



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Modelación Tridimensional de la Intensidad de Luminarias

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: AVILÉS PÉREZ ERICK ANDRÉS

DIRECTOR: ING. PULLA GALINDO GIOVANI SANTIAGO Msc.

MATRIZ CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo, Erick Andrés Avilés Pérez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

Erick Andrés Avilés Pérez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Erick Andrés Avilés Pérez, bajo mi supervisión.

Ing. Giovanni Santiago Pulla Galindo Msc.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Tía Ruth Avilés, a mi Abuelita Leonor Díaz, Padres, Washington Avilés, Ana Pérez, familiares, autoridades, profesores y amigos que durante estos años de estudio en la Universidad Católica de Cuenca me han guiado, encaminándome por el camino correcto, brindándome su apoyo consejos, palabras de aliento. Y a Dios por brindarme fortaleza en momentos difíciles sin abandonar la lucha hasta el final.

DEDICATORIA

Este trabajo de Titulación, dedico a mi hija Victoria Avilés y a mi esposa Diana López, siendo mi fortaleza y alumbrando mi camino, impulsando fuerza a mi ser energía para luchar día a día.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA.....	v
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2. PROBLEMA	1
1.2.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2.2. Delimitación del Problema	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4. JUSTIFICACIÓN	2
1.5. Alcance.....	2
1.6. Metodología.....	3
CAPÍTULO 2	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. INTRODUCCIÓN	4
2.2. Magnitudes Fotométricas	4
2.2.1. Energía Luminosa Q_v	5
2.2.3 Flujo luminoso “F”	6
2.2.5 Luminancia. L_v	7
2.2.6. Iluminancia. E_v	8
2.2.7. Emitancia luminosa. M_v	9
2.2.8 Eficacia luminosa. η	9

2.3. Laboratorio de Luminotecnia.....	9
2.3.1 Equipo de hermeticidad de agua [waterproof test (jl-56)].	9
2.3.2. Equipo para determinación del grado de hermeticidad del polvo. [dustproof testing machine].....	10
2.2.3 .El fotogoniómetro	10
2.2.3.1. Sistema de eje horizontal fijo: fotogoniómetro tipo A	11
2.2.3.2. Sistema de eje vertical fijo	12
2.2.3.3. Sistema de fotosensor o espejo movible: fotogoniómetro tipo C.	13
2.2.3.1. Computador personal.....	14
2.2.3.2. Rack de control.	14
2.2.3.3. Goniómetro.	14
2.2.3.4. Fotómetro.....	15
2.2.4. Esfera de Ulbrich.....	15
2.4. Tecnologías de luminarias.	16
2.4.1. Luminarias.....	16
2.4.1.1.Armadura o carcasa:.....	16
2.4.1.2. Equipo eléctrico:.....	16
2.4.1.3. Reflector:.....	16
2.4.1.4. Difusor:.....	16
2.4.1.5. Filtro:	17
2.4.1.6. Reflector:.....	17
2.4.1.7. Junta:	17
CAPÍTULO 3	20
PRUEBAS DE LABORATORIO DE LUMINOTECNIA.....	20
3.1. INTRODUCCIÓN	20
3.2. Características fotométricas de luminarias.	20
3.2.1. Diagrama polar o curvas de distribución luminosa	21
3.2.2. Matriz de intensidades luminosas.	22
3.2.3. Diagramas Isocandela.	22
3.2.3. Curvas Isolux	24
3.3. Equipos Fotométricos a Utilizar.....	26
3.4. Pruebas de Luminarias de diferentes tecnologías.	28
3.4.1 Descripción de las luminarias Utilizadas.....	29
Roadway-115 Cutoff.....	31
3.4.2 Datos fotométricos de software Cooper Photometric Toolbox v1.87	35
Luminaria de 150W Roadway-115 Cutoff	41
Luminaria de 250W Roadway-115 Cutoff	44

Luminaria de 250W Roadway-125	46
Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA	49
CAPÍTULO 4	52
MODELACIÓN DE INTENSIDAD LUMINOSA DE LUMINARIAS.	52
4.1. INTRODUCCIÓN.	52
4.2. ADQUISICIÓN DE DATOS DE LUMINARIAS.	52
Luminaria de 150W Roadway-115 Cutoff	59
Luminaria de 150W Roadway-115 Cutoff	68
4.3. Software a utilizar.	70
Luminaria de 150W Roadway-115 Cutoff	72
CAPÍTULO 5	79
ANÁLISIS DE DATOS DE MEDICIÓN DE INTENSIDAD LUMINOSA.	79
5.1. INTRODUCCIÓN.	79
5.2. INTERPRETACIÓN DE DATOS.	79
5.3. ANÁLISIS DE SOBREPOSICIÓN VISUAL COMPARATIVO DE LUMINARIAS CON LA MISMA POTENCIA Y DE DIFERENTES TEGNOLOGÍAS.....	86
CAPÍTULO 6	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	91
6.1. CONCLUSIONES.....	91
6.2. RECOMENDACIONES.	92
6.3. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	93
Bibliografía	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto cualitativo de la radiación y cuantitativo de la energía radiante.....	4
Figura 2. Tipos de energía luminosa.....	6
Figura 3. Flujo luminoso.....	6
Figura 4. Intensidad Luminosa.....	7
Figura 5. Luminancia.....	7
Figura 6. Iluminancia sobre una Superficie.....	8
Figura 7. Iluminancia sobre una Superficie vertical y horizontal.....	8
Figura 8. Equipo de hermeticidad para pruebas de agua.....	9
Figura 9. Equipo para determinación del grado de hermeticidad del polvo.....	10
Figura 10. Fotogoniómetro tipo A. a) principio de funcionamiento. b) esfera de medición. c) sistema de coordenadas.....	11
c) Figura 11. Fotogoniómetro tipo B. a) principio de funcionamiento. b) esfera de medición. c) sistema de coordenadas.....	12
Figura 12. Fotogoniómetro tipo C.....	13
Figura 13. Diferentes principios de funcionamiento de fotogoniómetros tipo C.....	13
Figura 14. Equipos que conforman el fotogoniómetro de la Universidad Católica de Cuenca.....	14
Figura 15. Esquema de la Esfera de Ulbrich.....	15
Figura 16. Partes de la luminaria.....	16
Figura 17. Luminaria tipo I.....	17
Figura 18. Luminaria tipo II.....	17
Figura 19. Luminaria tipo III.....	18
Figura 20. Luminaria tipo Artística.....	18
Figura 21. Luminaria tipo Peatonal.....	18
Figura 22. Luminaria tipo Globo.....	19
Figura 23. Luminaria tipo Futurística.....	19
Figura 24. Curva de distribución de intensidad luminosa.....	20
Figura 25. Diagrama polar o curvas de distribución luminosa.....	21
Figura 26. Curva de la distribución luminosa.....	22
Figura 27. Matriz de intensidades luminosas.....	22
Figura 28. Diagramas Isocandela.....	23
Figura 29. Proyección azimutal de Lambert.....	24
Figura 30. Curva isolux.....	25
Figura 31. Curvas Isolux de las Luminarias de Sodio CALIMA II de 150 W (izq.) y 250 W (der.).....	26
Figura 32. Equipo Fotométricos.....	26
Figura 33. Equipo Fotométrico parte 1.....	27
Figura 34. Equipo Fotométrico parte 2.....	27
Figura 35. Equipo Fotométrico parte 3.....	27
Figura 36. Diferentes principios de funcionamiento de fotogoniómetros tipo C.....	28
Figura 37. A) Luminaria Roadway-115.....	29
Figura 38. B) Luminaria Roadway-115, Dimensiones.....	29
Figura 39. A) Luminaria Roadway-115 Cutoff.....	31
Figura 40. B) Luminaria Roadway-115 Cutoff, dimensiones.....	31
Figura 41. A) Luminaria Roadway-125.....	32
Figura 42. B) Luminaria Roadway-125, dimensiones.....	33
Figura 43. A) OMNIstar 144 LEDs 700mA.....	33
Figura 44. B) OMNIstar 144 Leds 700mA, dimensiones.....	34

Figura 45. Archivo .ies.....	35
Figura 46. Ventana principal del software Cooper Photometric.	35
Figura 47. Botón View Photometric File.	36
Figura 48. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 3D.	36
Figura 49. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 2D forma polar.	37
Figura 50. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 2D forma cartesiano.....	37
Figura 51. Luminaria 150w, Matriz del grafico de intensidad en 3D.	38
Figura 52. Luminaria 150W, descripción de la Luminaria.	38
Figura 53. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 3D.	39
Figura 54. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D en Polar.	39
Figura 55. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D en Cartesiano.	40
Figura 56. Luminaria 250W, Matriz del grafico de intensidad en 3D.....	40
Figura 57. Luminaria 250W, descripción de la Luminaria.	41
Figura 58. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 3D.	41
Figura 59. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 2D forma polar.	42
Figura 60. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 2D forma cartesiano.....	42
Figura 61. Luminaria 150W, Matriz del grafico de intensidad en 3D.....	43
Figura 62. Luminaria 150W, descripción de la Luminaria.	43
Figura 63. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 3D.	44
Figura 64. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D forma polar.	44
Figura 65. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D forma rectangular.	45
Figura 66. Luminaria 250W, Matriz del grafico de intensidad en 3D.....	45
Figura 67. Luminaria 250W, descripción de la Luminaria.	46
Figura 68. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 3D.	46
Figura 69. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D forma polar.	47
Figura 70. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D forma rectangular.	47
Figura 71. Luminaria 250W, Matriz del gráfico de intensidad en 3D.....	48
Figura 72. Luminaria 250W, descripción de la Luminaria.	48
Figura 73. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, Intensidad luminosa en 3D.	49
Figura 74. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, Intensidad luminosa en 2D forma polar.	49
Figura 75. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, Intensidad luminosa en 2D forma rectangular.	50
Figura 76. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, Matriz del grafico de intensidad en 3D.	50
Figura 77. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, descripción de la Luminaria.	51
Figura 78. Libro de Excel, datos de matrices.	52
Figura 79. Archivo .xyz.....	55
Figura 80. Luminaria 150w Roadway-115, vista frontal.	56
Figura 81. Luminaria 150w Roadway-115, vista superior.	57
Figura 82. Luminaria 150w Roadway-115, vista lateral.	57
Figura 83. Luminaria 150w Roadway-115 vista inferior.	58
Figura 84. Luminaria 250w Roadway-115.....	58
Figura 85. Luminaria de 150w Roadway-115 Cutoff.....	59
Figura 86. Luminaria de 250w Roadway-115 Cutoff.....	59
Figura 87. Luminaria de 250w Roadway-125.....	60
Figura 88. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA.....	60
Figura 89. Software SolidWorks.....	61
Figura 90. Selección de Archivo.....	61
Figura 91. Opción SCANTO 3D.	62
Figura 92. Generación de la nube de puntos.	62
Figura 93. Limpiar el grafico de la nube de puntos.	63
Figura 94. Gira la Figura en 360.	63

Figura 95. Configuración de nube de puntos.....	64
Figura 96. Proceso de convención ha solido.....	64
Figura 97. Rellenado de Huecos.....	65
Figura 98. Creación dela mejor cara a sólido.....	65
Figura 99. Solido simétrico.....	66
Figura 100. Caras a visualizar.....	66
Figura 101. Archivo “.STL” del sólido.....	67
Figura 102. Solido de Luminaria 150w Roadway-115.....	67
Figura 103. Solido de la luminaria 250w Roadway-115.....	68
Figura 104. Solido de la luminaria 150w Roadway-115 Cutoff.....	68
Figura 105. Solido de la luminaria 250w Roadway-115.....	69
Figura 106. Solido de la luminaria 250w Roadway-125.....	69
Figura 107. Solido de la luminaria Led 314W- Omnistar.....	70
Figura 108. Luminaria 150w Roadway-115.....	71
Figura 109. Solido de la luminaria 250w Roadway-115.....	71
Figura 110. Solido de la luminaria 150w Roadway-115 Cutoff.....	72
Figura 111. Solido de la luminaria 250w Roadway-115-Derecho.....	72
Figura 112. Solido de la luminaria 250w Roadway-115-Izquierdo.....	73
Figura 113. Solido de la luminaria 250w Roadway-125.....	73
Figura 114. Solido de la luminaria Led 314W- OMNistar Derecho.....	74
Figura 115. Solido de la luminaria Led 314W- OMNistar Izquierdo.....	74
Figura 116. Impresora 3D Ultimaker 2 Extended.....	75
Figura 117. Luminaria 150w Roadway-115-L1.....	76
Figura 118. Luminaria 250w Roadway-115-L2.....	76
Figura 119. Luminaria 150w Roadway-115 Cutoff-L3.....	77
Figura 120. Luminaria 250w Roadway-115-L4.....	77
Figura 121. Luminaria 250w Roadway-125-L5.....	78
Figura 122. Luminaria Led 314W- OMNistar-L6.....	78
Figura 123. Curva de Intensidad luminosa.....	80
Figura 124. Curva de Intensidad luminosa en C.....	80
Figura 125. Curva de Intensidad luminosa en C.....	81
Figura 126. Curva de Intensidad luminosa Gama.....	81
Figura 127. Curva de Intensidad luminosa en Gama.....	82
Figura 128. Curva de Intensidad luminosa en C transversal.....	82
Figura 129. Curva de Intensidad luminosa en C transversal.....	83
Figura 130. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva lateral de C- L1.....	86
Figura 131. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva lateral de C- L3.....	86
Figura 132. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva superior de Gama-L1.....	87
Figura 133. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva superior de Gama -L3.....	87
Figura 134. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva corte lateral de C- L3.....	88
Figura 135. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva corte lateral de C-L3.....	88
Figura 136. Comparación visual L1 vs L3.....	89
Figura 137. Comparación visual L1 vs L6.....	90
Figura 138. Impresión 3D de la luminaria 150W.....	97
Figura 139. Impresión 3D de la luminaria 250W.....	98
Figura 140. Impresión 3D de la luminaria 150W.....	99
Figura 141. Impresión 3D de la luminaria 250W.....	100
Figura 142. Impresión 3D de la luminaria 250W.....	101
Figura 143. Impresión 3D de la luminaria 314W.....	102

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Magnitudes fotométricas cualitativas y cuantitativas, unidades y símbolos.	4
TABLA 2. Magnitudes fotométricas, unidades y símbolos del Sistema Internacional.....	5
TABLA 3. Descripción de las luminarias Utilizadas.....	29
TABLA 4. Matriz Candela de la Intensidad luminosa.	83

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Figura física luminária 150W.....	97
ANEXO B. Figura física luminária 250W.....	98
ANEXO C. Figura física luminária 150W.....	99
ANEXO D. Figura física luminária 250W.....	100
ANEXO E. Figura física luminária 250W.....	101
ANEXO F. Figura física luminária 314W.....	102

RESUMEN

La Universidad Católica de Cuenca posee un laboratorio de Luminotecnia y uno de sus equipos es un fotogoniómetro (el cual sirve para realizar el modelamiento de la intensidad luminosa y las curvas Isocandela), por lo que el presente trabajo de investigación trata sobre “El modelamiento Tridimensional de la Intensidad de Luminarias” (física). Para esto se ha realizado pruebas a distintos tipos de luminarias con el fin de verificar sus características fotométricas e imprimir los resultados en figuras físicas tridimensional 3D. Los datos de intensidad luminosa se obtuvieron usando el software Cooper Photometric, con los cuales se ha procedido a obtener un modelo equivalente (nube de puntos en coordenadas xyz) utilizando el software Matlab. Este resultado ha sido exportado al software SolidWorks para transformar las coordenadas obtenidas en una figura sólida. La impresión 3D se realizó para cada una de las figuras en material plástico a una escala de 1:100. Finalmente, los resultados fueron analizados y comparados y finalmente se ha emitido conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave: MODELAMIENTO LUMINARIAS, CURVAS ISOCANDELA, INTENSIDAD LUMINOSA, IMPRESIÓN 3D

ABSTRACT

THE CATHOLIC UNIVERSITY OF CUENCA HAS A LIGHTING LABORATORY AND ONE OF ITS EQUIPMENT IS A PHOTO-IONOMETER (WHICH IS USED TO PERFORM THE LUMINOUS INTENSITY MODELING AND ISOCANDELA CURVES), SO THE PRESENT RESEARCH WORK IS ABOUT "THREE-DIMENSIONAL MODELING OF LUMINAIRE INTENSITY "(PHYSICS). TO THIS END, TESTS HAVE BEEN CARRIED OUT ON DIFFERENT TYPES OF LUMINAIRES IN ORDER TO VERIFY THEIR PHOTOMETRIC CHARACTERISTICS AND PRINT THE RESULTS IN THREEDIMENSIONAL 3D PHYSICAL FIGURES. THE LUMINOUS INTENSITY DATA WERE OBTAINED USING THE COOPER PHOTOMETRIC SOFTWARE, WITH WHICH AN EQUIVALENT MODEL (POINT CLOUD IN XYZ COORDINATES) WAS OBTAINED USING THE MATLAB SOFTWARE. THIS RESULT HAS BEEN EXPORTED TO SOLIDWORKS SOFTWARE TO TRANSFORM THE COORDINATES OBTAINED INTO A SOLID FIGURE. THE 3D PRINTING WAS MADE FOR EACH OF THE FIGURES IN PLASTIC MATERIAL AT A SCALE OF 1: 100. FINALLY, THE RESULTS WERE ANALYZED AND COMPARED AND FINALLY CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS HAVE BEEN ISSUED.

KEYWORDS: LUMINAIRES MODELING, ISOCANDELA CURVES, LUMINOUS INTENSITY, 3D PRINTING

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se plantean el objetivo general y los objetivos específicos; se justifica el estudio, alcance, y metodología, también se indica la delimitación del estudio; se detalla la diferencia de tipos de luminarias con las mismas características técnicas.

1.1 ANTECEDENTES

Antes de las lámparas de descarga y las lámparas incandescentes, se utilizaba el alumbrado por gas. Las primeras farolas requerían que un farolero recorriese las calles de Pal Mall de Londres al atardecer para ir encendiéndolas, pero años después se empezaron a emplear dispositivos de encendido automático que prendían la llama al activarse el paso del gas. Posteriormente se desarrollaron farolas eléctricas de arco eléctrico, velas eléctricas (velas Jablohoff o velas Yablochkov) que fueron desarrollados por el ruso Pavel Yablochkov en 1875. En la actual Rumania, fue la primera ciudad de Europa Continental en contar con alumbrado público por electricidad. El 12 de noviembre de 1884 se instalaron 731 lámparas de arco diferencial por parte de Friederich von Hefner-Alteneck en la calle Thames Embankment de Londres como mejoras a las luminarias ya instaladas en 1875. Posteriormente, se desarrolló la lámpara de vapor de mercurio de alta presión, que es una lámpara de arco eléctrico cuya descarga ocurre dentro de un gas a alta presión, por lo que se la llamó HID (por sus siglas en inglés High Intensity Discharge), también se la conoce como descarga de alta intensidad (DAI). Estas lámparas debido a la degradación de sus componentes internos pierden intensidad luminosa rápidamente, pero son una fuente puntual de luz (Didio, 2006).

1.2. PROBLEMA

1.2.1. Planteamiento del Problema

Las luminarias de vapor de sodio que tienen las mismas potencias, pero presentan diferentes rendimientos lumínicos así como sus prestaciones, por este motivo dificulta saber cuál es la más óptima.

1.2.2. Delimitación del Problema

Se realizará el análisis de la luminaria de vapor de sodio de 150w, de 2 tecnologías similares que se utilicen en el Ecuador; y una luminaria que se utilizará también en nuestro medio para el tranvía y sus características son 314W marca Omnistar.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la intensidad lumínica de luminarias de vapor de sodio y 1 luminaria led de alumbrado público, en un simulador del fotogoniómetro, para su modelación en 3D y obtener sus diferencias de rendimiento.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar pruebas de fotometría en el software Cooper Photometric en donde se colocarán 6 tipos de luminarias con diferentes tecnologías.
- Imprimir la fotometría en 3D en un modelo físico.
- Comparar la fotometría de las muestras.
- Emitir Conclusiones y Recomendaciones.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Actualmente en Ecuador, el sistema de alumbrado público utiliza mayoritariamente luminarias de vapor de sodio de alta presión de 100w, 150w y 250w y luminarias tipo Led utilizando diferentes tecnologías para cada potencia, siendo necesario identificar las de mejor prestación lumínica de las luminarias que absorben la misma potencia. Por este motivo es necesario investigar que tecnologías tienen las mejores características lumínicas.

1.5. Alcance

Se realizará la impresión 3D de las curvas de rendimiento lumínico de 6 luminarias de diferentes tecnologías de fabricación: 2 de 150W; 3 de 250W y 1 luminaria led de 314W utilizadas en alumbrado público; se contrastará el resultado de las curvas en 3D y gráficos obtenidos de las luminarias de 150W.

1.6. Metodología.

Para la realización de este trabajo se utilizarán los métodos: deductivo por medio del software Cooper Photometric para la obtención de datos, experimental modelando las pruebas a obtener se procederá a la impresión 3D de las intensidad luminosa y analítico mediante las expresiones matemáticas a obtener en Matlab modelando las tablas de intensidad luminosa. Siendo una investigación comparativa se identificarán las variables cuantitativas. Con los datos obtenidos se realizarán distintos análisis para determinar las características de las luminarias propuestas. Se recopilará, clasificará, analizara y se validara la información para su presentación y análisis de resultados.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se analizará las magnitudes fotométricas que se utilizan en la investigación, se describirá el laboratorio de luminotecnia de la UCACUE y se describirán las diferentes tecnologías de las luminarias de sodio de alta presión.

2.2. Magnitudes Fotométricas

La energía radiante tiene tres características; matiz o tono, saturación y brillo. Las dos primeras hacen referencia al aspecto cualitativo de la radiación y aspecto cuantitativo de la energía radiante, es decir al brillo, a la cantidad de luz (Catton, 2014).

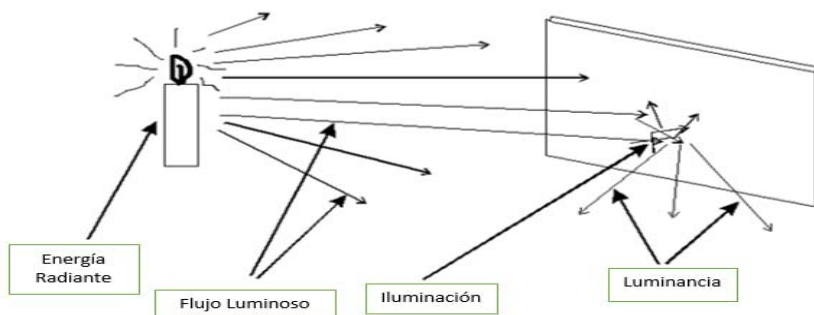


Figura 1. Aspecto cualitativo de la radiación y cuantitativo de la energía radiante.

Fuente: (Catton, 2014).

El cuadro siguiente nos indica las magnitudes sus unidades y símbolos correspondientes:

TABLA 1. Magnitudes fotométricas cualitativas y cuantitativas, unidades y símbolos.

MAGNITUD	UNIDAD	SIMBOLO
INTENSIDAD (I)	CANDELA=Lumen / estereorradián	cd
FLUJO (F)	LUMEN= cd / estereorradián	lm
ILUMINACION (E)	LUX= lm / m ²	lx
LUMINANCIA (L)	NIT= cd / m ² ; APOSTILB = lm / m ²	nt; ASB

Fuente: (Catton, 2014).

La luz es una forma de energía y como tal, debería medirse en Joules (J) en el Sistema Internacional de medidas, no obstante, dado que no toda la luz emitida por una fuente produce sensación luminosa ni toda la energía que consume se convierte en luz, para cuantificar la radiación a la que es sensible el ojo humano es necesario definir nuevas magnitudes y sus unidades de medida (Catton, 2014).

TABLA 2. Magnitudes fotométricas, unidades y símbolos del Sistema Internacional.

Unidades de Fotometría del SI				
Magnitud	Símbolo	Unidad del SI	Abreviatura	Notas
Energía luminosa	Q_v	lumen segundo	$\text{lm} \cdot \text{s}$	A veces se usa la denominación talbot, ajena al SI
Flujo luminoso	F	lumen (= $\text{cd} \cdot \text{sr}$)	lm	Medida de la potencia luminosa percibida
Intensidad luminosa	I_v	candela (= lm/sr)	cd	Una unidad básica del SI
Luminancia	L_v	candela por metro cuadrado	cd/m^2	A veces se usa la denominación nit, ajena al SI
Iluminancia	E_v	lux (= lm/m^2)	lx	Usado para medir la incidencia de la luz sobre una superficie
Emitancia luminosa	M_v	lux (= lm/m^2)	lx	Usado para medir la luz emitida por una superficie
Eficacia luminosa	η	lumen por vatio	lm/W	Razón entre flujo luminoso y flujo radiante

Fuente: (Catton, 2014).

2.2.1. Energía Luminosa Q_v

La energía luminosa es la energía de luz visible, la energía luminosa es la energía que generan y transportan las ondas de luz. Cuando la luz se traslada puede actuar como una onda electromagnética o como una partícula, ya que puede interactuar con otras materias. Esas partículas se denominan fotones (luminosa, 2017).

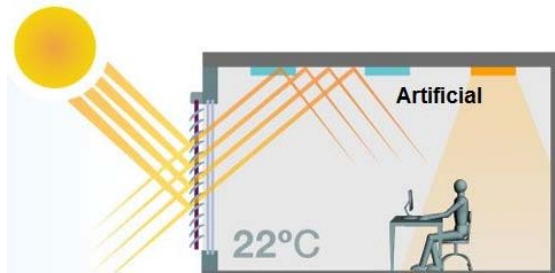


Figura 2. Tipos de energía luminosa.

Fuente: (luminosa, 2017).

2.2.3 Flujo luminoso “F”

Es la magnitud que mide la potencia o caudal de energía de la radiación luminosa y se puede definir de la siguiente manera: Flujo luminoso es la cantidad total de luz radiada o emitida por una fuente durante un segundo (Salomone, 2003).

Ecuación (1).
$$\phi = \frac{Q}{t}$$
 (Salomone, 2003)

f = Flujo luminoso en Lúmenes.

Q = Cantidad de luz emitida en Lúmenes x seg.

t = Tiempo en segundos.

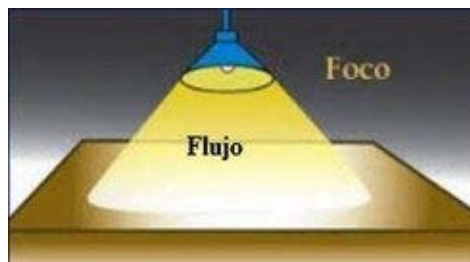


Figura 3. Flujo luminoso.

Fuente: (Tecnologica, 2017).

2.2.4. Intensidad Luminosa. I_v

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una dirección dada, es la relación que existe entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje

coincida con la dirección considerada, y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes (Salomone, 2003).

Ecuación (2).

$$I = \frac{\phi}{\omega}$$

(Salomone, 2003)

I = Intensidad luminosa en candelas.

ϕ = Flujo luminoso en lúmenes.

ω = Ángulo sólido en estereorradianes.



Figura 4. Intensidad Luminosa.

Fuente: (Barbero, 2003).

2.2.5 Luminancia. L_v

Luminancia es la intensidad luminosa por unidad de superficie perpendicular a la dirección de la luz (Salomone, 2003).

Ecuación (3).

$$L = \frac{I}{S}$$

(Salomone, 2003)

La luminancia L suele expresarse indistintamente en candelas/cm² o en candelas/m².

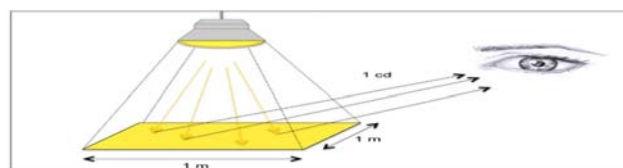


Figura 5. Luminancia.

Fuente: (Chacon, 2016).

Cuando la superficie considerada S1 no es perpendicular a la dirección de la luz, habrá que considerar la superficie real S2, que resulta de proyectar S1 sobre dicha perpendicular (Salomone, 2003).

Ecuación (4).
$$S2 = S1 \cos \theta$$
 (Salomone, 2003)

Por lo tanto:

Ecuación (5).
$$L = \frac{I}{S2} = \frac{I}{S1 \cos \theta}$$
 (Salomone, 2003)

2.2.6. Iluminancia. E_v

La iluminancia es el flujo luminoso recibido por unidad de superficie. La iluminancia depende de la distancia del foco al objeto iluminado según la ley inversa de los cuadrados que relaciona la intensidad luminosa (I) y la distancia a la fuente. Esta ley solo es válida si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie (Barbero, 2003).

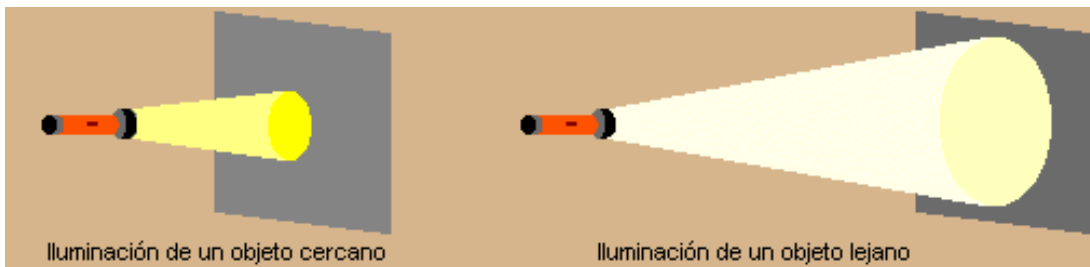


Figura 6. Iluminancia sobre una Superficie. .

Fuente: (Barbero, 2003)

Hay casos que se descompone la iluminancia recibida en una componente horizontal y en otra vertical a la superficie. (Barbero, 2003)

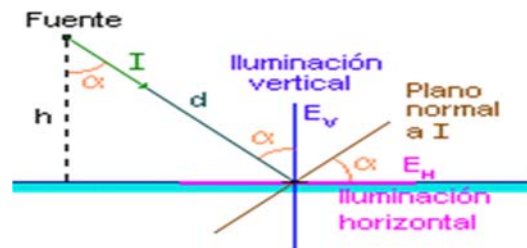


Figura 7. Iluminancia sobre una Superficie vertical y horizontal.

Fuente: (Barbero, 2003).

Ecuación (6).
$$EH = \frac{I \cdot \cos \alpha}{d^2} \quad (\text{Barbero, 2003})$$

$$EV = \frac{I \cdot \sin \alpha}{d^2} = EH \cdot \tan \alpha$$

2.2.7. Emitancia luminosa. M_v

La emitancia luminosa (luminous emittance) se corresponde con la emitancia radiante y su unidad de medida es el lumen por metro cuadrado (lm/m^2). La emitancia luminosa mide la densidad del flujo luminoso por unidad de superficie y se refiere a la emisión de luz. Es una magnitud poco usada en la visión del color (Boscarol, 2007).

2.2.8 Eficacia luminosa. η

“Es el flujo luminoso (lumen), corresponde a la potencia luminosa percibida, de una lámpara entre la potencia eléctrica (Watt) que requiere para operar” (Garduño, 2010).

Ecuación (7).
$$\eta = \frac{lm}{w} \quad (\text{Garduño, 2010})$$

2.3. Laboratorio de Luminotecnia

La Carreara de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Católica de Cuenca, implementó un laboratorio de fotometría para la investigación de magnitudes técnicas de las luminarias de alumbrado público. Este laboratorio cuenta con una esfera de Ulbrich, un fotogoniómetro, un equipo para determinar la hermeticidad de agua y un equipo para determinar hermeticidad de polvo.

2.3.1 Equipo de hermeticidad de agua [waterproof test (jl-56)].

Este equipo sirve para realizar pruebas simulando el estado de lluvia sobre la luminaria determinando el grado IP de la luminaria respecto a la hermeticidad del Agua.



