

RESUMEN

La Empresa Eléctrica Regional Centrosur, al ser la Empresa prestadora del servicio de alumbrado público, ha visto la necesidad de determinar el nivel de iluminación en el área urbana de la ciudad de Cuenca. Es por esta razón que la presente tesis tiene como objetivo la creación de un Mapa Lumínico, que ayudara a determinar el nivel de iluminación de la ciudad de Cuenca.

La Creación del Mapa Lumínico tiene su fundamento en el manejo adecuado de la matriz de intensidades de una luminaria, construcción lógica de base de datos, uso de herramientas computacionales, desarrollo de algoritmos, manejo de instrumentos luminotécnicos y un sistema cartográfico.

El primer capítulo engloba los antecedentes, alcance, justificación, y objetivos en el cual se indican las razones del desarrollo de este tema.

En el segundo y tercer capítulo se indican respectivamente, los conceptos básicos de luminotecnia y las consideraciones necesarias que deben ser tomadas en cuenta, en el diseño de Alumbrado Público.

En el cuarto capítulo se centra el desarrollo de este proyecto, ya que en esta se indica en detalle los pasos que se siguen, los instrumentos y programas computacionales utilizados (Luxómetro, Distanciometro, Ulysse V2.2, DocWin v3.4 de la Schröder GIS) y la construcción del Mapa lumínico.

En el quinto y sexto capítulo se indica la actualización en forma manual y en forma automática respectivamente. Y finalmente se indican las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

PALABRAS CLAVES

Mapa lumínico

Iluminancia

Matriz de intensidades

ArcMap

Alumbrado Público

SIG

Sistemas de Iluminación

Método de 9 Puntos

Luxómetro

Luminaria

Lámpara

CONTENIDO

RESUMEN	1
CONTENIDO	3
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10

CAPÍTULO 1

NOCIONES GENERALES Y ALCANCE DE LA TESIS

1.1 ANTECEDENTES	16
1.2 ALCANCE	17
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS GENERALES DE LUMINOTECNIA

2.1 INTRODUCCIÓN	19
2.2 PERCEPCIÓN VISUAL HUMANA	19
2.2.1 DEFINICIÓN	19
2.2.2 FISIOLÓGÍA DEL OJO	20
2.2.3 EFICIENCIA VISUAL	22
2.2.4 ESTRÉS VISUAL	22
2.3 FUNCIONES VISUALES	22
2.3.1 ACOMODACIÓN	22
2.3.2 ADAPTACIÓN	23
2.3.3 CAMPO VISUAL	24
2.3.4 AGUDEZA VISUAL	25
2.3.5 CONTRASTE	26
2.3.6 SENSIBILIDAD TEMPORAL	26
2.3.7 VISIÓN ESTEREOSCÓPICA	26
2.3.8 VISIÓN DE COLOR	27
2.3.9 EL COLOR COMO FENÓMENO FÍSICO	27
2.4 CONCEPTOS LUMINOTÉCNICOS	27

2.4.1	LUZ Y FUENTES DE LUZ	28
2.4.2	REFLEXIÓN	28
2.4.3	REFRACCIÓN DE LA LUZ	29
2.4.4	LUMINOTECNIA	29
2.4.5	LUMINISCENCIA	29
2.4.6	COLOR DE LUZ Y TEMPERATURA DE COLOR	29
2.4.7	ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (IRC)	30
2.4.8	FLUJO LUMINOSO	30
2.4.9	EFICACIA LUMINOSA	31
2.4.10	INTENSIDAD LUMINOSA	31
2.4.11	ILUMINANCIA	32
2.4.12	LUMINANCIA	32
2.4.13	DESLUMBRAMIENTO	33
2.4.14	UNIFORMIDAD	33
2.4.15	FUENTES DE LUZ	33
2.4.16	EQUIPOS AUXILIARES	34
2.4.17	CURVAS FOTOMÉTRICAS	34
2.4.18	FACTOR DE MANTENIMIENTO.	34

CAPÍTULO 3

CONSIDERACIONES PARA LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

3.1	INTRODUCCIÓN	35
3.2	REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO	35
3.2.1	REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN	35
3.2.1.1	RECONOCIMIENTO DEL SITIO Y OBJETOS A ILUMINAR	36
3.2.1.2	SELECCIÓN DE LUMINARIAS Y FUENTES LUMINOSAS	36
3.2.1.3	DOCUMENTOS FOTOMÉTRICOS	37
3.2.2	REQUISITOS ESPECÍFICOS DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN	39
3.3	CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.	40
3.3.1	CLASES DE ILUMINACIÓN PARA VÍAS DE TRANSITO VEHICULAR	40
3.3.2	CLASES DE ILUMINACIÓN SEGÚN EL USO Y EL TIPO DE VÍA	42
3.4	REQUISITO DE ILUMINACIÓN MANTENIDOS PARA VÍAS DE TRANSITO VEHICULAR	42
3.5	NIVELES SUGERIDOS DE LUMINANCIA E ILUMINANCIA EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.	43
3.6	LOCALIZACIÓN DE LAS LUMINARIAS	44

3.6.1	CONFIGURACIONES BÁSICAS DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE ILUMINACIÓN.....	45
3.6.2	CASOS ESPECIALES DE DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS	48
3.7	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	51
3.7.1	LUMINARIA.....	51
3.7.1.1	RENDIMIENTO DE LAS LUMINARIAS	52
3.7.1.2	PARTES DE UNA LUMINARIA	52
3.7.2	TIPOS DE LÁMPARAS MÁS UTILIZADAS PARA LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	55
3.7.2.1	LÁMPARAS INCANDESCENTES.....	55
3.7.2.2	LÁMPARAS DE DESCARGA.....	56
3.7.2.3	CARACTERÍSTICAS DE DURACIÓN DE UNA LÁMPARA	62
3.8	COEXISTENCIA DE LAS LUMINARIAS CON LOS ÁRBOLES.....	63
3.9	CÁLCULOS DE ILUMINANCIA PARA ALUMBRADO PÚBLICO	64
3.9.1	ILUMINANCIA EN UN PUNTO	65
3.9.2	MÉTODOS DE CÁLCULO DE ILUMINANCIA PROMEDIO DE UNA VÍA.....	67
3.9.2.1	MÉTODO EUROPEO DE LOS 9 PUNTOS	67
3.9.2.2	MÉTODO DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN	69
3.10	CÁLCULO DE LUMINANCIA PARA ALUMBRADO PÚBLICO	73
3.10.1	COEFICIENTE DE LUMINANCIA.	73
3.10.1.1	COEFICIENTE REDUCIDO DE LUMINANCIA r	75
3.10.2	CLASIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES DE LAS CALZADAS (ESTADO SECO).....	76
3.10.2.1	TABLAS R	78
3.11	ESQUEMA DE MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO	83
3.12	NIVELES DE ILUMINACIÓN EN ÁREAS CRÍTICAS.....	84

CAPITULO 4

MAPA LUMÍNICO DEL ÁREA URBANA DELA CIUDAD DE CUENCA

4.1	INTRODUCCIÓN	86
4.2	SITUACIÓN ACTUAL	86
4.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	87
4.3.1	HIPÓTESIS	87
4.3.2	OBJETIVOS	87
4.4	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	87
4.5	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE.....	89
4.6	PROCESAMIENTO DE DATOS	89
4.6.1	MICROSOFT EXCEL 2007.....	90

4.6.1.1	TABLA DE ALTURAS PROMEDIOS DE MONTAJE DE LUMINARIAS	90
4.6.1.2	TABLA DE MATRICES DE INTENSIDAD E ILUMINANCIA.	95
4.7	CREACIÓN DEL ALGORITMO EN MATLAB 2008	96
4.7.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	96
4.7.2	ALGORITMO.....	97
4.8	EXPORTACIÓN DE LOS DATOS DEL EXCEL AL ACCESS.....	101
4.9	INCORPORACIÓN DE DATOS ESPACIALES DEL ACCESS AL ARCMAP DEL SIG.	102
4.10	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG)	102
4.10.1	INCORPORACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS ESPACIALES (ACCESS 2003)	103
4.10.2	HERRAMIENTAS DEL ARCMAP DEL SIG (ADDDY DATA...)	104
4.10.3	HERRAMIENTAS DEL ARCMAP DEL SIG (SPATIAL ANALYST TOOLS-INTERPOLATION- NATURAL NEIGHBOR).....	109
4.10.4	CREACIÓN DE UNA NUEVA TABLA EN LA GEODATABASE PERSONAL DE LA CENTROSUR. (UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA EDITOR).	113
4.10.4.1	CORTAR UN POLÍGONO.....	114
4.11	MAPA LUMÍNICO INICIAL.....	115
4.12	MEDICIÓN DE CAMPO Y COMPROBACIÓN.....	116
4.12.1	CÁLCULO DE LA MUESTRA.....	117
4.12.2	METODOLOGÍA DE MEDICIÓN PARA LA ILUMINANCIA	119
4.12.2.1	SELECCIÓN DEL VANO PARA LA MEDICIÓN	119
4.12.2.2	PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN.....	120
4.12.3	MEDICIÓN DE LA ALTURA Y LA INTERDISTANCIA.....	124
4.12.3.1	EQUIPO UTILIZADO	124
4.8	CONTRASTACIÓN DE DATOS.....	126
4.9	DETERMINACIÓN DE ERRORES.	128
4.9.1	CÁLCULO DEL ERROR.....	128
4.9.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL ERROR.	129

CAPITULO 5

ACTUALIZACIÓN DE LA GEODATABASE PERSONAL

5.1	INTRODUCCIÓN	131
5.2	PROCEDIMIENTO DE ACTUALIZACIÓN	131
5.2.1	GEODATABASE PERSONAL DE LA CENTROSUR	131
5.2.2	INCORPORACIÓN DE LA GEODATABASE AL ARCMAP DEL SIG	132
5.2.3	DIVISIÓN EN ZONAS Y SUBZONAS EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA	132

5.2.4	SELECCIÓN Y EXPORTACIÓN DE DATOS EN EL ARCMAP	133
5.2.5	CREACIÓN DE LA TABLA MATRIZ DE INTENSIDAD.....	134
5.2.6	CREACIÓN DE LA TABLA PARA DETERMINAR LA ILUMINANCIA.....	135
5.2.7	CREACIÓN DE LA HOJA DE CÁLCULO FINAL.....	139
5.2.8	MANEJO DEL ALGORITMO EN MATLAB	141
5.2.9	DATOS FINALES DE MATLAB INCORPORADOS EN LA GEODATABASE PERSONAL	142
5.2.10	INCORPORACIÓN DE LOS LAYERS DE LA GEODATABASE PERSONAL AL ARCMAP DEL SIG	143
5.3	PROYECCIÓN DE LOS DATOS DE LA GEODATABASE PERSONAL.....	144
5.3.1	METODOLOGÍA PARA REALIZAR LA PROYECCIÓN.....	145
5.4	ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN.	146

CAPÍTULO 6

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MAPA LUMÍNICO

6.1	INTRODUCCIÓN	147
6.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	147
6.3	EXPLICACIÓN DEL ALGORITMO	147
6.4	DIAGRAMA DE FLUJO	149
6.5	INTERFAZ GRÁFICA DEL USUARIO PARA CALCULAR LA ILUMINANCIA	150
6.5.1	LUMINARIAS-EERCS.....	150
6.5.2	SIMULACIÓN.....	153

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA	158
ANEXO 1: CERTIFICADO DE AUTORIZACIÓN DE LA SCHRÉDER.....	159
ANEXO 2: ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE	160
ANEXO 3: (MEDICIONES REALIZADAS Y CÁLCULO DE ERROR)	164
ANEXO 4: (FORMATO DE REGISTRO PARA MEDICIONES Y DATOS CALCULADOS DE ILUMINANCIA).....	170

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig.2.1 Constitución del ojo humano</i>	<i>20</i>
<i>Fig.2.2 Curva de foto-sensibilidad relativa del ojo respecto al tiempo de adaptación.</i>	<i>24</i>
<i>Fig.2.3 Campo visual del ojo humano.....</i>	<i>24</i>
<i>Fig.2.4 Espectro Electromagnético</i>	<i>28</i>
<i>Fig.2.5 Eficacia Luminosa</i>	<i>31</i>
<i>Fig.3.1 Curva Isolux.....</i>	<i>37</i>
<i>Fig.3.2 Disposición Unilateral</i>	<i>45</i>
<i>Fig.3.3 Disposición Central doble (para $1.5m \geq b \leq 4m$).....</i>	<i>46</i>
<i>Fig.3.4 Disposición Bilateral alternada</i>	<i>46</i>
<i>Fig.3.5 Bilateral opuesta sin separador</i>	<i>47</i>
<i>Fig.3.6 Disposición Bilateral opuesta con separador (para cualquier valor de b)</i>	<i>47</i>
<i>Fig.3.7 Tipos de Disposición de Luminarias</i>	<i>48</i>
<i>Fig.3.8 Disposición de luminarias en trayectos curvos</i>	<i>49</i>
<i>Fig.3.9 Disposición de luminarias en calzada con pendientes en general</i>	<i>50</i>
<i>Fig.3.10 Estructura de iluminación</i>	<i>51</i>
<i>Fig.3.11 Componentes de una Luminaria</i>	<i>52</i>
<i>Fig.3.12 Lámpara incandescente</i>	<i>55</i>
<i>Fig.3.13 Lámpara de Descarga</i>	<i>56</i>
<i>Fig.3.14 Lámpara de descarga de vapor de mercurio</i>	<i>57</i>
<i>Fig.3.15 Lámpara de descarga de vapor de sodio a baja presión</i>	<i>59</i>
<i>Fig.3.16 Lámpara de descarga de vapor de sodio a alta presión</i>	<i>61</i>
<i>Fig.3.17 Separación mínima entre los árboles y los postes con las luminarias de alumbrado público, para evitar sombras sobre la vía.....</i>	<i>64</i>
<i>Fig.3.18 Parámetros para calcular la iluminancia en el punto P.</i>	<i>65</i>
<i>Fig.3.19 Cálculo de la iluminancia promedio método europeo de los 9 puntos</i>	<i>67</i>
<i>Fig.3.20 Selección de los 9 puntos según disposición de las luminarias</i>	<i>69</i>
<i>Fig.3.21 Determinación del Coeficiente de Utilización Fig.3.22 Curvas de coeficiente de Utilización</i>	<i>70</i>
<i>Fig.3.23 Localización unilateral de luminaria.</i>	<i>71</i>
<i>Fig.3.24 Luminaria sobre la calzada</i>	<i>71</i>
<i>Fig.3.25 Luminaria sobre la acera</i>	<i>71</i>
<i>Fig.3.26 Luminaria ubicada tras la calzada y la acera.....</i>	<i>72</i>
<i>Fig.3.27 Localización bilateral alternada (zig-zag ó tres bolillos).....</i>	<i>72</i>
<i>Fig.3.28 Localización central doble.....</i>	<i>73</i>
<i>Fig.3.29 Parámetros a considerar en el cálculo de luminancia</i>	<i>74</i>
<i>Fig.3.30 Esquema de mantenimiento de una instalación de alumbrado público</i>	<i>84</i>
<i>Fig.4.1 Metodología de Trabajo</i>	<i>88</i>

<i>Fig.4.2 Diagrama de Flujo.....</i>	<i>100</i>
<i>Fig.4.3 Pasos para incorporar Datos</i>	<i>105</i>
<i>Fig.4.4 Matriz de Intensidad en Excel</i>	<i>106</i>
<i>Fig.4.5 Selección de la luminaria y exportación de atributos</i>	<i>107</i>
<i>Fig.4.6 Incorporación de datos</i>	<i>108</i>
<i>Fig.4.7 Datos exportados.....</i>	<i>108</i>
<i>Fig.4.8 Puntos de la Matriz de Intensidad</i>	<i>109</i>
<i>Fig.4.9 Resultado de la Interpolación</i>	<i>110</i>
<i>Fig.4.10 Curva Isolux modificada.....</i>	<i>110</i>
<i>Fig.4.11 Curva Isolux del fabricante</i>	<i>111</i>
<i>Fig.4.12 Curva Isolux creada en el ArcMap del SIG.....</i>	<i>111</i>
<i>Fig.4.13 Capas creadas sobre las matrices de intensidad e incorporadas desde la Geodatabase personal de la Centrosur al ArcMap.....</i>	<i>112</i>
<i>Fig.4.14 Configuración para la Interpolación</i>	<i>112</i>
<i>Fig.4.15 Resultado de Interpolación</i>	<i>113</i>
<i>Fig.4.16 Polígono en proceso de división</i>	<i>114</i>
<i>Fig.4.17 Polígono dividido en dos zonas.</i>	<i>114</i>
<i>Fig.4.18 Proceso de selección de luminarias por zonas.</i>	<i>115</i>
<i>Fig.4.19 Comparación de resultados con y sin Matlab.....</i>	<i>116</i>
<i>Fig.4.21 Curva de la distribución normal.....</i>	<i>118</i>
<i>Fig.4.22 Malla de medición (método de 9 puntos).....</i>	<i>122</i>
<i>Fig.4.23 Luxómetro.....</i>	<i>122</i>
<i>Fig.4.24 Distanciómetro</i>	<i>125</i>
<i>Fig.4.28 Mapa Lumínico resultante</i>	<i>128</i>
<i>Fig.5.1Curvas de Depreciación.....</i>	<i>145</i>
<i>Fig.6.1 Portada</i>	<i>150</i>
<i>Fig.6.2 Ventana que indica los datos de entrada y salida.</i>	<i>152</i>
<i>Fig.6.3 Proceso de ingreso y simulación con luminarias ficticias.....</i>	<i>154</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Distribución espectral de colores</i>	27
<i>Tabla 2.2 Factor de Reflexión</i>	29
<i>Tabla 2.3 Valores de Temperatura de Color</i>	30
<i>Tabla 2.4 Valores de Temperatura de Color</i>	30
<i>Tabla 2.5 Valores de Iluminancia</i>	32
<i>Tabla 3.1 Criterio para Identificar los tipos de Luminarias</i>	36
<i>Tabla 3.2 Clases de Iluminación para vías de tránsito vehicular</i>	40
<i>Tabla 3.3 Variación en las Clases de Iluminación por tipo de vía, complejidad de circulación y control de tráfico</i>	41
<i>Tabla 3.4 Requisitos fotométricos mantenidos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada</i>	43
<i>Tabla 3.5 Requisitos mínimos de iluminación para vías con veredas adyacentes</i>	43
<i>Tabla 3.6 Fotometría mínima en áreas críticas distintas a vías de tránsito vehicular</i>	44
<i>Tabla 3.7 Recomendaciones para disposición de luminarias [5]</i>	45
<i>Tabla 3.8 Vida útil aproximada de cada tipo de lámpara. [4]</i>	63
<i>Tabla 3.9 Clasificación de superficies según el factor</i>	77
<i>Tabla 3.10 Clasificación de superficies según el factor</i>	77
<i>Tabla 3.11 Tabla r para superficie estándar R1</i>	79
<i>Tabla 3.12 Tabla r para superficie estándar R2</i>	80
<i>Tabla 3.13 Tabla r para superficie estándar R3</i>	81
<i>Tabla 3.14 Tabla r para superficie estándar R4</i>	82
<i>Tabla 3.15 Valores de iluminancia para áreas críticas</i>	84
<i>Tabla 3.16 Clases de iluminación en áreas críticas de vías vehiculares</i>	85
<i>Tabla 4.1 Luminarias Excluidas</i>	90
<i>Tabla 4.2 Tipos de Luminarias consideradas para el proyecto</i>	91
<i>Tabla 4.3 Tipos de Estructuras de la Centrosur</i>	92
<i>Tabla 4.4 Altura Promedio de las Luminarias en estructuras con transformador</i>	93
<i>Tabla 4.5 Altura Promedio de las Luminarias</i>	94
<i>Tabla 4.6 Estructuras consideradas para el Proyecto</i>	94
<i>Tabla 4.7 Errores Determinados</i>	130
<i>Tabla 4.8 Error debido a la altura, interdistancia e instrumento</i>	130
<i>Tabla 7.1 Iluminancia promedio para cada zona</i>	156

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ELÉCTRICA**

“MAPA LUMÍNICO DEL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA”

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTORES:

William Fernando Pañi Uguña
Milton Vicente Lojano Uguña

DIRECTOR:

Ing. Modesto Salgado Rodríguez

TUTOR:

Ing. Santiago Pulla

**Cuenca – Ecuador
2011**

Las ideas expresadas en la presente tesis,
son responsabilidad de los autores.

(f) _____

William Fernando Pañi U.

(f) _____

Milton Vicente Lojano U.

Certifico que bajo mi dirección la
Tesis fue realizada por los señores.

(f) _____

Ing. Modesto Salgado Rodríguez

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico mi Tesis con todo amor y cariño a mis padres, por hacer del niño que vieron nacer un día un hombre.

A cada uno de mis hermanos por su aliento incondicional, pero de manera especial a Wilson y a Melba por regalarme la oportunidad de sentir ese calorcito de hogar

Y sobre todo dedico esta tesis a DIOS por regalarme una mujer especial, que me inspira y me ayuda a caminar, que es para mi vida un combustible natural, Mary.

Milton Lojano

La presente tesis va dedicada a toda mi familia en especial a mis padres por haberme brindado su apoyo incondicional durante toda mi formación académica y haber hecho de este ser humano una persona de bien.

