING INITIATIVE (ELI). "Manual de Iluminación Eficiente". Editorial Universitaria de la U.T.N. 2002.

[7] FLECTOR B.J.C. "Luminotecnia, Principios y Aplicaciones". Segunda Edición. Editorial JOSA. 1971.

[8] HE, Yunjian; REA, Mark; BIERMAN, Andrew; BULLOUGH, John. "Evaluating Light Source Efficacy UnderMesopic Conditions Using Reactions Times". Lighting Research Center. Rensselaer Polytechnic Institute. TroyNY. 12180.

[9] HERNÁNDEZ, Adiel. Control Automático del sistema de iluminación de aulas". Universidad Tecnológica del Valle de Mezquital. Ixmiquilpan. Tesis. 2008.

[10] ILLEGAS TACURI, Daniel Mauricio. "Evaluación Económica de Proyectos de Inversión". 2009

[11] INTERNATIONAL COMMISSIONON ILLUMINATION CIE. "Luminarias para Alumbrado de Carreteras: Datos Fotométricos, Clasificación y Prestaciones". Publicación CIE 34: 1977

[12] INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION CIE. "Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic". Publication No. 115.1995.

[13] INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION CIE. "Vocabulario internacional de iluminación". Publicación CIE 17.4: 1987

[14] LAZCANO, Ximena. “Conceptos Básicos de Iluminación”. DIALux Iluminación. Juan de la Fuente. 2011.

[15] MEER; CONELEC; CENACE; CELEC. Plan maestro de electrificación 2012- 2021. Ecuador.

[16] MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL, Departamento de Metodologías, División Planificación, Estudios e Inversiones. “Metodología para la formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de reemplazo de alumbrado en la vía pública”. Chile. Noviembre 2011.

[17] MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. “Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público –RETILAP”. Agosto 2006

[18] PAVÓN P., Jorge. “Modernización del Alumbrado Público de la Ciudad de Quito”. EPN. Quito. Tesis. 1978.

[19] PHILIPS. “Lighting Manual”. Paraninfo. Madrid. 1989.

[20] Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 ALUMBRADO PÚBLICO.

[21] RAMIREZ VAZQUEZ, José. “Luminotecnia - Enciclopedia CEAC de Electricidad”. Ediciones CEAC S. A. Barcelona. 2002.

[22] ROSERO BOLAÑOS, Guillermo. “Evaluación Técnico – Económica del Ahorro de Energía en un Sistema de Alumbrado Público”. EPN. Quito. Tesis. 1996

[23] SILVA TUBÓN, Rommel Fabián. “Estrategias para el Manejo de la Demanda del Sistema de Alumbrado Público”. EPN. Quito. Tesis. 2003

REFERENCIAS WEB

[24] http://www.architecturaldetailgroup.com/induction/catalog.html

[25] http://www.asimpleswitch.com/global/

[26] http://www.axoled.com/edison.upc.edu/curs/llum

[27] http://www.ayuntamientodebaza.es/preliminar/docs/perfilC/memoria.pdf

[28] http://www.brightflux.net/brightflux /index.html

[29] http://www.coamalaga.es/informacion/edificacion/documentaciontecnicaAlumbradoExterior.pdf

[30] http://www.coloryapariencia.com.ar/temp_col.htm

[31] http://www.disenolamp.com/publico/documentos/propiedades_luz.pdf

[32] http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/ambiente/00Apuntes2006/1Fundamentos/Fundamentos %20Iluminaci%F3n-%203-2.pdf

[33] http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/

[34] http://energyexperts.org/

[35] http://www.e-streetlight.com/

[36] www.fide.org.mx

[37] http://www.formetco.com/

[38] www.gescomchile.com

[39] http://www.globalinductionlighting.com/

[40] http://www.iluminet.com.mx/

[41] http://www.ingenews.cl/web/download/publicaciones/106.pdf

[42] http://www.linmag.es/lamparas-induccion-magnetica.html

[43] http://www.mhtlighting.com

[44] http://www.ptlsolar.com/

[45] http://www.rtglighting.com/

[46] http://sener.gob.mx/res/722/AnexoBMercurio.pdf

[47] http://www.suole-cn.com

[48] http://www.telpacific.com.mx/PDF/inf/lamparas/comparativo.pdf

[49] http://www.unitedgreensolutions.com/

[50] http://upcommons.upc.edu

k.- ANEXOS

k.1.TABLAS DE MEDICIONES

LÁMPARA 1	
PUNTOS DE MEDICION	**MEDICION (lx)**
P_1	122.2
P_2	141.7
P_3	122.0
P_4	20.8
P_5	23.3
P_6	23.1
P_7	16.5
P_8	16.8
P_9	17.5

Tabla 35. *Mediciones L_1*

LUMINARIA 2

LÁMPARA 2	
PUNTOS DE MEDICION	**MEDICION (luxes)**
P_1	89.3
P_2	126.6
P_3	105.2
P_4	40.7
P_5	34.5
P_6	30.2
P_7	24.7
P_8	13.2
P_9	5.8

Tabla 36. *Mediciones L_2*

LÁMPARA 3 (lx)

LAMPARA 3	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_1	85.0
P_2	88.3
P_3	95.0
P_4	93.1
P_5	92.4
P_6	84.5
P_7	70.4
P_8	65.7
P_9	53.8
P_{10}	47.9
P_{11}	39.8
P_{12}	32.6
P_{13}	27.2
P_{14}	25.9
P_{15}	21.3
P_{16}	18.0
P_{17}	52.1
P_{18}	54.2
P_{19}	57.4
P_{20}	55.8
P_{21}	52.0
P_{22}	47.0
P_{23}	43.9
P_{24}	33.8
P_{25}	39.0
P_{26}	30.4
P_{27}	25.7
P_{28}	32.0
P_{29}	21.1
P_{30}	22.2
P_{31}	17.8
P_{32}	21.0
P_{33}	11.7
P_{34}	36.9
P_{35}	40.7
P_{36}	44.4
P_{37}	41.6
P_{38}	40.1
P_{39}	38.5
P_{40}	36.7
P_{41}	36.0
P_{42}	31.5
P_{43}	29.5
P_{44}	23.9
P_{45}	21.4
P_{46}	16.8
P_{47}	14.0
P_{48}	13.3
P_{49}	10.0
P_{50}	25.4

LAMPARA 3	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{51}	27.3
P_{52}	30.4
P_{53}	30.1
P_{54}	32.3
P_{55}	28.9
P_{56}	3.0
P_{57}	31.4
P_{58}	27.4
P_{59}	25.5
P_{60}	20.8
P_{61}	22.1
P_{62}	18.1
P_{63}	13.3
P_{64}	14.3
P_{65}	12.1
P_{66}	17.6
P_{67}	18.5
P_{68}	20.7
P_{69}	21.0
P_{70}	22.5
P_{71}	23.1
P_{72}	23.4
P_{73}	24.1
P_{74}	24.9
P_{75}	21.1
P_{76}	19.4
P_{77}	18.7
P_{78}	14.1
P_{79}	17.0
P_{80}	14.6
P_{81}	11.3
P_{82}	11.2
P_{83}	12.2
P_{84}	14.7
P_{85}	15.4
P_{86}	16.7
P_{87}	17.5
P_{88}	18.7
P_{89}	17.4
P_{90}	18.4
P_{91}	17.1
P_{92}	17.2
P_{93}	15.7
P_{94}	14.2
P_{95}	15.5
P_{96}	12.2
P_{97}	11.2
P_{98}	86
P_{99}	10.3
P_{100}	9.3

LAMPARA 3	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{101}	10.8
P_{102}	11.7
P_{103}	12.1
P_{104}	11.6
P_{105}	117
P_{106}	12.5
P_{107}	11.4
P_{108}	11.6
P_{109}	12.2
P_{110}	9.9
P_{111}	10.9
P_{112}	10.4
P_{113}	10.1
P_{114}	6.1
P_{115}	6.3
P_{116}	7.3
P_{117}	7.4
P_{118}	8.0
P_{119}	10.1
P_{120}	9.4
P_{121}	9.1
P_{122}	9.5
P_{123}	10.2
P_{124}	10.6
P_{125}	9.0
P_{126}	11.2
P_{127}	9.7
P_{128}	8.1
P_{129}	7.7
P_{130}	4.4
P_{131}	5.6
P_{132}	6.1
P_{133}	4.9
P_{134}	6.7
P_{135}	6.0
P_{136}	5.9
P_{137}	6.2
P_{138}	7.0
P_{139}	6.5
P_{140}	6.7
P_{141}	6.3
P_{142}	6.2
P_{143}	6.4
P_{144}	6.4
P_{145}	5.5
P_{146}	3.4
P_{147}	3.7
P_{148}	4.0
P_{149}	4.2
P_{150}	4.3

LAMPARA 3 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{151}	4.5
P_{152}	4.8
P_{153}	4.8
P_{154}	5.5
P_{155}	5.1
P_{156}	5.9
P_{157}	6.4
P_{158}	5.9
P_{159}	5.4
P_{160}	5.8
P_{161}	4.9
P_{162}	2.7
P_{163}	3.3
P_{164}	3.6
P_{165}	3.8
P_{166}	3.9
P_{167}	4.1
P_{168}	4.5
P_{169}	4.2
P_{170}	4.2
P_{171}	4.8
P_{172}	4.8
P_{173}	4.9
P_{174}	4.7
P_{175}	5.4
P_{176}	5.3
P_{177}	4.3
P_{178}	3.0
P_{179}	3.2
P_{180}	3.1
P_{181}	3.6
P_{182}	3.7
P_{183}	4.2
P_{184}	4.3
P_{185}	4.0
P_{186}	4.2
P_{187}	4.8
P_{188}	4.9
P_{189}	4.3
P_{190}	4.9
P_{191}	4.6
P_{192}	4.4
P_{193}	4.2
P_{194}	2.5
P_{195}	2.4
P_{196}	3.5
P_{197}	3.1
P_{198}	3.6
P_{199}	4.1
P_{200}	4.1