Figura 8. Equipo de hermeticidad para pruebas de agua.

Fuente: Erick Avilés (Trabajo de Investigación).

2.3.2. Equipo para determinación del grado de hermeticidad del polvo. [dustproof testing machine].

Este equipo sirve para realizar las pruebas simulando condiciones de polvo, determinando el grado de hermeticidad del polvo.



Figura 9. Equipo para determinación del grado de hermeticidad del polvo.

Fuente: Erick Avilés (Trabajo de Investigación).

2.2.3 .El fotogoniómetro

“Un fotogoniómetro, también llamado goniofotómetro, es un montaje de laboratorio en el cual se realizan pruebas normalizadas a todo tipo de luminarias como las utilizadas en alumbrado público” (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

El objetivo de las pruebas, llamadas fotometrías, es conocer la forma de la distribución lumínica y la medida de las intensidades luminosas alrededor de la fuente bajo prueba. Con esta información es posible obtener diagramas como el isocandela e isolux, así como también la matriz de distribución de intensidades luminosas y en general, diagramas polares de intensidad en diferentes planos (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

Posteriormente, es posible determinar la calidad del reflector y refractores utilizados en la luminaria, las pérdidas con respecto a la potencia de la fuente utilizada, como también estimar la calidad de la iluminación sobre un área especificada al utilizar una luminaria determinada (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

Cabe anotar que la matriz de intensidades es el elemento de caracterización más importante que puede tener una fuente luminosa hoy en día.

Además, permite obtener cualquier tipo de cálculo lumínico: bien sea punto a punto o bien sea de promedios; tanto de luminancia como de iluminancia y permite igualmente calcular deslumbramiento y uniformidades como elementos evaluadores de la calidad de la iluminación en el alumbrado público. En la luminotecnia moderna, es llamada la huella digital de las luminarias (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

“Existen varios tipos o sistemas que cumplen el propósito de un fotogoniómetro y se describen a continuación” (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

2.2.3.1. Sistema de eje horizontal fijo: fotogoniómetro tipo A

“Con este sistema, mostrado en la Figura 10a, se tiene una rotación de la luminaria alrededor del eje horizontal fijo Y generando una circunferencia. A su vez, se tiene la posibilidad de girar la luminaria alrededor de un eje vertical X completando así la esfera sobre la cual se toman los datos (Figura 10b)” (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

“En el sistema de coordenadas, los ángulos entre planos son denominados X y los ángulos medidos en un plano son denominados Y. (Figura 10c)” (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

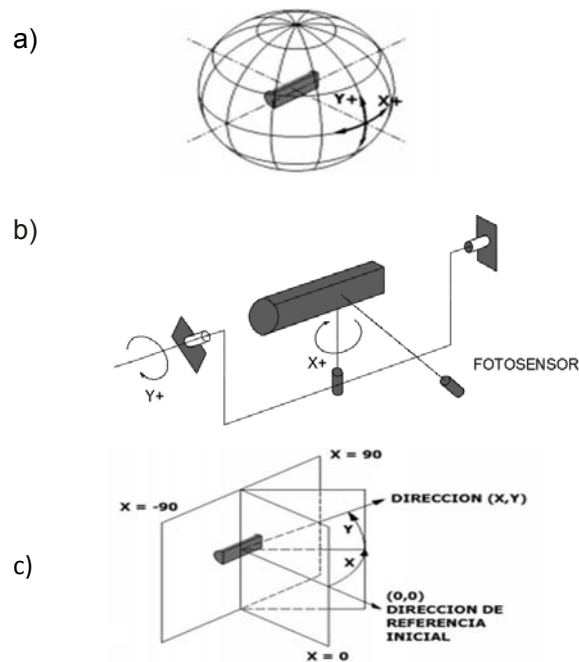


Figura 10. Fotogoniómetro tipo A. a) principio de funcionamiento. b) esfera de medición. c) sistema de coordenadas.

Fuente: (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

2.2.3.2. Sistema de eje vertical fijo: fotogoniómetro tipo B

Este sistema calcula los valores del mismo modo que el anterior pero en este caso el sistema fijo es el vertical. En el sistema de coordenadas, los ángulos entre planos se denominan V y los ángulos intermedios H . Como se visualiza en la figura 11.

Este tipo de fotometría es el utilizado principalmente en el cálculo de las medidas de los proyectores. (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

11c).

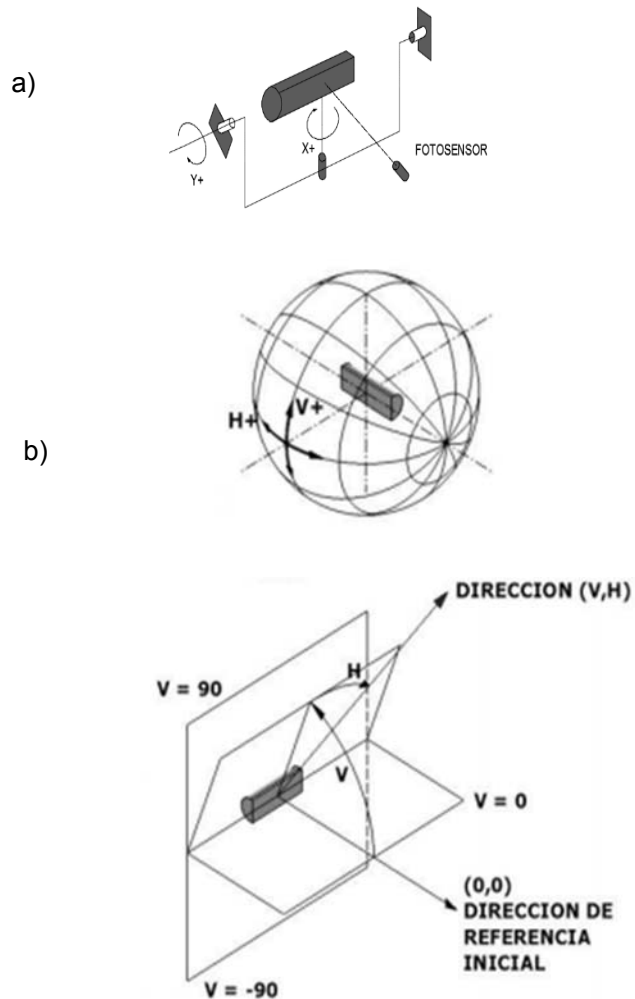


Figura 11. Fotogoniómetro tipo B. a) principio de funcionamiento. b) esfera de medición. c) sistema de coordenadas.

Fuente: (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

2.2.3.3. Sistema de fotosensor o espejo móvil: fotogoniómetro tipo C.

Este sistema presenta un fotosensor, encargado de la toma de datos, o un espejo móvil alrededor de un eje horizontal como se muestra en la Figura 12. Se caracteriza por tener la luminaria suspendida en una orientación fija en el espacio, pudiéndose mover sólo alrededor de un eje vertical. El fotosensor o espejo gira alrededor de la luminaria en un plano vertical (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

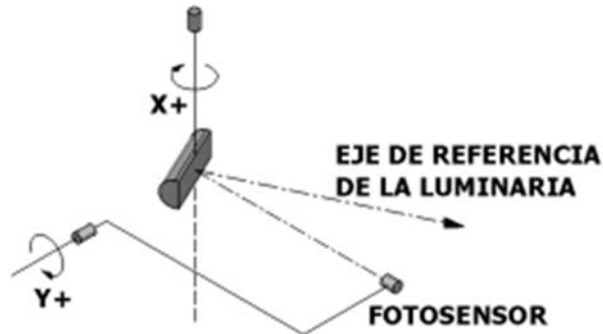


Figura 12. Fotogoniómetro tipo C.

Fuente: (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

Existen dos estilos de fotogoniómetro tipo C: el que presenta un fotosensor móvil montado sobre una guía en forma de medialuna con centro en el “centro fotométrico” de la luminaria y el que posee un espejo que orbita alrededor de la luminaria (Figura 13b). En este último los rayos de luz provenientes de la fuente luminosa son recogidos por el espejo que los refleja hacia el fotosensor. La fuente luminosa bajo prueba puede girar 360° alrededor de su propio eje vertical. La inclinación de los rayos de luz (ángulos verticales sobre cada plano), se simula mediante el giro vertical del espejo entre 0° y 180° alrededor de la fuente. Para evitar la incidencia directa de la luz (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

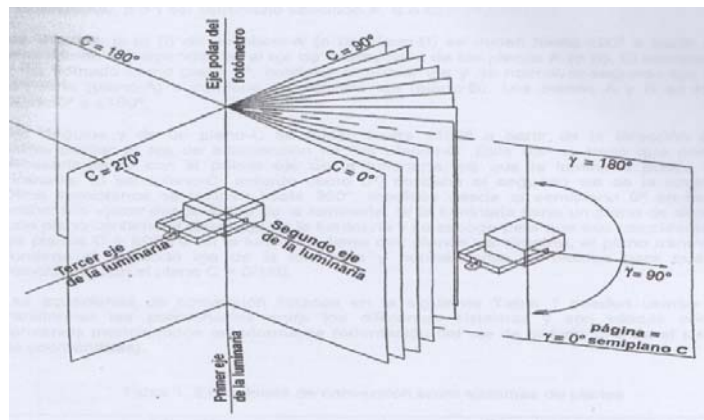


Figura 13. Diferentes principios de funcionamiento de fotogoniómetros tipo C.

Fuente: (Comision Internacional de Iluminacion (CIE), 1996).

Emitida sobre el fotosensor, se utiliza una barrera física, de modo que toda la radiación medida es de tipo reflejado. De esta manera, se logra que la distancia entre fuente y fotosensor sea mayor a 5 veces el diámetro mayor de la luminaria bajo prueba, por lo que ésta puede ser considerada como una fuente puntual, facilitando la estimación de las cantidades fotométricas (Alexander Arias-Cuellar, 2006).

A continuación se describe el fotogoniómetro que la Universidad Católica de Cuenca, implementado en el laboratorio de fotometría.

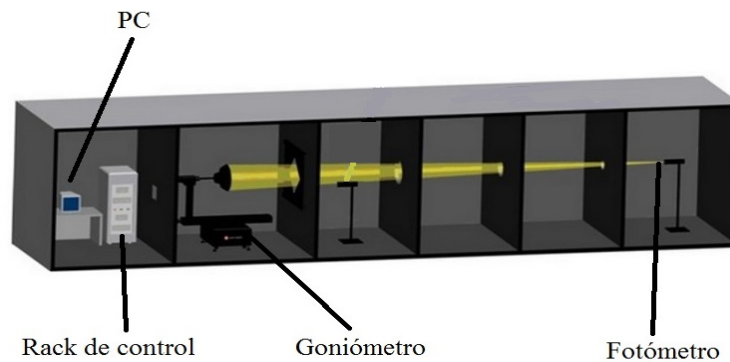


Figura 14. Equipos que conforman el fotogoniómetro de la Universidad Católica de Cuenca..

Fuente: (LINSUP GROUP, 2016).

2.2.3.1. Computador personal.

Este equipo está vinculado al rack de control mediante una conexión de red, es en éste donde se recopila la información que los equipos de medición entregan al rack y este por medio del software entrega la información totalmente tecnificada y de fácil interpretación.

2.2.3.2. Rack de control.

El Rack de control constituye los circuitos de mando así como de control de todo el sistema. En el rack van instalados las protecciones para los instrumentos de medida como multímetros digitales que dejan apreciar niveles de tensión e intensidad.

2.2.3.3. Goniómetro.

Es un semicírculo o círculo graduado en 180° o 360° utilizado para medir o construir ángulos. (Comision Internacional de Iluminacion (CIE), 1996, p. 33)

2.2.3.4. Fotómetro.

Es el encargado de convertir la luz incidente en una cantidad eléctrica. (Comision Internacional de Iluminacion (CIE), 1996)

2.2.4. Esfera de Ulbrich.

La Esfera de Ulbricht es una esfera hueca, cubierta en su interior con una pintura especial, de color blanco, cuya característica es presentar una reflexividad lo más uniforme posible a las diferentes longitudes de onda percibidas por el ojo humano. En su centro geométrico se sitúa la lámpara cuyo flujo se quiere determinar y sobre la superficie de la esfera se monta el elemento de medición (Luxímetro), que mide la Iluminancia correspondiente de acuerdo al esquema de la figura 13. Para que la Esfera se comporte como Esfera Integradora, se coloca una placa (cubierta con la misma pintura de la Esfera), cuyo cometido es evitar que la luz incida directamente sobre el elemento de medición. De esta manera y en forma ideal, se asume que la Esfera Integradora es una superficie Lambertiana, con reflectancia no selectiva. Es decir que para cualquier longitud de onda (del espectro visible) se tiene el mismo índice de reflectancia en todos los puntos de la Esfera. Además, por la geometría de la Esfera y por el hecho de que la luz no incide directamente sobre el punto de medición, no existen puntos privilegiados en su superficie interior (Ing. Nicolas Rivero, 2010).

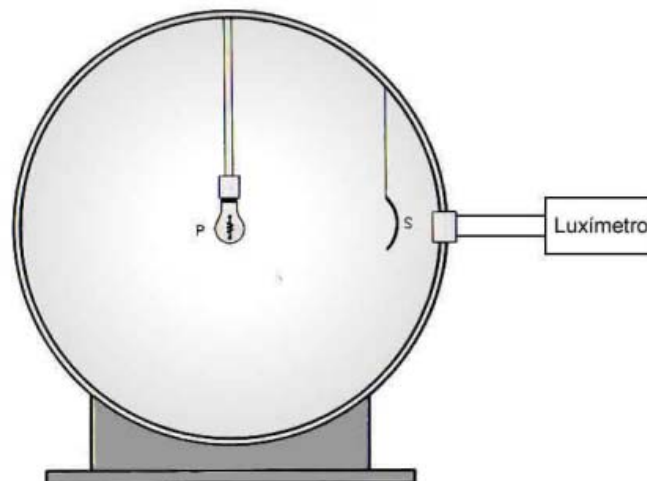


Figura 15. Esquema de la Esfera de Ulbrich.

Fuente: (Ing. Nicolas Rivero, 2010).

2.4. Tecnologías de luminarias.

2.4.1. Luminarias

Aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas y que incluye, excepto las propias lámparas, todas las partes necesarias para soportar, fijar y proteger la lámpara y cuando es necesario, circuitos auxiliares junto con los medios para conectarlos a la alimentación (Comision Internacional de Iluminacion (CIE), 1996).

Los elementos más característicos de las luminarias son: (Ayudahispano, 2016)

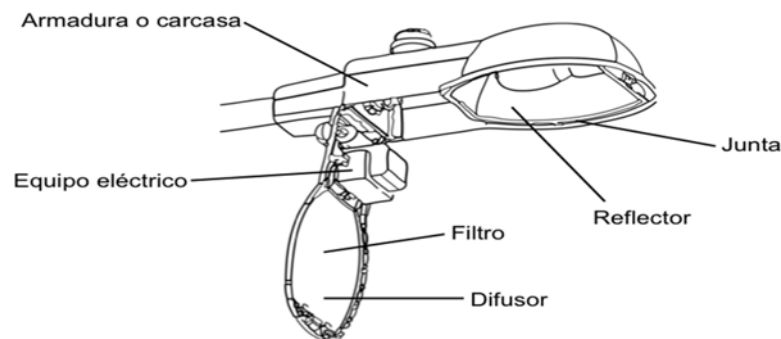


Figura 16. Partes de la luminaria.

Fuente: (Ayudahispano, 2016).

2.4.1.1. Armadura o carcasa: “Está fabricada con materiales resistentes como la chapa de acero, chapa de aluminio, vidrio, debido a que es el elemento se integra los demás componentes de la luminaria” (Ayudahispano, 2016).

2.4.1.2. Equipo eléctrico: “Formado por el portalámparas más los elementos necesarios para el arranque y funcionamiento de la lámpara” (Ayudahispano, 2016).

2.4.1.3. Reflector: “Superficies diseñadas para reflejar el flujo luminoso de la lámpara en la dirección deseada. Suelen incorporar una pantalla para evitar deslumbramientos. Está fabricada con chapas de acero finas esmaltadas, de aluminio anodizado, de aluminio de alta reflectancia” (Ayudahispano, 2016).

2.4.1.4. Difusor: “Carcasa o pantalla que encierra la lámpara. Se usa para difundir el haz de luz y evitar deslumbramiento” (Ayudahispano, 2016).

2.4.1.5. Filtro: “Se acoplan con los difusores, para potenciar o disminuir la radiación ultravioleta o infrarroja, polarización de la luz en un plano o alteración de los colores de la radiación” (Ayudahispano, 2016).

2.4.1.6. Reflector: “Superficie que modifica la distribución del flujo luminoso de la lámpara por refracción” (Ayudahispano, 2016).

2.4.1.7. Junta: “Elemento de goma que aporta a la luminaria el grado de estanqueidad” (Ayudahispano, 2016).

Continuando con la tecnología de las luminarias de alumbrado público, se clasifican en los siguientes tipos:

- Tipo I: Se utilizan en el alumbrado de calzadas con tráfico de vehículos. Disponen de sistema óptico cerrado, fotometría regulable y cuerpo de inyección de aluminio. El cierre será de vidrio y tendrá una capacidad y grado de hermeticidad altos (CREARA, 2011).



Figura 17. Luminaria tipo I.

Fuente: (CREARA, 2011).

- Tipo II: Se utilizan en el alumbrado de calzadas con tráfico de vehículos. Disponen de sistema óptico cerrado, fotometría regulable y cuerpo de inyección de aluminio. El cierre será vidrio, policarbonato o metacrilato, y tendrá una capacidad y grado de hermeticidad menores que las de Tipo I (CREARA, 2011).



Figura 18. Luminaria tipo II.

Fuente: (CREARA, 2011)

- “Tipo III: Se utilizan en el alumbrado de calzadas con tráfico de vehículos. Será abierta con fometría fija, cuerpo de chapa de aluminio o de plásticos técnicos y con equipo eléctrico incorporado” (CREARA, 2011).



Figura 19. Luminaria tipo III.

Fuente (CREARA, 2011).

- Tipo Artística: Corresponde a faroles y aparatos de carácter histórico de cuidada estética, instalados generalmente en cascos antiguos y zonas monumentales artísticas, así como aparatos de diseño de carácter vanguardista. La luminaria puede llevar incorporado un sistema óptico que permita dirigir la luz adecuadamente y reducir la contaminación luminosa. (CREARA, 2011).



Figura 20. Luminaria tipo Artística.

Fuente: (CREARA, 2011).

- “Tipo Peatonal: Generalmente para caminos peatonales en urbanizaciones en manzana abierta, con fometría fija o regulable, cuerpo de inyección o plásticos técnicos y cierre de vidrio o policarbonato, plano o curvo” (CREARA, 2011).



Figura 21. Luminaria tipo Peatonal.

Fuente: (CREARA, 2011).

- “Tipo Globo: Para uso en jardines, andadores y caminos peatonales, con fotometría fija y cierre esférico de metacrilato o policarbonato. Puede llevar incorporado un reflector en la semiesfera superior que limite la emisión de flujo luminoso hacia el cielo” (CREARA, 2011).



Figura 22. Luminaria tipo Globo.

Fuente: (CREARA, 2011).

- Tipo Proyecto o Futurista: Se utiliza generalmente en calles peatonales comerciales o de ocio modernas, de líneas estéticas adecuadas. También se utilizan para la iluminación por proyección de zonas monumentales artísticas. (CREARA, 2011)



Figura 23. Luminaria tipo Futurística.

Fuente: (CREARA, 2011).

CAPÍTULO 3

PRUEBAS DE LABORATORIO DE LUMINOTECNIA

3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se analizarán las características fotométricas de las luminarias de vapor de sodio. Se describirá el equipo fotométrico del laboratorio de luminotecnia de la UCACUE y se realizarán las pruebas necesarias a las luminarias de vapor de sodio.

3.2. Características fotométricas de luminarias.

Contar con las curvas y sus correspondientes archivos fotométricos será una herramienta importante para la selección de luminarias o fuente ideal para cada proyecto de iluminación. (Círculo Electricidad Chile , 2017).

Las curvas fotométricas son la representación gráfica del comportamiento de la luz. Muestran diferentes características relacionadas con la naturaleza de la fuente, el tipo de reflector, la óptica o el diseño de las luminarias. Contar con las curvas y sus correspondientes archivos fotométricos es una herramienta importante para la selección de la luminaria o la fuente ideal para cada proyecto de iluminación. Es importante disponer de archivos fotométricos fiables y acordes a las curvas polares presentadas por los fabricantes en sus catálogos de luminarias para contar con los cálculos correctos. Un ejemplo de las curvas fotométricas de la luminaria es la gráfica de la curva de distribución de intensidad luminosa observando la figura 22. (Círculo Electricidad Chile , 2017).

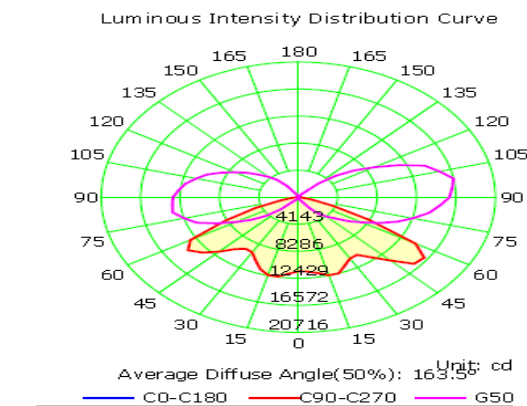


Figura 24. Curva de distribución de intensidad luminosa.

Fuente: (MÉNDEZ, 2016).

3.2.1. 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 I 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 Y mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. En este último, 0° señala la vertical hacia abajo, 90° la horizontal y 180° 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 0° y 180° quedan en el lado de la calzada y los comprendidos entre 180° y 360° en la acera; 90° y 270° son perpendiculares al bordillo y caen respectivamente en la calzada y en la acera. (Javier Garcia Fernandez, 2003).

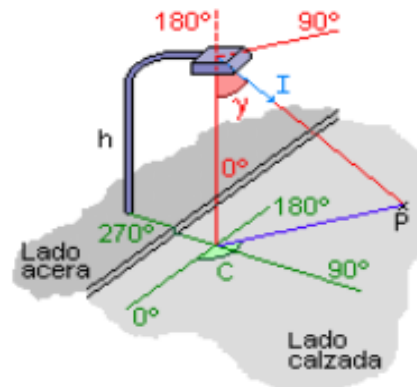


Figura 25. Diagrama polar o curvas de distribución luminosa.

Fuente: (Javier Garcia Fernandez, 2003).

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 ($C = 0^\circ$ y $C = 90^\circ$) 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 (Javier Garcia Fernandez, 2003).

Ecuación (8).
$$I_{real} = \Phi_{lampara} * \frac{I_{grafico}}{1000}$$
 (Javier Garcia Fernandez, 2003)

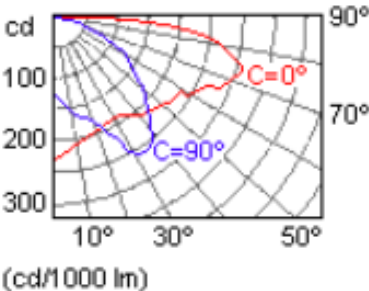


Figura 26. Curva de la distribución luminosa.

Fuente: (Javier Garcia Fernandez, 2003).

3.2.2. 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” (Javier Garcia Fernandez, 2003).

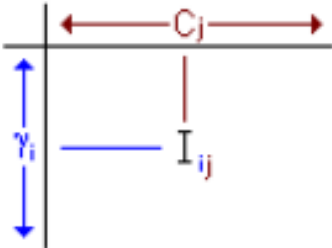


Figura 27. Matriz de intensidades luminosas.

Fuente: (Javier Garcia Fernandez, 2003).

3.2.3. 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 (Javier Garcia Fernandez, 2003).

En los diagramas isocandelas se representan en un plano, mediante curvas de nivel, los puntos de igual valor de la intensidad luminosa. Cada punto indica una dirección del espacio definida por dos coordenadas angulares. Según cómo se escojan estos ángulos, distinguiremos dos casos:

- Proyectores para alumbrado por proyección.
- Luminarias para alumbrado público. Proyección azimutal de Lambert.

En los proyectores se utiliza un sistema de coordenadas rectangulares con ángulos en lugar de las típicas x e y. Para situar una dirección se utiliza un sistema de meridianos y paralelos similar al que se usa con la Tierra. El paralelo 0° se hace coincidir con el plano horizontal que contiene la dirección del haz de luz y el meridiano 0° con el plano perpendicular a este. Cualquier dirección, queda pues, definida por sus dos coordenadas angulares. Conocidas estas, se sitúan los puntos sobre el gráfico y se unen aquellos con igual valor de intensidad luminosa formando las líneas isocandelas (Javier Garcia Fernandez, 2003).

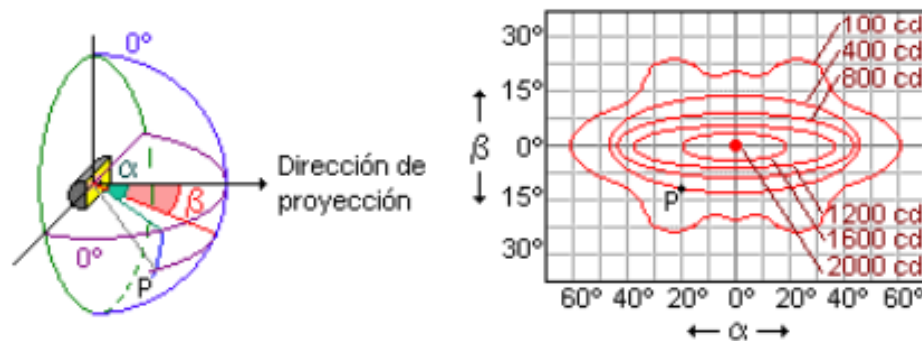


Figura 28. Diagramas Isocandela.

Fuente: (Javier Garcia Fernandez, 2003).

En las luminarias para alumbrado público, para definir una dirección, se utilizan los ángulos C y Y usados en los diagramas polares. Se supone la luminaria situada dentro de una esfera y sobre ella se dibujan las líneas isocandelas. 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 (Javier Garcia Fernandez, 2003).

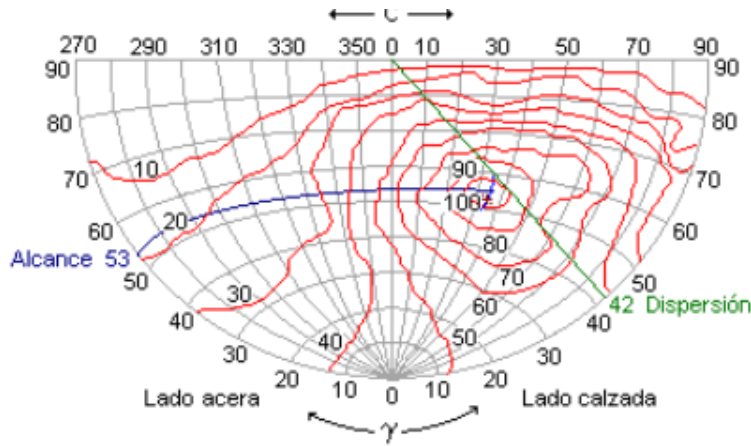


Figura 29. Proyección azimutal de Lambert.

Fuente: (Javier Garcia Fernandez, 2003).

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 (Javier Garcia Fernandez, 2003).

3.2.3. Curvas Isolux

Las curvas vistas en los apartados anteriores (diagramas polares e isocandelas) 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: (Javier Garcia Fernandez, 2003).

Ecuación (9).
$$EH = \frac{I(C,Y)}{H^2} * \cos^3 * Y$$
 (Javier Garcia Fernandez, 2003)

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 (Javier Garcia Fernandez, 2003).

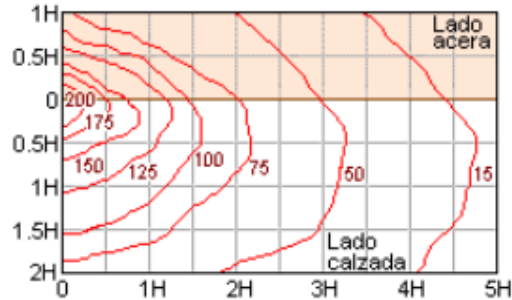


Figura 30. Curva isolux.

Fuente: (Javier Garcia Fernandez, 2003).

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

Ecuación (10).
$$E_{Hreal} = E_{curva} * \frac{\Phi * L_{real} * 1^2}{1000 * H^2}$$
 (Javier Garcia Fernandez, 2003)

También puede expresarse en valores relativos a la iluminancia máxima (100%) para cada altura de montaje. Los valores reales de la iluminancia se calculan entonces como:

Ecuación (11).
$$E_{Hreal} = E_{curva} * E_{Max}$$
 (Javier Garcia Fernandez, 2003)

Con

Ecuación (12).
$$E_{Max} = a * \frac{\Phi * L_{real}}{H^2}$$
 (Javier Garcia Fernandez, 2003)

Siendo a un parámetro suministrado con las gráficas.

Las luminarias que son las CALIMA II (de ROYALPHA S.A.), esta es una luminaria apropiada para iluminación de vías. Estas luminarias poseen las siguientes características técnicas:

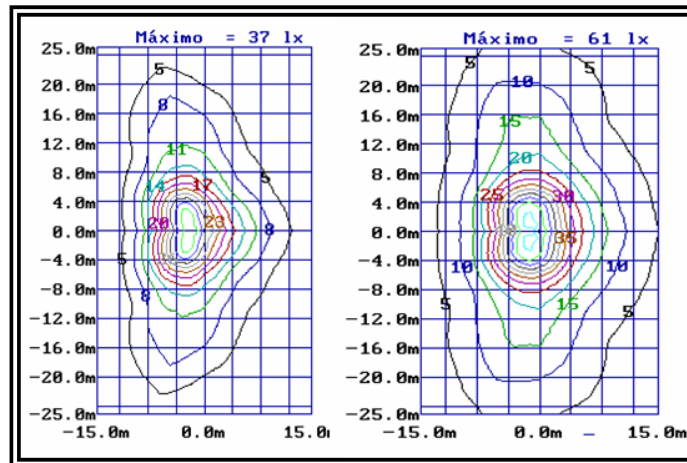


Figura 31. Curvas Isolux de las Luminarias de Sodio CALIMA II de 150 W (izq.) y 250 W (der.).

Fuente: (Javier Garcia Fernandez, 2003).

3.3. Equipos Fotométricos a Utilizar.

En el laboratorio de luminotecnía se utiliza el goniofotómetro modelo LSG-1600BCCD siendo un instrumento automático de alta precisión para las mediciones de la distribución de intensidad luminosa, como se observa en la figura 32.



Figura 32. Equipo Fotométricos.

Fuente: (LINSUP GROUP, 2016).

Como el principal instrumento utilizado en el laboratorio, para realizar las diferentes pruebas es de tipo C- γ , proveniente de la empresa LINSUP GROUP “www.linsupgroup.com” que se encontraba ubicado en un segmento de 8,30 m de largo x 3,40 m de ancho que se divide en tres partes:

Parte 1: Como se observa en el gráfico, esta sección está encargada de sujetar a la luminaria, girando a la misma para realizar las pruebas correspondientes.



Figura 33. Equipo Fotométrico parte 1.

Fuente: (MÉNDEZ, 2016).

Parte 2: Es un hueco situado en la pared donde la luz pasa para obtener los datos en el fotogoniómetro, está comprendido de las siguientes dimensiones 2,70m+ 2,55m+ 3,05m diámetro 1,06m y 0,60m. El cuarto es de color negro tanto las paredes como el piso. (MÉNDEZ, 2016)



Figura 34. Equipo Fotométrico parte 2.

Fuente: (MÉNDEZ, 2016).

Parte 3: Es el sitio donde se encuentra el fotogoniómetro al final del cuarto, se puede apreciar las tres partes en la figura 12.



Figura 35. Equipo Fotométrico parte 3.