Dedico también a mis hermanos y a todos mis amigos quienes me brindaron todo su apoyo y su amistad.

William Pañi

AGRADECIMIENTO

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniendo paciencia, dando ánimo, acompañando en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad, por lo tanto es grato mencionar y agradecer con total sinceridad y afecto:

Al Ing. Modesto Salgado e Ing. Santiago Pulla, Director y Tutor de la tesis respectivamente, quienes con voluntad y entrega contribuyeron en el desarrollo del Tema.

A la Ing. Gabriela Cuesta, que con sus conocimientos e ideas aportó en la culminación del Trabajo.

A la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A, al Departamento de Supervisión y Control específicamente al Área de Alumbrado Público, por habernos abierto las puertas, facilitándonos la información y los equipos necesarios para el desarrollo de la tesis.

A la Empresa Schröder de Quito que a través del Ing. Diego Vergara, nos facilitó información importante, referente a las matrices de intensidad; información en la cual se fundamenta la tesis.

A la Universidad de Cuenca la cual nos ha forjado como hombres profesionales, para servir y ayudar a la Comunidad.

CAPÍTULO 1

NOCIONES GENERALES Y ALCANCE DE LA TESIS

1.1 ANTECEDENTES

Siendo la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A. (Centrosur) la Empresa prestadora del servicio de alumbrado público ha visto la necesidad de asumir políticas de mejoras en el alumbrado, razón por la que la Centrosur, en su afán de brindar una mejor calidad de iluminación en las zonas urbanas de la ciudad de Cuenca; ha venido interviniendo desde el año 2002, en base a un programa de mantenimiento desarrollado por parte del Departamento de Supervisión y Control encargado del Área de Alumbrado Público, para proporcionar la iluminación necesaria y obtener la máxima seguridad del tráfico, tanto carrosable como peatonal.

La Empresa ha corregido los niveles de iluminación, realizado reubicación de luminarias y cambios de luminarias, brindando una mejor distribución del flujo luminoso.

Debido a que la Centrosur ha mejorado el sistema de iluminación del alumbrado público y dado que se requiere evaluar el sistema, se ha visto la necesidad de realizar la medición de la iluminancia en la ciudad y de realizar un mapa de la ciudad en el cual se indicara las zonas claras y oscuras, según la iluminancia calculada y comprobada mediante mediciones de campo; dando de esta manera una herramienta a la Centrosur para conocer los niveles de iluminación de la ciudad de manera gráfica.

Finalmente se realizara una proyección futura del mapa lumínico para conocer los niveles de iluminación que se tienen luego de varios años ya que estos varían con el tiempo debido al envejecimiento, depreciación del flujo luminoso y la contaminación depositada sobre los componentes, y de acuerdo a esta información se realiza las recomendaciones sobre las medidas a tomar para mantener los niveles recomendados.

1.2 ALCANCE

El estudio se realizara para el área urbana de la ciudad de Cuenca, la misma que de acuerdo al Área de Alumbrado Público se halla dividido en 26 zonas geográficas por temas de mantenimiento e inversión.

Por lo tanto, para alcanzar el objetivo planteado se requiere la creación de base de datos, construcción de curvas Isolux, implementación del Mapa Lumínico y la comprobación de los niveles de iluminación. Además se realizara mediciones hechas en trabajo de campo las mismas que serán necesarias para comprobar con los resultados obtenidos de la implementación y para determinar el error que se presente. Cabe indicar que el desarrollo de la base de datos es en función de las matrices de intensidades, de las características de las luminarias, alturas e interdistancias y otras consideraciones de diseño de los sistemas de iluminación.

De igual manera las mediciones serán realizadas considerando ciertos parámetros previos, para posteriormente con esta información construir un mapa lumínico en el ArcMap del SIG, en la que se considera la base de datos construidas y el ajuste respectivo mediante un algoritmo desarrollado en Matlab que combina las curvas Isolux, en el mapa lumínico se representará los puntos con mayor y menor iluminación de las calles, avenidas, parques, plazoletas, canchas y áreas verdes de la ciudad.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Ya que no se conoce el nivel de iluminación de la ciudad de Cuenca, debido a que el área de estudio resulta demasiado extenso, en el caso de que se quisiera obtener tal magnitud solamente con mediciones de campo, razón por la que en la presente tesis se tratará de determinar el nivel lumínico, a partir de base de datos creada e incorporada en el ArcMap del SIG; con la cual se pretende presentar una propuesta de un plano lumínico que sirva como referencia para adoptar medidas tendientes a corregir los niveles de iluminación en áreas que claramente se puedan observar en el mapa.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Implementar un mapa del área urbana de la ciudad de Cuenca en donde se observe los niveles luminosos de las diferentes calles, avenidas parques, plazoletas, canchas y áreas verdes de la ciudad.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el tipo de luminarias instaladas.
- Recopilación de información de curvas Isolux.
- Elaborar base de datos en base a las matrices de intensidades.
- Realizar mediciones.
- Implementar el Mapa Lumínico.
- Analizar los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS GENERALES DE LUMINOTECNIA

2.1 INTRODUCCIÓN

Es menester conocer los conceptos básicos de luminotecnia, para entender los términos y unidades con las que se va a trabajar, durante el desarrollo del tema.

2.2 PERCEPCIÓN VISUAL HUMANA

2.2.1 DEFINICIÓN

La percepción visual es la interpretación o discriminación de los estímulos externos visuales relacionados con el conocimiento previo y el estado emocional del individuo. Además es un proceso activo mediante el cual el cerebro transforma la información lumínica que capta el ojo en una recreación de la realidad externa o copia de ella, basada en programas genéticamente determinados y que adquiere una tonalidad emocional única.

Por lo que se puede definir a la luz como “la energía radiante que es capaz de excitar la retina y producir como consecuencia una sensación visual, originando el proceso de percepción visual”.

Esta percepción y las sensaciones de luz y calor, son experimentadas y captadas mediante el “El ojo”. Para que se realice el proceso de la iluminación, como acción y efecto de iluminar y ver, se requieren tres agentes:

1. La fuente productora de luz o radiación luminosa.
2. Un objeto a iluminar que necesitamos que sea visible.
3. El ojo, que recibe la energía luminosa y la transforma en imágenes que son enviadas al cerebro para su interpretación.

El estudio y descripción de los componentes del ojo, así como el proceso que se realiza desde que la luz le llega y pasa por las vías y centros visuales hasta que es interpretada por el cerebro, nos llevaría al campo de la neurofisiología.

Aquí describiremos y expondremos algunos comportamientos y conceptos del sentido de la vista, cuyo conocimiento es indispensable y contribuye a un mejor diseño de los sistemas de iluminación. [1]

2.2.2 FISIOLÓGÍA DEL OJO

En la Fig. 1 se representa un corte longitudinal esquemático del ojo humano, en el que se puede apreciar su constitución anatómica.

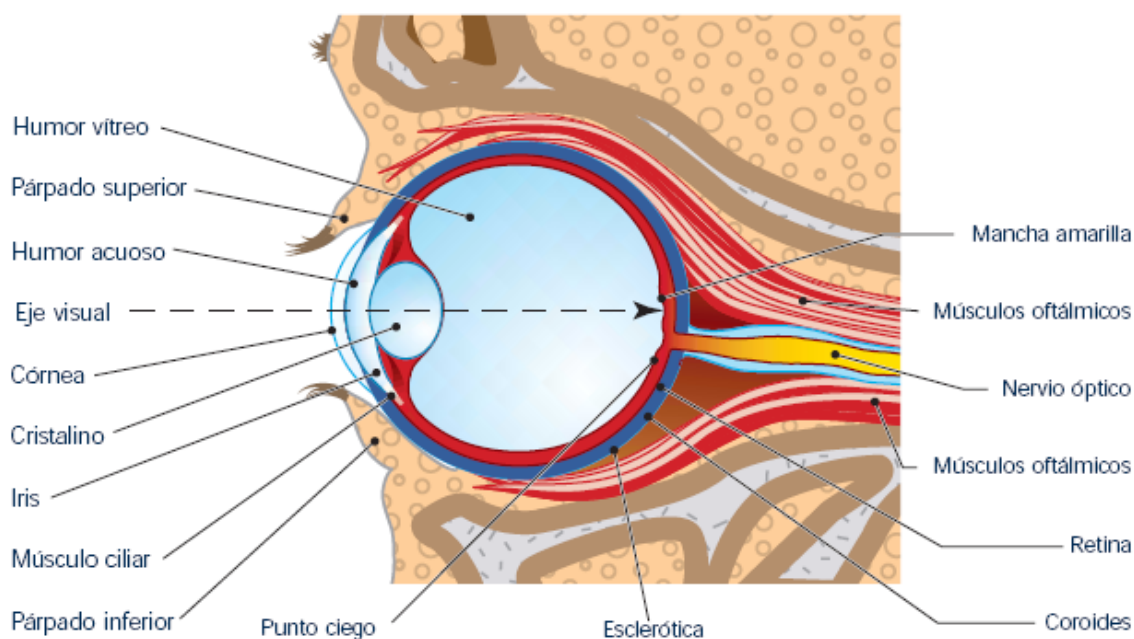


Fig.2.1 Constitución del ojo humano

El ojo está constituido principalmente por los siguientes elementos:

- Globo ocular: Cámara que tiene como función principal la formación de la imagen en la retina.
- Córnea: Tiene la misión de recibir y transmitir las impresiones visuales y constituye el componente óptico refractor fundamental del ojo.
- Cristalino: Es un lente biconvexa, transparente e incolora situado tras el iris. Esta membrana elástica cambia su forma para enfocar los objetivos.
- Iris: Lámina circular situada frente al cristalino y muy pigmentada. Puede contraer la pupila controlando la cantidad de luz que pasa al cristalino.

- e. Pupila: Orificio circular situado en el centro del iris y a través del cual pasan los rayos luminosos. La abertura de este orificio la controla el iris y su constricción se llama *miosis* y la dilatación *midriasis*.
- f. Retina: Es la película interna posterior del ojo constituido por una membrana nerviosa, expansión del nervio óptico, que tiene la función de recibir y transmitir imágenes o impresiones visuales. Contiene una finísima capa de células fotosensibles, conos y bastones, que divergen del nervio óptico y que están en la parte externa próximas a la capa pigmentada.
- g. Conos: Células fotosensibles de la retina o fotorreceptores que se encuentran principalmente en la fóvea. Son muy sensibles a los colores y casi insensibles a la luz.
- h. Bastones o bastoncillos: Células fotosensibles de la retina o fotorreceptores que se encuentran sólo fuera de la fóvea y más concentrados en la periferia. Son muy sensibles a la luz y al movimiento, y casi insensibles al color. De ahí que la misión de los bastones sea la de percibir la mayor o menor claridad con que están iluminados los objetos.
- i. Mácula: Mancha amarilla situada en el polo posterior de la retina, sobre el eje óptico, donde se produce la fijación nítida y precisa de detalles y colores. En su centro se encuentra la fóvea, que sólo está formada por conos.
- j. Punto ciego: Punto de la retina por donde el nervio óptico conduce las imágenes o sensaciones de luz al cerebro. En este punto no hay fotorreceptores.

Cuando miramos un espacio iluminado con poca luz, por ejemplo, en la penumbra por la noche, la agudeza visual es baja, porque no actúan los conos y no se distinguen los colores ni los detalles. A esta visión nocturna se le llama *escotópica* y en ella intervienen esencialmente los bastones que captan con gran sensibilidad la mayor o menor cantidad de luz y el movimiento de los objetos.

Ello justifica que en algunos alumbrados públicos de avenidas, carreteras, y grandes superficies se efectúe el alumbrado con lámparas de vapor de sodio que reproducen mal los colores, pero aportan gran cantidad de luz.

Por el contrario, con luz diurna o cuando el nivel de iluminación se eleva lo suficiente, los objetos se ven con precisión y detalle porque actúan los bastones y principalmente los conos, con lo cual se pueden distinguir los colores. A la luz diurna se le llama visión *fotópica*.

En este caso la cantidad de luz exige ir acompañada de calidad, pues sólo la cantidad produciría irritabilidad en los ojos y deslumbramientos muy molestos.

[1]

2.2.3 EFICIENCIA VISUAL

La eficiencia visual puede definirse como el grado o nivel en que la visión es aprovechada por la persona para obtener información. Es una habilidad que se desarrolla y, mientras que a las personas con visión normal les basta la información y estimulación visual del medio para desarrollarla, las personas con baja visión requieren un programa específico para hacerlo, pues su sistema visual está alterado.

La eficiencia visual varía con el tamaño y los detalles en la tarea, y la iluminancia retiniana provista por la iluminación. Durante un amplio rango de medidas de contrastes e iluminancias no hay cambios significativos en el rendimiento. Pero cuando algunos de estos factores descienden lo suficiente, el rendimiento se deteriora dramáticamente. [2]

2.2.4 ESTRÉS VISUAL

El estrés visual es la inhabilidad de la persona para procesar determinada información visual de una manera confortable y eficiente, esto es debido a que el ojo debe ajustarse a cambios frecuentes en los niveles de iluminación. [2]

2.3 FUNCIONES VISUALES

2.3.1 ACOMODACIÓN

Es la capacidad que tiene el ojo para ajustarse automáticamente a las diferentes distancias de los objetos, y obtener de esta forma imágenes nítidas en

la retina. Este ajuste se efectúa variando la curvatura del cristalino y con ello la distancia focal por la contracción o distensión de los músculos ciliares. Si el objetivo se encuentra próximo al ojo, la curvatura del cristalino se hace mayor que cuando está lejos. En la máquina fotográfica el ajuste se hace variando la distancia entre el objetivo y la película sensible.

La acomodación o enfoque es más fácil con altas luminancias (iluminaciones) que obligan a una adaptación de la pupila o modificación del diafragma en sentido de cierre. El resultado común de esta acción es el aumento de la profundidad del campo, o lo que es lo mismo, visión nítida de objetos a diferente distancia del ojo o la cámara. La capacidad de acomodación del ojo disminuye con la edad a consecuencia del endurecimiento del cristalino. [1]

2.3.2 ADAPTACIÓN

Es la capacidad que tiene el ojo para ajustarse automáticamente a las diferentes iluminaciones de los objetos. Consiste en el ajuste del tamaño de la pupila para que la luminancia proyectada en la retina sea de un valor tolerable por las células sensibles. En su símil con la cámara fotográfica, sería la mayor o menor apertura del diafragma.

Si la iluminación es muy intensa, la pupila se contrae reduciendo la luz que llega al cristalino, y si es escasa, se dilata para captarla en mayor cantidad.

En iluminaciones de valores muy altos, la pupila se reduce a un diámetro de aproximadamente 2 mm., y en iluminaciones muy bajas, se abre hasta aproximadamente 8 mm.

Cuando se pasa de un local con mucha iluminancia a otro completamente a oscuras, el ojo se ve sometido a un proceso de adaptación para cuyo ajuste total necesita unos 30 minutos; mientras que por el contrario, cuando se pasa de un local a oscuras a otro con mucha iluminancia, dicho periodo es de unos segundos. [1]

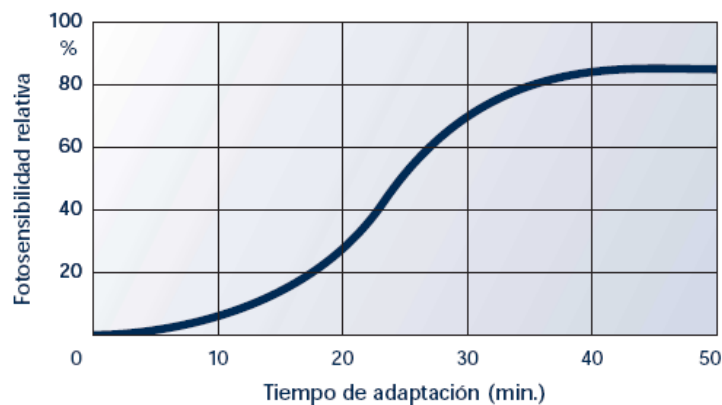


Fig.2.2 Curva de foto-sensibilidad relativa del ojo respecto al tiempo de adaptación.

2.3.3 CAMPO VISUAL

Es el lugar geométrico de todos los objetos o puntos en el espacio que pueden ser percibidos cuando la cabeza y los ojos de un observador se mantienen fijos. El campo puede ser monocular o binocular [4].

El ojo humano dispone de un campo visual donde cada ojo ve aproximadamente 150° sobre el plano horizontal y con la superposición de ambos se abarcan los 180° , mientras que en el plano vertical el campo visual solo son 130° , 60° por encima de la horizontal y 70° por debajo.

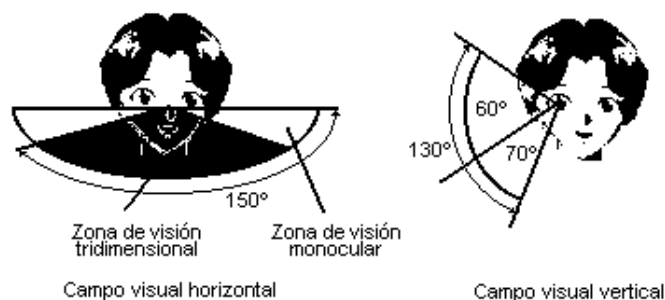


Fig.2.3 Campo visual del ojo humano.

El campo visual de cada ojo es de tipo monocular, sin sensación de profundidad, siendo la visión en la zona de superposición de ambos campos del tipo binocular. La sensación de profundidad o visión tridimensional se produce en el cerebro cuando este superpone e interpreta ambas imágenes.

Los factores externos que influyen sobre la formación de una buena imagen en la retina pueden dividirse en dos clases: los subjetivos y los objetivos. Los primeros dependen del propio individuo como su salud visual (depende de la edad y del deterioro de la vista), el nivel de atención en lo que mira, si está en reposo o en movimiento o la comodidad visual (nivel de iluminación y deslumbramiento). Mientras que los segundos dependen de lo que estemos mirando, del objeto visual.

Las direcciones en las que se extiende el campo visual son: alto, ancho y profundo.

Alto: Es el espacio que la vista abarca de arriba abajo.

Ancho: Es el espacio que la vista domina de derecha a izquierda.

Profundo: Es la distancia máxima que alcanza la vista proyectada al frente y perpendicularmente al que mira. [3]

2.3.4 AGUDEZA VISUAL

La agudeza visual es la capacidad que tiene el ojo de reconocer, con nitidez y precisión, objetos pequeños y próximos entre sí. La agudeza es el resultado de enfocar las imágenes sobre la fovea central de la retina, sitio extremadamente sensible a la luz. La agudeza visual de una persona de 60 años es aproximadamente un 75 % respecto a una de 20 años.

La agudeza visual depende de varios factores, algunos son psicológicos como los movimientos de los ojos para fijar la vista en un punto, justo en el centro de visión. Este movimiento generalmente va acompañado del movimiento de la cabeza.

Estas acciones producen un reordenamiento de las luminancias dentro del ojo, que influyen en la adaptación de la retina. Por ello, el cálculo del deslumbramiento tiene una componente psicológica. Otros factores son fisiológicos, como la naturaleza de la tarea visual, por ejemplo el contraste entre el objeto, el fondo cercano y el circundante, el brillo del objeto y por supuesto, la edad del observador, pues el ojo va perdiendo capacidad con la edad. [4]

2.3.5 CONTRASTE

El contraste se produce por diferencias entre colores o luminancias (porción de luz reflejada por un cuerpo que llega al ojo) entre un elemento del campo visual y el resto.

Mientras mayor sea mejor lo veremos, más detalles distinguiremos y menos fatigaremos la vista. Una buena iluminación ayudará mucho y puede llegar a compensar bajos contrastes en colores aumentando la luminancia. [3]

2.3.6 SENSIBILIDAD TEMPORAL

Debido a que el ojo dispone de mecanismos para enfocar la imagen y transmitirla al cerebro, necesita de un cierto tiempo ya que el proceso no es instantáneo, esta inercia es lo que nos permite disfrutar del cine, la televisión o los dibujos animados que no son más que una serie de imágenes estáticas sucesivas. Si por el contrario, el objeto está en movimiento y hay un alto nivel de iluminación, la inercia visual provocará la impresión de una sucesión de imágenes fijas como ocurre en las discotecas, es el llamado efecto estroboscópico que fuera de estos usos se debe evitar. [3]

2.3.7 VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

De manera natural, al igual que nuestro sistema auditivo, nuestro mecanismo de visión es estéreo, es decir, somos capaces de apreciar, a través de la visión binocular, las diferentes distancias y volúmenes en el entorno que nos rodea. Nuestros ojos, debido a su separación, obtienen dos imágenes con pequeñas diferencias entre ellas, a lo que denominamos disparidad.

Nuestro cerebro procesa las diferencias entre ambas imágenes y las interpreta de forma que percibimos la sensación de profundidad, lejanía o cercanía de los objetos que nos rodean. Este proceso se denomina estereopsis.

Cuando observamos objetos muy lejanos, los ejes ópticos de nuestros ojos son paralelos. Cuando observamos un objeto cercano, nuestros ojos giran para que los ejes ópticos estén alineados sobre él, es decir, convergen. A su vez se produce la acomodación o enfoque para ver nítidamente el objeto.