LAMPARA 3 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{201}	2.6
P_{202}	4.5
P_{203}	4.6
P_{204}	4.8
P_{205}	4.3
P_{206}	2.4
P_{207}	2.6
P_{208}	2.9
P_{209}	4.2
P_{210}	2.5
P_{211}	2.6
P_{212}	2.8
P_{213}	3.5
P_{214}	3.8
P_{215}	4.3
P_{216}	4.5
P_{217}	4.9
P_{218}	5.0
P_{219}	4.8
P_{220}	4.9
P_{221}	4.4
P_{222}	4.2
P_{223}	4.4
P_{224}	3.9
P_{225}	4.1

Tabla 37.
Mediciones L_3

LUMINARIA 4 <DAÑADA> (lx)

LAMPARA 4	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_1	2.4
P_2	1.5
P_3	1.5
P_4	4.4
P_5	4.8
P_6	5.1
P_7	5.3
P_8	5.3
P_9	5.4
P_{10}	5.7
P_{11}	5.7
P_{12}	5.8
P_{13}	6.0
P_{14}	6.2
P_{15}	5.6
P_{16}	8.7
P_{17}	2.2
P_{18}	3.7
P_{19}	4.1
P_{20}	3.9
P_{21}	5.2
P_{22}	5.6
P_{23}	5.7
P_{24}	6.1
P_{25}	5.9
P_{26}	5.8
P_{27}	6.3
P_{28}	5.4
P_{29}	6.2
P_{30}	6.6
P_{31}	6.9
P_{32}	7.2
P_{33}	0.5
P_{34}	1.2
P_{35}	1.3
P_{36}	1.4
P_{37}	1.8
P_{38}	2.0
P_{39}	2.1
P_{40}	2.2
P_{41}	2.3
P_{42}	3.3
P_{43}	4.8
P_{44}	4.6
P_{45}	9.4
P_{46}	15.2
P_{47}	1.4
P_{48}	12.2
P_{49}	5.8

LAMPARA 4	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{51}	8.7
P_{52}	9.7
P_{53}	9.5
P_{54}	9.7
P_{55}	10.3
P_{56}	10.7
P_{57}	11.6
P_{58}	13.6
P_{59}	14.1
P_{60}	15.9
P_{61}	16.2
P_{62}	16.6
P_{63}	10.3
P_{64}	10.4
P_{65}	10.8
P_{66}	11.2
P_{67}	12.7
P_{68}	12.2
P_{69}	12.6
P_{70}	12.5
P_{71}	12.4
P_{72}	12.8
P_{73}	13.1
P_{74}	13.3
P_{75}	13.5
P_{76}	12.9
P_{77}	12.3
P_{78}	13.8
P_{79}	12.7
P_{80}	13.5
P_{81}	16.1
P_{82}	16.5
P_{83}	15.7
P_{84}	15.9
P_{85}	15.9
P_{86}	15.4
P_{87}	15.1
P_{88}	13.0
P_{89}	12.5
P_{90}	12.2
P_{91}	10.9
P_{92}	6.4
P_{93}	17.2
P_{94}	17.0
P_{95}	19.6
P_{96}	20.3
P_{97}	20.4
P_{98}	19.4
P_{99}	18.7
P_{100}	17.4

LAMPARA 4	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{101}	16.9
P_{102}	16.8
P_{103}	15.4
P_{104}	14.8
P_{105}	13.5
P_{106}	10.8
P_{107}	16.1
P_{108}	17.2
P_{109}	17.9
P_{110}	22.4
P_{111}	21.9
P_{112}	22.3
P_{113}	21.4
P_{114}	20.1
P_{115}	18.5
P_{116}	17.6
P_{117}	16.8
P_{118}	15.3
P_{119}	14.6
P_{120}	15.2
P_{121}	14.1
P_{122}	13.1
P_{123}	13.5
P_{124}	16.9
P_{125}	18.7
P_{126}	19.9
P_{127}	22.1
P_{128}	21.3
P_{129}	22.0
P_{130}	20.2
P_{131}	19.6
P_{132}	18.1
P_{133}	17.0
P_{134}	16.9
P_{135}	15.5
P_{136}	16.8
P_{137}	16.5
P_{138}	17.2

Tabla 38.

Mediciones L_4

Luminaria 5

LAMPARA 5 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_1	13.4
P_2	15.7
P_3	17.5
P_4	16.6
P_5	19.9
P_6	19.8
P_7	21.8
P_8	20.3
P_9	19.6
P_{10}	18.5
P_{11}	19.0
P_{12}	18.1
P_{13}	18.2
P_{14}	18.8
P_{15}	18.7
P_{16}	19.7
P_{17}	20.9
P_{18}	21.4
P_{19}	21.8
P_{20}	24.7
P_{21}	27.7
P_{22}	30.5
P_{23}	33.4
P_{24}	35.1
P_{25}	34.1
P_{26}	33.0
P_{27}	12.3
P_{28}	13.1
P_{29}	16.5
P_{30}	16.6
P_{31}	18.0
P_{32}	17.9
P_{33}	19.7
P_{34}	18.9
P_{35}	19.6
P_{36}	20.1
P_{37}	20.2
P_{38}	18.5
P_{39}	20.2
P_{40}	18.1
P_{41}	19.5
P_{42}	19.3
P_{43}	18.3
P_{44}	23.8
P_{45}	23.6
P_{46}	24.5
P_{47}	29.9
P_{48}	27.2
P_{49}	27.1
P_{50}	16.9

LAMPARA 5 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{51}	28.8
P_{52}	29.2
P_{53}	13.3
P_{54}	16.4
P_{55}	18.4
P_{56}	19.7
P_{57}	20.2
P_{58}	20.4
P_{59}	19.9
P_{60}	19.6
P_{61}	18.8
P_{62}	19.3
P_{63}	18.8
P_{64}	18.9
P_{65}	17.9
P_{66}	19.6
P_{67}	16.4
P_{68}	18.5
P_{69}	17.4
P_{70}	17.5
P_{71}	17.8
P_{72}	15.8
P_{73}	19.1
P_{74}	18.7
P_{75}	16.9
P_{76}	18.7
P_{77}	17.5
P_{78}	13.7
P_{79}	11.9
P_{80}	12.8
P_{81}	15.7
P_{82}	15.8
P_{83}	157
P_{84}	16.12
P_{85}	14.8
P_{86}	14.5
P_{87}	15.6
P_{88}	15.7
P_{89}	14.9
P_{90}	14.5
P_{91}	14.9
P_{92}	14.5
P_{93}	13.7
P_{94}	14.6
P_{95}	13.12
P_{96}	13.5
P_{97}	12.7
P_{98}	12.8
P_{99}	12.0
P_{100}	9.0

LAMPARA 5 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{101}	12.0
P_{102}	9.0
P_{103}	10.8
P_{104}	9.7

Tabla 39. *Mediciones* L_5

Luminaria 6

LUMINARIA 6 (lx)	
P. DE MEDic	MEDICION
P_{1}	22.8
P_{2}	23.1
P_{3}	25.1
P_{4}	26.2
P_{5}	26.6
P_{6}	25.9
P_{7}	25.2
P_{8}	26.2
P_{9}	24.7
P_{10}	23.1
P_{11}	21.2
P_{12}	18.7
P_{13}	16.8
P_{14}	14.7
P_{15}	13.2
P_{16}	11.7
P_{17}	8.7
P_{18}	12.4
P_{19}	10.5
P_{20}	11.9
P_{21}	10.6
P_{22}	8.5
P_{23}	9.3
P_{24}	7.3
P_{25}	5.8
P_{26}	14.4
P_{27}	16.9
P_{28}	17.4
P_{29}	23.2
P_{30}	24.8
P_{31}	26.3
P_{32}	26.8
P_{33}	27.1
P_{34}	31.2
P_{35}	30.2
P_{36}	28.4
P_{37}	29.8
P_{38}	26.7
P_{39}	24.2
P_{40}	21.5
P_{41}	21.3
P_{42}	16.1
P_{43}	17.2
P_{44}	11.5
P_{45}	11.4
P_{46}	9.7
P_{47}	10.6
P_{48}	10.5
P_{49}	7.8
P_{50}	6.1

LUMINARIA 6 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{51}	10.3
P_{52}	17.1
P_{53}	19.7
P_{54}	21.1
P_{55}	13.8
P_{56}	23.4
P_{57}	23.0
P_{58}	25.4
P_{59}	24.4
P_{60}	23.3
P_{61}	20.8
P_{62}	21.5
P_{63}	18.1
P_{64}	15.7
P_{65}	16.6
P_{66}	14.7
P_{67}	10.9
P_{68}	11.1
P_{69}	10.4
P_{70}	9.6
P_{71}	6.5
P_{72}	6.5
P_{73}	4.8
P_{74}	5.3
P_{75}	4.6
P_{76}	3.8
P_{77}	15.4
P_{78}	18.5
P_{79}	19.7
P_{80}	21.
P_{81}	20.3
P_{82}	24.1
P_{83}	23.5
P_{84}	26.4
P_{85}	24.7
P_{86}	25.8
P_{87}	20.9
P_{88}	18.6
P_{89}	16.8
P_{90}	15.6
P_{91}	13.6
P_{92}	13.6
P_{93}	12.6
P_{94}	11.0
P_{95}	103
P_{96}	8.6
P_{97}	7.1
P_{98}	7.7
P_{99}	9.4
P_{100}	6.6