Fuente: (MÉNDEZ, 2016).

3.4.1 Descripción de las luminarias Utilizadas

Se utilizó 3 luminarias de 150W DNP, 2 luminarias de 250W y una luminaria Led de 314W, como se observa en la figuras 37, 39, 40 y 41, 43 y en la tabla 3.

TABLA 3. Descripción de las luminarias Utilizadas.

Nº	Tipo	Potencia	Clase
L1	Roadway Series 115-A	150W	2
L2	Roadway Series 115-A	250W	3
L3	Roadway Series 115-B	150W	3
L4	Roadway Series 115-B	250W	2
L5	Roadway Series 125-A	250W	2
L6	OMNIstar	314W	3

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Roadway-115



Figura 37. A) Luminaria Roadway-115.

Fuente: (American Electric Lighting, 2017).

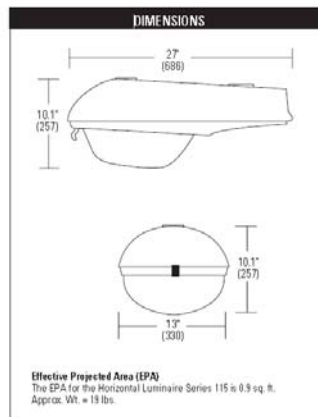


Figura 38. B) Luminaria Roadway-115, Dimensiones.

Fuente: (American Electric Lighting, 2017).

115 SERIES 150W MH TYPE 2 SHORT SEMI CUTOFF

ONE 150-WATT CLEAR ED23.5 CERAMIC METAL

HALIDE, HORIZONTAL POS.

Especificaciones Técnicas:

- Horizontal Footcandles
- Scale: 1 Inch = 10 Ft.
- Light Loss Factor = 1.00
- Lumens Per Lamp = 13000
- Total Lamp Lumens = 13000
- Mounting Height = 10.00 Ft
- Maximum Calculated Value = 24.62 Fc
- Arrangement: Single. (American Electric Lighting, 2017)

115 SERIES 250W HPS TYPE 3 MED SEMI CUTOFF

ONE 250-WATT CLEAR ET18 HIGH PRESSURE

SODIUM, HORIZONTAL POS.

Especificaciones Técnicas:

- Horizontal Footcandles
- Scale: 1 Inch = 10 Ft.
- Light Loss Factor = 1.00
- Lumens Per Lamp = 29000
- Total Lamp Lumens = 29000
- Mounting Height = 10.00 Ft
- Maximum Calculated Value = 45.77 Fc. (American Electric Lighting, 2017)

Roadway-115 Cutoff



Figura 39. A) Luminaria Roadway-115 Cutoff.

Fuente: (American Electric Lighting, 2017).

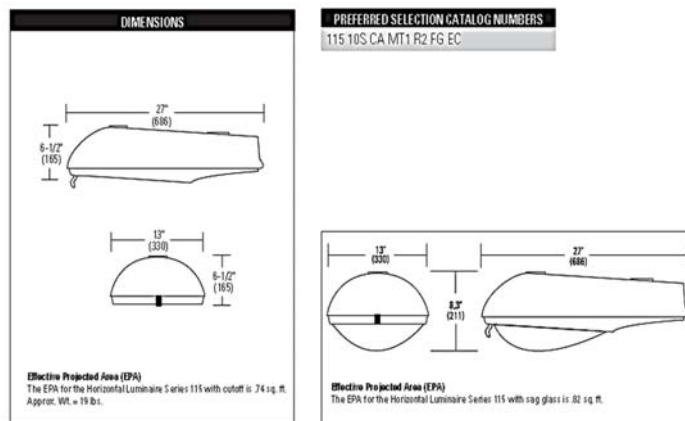


Figura 40. B) Luminaria Roadway-115 Cutoff, dimensiones.

Fuente: (American Electric Lighting, 2017).

115 SERIES 150W HPS TYPE 3 MED CUTOFF

ONE 150-WATT CLEAR ET23.5 HIGH PRESSURE

SODIUM, HORIZONTAL POS.

Especificaciones Técnicas:

- Horizontal Footcandles
- Scale: 1 Inch = 10 Ft.
- Light Loss Factor = 1.00
- Lumens Per Lamp = 16000
- Total Lamp Lumens = 16000

- Mounting Height = 10.00 Ft
- Maximum Calculated Value = 21.13 Fc. (American Electric Lighting, 2017)

115 SERIES 250W HPS TYPE 2 MED CUTOFF

ONE 250-WATT CLEAR ED18 HIGH PRESSURE

SODIUM, HORIZONTAL POS.

Especificaciones Técnicas:

- Scale: 1 Inch = 10 Ft.
- Light Loss Factor = 1.00
- Lumens Per Lamp = 27500
- Total Lamp Lumens = 27500
- Mounting Height = 10.00 Ft
- Maximum Calculated Value = 45.62 Fc (American Electric Lighting, 2017)

Roadway-125



Figura 41. A) Luminaria Roadway-125.

Fuente: (American Electric Lighting, 2017).

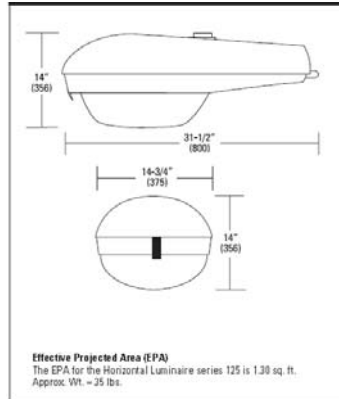


Figura 42. B) Luminaria Roadway-125, dimensiones.

Fuente: (American Electric Lighting, 2017).

125 SERIES, 250W HPS TYPE 2 MED SEMI CUTOFF

ONE 250-WATT CLEAR E18 HIGH PRESSURE SODIUM,
HORIZONTAL POS.

Especificaciones Técnicas:

- Horizontal Footcandles
- Scale: 1 Inch = 10 Ft.
- Light Loss Factor = 1.00
- Lumens Per Lamp = 29000
- Total Lamp Lumens = 29000
- Mounting Height = 10.00 Ft
- Maximum Calculated Value = 65.88 Fc. (American Electric Lighting, 2017)

OMNIstar 144 LEDs 700mA NW Plano



Figura 43. A) OMNIstar 144 LEDs 700mA.

Fuente: (Schröder Group, 2015).

DIMENSIONES

L	532 mm
A	530 mm
H	80 mm

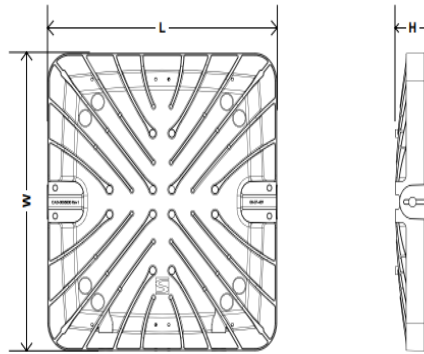


Figura 44. B) OMNIstar 144 Leds 700mA, dimensiones.

Fuente: (Schröder Group, 2015).

Especificaciones Técnicas:

- Altura de instalación 8 a 45 m
- Rango de paquetes
- Lumínicos (flujo nominal)
- Mono (1 unidad óptica) 32.600 a 42.200lm
- Duo (2 unidades ópticas) 65.200 a 84.400 lm
- Trio (3 unidades ópticas) 97.800 a 126.600 lm
- Temperatura de color Blanco neutro (blanco frío o cálido: opcional)
- Hermeticidad del bloque óptico IP 66
- Hermeticidad de los auxiliares eléctricos IP 65.
- Resistencia a los impactos (vidrio) IK 08.
- Tensión nominal 120 - 277 V - 50 - 60 Hz
- Clase eléctrica
- Cuerpo Aluminio inyectado a alta presión
- Protector Vidrio. (Schröder Group, 2015).

Una vez realizadas las pruebas en el software Cooper Photometric, se obtuvieron matrices de datos los cuales se utilizarán para el modelado de las figuras en 3D de la Intensidad Luminosa.

3.4.2 Datos fotométricos de software Cooper Photometric Toolbox v1.87

Para poder utilizar los datos fotométricos obtenidos del software Cooper Photometric Toolbox v1.87 se descargó el programa de la página (EATON Powering Business Worldwide, 2017), y para utilizarlo se siguió los siguientes pasos.

- A) Es necesario un archivo “.ies” de cualquier luminaria como se observa en la figura. 45, el cual deberá ser cargado en el programa, como se visualiza en la figura. 46.



Figura 45. Archivo .ies.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

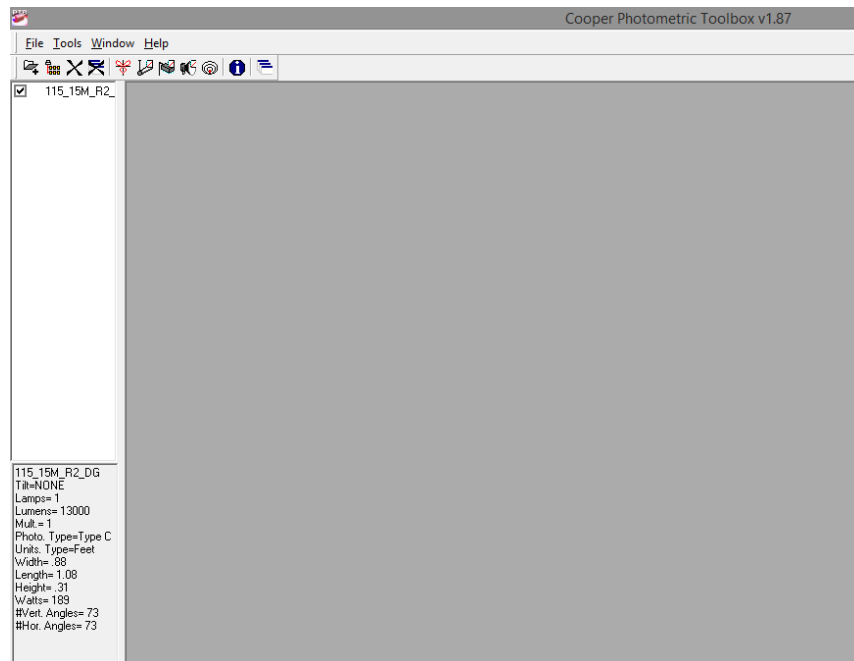


Figura 46. Ventana principal del software Cooper Photometric.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

- B) En el momento de abrir el archivo “.ies”, se cargan los datos lumínicos en el simulador.
- C) Una vez cargado el archivo hacemos click en View Photometric file, visualizando las gráficas en 2D, 3D y matrices lumínicas como se observa en las figura 48, 49, 50, 51, 52, obteniendo todos los datos requeridos. Estos datos son los mismos que genera el laboratorio de luminotecnica de la Universidad Católica de Cuenca.

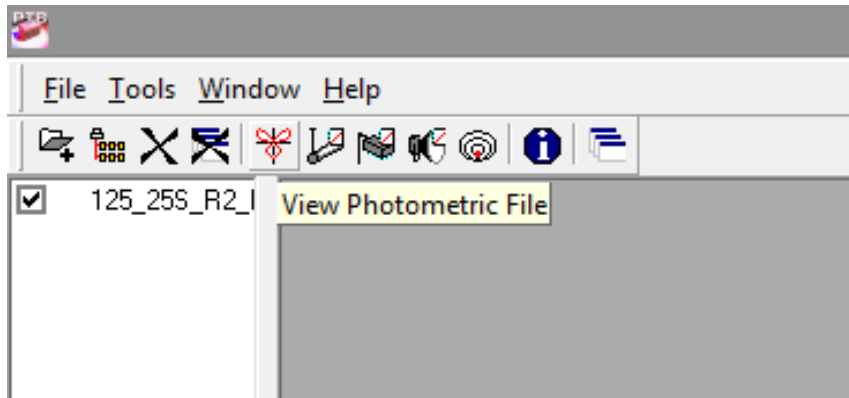


Figura 47. Botón View Photometric File.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Se simulo con los datos de las Luminarias mencionadas en la sección 3.4.1, adjuntando los resultados para su posterior modelado.

Luminaria 150W Roadway-115

La grafica mostrada a continuación indica distribución lumínica y la medida de las intensidades luminosas en un gráfico 3D.

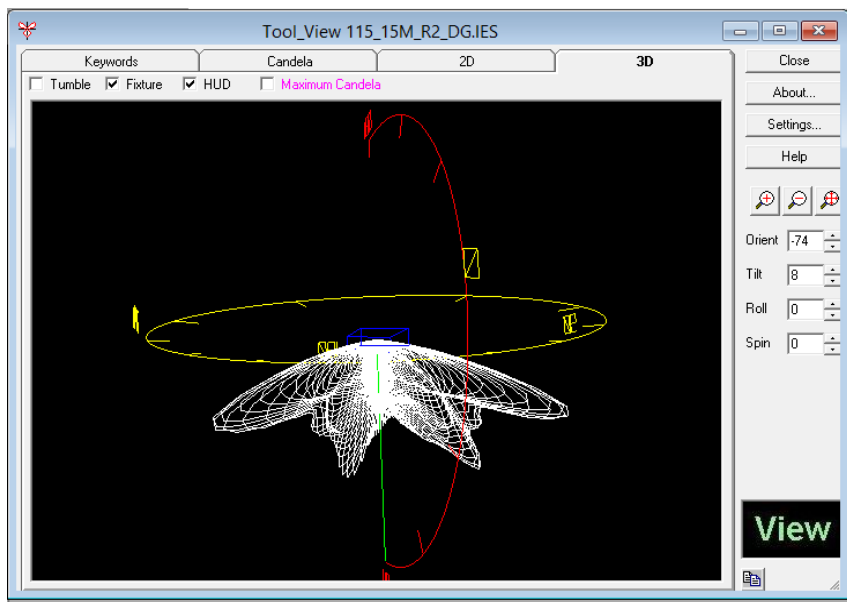


Figura 48. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 3D.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

La grafica mostrada a continuación indica distribución lumínica y la medida de las intensidades luminosas en un gráfico 2D en coordenadas polares.

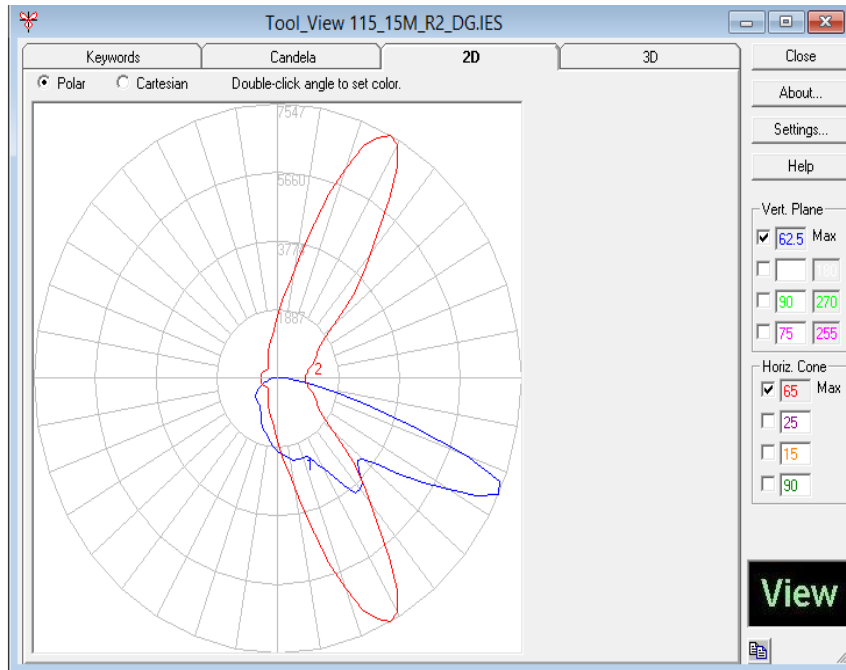


Figura 49. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 2D forma polar.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

La grafica mostrada a continuación indica distribución lumínica y la medida de las intensidades luminosas en un gráfico 2D en un plano Cartesiano.

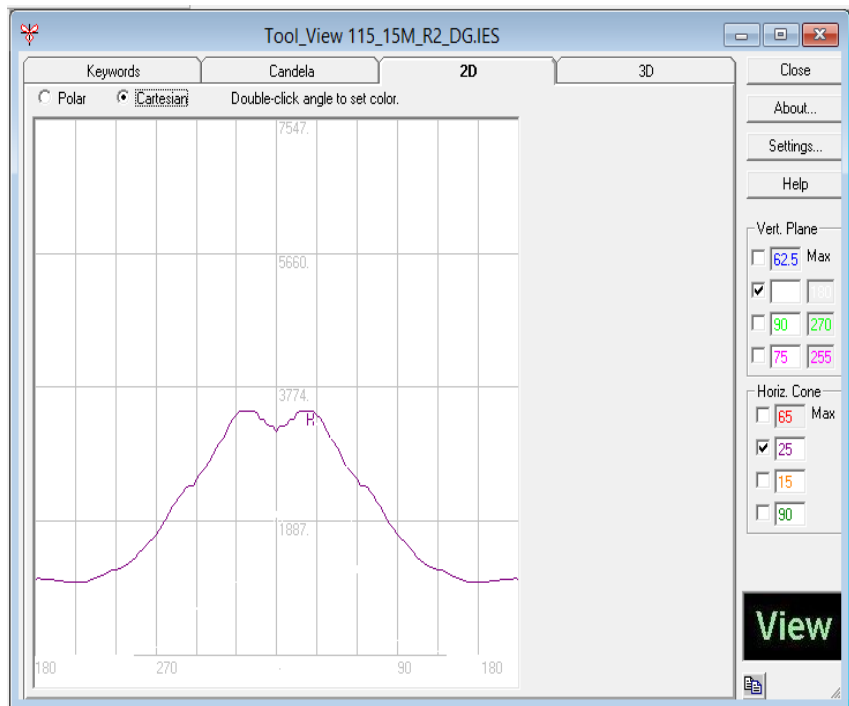


Figura 50. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 2D forma cartesiano.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

La grafica mostrada a continuación indica la matriz isocandela del grafico intensidad luminosa.

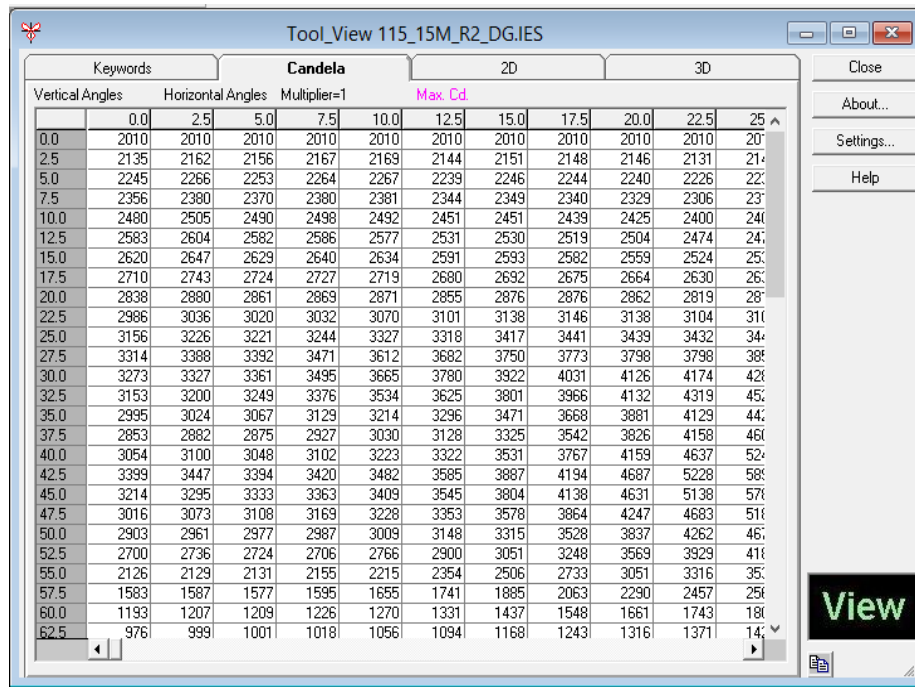


Figura 51. Luminaria 150w, Matriz del grafico de intensidad en 3D.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

La grafica mostrada a continuación indica las características técnicas de la luminaria modelada. El mismo procedimiento se realizó al resto de luminarias mostradas.

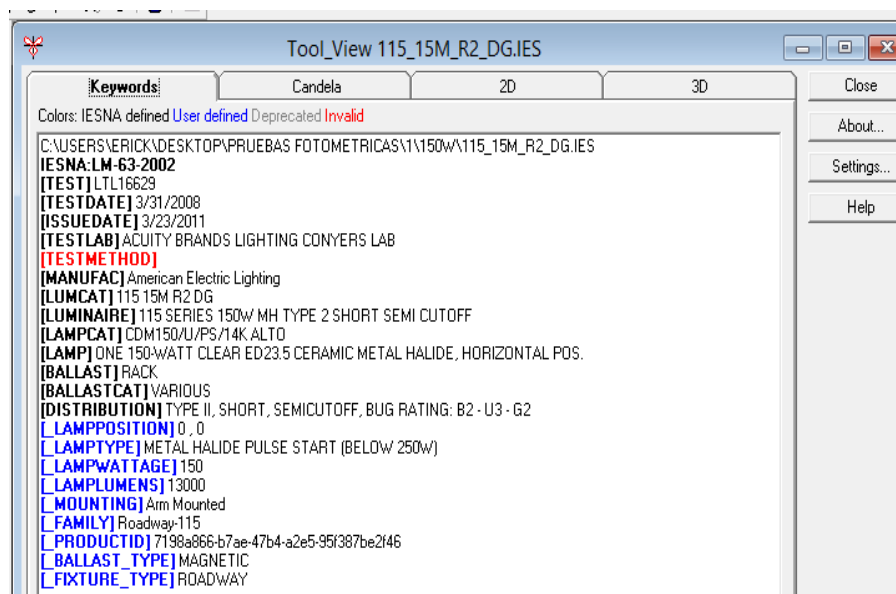


Figura 52. Luminaria 150W, descripción de la Luminaria.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria 250W Roadway-115

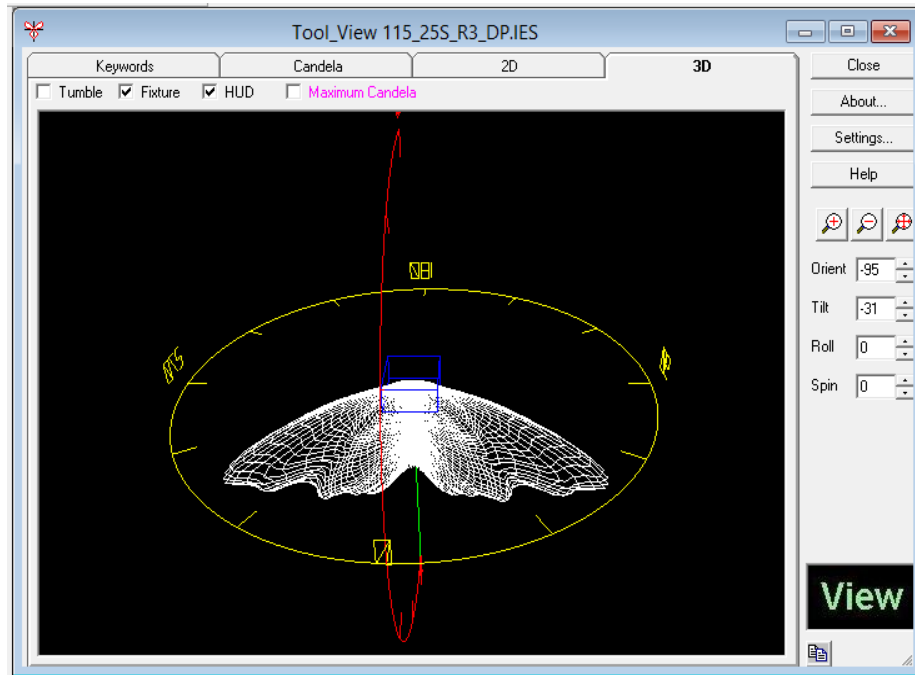


Figura 53. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 3D.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

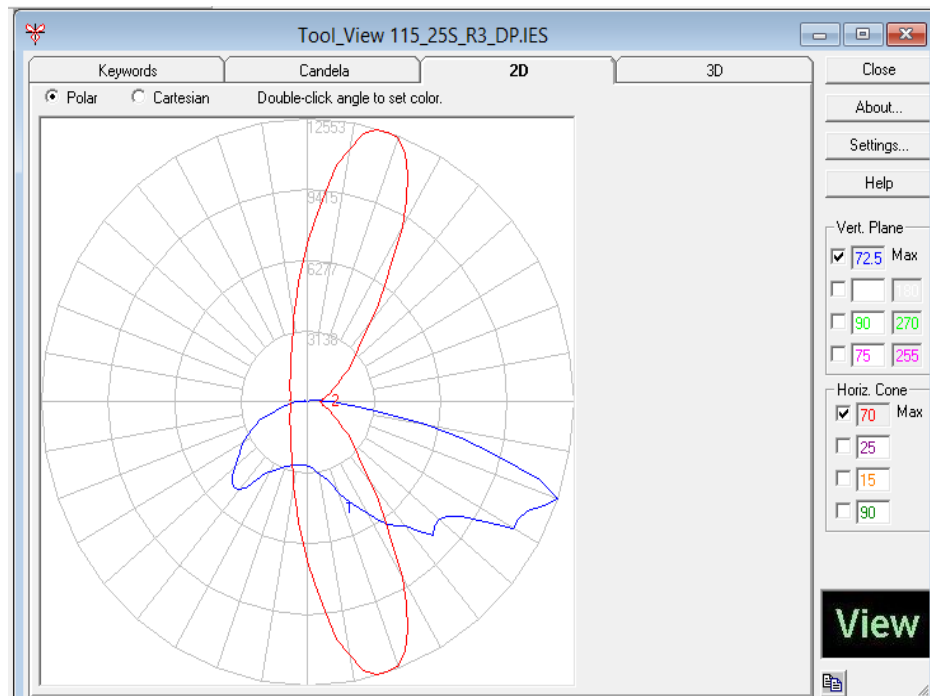


Figura 54. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D en Polar.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

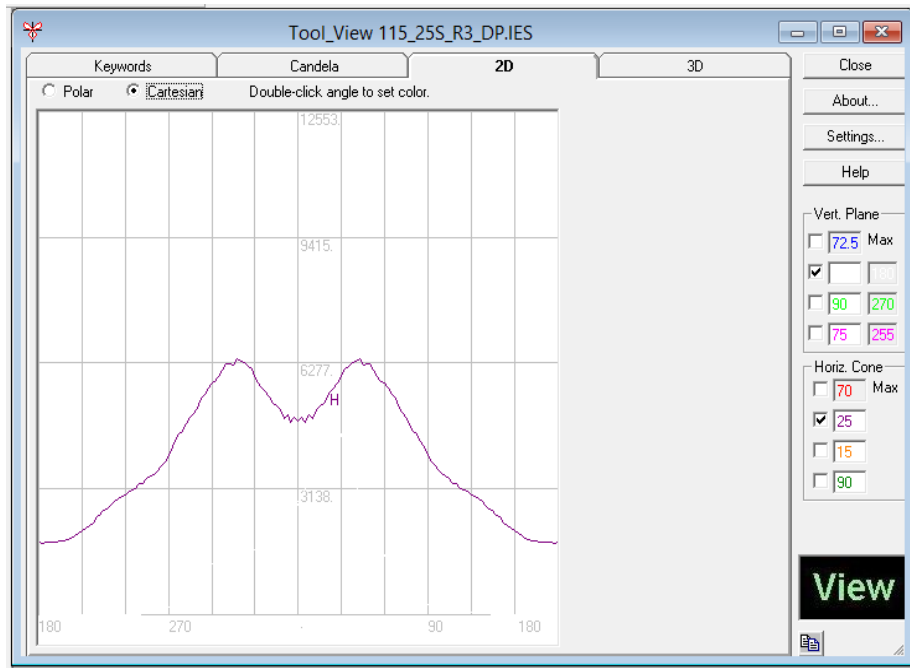


Figura 55. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D en Cartesiano.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Vertical Angles	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25
120.0	70	65	65	65	63	63	65	65	66	68	70
122.5	55	53	52	52	51	50	49	47	52	53	55
125.0	43	42	42	40	38	37	38	37	38	41	43
127.5	28	28	28	28	27	27	27	25	28	29	30
130.0	19	19	17	18	16	17	17	15	17	17	19
132.5	11	12	10	11	9	10	9	9	12	11	11
135.0	4	3	4	3	3	4	4	2	4	4	4
137.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
145.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
147.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
162.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
172.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
175.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
177.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 56. Luminaria 250W, Matriz del grafico de intensidad en 3D.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

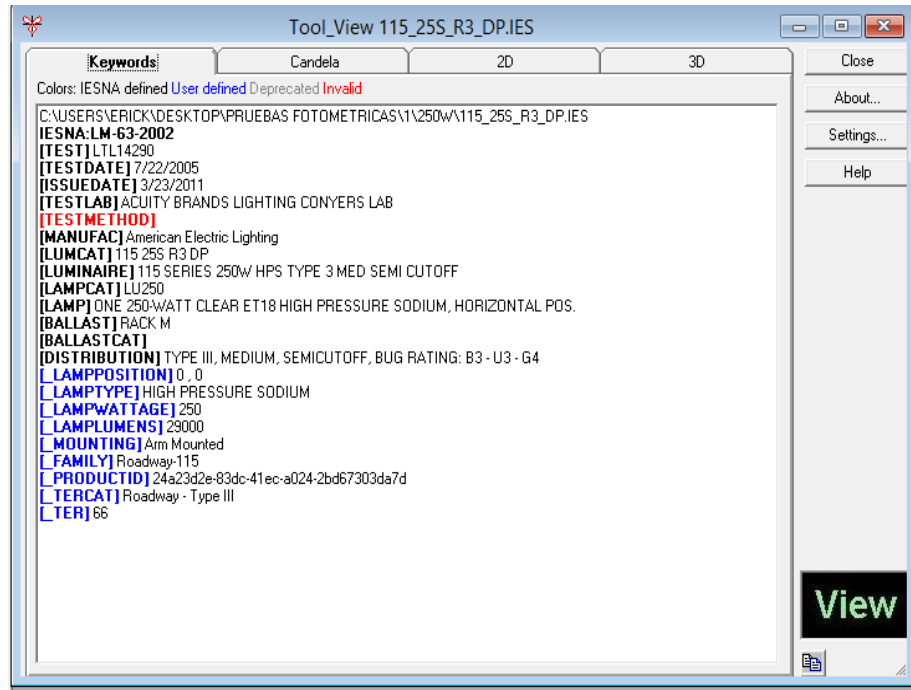


Figura 57. Luminaria 250W, descripción de la Luminaria.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 150W Roadway-115 Cutoff

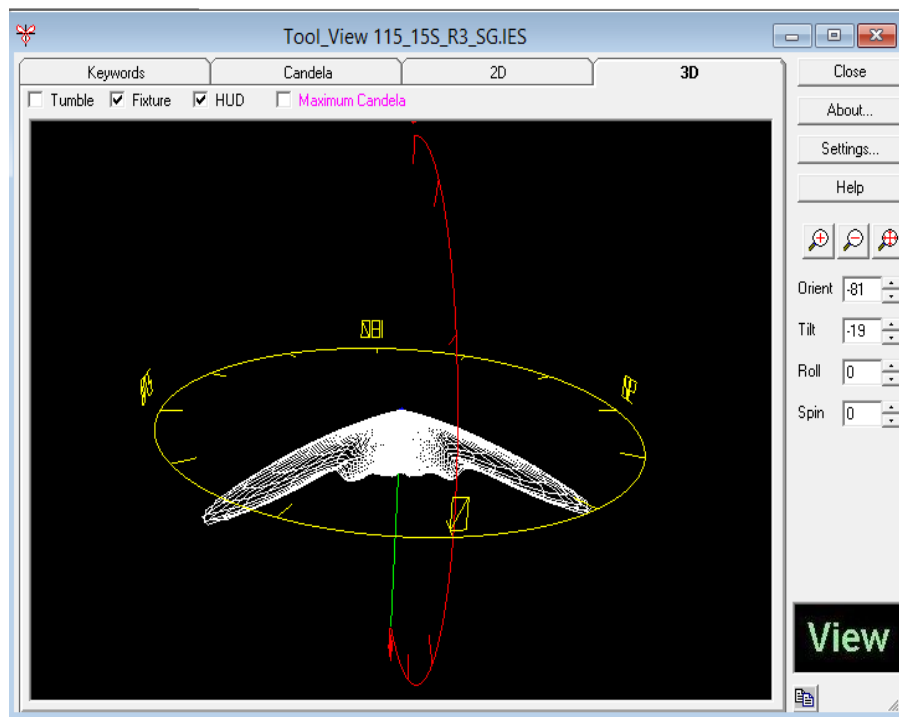


Figura 58. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 3D.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