La agudeza estereoscópica es la capacidad de discernir, mediante la estereopsis, detalles situados en planos diferentes y a una distancia mínima. Hay una distancia límite a partir de la cual no somos capaces de apreciar la separación de planos, y que varía de unas persona a otras. Así, la distancia límite a la que dejamos de percibir la sensación estereoscópica puede variar desde unos 60 metros hasta cientos de metros. [3]

2.3.8 VISIÓN DE COLOR

Al hablar del color hay que distinguir entre el fenómeno físico donde intervienen la luz y la visión (sensibilidad y contraste) y el fenómeno sensorial. Como fenómeno físico comentaremos, además, los sistemas de especificación y la realización de mezclas. [3]

2.3.9 EL COLOR COMO FENÓMENO FÍSICO

Recordemos brevemente que la luz blanca del sol está formada por la unión de los colores del arco iris, cada uno con su correspondiente longitud de onda. Los colores van del violeta (380 nm) hasta el rojo (770 nm) y su distribución espectral aproximada es:

Tabla 2.1 Distribución espectral de colores

COLOR	LONGITUD DE ONDA (nm)
Violeta	380-436
Azul	436-495
Verde	495-566
Amarillo	566-589
Naranja	589-627
Rojo	627-770

Cuando un cuerpo opaco es iluminado por luz blanca refleja un color o una combinación de estos absorbiendo el resto. Las radiaciones luminosas reflejadas determinarán el color con que nuestros ojos verán el objeto. [3]

2.4 CONCEPTOS LUMINOTÉCNICOS

La tecnología de la iluminación también tiene una terminología propia. Términos especiales, conceptos específicos y unidades de medida se utilizan para definir las características de las lámparas y de las luminarias.

2.4.1 LUZ Y FUENTES DE LUZ

Dado que las radiaciones electromagnéticas son de la misma naturaleza y todas se propagan en el vacío a la misma velocidad ($v = 3 \times 10^8$ m/s), la característica que la diferencia es su longitud de onda, o lo que es lo mismo, su frecuencia ($v = \lambda \cdot f$).

Entre las radiaciones electromagnéticas debemos incluir los Rayos Gamma, Rayos X, Radiación Ultravioleta, Luz, Rayos Infrarrojos, Microondas, Ondas de Radio y otras radiaciones. El ojo humano es sensible a la radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780nm aproximadamente, margen que se denomina luz visible. Las longitudes de onda más cortas del espectro visible corresponden a la luz violeta y la más larga a la luz roja, y entre estos extremos se encuentran todos los colores del arco iris. Las ondas electromagnéticas con longitudes de onda ligeramente inferiores a las de la luz visible se denominan rayos ultravioleta, y las que poseen longitudes de onda ligeramente superiores, se conocen como ondas infrarrojas.



Fig.2.4 Espectro Electromagnético

2.4.2 REFLEXIÓN

Capacidad de materiales de reflejar la luz. Medida de la reflexión es la reflectancia, que se define como la relación del flujo luminoso reflectante al flujo luminoso incidente. Es la medida de la cantidad de luz que es capaz de reflejar una superficie. La reflexión puede ser dirigida, difusa o mixta. La eficacia de una luminaria es afectada en gran medida por este factor. [2]

Por ejemplo:

Tabla 2.2 Factor de Reflexión

	COLOR	FACTOR DE REFLEXIÓN (ρ)
TECHO	<i>Blanco o muy claro</i>	<i>0.7</i>
	<i>Claro</i>	<i>0.5</i>
	<i>Medio</i>	<i>0.3</i>
PAREDES	<i>Claro</i>	<i>0.5</i>
	<i>Medio</i>	<i>0.3</i>
	<i>Oscuro</i>	<i>0.1</i>
Suelo	<i>Claro</i>	<i>0.3</i>
	<i>Oscuro</i>	<i>0.1</i>

2.4.3 REFRACCIÓN DE LA LUZ

Es el cambio de dirección de la luz mediante la incidencia de un medio de densidad variable. A través de la refracción de diferentes intensidades de distintas zonas espectrales se puede producir la formación de espectros de colores como por ejemplo el prisma. [2]

2.4.4 LUMINOTECNIA

Es la parte de la electrotecnia que se dedica específicamente a la iluminación, por lo tanto es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación. [2]

2.4.5 LUMINISCENCIA

Es el concepto global para todos los fenómenos luminosos que no se producen por radiadores térmicos, por ejemplo la luz producida en una luciérnaga.

2.4.6 COLOR DE LUZ Y TEMPERATURA DE COLOR

El color es una interpretación subjetiva psicofisiológica del espectro electromagnético visible. El color de luz de una lámpara depende de la dispersión de la luz emitida. Por ejemplo en las lámparas incandescentes esta dispersión resulta por la temperatura del filamento, de ahí el concepto de temperatura de color; para las lámparas de descarga, en cambio, es necesario recurrir a un valor comparativo: la temperatura de color más parecida.

Por lo tanto la temperatura de color se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. [2]

A continuación se presenta algunos valores de temperatura de color:

Tabla 2.3 Valores de Temperatura de Color

VALORES DE TEMPERATURA DE COLOR		
<i>cielo azul</i>	20000 °K	<i>Fría</i>
<i>luz solar directa</i>	5000 °K	<i>Fría</i>
<i>cielo nublado</i>	7000°K	<i>Fría</i>
<i>luz de velas</i>	1800°K	<i>Cálida</i>
<i>blanco cálido</i>	3000°K	<i>Cálida</i>
<i>luz del día</i>	6500°K	<i>Cálida</i>
<i>lámparas incandescentes normales</i>	2600°K	<i>Calientes</i>
<i>halógenos metálicos</i>	4000 - 6000°K	<i>Calientes</i>

Nota: Recuerde que un cuerpo negro es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él.

2.4.7 ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (IRC)

Es una medida de la capacidad que una fuente luminosa tiene para reproducir exactamente los colores de varios objetos en comparación con una fuente de luz natural o ideal. Las luces con un IRC elevado son necesarias en aplicaciones donde son importantes los colores, tales como por ejemplo la fotografía y el cine. [2]

Tabla 2.4 Valores de Temperatura de Color

TIPO DE LÁMPARA	IRC
<i>Lámpara incandescente</i>	100
<i>Lámpara halógena</i>	100
<i>Lámpara fluorescente</i>	15-85
<i>Lámpara de haluro metálico</i>	65-93
<i>Lámpara de inducción</i>	79
<i>Sodio alta presión</i>	0-70

2.4.8 FLUJO LUMINOSO

Es toda la radiación o cantidad de energía luminosa (Q) en lúmenes emitidos por una fuente de luz en todas las direcciones y percibidos por el ojo humano en una unidad de tiempo (t). [2]

Flujo Luminoso	$\varphi = \frac{Q}{t}$	Símbolo: φ
		Unidad: Lumen (lm)

2.4.9 EFICACIA LUMINOSA

Al hablar del flujo se mencionó que no toda la energía eléctrica consumida por una lámpara se transforma en luz visible. Parte se pierde por calor, parte en forma de radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta), etc.

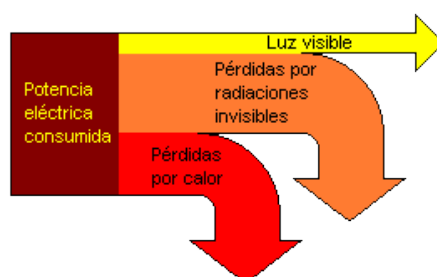


Fig.2.5 Eficacia Luminosa

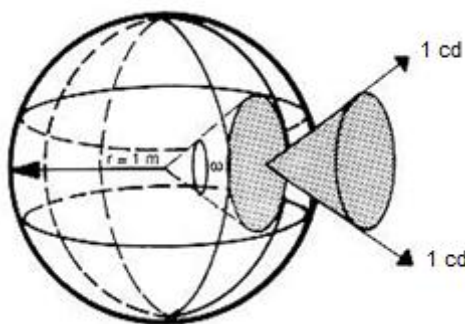
Para determinar la porción de energía útil se define a la eficiencia luminosa como el cociente entre el flujo luminoso total emitido y la potencia total absorbida por la fuente. La unidad es el lumen por watt (lm/W). [4]

Rendimiento Luminoso	$\eta = \frac{\Phi}{W}$	Símbolo: η
		$\eta = \frac{\text{flujo luminoso}}{\text{Potencia consumida}}$

2.4.10 INTENSIDAD LUMINOSA

Puesto que el flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, es necesario conocer cómo se distribuye la misma en cada dirección del espacio para la cual se define la intensidad luminosa.

Por lo tanto, la Intensidad Luminosa es el flujo luminoso emitido por una unidad de ángulo solido en una dirección determinada. Su símbolo es I y su unidad la candela (cd). [2]



Intensidad Luminosa	$I = \frac{\Phi}{\omega}$	Símbolo: I
		Unidad: candela (cd)

2.4.11 ILUMINANCIA

Es la densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. Su símbolo es E y su unidad es el lux (lx). [5]

Iluminancia	$E = \frac{\Phi}{S} \left[\frac{\text{lumen}}{\text{m}^2} = \text{lx} \right]$	Símbolo: E
		Unidad: Lux (lx)

Tabla 2.5 Valores de Iluminancia

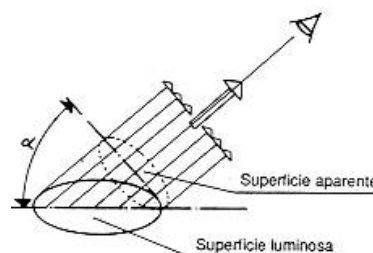
VALORES DE ILUMINANCIA	
Mediodía en Verano	100000 lux
Mediodía en Invierno	20000lux
Oficina bien iluminada	400 a 800 lux
Calle bien iluminada	20 lux
Luna llena con cielo claro	0,25 – 50 lux
Estadio competición internacional	800 -1400lux

2.4.12 LUMINANCIA

La luminancia es una medida de la luz que llega a los ojos procedentes de los objetos y es la responsable de excitar la retina provocando la visión. Esta luz proviene de la reflexión que sufre la iluminancia cuando incide sobre los cuerpos. Se llama iluminación a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la cd/m^2 .

Luminancia	$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}} = \frac{I}{S * \cos \alpha}$	Símbolo: L
		Unidad: candela (cd)

Es importante destacar que solo vemos luminancias, no iluminancias; por lo tanto, mientras la iluminancia registra la potencia de luz que cae sobre una superficie, la luminancia describe la luz que procede de esta superficie. [2]



2.4.13 DESLUMBRAMIENTO

Es una sensación molesta que dificulta la visión, llegando a causar ceguera momentánea. Es por tanto necesario, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los transeúntes en general.

Deslumbramiento molesto: Se refiere a una sensación desagradable que se sufre cada vez que una luz muy intensa llega a nuestros ojos. Se evalúa desde el deslumbramiento insoportable hasta el inapreciable.

Deslumbramiento perturbador: Se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cerrar su causa. [2]

2.4.14 UNIFORMIDAD

Este punto es de vital importancia ya que una adecuada uniformidad de iluminación evita deslumbramientos visuales que provocan un efecto perturbador sobre el confort visual de conductores, habitantes y transeúntes en general.

La incomodidad visual y por ende el deslumbramiento se puede aminorar prestando extrema atención a la situación, enfoque y elección de la luminaria. [2]

2.4.15 FUENTES DE LUZ

Son aquellos cuerpos que generan luz en forma natural y artificial, como por ejemplo, la luz del sol o las que se producen por reflexión como es el caso de la luna. [2]

2.4.16 EQUIPOS AUXILIARES

Balasto: Unidad insertada en la red en una o más bombillas de descarga, la cual, por medio de inductancia o capacitancia o la combinación de inductancias y capacitancias, sirve para limitar la corriente de la(s) bombilla(s) hasta el valor requerido.

Bombilla o lámpara: Término genérico para denominar una fuente de luz fabricada por el hombre.

Difusor: Elemento que sirve para dirigir o esparcir la luz de una fuente.

Fusible: Dispositivo utilizado para la protección de conductores y componentes de redes contra sobrecorrientes producidas tanto por sobrecarga como por cortocircuito. [5]

Fotocelda: Dispositivo utilizado, normalmente, para conectar y desconectar en forma automática luminarias de alumbrado público en función de la variación del nivel luminoso.

2.4.17 CURVAS FOTOMÉTRICAS

Información dada por el fabricante para conocer las características lumínicas de la luminaria.

2.4.18 FACTOR DE MANTENIMIENTO.

Factor usado en el cálculo de la luminancia y de la iluminancia después de un periodo dado y bajo condiciones establecidas. Tiene en cuenta las variaciones de temperatura y tensión, la acumulación de suciedad sobre la luminaria, la depreciación luminosa de la bombilla, los procedimientos de mantenimiento y las condiciones atmosféricas. [6]

CAPÍTULO 3

CONSIDERACIONES PARA LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

3.1 INTRODUCCIÓN

Para la iluminación de vías, parques, plazoletas, canchas y zonas verdes del área urbana de la ciudad de Cuenca, la Centrosur emplea un conjunto de elementos como, faroles, luminarias, proyectores, etc., las cuales se emplean en función de ciertas consideraciones, que se deben cumplir, tales como: la selección de luminarias, calidad de luz, luminancia promedio acorde a las normas, comodidad visual, disposición de luminarias en las vías, evaluación económica y financiera, uso racional y eficiente de la energía, cuyo objetivo principal es la de brindar una iluminación que cumpla las recomendaciones de las normas internacionales y de esta manera ofrecer seguridad vial, seguridad peatonal, y promover el progreso y desarrollo de la ciudad en los aspectos cívico, turístico y comercial.

Entonces, en el presente capítulo se indica los requerimientos y las consideraciones necesarias que deben ser tomados en cuenta en el diseño de un sistema de iluminación tales como: niveles de iluminación sugeridas, documentos fotométricos suministrados por el fabricante, disposición de luminarias, tipos de lámparas, métodos de cálculo, etc., información que es relevante para capítulos posteriores.

3.2 REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO

3.2.1 REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

A continuación se indicaran los requerimientos principales para el Diseño de un Sistema de Iluminación vial, debido a que el enfoque de la presente tesis es sobre el alumbrado público. [5]

3.2.1.1 RECONOCIMIENTO DEL SITIO Y OBJETOS A ILUMINAR

Se debe conocer las condiciones físicas y arquitectónicas del sitio o espacio a iluminar, sus condiciones ambientales y su entorno, ya que de esta dependerán las decisiones a tomar para obtener una iluminación óptima.

Es importante también conocer el uso que se pretenda dar al espacio iluminado.

Los espacios a iluminar por parte de la Centrosur son tales como: autopistas, avenidas, carreteras, plazoletas, canchas deportivas, parques, espacios verdes, etc. [5]

3.2.1.2 SELECCIÓN DE LUMINARIAS Y FUENTES LUMINOSAS

En todos los proyectos de iluminación, se deben elegir las luminarias y fuentes luminosas teniendo en cuenta, la eficacia lumínica, flujo luminoso, características fotométricas, reproducción cromática, temperatura del color de la fuente, duración y vida útil de la fuente, tipo y características de la luminaria, todo esto acorde con las actividades y objetivos de uso de los espacios a iluminar; así como de consideraciones arquitectónicas, ambientales de seguridad y económicas.

Para cumplir estos criterios los fabricantes y/o comercializadores de fuentes luminosas, luminarias, balastos y en general los productos usados en iluminación deben suministrar la información necesaria, complementada con información de catálogos o fichas técnicas de público conocimiento, tal información debe ser la utilizada por los diseñadores y referenciada en las memorias de cálculo. [5]

Tabla 3.1 Criterio para Identificar los tipos de Luminarias

CRITERIO PARA IDENTIFICAR LOS TIPOS DE LUMINARIAS
Fotometría
Uso
Tipo de Fuente de Luz o Bombilla
Dimensión y forma de luminaria
Tipo de Montaje o Instalación requerido
Índice de Protección IP
Tipo de superficie reflectora de su conjunto óptico

3.2.1.3 DOCUMENTOS FOTOMÉTRICOS

Como se mencionó en el punto anterior, para identificar, clasificar y seleccionar las fuentes y luminarias es necesario conocer sus parámetros mediante los documentos fotométricos suministrados por los fabricantes, estos son:

- a. **Matriz de Intensidad:** Es el principal documento fotométrico de cualquier luminaria y muestra la información de distribución de la intensidad lumínica. [5]
- b. **Diagrama Isolux:** Es una representación a escala de los niveles lumínicos que se alcanzaría sobre un plano horizontal de trabajo en relación con la altura de montaje. Permite realizar cálculos gráficos manuales bastante precisos punto a punto en instalaciones de alumbrado público, instalaciones industriales o en canchas deportivas. [5]

El diagrama Isolux debe cubrir un área comprendida sobre el plano de trabajo horizontal de la luminaria en sentido transversal entre $-2,5$ y $5,0$ veces la altura de montaje. En el sentido longitudinal cubre desde $0,0$ hasta $7,0$ veces la altura de montaje. Lo anterior, asumiendo que la luminaria se encuentra en el punto $(0, 0)$.

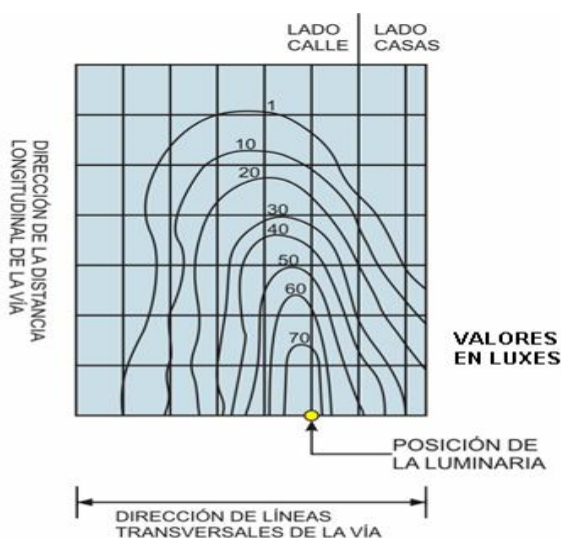


Fig.3.1 Curva Isolux

El diagrama isolux debe expresar con claridad dos aspectos, con el fin de establecer los respectivos factores de conversión:

- a. La altura de montaje a la que está referido, (permite establecer la escala)
- b. Y el flujo luminoso de la fuente de luz con la que se realizó.

Para facilitar el cálculo de estos factores de corrección, se debe presentar el diagrama isolux como si la luminaria estuviera a una altura de montaje de 1,0 m y tuviera una bombilla de 1.000 lúmenes.

Las diferentes curvas del diagrama se deben expresar en luxes. La curva de mínimo valor isolux en el diagrama debe permitir el cálculo de niveles de iluminancia hasta de 1 lux, cuando la luminaria esté ubicada en la altura de montaje recomendada por el fabricante y tenga la bombilla igualmente recomendada para su uso.

El factor de corrección por la altura de montaje se establece en términos de $\left(\frac{h_o}{h_m}\right)^2$ donde:

h_m : corresponde a la altura de montaje del proyecto

h_o : corresponde a la altura del cual se obtuvo la curva isolux presente

El factor de corrección por los lúmenes de la bombilla, es directamente proporcional y se expresa como $\frac{\varphi_1}{\varphi_o}$ donde:

φ_1 : son los lúmenes del proyecto actual

φ_2 : son los lúmenes con las cuales se representa la curva isolux

- c. **Diagrama Polar de Intensidad Luminosa:** Su principal utilización es para establecer el tipo de luminaria a utilizar.
- d. **Curvas de Coeficientes de Utilización:** Expresa el porcentaje del flujo luminoso emitido por una luminaria y que cae sobre una superficie determinada; es decir nos da el tanto por ciento del flujo utilizado correspondiente a la calzada y a la acera.
- e. **Duración o Vida Útil de la Fuente Lumínica:** El fabricante debe suministrar la siguiente información.
 - Curvas de Depreciación Luminosa de las Fuentes.
 - Curva de Vida Promedio de las Fuentes Luminosas.

- **Vida Económica de una Fuente:** La vida económica de una fuente luminosa, es el periodo expresado en horas después del cual la relación entre el costo de reposición y el costo de los lúmenes-hora que sigue produciendo, no es económicamente favorable. [5]

3.2.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

- Requerimientos de visibilidad.** La iluminación de un sistema de alumbrado público debe ser adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehicular como peatonal.
- Cantidad y calidad de Luz.** Se refiere a que un sistema de iluminación debe permitir circular de manera cómoda y segura, permitiendo a los usuarios que circulan a velocidad normal evitar cualquier obstáculo.
- Confiabilidad de la percepción:** La iluminación debe proporcionar un elevado nivel de luminancia en el fondo, interpretado como la necesidad de proveer a la vía, una Luminancia promedio y la necesidad de mantener un limitado deslumbramiento desde las fuentes de luz.
- Comodidad Visual:** La comodidad visual es una importante característica que redundará en la seguridad del tráfico vehicular. La falta de comodidad se traducirá en una falta de concentración por parte de los conductores que disminuirá la velocidad de reacción debido al cansancio que se producirá en sus ojos. En la comodidad visual del conductor se encuentra comprometida la luminancia ofrecida por la instalación de alumbrado público, su uniformidad, su nivel de iluminancia, el grado de deslumbramiento, así como la disposición y naturaleza de las fuentes luminosas utilizadas.
- Evaluación Económica y Financiera:** En todos los proyectos de alumbrado público deberán hacer una evaluación económica y financiera donde se incluyan no sólo los costos de inversión, sino los costos de operación y mantenimiento durante la vida útil.