LUMINARIA 6 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{101}	18.2
P_{102}	22.2
P_{103}	22.5
P_{104}	24.2
P_{105}	24.4
P_{106}	24.7
P_{107}	28.1
P_{108}	24.6
P_{109}	26.3
P_{110}	23.6
P_{111}	20.1
P_{112}	16.2
P_{113}	17.9
P_{114}	14.5
P_{115}	14.1
P_{116}	14.2
P_{117}	12.7
P_{118}	8.7
P_{119}	10.9
P_{120}	7.6
P_{121}	7.5
P_{122}	7.4
P_{123}	5.9
P_{124}	4.8
P_{125}	3.7
P_{126}	25.6
P_{127}	30.2
P_{128}	34.1
P_{129}	34.2
P_{130}	36.8
P_{131}	34.0
P_{132}	35.6
P_{133}	33.0
P_{134}	29.1
P_{135}	27.8
P_{136}	30.5
P_{137}	25.1
P_{138}	25.2
P_{139}	19.1
P_{140}	15.3
P_{141}	14.1
P_{142}	10.5
P_{143}	9.5
P_{144}	7.5
P_{145}	6.8
P_{146}	8.4
P_{147}	5.6
P_{148}	6.1
P_{149}	4.6
P_{150}	4.9

LUMINARIA 6(lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{151}	28.6
P_{152}	34.2
P_{153}	38.0
P_{154}	41.5
P_{155}	43.2
P_{156}	43.5
P_{157}	45.5
P_{158}	43.3
P_{159}	38.8
P_{160}	31.0
P_{161}	29.0
P_{162}	27.3
P_{163}	22.0
P_{164}	21.2
P_{165}	11.0
P_{166}	12.8
P_{167}	10.2
P_{168}	7.6
P_{169}	9.6
P_{170}	7.7
P_{171}	6.4
P_{172}	6.1
P_{173}	6.2
P_{174}	5.1
P_{175}	34.3
P_{176}	45.1
P_{177}	47.0
P_{178}	51.1
P_{179}	56.9
P_{180}	57.9
P_{181}	57.1
P_{182}	52.5
P_{183}	45.0
P_{184}	42.3
P_{185}	36.1
P_{186}	30.2
P_{187}	25.9
P_{188}	21.6
P_{189}	17.6
P_{190}	15.0
P_{191}	11.6
P_{192}	11.0
P_{193}	12.2
P_{194}	12.7
P_{195}	8.9
P_{196}	9.1
P_{197}	7.6
P_{198}	7.1
P_{199}	4.8
P_{200}	5.7

LUMINARIA 6 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{201}	30.4
P_{202}	39.1
P_{203}	44.6
P_{204}	50.7
P_{205}	56.0
P_{206}	60.1
P_{207}	58.7
P_{208}	51.8
P_{209}	51.5
P_{210}	41.7
P_{211}	36.8
P_{212}	35.2
P_{213}	20.4
P_{214}	14.1
P_{215}	15.0
P_{216}	13.7
P_{217}	12.0
P_{218}	8.5
P_{219}	7.6
P_{220}	6.7
P_{221}	6.3
P_{222}	4.7
P_{223}	4.7
P_{224}	3.0
P_{225}	3.1

Tabla 40. *Mediciones* L_6

Luminaria 7

LUMINARIA 7 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_1	14.6
P_2	23.1
P_3	25.1
P_4	26.2
P_5	26.6
P_6	22.7
P_7	25.2
P_8	26.2
P_9	21.1
P_{10}	23.1
P_{11}	21.2
P_{12}	18.7
P_{13}	16.8
P_{14}	14.7
P_{15}	13.2
P_{16}	11.7
P_{17}	8.7
P_{18}	12.4
P_{19}	10.5
P_{20}	11.9
P_{21}	10.6
P_{22}	8.5
P_{23}	9.3
P_{24}	7.3
P_{25}	5.8
P_{26}	14.4
P_{27}	16.9
P_{28}	17.4
P_{29}	23.2
P_{30}	24.8
P_{31}	26.3
P_{32}	26.8
P_{33}	27.1
P_{34}	31.2
P_{35}	30.2
P_{36}	28.4
P_{37}	29.8
P_{38}	26.7
P_{39}	24.2
P_{40}	21.5
P_{41}	21.3
P_{42}	16.1
P_{43}	17.2
P_{44}	11.5
P_{45}	11.4
P_{46}	9.7
P_{47}	10.6
P_{48}	10.5
P_{49}	7.8
P_{50}	6.1

LUMINARIA 7 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{51}	12.7
P_{52}	17.1
P_{53}	19.7
P_{54}	21.1
P_{55}	13.8
P_{56}	23.4
P_{57}	23.0
P_{58}	25.4
P_{59}	24.4
P_{60}	23.3
P_{61}	20.8
P_{62}	21.5
P_{63}	18.1
P_{64}	15.7
P_{65}	16.6
P_{66}	14.7
P_{67}	10.9
P_{68}	11.1
P_{69}	10.4
P_{70}	9.6
P_{71}	6.5
P_{72}	6.5
P_{73}	4.8
P_{74}	5.3
P_{75}	4.6
P_{76}	3.8
P_{77}	15.4
P_{78}	18.5
P_{79}	19.7
P_{80}	21.
P_{81}	20.3
P_{82}	24.1
P_{83}	23.5
P_{84}	26.4
P_{85}	24.7
P_{86}	25.8
P_{87}	20.9
P_{88}	18.6
P_{89}	16.8
P_{90}	15.6
P_{91}	13.6
P_{92}	13.6
P_{93}	12.6
P_{94}	11.0
P_{95}	103
P_{96}	8.6
P_{97}	7.1
P_{98}	7.7
P_{99}	9.4
P_{100}	6.6

LUMINARIA 7 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{101}	29.8
P_{102}	22.2
P_{103}	22.5
P_{104}	24.2
P_{105}	24.4
P_{106}	24.7
P_{107}	28.1
P_{108}	24.6
P_{109}	26.3
P_{110}	23.6
P_{111}	20.1
P_{112}	16.2
P_{113}	17.9
P_{114}	14.5
P_{115}	14.1
P_{116}	14.2
P_{117}	12.7
P_{118}	8.7
P_{119}	10.9
P_{120}	7.6
P_{121}	7.5
P_{122}	7.4
P_{123}	5.9
P_{124}	4.8
P_{125}	3.7
P_{126}	25.6
P_{127}	30.2
P_{128}	34.1
P_{129}	34.2
P_{130}	36.8
P_{131}	34.0
P_{132}	35.6
P_{133}	33.0
P_{134}	29.1
P_{135}	27.8
P_{136}	30.5
P_{137}	25.1
P_{138}	25.2
P_{139}	19.1
P_{140}	15.3
P_{141}	14.1
P_{142}	10.5
P_{143}	9.5
P_{144}	7.5
P_{145}	6.8
P_{146}	8.4
P_{147}	5.6
P_{148}	6.1
P_{149}	4.6
P_{150}	4.9

LUMINARIA 7(lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{151}	31.0
P_{152}	34.2
P_{153}	38.0
P_{154}	41.5
P_{155}	43.2
P_{156}	43.5
P_{157}	45.5
P_{158}	43.3
P_{159}	38.8
P_{160}	31.0
P_{161}	29.0
P_{162}	27.3
P_{163}	22.0
P_{164}	21.2
P_{165}	11.0
P_{166}	12.8
P_{167}	10.2
P_{168}	7.6
P_{169}	9.6
P_{170}	7.7
P_{171}	6.4
P_{172}	6.1
P_{173}	6.2
P_{174}	5.1
P_{175}	34.3
P_{176}	45.1
P_{177}	47.0
P_{178}	51.1
P_{179}	56.9
P_{180}	57.9
P_{181}	57.1
P_{182}	52.5
P_{183}	45.0
P_{184}	42.3
P_{185}	36.1
P_{186}	30.2
P_{187}	25.9
P_{188}	21.6
P_{189}	17.6
P_{190}	15.0
P_{191}	11.6
P_{192}	11.0
P_{193}	12.2
P_{194}	12.7
P_{195}	8.9
P_{196}	9.1
P_{197}	7.6
P_{198}	7.1
P_{199}	4.8
P_{200}	6.7

LUMINARIA 7lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{201}	32.8
P_{202}	39.1
P_{203}	44.6
P_{204}	50.7
P_{205}	56.0
P_{206}	60.1
P_{207}	58.7
P_{208}	51.8
P_{209}	51.5
P_{210}	41.7
P_{211}	36.8
P_{212}	35.2
P_{213}	20.4
P_{214}	14.1
P_{215}	15.0
P_{216}	13.7
P_{217}	12.0
P_{218}	8.5
P_{219}	7.6
P_{220}	6.7
P_{221}	6.3
P_{222}	4.7
P_{223}	4.7
P_{224}	4.1
P_{225}	3.6