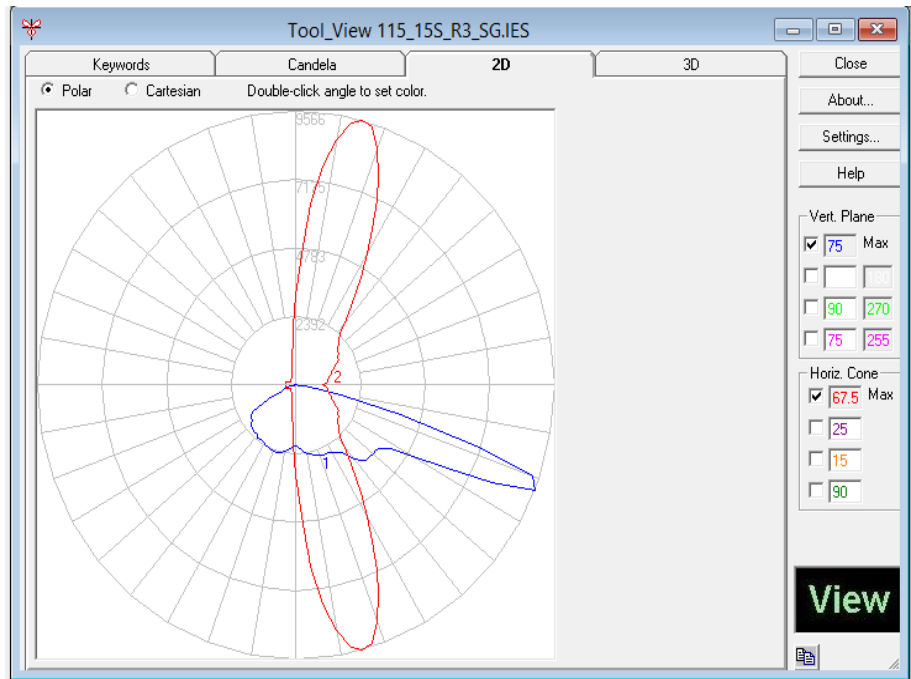


Figura 59. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 2D forma polar.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

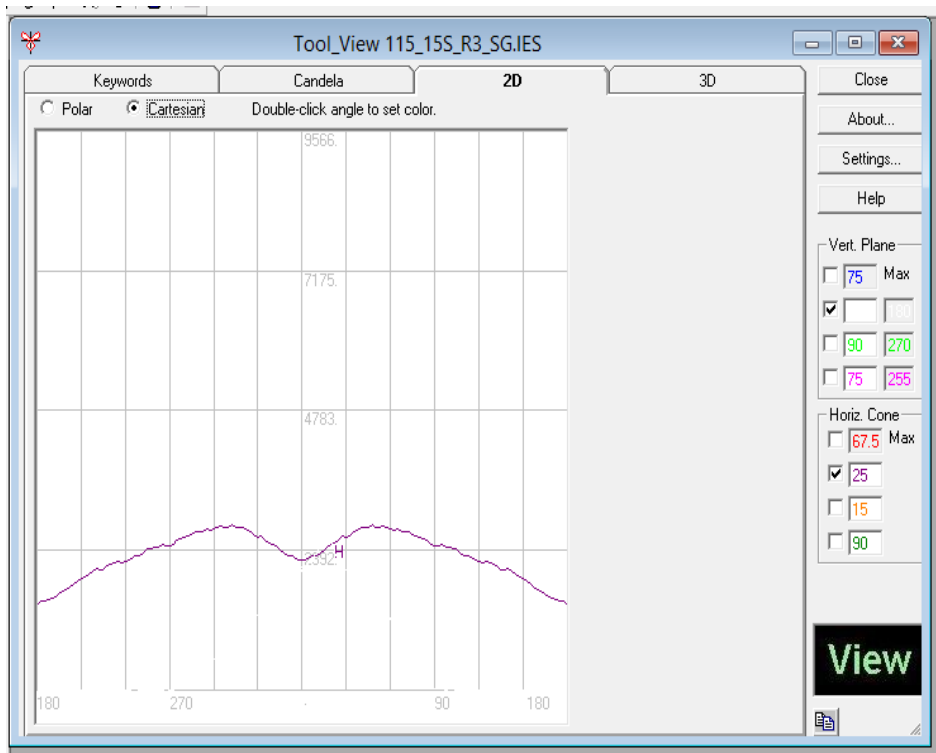


Figura 60. Luminaria 150W, Intensidad luminosa en 2D forma cartesiano.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

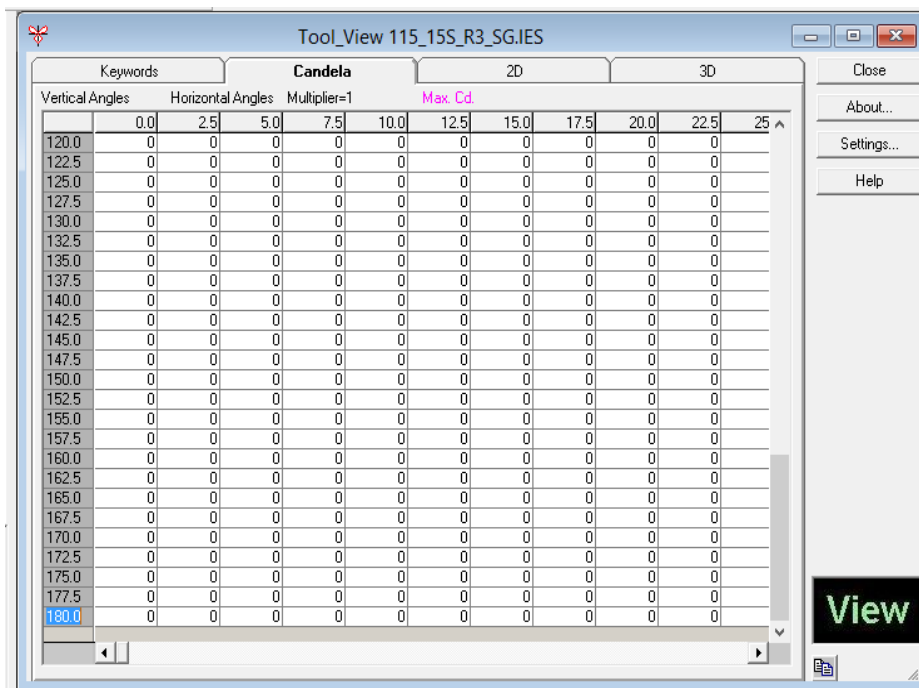


Figura 61. Luminaria 150W, Matriz del grafico de intensidad en 3D.

Fuente. Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

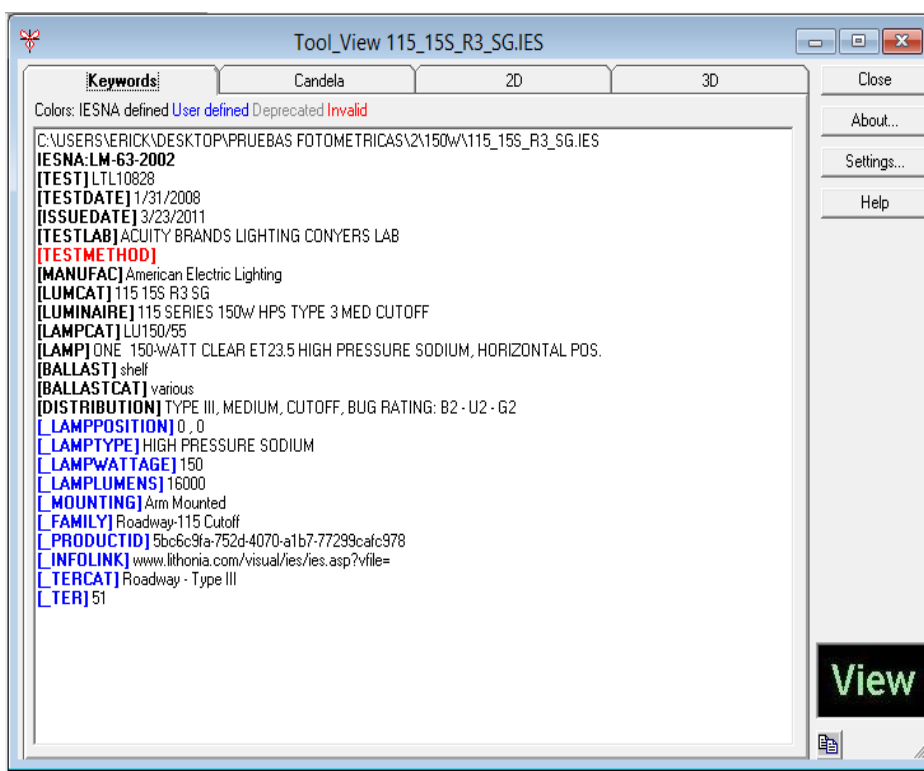


Figura 62. Luminaria 150W, descripción de la Luminaria.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 250W Roadway-115 Cutoff

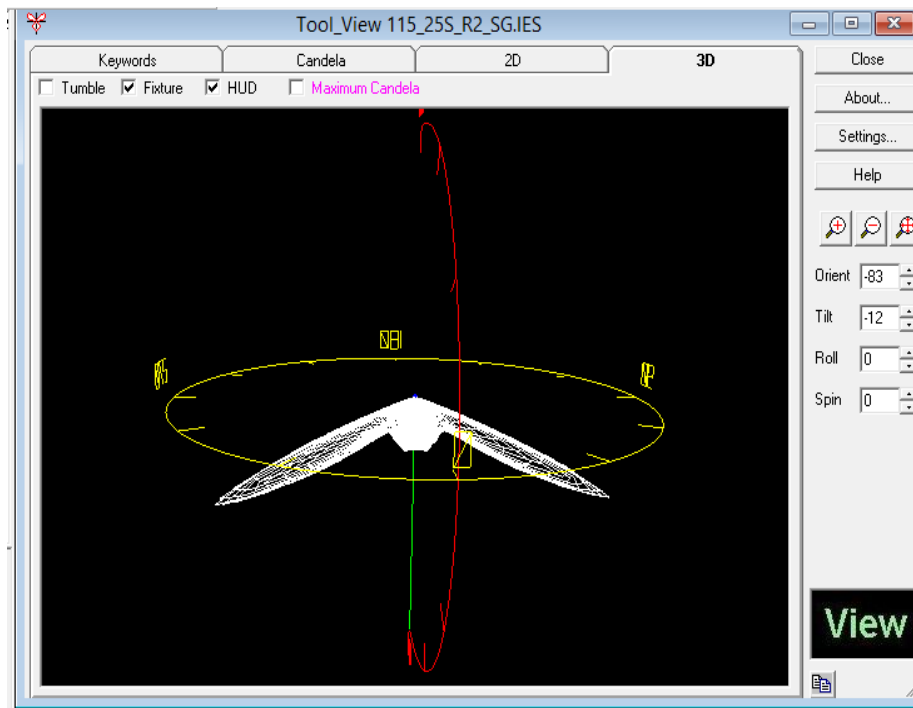


Figura 63. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 3D.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

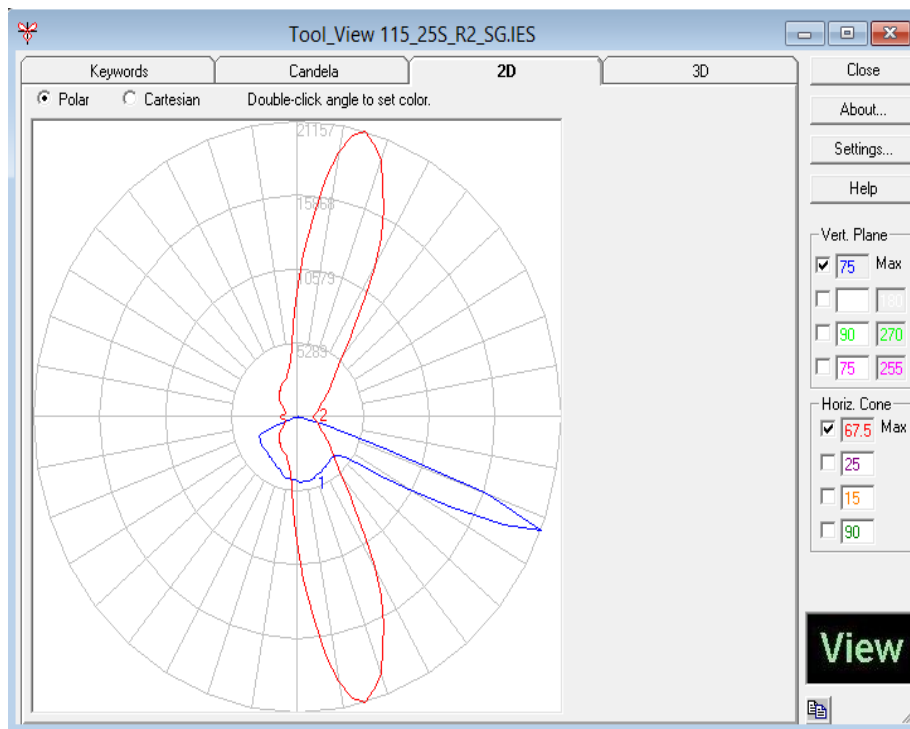


Figura 64. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D forma polar.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

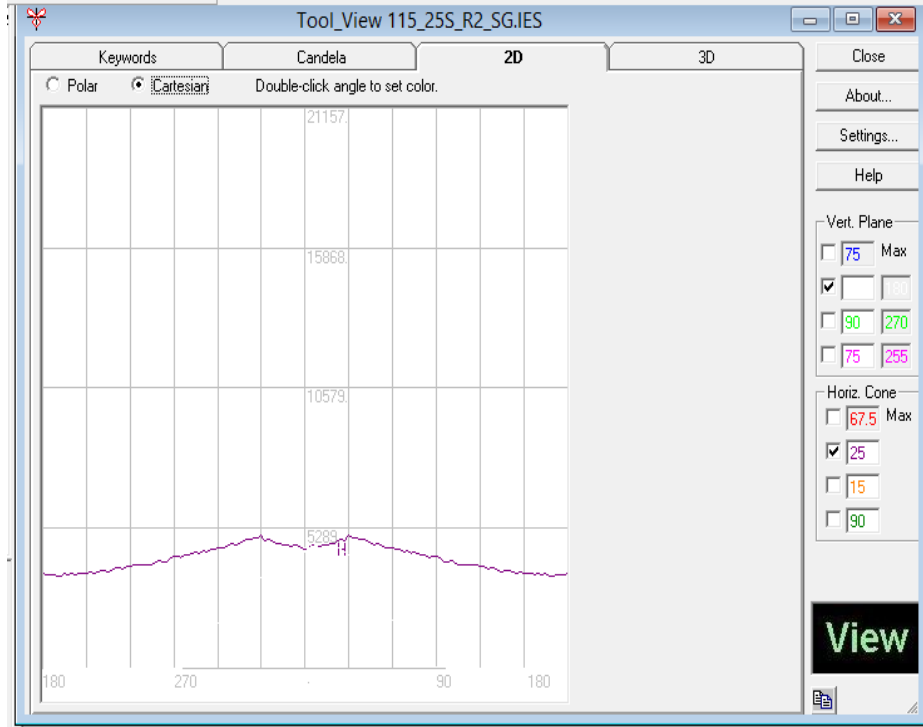


Figura 65. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D forma rectangular.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Vertical Angles	Horizontal Angles										
	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0
0.0	4562	4562	4562	4562	4562	4562	4562	4562	4562	4562	4562
2.5	4542	4599	4663	4647	4593	4602	4586	4599	4530	4591	461
5.0	4588	4653	4719	4706	4648	4668	4642	4668	4600	4651	468
7.5	4663	4727	4796	4792	4733	4751	4715	4743	4672	4732	474
10.0	4706	4761	4842	4829	4771	4774	4763	4781	4715	4769	477
12.5	4699	4766	4840	4825	4771	4786	4758	4787	4725	4777	477
15.0	4686	4739	4816	4799	4760	4776	4743	4764	4712	4774	478
17.5	4627	4707	4785	4770	4735	4740	4716	4755	4695	4754	478
20.0	4594	4679	4760	4753	4706	4719	4699	4737	4687	4755	477
22.5	4548	4622	4706	4697	4665	4689	4679	4720	4691	4774	480
25.0	4466	4550	4645	4645	4622	4649	4649	4698	4690	4803	480
27.5	4404	4480	4565	4578	4555	4583	4595	4665	4688	4801	480
30.0	4293	4365	4462	4480	4465	4499	4514	4611	4645	4762	480
32.5	4161	4237	4338	4379	4375	4414	4445	4545	4594	4698	480
35.0	4020	4088	4192	4241	4241	4300	4341	4449	4480	4562	480
37.5	3860	3923	4040	4089	4107	4175	4237	4342	4373	4417	480
40.0	3653	3707	3822	3879	3919	4010	4096	4191	4210	4245	480
42.5	3407	3440	3545	3611	3648	3778	3899	4008	3990	4016	390
45.0	3158	3184	3260	3322	3360	3511	3655	3760	3736	3739	370
47.5	2915	2937	3024	3070	3107	3261	3447	3537	3501	3511	340
50.0	2676	2681	2773	2814	2848	3006	3213	3300	3264	3274	320
52.5	2446	2464	2533	2563	2602	2760	2972	3045	3034	3046	300
55.0	2250	2258	2323	2354	2385	2556	2736	2803	2802	2810	280
57.5	2033	2055	2107	2135	2184	2355	2496	2577	2578	2595	260
60.0	1833	1842	1908	1946	1989	2150	2270	2350	2362	2403	240
62.5	1666	1664	1725	1765	1827	1978	2082	2154	2190	2245	230

Figura 66. Luminaria 250W, Matriz del grafico de intensidad en 3D.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

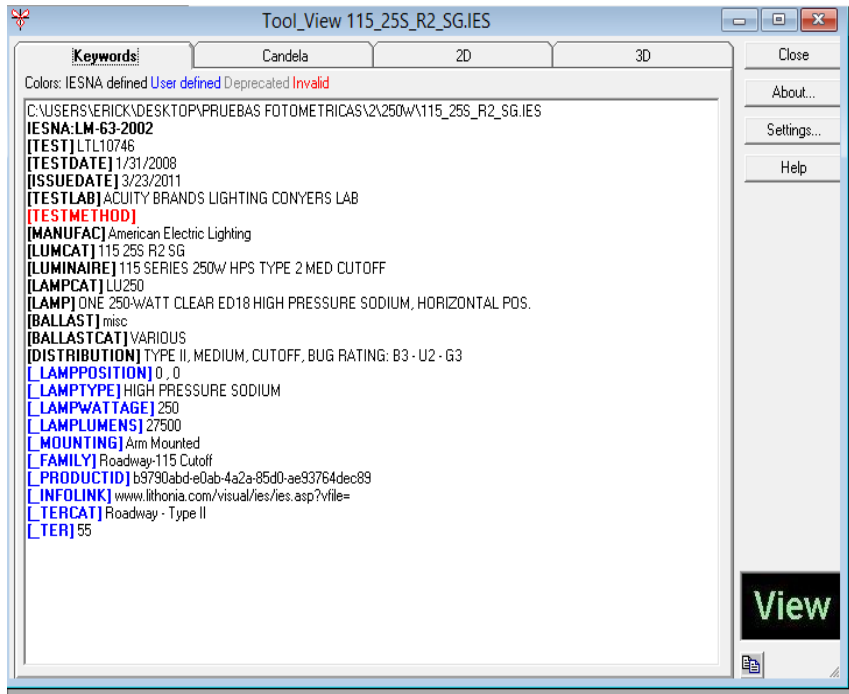


Figura 67. Luminaria 250W, descripción de la Luminaria.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 250W Roadway-125

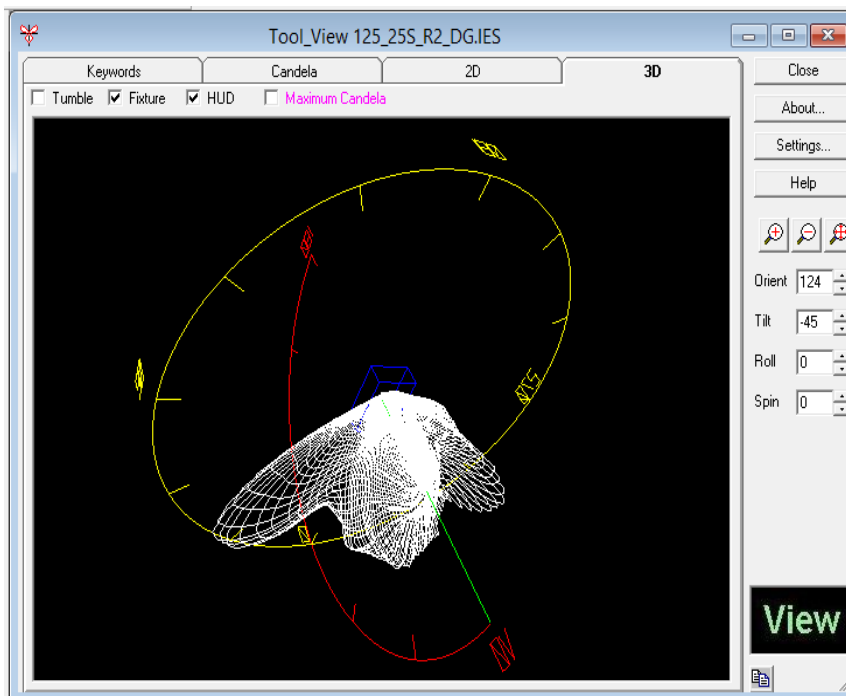


Figura 68. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 3D.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

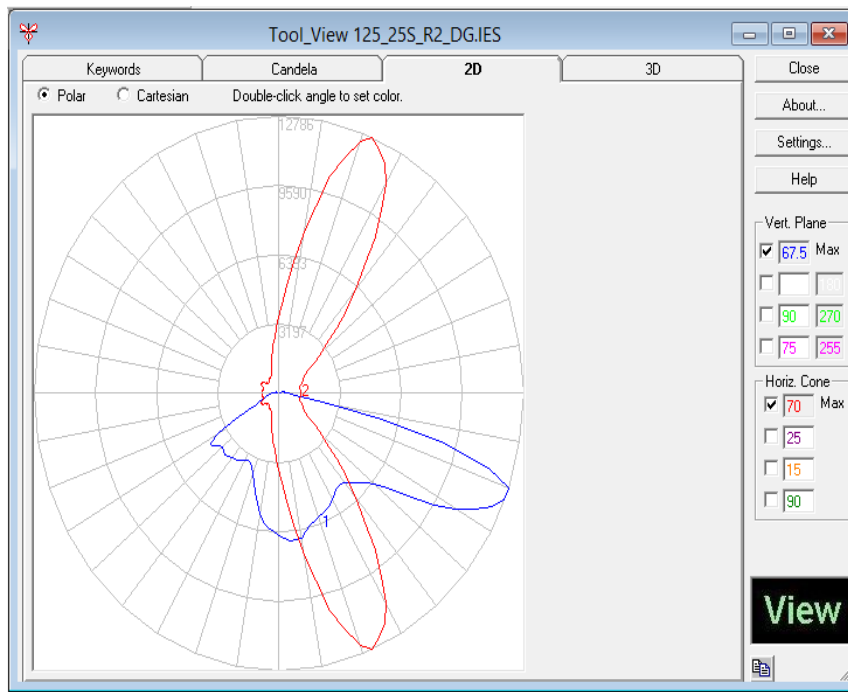


Figura 69. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D forma polar.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

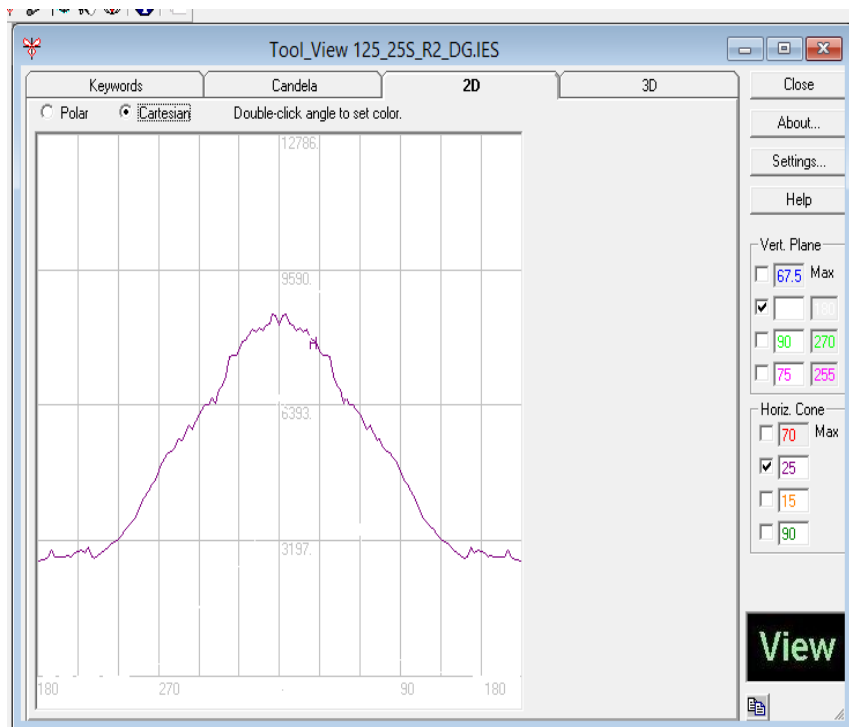


Figura 70. Luminaria 250W, Intensidad luminosa en 2D forma rectangular.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

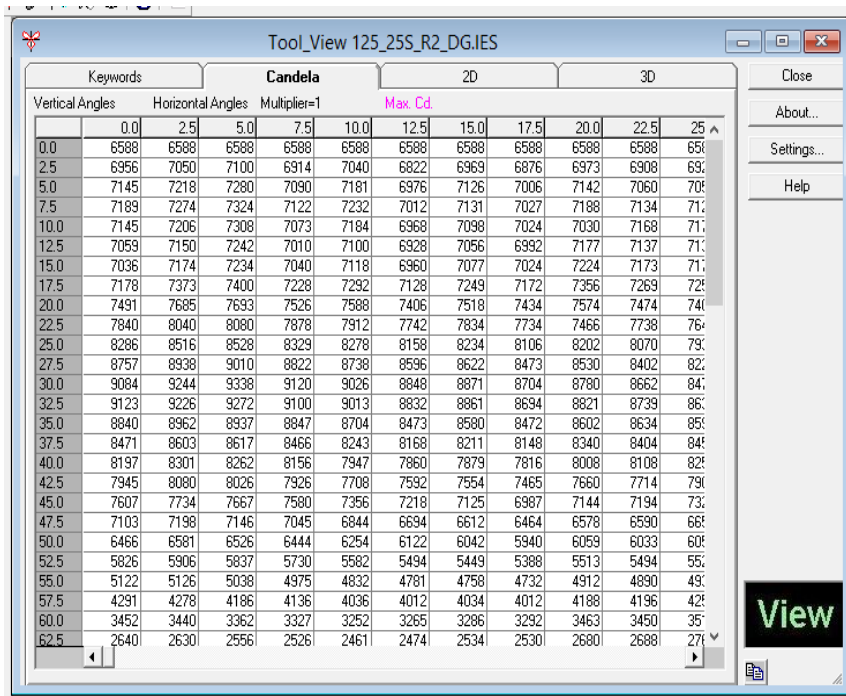


Figura 71. Luminaria 250W, Matriz del gráfico de intensidad en 3D.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

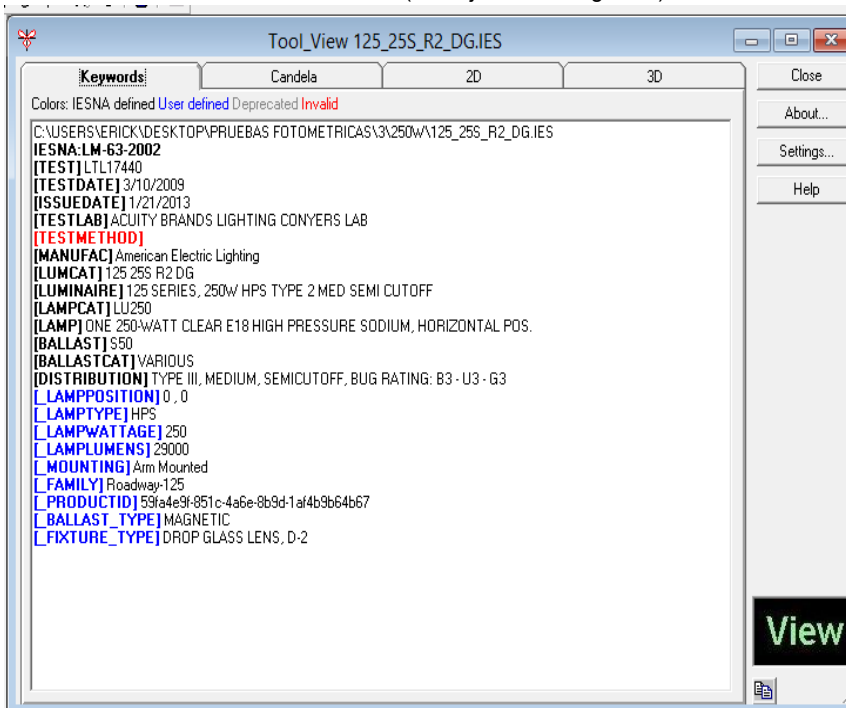


Figura 72. Luminaria 250W, descripción de la Luminaria.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA

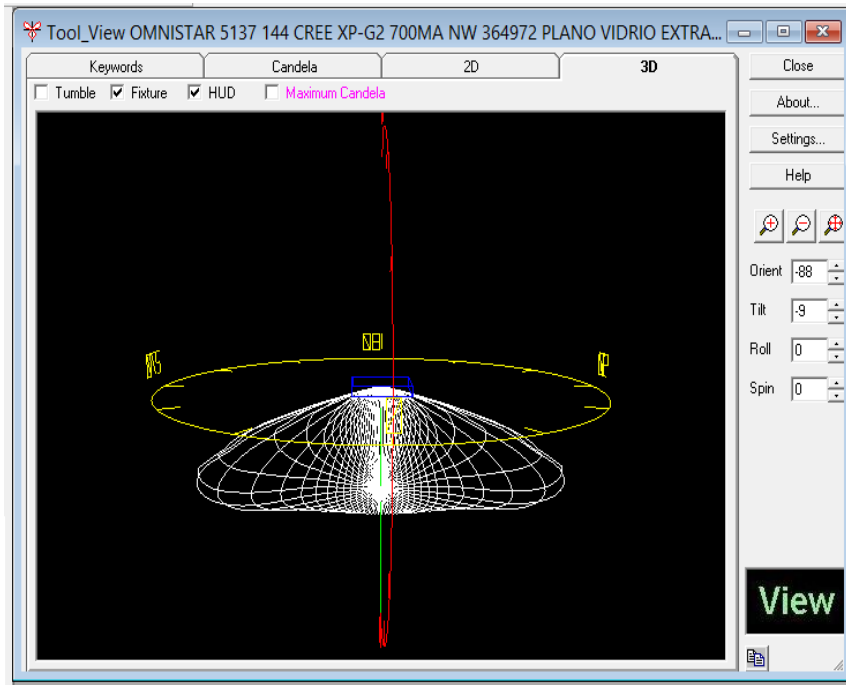


Figura 73. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, Intensidad luminosa en 3D.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