- f. Uso Racional y Eficiente de la Energía:** El diseño de los sistemas de alumbrado público deben cumplir simultáneamente con los requisitos fotométricos y con los parámetros lumínicos sugeridos.
- g. Requerimientos de las normas de mobiliario urbano:** Otro factor a considerar en los proyectos de iluminación es las ordenanzas sobre mobiliarios urbanos, por lo que se debe considerar el estilo arquitectónico predominante en el sector. En Plazas públicas, fachadas, vías con destinación histórica o turística definidas, es necesario mantener el estilo, el color y la distribución concordantes. Para cada caso hay distribuciones y equipos que mejoran el impacto visual de la instalación. [5]

3.3 CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.

3.3.1 CLASES DE ILUMINACIÓN PARA VÍAS DE TRANSITO VEHICULAR

Los criterios que se deben tener en cuenta para acotando asignar una clasificación de iluminación están asociados a las características de las vías, siendo las principales: la velocidad de circulación y el número de vehículos. Toda vía caracterizada con estas dos variables se les asignará un tipo de iluminación conforme a la siguiente tabla.

Tabla 3.2 Clases de Iluminación para vías de transito vehicular

CLASE DE ILUMINACIÓN	DESCRIPCIÓN DE VÍA	VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN (Km/h)	TRANSITO DE VEHÍCULOS T (Veh/h)
M1	Autopista y Carreteras	Extra alta $V > 80$	Muy importante $T > 1000$
M2	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Alta $60 < V < 80$	Importante $500 < T < 1000$
M3	Vías principales	Media $30 < V < 60$	Media $250 < T < 500$
M4	Vías primarias	Reducida $V < 30$	Reducida $100 < T < 250$
M5	Vías secundarias	Muy Reducida Al paso	Muy reducida $T < 100$

Otros factores a tener en cuenta son la complejidad de la circulación, controles del tráfico, tipos de usuarios de las vías y existencia de separadores. En tal sentido y por criterios de uso racional y eficiente de energía, una vía podrá disponer, en ciertas horas, de un alumbrado con clasificación inferior a la resultante de la aplicación de la tabla anterior., utilizando la tabla que sigue.

En el mismo sentido, de acuerdo con las condiciones de control de tráfico y de existencia de separación de diferentes usuarios en la vía, también podrá usarse una clase de iluminación diferente. Las condiciones para disponer de dos clases de iluminación en una vía o su cambio como criterio inicial de diseño se establecen en la siguiente tabla. [5]

Tabla 3.3 Variación en las Clases de Iluminación por tipo de vía, complejidad de circulación y control de tráfico

DESCRIPCIÓN DE LA VÍA	TIPO DE ILUMINACIÓN
<i>Vías de extra alta velocidad, con calzadas separadas exentas de cruces a nivel y con accesos completamente controlados. Con densidad de tráfico y complejidad de circulación:</i>	
<i>Alta $T > 1000$ (Veh/h)</i>	<i>M1</i>
<i>Media $500 < T < 1000$ (Veh/h)</i>	<i>M2</i>
<i>Baja $T < 500$ (Veh/h)</i>	<i>M3</i>
<i>Vías de extra alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Con control de tráfico y separación a través de carriles a diferentes usuarios de la vía:</i>	
<i>Escaso</i>	<i>M1</i>
<i>Suficiente</i>	<i>M2</i>
<i>Vías más importantes de tráfico urbano, vías circunvalares y distribuidoras. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:</i>	
<i>Escaso</i>	<i>M2</i>
<i>Bueno</i>	<i>M3</i>
<i>Conectores de vías de poca importancia, vías de acceso a zonas residenciales, vías de acceso a propiedades individuales y a otras vías conectoras más importantes. Con control de tráfico y separación a través de carriles a diferentes usuarios de la vía:</i>	
<i>Escaso</i>	<i>M4</i>
<i>Bueno</i>	<i>M5</i>

Notas:

1. La complejidad de la vía se refiere a su infraestructura, movimiento de tráfico y alrededores visuales. Se deben considerar los siguientes factores: número de carriles, inclinación, letreros, señales, entradas y salidas de rampas. Se debe tener en cuenta que las intersecciones viales y otros sitios de tráfico complejo se analizan separadamente.
2. Control de tráfico se refiere a la presencia de avisos y señales así como a la existencia de regulaciones. Los métodos de control son semaforización, reglas y regulaciones de prioridad, señales, avisos y demarcaciones de la vía. La presencia o no de estos controles es lo que determina que sean escasos o suficientes.

3. La separación puede ser por medio de carriles específicos o por normas que regulan la restricción para uno o varios de los tipos de tráfico. El menor grado se recomienda cuando existe esta separación.
4. Los diferentes tipos de usuarios de la vía, son: automovilistas (en vehículos veloces o lentos), motoristas de vehículos pesados y lentos, vehículos grandes y lentos (buses) ciclistas, motociclistas y peatones. [5]

3.3.2 CLASES DE ILUMINACIÓN SEGÚN EL USO Y EL TIPO DE VÍA.

En concordancia con el concepto de crear espacios de convivencia ciudadana garantizando la seguridad, los niveles recomendados por las normas nacionales e internacionales han sido ajustados a valores, que satisfacen los requerimientos particulares del país. Igualmente estos valores se presentan para cada tipo de vías y áreas asociadas en rangos coherentes a los criterios de diseño, que ofrecen flexibilidad en el diseño y aplicación para cada caso específico, a la vez que armonizan en el contexto urbanístico.

En los sistemas de iluminación existentes que hagan uso de la infraestructura de red eléctrica de uso general, sobre los cuales se requiera realizar ajustes para cumplir con los niveles de iluminación y coeficiente de uniformidad sugeridos, se deberán modificar la luminaria y/o la potencia de la fuente, así como la forma y longitud del brazo. [5]

3.4 REQUISITO DE ILUMINACIÓN MANTENIDOS PARA VÍAS DE TRANSITO VEHICULAR.

Conocidas las características de las vías y sus requerimientos visuales, se deberá asignar la clase de iluminación necesaria.

A cada clase de iluminación se le establecen los requisitos fotométricos mínimos mantenidos a través del tiempo, los cuales se resumen en la siguiente tabla (Los valores son para piso seco).

Tabla 3.4 Requisitos fotométricos mantenidos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada

CLASE DE ILUMINACIÓN	ZONA DE APLICACIÓN				
	TODAS LAS VÍAS			VÍAS SIN O POCAS INTERSECCIONES	VÍAS CON CALZADAS PEATONALES NO ILUMINADAS
	Luminancia promedio $L_{prom}(cd/m^2)$ Mínimo mantenido	Factor de Uniformidad U_o Mínimo	Incremento de Umbral TI %Máximo Inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia $U_{mínimo}$	Relación de alrededores SR mínimo.
M1	2.0	0.4	10	0.5	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.5	0.5
M3	1.2	0.4	10	0.5	0.5
M4	0.8	0.4	15	No Requerido	No Requerido
M5	0.6	0.4	15	No Requerido	No Requerido

Es por tanto necesario considerar en el diseño de iluminación los factores de depreciación luminosa incidentes en los parámetros anteriores, los cuales se condensan en un solo resultado final conocido como el Factor de Mantenimiento (F_M). [5]

3.5 NIVELES SUGERIDOS DE LUMINANCIA E ILUMINANCIA EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.

De acuerdo con los tipos de vías, los sistemas de alumbrado público se deben diseñar y construir con los valores fotométricos de las 2 siguientes tablas. El diseño de iluminación debe considerar no solamente las calzadas vehiculares, sino también las veredas adyacentes, como componente del espacio público.

Tabla 3.5 Requisitos mínimos de iluminación para vías con veredas adyacentes

Tipo de vía	Calzadas vehiculares				Relación de alrededores		
					En veredas adyacentes	Alrededor sin veredas	
Clase de Iluminación	L_{prom} Cd/m^2	U_o $\geq\%$	U_l $\geq\%$	TI $\leq\%$	E_{prom} luxes	U_o $\geq\%$	SR %
M1	2.0	40	50	10	13	33	50
M2	1.5	40	50	10	10	33	50
M3	1.2	40	50	10	9	33	50
M4	0.8	40	N.R.	15	6	33	N.R.
M5	0.6	40	N.R.	15	5	33	N.R.

Donde: L_{prom} es la luminancia promedio mínima mantenida,

U_0 es la uniformidad general. U_l es la uniformidad longitudinal,

TI es la restricción del deslumbramiento,

E_{prom} es la Iluminancia promedio y N.R. No requerido y S.R. Si requerido.

Tabla 3.6 Fotometría mínima en áreas críticas distintas a vías de tránsito vehicular

VALORES DE ILUMINACIÓN Y UNIFORMIDAD SUGERIDOS PARA OTROS ESPACIOS			
CLASIFICACIÓN	CLASE DE ILUMINACIÓN	ILUMINANCIA PROMEDIO (LUXES)	UNIFORMIDAD GENERAL $U_0 \geq \%$
Canchas múltiples recreativas	C0	50	40
Plazas y plazoletas	C1	30	33
Zona peatonal bajas y aledaños a puentes peatonales y vehiculares	C2	20	33
Veredas, senderos, paseos.	C3	15	33
Ciclo-rutas en parques	C2	20	40
Ciclo-rutas, senderos y demás áreas peatonales adyacentes a rondas de ríos	C4	10	40

3.6 LOCALIZACIÓN DE LAS LUMINARIAS

La localización de las luminarias en la vía está relacionada con su patrón de distribución, con el ancho de la vía (**W**), con los requerimientos lumínicos de la vía, con la altura de montaje (**H**) de las luminarias, con el perfil de la vía, la proximidad a redes de MT (media tensión), BT (baja tensión) (en donde se deberán cumplir las normas de distancias mínimas de seguridad), mobiliario urbano, etc.

Aparte de estas consideraciones, la altura de montaje se relaciona con las facilidades para el mantenimiento y el costo de los soportes. La interdistancia de localización de los postes de alumbrado (**S**) será la que resulte del estudio fotométrico de iluminación de la vía y primara sobre la distancia de ubicación de los elementos del mobiliario urbano (árboles, sillas, botes para basura, etc...).

Las interdistancias sólo se deben disminuir debido a obstáculos insalvables, como por ejemplo sumideros de alcantarillas, rampas de acceso a garajes existentes, interferencia con redes de servicios públicos existentes y que su modificación resulte demasiado costosa comparada con el sobre costo que representa el incremento del servicio de alumbrado, etc.

Se debe buscar obtener interdistancias más elevadas mediante la utilización secuencial de las siguientes alternativas:

- Escoger la luminaria más apropiada.
- Calibrar el reglaje de la luminaria para aumentar su dispersión.
- Aumentar la inclinación de la luminaria (pasando de 0° hasta 20°);
- Aumentar la longitud del brazo para que el avance de la luminaria sobre la calzada sea mayor. [5]

3.6.1 CONFIGURACIONES BÁSICAS DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE ILUMINACIÓN

Conocidas las características de las vías y las propiedades fotométricas de las luminarias, el diseñador deberá aplicar la configuración que mejor resuelva los requerimientos de iluminación, se podrá tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

Tabla 3.7 Recomendaciones para disposición de luminarias [5]

Clase de iluminación	Altura (m)	Relación (S/H)	Disposición de las luminarias	
			Criterio	Disposición
M1	12-14	3,5-4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M2	10-12	3,5-4	Dos carriles de circulación	Unilateral
M3	8,5-10	3,5-4	Ancho de calzada menor	Unilateral
M4	7-9	3,5-4	Unilateral	
M5	6	3,5-4	A criterio del diseñador	

a. DISPOSICIÓN UNILATERAL

Es una disposición donde todas las luminarias se instalan a un solo lado de la vía. El diseñador debe utilizar la luminaria más apropiada que cumpla con los requisitos fotométricos exigidos para las alturas de montaje, interdistancia y menor potencia eléctrica requerida.

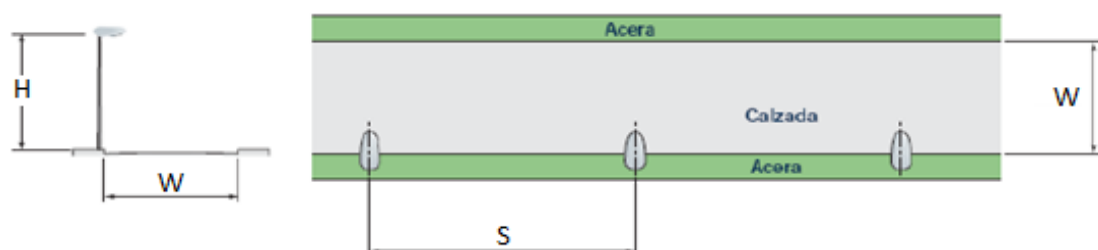


Fig.3.2 Disposición Unilateral

Diseños por encima de 20° de elevación no son recomendables porque pueden terminar iluminando las fachadas del frente y generando polución luminosa. [5]

b. CENTRAL DOBLE

“Donde los carriles de circulación en una dirección y otra se encuentran separados por un pequeño separador que no debe ser menor a 1.5 m de ancho. Se logra una buena economía en el proyecto si los postes comparten en el separador central a manera de dos disposiciones unilaterales. Esta manera de agrupar las luminarias se denomina central sencilla”. [5]

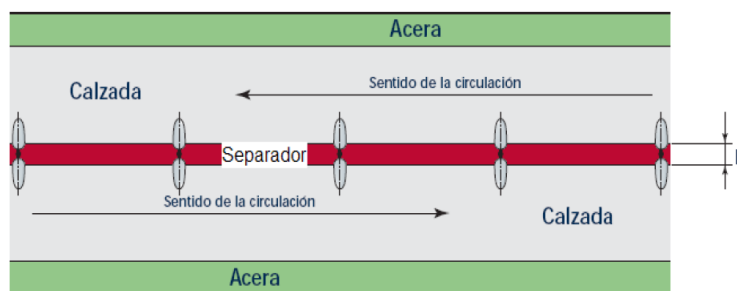


Fig.3.3 Disposición Central doble (para $1.5m \leq b \leq 4m$)

c. BILATERAL ALTERNADA (TRESBOLILLO)

“Cuando la vía presenta un ancho W superior a la altura de montaje h_m de las luminarias ($1 < (W/h_m) < 1.5$), se recomienda utilizar luminarias de dispersión media. También es conveniente utilizar la disposición bilateral alternada en zonas comerciales o de alta afluencia de personas en la noche, para iluminar las aceras y las fachadas de las edificaciones frente a la calzada y crear de esta manera, un ambiente luminoso agradable”. [5]

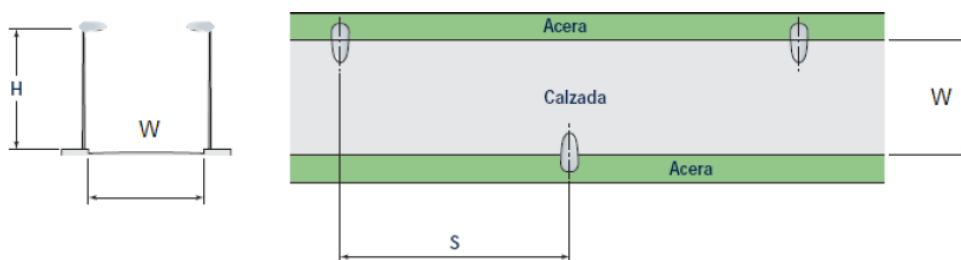


Fig.3.4 Disposición Bilateral alternada

d. BILATERAL OPUESTA

“Cuando la vía presenta un ancho W muy superior a la altura de montaje h_m de las luminarias ($1.25 < (W/h_m) < 1.75$), se recomienda utilizar luminarias clasificadas como de dispersión ancha.

En este caso, la iluminación consta de dos filas de luminarias: una a cada lado de la vía y cada luminaria se encuentra enfrentada con su correspondiente del lado contrario”. [5]

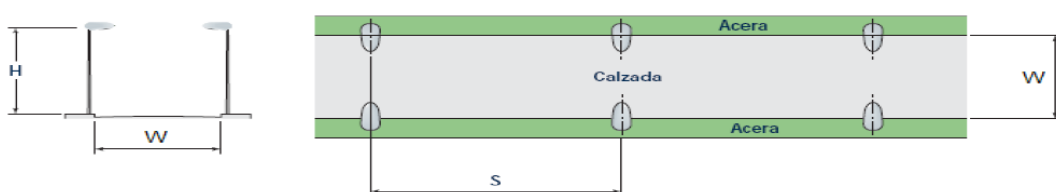


Fig.3.5 Bilateral opuesta sin separador

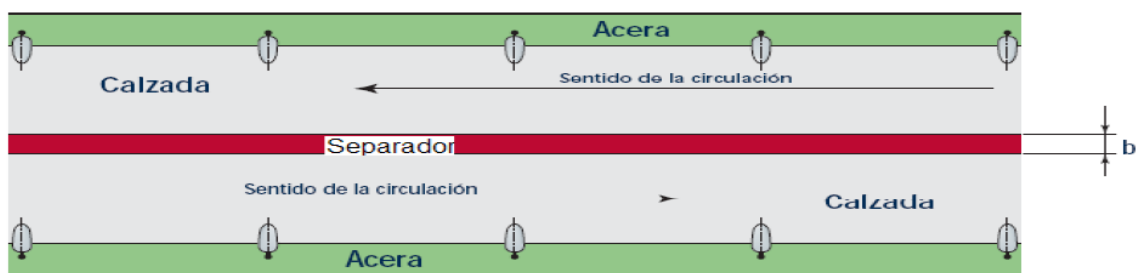


Fig.3.6 Disposición Bilateral opuesta con separador (para cualquier valor de b)

En resumen: “En los **tramos rectos de vías con una única calzada** existen tres disposiciones básicas: unilateral, bilateral tres bolillo y bilateral opuesta con y sin separador. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas”. [5]

En el caso de **tramos rectos de vías con dos o más calzadas** separadas por una mediana se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considerar las dos calzadas de forma independiente. Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad. Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada. Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación

unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner las luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha.

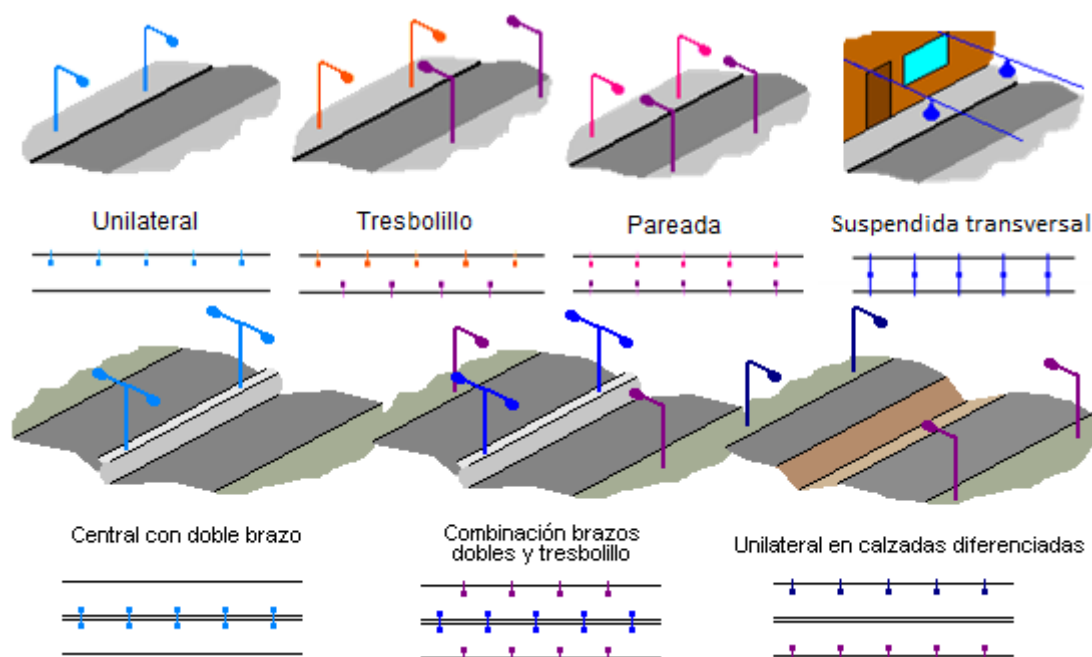


Fig.3.7 Tipos de Disposición de Luminarias

3.6.2 CASOS ESPECIALES DE DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS

En sitios como bifurcaciones, curvas, cruces a nivel. Se debe reforzar la iluminación y cumplir con las especificaciones fotométricas exigidas para cada sitio. El diseñador debe tener en cuenta las condiciones del tránsito automotor, la importancia relativa de las vías, la localización de monumentos, los obstáculos existentes, las señales de tránsito, etc. [5]

a. DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS EN CURVAS

“El trabajo visual del conductor en las curvas se aumenta, por lo que en curvas leves (entre 0° y 30°) se debe reducir la interdistancia básica a $0.90S$ en el trayecto de entrada o salida de la curva (normalmente comprende 100 a 200 m para velocidades de circulación de 60 a 75 km/h respectivamente) y $0.75S$ en el trayecto mismo de la curva (donde se ha trazado la vía con un radio dado)”. [5]

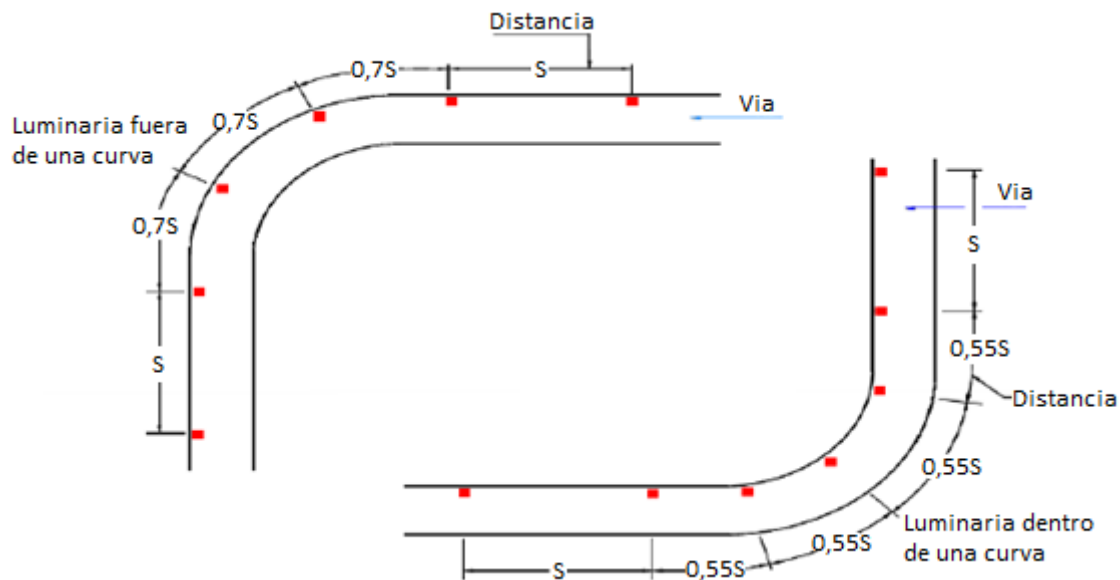


Fig.3.8 Disposición de luminarias en trayectos curvos

Se considera que un tramo es realmente curvo, cuando el radio de curvatura del trazado de la carretera sobre su eje es mayor a 300m.