Tabla 41. *Mediciones L_7*

Luminaria 8

LUMINARIA 8(lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_1	44.2
P_2	49.4
P_3	51.7
P_4	53.1
P_5	52.4
P_6	47.2
P_7	41.1
P_8	38.1
P_9	36.1
P_{10}	29.6
P_{11}	26.9
P_{12}	20.3
P_{13}	19.7
P_{14}	17.1
P_{15}	14.8
P_{16}	15.3
P_{17}	11.3
P_{18}	9.1
P_{19}	9.5
P_{20}	8.4
P_{21}	8.8
P_{22}	7.3
P_{23}	6.7
P_{24}	4.8
P_{25}	5.5
P_{26}	4.7
P_{27}	3.9
P_{28}	4.9
P_{29}	3.5
P_{30}	4.4
P_{31}	40.0
P_{32}	43.5
P_{33}	48.0
P_{34}	46.2
P_{35}	46.8
P_{36}	40.5
P_{37}	39.6
P_{38}	32.7
P_{39}	32.7
P_{40}	29.4
P_{41}	27.3
P_{42}	23.3
P_{43}	20.0
P_{44}	17.0
P_{45}	16.4
P_{46}	17.0
P_{47}	12.8
P_{48}	12.2
P_{49}	8.0
P_{50}	8.2

LUMINARIA 8(lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{51}	8.6
P_{52}	8.3
P_{53}	9.2
P_{54}	5.5
P_{55}	6.3
P_{56}	6.8
P_{57}	5.5
P_{58}	4.3
P_{59}	4.5
P_{60}	3.3
P_{61}	27.6
P_{62}	31.9
P_{63}	34.1
P_{64}	34.2
P_{65}	33.9
P_{66}	32.7
P_{67}	30.3
P_{68}	26.1
P_{69}	25.9
P_{70}	32.2
P_{71}	20.0
P_{72}	17.7
P_{73}	14.9
P_{74}	12.7
P_{75}	12.6
P_{76}	11.0
P_{77}	9.8
P_{78}	8.2
P_{79}	5.2
P_{80}	5.7
P_{81}	7.4
P_{82}	8.5
P_{83}	7.9
P_{84}	9.0
P_{85}	7.0
P_{86}	7.3
P_{87}	7.4
P_{88}	6.1
P_{89}	6.3
P_{90}	4.8
P_{91}	4.4
P_{92}	5.0
P_{93}	22.7
P_{94}	23.5
P_{95}	24.3
P_{96}	25.5
P_{97}	24.3
P_{98}	24.0
P_{99}	21.5
P_{100}	20.2

LUMINARIA 8(lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{101}	16.8
P_{102}	17.0
P_{103}	15.9
P_{104}	14.0
P_{105}	13.1
P_{106}	12.5
P_{107}	10.0
P_{108}	8.5
P_{109}	8.0
P_{110}	7.2
P_{111}	6.3
P_{112}	8.6
P_{113}	6.1
P_{114}	7.9
P_{115}	8.1
P_{116}	6.9
P_{117}	7.4
P_{118}	6.2
P_{119}	5.7
P_{120}	4.8
P_{121}	5.3
P_{122}	4.8
P_{123}	3.4
P_{124}	2.5
P_{125}	15.5
P_{126}	20.7
P_{127}	22.1
P_{128}	20.5
P_{129}	19.0
P_{130}	16.1
P_{131}	17.1
P_{132}	15.2
P_{133}	13.8
P_{134}	108
P_{135}	12.7
P_{136}	9.8
P_{137}	12.0
P_{138}	11.0
P_{139}	9.9
P_{140}	10.9
P_{141}	10.4
P_{142}	10.5
P_{143}	9.0
P_{144}	9.3
P_{145}	8.5
P_{146}	7.6
P_{147}	9.5
P_{148}	6.7
P_{149}	8.5
P_{150}	6.2

LUMINARIA 8 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{151}	6.9
P_{152}	5.7
P_{153}	5.9
P_{154}	4.9
P_{155}	4.7
P_{156}	4.4
P_{157}	12.1
P_{158}	16.0
P_{159}	14.0
P_{160}	15.0
P_{161}	13.6
P_{162}	13.5
P_{163}	12.5
P_{164}	10.8
P_{165}	11.0
P_{166}	9.4
P_{167}	9.7
P_{168}	8.8
P_{169}	11.1
P_{170}	11.0
P_{171}	10.6
P_{172}	10.7
P_{173}	10.9
P_{174}	10.1
P_{175}	10.1
P_{176}	10.2
P_{177}	9.3
P_{178}	10.0
P_{179}	10.4
P_{180}	11.2
P_{181}	8.5
P_{182}	8.6
P_{183}	5.9
P_{184}	6.3
P_{185}	7.5
P_{186}	5.6
P_{187}	3.8
P_{188}	4.4
P_{189}	4.3
P_{190}	10.2
P_{191}	12.8
P_{192}	12.3
P_{193}	12.4
P_{194}	11.3
P_{195}	10.5
P_{196}	9.5
P_{197}	8.4
P_{198}	7.7
P_{199}	8.1
P_{200}	6.4

LUMINARIA 8 (lx)	
PUNTOS DE MED	MEDICION
P_{201}	6.9
P_{202}	5.7
P_{203}	72
P_{204}	10.9
P_{205}	11.7
P_{206}	11.2
P_{207}	11.4
P_{208}	12.2
P_{209}	11.1
P_{210}	10.9
P_{211}	11.5
P_{212}	10.0
P_{213}	9.7
P_{214}	9.8
P_{215}	9.0
P_{216}	8.1
P_{217}	5.4
P_{218}	6.7
P_{219}	8.4
P_{220}	7.0
P_{221}	5.4
P_{222}	8.2
P_{223}	9.6
P_{224}	6.5
P_{225}	4.3

Tabla 42. *Mediciones* L_8

ANEXO 2. COSTOS DE INVERSIÓN Y GASTOS ESCENARIO 1

- *Anexo en el que se detalla el costo de inversión y los gastos aproximados de la sustitución actual por lámparas de sodio. Con remodelación inicial en 0. (Reemplazo inmediato).*

ALTERNATIVA SODIO

MANO DE OBRA y EQUIPOS			
INSPECCION	**C/HORA USD $**	**TOTAL HORAS**	**C/TOTAL**
Transporte	11.00	24	264.00
Inspector (hombre - hora)	16.00	24	384.00
		12% IVA	77.76
		SUB TOTAL	**725.76**

Tabla 43. *Mano de obra y equipos A. Sodio*

CONSTRUCCIÓN DE RED A.P.			
	C/Hora USD $	**Total Horas**	**C/Total**
Canastilla	20.00	8	160.00
Grupo Trabajo	8.00	320	2 560.00
Grúa	25.00	8	200.00
Obras civiles menores	8.00	240	1 000.00
		SUBTOTAL	**3 920.00**

Tabla 44. *Construcción de Red A. Sodio*

MATERIALES			
Equipos de Alumbrado Publico	C/U USD $	TOTAL UNIDADES	C/TOTAL
Equipo de Control automático de alumbrado público 65A	158.98	1	158.98
Interruptor fotoeléctrico 220v, 1800v sin receptáculo	9.58	15	143.70
Postes			
Poste de hormigón circular de 500 Kg, Long. 13.5m	165.42	15	2481.30
Conductores Desnudos			
Conductor desnudo aluminio, ASC# 4 AWG, 7Hilos	0.64	1000	640.00
Conductores aislados y accesorios			
Luminaria Vapor de sodio alta presión cerrada 400W, completa doble potencia	305.15	15	4 577.25
Conductor cobre aislado PVC 2000V TTU Nº 4 AWG, 7 Hilos	4.39	600	1 634.00
Conductor cobre aislado PVC, 600V, TW Nº 8 AWG, Solido	0.44	100	44.00
Aisladores			
Aislador rollo de porcelana clase ANSI 53-2	1.36	15	20.40
Equipos de protección y seccionamiento			
Base portaf. Unip. BT, Tipo NH tamaño 1, 250A, T.A. Agujero pasante	8.14	2	16.28
Cartucho fusible para BT, Tipo NH tamaño 1, 63 A	4.22	2	8.44
Accesorios para conductores			
Conductor de al. para ataduras Nº 6 AWG M	0.35	30	10.50
Cinta de armar, aleación de aluminio 1.27mm * 7.62mm	0.49	100	49.00
Retenedor terminal preformado de Al Nº 1/0 AWG	2.58	15	38.70
Varilla de Al. preformado para un soporte Nº 2 AWG (retenedor terminal preformado)	1.06	15	15.90
Conector ranura paralela CU – SN, 1 perno Nº 8 – 2/0 AWG Tipo 2, Clase B	5.77	20	115.40
Herrajes Galvanizados y cables de acero			
Abrazadera pletina galv. 38*5mm, 2 pernos bastidor simple.	7.90	25	197.50
Bastidor (Rack) para secundario de 2 vías 38*6*3mm	12.34	15	185.10
Caja metálica de hierro tol. Galv. 1/16” prot. Base portaf. Trifásica	55.00	1	55.00
Misceláneos			
Tubo hierro galvanizado de 2 ½” (64mm) diam, 6m long	11.58	15	173.70
Fleje de Acero 0.76mm espesor *19mm de ancho, sujeción tubo	3.30	25	82.50
		SUBTOTAL	**14 150.83**

Fuente: *Realizado por Soledad Pinos*

Tabla 45. *Materiales A. Sodio*

Dirección Técnica y Administrativa		1 000.00
	SUB TOTAL	19 796.59
	12% IVA	2 375.60
	TOTAL	**22 172.18**

Tabla 47. *Dirección Administrativa- A. Sodio*

- *Anexo que consta de los gastos que se llevarían a cabo al reemplazar las luminarias actuales por las lámparas de inducción electromagnética de baja frecuencia. Con remodelación inicial en 0. (Reemplazo inmediato).*