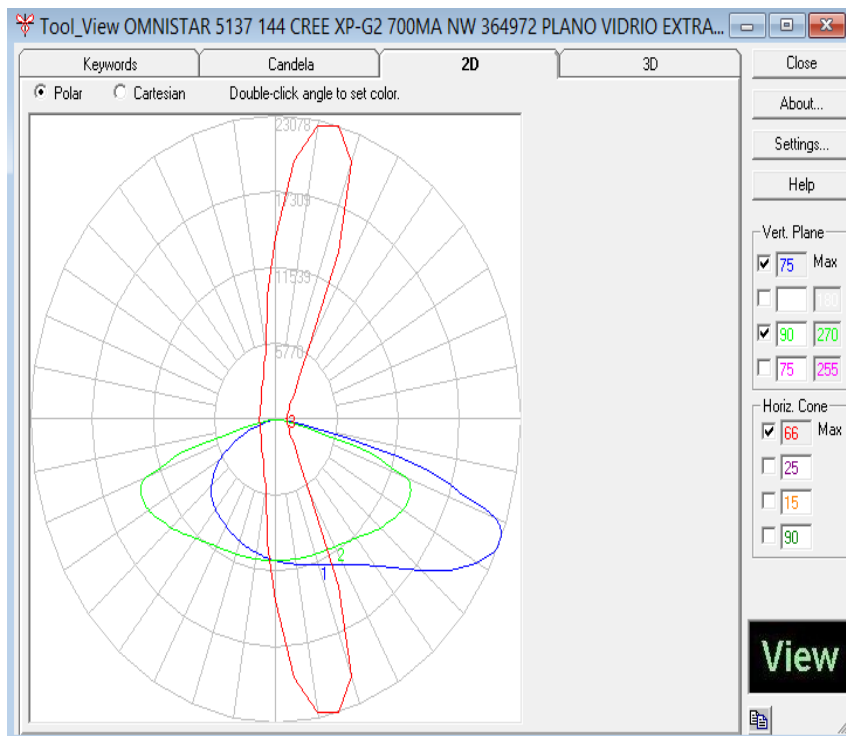


Figura 74. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, Intensidad luminosa en 2D forma polar.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

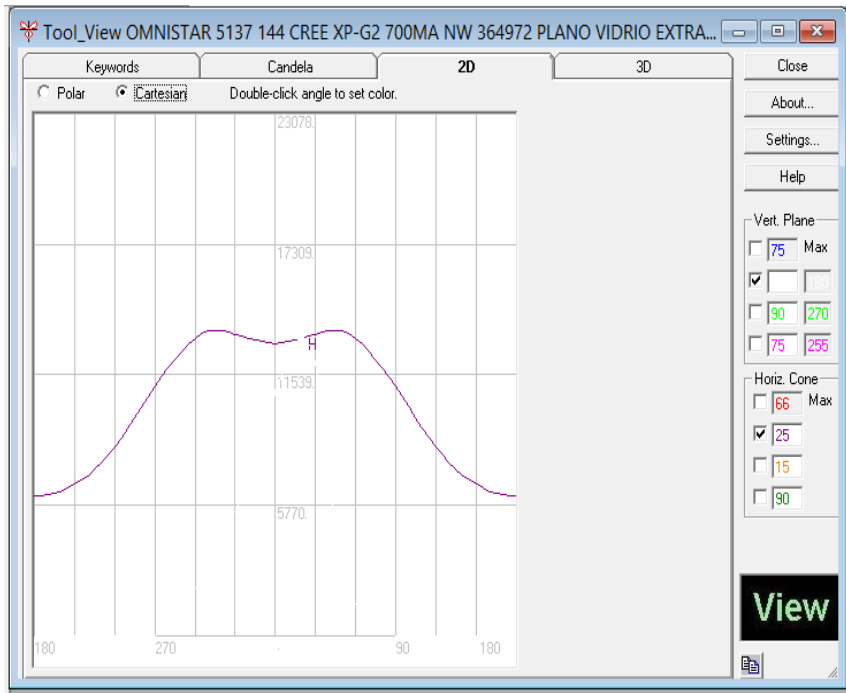


Figura 75. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, Intensidad luminosa en 2D forma rectangular.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

	Candela											
Vertical Angles	Horizontal Angles					Multiplier=1						
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	!	
0	10771.85	10771.85	10771.85	10771.85	10771.85	10771.85	10771.85	10771.85	10771.85	10771.85	10771.85	10771.85
1	10902.79	10895.99	10889.19	10882.40	10875.60	10868.81	10862.02	10855.23	10848.44	10841.65	10834.86	10828.07
2	11061.88	11052.82	11043.76	11034.69	11025.63	11016.57	11007.51	11002.42	10997.33	10992.24	10987.15	10982.06
3	11218.96	11207.88	11196.80	11185.73	11174.65	11163.57	11152.50	11141.42	11130.34	11119.26	11108.18	11097.10
4	11369.99	11356.65	11343.31	11329.97	11316.63	11303.29	11289.94	11276.60	11263.26	11249.92	11236.58	11223.24
5	11527.07	11510.96	11494.85	11478.74	11462.63	11446.52	11430.41	11414.30	11398.19	11382.08	11365.97	11349.86
6	11682.13	11663.25	11644.38	11625.50	11606.62	11587.74	11568.86	11549.98	11531.10	11512.22	11493.34	11474.46
7	11831.16	11810.77	11790.38	11769.99	11749.60	11729.21	11708.82	11688.43	11668.04	11647.65	11627.26	11606.87
8	11974.14	11952.24	11930.34	11908.44	11886.54	11864.64	11842.74	11820.84	11798.94	11777.04	11755.14	11733.24
9	12125.17	12100.00	12074.83	12049.65	12024.48	11999.31	11974.14	11948.97	11923.80	11898.63	11873.46	11848.29
10	12270.17	12243.74	12217.31	12190.88	12164.44	12138.01	12111.58	12085.15	12058.72	12032.29	12005.86	11979.43
11	12415.16	12387.22	12359.28	12331.34	12303.40	12275.46	12247.52	12219.58	12191.64	12163.70	12135.76	12107.82
12	12548.07	12519.38	12490.68	12461.98	12433.29	12404.59	12375.89	12347.19	12318.49	12289.79	12261.09	12232.39
13	12680.99	12652.29	12623.59	12594.89	12566.20	12537.50	12508.80	12480.10	12451.40	12422.70	12394.00	12365.30
14	12801.82	12775.13	12748.45	12721.76	12695.08	12668.40	12641.71	12615.03	12588.34	12561.66	12534.97	12508.29
15	12908.55	12885.39	12862.23	12839.07	12815.91	12792.75	12769.59	12746.43	12723.27	12700.11	12676.95	12653.79
16	12995.14	12977.52	12959.90	12942.28	12924.66	12907.04	12889.42	12871.80	12854.18	12836.56	12818.94	12801.32
17	13059.58	13047.25	13034.91	13022.58	13010.25	12997.92	12985.59	12973.26	12960.93	12948.60	12936.27	12923.94
18	13111.94	13104.89	13097.85	13090.80	13083.75	13076.70	13069.65	13062.60	13055.55	13048.50	13041.45	13034.40
19	13142.15	13142.15	13142.15	13142.15	13142.15	13142.15	13142.15	13142.15	13142.15	13142.15	13142.15	13142.15
20	13156.25	13164.30	13172.36	13180.41	13188.47	13196.53	13204.58	13212.64	13220.69	13228.75	13236.80	13244.86
21	13146.17	13164.05	13181.92	13199.79	13217.67	13235.54	13253.41	13271.29	13289.16	13306.99	13324.82	13342.65
22	13109.93	13139.88	13169.84	13199.79	13229.75	13259.70	13289.66	13319.61	13349.57	13379.52	13409.48	13439.43
23	13053.54	13095.33	13137.12	13178.90	13220.69	13262.48	13304.26	13346.05	13387.84	13429.62	13471.41	13513.20
24	12975.00	13029.12	13083.25	13137.37	13191.49	13245.61	13299.74	13353.86	13408.00	13462.12	13516.25	13570.37
25	12882.37	12948.07	13013.77	13079.47	13145.17	13210.87	13276.57	13342.27	13407.97	13473.67	13539.37	13605.07

Figura 76. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, Matriz del grafico de intensidad en 3D.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

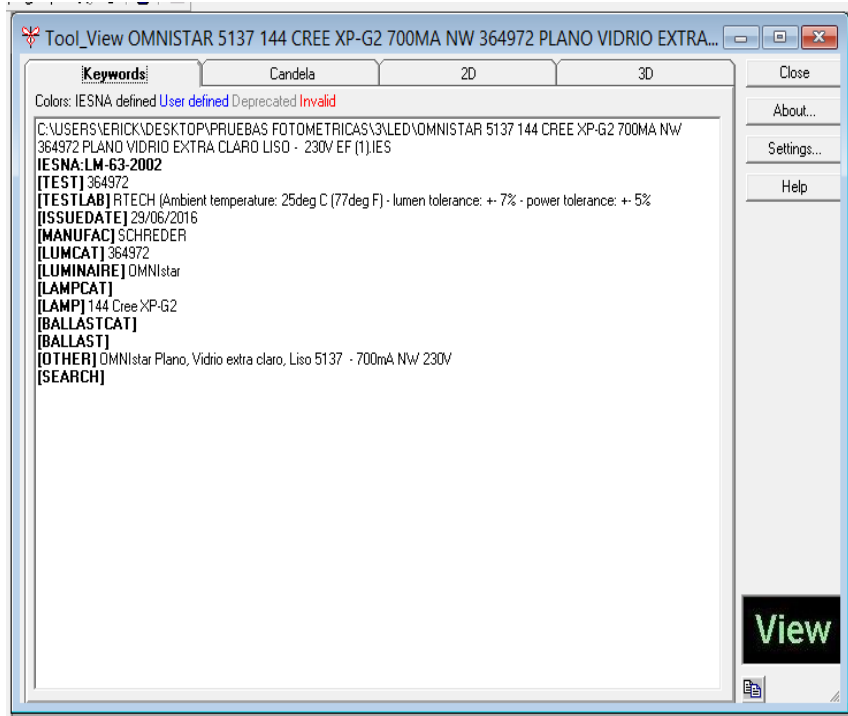


Figura 77. Luminaria OMNistar 144 LEDs 700mA, descripción de la Luminaria.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

CAPÍTULO 4

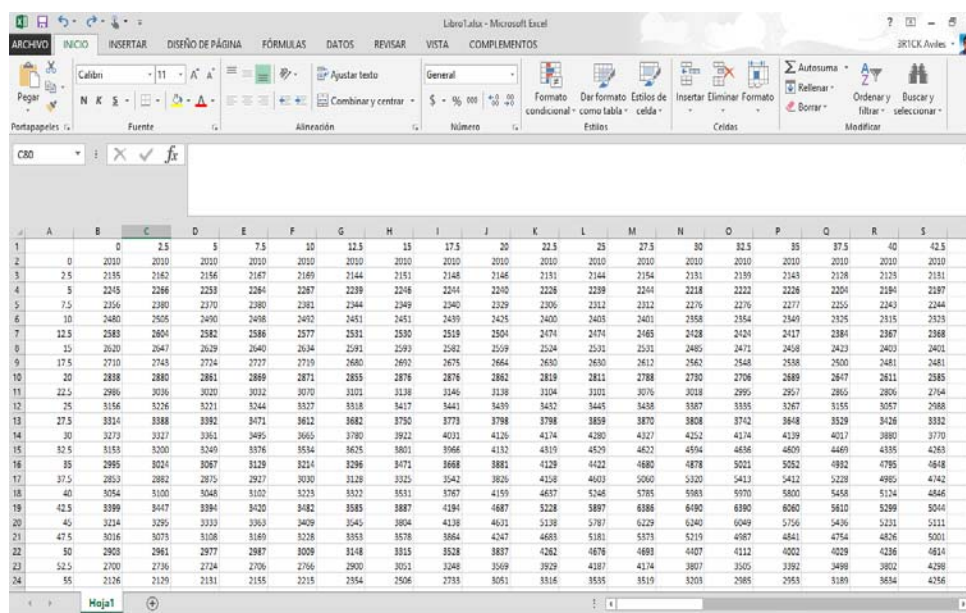
MODELACIÓN DE INTENSIDAD LUMINOSA DE LUMINARIAS.

4.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se realizará la modelación de las luminarias mediante la adquisición de datos del software Cooper Photometric, los cuales también se los puede obtener en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca. El programa entrega un archivo de Excel con la matriz isocandela, que pertenece a la intensidad luminosa de cada luminaria. Una vez descargada la matriz se procede a usar el software Matlab para obtener una nube de puntos, con los que generaremos un archivo “.xyz” para luego exportarlo al software SolidWorks. Aquí se transformará la nube de puntos en un sólido, para finalmente realizar la impresión 3D usando el software Cura.

4.2. ADQUISICIÓN DE DATOS DE LUMINARIAS.

Para la adquisición de datos de las luminarias utilizadas, se descarga la matriz en un libro de Excel como se observa en la figura 78, donde se muestran los datos de la luminaria de 150W Roadway-115.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40	42.5
2	0	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010
3	2.5	2155	2162	2156	2167	2169	2144	2151	2148	2146	2131	2144	2154	2131	2139	2143	2128	2125	2131
4	5	2245	2266	2253	2264	2267	2239	2246	2244	2240	2226	2239	2204	2218	2222	2226	2204	2194	2197
5	7.5	2356	2380	2370	2380	2381	2344	2349	2340	2329	2306	2312	2312	2276	2276	2277	2255	2243	2244
6	10	2480	2505	2490	2498	2492	2451	2451	2439	2425	2400	2405	2401	2358	2354	2349	2325	2315	2325
7	12.5	2583	2604	2582	2586	2577	2531	2530	2519	2504	2474	2474	2465	2428	2424	2417	2384	2367	2368
8	15	2620	2647	2629	2640	2634	2591	2593	2582	2569	2524	2521	2521	2485	2471	2458	2423	2403	2401
9	17.5	2710	2743	2724	2727	2719	2680	2692	2675	2664	2630	2630	2612	2562	2548	2538	2500	2481	2481
10	20	2838	2880	2861	2869	2871	2835	2876	2876	2862	2819	2811	2788	2730	2706	2689	2647	2611	2585
11	22.5	2996	3076	3020	3032	3070	3071	3128	3146	3138	3104	3101	3076	3018	2995	2957	2890	2806	2794
12	25	3156	3226	3221	3244	3327	3318	3417	3441	3430	3402	3405	3406	3307	3305	3267	3155	3057	2968
13	27.5	3314	3388	3382	3471	3612	3682	3750	3773	3798	3798	3859	3870	3808	3742	3648	3529	3426	3332
14	30	3273	3327	3361	3495	3665	3780	3922	4031	4126	4174	4280	4327	4352	4374	4339	4017	3880	3770
15	32.5	3153	3200	3240	3376	3554	3625	3801	3966	4132	4319	4529	4622	4594	4636	4609	4469	4355	4263
16	35	2895	3024	3067	3129	3214	3296	3471	3668	3881	4129	4422	4680	4878	5021	5052	4932	4795	4648
17	37.5	2853	2882	2875	2927	3030	3129	3325	3542	3826	4198	4603	5060	5320	5413	5412	5228	4995	4742
18	40	3054	3100	3048	3102	3223	3322	3531	3767	4159	4637	5248	5785	6383	6970	7400	7458	7124	6846
19	42.5	3399	3447	3394	3420	3482	3585	3887	4194	4687	5228	5897	6586	7290	8000	8610	9299	9044	8744
20	45	3214	3295	3330	3393	3499	3645	3904	4138	4631	5128	5787	6529	7340	8049	8756	9436	9231	8911
21	47.5	3016	3073	3108	3169	3238	3353	3578	3864	4247	4683	5181	5773	6467	7264	8071	8901	9656	9401
22	50	2903	2961	2977	2987	3009	3148	3315	3528	3837	4262	4676	4993	4907	4312	4002	4029	4236	4614
23	52.5	2700	2736	2724	2736	2766	2900	3051	3248	3569	3929	4387	4714	4807	4114	3807	3505	3392	4290
24	55	2126	2129	2131	2135	2215	2354	2506	2733	3051	3316	3535	3519	3203	2985	2953	3189	3634	4256

Figura 78. Libro de Excel, datos de matrices.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Una vez obtenido los datos en el libro de Excel se importa la información a una matriz de Matlab con un código que se observa a continuación.

```
M = xlsread('Libro1.xlsx');
```

Con esta matriz se obtendrán los valores de x, y, z en coordenadas polares como se muestra a continuación:

```
x1 = M(1,2:end);
```

```
y1 = M(2:end,1);
```

```
z1 = M(2:end,2:end).
```

Ya que los datos entregados por el software Cooper Photometric no son suficientes para generar una nube densa de puntos se realiza una interpolación lineal para obtener más datos de intensidad luminosa a diferentes ángulos, esto se realiza con el código a continuación:

```
xx = (0:0.7:180)';
```

```
zz = interp1(x1,z1,xx);
```

```
zz2 = interp1(x1,zz',xx);
```

```
M = [xx zz2'];
```

```
[f,c]=size(M);
```

```
M = [zeros(1,c); M];
```

```
M(1,2:end) = xx'.
```

Una vez realizada la interpolación hay que convertir los datos de coordenadas polares a coordenadas rectangulares (x,y,z), esto con el fin de obtener una nube de puntos que pueda leer el programa SolidWorks. El código para la conversión de coordenadas se muestra a continuación:

```

%Polar a rectangular

[f,c]=size(M);

x = zeros(f-1,f-1);

y = zeros(f-1,f-1);

z = zeros(f-1,f-1);

for i = 2:f

for j = 2:c

x(i-1,j-1)=M(i,j)*cos(M(j,1)*pi()/180);

y(i-1,j-1)=M(i,j)*sin(M(j,1)*pi()/180);

z(i-1,j-1)=M(i,j)*cos(M(i,1)*pi()/180);

end

end.

```

Del código anterior se obtienen 3 matrices. Estas matrices se deben convertir en un listado de coordenadas x,y,z usando el siguiente código:

```

%Convierte las matrices a listado de puntos x,y,z

points1 = [x(:), y(:), z(:)];

points2 = [x(:), -y(:), z(:)];

points = [points1; points2];

xlswrite('points2',points);

```

Para poder visualizar la gráfica de las matrices y puntos se utilizó el siguiente código.

```
%Grafica las figuras

figure (1)

plot3 (points(:,1),points(:,2),points(:,3))

figure (2)

surf(x,y,z)

hold on

y2 = -y;

surf(x,y2,z)
```

Para finalizar el listado de puntos se exporta con un archivo ".xyz", como se observa en la figura 79.

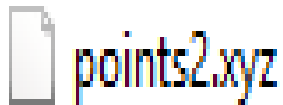


Figura 79. Archivo .xyz.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Para esto se utilizó el siguiente código:

```
csvwrite('points1.xyz',points).
```

Una vez obtenida la gráfica, como se observa en la figura. 80, y el archivo .xyx generado en Matlab se procederá a utilizar el software SolidWorks.

A continuación, se adjuntan todos los resultados obtenidos en Matlab para cada una de las luminarias.

Luminaria 150W Roadway-115

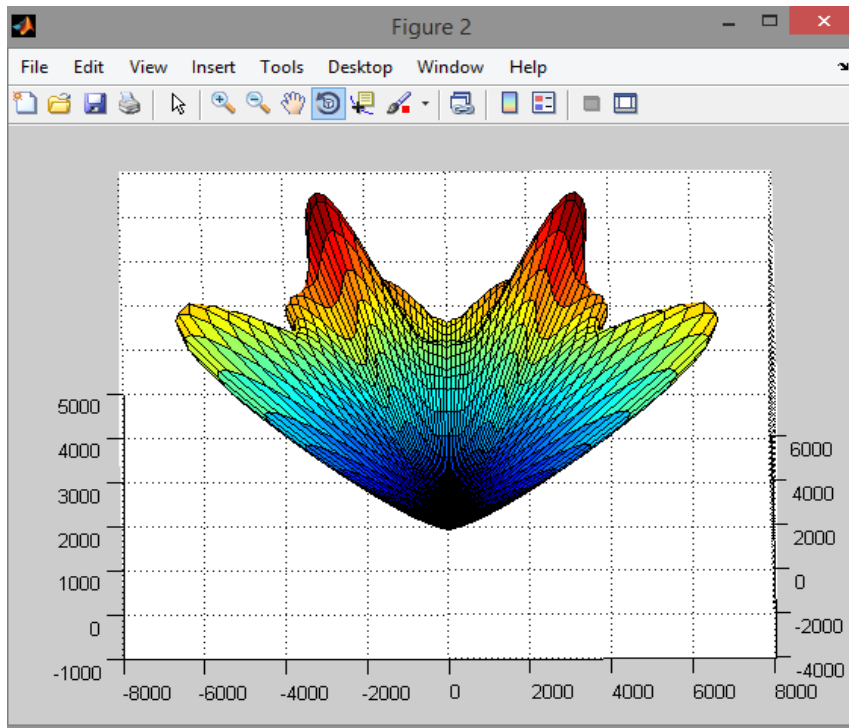


Figura 80. Luminaria 150w Roadway-115, vista frontal.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

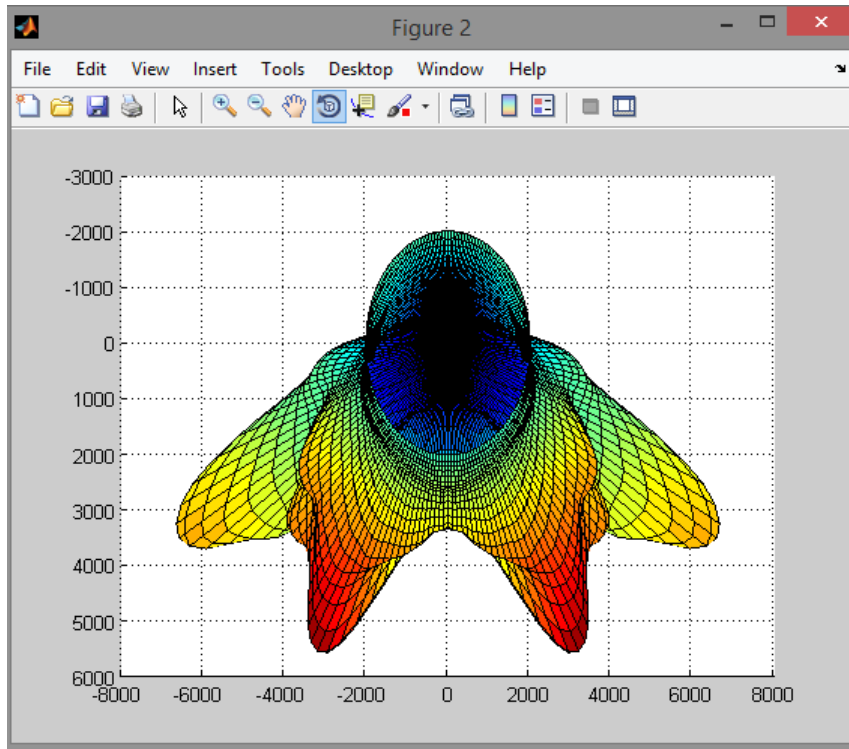


Figura 81. Luminaria 150w Roadway-115, vista superior.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

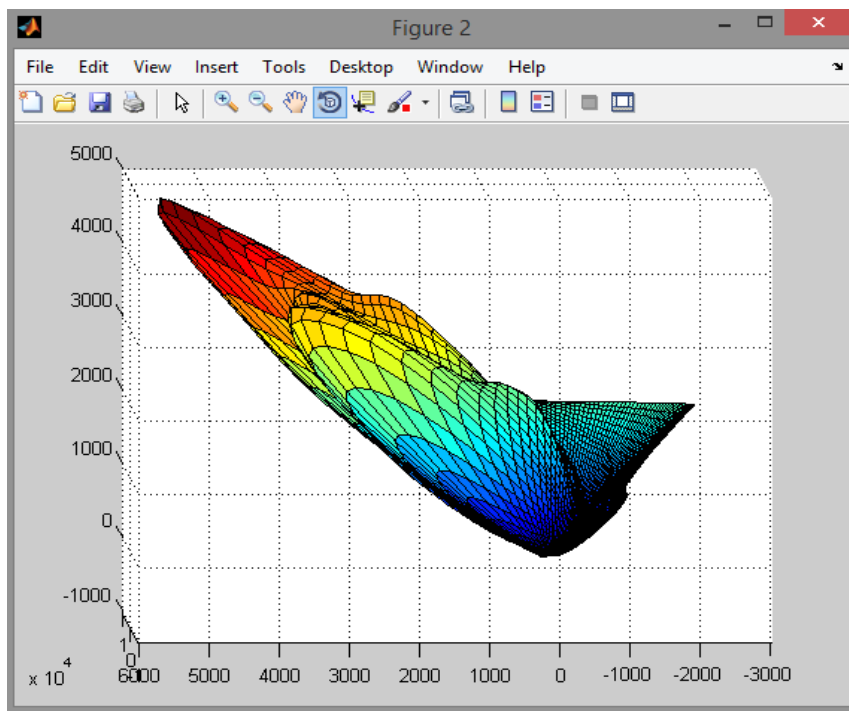


Figura 82. Luminaria 150w Roadway-115, vista lateral.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

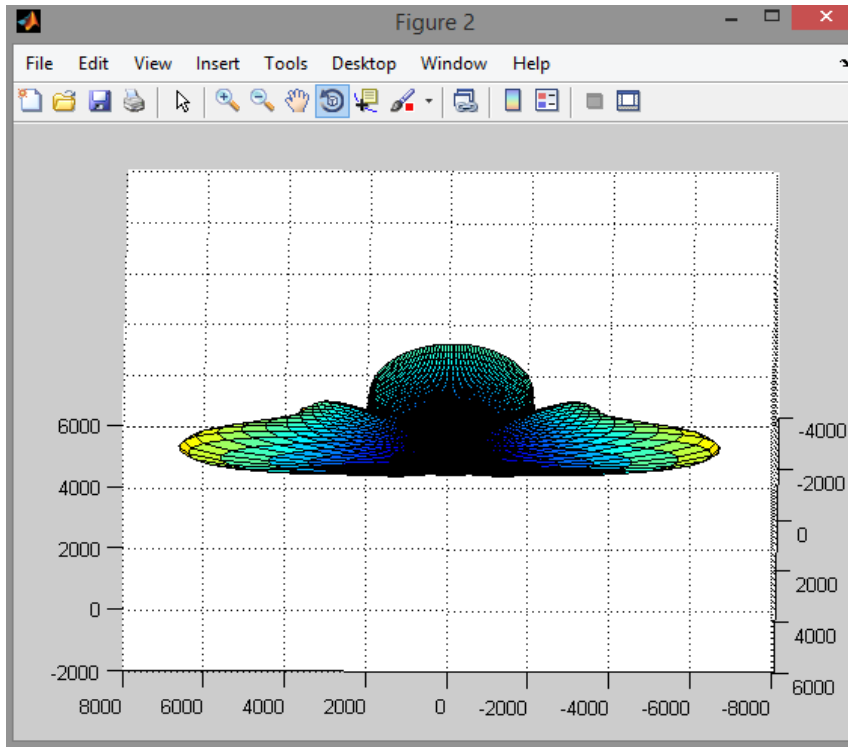


Figura 83. Luminaria 150w Roadway-115 vista inferior.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria 250W Roadway-115

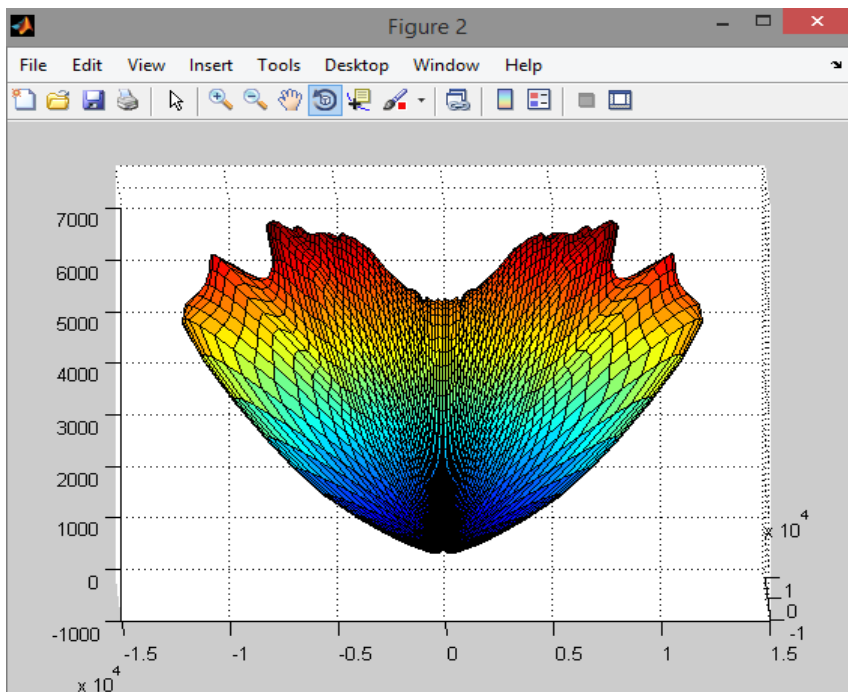


Figura 84. Luminaria 250w Roadway-115.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 150W Roadway-115 Cutoff

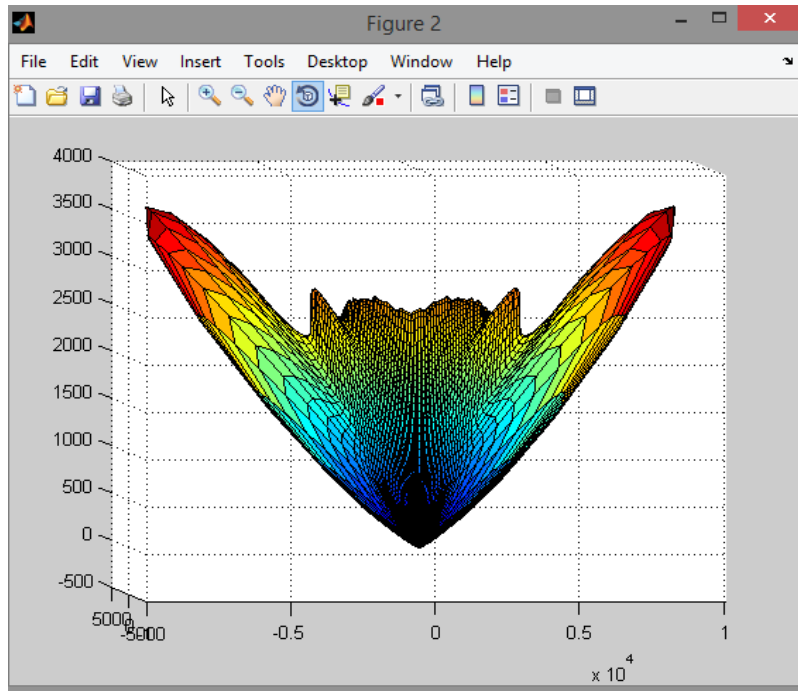


Figura 85. Luminaria de 150w Roadway-115 Cutoff

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 250W Roadway-115 Cutoff

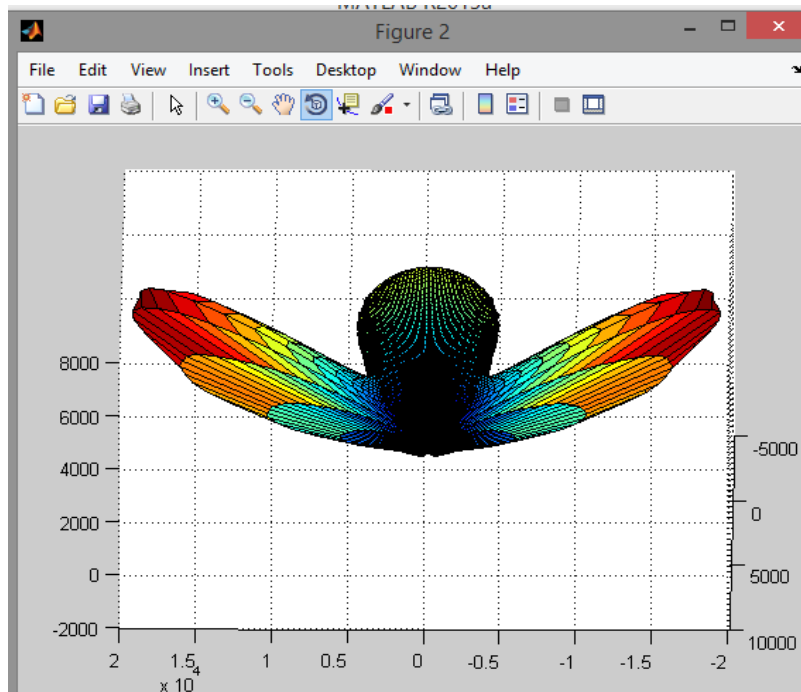


Figura 86. Luminaria de 250w Roadway-115 Cutoff.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 250W Roadway-125