Cuando se trata de curvas más pronunciadas (entre 30° y 90° y radio inferior a 300m) la interdistancia se reduce hasta $0,70S$, cuando las luminarias se encuentran instaladas en la acera exterior de la curva. Si se encuentra en la acera inferior, esta reducción va hasta $0,55S$

La disposición de las luminarias deben estar preferencialmente en la vereda exterior de las curvas, con el fin de mantener una guía visual más estable, se deben usar distribuciones de luminarias del tipo unilateral o bilateral opuesta. Así como, se debe evitar el uso de la distribución bilateral alternada, porque puede causar confusión respecto a la forma del camino.

En este caso, la iluminación debe prestar una eficiente labor de señalización vial.

Otra distribución que debe evitarse es cambiar el sentido de la distribución unilateral al entrar a una curva y dejar luminarias justo al frente de la prolongación de la vía, ya que esto retarda la percepción de la curva por parte del conductor y aumenta la posibilidad de un accidente.[5]

b. DISPOSICIÓN DE LUMINARIAS EN CALZADA CON PENDIENTES

“Cuando las luminarias están localizadas en calzadas en pendiente, se recomienda orientarlas de tal manera que el rayo de luz sea perpendicular a la vía. El ángulo de giro formado entre el brazo y la luminaria, se denomina **Spin** y debe ser igual al ángulo de inclinación de la vía θ . Esto asegura una máxima uniformidad en la distribución de la luz y se reduce el deslumbramiento de una manera eficaz.

Igual que en las curvas, el trabajo visual del conductor en una pendiente se aumenta. Se considera que una calzada esta en pendiente, como para variar las condiciones de iluminación, cuando esta excede los 3° por debajo de este valor, se considera la iluminación como un trayecto plano.

Al igual que en los trayectos curvos, los primeros 100 o 200m (dependiendo de la velocidad de la circulación) al entrar a una sección de la calzada en pendiente, el diseñador debe reducir la interdistancia a $0.90S$. En la cima, unos 100m o 200m antes y después, dependiendo de la velocidad de circulación, la interdistancia se reduce paulatinamente hasta llegar a $0.70S$ ”. [5]

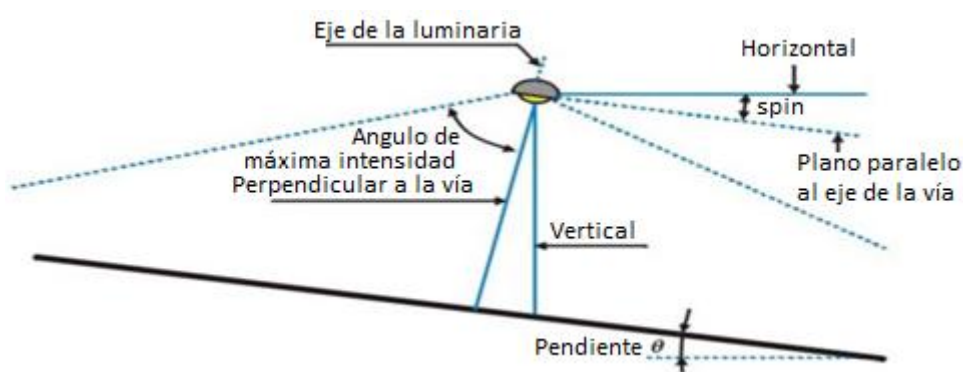


Fig.3.9 Disposición de luminarias en calzada con pendientes en general

3.7 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN

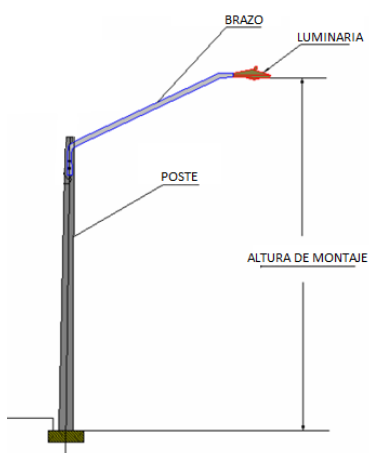


Fig.3.10 Estructura de iluminación

Un sistema de iluminación consta de: Poste, Brazo y Luminaria.

Poste: “Los postes exclusivos para alumbrado público deben resistir todos los esfuerzos mecánicos propios de elementos tales como los conductores, luminarias, transformadores, los ocasionados por personal de mantenimiento y el viento”. [5]

Brazo: “Destinado a sostener la luminaria en su posición de trabajo, fijándola al poste”. [7]

Altura de Montaje: “Es la distancia entre el plano de trabajo y el plano en el cual se encuentra la luminaria. La altura de montaje va a depender del uso de la luminaria en las vías públicas: para el uso de carreteras varía entre 10-15m, en calles principales entre 8-10m, pasajes entre 7-8m, en usos peatonales entre 3-5m y en áreas verdes entre 1-5m”. [7]

3.7.1 LUMINARIA

“Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación”. [5]

3.7.1.1 RENDIMIENTO DE LAS LUMINARIAS

El rendimiento de una luminaria depende esencialmente de sus características y se lo define como la relación del flujo luminoso emitido por la luminaria entre el flujo total emitido por la lámpara desnuda, se lo representa por la letra R.

$$R = \frac{\text{Flujo de la luminaria}}{\text{Flujo de la lámpara}} * 100 \%$$

En la práctica el rendimiento de las luminarias es del orden del 60% al 75%. [7]

3.7.1.2 PARTES DE UNA LUMINARIA

Las luminarias se componen, entre otras, de las siguientes partes:

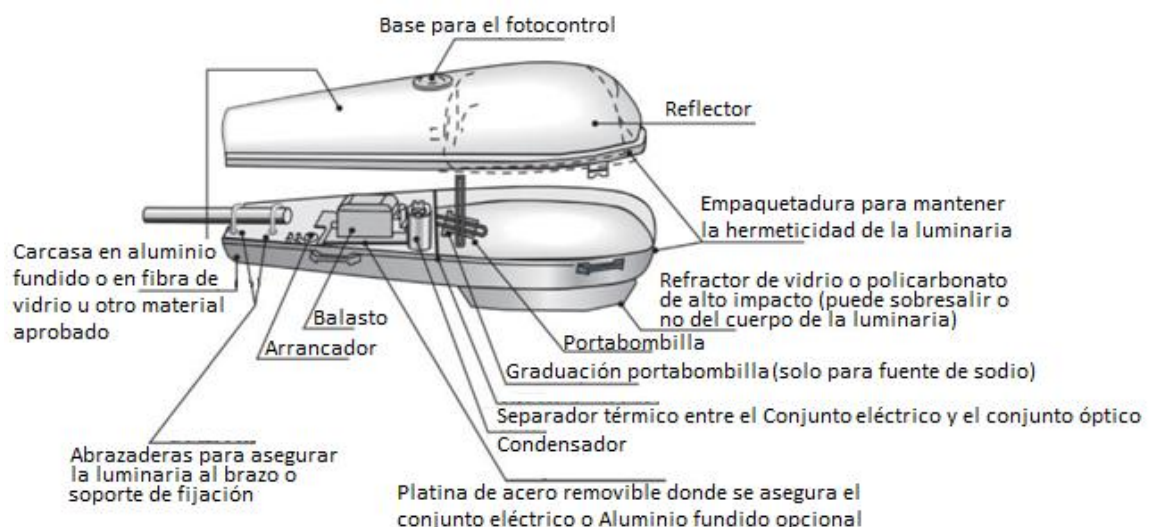


Fig.3.11 Componentes de una Luminaria

1. Reflector

“Elemento de la luminaria cuyo propósito es tomar aquella porción de luz emitida por la bombilla que de otra manera se habría perdido o se habría mal utilizado, y redirigirla en un patrón de distribución de luz deseable. Se diseñan los reflectores para trabajar ya sean solos o en combinación con un refractor. Los reflectores diseñados para operar con un refractor, nunca deben utilizarse sin éstos.

Aunque puede parecer que funcionan adecuadamente, generalmente no lo hacen, y habitualmente generan un gran brillo en la iluminación muy puntual de la vía”. [8]

2. Refractor o Difusor

“Elemento de la luminaria usado para alterar la distribución espacial del flujo luminoso de una fuente, por el proceso de refracción de la luz. Generalmente el refractor está construido de vidrio o policarbonato mejorado al impacto, compuesto de prismas o facetas, destinados a orientar los rayos luminosos de acuerdo con las direcciones requeridas. En el refractor, alrededor de la zona de prismas, pueden existir áreas acanaladas verticales, que sirven para modificar la distribución del flujo luminoso en forma simétrica o asimétrica, dependiendo que éstas sean iguales o no. Cuando éstas son diferentes y están irregularmente distribuidas, el refractor modifica la distribución luminosa, produciendo una distribución asimétrica. Los refractores o difusores más utilizados son de forma curva, debido a que mejora sustancialmente el reparto de intensidad luminosa y permite una mejor iluminación sobre la vía”. [8]

3. Protector

“Elemento traslúcido de vidrio, policarbonato de alto impacto con protección UV o acrílico mejorado al impacto con protección UV, que se utiliza en lugar del refractor y sirve para proteger la bombilla y el reflector de los agentes externos”. [8]

4. Cuerpo de la luminaria

“El cuerpo de las luminarias puede ser fabricado de diferentes materiales y formas geométricas cuya finalidad es soportar, alojar y proteger de los agentes externos al conjunto eléctrico cuando se tratado carcasa partida y, en algunos casos, también al conjunto óptico cuando la luminaria sea de carcasa enteriza.

La unión entre el cuerpo y el soporte de la luminaria, debe proveer una alta resistencia y rigidez mecánica, que evite el movimiento de la luminaria con la vibración de los postes. Igualmente, los elementos que se coloquen en la

luminaria, deben fijarse de tal manera que no se produzcan fallas mecánicas, causadas por la vibración a que está sometida continuamente la luminaria”. [8]

5. Balasto

“El balasto es un elemento que se conecta por una parte a la fuente de alimentación y de otra a una o más bombillas de descarga en gas, el cual mediante inductancias, condensadores o resistencias, solas o en combinación, sirven principalmente para limitar la corriente suministrada a la(s) bombilla(s) al valor requerido y proveer la energía necesaria para calentar los electrodos y suministrar el voltaje apropiado para iniciar el arco, permitiendo así una operación correcta de la bombilla.

Un balasto puede tener en su núcleo magnético una o más bobinas, dependiendo de las necesidades adicionales a la de controlar la corriente, como son las de transformar y regular la tensión, para que éste sea adecuado y estable, de acuerdo con las especificaciones de la bombilla”. [8]

6. Arrancador

“Las bombillas de sodio de alta presión, sodio de baja presión y algunas de metal-halide, necesitan para arrancar impulsos de alta tensión, que se sobrepongan a la tensión de circuito abierto de la bombilla.

El arrancador es un dispositivo que, en conjunto o no con otros componentes, genera los pulsos de tensión necesarios para encender la bombilla de alta intensidad de descarga, sin causar calentamiento de los electrodos.

La amplitud del pulso para el arranque de una bombilla de alta intensidad de descarga es de 1 a 5kV. El reencendido de una bombilla caliente con un arrancador en frío sólo se efectúa después de transcurridos 30 a 60 segundos para las bombillas de sodio de alta presión y de 5 a 10 minutos para las bombillas de metal-halide”. [8]

7. Condensador

“Los condensadores en circuitos con balasto reactor son utilizados básicamente, para corregir el factor de potencia en las luminarias de alumbrado público al 90%; en los balastos autorregulados el condensador cumple una función estabilizadora, pues es utilizado para ajustar la impedancia del circuito, debido a que la reactancia inductiva es menor que la capacitiva”. [8]

3.7.2 TIPOS DE LÁMPARAS MÁS UTILIZADAS PARA LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

3.7.2.1 LÁMPARAS INCANDESCENTES

La lámpara incandescente es la fuente de luz eléctrica más antigua y aún la de uso más común. Es también la que posee mayor variedad de alternativas y se puede encontrar en casi todas las aplicaciones, particularmente cuando se requieren bajos flujos luminosos.

La lámpara incandescente produce luz por medio del calentamiento eléctrico de un alambre (el filamento) a una temperatura alta que emite de esta forma radiación dentro del campo visible del espectro. [4]

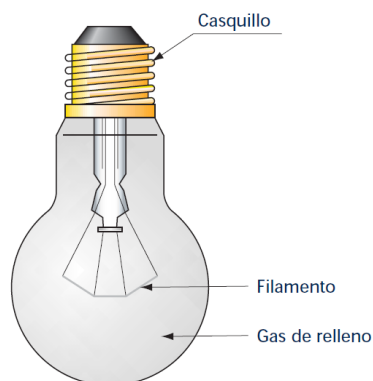


Fig.3.12 Lámpara incandescente

Las partes principales de una lámpara incandescente son:

Filamento: El utilizado en las lámparas modernas está hecho de wolframio (alto punto de fusión y bajo grado de evaporación). Se logró mayor eficiencia lumínica enrollando el filamento en forma de espiral.

Ampolla: Es una cubierta de vidrio sellado que encierra al filamento y evita que tome contacto con el aire exterior (para que no se queme).

Gas de relleno: La evaporación del filamento se reduce relleno la ampolla con un gas inerte. Los gases que comúnmente se utilizan son argón y nitrógeno.

En estas lámparas, la energía luminosa obtenida es muy poca comparada con la energía calorífica que irradia, es decir, gran parte de la energía eléctrica transformada se pierde en calor y por ello su eficacia luminosa es pequeña. Estas lámparas tienen la ventaja de que se conectan directamente a la red, no necesitando ningún equipo auxiliar para su funcionamiento. [4]

3.7.2.2 LÁMPARAS DE DESCARGA

Las lámparas de descarga constituyen una forma alternativa de producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. La luz emitida se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté sometido tendremos diferentes tipos de lámparas.

En las lámparas de descarga, la luz se consigue estableciendo una corriente eléctrica entre dos electrodos situados en un tubo lleno con un gas o vapor ionizado. [4]

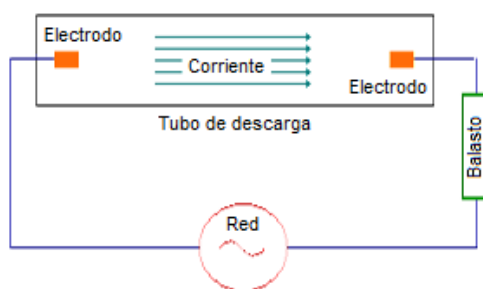


Fig.3.13 Lámpara de Descarga

3.7.2.2.1 LÁMPARA DE DESCARGA DE VAPOR DE MERCURIO

En estas lámparas la descarga se produce en un tubo de descarga de cuarzo que contiene una pequeña cantidad de mercurio y un relleno de gas inerte, generalmente argón, para ayudar al encendido. Una parte de la radiación de la

descarga ocurre en la región visible del espectro como luz, pero una parte se emite también en la ultravioleta. Cubriendo la superficie interna de la ampolla exterior, en la cual se encuentra el tubo de descarga, con un polvo fluorescente que convierte esta radiación ultravioleta en radiación visible, la lámpara ofrecerá mayor iluminación que una versión similar sin dicha capa.

En la figura 3.14 se puede observar las partes principales de una lámpara de vapor de mercurio. [4]

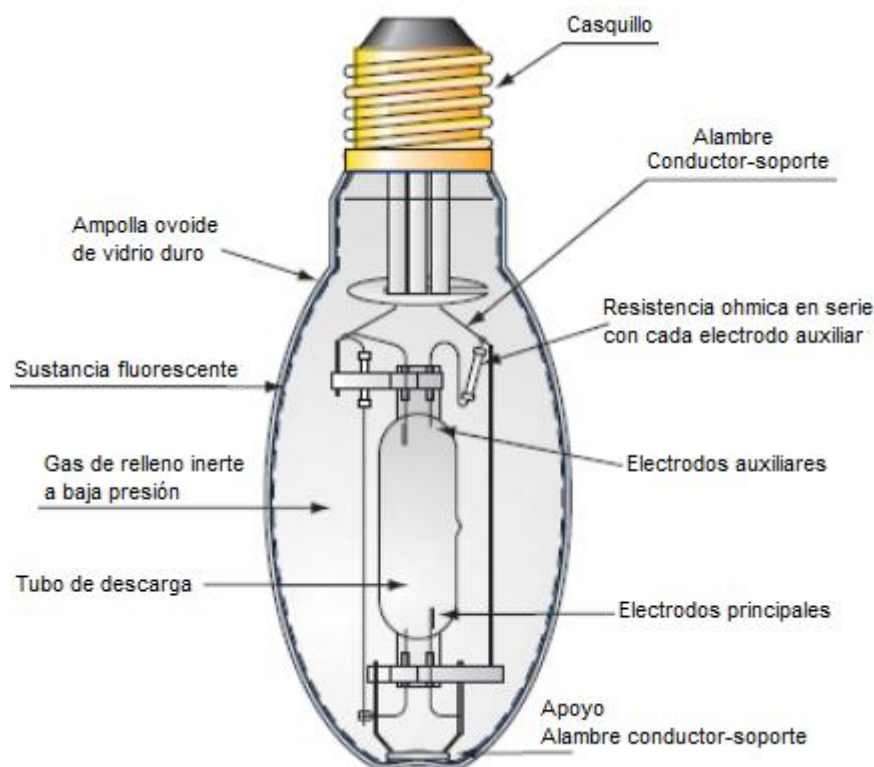


Fig.3.14 Lámpara de descarga de vapor de mercurio

Tubo de descarga y soporte: El tubo de descarga está hecho de cuarzo. Presenta una baja absorción a la radiación ultravioleta y a la visible, y posee la capacidad de soportar las altas temperaturas de trabajo involucradas.

Electrodos: Cada electrodo principal se compone de una varilla de wolframio, cuyo extremo se encuentra revestido por una serpentina de wolframio impregnado con un material que favorece la emisión de electrones.

El electrodo auxiliar es un pedazo de alambre de wolframio colocado cerca de uno de los electrodos principales y conectado al otro mediante una resistencia de 25 k Ω .

Ampolla exterior: Las lámparas de potencias mayores a 125 W se fabrican, generalmente, con vidrio duro de borosilicato, ya que puede soportar temperaturas de trabajo mayores y golpes térmicos.

La ampolla exterior, que normalmente contiene un gas inerte (argón o una mezcla de argón y nitrógeno), protege al tubo de descarga de cambios en la temperatura ambiente y protege de corrosión a los componentes de la lámpara.

Revestimiento de la ampolla: En las lámparas de mercurio de alta presión, la superficie interna de la ampolla exterior está cubierta por fósforo blanco para mejorar la reproducción de color de la lámpara y para aumentar su flujo luminoso.

El fósforo convierte una gran parte de la energía ultravioleta radiada por la descarga en radiación visible, predominantemente en el extremo rojo del espectro.

Gas de relleno: El tubo de descarga está relleno de un gas inerte (argón) y de una dosis precisa de mercurio destilado. El primero es necesario para ayudar a originar la descarga y para asegurar una vida razonable para los electrodos de emisión recubiertos.