ALTERNATIVA INDUCCIÓN

MANO DE OBRA y EQUIPOS			
INSPECCION	**C/HORA USD $**	**TOTAL HORAS**	**C/TOTAL**
Transporte	11.00	24	264.00
Inspector (hombre - hora)	16.00	24	384.00
		12% IVA	77.76
		SUB TOTAL	**725.76**

Tabla 48. *Mano de Obra y Equipos- A. Inducción*

CONSTRUCCIÓN DE RED A.P.			
	C/Hora USD $	Total Horas	**C/Total**
Canastilla	20.00	8	160.00
Grupo Trabajo	8.00	320	2 560.00
Grúa	25.00	8	200.00
Obras civiles menores	8.00	240	1 000.00
		SUBTOTAL	**3 920.00**

Tabla 49. *Construcción de Red- A. Inducción*

MATERIALES			
Equipos de Alumbrado Publico	C/U USD $	TOTAL UNIDADES	C/TOTAL
Equipo de Control automático de alumbrado público	158.98	1	158.98
Interruptor fotoeléctrico 220v, 1800v sin receptáculo	9.58	15	143.70
Poste de hormigón circular de 500 Kg, Long. 13.5m	165.42	15	2481.30
Conductores Desnudos			
Conductor desnudo aluminio, ASC# 4 AWG, 7Hilos	0.34	2000	680.00
Conductores aislados y accesorios			
Luminaria Inducción externa baja frecuencia cerrada 250W, completa.	632.00	15	9 480.00
Conductor cobre aislado PVC, 600V, TW Nº 8 AWG, solido	0.44	100	44.00
Aisladores			
Aislador rollo de porcelana clase ANSI 53-2	1.36	15	20.40
Equipos de protección y seccionamiento			
Base portaf. Unip. BT, Tipo NH tamaño 1, 250A, T.A. Agujero pasante	8.14	2	16.28
Cartucho fusible para BT, Tipo NH tamaño 1, 63 A	4.22	2	8.44
Accesorios para conductores			
Conductor de al. para ataduras Nº 6 AWG M	0.35	30	10.50
Cinta de armar, aleación de aluminio 1.27mm * 7.62mm	0.49	100	49.00
Retenedor terminal preformado de Al Nº 1/0 AWG	2.58	15	38.70
Cinta de armar, aleación de alumin 1.27mm*7.62mm			
Varilla de Al. preformado para 1 soporte nº 2 AWG (retenedor terminal preformado)	1.06	15	15.90
Conector ranura paralela CU- SN, 1 perno, nº 8- 2/0 AWG. Tipo 2, clase B	5.77	20	115.40
Herrajes Galvanizados y cables de acero			

Abrazadera pletina galv. 38*5mm, 2 pernos bastidor simple.	7.90	25	197.50
Bastidor (Rack) para secundario de 2 vías 38*6*3mm	12.34	10	123.40
Caja metálica de hierro tol. Galv. 1/16" prot. Base portaf. Trifásica	55.00	1	55.00
Misceláneos			
Tubo hierro galvanizado de 2 ½" (64mm) diam, 6m long	11.58	15	173.70
Fleje de Acero 0.76mm espesor *19mm de ancho, sujeción tubo	3.30	25	82.50
		SUBTOTAL	**18 845.50**

Tabla 50. *Materiales- A. Inducción*

Dirección Técnica y Administrativa		1 000.00
	SUB TOTAL	**24 491.26**
	12% IVA	2 938.95
	TOTAL	**27 430.21**

Tabla 51. *Dirección técnica- A. Inducción y Costo total*

- *Anexo que consta de los gastos que se llevarían a cabo al reemplazar las luminarias actuales por las lámparas de inducción electromagnética de baja frecuencia con un sistema de control inteligente. (Reemplazo inmediato).*

CONTROL CON SMART SERVERS

MATERIALES			
	c/u USD $	**Total unidades**	**c/ total**
Smart Server PL	1 500.00	1	1 500.00
Modulo transmisor de datos	256.00	1	256.00
Alimentador	30.00	1	30.00
Antena	20.00	1	20.00
Chip	3.00	1	3.00
Acoplador trifásico	170.00	1	170.00
Driver Modbus	244.00	1	244.00
Analizador de redes	566.00	1	566.00
Sondas de corriente	42.00	1	42.00
Nodo ASL – 420 TCH y desarrollo del software	281.40	10	281.40
		TOTAL	**3 112.40**

Tabla 52. *Control con Smart Server- A. Inducción*

Instalación y Administración		1 000.00
	TOTAL	**4 112.40**

Tabla 51. *Instalación y Administración- A. Inducción*

ALTERNATIVA INDUCCIÓN CON SMART SERVERS

MANO DE OBRA Y EQUIPOS			
INSPECCION	**C/HORA Usd $**	**TOTAL horas**	**C/TOTAL**
TRANSPORTE	11.00	24	264.00
INSPECTOR (Hombre – Hora)	16.00	24	384.00
		12% IVA	77.76
		SUBTOTAL	**725.76**

Tabla 52. *Mano de Obra y Equipos- A. Inducción con S.S.*

CONSTRUCCIÓN DE RED A.P.			
	C/Hora USD $	Total Horas	**C/Total**
Canastilla	20.00	8	160.00
Grupo Trabajo	8.00	320	2 560.00
Grúa	25.00	8	200.00
Obras civiles menores	8.00	240	1 000.00
		SUBTOTAL	**3 920.00**

Tabla 53. *Mano de Obra y Equipos- A. Inducción con S.S.*

MATERIALES			
Equipos de Alumbrado Publico	C/U USD $	T. UNIDADES	C/TOTAL
Sistema de Control inteligente con Smart Servers		1	**4 112.40**
Postes			
Poste de hormigón circular de 500 Kg, Long. 13.5m	165.42	15	2481.30
Conductores Desnudos			
Conductor desnudo aluminio, ASC# 4 AWG, 7Hilos	0.34	1000	340.00
Conductores aislados y accesorios			
Luminaria Inducción externa baja frecuencia cerrada 250W, completa con balastro dimmerisable de 10-100%	648.00	15	9 720.00
Conductor cobre aislado PVC 2000V TTU Nº 4 AWG, 7 Hilos	2.39	600	1434.00
Conductor cobre aislado PVC, 600V, TW Nº 8 AWG, solido	0.44	100	44.00
Aisladores			
Aislador rollo de porcelana clase ANSI 53-2	1.36	15	20.40
Equipos de protección y seccionamiento			
Base portaf. Unip. BT, Tipo NH tamaño 1, 250A, T.A. Agujer pasante	8.14	2	16.28
Cartucho fusible para BT, Tipo NH tamaño 1, 63 A	4.22	2	8.44
Accesorios para conductores			
Conductor de al. para ataduras Nº 6 AWG M	0.35	30	10.50
Cinta de armar, aleación de aluminio 1.27mm * 7.62mm	0.49	100	49.00
Retenedor terminal preformado de Al Nº 1/0 AWG	2.58	15	38.70
Cinta de armar, aleación de alumin 1.27mm*7.62mm			
Varilla de Al. preformado para 1 soporte nº 2 AWG (retenedor terminal preformado)	1.06	15	15.90
Herrajes Galvanizados y cables de acero			
Abrazadera pletina galv. 38*5mm, 2 pernos bastidor simple.	7.90	15	118.50
Bastidor (Rack) para secundario de 2 vías 38*6*3mm	12.34	15	185.10
Misceláneos			
Tubo hierro galvanizado de 2 ½" (64mm) diam, 6m long	11.58	15	173.70
Fleje de Acero 0.76mm espesor *19mm de ancho, sujeción tubo	3.30	25	82.50
		SUBTOTAL	**22 957.90**

Tabla 54. *Materiales- A. Inducción con S.S.*

Dirección técnica y Administrativa		0.00
	SUB TOTAL	27 603.66
	12% IVA	3 312.44
	TOTAL	**30 916.10**

Tabla 55 *Dirección Técnica y Administrativa- A. Inducción con S.S.*

ANEXO 3.COSTOS DE INVERSIÓN Y GASTOS ESCENARIO 2

- *Anexo que consta de los gastos que se llevarían a cabo al reemplazar las luminarias actuales por las lámparas de inducción electromagnética de baja frecuencia (Reemplazo después de vida útil de luminarias existentes).*

ALTERNATIVA INDUCCION

MANO DE OBRA Y EQUIPOS			
INSPECCION	C/HORA Usd $	TOTAL horas	C/TOTAL
TRANSPORTE	11.00	24	264.00
INSPECTOR (Hombre – Hora)	16.00	24	384.00
		12% IVA	77.76
		SUBTOTAL	**725.76**

Tabla 56 *Mano de Obra - A. Inducción con S.S.*

CONSTRUCCIÓN DE RED A.P.			
	C/Hora USD $	Total Horas	**C/Total**
Canastilla	20.00	8	160.00
Grupo Trabajo	8.00	160	1 280.00
Grúa	25.00	8	200.00
Obras civiles menores	8.00	120	960.00
		SUBTOTAL	**2 600.00**

Tabla 57 *Equipos- A. Inducción con S.S.*

MATERIALES			
Equipos de Alumbrado Publico	C/U USD $	T. UNIDADES	C/TOTAL
Equipo de Control automático de alumbrado público	158.98	1	158.98
Interruptor fotoeléctrico 220v, 1800v sin receptáculo	9.58	7	143.70
Postes	-	-	-
Conductores Desnudos			
Conductor desnudo aluminio, ASC# 4 AWG, 7Hilos	0.34	500	170.00
Conductores aislados y accesorios			
Luminaria Inducción externa baja frecuencia cerrada 250W, completa con balastro dimmerisable de 10-100%	648.00	7	4536.00
Conductor cobre aislado PVC 2000V TTU Nº 4 AWG, 7 Hilos	2.39	300	717.00
Conductor cobre aislado PVC, 600V, TW Nº 8 AWG, solido	0.44	100	44.00
Aisladores			
Aislador rollo de porcelana clase ANSI 53-2	1.36	7	9.52
Equipos de protección y seccionamiento			
Base portaf. Unip. BT, Tipo NH tamaño 1, 250A, T.A. Agujer pasante	8.14	1	8.14
Cartucho fusible para BT, Tipo NH tamaño 1, 63 A	4.22	1	4.22