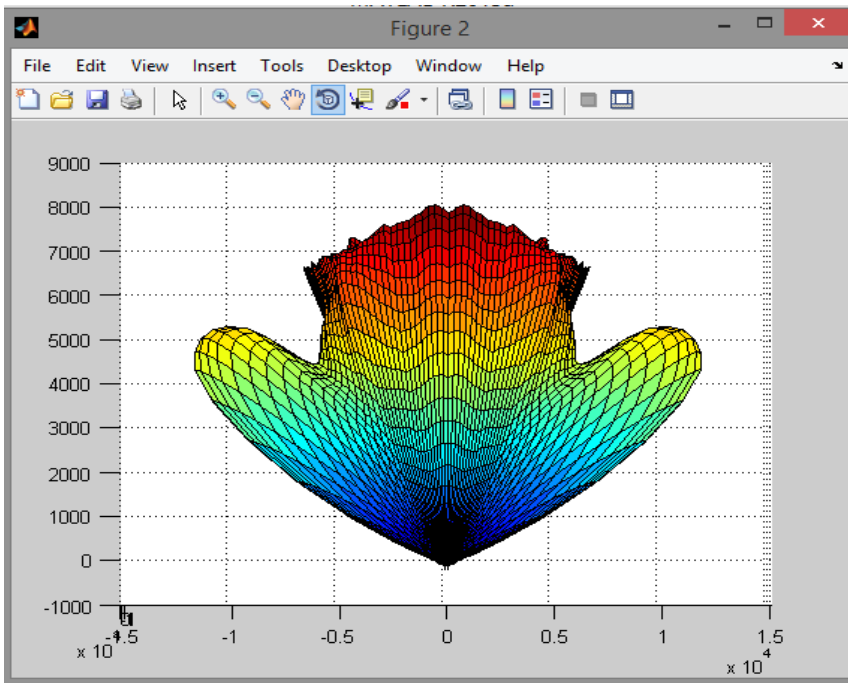


Figura 87. Luminaria de 250w Roadway-125.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA

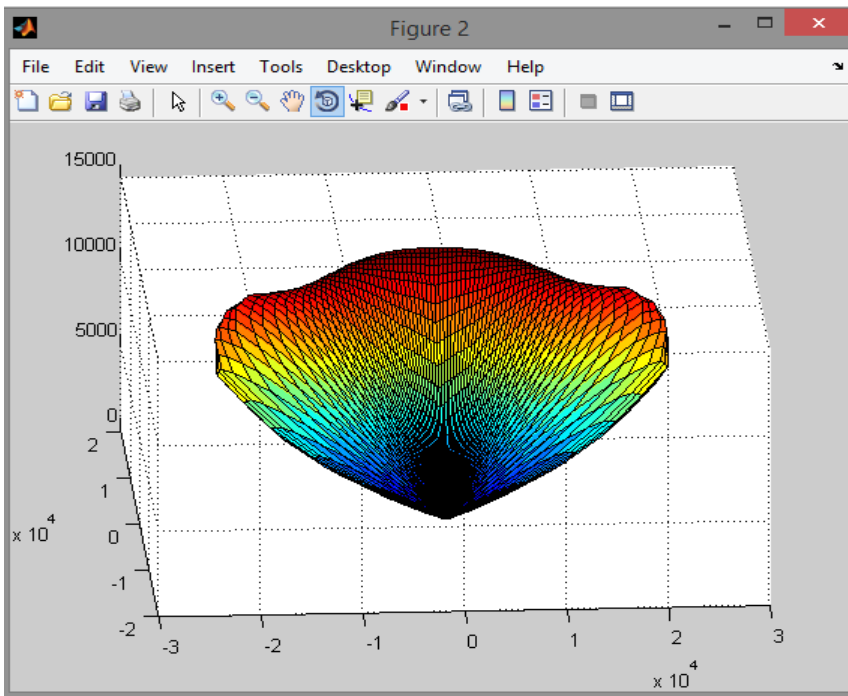


Figura 88. Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Continuando con el procedimiento para transformar los datos en sólido, se utilizó el software SolidWorks, visualizando en la figura. 89

A continuación se describe paso a paso como crear el sólido:

A) Se apreciara la secuencia de pasos en la figura.

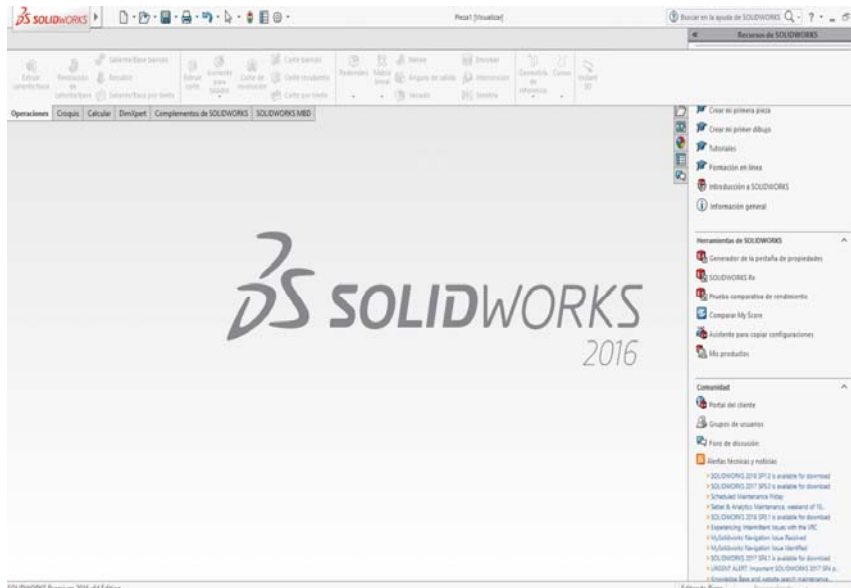


Figura 89. Software SolidWorks.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

B) Abrir el archivo para generar la una nube de puntos.

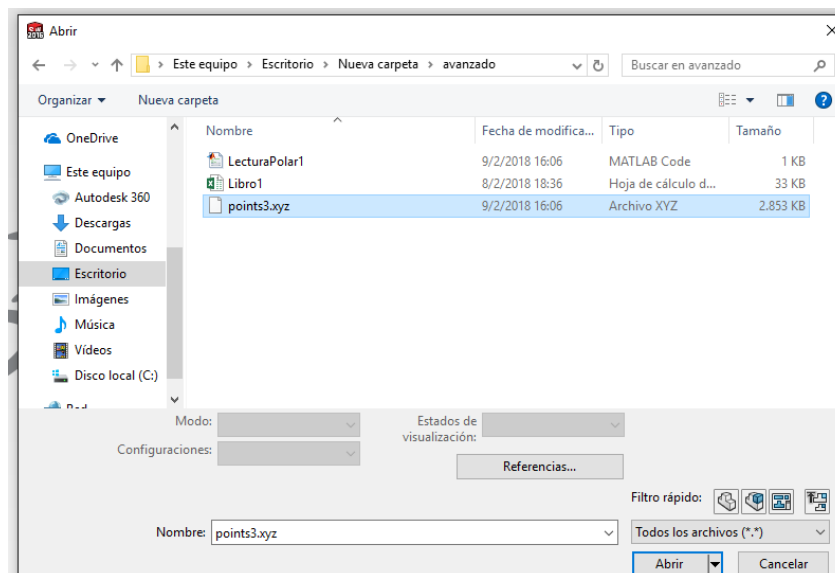


Figura 90. Selección de Archivo.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

C) Habilitar la opción SCANTO 3D, para convertir la malla de puntos en sólido como se observa en la figura.

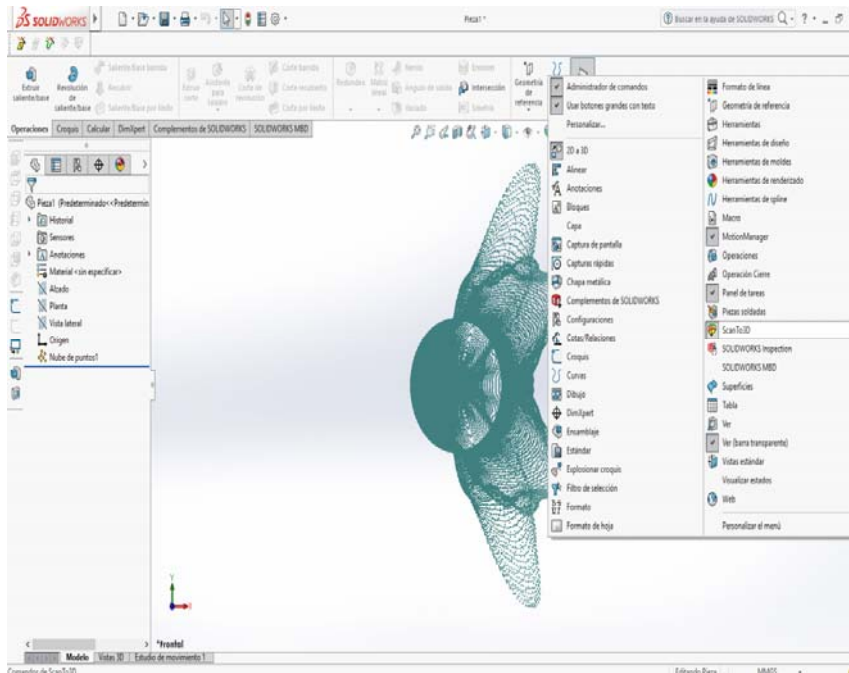


Figura 91. Opción SCANTO 3D.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

D) Permite generar la opción de la nube de puntos como se muestra en la figura.

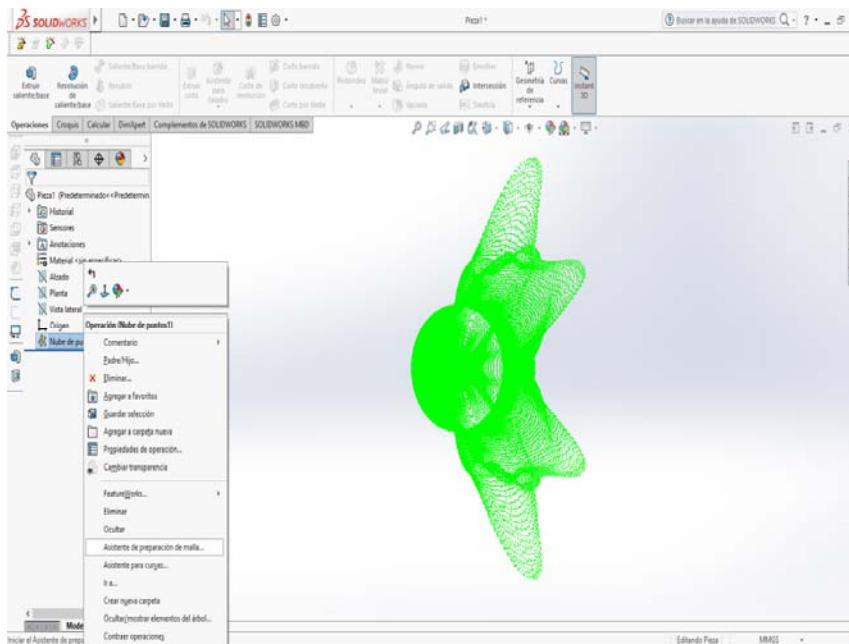


Figura 92. Generación de la nube de puntos.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

E) Permite limpiar el grafico de la nube de puntos, ver figura.

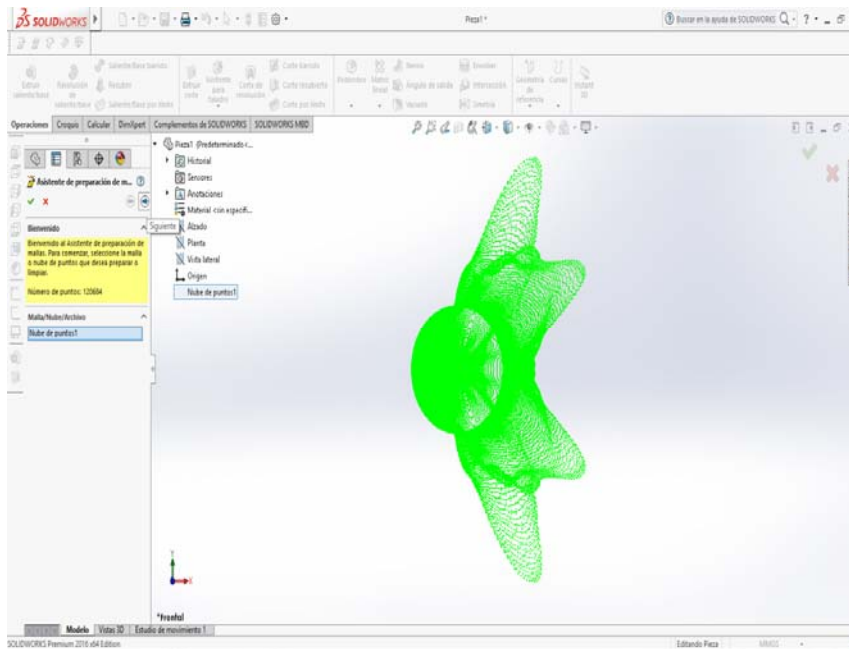


Figura 93. Limpiar el grafico de la nube de puntos.
Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

F) Permite girar la figura visualizando la malla de puntos.

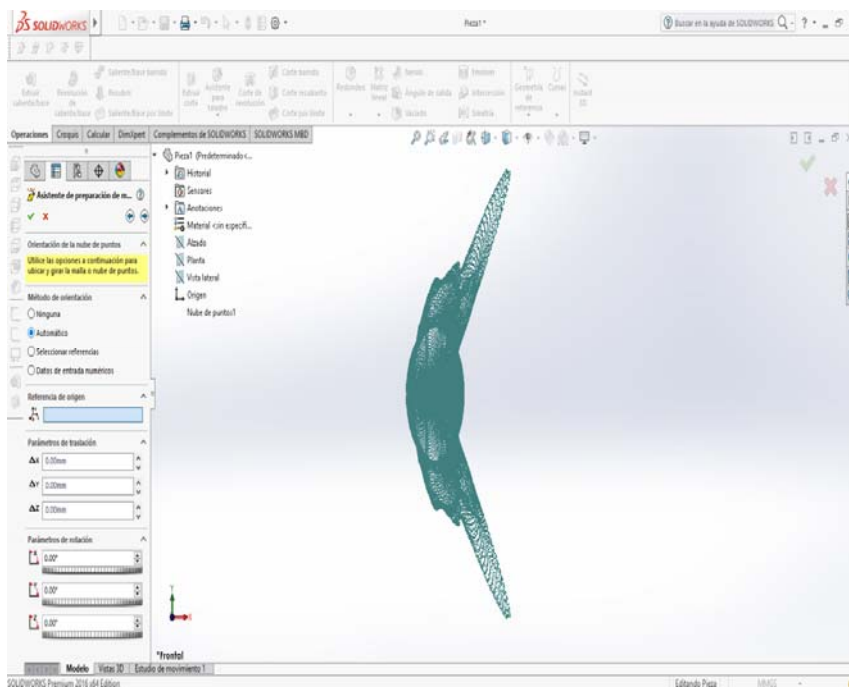


Figura 94. Gira la Figura en 360.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

G) Se configura la nube de puntos deseados

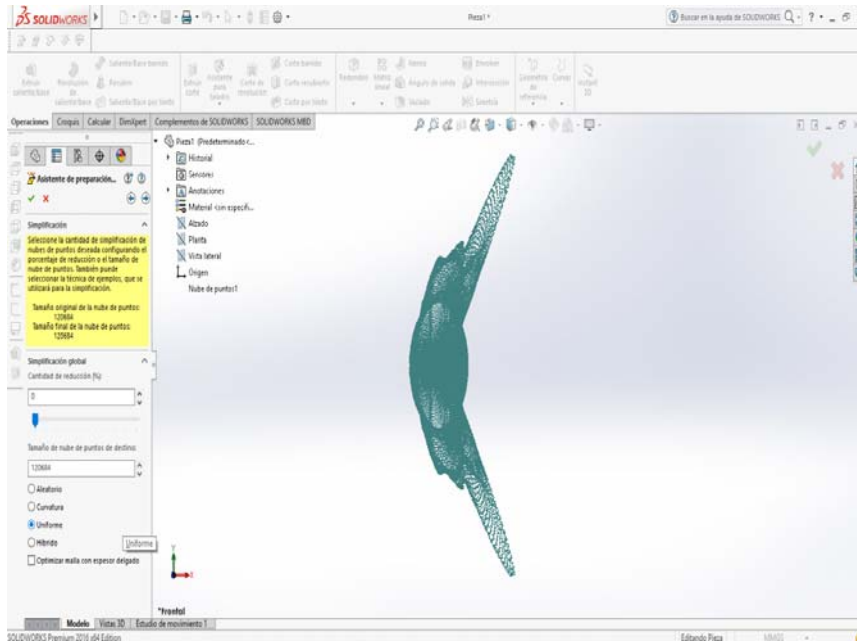


Figura 95. Configuración de nube de puntos.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

H) Convirtiendo la malla en sólido.

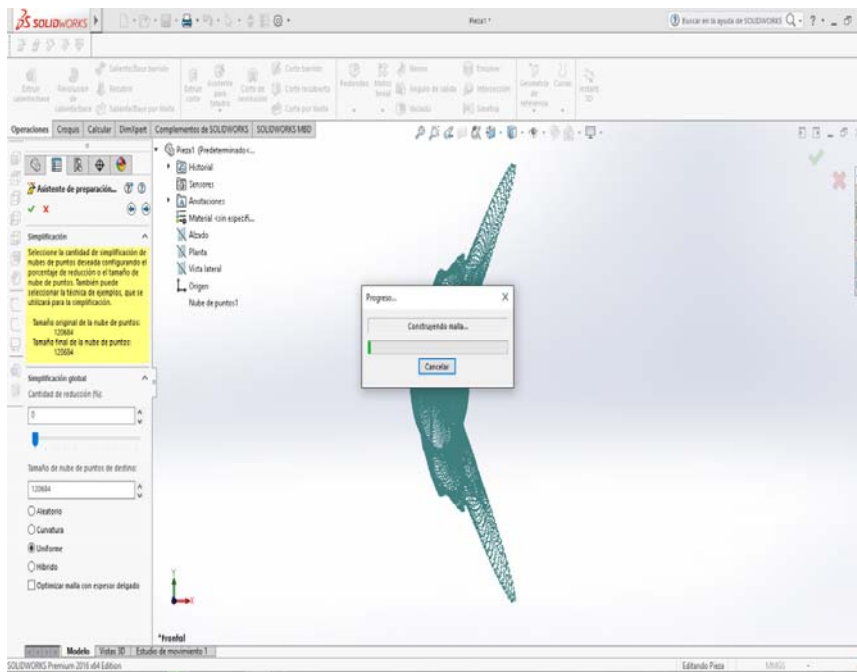


Figura 96. Proceso de conversión ha solido.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

I) Se completa automáticamente la figura si hay huecos seleccionando las deseadas.

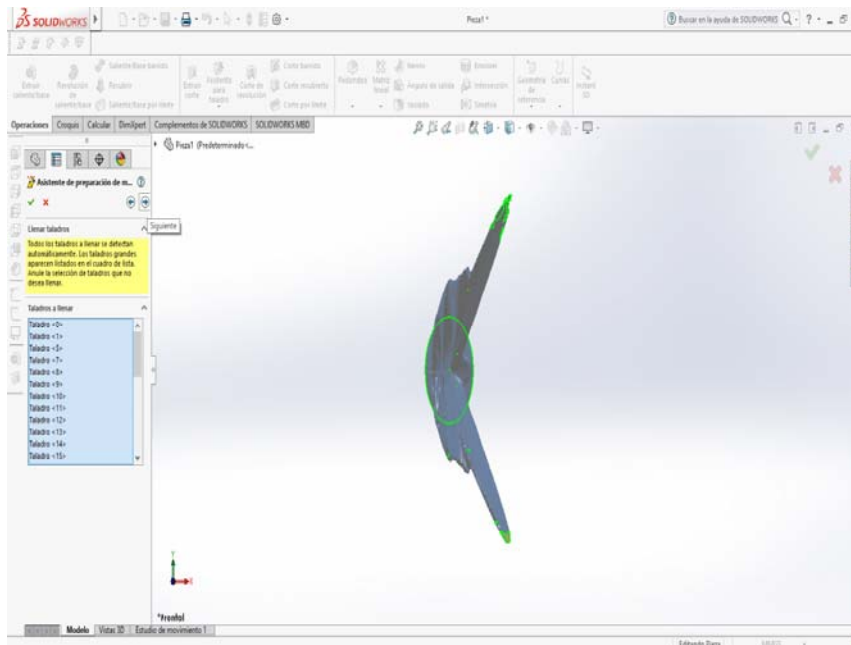


Figura 97. Rellenado de Huecos.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

J) Crea un sólido automáticamente seleccionando la mejor cara de la figura.

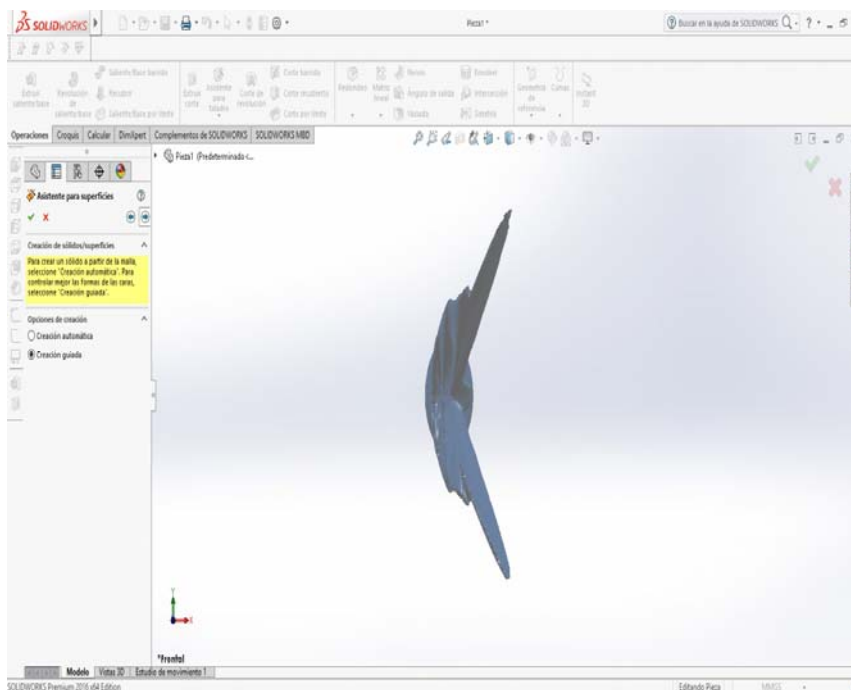


Figura 98. Creación de la mejor cara a sólido.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

K) Permite partir el sólido en forma simétrica, se puede apreciar en la siguiente figura.

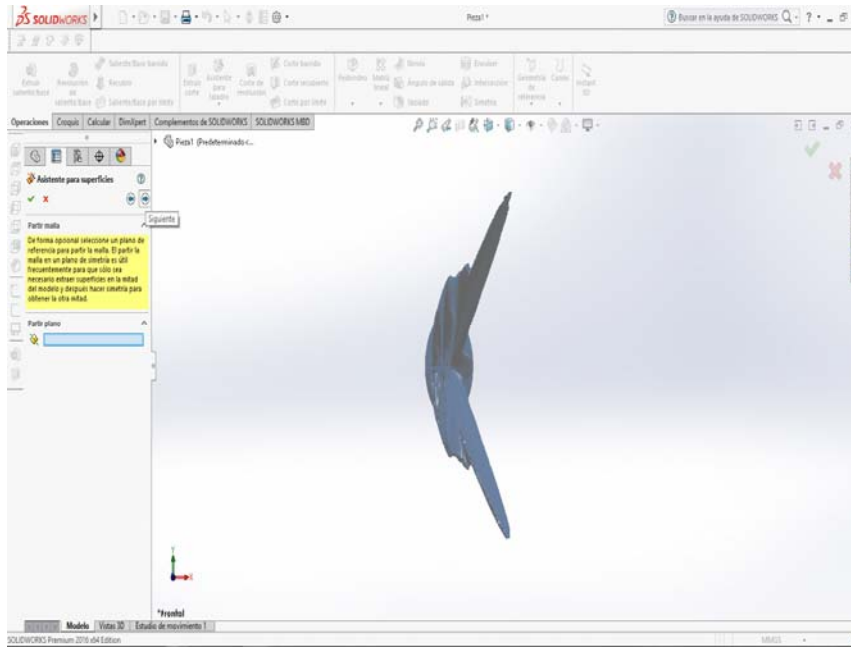


Figura 99. Solido simétrico.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

L) Permite seleccionar toda la cara para visualizarlas.

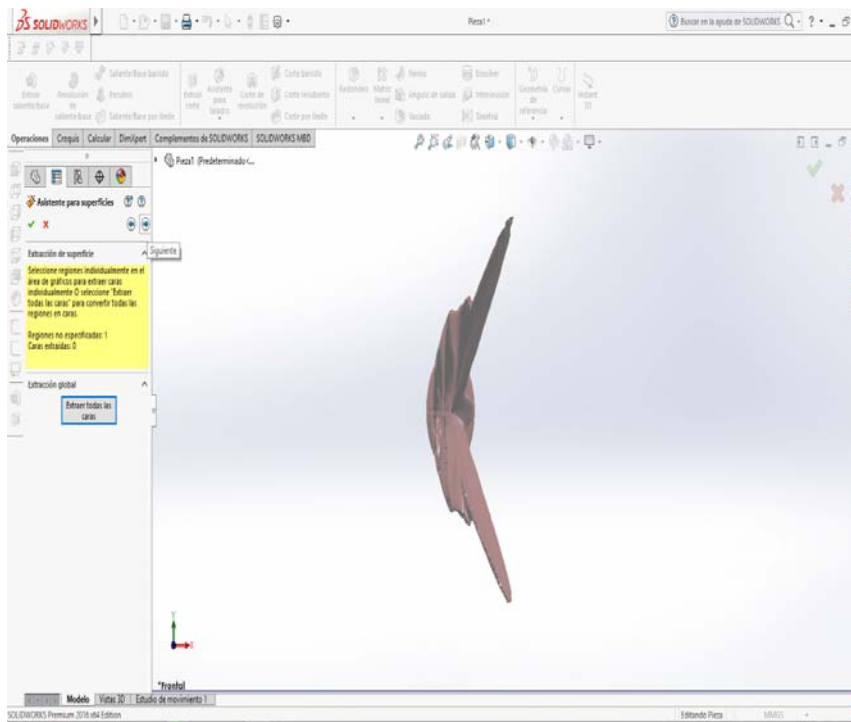


Figura 100. Caras a visualizar.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Ya creado la malla en solido guardamos el archivo como “.STL” para poder abrirlo en el software final que será Cura imprimiendo cada figura.

Apreciando en la figura. 101 y se adjuntaran el resto de pruebas realizadas de las luminarias.