La ampolla exterior está rellena de argón o una mezcla de argón y nitrógeno a presión atmosférica. El agregado de nitrógeno sirve para prevenir un arco eléctrico entre los soportes de alambre de la ampolla.

Estas lámparas precisan un equipo auxiliar que normalmente es un balasto con resistencia inductiva o transformador de campo de dispersión, además de un condensador de compensación.

Cuando la lámpara se apaga, no volverá a arrancar hasta que se haya enfriado lo suficiente para bajar la presión del vapor al punto donde el arco volverá a encenderse. Este periodo es de unos cinco minutos. [4]

3.7.2.2.2 LÁMPARAS DE DESCARGA EN VAPOR DE SODIO A BAJA PRESIÓN

En este tipo de lámparas la radiación visible se produce por la descarga directa del sodio. El tubo de descarga de una lámpara de sodio de baja presión es en general, en forma de U y está contenido en una cubierta exterior de vidrio tubular vacío, con capa de óxido de indio en la superficie interna.

El vacío, junto con la capa, la cual actúa como un reflector selectivo de infrarrojo, ayuda a mantener la pared del tubo de descarga a una temperatura de trabajo adecuada.

El gas neón presente dentro de la lámpara, sirve para iniciar la descarga y para desarrollar el calor suficiente como para vaporizar el sodio. Esto responde por la luminiscencia rojo-anaranjada durante los primeros minutos de trabajo. El sodio metálico se evapora en forma gradual, debido a eso, se produce la característica luz amarilla monocromática. El color rojo, que en principio se produce por la descarga de neón, se suprime enérgicamente durante el funcionamiento porque los potenciales de excitación y de ionización de sodio son mucho menores que los del neón.

La lámpara alcanza su flujo luminoso establecido en aproximadamente diez minutos. Volverá a arrancar de forma inmediata en caso de que el suministro de alimentación se interrumpa momentáneamente, ya que la presión de vapor es muy baja y el voltaje aplicado suficiente como para restablecer el arco. La lámpara posee una eficiencia luminosa de hasta 200 lm/W. Ver figura 15. [4]

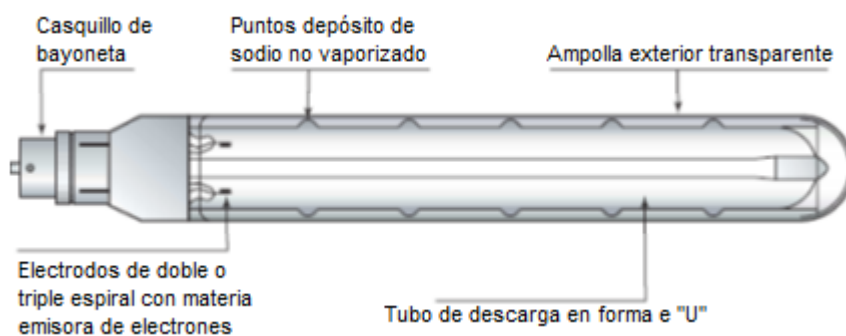


Fig.3.15 Lámpara de descarga de vapor de sodio a baja presión

Tubo de descarga y soportes: El tubo de descarga de una lámpara de sodio de alta presión es en forma de U, para aprovechar espacio y proveer un mejor aislamiento térmico. Está hecho de vidrio cal-soda, y posee una superficie interna revestida de vidrio de borato para formar una capa protectora contra el vapor de sodio.

El tubo contiene además, un número de pequeñas hendiduras, o agujeros, donde se deposita el sodio durante la fabricación.

Relleno del tubo de descarga: El relleno del tubo de descarga consiste en sodio metálico de alta pureza y en una mezcla de neón y argón, la cual actúa como un gas de arranque y de amortiguación.

Electrodos: Las lámparas de sodio de baja presión poseen electrodos de arranque frío. Estos consisten en un alambre de wolframio triple, de manera que puede mantener una gran cantidad de material emisor.

Ampolla externa: Está vacía y se reviste en su superficie interna con una fina película de material reflector infrarrojo. El reflector infrarrojo sirve para reflejar la mayor parte de la radiación de calor que vuelve al tubo de descarga, manteniéndolo de ese modo, a la temperatura deseada, mientras que transmite la radiación visible. [4]

3.7.2.2.3 LÁMPARAS DE DESCARGA DE VAPOR DE SODIO A ALTA PRESIÓN

El tubo de descarga en una lámpara de sodio de alta presión contiene un exceso de sodio para dar condiciones de vapor saturado cuando la lámpara está en funcionamiento.

Además posee un exceso de mercurio para proporcionar un gas amortiguador, y se incluye xenón, para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor del arco de descarga a la pared del tubo. El tubo de descarga se aloja en una envoltura de vidrio protector vacía.

Las lámparas de sodio de alta presión irradian energía a través de una buena parte del espectro visible. Por lo tanto, en comparación con la lámpara de sodio a baja presión, ofrecen una reproducción de color bastante aceptable.

Las partes principales de una lámpara de vapor de sodio a alta presión se indican en la figura 16. [4]

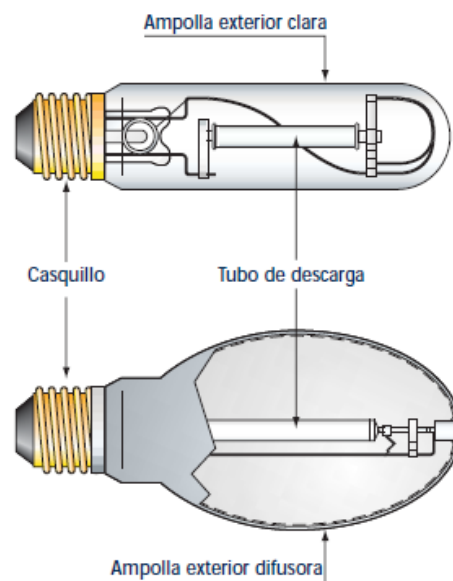


Fig.3.16 Lámpara de descarga de vapor de sodio a alta presión

Tubo de descarga: El tubo de descarga está hecho de cerámica de óxido de aluminio (aluminio sinterizado) muy resistente al calor y a las reacciones químicas con el vapor de sodio.

Electrodos: Los electrodos, cubiertos por una capa de material emisor, consisten en una varilla de wolframio con una serpentina de wolframio enroscada alrededor de la misma.

Relleno: En el interior del tubo de descarga se encuentran sodio, mercurio y un gas noble (xenón o argón) de los cuales es el sodio el principal productor de luz.

Ampolla externa: Esta ampolla está generalmente vacía.

La forma puede ser tanto ovoidal como tubular. La primera posee un revestimiento interno. Sin embargo, ya que el tubo de descarga de la lámpara de sodio a alta presión no produce, prácticamente, ninguna radiación ultra violeta, el revestimiento es simplemente una capa difusa de polvo blanco, para disminuir el elevado brillo del tubo de descarga. La ampolla tubular es siempre de vidrio claro.

Arrancadores y arrancadores auxiliares: Muchas de las lámparas de sodio de alta presión poseen un arrancador auxiliar incorporado, el cual ayuda a reducir la medida del voltaje pico de encendido que se necesita para encender la lámpara. A veces ambos, el arrancador incorporado y el arrancador auxiliar, se encuentran en la misma lámpara.

Los valores nominales se alcanzan al cabo de cinco minutos de encendido. Cuando se apaga una lámpara, debido a la gran presión del quemador, necesita enfriarse entre cuatro y quince minutos para encenderse nuevamente. [4]

3.7.2.3 CARACTERÍSTICAS DE DURACIÓN DE UNA LÁMPARA

Para determinar la vida de una lámpara disponemos de diferentes parámetros según las condiciones de uso definidas.

La vida individual es el tiempo transcurrido en horas hasta que una lámpara se estropea, trabajando en unas condiciones determinadas.

La vida promedio es el tiempo transcurrido hasta que se produce el fallo de la mitad de las lámparas de un lote representativo de una instalación, trabajando en unas condiciones determinadas.

La vida útil es una magnitud referida a la práctica, dada igualmente en horas, al cabo de las cuales el flujo luminoso de una determinada instalación de alumbrado ha descendido a un valor tal, para el que la lámpara no es rentable aunque esté en condiciones de seguir funcionando. Este valor sirve para establecer los periodos de reposición de las lámparas de una instalación. [4]

La vida media es un concepto estadístico que representa la media aritmética de la duración en horas de cada una de las lámparas de un grupo suficientemente representativo del mismo modelo y tipo. [4]

Hay dos aspectos básicos que afectan a la duración de las lámparas. El primero es la depreciación del flujo. Este se produce por ennegrecimiento de la superficie del tubo donde se va depositando el material emisor de electrones que recubre los electrodos. En aquellas lámparas que usan sustancias fluorescentes otro factor es la pérdida gradual de la eficacia de estas sustancias.

El segundo es el deterioro de los componentes de la lámpara que se debe a la degradación de los electrodos por agotamiento del material emisor que los

recubre. Otras causas son un cambio gradual de la composición del gas de relleno y las fugas de gas en lámparas a alta presión.

Tabla 3.8 Vida útil aproximada de cada tipo de lámpara. [4]

TIPO DE LÁMPARA	VIDA ÚTIL APROXIMADA (H)
<i>Fluorescente estándar</i>	7500
<i>Luz de mezcla</i>	6000
<i>Mercurio a alta presión</i>	14000
<i>Halogenuros metálicos</i>	2500 : 14500
<i>Sodio a baja presión</i>	14000
<i>Sodio a alta presión</i>	12000 : 18000

3.8 COEXISTENCIA DE LAS LUMINARIAS CON LOS ÁRBOLES

La arborización en el casco urbano de un municipio debe estar sometida, a normas regulatorias que faciliten la coexistencia con la red eléctrica aérea o subterránea, las veredas, la iluminación y demás elementos del mobiliario urbano.

Se deben evitar especies como el ficus, los eucaliptos, cipreses, etc. mientras se recomienda plantar árboles de follaje liviano, lo cual se hace separando el punto de siembra al menos 1,5 m de la proyección que da la red aérea sobre el piso.

Para lograr una coordinación entre la arborización y la iluminación pública es necesario, en algunos casos, efectuar desviaciones a los parámetros generales del diseño del alumbrado público para la vía, tales como la altura de montaje, interdistancia, disposición de las luminarias o su brazo de montaje. Cada caso debe tratarse separadamente, dependiendo de la vegetación considerada.

Debe tenerse en cuenta que no es necesario podar los árboles más allá de las ramas que interfieran con el haz luminoso útil (figura 3.17) ya que el follaje restante permite mejorar el apantallamiento de la instalación y por ende, mejora la visibilidad de obstáculos por efecto silueta.

Si una luminaria debe cambiar su interdistancia en un 10%, esto no afectará la calidad de la iluminación de manera apreciable. Incluso si se trata de una sola luminaria, es aceptable hasta un 20% de desviación.

El parámetro principal a cambiar, por efectos de la arborización, es el avance de la luminaria sobre la calzada, el cual depende del brazo. De esta manera, se garantiza la efectividad y apariencia de la instalación de alumbrado.

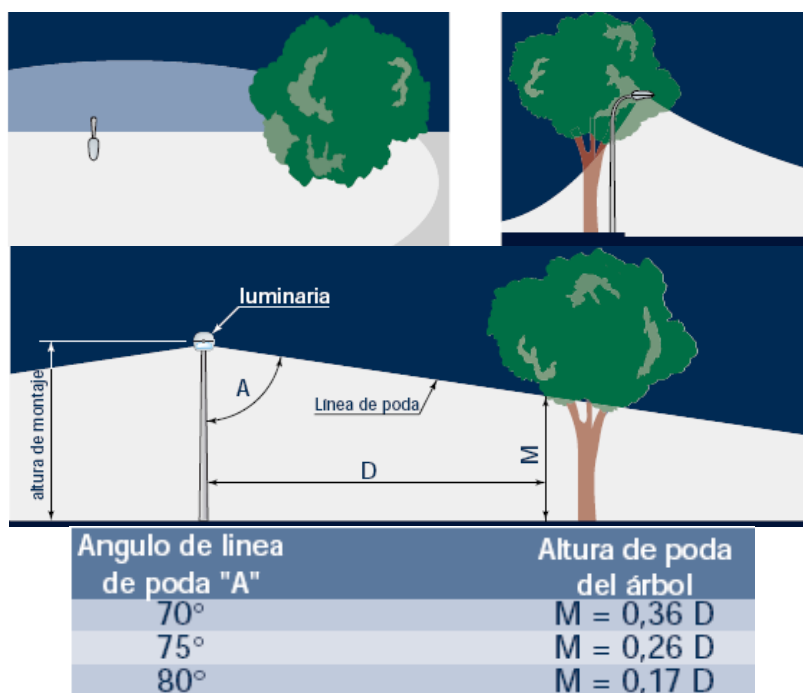


Fig.3.17 Separación mínima entre los árboles y los postes con las luminarias de alumbrado público, para evitar sombras sobre la vía

Es necesario coordinar entre los diferentes entes municipales, para la selección de las especies que mejor se adapten y no riñan con el principal objetivo del alumbrado público que está orientado a la seguridad de las personas ya sean peatones o que se movilicen en vehículos. [5]

3.9 CÁLCULOS DE ILUMINANCIA PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Para iniciar un cálculo lumínico destinado a alumbrado público, se deberán tener en cuenta tanto la función del espacio público como los detalles y características del sitio de instalación y de los puntos de luz.

La exigencia del alumbrado público está en relación directa con la intensidad del tráfico y la velocidad media de los vehículos que la transitan.

A continuación se definirá la forma de realizar cada uno de los cálculos lumínicos necesarios en los proyectos de iluminación:

3.9.1 ILUMINANCIA EN UN PUNTO

La metodología parte de la fórmula dada para la Ley del coseno que aplicada a la geometría del sistema dada en la Figura 3.18 permite obtener un valor para la Iluminancia horizontal en el punto. Donde h_m es la altura de montaje de la luminaria, γ es el ángulo de incidencia del haz de luz, $I_{\gamma,c}$ es la intensidad luminosa en candelas en dirección del punto P. El diseñador deberá obtener el valor de I_{γ} a partir de la matriz de intensidades y la geometría del sistema.

Es necesario tener en cuenta que si hay más de una fuente aportando luz al punto de cálculo P, es necesario considerar cada aporte por separado y luego sumarlos.

La iluminancia en un punto, también se puede obtener utilizando el diagrama con las curvas Isolux de la luminaria.

En los diagramas Isolux aparecen las iluminancias en valores reales o en porcentaje de la iluminancia máxima y generalmente se dan para una altura de montaje de la luminaria de 1,0 metro y flujo luminoso de la bombilla de 1000 lúmenes. La curva Isolux puede tener cualquier escala horizontal en mm o m.

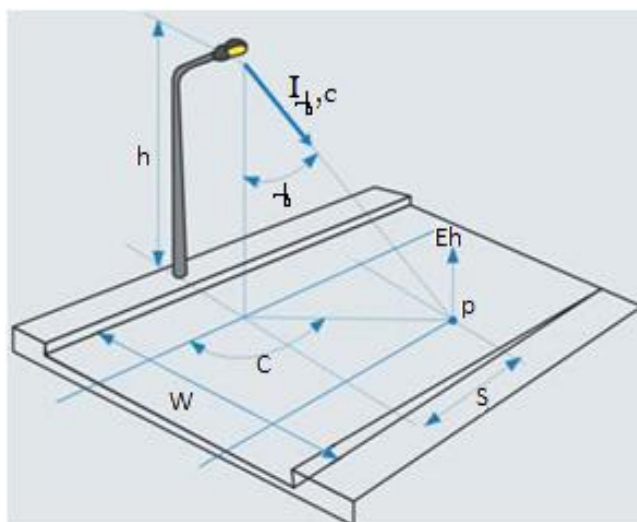


Fig.3.18 Parámetros para calcular la iluminancia en el punto P.

$$E_p = \sum^n \frac{I_{\gamma,c}}{h_m^2} \cos^3(\gamma)$$

Donde:

$I_{\gamma,c}$: Intensidad luminosa en dirección del punto P, determinada por los ángulos γ y c .

γ : Ángulo vertical sobre el plano C considerado.

h_m : Altura de montaje de la luminaria.

n : Número de luminarias.

Para obtener la iluminación producida por una luminaria en un punto, se toma el diagrama Isolux hecho en papel transparente, se coloca su centro sobre la proyección de la luminaria sobre el plano de la calzada, el cual se debe elaborar a un tamaño proporcional a la escala del diagrama Isolux dividido por la altura de montaje de la luminaria.

El valor de la iluminancia en el punto, se puede leer directamente del diagrama o si está en porcentaje de la iluminancia máxima, se puede obtener multiplicando el valor de la curva Isolux por:

$$E_{\max} = \phi = \frac{\text{Flujo de la bombilla utilizada}}{h_m^2}$$

Donde: h_m = Altura de montaje.

Cuando se tiene más de una luminaria en la calzada, que es el caso más real y se necesita conocer la iluminancia total en el punto P, con el aporte de cada una de las luminarias que tienen influencia en dicho punto, se debe realizar de la siguiente manera:

- Se dibuja el plano de la calzada en escala igual a la del diagrama Isolux de las luminarias, dividido entre la altura de montaje. En este plano se localizan las luminarias y el punto P.
- El diagrama Isolux, hecho en papel transparente, se hace girar 180° con respecto a las luminarias y se coloca en el punto central sobre el punto.

- Sin mover el diagrama se lee la contribución de todas las luminarias que tienen influencia sobre este punto.
- Se suman las contribuciones de cada una de las luminarias, obteniendo el valor de la iluminancia total sobre el punto P o el porcentaje de la E_{max} en este último caso se multiplica por $\frac{n\phi}{h_m^2}$, para obtener la iluminancia total sobre el punto en cuestión. [5]

3.9.2 MÉTODOS DE CÁLCULO DE ILUMINANCIA PROMEDIO DE UNA VÍA

Para los cálculos de Iluminancia promedio de una vía se debe aplicar cualquiera de los siguientes métodos:

3.9.2.1 MÉTODO EUROPEO DE LOS 9 PUNTOS

De acuerdo con el *método europeo* de los 9 puntos, que se usa para calcular la *Iluminancia promedio sobre la vía* en una instalación de *alumbrado público*, es necesario ubicar cada uno de estos puntos de cálculo sobre la porción de la vía considerada, definiendo un rectángulo de largo ($s/2$) por ancho (w).

De este modo, tal rectángulo se divide en cuatro partes, dos longitudinales y dos transversales, de modo que los puntos a considerar son cada uno de los vértices de los nuevos rectángulos generados. Así se obtienen los 9 puntos considerados en el método (figura 3.19). [5]

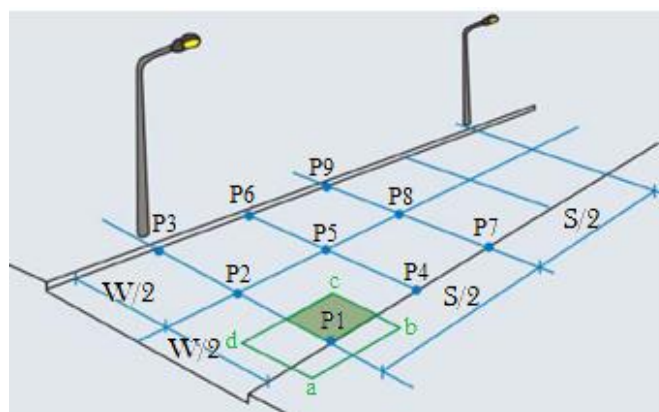


Fig.3.19 Cálculo de la iluminancia promedio método europeo de los 9 puntos

Se considera la iluminancia en cada punto de medida como la que corresponde a un rectángulo de dimensiones $(\frac{w}{2}) * (\frac{s}{2})$. La iluminancia promedio sobre la vía se calcula teniendo en cuenta la contribución de iluminancia de cada punto a la porción típica de vía. Así, los puntos extremos tienen una contribución de 0,25; los puntos intermedios de 0,5 y el punto central de 1.0.

Así, la iluminancia E_1 leída en el punto P_1 corresponde al área a, b, c, d , pero tan sólo la cuarta parte de esa área corresponde a un área sobre la vía considerada (área sombreada). Igual sucede con la iluminación de los puntos P_3, P_7 y P_9 . Por tanto la contribución de esos puntos debe ser ponderada al 25%.

Por idéntico razonamiento, los puntos P_2, P_4, P_6 y P_8 representan la iluminación de áreas que tan solo tienen el 50% sobre la vía, el punto P_5 , a diferencia de los demás, representa un área totalmente contenida en la vía por lo que su contribución al promedio es completa.

A partir de la lectura de la iluminación en los 9 puntos, la iluminación promedio sobre la vía se calcula con la fórmula siguiente:

$$E_{prom} = \frac{1}{16} \left[(E_1 + E_3 + E_7 + E_9) + 2 \times (E_2 + E_4 + E_6 + E_8) + 4 \times E_5 \right]$$

Siendo $E_1, E_2 \dots E_9$ las iluminancias en los puntos $P_1, P_2 \dots P_9$ respectivamente.