Accesorios para conductores			
Conductor de al. para ataduras Nº 6 AWG M	0.35	30	10.50
Cinta de armar, aleación de aluminio 1.27mm * 7.62mm	0.49	50	24.50
Retenedor terminal preformado de Al Nº 1/0 AWG	2.58	7	18.06
Cinta de armar, aleación de alumin 1.27mm*7.62mm			
Varilla de Al. preformado para 1 soporte nº 2 AWG (retenedor terminal preformado)	1.06	7	7.42
Herrajes Galvanizados y cables de acero			
Abrazadera pletina galv. 38*5mm, 2 pernos bastidor simple.	7.90	7	55.30
Bastidor (Rack) para secundario de 2 vías 38*6*3mm	12.34	7	86.38
Misceláneos			
Tubo hierro galvanizado de 2 ½" (64mm) diam, 6m long	11.58	7	81.06
Fleje de Acero 0.76mm espesor *19mm de ancho, sujeción tubo	3.30	10	33.00
		SUBTOTAL	**6 107.78**

Tabla 58 *Materiales- A. Inducción con S.S.*

Costo estimado de pérdidas por remplazo anticipado		1 000.00
Dirección Técnica y Administrativa		1 000.00
	SUBTOTAL	**11 433.54**
	0.12	**1372.02**
	TOTAL	**12 805.56**

Tabla 59 *Dirección Técnica y Administrativa- A. Inducción con S.S.*

ALTERNATIVA INDUCCIÓN CI

- *Anexo que consta de los gastos que se llevarían a cabo al reemplazar las luminarias actuales por las lámparas de inducción electromagnética de baja frecuencia con un sistema de smart server o control inteligente (Reemplazo después de vida útil de luminarias existentes).*

MANO DE OBRA Y EQUIPOS			
INSPECCION	C/HORA Usd $	TOTAL horas	C/TOTAL
TRANSPORTE	11.00	24	264.00
INSPECTOR (Hombre – Hora)	16.00	24	384.00
		12% IVA	77.76
		SUBTOTAL	**725.76**

Tabla 60. *Mano de Obra - A. Inducción con C.I.*

CONSTRUCCIÓN DE RED A.P.			
	C/Hora USD $	Total Horas	**C/Total**
Canastilla	20.00	8	160.00
Grupo Trabajo	8.00	160	1 280.00
Grúa	25.00	8	200.00
Obras civiles menores	8.00	120	960.00
		SUBTOTAL	**2 600.00**

Tabla 61. *Equipos - A. Inducción con C.I.*

MATERIALES			
Equipos de alumbrado publico	**C/U USD $**	**TOTAL UNIDADES**	**C/TOTAL**
Equipo de control automático alumbrado público, con costo total de todo material empleado	6 107.78	---	6 107.78
Costo de Smart Server	4 112.40	1	4 112.40
		SUB TOTAL	**10 220.18**

Tabla 62. *Materiales - A. Inducción con C.I.*

Costo estimado de pérdidas por remplazo anticipado		**500.00**
Dirección Técnica y Administrativa		**1 000.00**
	SUBTOTAL	**14 320.18**
	0.12	**1 718.42**
	TOTAL	**16 038.60**

Tabla 63. *Dirección Técnica y Administrativa - A. Inducción con C.I.*

ANEXO 4.COSTOS ESCENARIO 3

- *Anexo que consta de los gastos que se llevarían a cabo al reemplazar las luminarias actuales por lámparas de inducción electromagnética de baja frecuencia (Reemplazo a partir de montaje de instalación actual).*

ALTERNATIVA INDUCCIÓN

MANO DE OBRA Y EQUIPOS			
INSPECCION	C/HORA Usd $	TOTAL horas	C/TOTAL
TRANSPORTE	11.00	8	88.00
INSPECTOR (Hombre – Hora)	16.00	24	384.00
		12% IVA	56.64
		SUBTOTAL	**478.80**

Tabla 64. *Mano de obra - A. Inducción E_3*

CONSTRUCCIÓN DE RED A.P.			
	C/Hora USD $	Total Horas	**C/Total**
Canastilla	20.00	8	160.00
Grupo Trabajo	8.00	40	320.00
Grúa	25.00	8	200.00
Obras civiles menores	8.00	80	640.00
		SUBTOTAL	**1 320.00**

Tabla 65. Equipos *- A. Inducción E_3*

MATERIALES			
Equipos de Alumbrado Publico	C/U USD $	TOTAL UNIDADES	C/TOTAL
Equipo de Control automático de alumbrado público	158.98	1	158.98
Interruptor fotoeléctrico 220v, 1800v sin receptáculo	9.58	15	143.70
Conductores Desnudos			
Conductor desnudo aluminio, ASC# 4 AWG, 7Hilos	0.34	2000	680.00
Conductores aislados y accesorios			
Luminaria Inducción externa baja frecuencia cerrada 250W, completa.	632.00	15	9 480.00
Conductor cobre aislado PVC, 600V, TW Nº 8 AWG, solido	0.44	100	44.00
Aisladores			
Aislador rollo de porcelana clase ANSI 53-2	1.36	15	20.40
Equipos de protección y seccionamiento			
Base portaf. Unip. BT, Tipo NH tamaño 1, 250A, T.A. Agujero pasante	8.14	2	16.28
Cartucho fusible para BT, Tipo NH tamaño 1, 63 A	4.22	2	8.44
Herrajes Galvanizados y cables de acero			
Abrazadera pletina galv. 38*5mm, 2 pernos bastidor simple.	7.90	25	197.50
Caja metálica de hierro tol. Galv. 1/16” prot. Base portaf. Trifásica	55.00	1	55.00
Misceláneos			
Tubo hierro galvanizado de 2 ½” (64mm) diam, 6m long	11.58	15	173.70
Fleje de Acero 0.76mm espesor *19mm de ancho, sujeción tubo	3.30	25	82.50
		SUBTOTAL	**11 060.46**

Tabla 66. *Materiales - A. Inducción E_3*

Dirección Técnica y Administrativa		**1 000.00**
	SUBTOTAL	**12 060.46**
	12%	**1 447.26**
	TOTAL	**13 507.72**

Tabla 67. *Dirección Técnica y Administrativa - A. Inducción E_3*

- *Anexo que consta de los gastos que se llevarían a cabo al reemplazar las luminarias actuales por lámparas de inducción electromagnética de baja frecuencia con control inteligente (Reemplazo a partir de montaje de instalación actual).*

ALTERNATIVA INDUCCIÓN CI

MANO DE OBRA Y EQUIPOS			
INSPECCION	C/HORA Usd $	TOTAL horas	C/TOTAL
TRANSPORTE	11.00	8	88.00
INSPECTOR (Hombre – Hora)	16.00	24	384.00
		12% IVA	56.64
		SUBTOTAL	**478.80**

Tabla 68. *Mano de Obra - A. Inducción* E_{3-CI}

CONSTRUCCIÓN DE RED A.P.			
	C/Hora USD $	Total Horas	**C/Total**
Canastilla	20.00	8	160.00
Grupo Trabajo	8.00	40	320.00
Grúa	25.00	8	200.00
Obras civiles menores	8.00	80	640.00
		SUBTOTAL	**1 320.00**

Tabla 69 *Equipos - A. Inducción* E_{3-CI}

MATERIALES			
EQUIPOS DE ALUMBRADO PUBLICO	**C/U USD $**	**TOTAL UNIDADES**	**C/TOTAL**
Sistema de control inteligente con smart servers	4 112.40	1	4 112.40
MATERIALES	**11 060.46**	**--**	11 060.46
		subtotal	**15 172.86**

Tabla 70. *Materiales - A. Inducción* E_{3-CI}

Dirección Técnica y Administrativa		**1 000**
	SUBTOTAL	**16 172.86**
	12%	**1 940.74**
	TOTAL	**18 113.60**

Tabla 71. *Dirección Técnica y Administrativa - A. Inducción* E_{3-CI}

ANEXO 6. DATOS IMPORTANTES PARA LA SUSTITUCIÓN DE LUMINARIAS.

Una lámpara de ***sodio de alta presión de 250w*** produce aproximadamente 87 lúmenes por vatio = **21 750** lúmenes totales y 15 mg de Mercurio.

Una lámpara de ***Inducción electromagnética de 80w*** posee un flujo luminoso de **12 544** lúmenes verdaderos y una ***lámpara IEM de 120w*** proporciona **18816** lúmenes verdaderos.