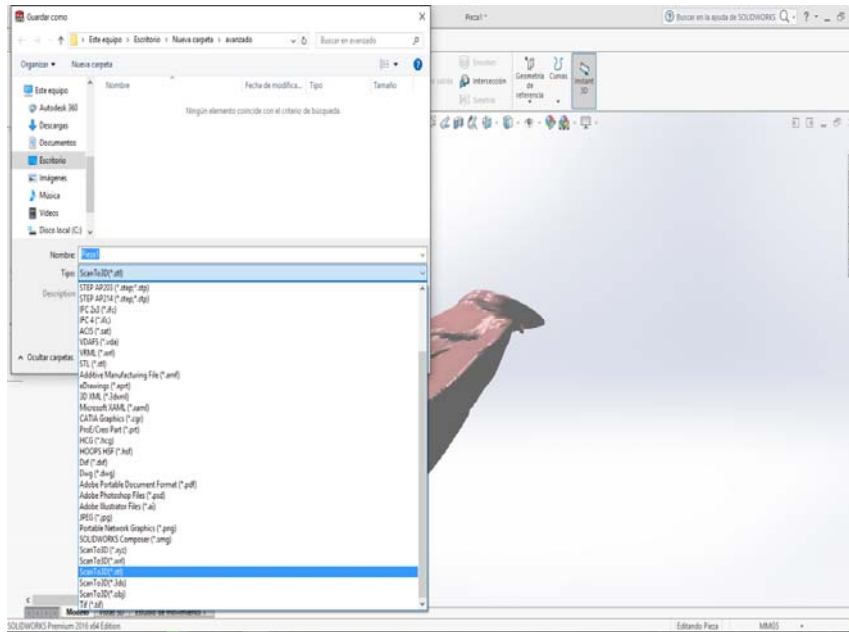


Figura 101. Archivo “.STL” del sólido.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria 150W Roadway-115

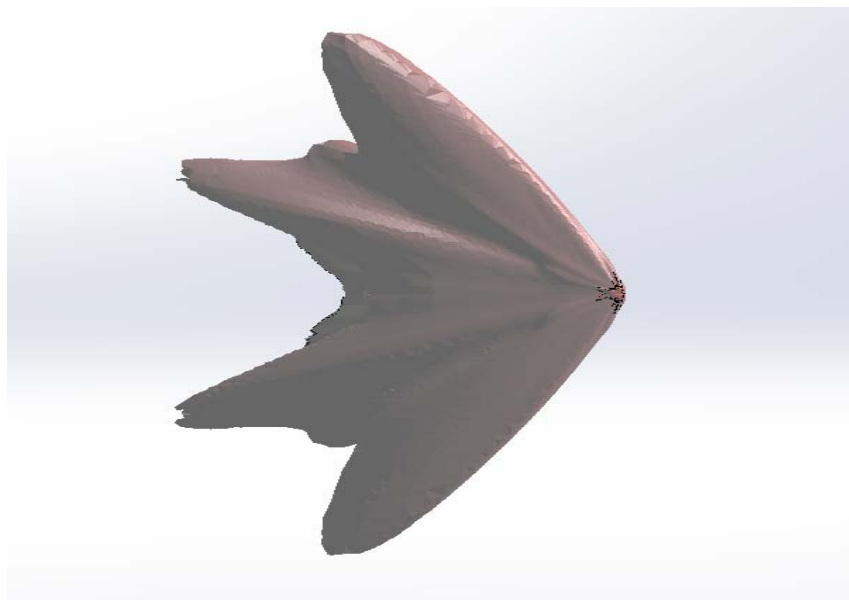


Figura 102. Solido de Luminaria 150w Roadway-115.
Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria 250W Roadway-115

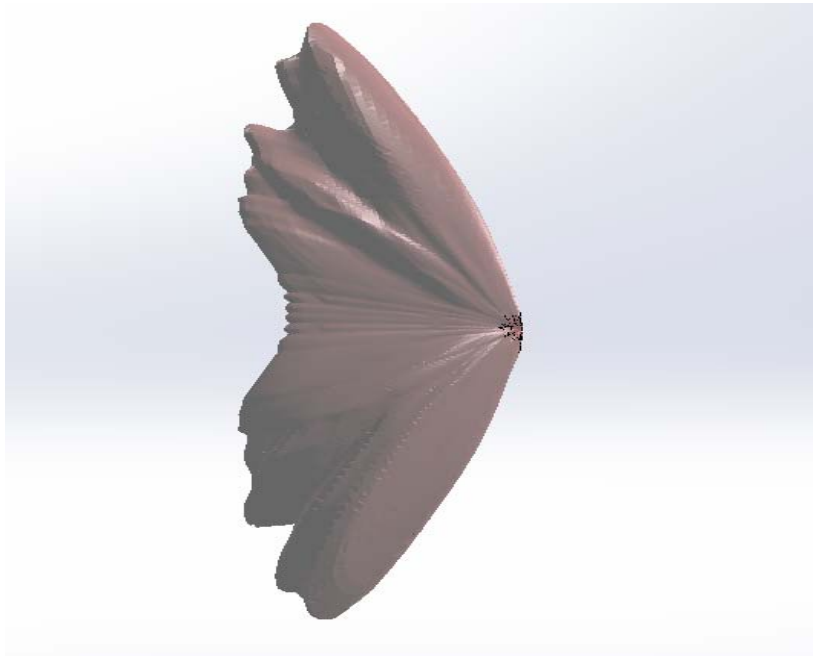


Figura 103. Solido de la luminaria 250w Roadway-115.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 150W Roadway-115 Cutoff

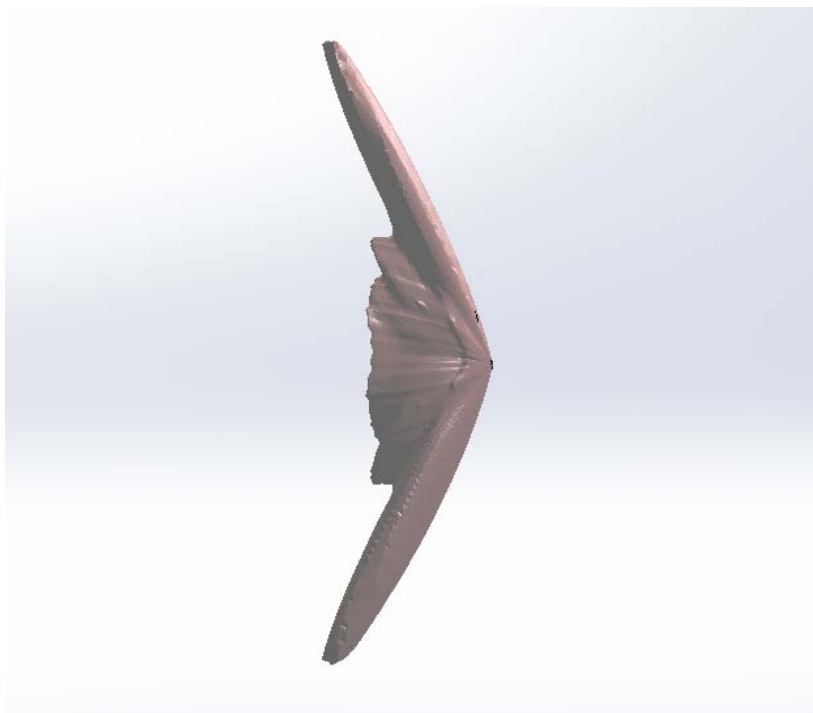


Figura 104. Solido de la luminaria 150w Roadway-115 Cutoff.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 250W Roadway-115 Cutoff

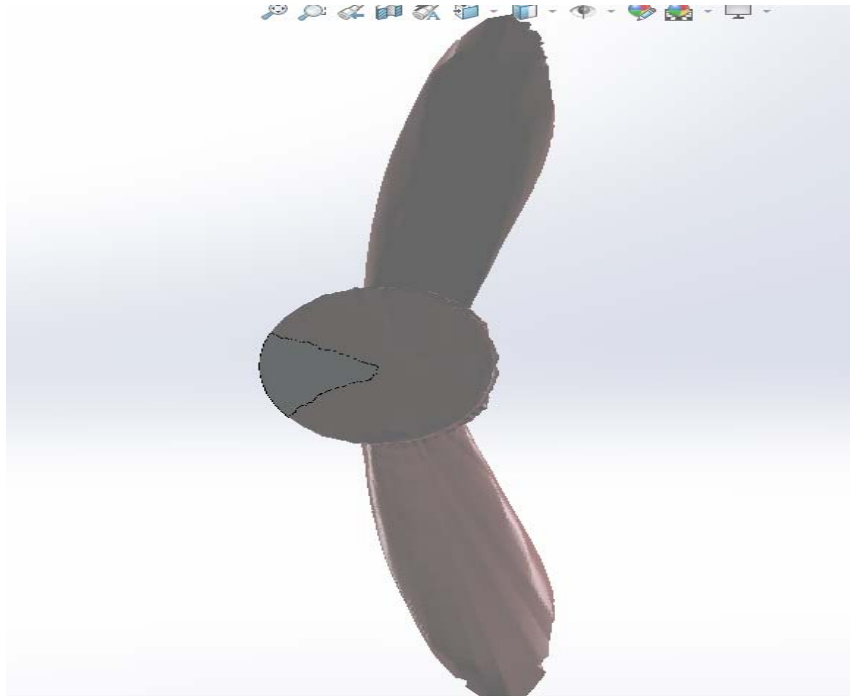


Figura 105. Solido de la luminaria 250w Roadway-115.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 250W Roadway-125

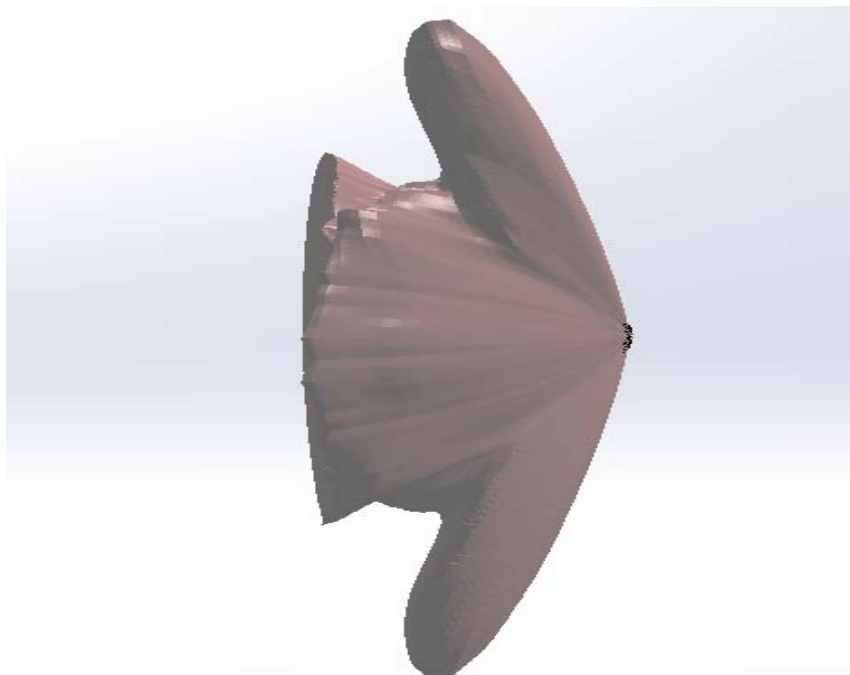


Figura 106. Solido de la luminaria 250w Roadway-125.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA

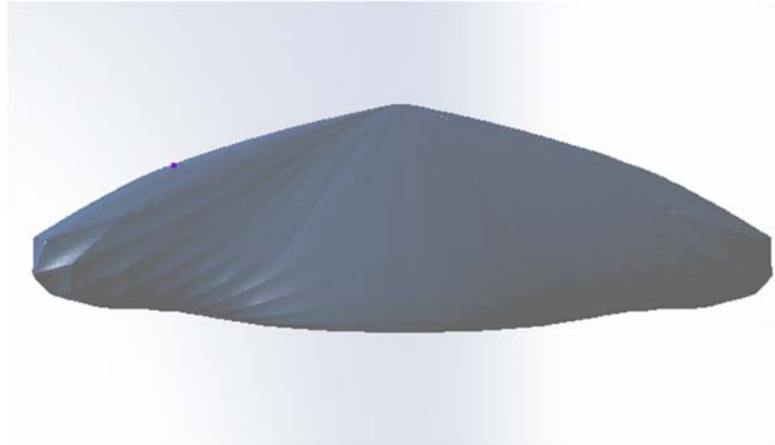


Figura 107. Solido de la luminaria Led 314W- Omnistar.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

4.3. Software a utilizar.

El software utilizado para realizar las impresiones en 3D es Cura, una aplicación específica del equipo Ultimaker 2 Extended.

El software permite imprimir cualquier figura sólida en materia de plástico PLA, configurando la escala, variando el tiempo de impresión y visualizando la figura en un cuerpo solido en 3D, la escala utilizada en cada figura fue de 1:100.

A continuación se modelo las luminarias en el software Cura como se observa en las figuras.

Luminaria 150W Roadway-115

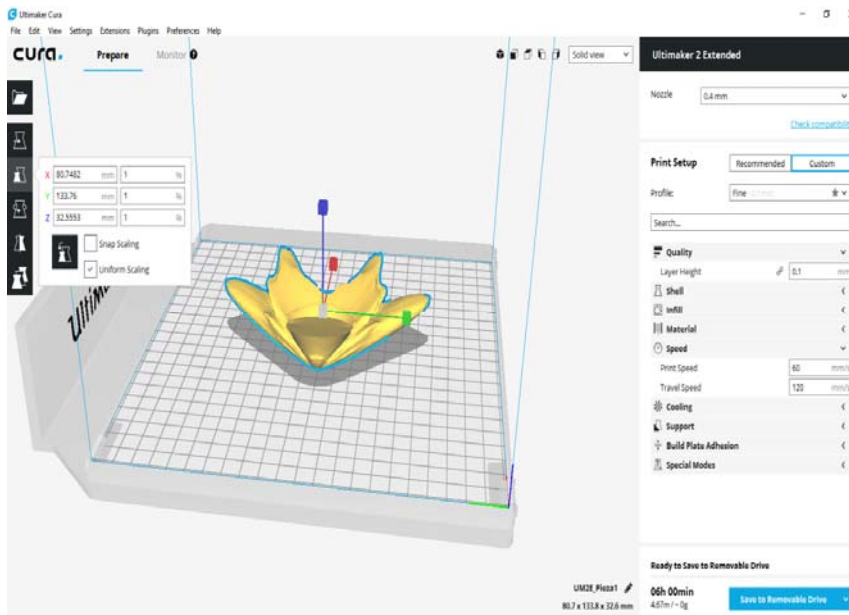


Figura 108. Luminaria 150w Roadway-115.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria 250W Roadway-115

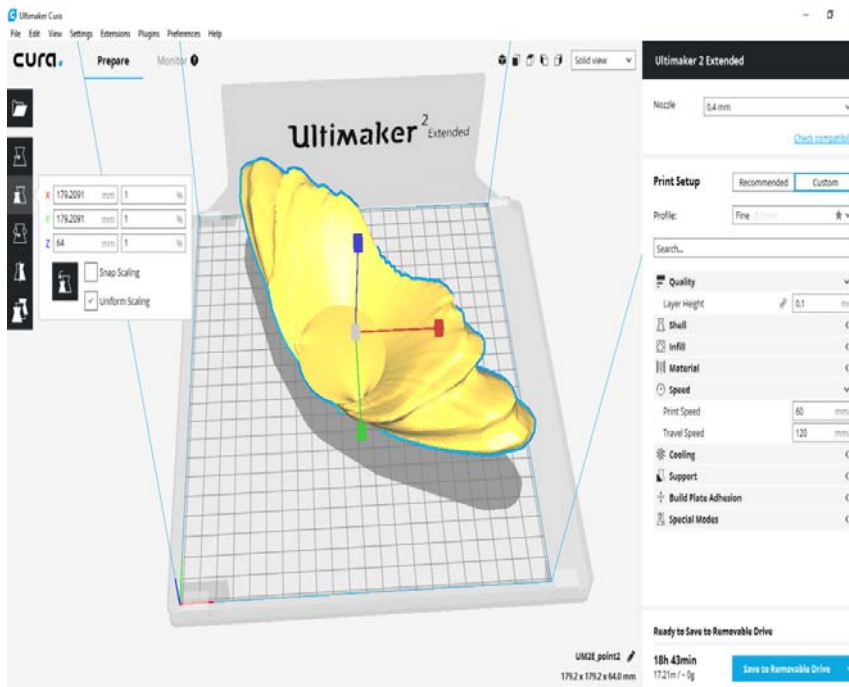


Figura 109. Solido de la luminaria 250w Roadway-115.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 150W Roadway-115 Cutoff

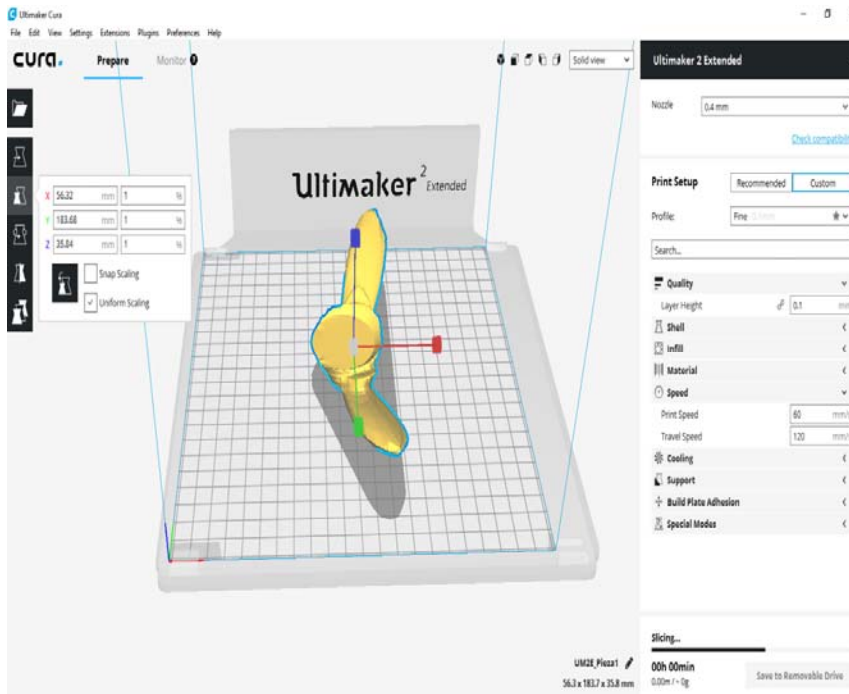


Figura 110. Solido de la luminaria 150w Roadway-115 Cutoff.
Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 250W Roadway-115 Cutoff, lado derecho.

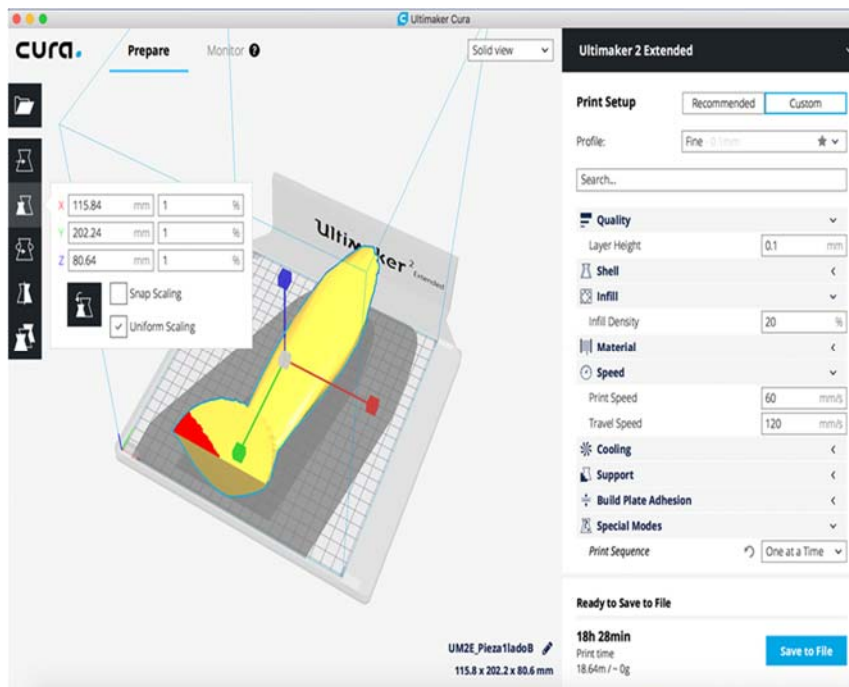


Figura 111. Solido de la luminaria 250w Roadway-115-Derecho.
Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 250W Roadway-115 Cutoff, lado izquierdo.

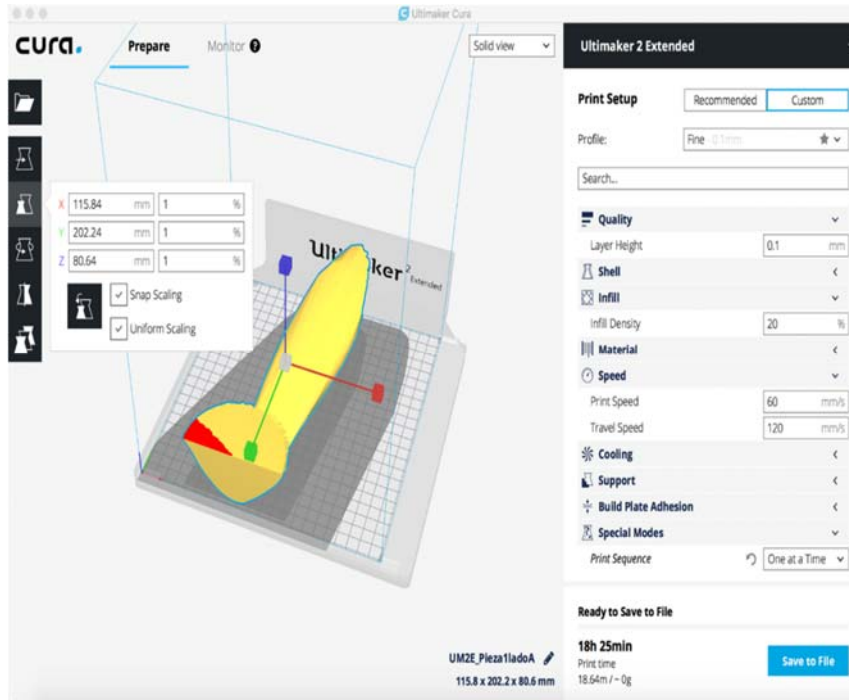


Figura 112. Solido de la luminaria 250w Roadway-115-Izquierdo.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria de 250W Roadway-125

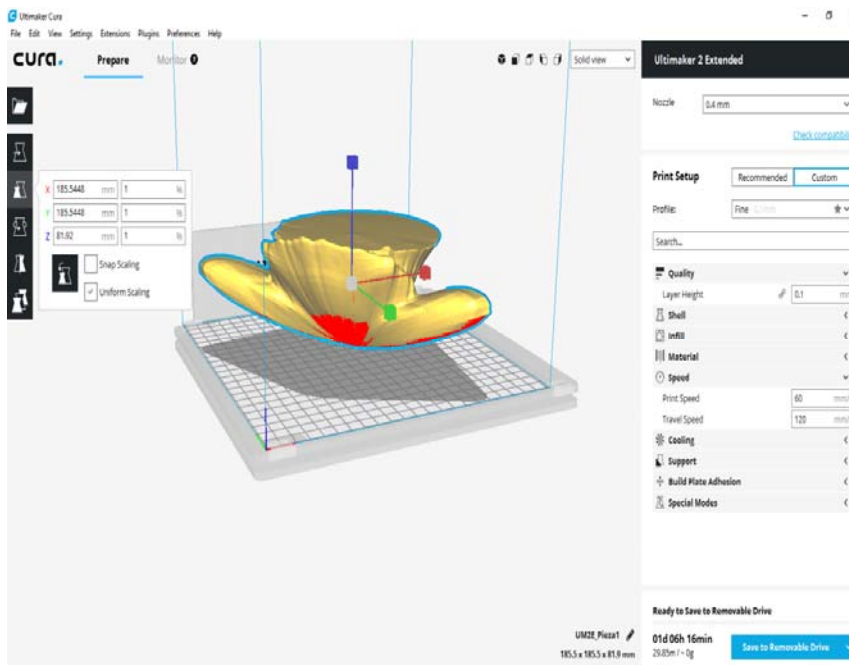


Figura 113. Solido de la luminaria 250w Roadway-125.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, lado derecho.

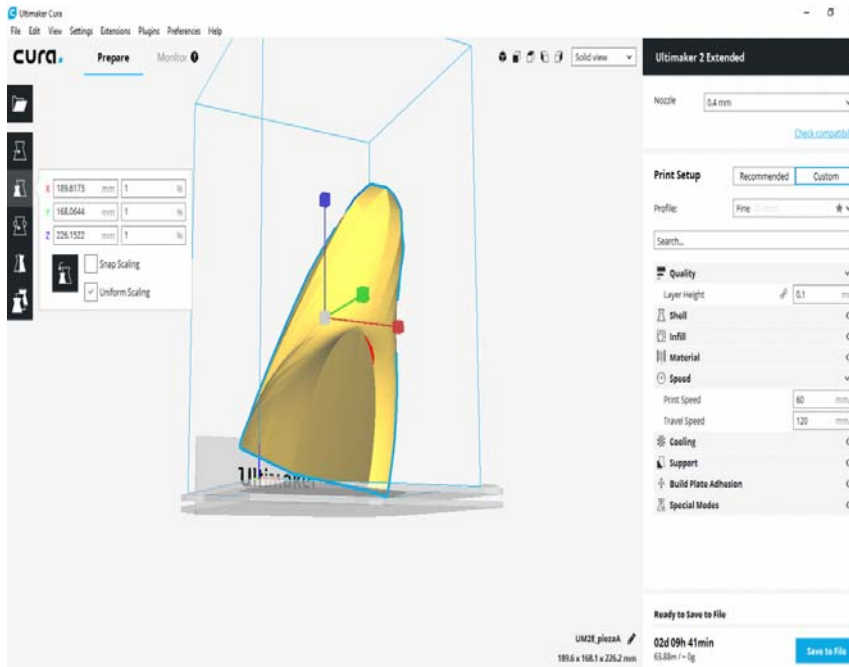


Figura 114. Solido de la luminaria Led 314W- OMNIstar Derecho.
Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria OMNIstar 144 LEDs 700mA, lado izquierdo.

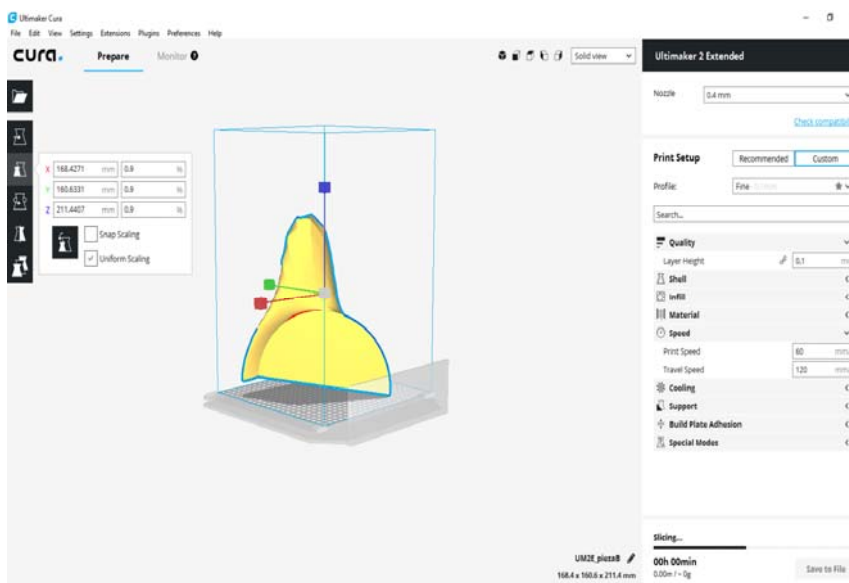


Figura 115. Solido de la luminaria Led 314W- OMNIstar Izquierdo.
Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

4.3. IMPRESORA 3D.

Para realizar las impresiones, se utilizó la impresora Ultimaker 2 Extended expuesta en la figura 116.



Figura 116. Impresora 3D Ultimaker 2 Extended.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

RESULTADOS DE LA IMPRESIÓN

A continuación, se muestra en fotografías el resultado final de las figuras impresas:

Luminaria 150W Roadway-115-L1. Como se aprecia en la figura 121, es el resultado de la impresión de la luminaria L1, su tiempo de impresión, duro 12 horas.



Figura 117. Luminaria 150w Roadway-115-L1.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria 250W Roadway-115-L2. Como se aprecia en la figura 118, es el resultado de impresión de la luminaria indicada y su tiempo fue de 19 horas.



Figura 118. Luminaria 250w Roadway-115-L2.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria 150W Roadway-115 Cutoff-L3. Como se aprecia en la figura. 119 es el resultado de la impresión de la luminaria L3 y su tiempo de impresión duro 12 horas.



Figura 119. Luminaria 150w Roadway-115 Cutoff-L3.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria 250W Roadway-115-L4. Como se aprecia en la figura. 120 es el resultado de la impresión de la luminaria L4 y para su impresión se dividió en 2 partes, y cada impresión duro 10 horas.



Figura 120. Luminaria 250w Roadway-115-L4.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria 250W Roadway-125-L5. Como se aprecia en la figura. 121 es el resultado de la impresión de la luminaria L5 y su tiempo de impresión duro 1 día y 6 horas.



Figura 121. Luminaria 250w Roadway-125-L5.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria Led 314W- OMNIstar-L6. Como se aprecia en la figura .122 es el resultado de la impresión de la luminaria L6 y para su impresión se dividió en 2 partes, y cada impresión duro 39 horas.



Figura 122. Luminaria Led 314W- OMNIstar-L6.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE DATOS DE MEDICIÓN DE INTENSIDAD LUMINOSA.

5.1. INTRODUCCIÓN.

En el presente capítulo se realizara la interpretación de datos, mediante las gráficas obtenidas de las pruebas realizadas en un simulador del fotogoniómetro Cooper Photometric, analizando las figuras de la intensidad luminosa en 2D, comparando la figura física con la del software.

5.2. INTERPRETACIÓN DE DATOS.

Para la interpretación de datos se utiliza la prueba de la luminaria de vapor de sodio de alta presión de 150W (L1), obtenido en el software Cooper Photometric y la figura física del resultado obtenido. Interpretando las gráficas 2d de la curva de intensidad luminosa, se sobrepuso la forma digital sobre la figura física para representar las curvas de intensidad luminosa, siendo uno de los parámetros más importantes para la selección de la luminaria.

Para la construcción de la gráfica en forma polar, se requiere los ángulos ϕ y C, recalcando que "C" es un grupo de planos para el que la línea de intersección (eje polar) es la línea vertical que pasa a través del centro fotométrico". (Comision Internacional de Iluminacion (CIE), 1996), el rango del fotogoniómetro de $C=360^\circ$, Gama=180. C

En la gráfica. 119 se visualizan 3 tipos de curvas en coordenadas polares, se toma los datos de $C= 90^\circ$ hasta $C= a 270^\circ$ que representa el color azul.

$C=0^\circ$ a hasta $C= 180^\circ$ representando la gráfica verde siendo un corte transversal.

Gama de color rojo, visualizando en la gráfica la intensidad máxima que va desde 0 a 7547cd, repitiendo el mismo grafico en el resto de grados en C, y en Gama se toma la intersección generado por el valor C en ese momento, visualizando Gama desde otra perspectiva siendo otra cara del gráfico.

Como se observa en la figura.123, es la curva de intensidad luminosa obtenida en el software Cooper Photometric, de una luminaria de 150w, representando las caras de las figuras 3D en 3 perspectivas, superior, frontal y corte lateral.

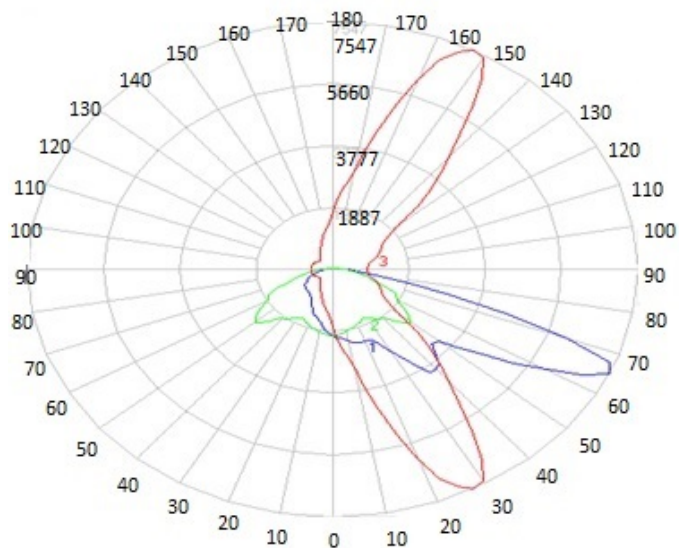


Figura 123. Curva de Intensidad luminosa.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Como se observa en la figura 124. El rango de C está desde 62, 5° a 242,5°

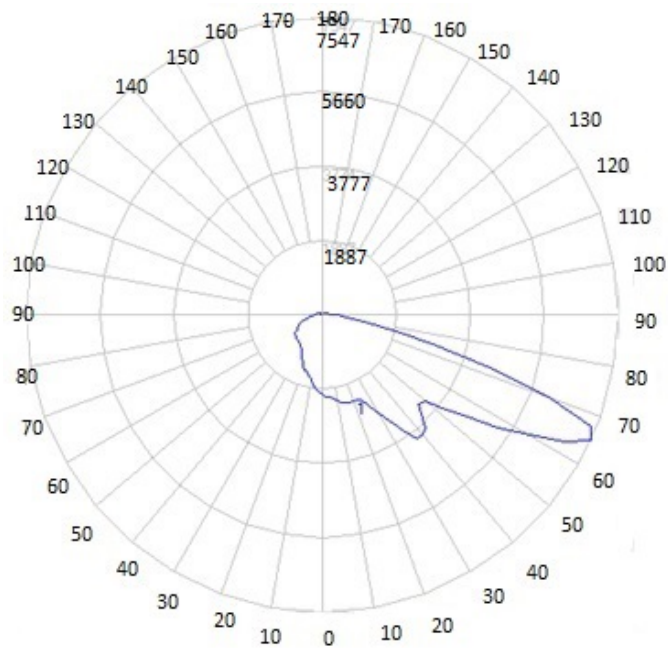


Figura 124. Curva de Intensidad luminosa en C.

Fuente. Erick Avilés: (Trabajo de Investigación).

Para visualizar la figura, $C=90^\circ$ a 270° el rango se sobrepone la curva C de la figura. 124. En la figura 125, observando la muestra física, se puede apreciar la curva de intensidad luminosa en C.



Figura 125. Curva de Intensidad luminosa en C.

Fuente: Erick Avilés (Trabajo de Investigación).