La Figura 3.20 ayuda a ubicar los nueve puntos, para diferentes sistemas de alumbrado, de acuerdo con la distribución de los postes y la forma de la vía. [5]

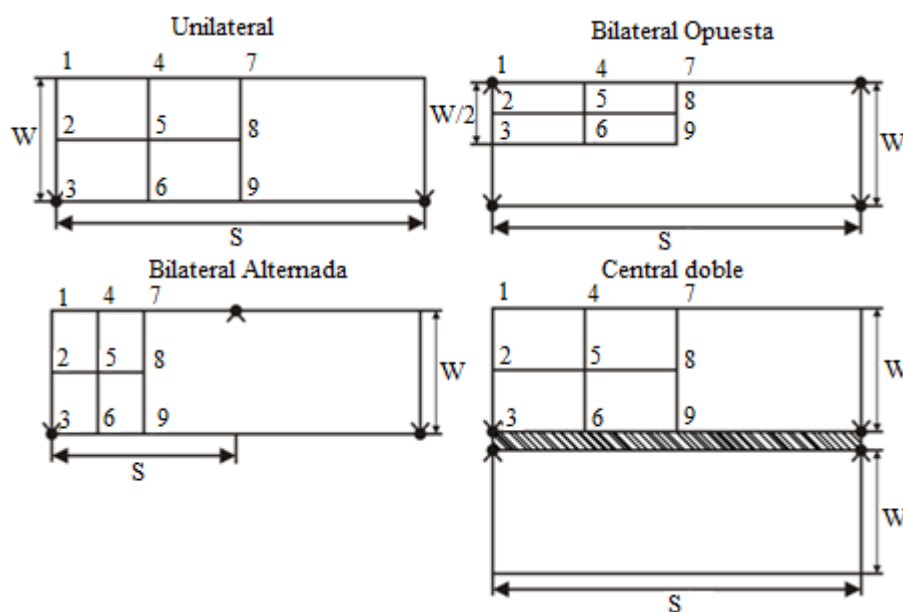


Fig.3.20 Selección de los 9 puntos según disposición de las luminarias

3.9.2.2 MÉTODO DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN

En el diseño de alumbrado público, uno de los documentos fotométricos que identifica una luminaria, es la curva del coeficiente de utilización K, el cual sirve para calcular, a partir del conocimiento de la geometría de la vía considerada y la disposición de las luminarias, la iluminancia media sobre la calzada.

En el proceso de diseño y a partir de una iluminancia media dada, puede usarse para calcular la interdistancia. Otra forma de aplicar esta curva, es calcular el flujo luminoso necesario para obtener una iluminancia dada, a partir de una interdistancia fija.

La fórmula general del cálculo es:

$$E_{prom} = \frac{\phi \times K_T \times F_M}{S \times W}$$

Donde:

E_{prom} = Iluminancia promedio sobre la calzada (lux).

ϕ = Flujo mantenido de la bombilla (lm).

K_i = Coeficiente de utilización del sistema total calculado (%).

F_M = Factor de mantenimiento.

S = Interdistancia de luminarias (m). Véase la Figura 3.22.

w = Ancho de vía (en m). Véase la Figura 3.21.

Las curvas de coeficiente de utilización k expresan el porcentaje del flujo luminoso emitido por la luminaria y que cae sobre la superficie de la calzada, en función del ancho de la misma. Como punto de referencia, se toma la vertical de la luminaria. Véase la Figura 3.21.

Una luminaria de alumbrado público tiene dos curvas k . La primera, denominada k_1 , representa el flujo luminoso hacia el frente, hacia adelante, hacia la calzada. La segunda, denominada k_2 , representa el flujo luminoso hacia atrás, hacia las casas, hacia el andén. Véase la Figura 3.22.

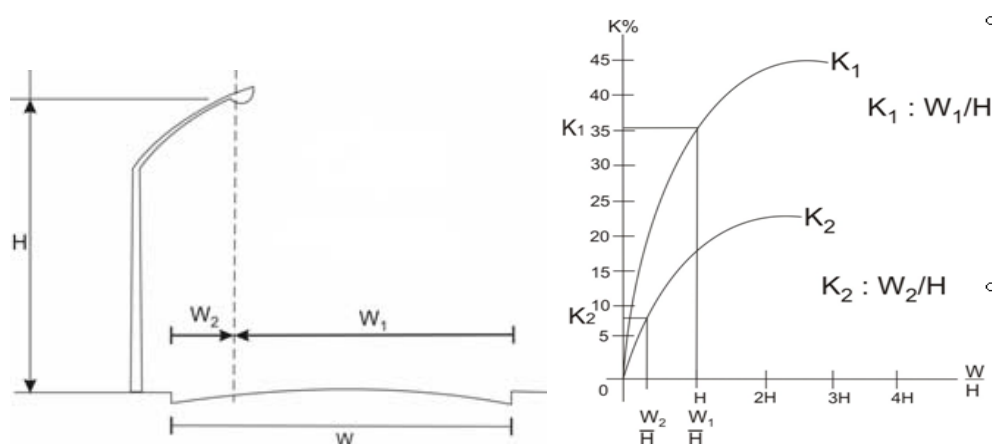


Fig.3.21 Determinación del Coeficiente de Utilización Fig.3.22 Curvas de coeficiente de Utilización

En la ordenada de la figura 3.22, se indica el valor del k en porcentaje y en la abscisa se indica el ancho de la calzada expresada en función de la altura de montaje H . Con el fin de facilitar su uso en diferentes esquemas de montaje.

Para calcular k_1 se calcula la relación W_1/H se ubica el valor en la abscisa de la figura 3.22 y se sigue verticalmente hasta cortar la curva k_1 . En este punto, horizontalmente se lee el valor k_1 . Igual procedimiento se sigue para el cálculo de k_2 pero utilizando el valor W_2 y la curva k_2 .

Dependiendo de la disposición de las luminarias, se obtiene el coeficiente de utilización total de la luminaria K_T de acuerdo con las figuras que se muestra:

En Localización Unilateral la vertical de la luminaria coincide con el borde de la calzada.

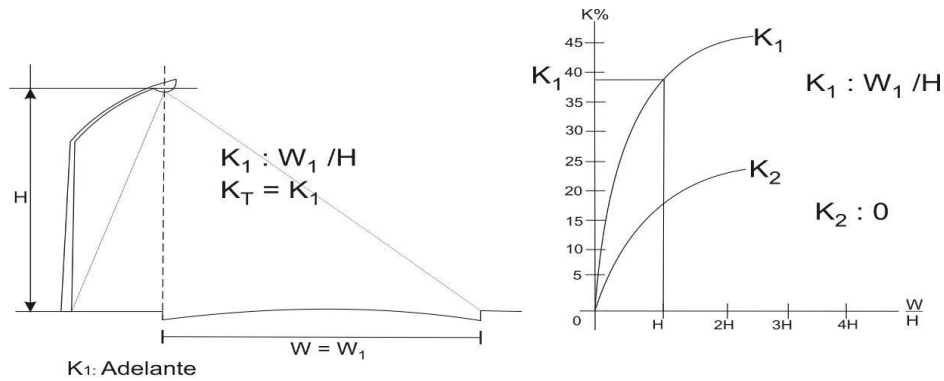


Fig.3.23 Localización unilateral de luminaria.

Cuando la luminaria está sobre la acera y avanza w_2 sobre la calzada.

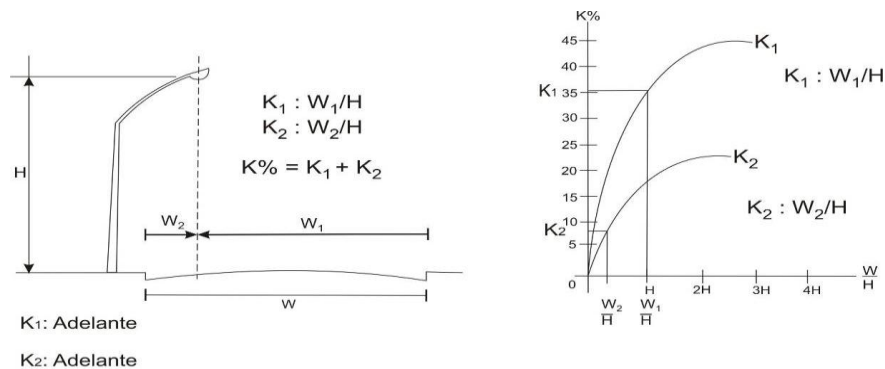


Fig.3.24 Luminaria sobre la calzada

La luminaria está sobre la acera, a w_2 de la calzada.

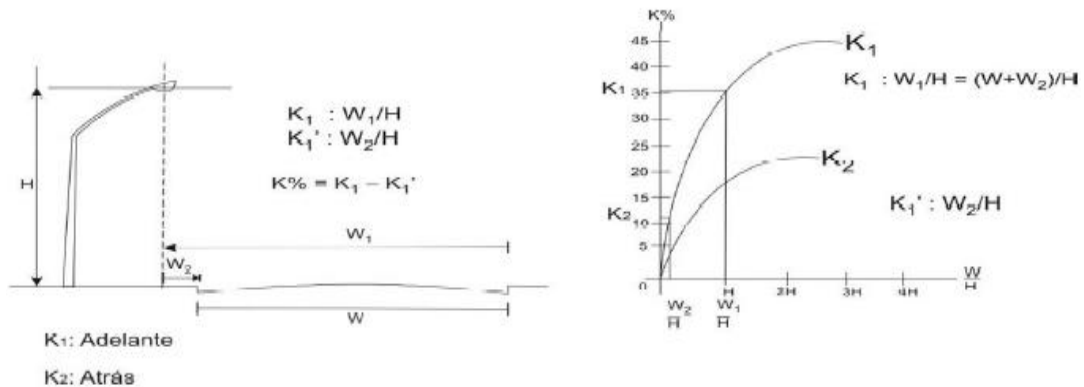


Fig.3.25 Luminaria sobre la acera

La luminaria ilumina la calzada con el flujo de atrás y está localizada a w_2 de la calzada.

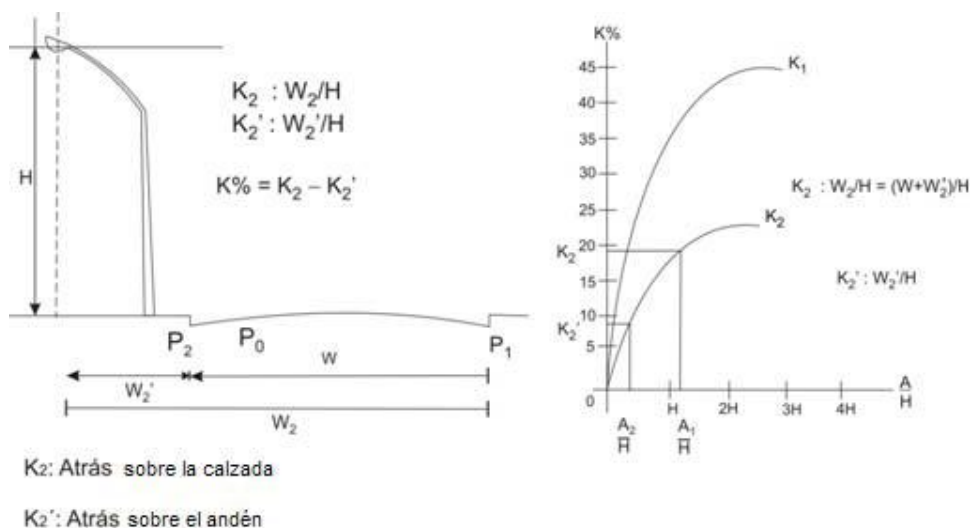


Fig.3.266 Luminaria ubicada tras la calzada y la acera.

Localización bilateral alternada (tres bolillos). Fig. 3.27. El cálculo es idéntico al cálculo de K en la localización unilateral. Suponiendo todas las luminarias localizadas del mismo lado, si los avances o retrocesos de las luminarias son diferentes de un lado con relación al otro, se deben efectuar dos cálculos y el coeficiente K , será la suma de los valores encontrados.

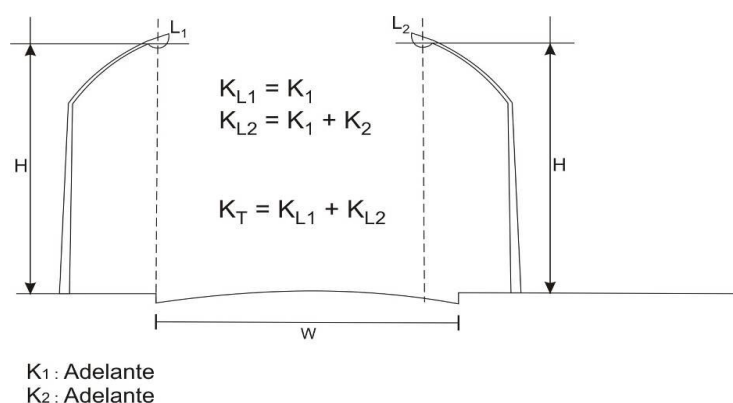


Fig.3.27 Localización bilateral alternada (zig-zag ó tres bolillos)

Localización bilateral opuesta. El cálculo es idéntico al cálculo del coeficiente K en localización unilateral, para cada uno de los lados, con la misma observación hecha para el caso de la localización bilateral alternada, con relación a los avances y retrocesos de las luminarias.

Es evidente sin embargo, que el número de luminarias que se toma en consideración, es el doble con relación a la localización unilateral.

Localización central doble. En la figura 3.28, se calcula separadamente el coeficiente de utilización de cada luminaria siguiendo el procedimiento analizado en los casos mencionados anteriormente. [5]

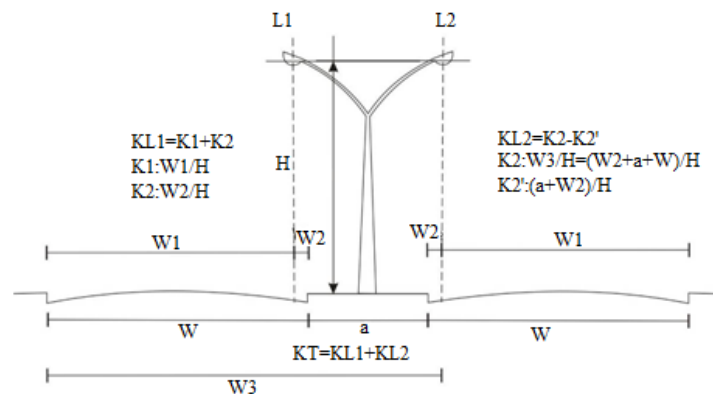


Fig.3.28 Localización central doble

3.10 CÁLCULO DE LUMINANCIA PARA ALUMBRADO PÚBLICO

Este modelo de cálculo debe ser aplicado a calzadas secas y rectas. Es claro el hecho que la visión cómoda y segura depende del contraste y acomodación del ojo y que a su vez estos factores dependen de la luminancia tanto sobre la vía como sobre los objetos a ver. Así, la iluminancia es un factor que depende de la cantidad de luz que incida sobre la vía, en tanto que la luminancia depende de la cantidad de luz reflejada que llega al observador.

En consecuencia, la luminancia en alumbrado público depende de:

- La cantidad de luz que llega a la calzada.
- La posición del observador.
- Las características reflectivas propias de la calzada. [5]

3.10.1 COEFICIENTE DE LUMINANCIA.

Para poder calcular la luminancia de una superficie es necesario conocer sus propiedades de reflexión.

Para tales efectos, se puede definir un coeficiente de reflexión q , como la relación entre la luminancia y la iluminancia de un punto de la superficie de tal modo que:

$$q = \frac{L}{E_h}$$

Donde:

q = Coeficiente de luminancia en el punto P.

L = Luminancia en el punto P

E_h = Iluminancia horizontal en el punto P.

$$q = f(\text{calzada}, \alpha, \beta, \gamma, \delta)$$

El coeficiente de luminancia para una calzada dada es función de la dirección de incidencia de la intensidad luminosa, de la dirección de observación y de manera general de los cuatro ángulos $(\alpha, \beta, \gamma, \delta)$, representados en la figura 3.29.

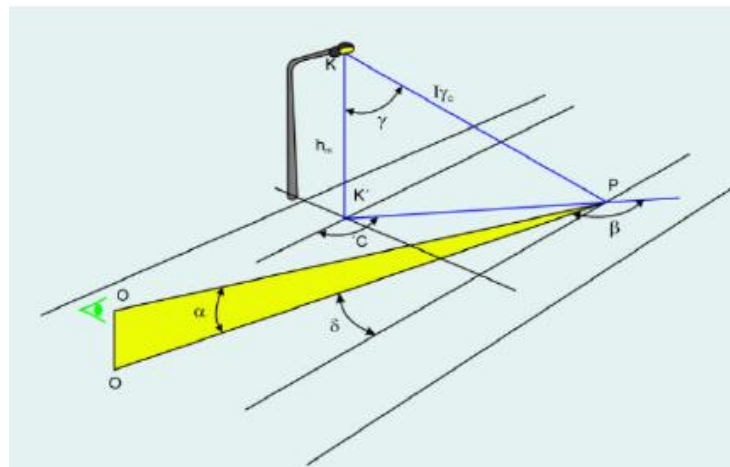


Fig.3.29 Parámetros a considerar en el cálculo de luminancia

Para el área de la calzada considerada por un conductor comprendida entre 60 m y 160 m delante de él, α sólo varía entre $0,5^\circ$ y $1,5^\circ$. Dado que la dependencia de q con respecto a α permanece prácticamente constante, es usual que los coeficientes de luminancia sean determinados con α mantenida constante a 1° en relación con el ángulo δ , que varía entre 0° y 20° , no incide en el cálculo y en la práctica se desprecia.

En consecuencia, el coeficiente de luminancia, para una calzada específica, depende de la posición del observador y de la posición de la fuente de luz con respecto al punto considerado (ver figura 3.29) de modo que pueda establecerse una función.

$$q = f(\beta, \gamma)$$

Así, pues, el coeficiente q puede tabularse en función de las dos variables independientes descritas β y γ en diferentes tabulaciones de acuerdo con otros factores que diferencian las características reflectivas de las calzadas.

Se pueden introducir otros factores en la tabulación con el fin de simplificar el cálculo, obteniendo entonces una tabulación más fácil de manejar porque los términos I (Intensidad luminosa), H (Altura de montaje de la fuente) están disponibles más fácilmente en el sistema. [5]

En conclusión la luminancia puede definirse de la siguiente manera:

$$L = q * E$$

$$E = \frac{I}{H^2} * \cos^3(\gamma)$$

$$L = \frac{I}{H^2} * [q * \cos^3(\gamma)]$$

El término $[q * \cos^3(\gamma)]$ se conoce como coeficiente reducido de luminancia r , en consecuencia:

$$L = \frac{I}{H^2} * r$$

3.10.1.1 COEFICIENTE REDUCIDO DE LUMINANCIA r

Las tablas que caracterizan las propiedades reflectivas de una superficie no se dan en términos del coeficiente de luminancia q sino del coeficiente de reducción de luminancia r . Estas tabulaciones características se denominan Tablas R.

A partir de las Tablas R es fácil calcular la luminancia en cada punto, pues basta determinar los ángulos β y γ del punto considerado para tener el factor r .

La intensidad luminosa y la altura de montaje se calculan con la matriz de intensidades de la luminaria y con la geometría del sistema respectivamente. [5]

3.10.2 CLASIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES DE LAS CALZADAS (ESTADO SECO).

Para los cálculos de luminancia, las propiedades de reflexión de la superficie de una vía se deben definir con tres parámetros característicos que son:

- El factor especular S_1 definido como la relación $r(0,2)/r(0,0)$.
- El factor especular S_2 definido como la relación $Q_o/r(0,0)$.
- El coeficiente promedio de luminancia Q_o conocido también como grado de claridad de la superficie.

$r(0,2)$: Significa el coeficiente reducido de luminancia evaluado para $\beta = 0^\circ$ y $\tan(\gamma) = 2$.

$r(0,0)$: Significa el coeficiente reducido de luminancia evaluado para $\beta = 0^\circ$ y $\tan(\gamma) = 0$.

$$Q_o = \frac{\int_{\omega} q d\omega}{\int_{\omega} d\omega}$$

Donde:

q =Coeficiente de luminancia (depende de los ángulos β y γ).

ω = Ángulo sólido que contiene todas aquellas direcciones de incidencia de luz sobre un punto en la vía y que se toman en cuenta en el proceso de medida (β varía entre 0° y 180° y γ varía entre 0° y 90°).

Si para verificar en el terreno los cálculos de luminancia se utilizan las tres características, (S_1 , S_2 y Q_o) estas se deben determinar mediante mediciones sobre una muestra real de la calzada, lo cual permite definir la matriz del revestimiento de la calzada. Para estas mediciones se podrá utilizar un instrumento denominado Reflectómetro de superficies de calzadas.

Cuando no se puedan hacer las medidas reales de la superficie de la calzada, se podrán estimar las características de la superficie usando valores normalizados, para ello las calzadas se han clasificado de acuerdo con los tres factores definidos anteriormente y se tienen cuatro calzadas tipo. [5]

Tabla 3.9 Clasificación de superficies según el factor.

Clase	Variación S1	S1	S2	Qo	Reflexión
R1	$S1 < 0,42$	0,25	1,53	0,10	Casi difusa
R2	$0,42 \leq S1 < 0,85$	0,58	1,80	0,07	Difuso especular
R3	$0,85 \leq S1 < 1,35$	1,11	2,38	0,07	Ligeramente especular
R4	$S1 \geq 1,35$	1,55	3,03	0,08	Especular

El coeficiente **S_r** es el que define la forma básica del cuerpo **R**, aunque el brillo sea el mismo, una superficie reflejará diferente cantidad de luz según varíe este coeficiente. Ver Tabla 3.9.