Actualmente los luminarias convencionales para el alumbrado público de vias a nivel mundial que aun operan lámparas de aditivos metálicos y de vapor de mercurio con potencias de 175 y 250W o de vapor de sodio en alta presión con potencias de 150 y 250W (mediante sus respectivos balastros electromagnéticos en todos los casos) y que se encuentran instalados en postes a 9 metros de altura de montaje, se pueden reemplazar de forma integral por nuevas luminarias que operan lámparas tubulares rectangulares de inducción electromagnética con arillos inductores externos con potencias de 80 W (para sustituir potencias de 175 y 150 W) y 120 W (para sustituir potencias de 250W) que tienen las siguientes características:

- Carcasa que aloja al módulo de potencia y conjunto óptico fabricada en fundición de aluminio inyectada en alta presión con acabado de pintura de resina poliéster en polvo aplicada mediante proceso electrostático.
- Tapa de apertura superior con abatimiento trasero o lateral para acceso al conjunto óptico y módulo de potencia fabricada en fundición de aluminio inyectada en alta presión con acabado de pintura de resina poliéster en polvo aplicada mediante proceso electrostático.
- Conjunto óptico con alto grado de protección ante el ingreso de partículas sólidas y liquidas (IP65), integrado por un refractor curvo o plano de vidrio claro termotemplado resistente a cambios bruscos de temperatura y un reflector con diseño facetado fabricado de aluminio hidroformado anodizado de alta reflectancia con acabado especular.
- Empaques o sellos termoformados de hule silicón con larga vida útil para asegurar una alta hermeticidad entre la carcasa y la tapa de apertura superior.
- Filtro de carbón activado situado en la parte posterior del reflector para evitar altas presiones de operación dentro del conjunto óptico.
- Sistema de cierre entre la tapa de apertura superior y la carcasa mediante broches frontales o laterales fabricados de acero inoxidable.
- Lámpara tubular rectangular de inducción electromagnética con arillos inductores externos con potencias de 80 o 120 W.

- Generador electrónico de alta frecuencia para operar una lámpara tubular rectangular de inducción electromagnética con arillos inductores externos con potencias de 80 o 120 W.
- Receptáculo superior para incorporar fotointerruptor electrónico para el control automático del encendido y apagado.
- Sistema de montaje del luminario mediante adaptador horizontal ajustable con entrada para brazo a poste y/o acoplamiento vertical para colocación en punta de poste.
- Curvas de distribución fotométrica IES tipo II corta o media con control cut-off que limita al máximo el flujo luminoso emitido hacia el hemisferio superior del luminario.
- Eficiencia promedio del luminario de 80% con un alto coeficiente de utilización del lado calle para una mejor uniformidad del flujo luminoso enviado hacia la carpeta asfáltica.

ANEXO 7. DATASHEET LUMINARIAS DE INDUCCIÓN EXTERNA

LuminariaRealTime

APPLICATIONS

- Street Lighting
- Intersections
- Parking Lots
- Public Areas

FEATURES

- 100,000 Hour Lifespan (IESNA)
- 10 Year or 60,000 Hour Warranty
- High Pressure Die-casted, Powder Coated Aluminum Housing
- Clear Tempered Glass Lens, Optional Drop Polycarbonate (PC) Lens
- NEMA Type 2/3 Distribution
- Ambient Temp Range: -30 to 130 deg F

Manufactured in the USA

LAMP/GENERATOR

- 120-277V Universal Electronic Ballast
- Available 0-10V Dimmability, 2-way Communication
- Power Factor > 0.95, Operation Frequency 50-60Hz
- Instant-On, Flicker Free, Minimum Light Loss
- 100W—400W Square Tubular Lamp Design
- Color Temps Available: 3000K—5000K
- CRI > 85—Excellent Color Rendition

Product #	Wattage	Replaces	Lm/W	Lumens	IP Rating	Size	Lens
MHT-RW-100E	100	MH - 200W HPS - 200W	77.5	7,750	65	31.5"x14.5"	Glass, Drop PC
MHT-RW-120E	120	MH - 200W HPS - 200W	77.5	9,300	65	31.5"x14.5"	Glass, Drop PC
MHT-RW-150E	150	MH - 250W HPS - 300W	82.5	12,375	65	31.5"x14.5"	Glass, Drop PC
MHT-RW-200E	200	MH - 360W HPS - 400W	82.5	16,500	65	41.5"x16.5"	Glass, Drop PC
MHT-RW-250E	250	MH - 400W HPS - 500W	87.5	21,875	65	41.5"x16.5"	Glass, Drop PC
**MHT-RW-300E	300	MH - 500W HPS - 600W	87.5	26,250	65	55"x18.5"	Glass, Drop PC
**MHT-RW-400E	400	MH - 1000W HPS—1000W	87.5	35,000	65	55"x18.5"	Glass, Drop PC

** NOT UL Listed

Available Options:

- NEMA-4 Photocell | Receptacle, Complete Photocell
- Dimmable Ballast, | Drop Polycarbonate Lens

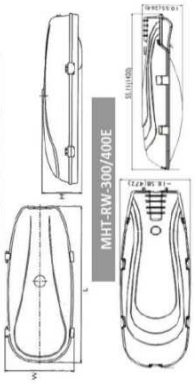
ORDERING CODES

MHT-RW - _____ E - _____ - _____ - _____ - _____ - _____

Wattage:	Color Temp:	Voltage:	Lens:	Dimmable Ballast:	Options: (please specify voltage)
100, 120, 150	3K = 3000K	U = Univ	GL = Glass	DB	PC = Complete Photocell
200, 250, 300	4K = 4000K	3 = 347V	PC = Drop PC		PR = Photocell Receptacle Only
400	5K = 5000K				IC = Intelligent Controls

DIMENSIONS

MHT-RW-100/120/150/200/250E

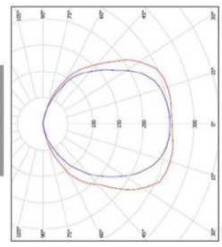


MHT-RW-300/400E

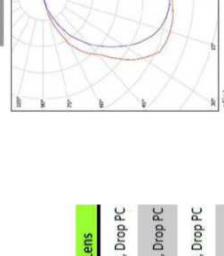
inches (mm)	100/120/	200/250E	300/400E
Length	31.5 (801)	41.5 (1054)	55.1
Width	14.5 (368)	16.5 (419)	18.6
Height (Glass)	7.7 (195)	8.4 (212)	
Height (PC)	10.6 (269)	12.1 (307)	10.55

SAMPLE PHOTOMETRICS

MHT-RW-150E



MHT-RW-200E



MHT-RW-400E

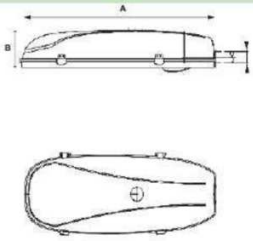
- MHT Products are UL Listed/Labeled and Assembled in ISO9000/1 Certified US Facility
- Every product is quality tested and inspected prior to shipment
- MHT Lighting offers a 10-year, 60,000 hour Warranty (please see Warranty Terms and Conditions)
- Made in the USA of US and Imported Parts, Meets Buy American requirements within

Fig. 62 .*Datasheet – Luminarias de Inducción Externa*

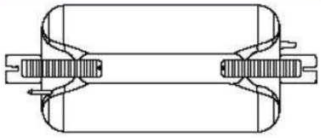
Producto ACCENT INDUCCIÓN ROADWAY

Imagen Producto

Dimensiones

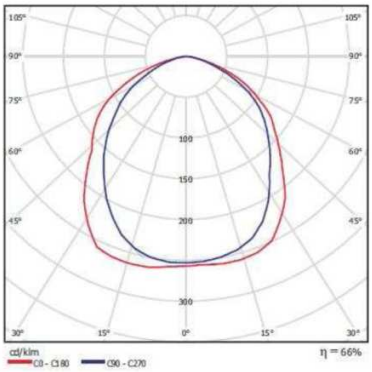


Tipo de Lámpara



Lampara Fluorescente de Inducción Magnética

Emisión de luz



Datos técnicos

Descripción comercial	Accent Induccion Roadway 250 W
Código	P405403-36
Montaje	Para ménsula
Descripción	Luminario para alumbrado público de inducción magnética.
Lugar de uso	Exteriores
Cuerpo (Housing)	Inyección de aluminio a presión
Acabado	Pintura epóxica con aplicación electroestático, color gris
Cota "A" (mm)	1054
Cota "B" (mm)	306.4
Tipo de distribución	Tipo II corta cutoff
Sistema óptico	Reflector de aluminio hidroformado anodizado, de alta eficiencia y control de luz.
Tipo de lámpara	Lámpara Fluorescente de Inducción Magnética de 250 W
Equipo de control	Generador electrónico de Inducción de alto factor de potencia (>0.95), sin parpadeo de luz, salida constante de potencia, protección térmica y protección contra fin de vida de la lámpara.
Tensión de red	120 V - 277 V ~ 50/60 Hz
Potencia del sistema	262 W

Aplicaciones / Atributos

- Excelente eficacia luminosa
- Tecnología de Inducción
- Ideal para Autopistas, Zonas Industriales Estacionamientos y perímetros comerciales, Calles de transito mixto
- Ahorro de Energía
- Vida útil promedio de 80,000 ~ 100,000Hrs
- 5 años de garantía en el generador

960°C

NOM - ANCE

Fig. 63. Accent Inducción Roadway

ANEXO8 .SIMBOLOGÍA

Símbolo	Descripción
U_o	Factor de Uniformidad General
L	Luminancia
L_{min}	Luminancia mínima
L_{prom}	Luminancia promedio
L_f	Luminancia del fondo
L_o	Luminancia del objeto
Q	Energía Radiante
M	Exitancia radiante
E	Iluminancia
lx	Lux
η	Eficiencia Lumínica
ρ	Reflectancia de una superficie
Φ_R	Flujo luminoso reflejado
Φ_i	Flujo Luminoso incidente
C	Contraste
q	Coeficiente de Luminancia
E_η	Iluminancia horizontal en el punto p
r	Coeficiente reducido de luminancia
Q_o	Coeficiente promedio de luminancia
$M1…M5$	Clases de iluminación para vías vehiculares
v	Velocidad de circulación
T	Tránsito de vehículos
K	Índice del local
CU	Coeficiente o factor de utilización de luminarias
S_1	Factor especular 1
S_2	Factor especular 2
K_p	Factor especular
q_ρ	Factor de luminancia para incidencia vertical
$R1…R4$	Clases de superficies
$T.I.$	Incremento de Umbral
L_v	Luminancia de velo equivalente
U_L	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia
lm	Lumen
λ	Longitud de Onda
CRI ó R_a	Índice de reproducción cromática
FM	Factor de mantenimiento