Como se observa en la figura 126. El rango de Gama es de 65° cuando C vale $62,5^\circ$ a $242,5^\circ$.

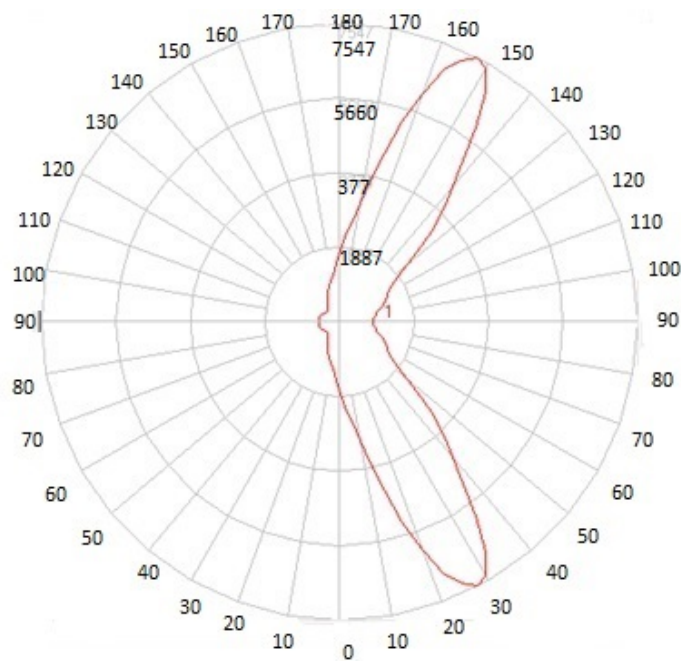


Figura 126. Curva de Intensidad luminosa Gama.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Para visualizar la figura de la curva de intensidad luminosa, se sobrepone la curva de la figura 126, en la figura 127. Observando como resultado la muestra física, con lo cual se puede apreciar su representación.

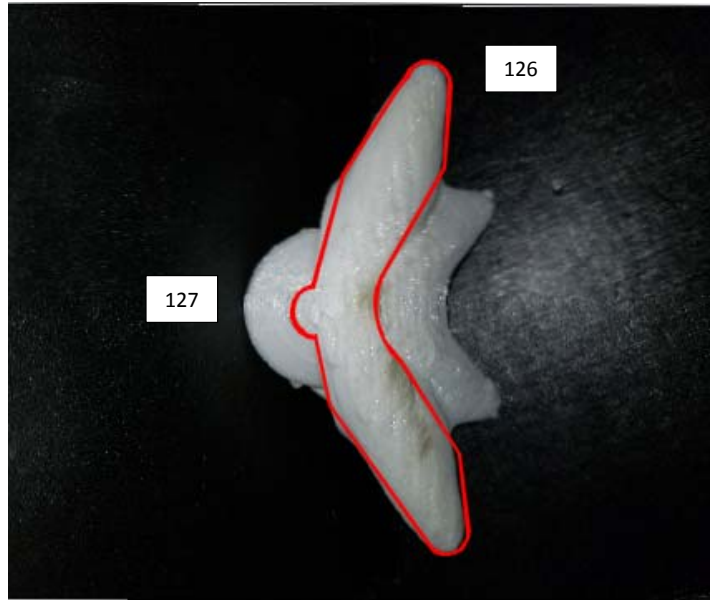


Figura 127. Curva de Intensidad luminosa en Gama.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Como se observa en la figura 128. El rango C va de 90° a 275°

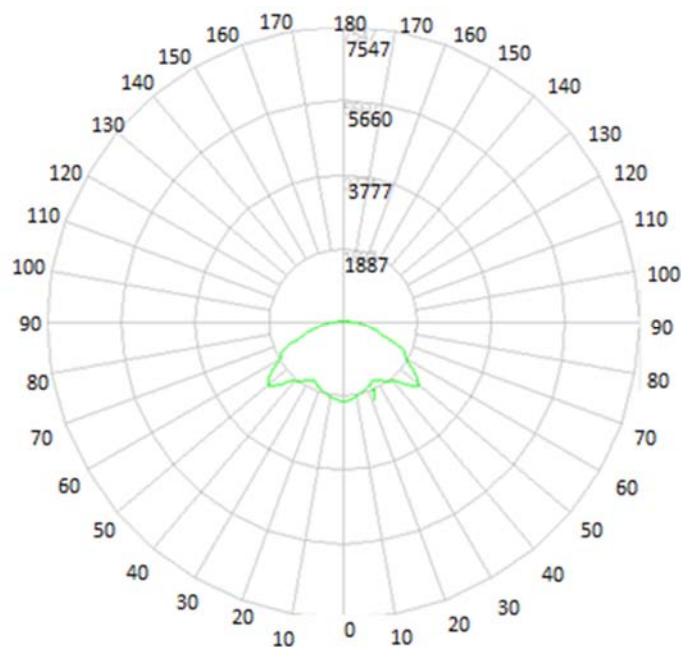


Figura 128. Curva de Intensidad luminosa en C transversal.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Para visualizar la figura de la intensidad luminosa, se sobrepone la curva de la figura 128, en la figura 129. Observando la muestra física, con lo cual se puede apreciar su representación.

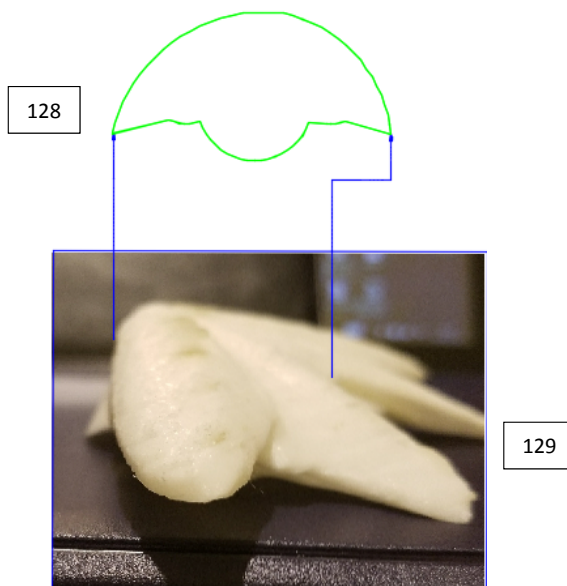


Figura 129. Curva de Intensidad luminosa en C transversal.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

En la tabla 4. Se puede visualizar los rangos de las figuras obtenidas de la figura 124, el resultado está representado de color azul y corresponde a los datos de la columna 7, fila 7 y 8. La figura. 126 corresponde el color rojo corresponde a los datos de la columna 8, fila 7, 8 y la figura 128 corresponde al color verde corresponde a los datos de la columna 10. En estos rangos se podrán observar los valores de intensidad luminosa de cada figura, en la tabla 4. Está interpolado en rangos de 10 en 10, y para visualizar los datos exactos hay que interpolar en rangos de 2.5 a 2.5.

TABLA 4. Matriz Candela de la Intensidad luminosa.

		1	2	3	4	5	6
	G/C	0	10	20	30	40	50
1	0	2010	2010	2010	2010	2010	2010
2	10	2480	2492	2425	2358	2315	2295
3	20	2838	2871	2862	2730	2611	2442
4	30	3273	3665	4126	4252	3880	3381
5	40	3054	3223	4159	5983	5124	4358
6	50	2903	3009	3837	4407	4236	5138
7	60	1193	1270	1661	1750	2739	5417
8	70	576	644	938	1245	1864	2906
9	80	296	334	430	419	553	616
10	90	214	245	250	215	218	249
11	100	188	188	173	157	146	135

12	110	114	114	108	101	92	79
13	120	48	43	37	35	34	35
14	130	1	1	1	3	3	8
15	140	2	2	1	1	2	4
16	150	1	2	2	0	1	4
17	160	1	2	1	1	4	5
18	170	0	0	0	0	2	3
19	180	3	3	3	3	3	3

		7	8	9	10	11	12
	G/C	60	70	80	90	100	110
1	0	2010	2010	2010	2010	2010	2010
2	10	2260	2166	2049	1930	1813	1730
3	20	2353	2259	2015	1786	1602	1455
4	30	2991	2582	2036	1700	1413	1155
5	40	4191	3149	2423	1957	1575	1119
6	50	3597	3404	3423	2509	1486	1051
7	60	6341	5175	3348	1844	1226	950
8	70	5735	5160	2353	1217	898	681
9	80	1020	1252	809	649	406	330
10	90	274	271	221	244	214	196
11	100	129	125	130	136	159	146
12	110	72	70	82	87	97	90
13	120	35	39	44	48	50	48
14	130	10	12	15	16	17	18
15	140	6	4	3	3	3	6
16	150	4	3	2	2	3	4
17	160	5	3	2	1	2	4
18	170	4	2	1	0	1	3
19	180	3	3	3	3	3	3

		13	14	15	16	17	18
	G/C	120	130	140	150	170	180
1	0	2010	2010	2010	2010	2010	2010
2	10	1650	1580	1518	1480	1449	1447
3	20	1372	1261	1147	1110	1162	1185
4	30	1033	991	934	950	1005	1026
5	40	857	802	821	901	1029	1035
6	50	817	702	693	756	919	934
7	60	684	541	520	569	659	652
8	70	516	387	329	352	399	386

9	80	299	268	238	234	237	231
10	90	190	181	167	157	113	101
11	100	141	125	112	99	63	46
12	110	82	68	55	45	10	0
13	120	43	36	26	15	4	3
14	130	18	14	11	7	4	3
15	140	9	10	8	5	1	0
16	150	7	8	6	4	1	1
17	160	7	8	5	2	1	1
18	170	6	5	3	1	0	0
19	180	3	3	3	3	3	3

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

5.3. ANÁLISIS DE SOBREPOSICIÓN VISUAL COMPARATIVO DE LUMINARIAS CON LA MISMA POTENCIA Y DE DIFERENTES TEGNOLOGÍAS.

Para realizar la comparación visual se seleccionó 2 tipos de luminarias de 150w con diferente tecnología.

Luminaria L1: es de la marca Roadway Series 115-A clase 2, genera una cantidad de lúmenes de 1300, representando una curva con una máxima intensidad luminosa de 7547cd, se forma la gráfica cuando C está en el rango de 62.5° a 242,5° Como se observa en la figura .130

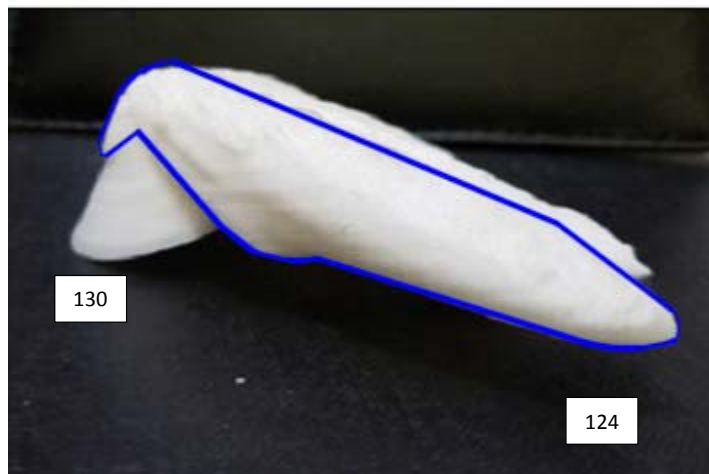


Figura 130. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva lateral de C- L1.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Luminaria L3: es de la marca Roadway Series 115-B clase 3, genera una cantidad de lúmenes 1600, representando una curva con una máxima intensidad luminosa de 9566 cd, se forma la gráfica cuando C está en el rango de 75° a 255°. Como se observa en la figura .131



Figura 131. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva lateral de C- L3.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

L1: El rango de Gama es de 65° cuando C vale $62,5^\circ$ a $242,5^\circ$, con un Gama menor a L3, tal como se visualiza en las siguientes figuras.

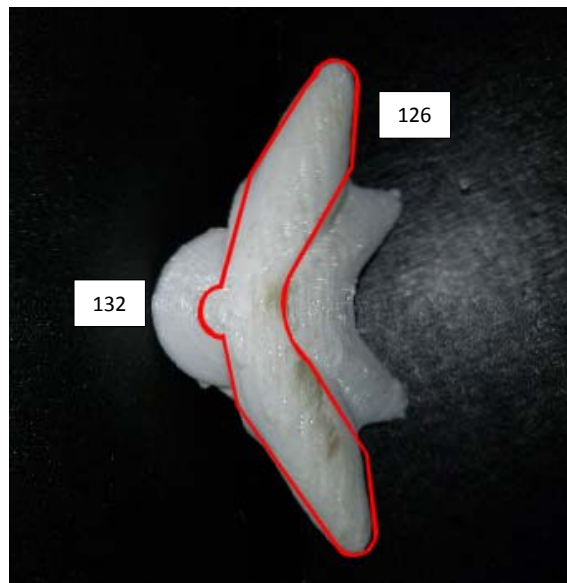


Figura 132. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva superior de Gama-L1.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

L3: El rango de Gama es de 72.5° cuando C vale 75° a 255° . Con un Gama mayor que L1 , tal como se visualiza en las siguientes figuras.

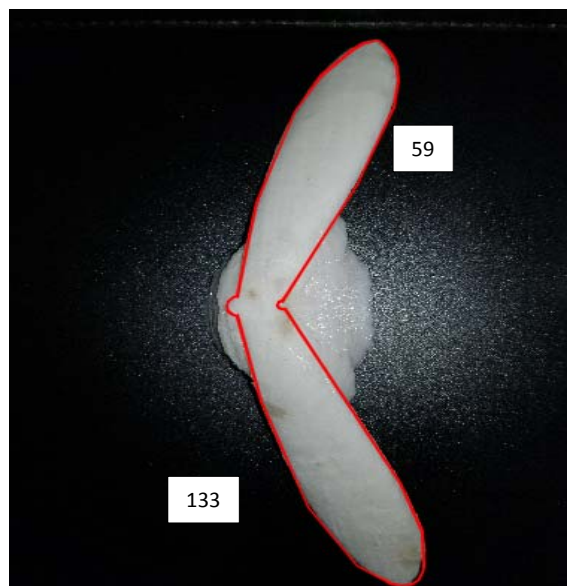


Figura 133. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva superior de Gama -L3.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

L1: Generando una cantidad de lúmenes de 1300, representando una curva con una máxima intensidad luminosa de 9566 cd, se forma la gráfica cuando C transversal está en el rango de 90° a 270°, visualizándose con las cotas. Como se observa en la figura .134.

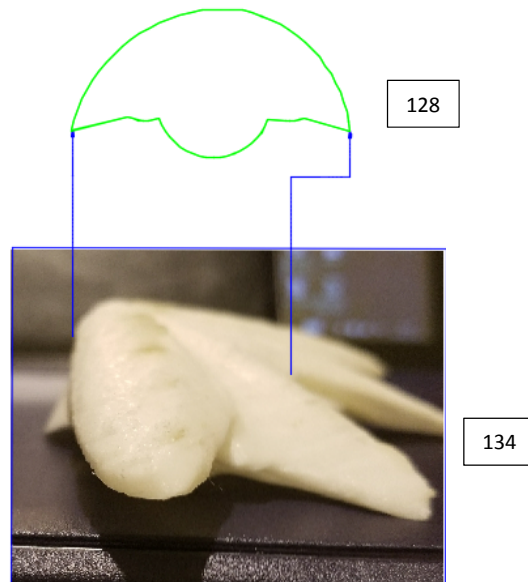


Figura 134. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva corte lateral de C- L3.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

L3: Generando una cantidad de lúmenes de 1600, representando una curva con una máxima intensidad luminosa de 7547cd, se forma la gráfica cuando C transversal está en el rango de 90° a 270°. Como se observa en la figura .135

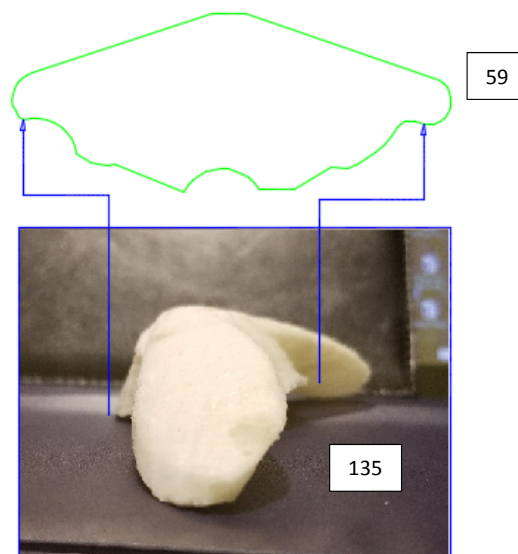


Figura 135. Curva de Intensidad luminosa, perspectiva corte lateral de C-L3.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Apreciando las diferencias entre L1 (130) y L3 (131) se determina con la comparación física de la impresión 3D, que L3 tiene mayor cuerpo lumínico. Siendo la luminaria L3 mucho mejor para vías de alumbrado público y la luminaria L1 con el rango menor de curva, se recomienda para parques, aceras, etc.

Para evidenciar gráficamente las diferencias de rendimiento lumínico entre L1 y L3, se realiza la superposición entre las dos curvas de intensidad luminosa, la luminaria L1 de color negro se sobrepuso sobre L3 color magenta, gráficos obtenidos en el software Cooper Photometric. Se observa que la luminaria L1 tiene 7547cd y L3 tiene 9566cd. Siendo L1 una curva más pequeña abarcando un rango menor de luminosidad, por lo expuesto anteriormente nuevamente se evidencia que es más eficiente la luminaria L3 por el área de mayor luminosidad, tal como se observa en la figura 136.

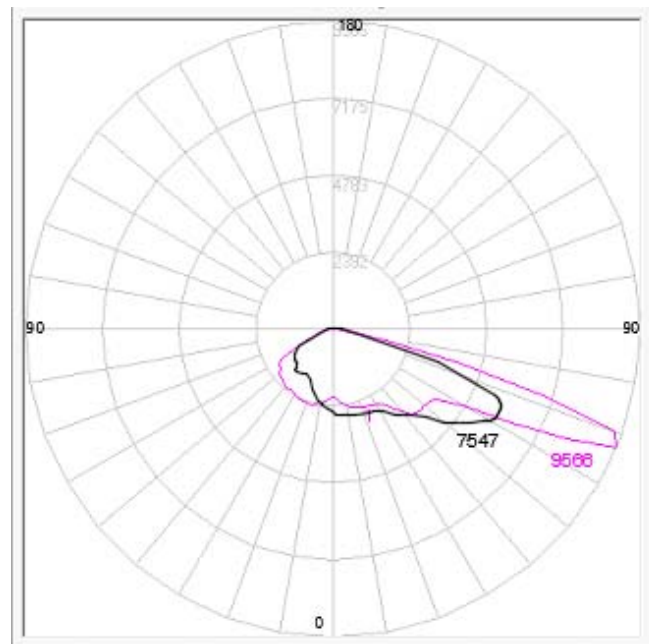


Figura 136. Comparación visual L1 vs L3.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

Realizado las comparaciones visuales, también se contrasta la curva de intensidad luminosa obtenida en la impresión física 3D de las luminarias L1 de 150W y L6 de 314W, demostrando que la luminaria L6 es el doble de potencia que la Luminaria L1 como se observa en la figura 137. Teniendo la misma escala 1:100 apreciando que es 5 veces más grande L6 que L1.

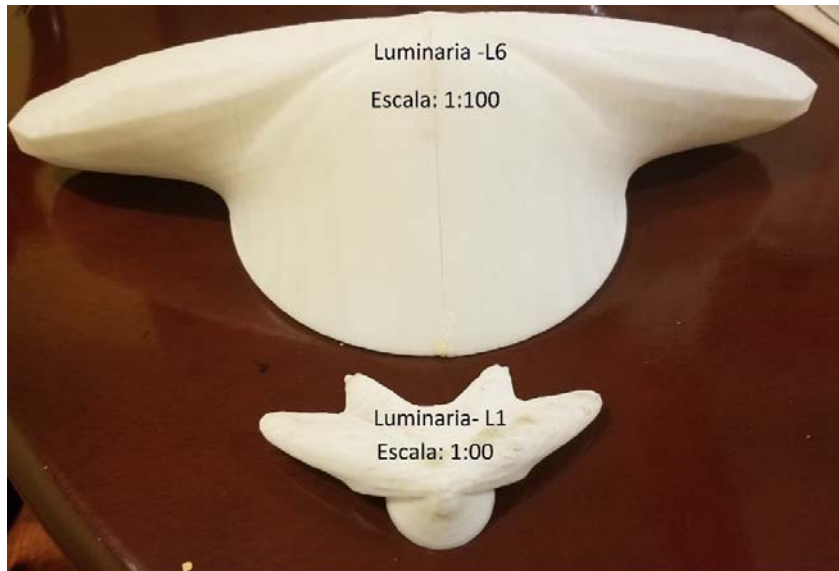


Figura 137. Comparación visual L1 vs L6.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES.

- Las luminarias utilizadas en este trabajo de investigación, son para alumbrado público vial.
- Se compararon las luminarias L1 de sodio 150W Roadway y la luminaria L3 de sodio de 150W Cutoff Style. Se pudo comprobar que la luminaria L3 cubre más área lumínica, con una intensidad luminosa de 9566 cd, por otro lado, la luminaria L1 cubre un área menor con una intensidad luminosa 7547cd.
- Por lo anterior, se identificó que existen luminarias que pese a que son de la misma potencia, tienen diferente distribución lumínica, aplicables para diferentes usos.
- Las magnitudes fotométricas más importantes para la selección de las luminarias son: la curva de intensidad luminosa, y la matriz de intensidad, porque al conocer las magnitudes, evitarán una iluminación deficiente derivando consumos innecesarios.
- Por lo expuesto anteriormente, las curvas fotométricas son importantes para la selección de la luminaria teniendo en cuenta el tipo de proyecto de iluminación.
- Los datos obtenidos en el software Cooper Photometric no son suficientes para imprimir directamente las figuras 3D. Para poder hacerlo hay que seguir toda la secuencia de pasos explicados en las secciones 4.1 a 4.3.
- En la obtención de las figuras se determinó que el software Cooper Photometric no entrega datos suficientes para graficar las figuras de intensidad luminosa en 3D, por lo que se obtuvieron más datos, realizando una interpolación lineal en Matlab.
- Para la obtención de las coordenadas rectangulares obtenidas en Matlab se debió exportar al software SolidWorks para la obtención de la figura 3D, obteniendo el cuerpo digital para su impresión física en 3D.
- Con la comparación visual de los modelos 3D de las luminarias L1 de 150W y L6 de 314W se pudo apreciar la diferencia de las curvas de intensidad luminosa, la misma también se evidenció que L6 tiene el doble de potencia, siendo 5 veces más grande visualmente, se aprecia en el gráfico 137.

6.2. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda realizar comparaciones visuales con pruebas lumínicas de luminarias de las mismas potencias y diferentes características, obteniendo los resultados se apreciará que luminaria presenta mayor cuerpo lumínico y eficiencia energética.
- Se recomienda contrastar los resultados del software Cooper Photometric con los datos del laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca, para verificar la exactitud y precisión de los datos, matrices y figuras obtenidos de las pruebas de las luminarias.
- Se recomienda imprimir figuras físicas tridimensionales 3D, de luminarias de diferentes tipos de usos, por ejemplo: para canchas deportivas, para vías públicas, etc. Obteniendo una variedad de modelos para uso didáctico, visualizando sus curvas fotométricas.
- Se recomienda construir modelos 3D con diferente escala, para facilidad de interpretación y como modelos didácticos de laboratorio.
- Se recomienda seguir los pasos detallados de las secciones 4.1 - 4.3 de este trabajo de investigación, debido a que se obtuvo mayor exactitud, las impresiones tridimensionales 3D en el proceso sin presentaron errores.
- De existir un nuevo trabajo de investigación similar, se recomienda investigar si hay algún método diferente para usar directamente los datos lumínicos y así evitar todo el proceso de transformación de la sección 4.1.
- Así mismo, se recomienda utilizar otro software de adquisición de datos como LabView para visualizar los resultados obtenidos de las luminarias de alumbrado público.
- Se recomienda imprimir los modelos tridimensionales 3D con diferente tipo de material plástico, para observar su acabado final y comparando sus resultados.

6.3. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Bibliografía

Alexander Arias-Cuellar, J. L.-C. (14 de 9 de 2006). *Google academico*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/2913/291323498004/>

American Electric Lighting. (27 de 03 de 2017). *American Electric Lighting*. Obtenido de <http://www.acuitybrandslighting.com/library/AEL/documents/SpecSheets/RW-115-A.pdf>

American Electric Lighting. (27 de 03 de 2017). *American Electric Lighting*. Obtenido de <http://www.acuitybrandslighting.com/library/AEL/documents/SpecSheets/RW-115-B.pdf>

American Electric Lighting. (27 de 03 de 2017). *American Electric Lighting*. Obtenido de <http://www.acuitybrandslighting.com/library/AEL/documents/SpecSheets/RW-125-A.pdf>

Ayudahispano. (11 de 4 de 2016). *Ayudahispano*. Obtenido de http://ayudahispano-3000.blogspot.com.es/2016/04/curso-de-iluminacion_1.html

Bailey, I. R. (1993). Size as a determinan of teading speech. New York: Journal of the Illuminating Engineering Scociety.

Barbero, A. J. (6 de 3 de 2003). *SlidePlayer*. Obtenido de <http://slideplayer.es/slide/107862/>

Barraza, J. y E. Colombo. (1997). Glare on discrimination of motion direction on roadways. Malaga: Lux Europa.

Barraza, y. J. (2001). The times course of the threshold of motion during rapid events of adaptation. Madrid: Aspects of Visions.

Blanca Giménez Vicente, C. C. (31 de 05 de 2011). *Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de València*. Obtenido de Riunet: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1>

Boscarol, M. (10 de 18 de 2007). *Imagen Digital* . Obtenido de http://www.gusgsm.com/emitancia_luminosa

Catton, E. (2014). Sobre conceptos, Magnitudes y unidades fotometricas: Luminarias. Cantuña: Tangible.

Chacon, S. (3 de 5 de 2016). *Fotografiaenfasis.blogspot.com*. Obtenido de <http://fotografiaenfasis.blogspot.com/2016/05/luminancia.html>

- Círculo Electricidad Chile . (22 de 8 de 2017). *Círculo Electricidad Chile*. Obtenido de <http://www.iluminet.com/curvas-fotometria-iluminacion/>
- Colmenar, S. A. (2015). *Instalaciones Electricas den baja tensión; Diseño, Calculo, Dirección, Seguridad y Montaje*. Barcelona: RA-MA.
- Comenar, S. A. (2012). *Electricidad*. Madrid: RA-MA.
- Comision Internacional de Iluminacion (CIE). (1996). *THE PHOTOMETRY AND GONIOMETRY OF LUMINAIRE*. Viena, Australia: Comité Español de Iluminacion, CEI, c/ Jorge Juan, 47, 28001 Madrid, España.
- CREARA. (30 de 12 de 2011). *AYUNTAMIENTO DE JEREZ*. Obtenido de <http://www.jerez.es/fileadmin/contratacion/POEM%20Jerez%202011/3%20Alumbrado%20Op%20FABlico/Inventario%20luminarias%20AP%20Jerez.pdf>
- Didio, L. (2006). *Información técnica sobre equipos para lamaparas de descargas*. Zaragoza: Especialidades Luminotecnicas.
- EATON Powering Business Worldwide. (12 de 01 de 2017). Obtenido de http://www.cooperindustries.com/content/public/en/lighting/resources/photometric_tool_box.html
- Energreencol. (2012). *Alumbrado Público por LEDS*. Moncao: Energreencol.
- García, F. J. (2016). *Magnitudes y Unidades de Medida*. México: ORIOL .
- Garduño, J. (1 de 10 de 2010). *Comision Nacional de Energia Electrica de Guatemala* . Obtenido de [http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/002%20M%C3%B3dulo%20II%20\(AEE%20Sistemas%20de%20Iluminaci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/002%20M%C3%B3dulo%20II%20(AEE%20Sistemas%20de%20Iluminaci%C3%B3n).pdf)
- Gil, M. (07 de Enero de 2011). *Universidad Politecnica de Cataluña*. Obtenido de <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminación-luminarias-componentes.php>
- Gutierrez, M. (2016). *Curso de Higiene industrial, contaminantes, quimicos, ruido y vibraciones. ambientes termicos, iluminacion*. Madrid.
- Hernandez, J. L. (21 de Abril de 2004). *Tecnologia Electrica*. Obtenido de <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>
- Ing. Nicolas Rivero, I. A. (11 de 11 de 2010). *Universidad de la Republica. Instituto de Ingeniería Eléctrica* . Obtenido de <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2010/RCPS10/RCPS10.pdf>

- Issolio, L. H. Bodmann y H. Fleck. (2008). El Efecto del deslunbramiento transitorio sobre la relación claridad-luminancia en el curso del tiempo. Barcelona: Anales AFA.
- Javier Garcia Fernandez, O. B. (2003). *Diseño de un laboratorio de iluminación*. Obtenido de <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/fotometria/graficos.html>
- LINSUP GROUP. (09 de 12 de 2016). Obtenido de <http://es.lisungroup.com/product-id-386.html>
- Luis Leonardo Chabla Auqui, D. F. (1 de Abril de 2015). *ucuenca.edu.ec*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21652/1/tesis.pdf>
- luminosa, E. (23 de 10 de 2017). *Significados.com*. Obtenido de Significados.com: <https://www.significados.com/energia-luminosa/>
- Mako, B. K. (2004). The Drive for energy efficient lighting. Optics and Photonics News. *Optics and Photonics News. Vol 15, 20-25.*
- MÉNDEZ, D. A. (2016). *EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LUMINARIAS DE ALUMBRADO PÚBLICO DE UN SEGMENTO DEL ALIMENTADOR 0423 DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR, PARA EL CASO DE POLVO Y LLUVIA. CASO DE ESTUDIO: SECTOR 24 COMPRENDIDO ENTR.* Cuenca.
- Menendez, A. (2012). Fundamentos de Tecnología Electronica. Madrid: TEBAR.
- PEER. (2011). Manual Técnico de Iluminación . San José. Costa Rica: BUN-CA.
- Pichel, O. I. (2017). Campos y Electronica Básica. Barcelona: Centro de Estudios Financieros.
- Praha Lighting. (2016). *Praha Lighting*. Obtenido de <http://www.prahalighting.com/fotometrias.html>
- Ruiz Et Al. (2015). Manual de Iluminación . En S. d. Transportes. México D.F.: Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
- Salomone, J. E. (30 de 05 de 2003). *Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Cordoba*. Obtenido de http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/InstalacionesIndustriales/Art_Interes/ConBasLum.pdf
- Schröder Group. (19 de 02 de 2015). *Schrede*. Obtenido de http://www.schreder.com/globalassets/ess-es/productos/documents/schr6350-cat_espagnol_2015_br.compressed.pdf

Simpson, R. (2004). Control de la iluminación: Tecnología y Aplicaciones. Madrid: Escuela de Cine y Video de Andoain.

Tecnologica, A. (23 de 10 de 2017). *Luminotecnia*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/electricidad/luminotecnia.html>

Valentin, F. E. (2004). El hogar digital: Necesidades que atiende, servicios que presta, tecnología que utiliza. Madrid: Creaciones COPYRIGHT.

Vives, L. (2015). Tecnología 5. Electricidad ESO Tecnología Molular. Barcelona: EDELVIVES.

ANEXO A.



Figura 138. Impresión 3D de la luminaria 150W.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

ANEXO B.



Figura 139. Impresión 3D de la luminaria 250W.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

ANEXO C.



Figura 140. Impresión 3D de la luminaria 150W.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

ANEXO D.



Figura 141. Impresión 3D de la luminaria 250W.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

ANEXO E.



Figura 142. Impresión 3D de la luminaria 250W.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).

ANEXO F.



Figura 143. Impresión 3D de la luminaria 314W.

Fuente: Erick Avilés. (Trabajo de Investigación).