Tabla 75. *Simbología*

ANEXO 9. CIUDADES USANDO TECNOLOGÍA DE INDUCCIÓN EN ALUMBRADO PÚBLICO

- Mérida, Yucatán, México
- City of Tempe, Arizona, United States of America
- City of Corona, California, United States of America
- Acapulco, Guerrero, México
- City of Santee, California, United States of America
- City of Carlsbad, California, United States of America
- Salt Lake City, Utah, United States of America
- San Diego, California, United States of America
- City of Henderson, Nevada, United States of America
- City of Concord, California, United States of America
- Antioch, California, United States of America
- Encinitas, California, United States of America
- City of Brockville, Ontario, Canada
- City of Boulder, Las Vegas, United States of America
- City of Los Angeles, California, United States of America
- New York City, New York, United States of America
- City of Boulder, Nevada, United States of America
- Nuevo Laredo, Tamaulipas, México
- Ciudad de Veracruz, Veracruz, México
- Ciudad de Puebla, Puebla, México
- Tultepec, Estado de México, México

ANEXO 10. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Acomodación Visual:** es la capacidad del ojo para modificar la trayectoria de las radiaciones emitidas por un objeto, de modo que se proyecten directamente sobre la retina.
- **Adaptación visual:** es la capacidad visual que permite regular la intensidad de la respuesta en función de la magnitud del estímulo visual.
- **Agudeza visual:** capacidad visual que permite discriminar los detalles de los objetos, hasta el punto de poder distinguir dos puntos que forman un ángulo inferior a 30" de arco desde el ojo.
- **Altura de montaje:** altura de montaje de las luminarias respecto el suelo.
- Alumbrado de emergencia Instalación de iluminación que, en caso de fallo en el alumbrado normal, suministra la iluminación necesaria para facilitar la visibilidad a los usuarios y que éstos puedan abandonar el edificio, impida situaciones de pánico y permita la visión de las señales indicativas de las salidas y la situación de los equipos y medios de protección existentes.
- **Amplitud (A):** es la máxima desviación de la posición de reposo.
- **Ángulo de apantallamiento:** ángulo mayor de 20º entre la dirección de observación y la línea de visión, que no se considera para el cálculo del deslumbramiento perturbador, ya que se supone que las luminarias están apantalladas por el vehículo.
- **Apertura del haz:** ángulo que contiene valores de intensidades luminosas superiores a determinada proporción del valor máximo de intensidad (Imax).
- **Arrancador:** equipo auxiliar que hace posible el encendido de lámparas de descarga generando puntas de tensión.
- **Balastos:** elemento que controla la intensidad que circula por las lámparas.
- **Bastones:** son un tipo de fotoreceptores que tienen como característica que son sensibles a la cantidad de luz. Son los primeros que se activan y los que permiten distinguir formas y movimiento.
- **Bonos de carbono del Protocolo de Kioto:** son un mecanismo internacional que ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora del sistema operativo de la calidad ambiental y se consiga regular la emisión generada por sus procesos productivos.
- **Característica IP:** indicador del tipo de protección que requieren las luminarias para las diferentes condiciones ambientales.
- **Clase de alumbrado Serie ME:** clasificación de alumbrado para calzadas secas establecidas en orden de mayor a menor exigencia en los niveles luminosos.
- **Código IK:** indica los grados de protección proporcionados por los envolventes de materiales eléctricos contra impactos mecánicos externos.
- **Compatibilidad/Inmunidad electromagnética**: estudia los mecanismos para eliminar, disminuir y prevenir los efectos de acoplamiento entre un equipo eléctrico o electrónico y su entorno electromagnético, aún desde su diseño,

basándose en normas y regulaciones asegurando la confiabilidad y seguridad de todos los tipos de sistemas en el lugar donde sean instalados y bajo un ambiente electromagnético específico

- **Confort visual:** expresión que designa la capacidad de percepción que ha de tener el ojo o las propiedades visuales del objeto a percibir. La dificultad de una tarea visual aumenta con la reducción del contraste de colores y de luminancia así como con la reducción del tamaño de detalle.
- **Conos:** este tipo de fotoreceptores son sensibles al tipo de luz, son los que permiten distinguir colores, pero necesitan una mayor cantidad de luz que los bastones. Existen tres tipos de conos, unos que son más sensibles a la radiación roja, otros que son sensibles en la zona de la radiación azul y, por último, los que son sensibles mayoritariamente a la radiación verde.
- **Curvas del coeficiente de utilización:** Son el porcentaje del flujo luminoso de la luminaria que incide en una determinada superficie. Se aplican a las luminarias de alumbrado público.
- **Depreciación luminosa:** es el descenso del flujo luminoso emitido por una lámpara a lo largo de su vida. Se expresa en % de flujo inicial o en horas/Flujo.
- **Dispersión transversal:** distribución de la luz a lo ancho de la calzada. Se define mediante la línea paralela al eje de la calzada, que es tangente al contorno de la curva del 90% de la intensidad máxima; de las dos posibles líneas tangentes a dicho contorno, se elige la más alejada.
- **Distancia de seguridad:** distancia mínima entre la fuente de luz y el objeto a iluminar.
- **Factor de conservación:** valor recíproco del Factor de mantenimiento.
- **Fluorescencia:** consiste en que determinadas sustancias luminiscentes, al ser excitadas por la radiación ultravioleta del vapor de mercurio a baja presión, transforman esta radiación invisible en otra de onda más larga y que se encuentra dentro del espectro visible.
- **Frecuencia:** Es la cantidad de vibraciones por segundo (n = 1/T).
- Iluminación general: iluminación sustancialmente uniforme de un espacio sin tener en cuenta los requisitos locales especiales. Iluminancia inicial (E inicial): iluminancia media cuando la instalación es nueva.
- **Implantación bilateral al tresbolillo**: tipo de implantación de luminarias en la que los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico al tresbolillo o en zigzag, se utilizará principalmente cuando la anchura de la calzada A sea de 1 a 1,5 veces la altura H de montaje de las luminarias, considerándose más idóneo el intervalo de 1 a 1,3H.
- **Implantación bilateral pareada:** tipo de implantación de luminarias en la que los puntos de luz se sitúan en ambos lados de la vía de tráfico, uno opuesto al otro, se utilizará normalmente cuando la anchura de la calzada A sea 1,5 veces la altura H de montaje de las luminarias, considerándose más adecuado cuando la anchura supere 1,3 veces la altura H.

- **Implantación central o axial:** tipo de implantación de luminarias en la que los puntos de luz se implantan en columnas o báculos de doble brazo, situados en la mediana central, cuando la anchura de ésta esté comprendida entre 1 y 3 m.
- **Implantación unilateral:** tipo de implantación de luminarias en la que los puntos de luz se sitúan en un mismo lado de la vía de tráfico, se utilizará generalmente cuando la anchura A de la calzada sea igual o inferior a la altura H de montaje de las luminarias.
- **Interdistancia:** distancia existente entre luminarias.
- **Iris:** es una formación muscular lisa, la cual dispone de una prolongación constituida por una membrana circular pigmentada.
- **Lámpara de mercurio con halogenuros:** similar a la de las de vapor de mercurio, de las que se diferencia en que, además de mercurio, contienen halogenuros de tierras raras, tales como disprosio, talio, indio, holmio o tulio, con lo que se obtienen mayores rendimientos luminosos y sobre todo una mejor reproducción cromática.
- **Lámparas fluorescentes:** lámpara de descarga de baja presión rellena de vapor de mercurio, en forma de tubo. La radiación ultravioleta producida por la descarga de mercurio es convertida en luz visible por los fluorescentes que se encuentran en la pared interior del depósito de descarga.
- **Lámpara halógena de bajo voltaje:** lámparas halógenas incandescentes que trabajan con baja tensión (en la mayoría de los casos 6, 12, 24V), muy compactas.
- **Longitud de onda (λ):** es la distancia entre la cresta de una onda y cresta de la onda siguiente.
- **Nervio óptico:** es un haz de fibras nerviosas conectadas a la parte posterior de la retina. Es el componente más importante ya que su función es la de transmitir la sensación visual al cerebro.
- **Período (T):** es el tiempo que tarda un punto en describir una oscilación completa.
- Posición de funcionamiento: ángulos de correcto funcionamiento de una lámpara, indicado por el fabricante.
- **Protocolo de Kioto:** es un protocolo de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global.
- **Sostenibilidad:** la eficiencia energética de las instalaciones repercute positivamente en aspectos económicos y medioambientales.
- **Termoradiación:** radiación electromagnética en la que la luz se obtiene al calentar un cuerpo, y siempre va acompañada de una cuantiosa radiación térmica.
- **Tiempo de encendido:** tiempo que necesita la lámpara para alcanzar el nivel de flujo permanente, arrancando en frío.
- **Tiempo de reencendido:** tiempo que necesita la lámpara para enfriarse y poder volver a conectarse. Tubo de neón Los tubos de neón o tubos luminiscentes son lámparas de descarga de cátodo frío, a través de un gas noble.