Cada tipo de superficie de calzada de la misma clase se caracterizará por un solo cuerpo o Tabla R típico de esa clase. Esto hace que las tablas R funcionen como patrón mediante la cual pueden llevarse a cabo los cálculos de luminancia.

Las características resumidas de las cuatro Tablas R, se dan a continuación.

Tabla 3.10 Clasificación de superficies según el factor.

Clase	Características de Superficie
R1	Superficies de asfalto con un mínimo del 15 % de materiales abrillantadores o materiales artificiales claros. Superficies que contienen gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o de abrillantadores. Superficies de calzada de hormigón de concreto.
R2	Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contienen el 10% al 15% de abrillantadores artificiales). Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10 mm. Asfalto mastico después de ser tratado. Se conoce también como asfalto mastico en estado nuevo.
R3	Revestimiento en Hormigón bituminoso (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm, con textura rugosa Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.
R4	Asfalto mastico después de varios meses de uso Superficies con textura bastante suave o pulimentada.

Cuando el valor Q_0 de una superficie sea diferente al valor para el cual se hizo la tabla patrón, los valores R de la tabla patrón deberán multiplicarse por la relación entre el valor Q_0 real de la superficie y el valor Q_0 de la tabla patrón. [5]

La luminancia en un punto se determina aplicando la siguiente fórmula o una fórmula matemáticamente equivalente:

$$L = \frac{\sum I(C, \gamma) * r * \phi * FM * 10^{-4}}{H^2}$$

En donde:

L: Es la luminancia mantenida en cd/m^2

\sum : Representa la sumatoria de las contribuciones de todas las luminarias.

r: Es el coeficiente de luminancia reducido, para un rayo de luz que inicia con unas coordenadas angulares (β, γ) .

$I(C, \gamma)$: Es la intensidad luminosa en la dirección (C, γ) , cd/klm .

ϕ : Es el flujo luminoso inicial en klm de las fuentes de cada luminaria.

FM: Factor de mantenimiento.

H: Es la altura de montaje en m de la luminaria por encima de la superficie de la calzada.

3.10.2.1 TABLAS R

Son el resultado de análisis de observaciones y mediciones en distintos lugares y se deben aplicar de acuerdo con el tipo de superficie descrito en la tabla 3.11. [5]

Tabla 3.11 Tabla r para superficie estándar R1.

	Qo=0.10								S1=0.25								S2=1.53							
$\tan(\gamma)\backslash\beta$	0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105	120	135	150	165	180				
0.00	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655	655				
0.25	619	619	619	619	610	610	610	610	610	610	610	610	610	601	601	601	601	601	601	601				
0.50	539	539	539	539	539	539	521	521	521	521	521	503	503	503	503	503	503	503	503	503				
0.75	431	431	431	431	431	431	431	431	431	431	395	386	371	371	371	371	371	371	386	395				
1.00	341	341	341	341	323	323	305	296	387	387	278	269	269	269	269	269	269	269	278	278				
1.25	269	269	269	260	251	242	224	207	198	189	189	180	180	180	180	180	189	198	207	224				
1.50	224	224	224	215	198	180	171	162	153	148	144	144	139	139	139	144	148	153	162	180				
1.75	189	189	189	171	153	139	130	121	117	112	108	103	99	99	103	108	112	121	130	139				
2.00	162	162	157	135	117	108	99	94	90	85	85	83	84	84	86	90	94	99	103	111				
2.50	121	121	117	95	79	66	60	57	54	52	51	50	51	52	54	58	61	65	69	75				
3.00	94	94	86	66	49	41	387	36	34	33	32	31	31	33	35	38	40	43	47	51				
3.50	81	80	66	46	33	28	25	23	22	22	21	21	22	22	24	27	29	31	34	38				
4.00	71	69	55	32	23	20	18	16	15	14	14	14	15	17	19	20	22	23	25	27				
4.50	63	59	43	24	17	14	13	12	12	11	11	11	12	13	14	14	16	17	19	21				
5.00	57	52	36	19	14	12	10	9.0	9.0	8.8	8.7	8.7	9.0	10	11	13	14	15	16	16				
5.50	51	47	31	15	11	9.0	8.1	7.8	7.7	7.7														
6.00	47	42	25	12	8.5	7.2	6.5	6.3	6.2															
6.50	43	38	22	10	6.7	5.8	5.2	5.0																
7.00	40	34	18	8.1	5.6	4.8	4.4	4.2																
7.50	37	31	15	6.9	4.7	4.0	3.8																	
8.00	35	28	14	5.7	4.0	3.6	3.2																	
8.50	33	25	12	4.8	3.6	3.1	2.9																	
9.00	31	23	10	4.1	3.2	2.8																		
9.50	30	22	9.0	3.7	2.8	2.5																		
10.00	29	20	8.2	3.2	2.4	2.2																		
10.50	28	18	7.3	3.0	2.2	1.9																		
11.00	27	16	6.6	2.7	1.9	1.7																		
11.50	26	15	6.1	2.4	1.7																			
12.00	25	14	5.6	2.2	1.6																			

Tabla 3.12 Tabla r para superficie estándar R2

	Qo=0.07								S1=0.58								S2=1.80							
$\tan(\gamma) \backslash \beta$	0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105	120	135	150	165	180				
0.00	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390	390				
0.25	411	411	411	411	411	411	411	411	411	411	379	368	357	357	346	346	346	335	335	355				
0.50	411	411	411	411	403	403	384	379	370	346	325	303	281	281	271	271	271	260	260	260				
0.75	379	379	379	369	357	346	325	303	281	260	238	216	206	206	206	206	206	206	206	206				
1.00	335	335	335	325	292	291	260	238	216	195	173	152	152	152	152	152	141	141	141	141				
1.25	303	303	292	271	238	206	184	152	130	119	108	100	103	106	108	108	114	114	119	119				
1.50	271	271	260	227	179	152	141	119	108	93	80	76	76	80	84	87	89	91	93	95				
1.75	249	238	227	195	152	124	106	91	78	67	61	52	54	58	63	67	69	71	73	74				
2.00	227	216	195	152	117	95	80	67	61	52	45	40	41	45	49	52	54	56	57	58				
2.50	195	190	146	110	74	58	48	40	35	30	27	24	26	28	30	33	35	38	40	41				
3.00	160	155	115	67	43	33	26	21	18	17	16	16	17	17	18	21	22	24	26	27				
3.50	146	131	87	41	25	18	15	13	12	11	11	11	11	11	12	14	15	17	18	21				
4.00	132	113	67	27	15	12	10	9.4	8.7	8.2	7.9	7.6	7.9	8.7	9.6	11	121	13	15	17				
4.50	118	95	50	20	12	8.9	7.4	6.6	6.3	6.1	5.7	5.6	5.8	6.3	7.1	8.4	10	12	13	14				
5.00	106	81	38	14	8.2	6.3	5.4	5.0	4.8	4.7	4.5	4.4	4.8	5.2	6.2	7.4	8.5	9.5	10	11				
5.50	96	69	29	11	6.3	5.1	4.4	4.1	3.9	3.8														
6.00	87	58	22	8.0	5.0	3.9	3.5	3.4	3.2															
6.50	78	50	17	6.1	3.8	3.1	2.8	2.7																
7.00	71	43	14	4.9	3.1	2.5	2.3	2.2																
7.50	67	38	12	4.1	2.6	2.1	1.9																	
8.00	63	33	10	3.4	2.2	1.8	1.7																	
8.50	58	28	8.7	2.9	1.9	1.6	1.5																	
9.00	55	25	7.4	2.5	1.7	1.4																		
9.50	52	23	6.5	2.2	1.5	1.3																		
10.00	49	21	5.6	1.9	1.4	1.2																		
10.50	47	18	5.0	1.7	1.3	1.2																		
11.00	44	16	4.4	1.6	1.2	1.1																		
12.00	41	13	3.6	1.4	1.1																			

Tabla 3.13 Tabla r para superficie estándar R3.

	Qo=0.07								S1=1.11								S2=2.38							
$\tan(\gamma) \backslash \beta$	0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°				
0.00	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294				
0.25	326	326	321	321	317	312	308	308	303	298	294	280	271	262	158	253	249	244	240	240				
0.50	344	344	339	339	326	317	308	298	289	276	262	235	217	204	199	199	199	199	194	194				
0.75	357	353	353	339	321	303	285	267	244	222	204	176	158	149	149	149	145	136	136	140				
1.00	362	362	352	326	276	249	226	204	181	158	140	118	104	100	100	100	100	100	100	100				
1.25	357	357	248	298	244	208	176	154	136	118	104	83	73	70	71	74	77	77	77	78				
1.50	353	348	326	267	217	176	145	117	100	86	78	72	60	57	58	60	60	60	61	62				
1.75	359	335	303	231	172	127	104	89	79	70	62	51	45	44	45	46	45	45	46	47				
2.00	326	321	280	190	136	100	82	71	62	54	48	39	34	34	34	35	36	36	37	38				
2.50	289	280	222	127	86	65	54	44	38	34	25	23	22	23	24	24	24	24	24	25				
3.00	253	235	163	85	53	38	31	25	23	20	18	15	15	14	15	15	16	16	17	17				
3.50	217	194	122	60	35	25	22	19	16	15	13	9.9	9.0	9.0	9.9	11	11	12	12	13				
4.00	190	163	90	43	26	20	16	14	12	9.9	9.0	7.4	7.0	7.1	7.5	8.3	8.7	9.0	9.0	9.9				
4.50	163	136	73	31	20	15	12	9.9	9.0	8.3	7.7	5.4	4.8	4.9	5.4	6.1	7.0	7.7	8.3	8.5				
5.00	145	109	60	24	16	12	9.0	8.2	7.7	6.8	6.1	4.3	3.2	3.3	3.7	4.3	5.2	6.5	6.9	7.1				
5.50	127	94	47	18	14	9.9	7.7	6.9	6.1	5.7														
6.00	113	77	36	15	11	9.0	8.0	6.5	5.1															
6.50	104	68	30	11	8.3	6.4	5.1	4.3																
7.00	95	60	24	6.5	6.5	5.2	4.3	3.4																
7.50	87	53	21	7.1	5.3	4.4	3.6																	
8.00	83	47	17	6.1	4.4	3.6	3.1																	
8.50	78	42	15	5.2	3.7	3.1	2.6																	
9.00	73	38	12	4.3	3.2	2.4																		
9.50	69	34	9.9	3.8	3.5	2.2																		
10.00	65	32	9.0	3.3	2.4	2.0																		
10.50	62	29	8.0	3.0	2.1	1.9																		
11.00	59	26	7.1	2.6	1.9	1.8																		
11.50	56	24	6.3	2.4	1.8																			
12.00	53	22	5.6	2.1	1.8																			

Tabla 3.14 Tabla r para superficie estándar R4

	Qo=0.08								S1=1.55								S2=3.04							
$\tan(\gamma) \backslash \beta$	0°	2°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°				
0.00	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264	264				
0.25	297	317	317	317	317	310	304	290	284	277	271	244	231	224	224	218	218	211	211	211				
0.50	330	343	343	343	330	310	297	284	277	264	251	218	198	185	178	172	172	165	165	165				
0.75	376	383	370	350	330	304	277	251	231	211	198	165	139	132	132	125	125	125	119	119				
1.00	396	396	396	330	290	251	218	198	185	165	145	112	86	86	86	86	86	87	87	87				
1.25	403	409	370	310	251	211	278	152	132	115	103	77	66	65	65	63	65	66	67	68				
1.50	409	396	356	284	218	172	139	115	100	88	79	61	50	50	50	50	52	55	55	55				
1.75	409	396	343	351	178	139	108	88	75	66	59	44	37	37	37	38	40	41	42	45				
2.00	409	383	317	224	145	106	86	71	59	53	45	33	29	29	29	30	32	33	34	37				
2.50	396	356	364	152	100	73	55	45	37	32	28	21	20	20	20	21	22	24	25	26				
3.00	370	304	211	95	63	44	30	25	21	17	16	13	12	12	13	13	15	16	17	19				
3.50	343	271	165	63	40	26	19	15	13	12	11	9.8	9.1	8.8	8.8	9.4	11	12	13	15				
4.00	317	238	132	45	24	16	13	11	9.6	9.0	8.4	7.5	7.4	7.4	7.5	7.9	8.6	9.4	11	12				
4.50	297	211	106	33	17	11	9.2	7.9	7.3	6.6	6.3	6.1	6.1	6.2	6.5	6.7	7.1	7.7	8.7	9.6				
5.00	277	185	79	24	13	8.3	7.0	6.3	5.7	5.1	5.0	5.0	5.1	5.4	5.5	5.8	6.1	6.3	6.9	7.7				
5.50	257	161	59	19	9.9	7.1	5.7	5.0	4.6	4.2														
6.00	244	140	46	13	7.7	5.7	4.8	4.1	3.8															
6.50	231	122	37	11	5.9	5.6	3.7	3.2																
7.00	218	106	32	9.0	5.0	3.8	3.2	2.6																
7.50	205	94	26	7.5	4.4	3.3	2.8																	
8.00	193	82	22	6.3	3.7	2.9	2.4																	
8.50	194	74	19	5.3	3.2	2.5	2.1																	
9.00	174	66	16	4.6	2.8	2.1																		
9.50	169	59	13	4.1	2.5	2.0																		
10.00	164	53	12	3.7	2.2	1.7																		
10.50	158	49	11	3.3	2.1	1.7																		
11.00	153	45	9.5	3.0	2.0	1.7																		
11.50	149	41	8.4	2.6	1.7																			
12.00	145	37	7.7	2.5	1.7																			

3.11 ESQUEMA DE MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES DE ALUMBRADO PÚBLICO

Todas las instalaciones de alumbrado público deben contar con un plan de mantenimiento que garantice el mantenimiento de los niveles de eficiencia energética y los parámetros de iluminación. Este plan de mantenimiento debe incluir entre otras informaciones, el periodo de limpieza del conjunto óptico de las luminarias y de cambio de las bombillas. (Figura 3.30). La curva B corresponde a la curva de depreciación del flujo luminoso de la bombilla (DLB). La curva C corresponde a la curva del factor de ensuciamiento (F_E).

El diseñador de un proyecto de alumbrado público debe presentar el esquema de mantenimiento de la instalación de alumbrado, con base en los datos que utilizó para el cálculo de factor de mantenimiento (F_M).

La periodicidad de la limpieza del conjunto óptico de la luminaria y del cambio de las bombillas debe ser tal que garanticen que la instalación de alumbrado público no va a estar funcionando con valores de iluminancia promedio por debajo de los mínimos mantenidos.

Hay que resaltar, como se puede ver en la figura 3.30, que con el mantenimiento nunca se restablecen las condiciones iniciales, por cuanto hay factores que son no controlables, como la depreciación de la luminaria debido al envejecimiento y a la degradación de sus materiales, que producen un aumento de la opacidad y/o reducción de reflectividad en los materiales del conjunto óptico de la luminaria. A medida que pasa el tiempo, el valor de iluminancia promedio de la instalación se va alejando del valor inicial de iluminancia promedio (100%), hasta llegar al final de la vida útil de las luminarias. Un caso extremo sería cuando las luminarias con bombillas nuevas, escasamente produzcan el valor de iluminancia mínimo mantenido.

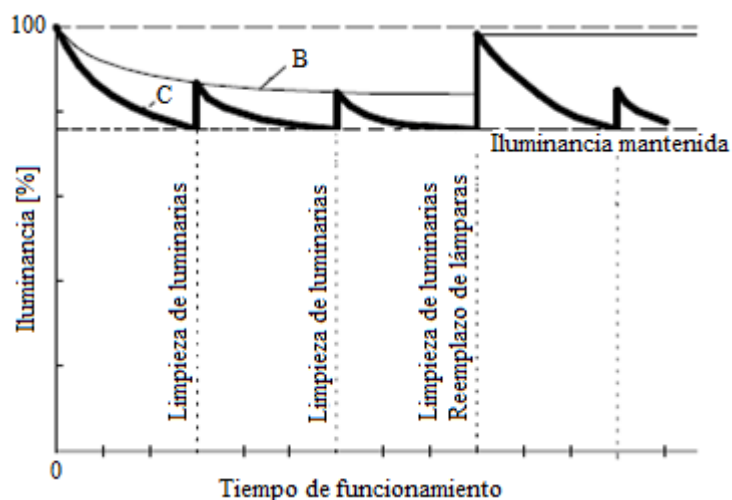


Fig.3.30 Esquema de mantenimiento de una instalación de alumbrado público

El operador del servicio de alumbrado público debe tener en cuenta, para el programa de mantenimiento de las instalaciones de alumbrado público, el esquema de mantenimiento establecido en el diseño del proyecto; aunque con base en los resultados de los trabajos de mantenimiento, el operador deberá ir haciendo ajustes a la curva del programa de mantenimiento suministrada por el diseñador del proyecto, con todas las actividades necesarias para garantizar los niveles de iluminación diseñados y establecidos al recibo inicial del proyecto. [5]

3.12 NIVELES DE ILUMINACIÓN EN ÁREAS CRÍTICAS

La tabla 3.15 establece los requisitos fotométricos para las denominadas áreas críticas. [5]

Tabla 3.15 Valores de iluminancia para áreas críticas.

Categoría	Nivel medio de iluminancia E_m (lux)	Coficiente global uniformidad U_o
C0	≥ 50	$\geq 0,4$
C1	≥ 30	
C2	≥ 20	
C3	≥ 15	
C4	≥ 10	
C5	$\geq 7,5$	

En áreas críticas que pertenezcan a vías vehiculares se deberán aplicar los criterios y clases de iluminación según la tabla 5.16.

Tabla 3.16 Clases de iluminación en áreas críticas de vías vehiculares.

Área crítica		Clase de iluminación del área crítica (C) según clase de la vía a la que pertenece (M)
Pasos subterráneos		$C(N) = M(N)$
Intersecciones, cruces, rampas, puentes, entradas a divergencias o convergencias, áreas con ancho de carriles restringidos		$C(N) \text{ si } M(N)$
Cruces ferroviarios	Simples	$C(N) \text{ si } M(N)$
	Complejos	$C(N-1) \text{ si } M(N)$
Glorietas sin señalización	Grandes	C1
	Medianas	C2
	Pequeñas	C3
Área vehicular en fila de espera (p.ej. Aeropuertos, terminales de transporte, entre otros)	Grandes	C1
	Medianas	C3
	Pequeñas	C5

Nota: En esta tabla la letra entre paréntesis es el número de clase, así, $C(N)=M(N-1)$ significa que la clase de iluminación del área crítica es C2 si la vía más importante que llega al área crítica es M3

CAPITULO 4

MAPA LUMÍNICO DEL ÁREA URBANA DELA CIUDAD DE CUENCA

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se centra el desarrollo principal de este proyecto, puesto que aquí se indica en detalle los pasos que se siguen, los instrumentos y programas computacionales utilizados (*Luxómetro, Distanciómetro, Ulysse v2.2, DocWin v3.4 de la Schröder, ArcGIS v9.2*), el algoritmo desarrollado en el GUIDE del Matlab y la construcción del mapa lumínico en el ArcMap del SIG.

Es decir, en este capítulo se indica la metodología de trabajo aplicada, la cual básicamente consiste en la recopilación de información, uso de programas computacionales, creación de base de datos, procedimiento de las mediciones realizadas y finalmente la implementación del mapa lumínico.

4.2 SITUACIÓN ACTUAL

En su afán de brindar una mejor calidad de iluminación en las zonas urbanas de la ciudad, la Centrosur, como la Empresa prestadora del servicio de alumbrado público, ha visto la necesidad de asumir políticas que permitan mejorar el servicio, razón por la que ha implementado programas continuos de mejoras de iluminación y de mantenimiento.

Para el efecto, la Centrosur ha dividido el área urbana de la ciudad en 26 zonas (ver plano 1) y a pesar de que dispone de una serie de información acerca del alumbrado público, tales como diseños, planos constructivos, base de datos sobre características de luminarias, fecha de instalación, etc., la Empresa no dispone de una herramienta grafica que permita visualizar la iluminación en la ciudad.

4.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

4.3.1 HIPÓTESIS

Es posible con la construcción lógica de las bases de datos de las matrices de las luminarias, asociadas a un sistema cartográfico, construir el Mapa Lumínico de las áreas públicas de la ciudad de Cuenca, que contemplan calles, avenidas, parques, canchas, etc.

4.3.2 OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

- Construcción de un Mapa Lumínico.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Crear base de datos, construir y relacionar tablas lógicas que permitan asociar las matrices de las diferentes luminarias existentes a la cartografía de la ciudad
- Verificación de la cartografía existente
- Ajuste de la Matriz de intensidades de cada luminaria en la cartografía existente.
- Asociación de la base de datos que contiene la iluminancia, coordenadas, potencia, altura de la luminaria al ArcMap del SIG
- Construcción del Mapa Lumínico.
- Establecer métodos de Actualización.

4.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología adoptada para el desarrollo del proyecto, se indica en el diagrama de flujo presentado a continuación, cuya explicación de cada proceso realizado se indica en los puntos que siguen.

DIAGRAMA DE FLUJO

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Las Base de Datos de la Centrosur, utilizadas para el desarrollo de la Tesis son: manzanas, calles, predios, Luminaria, limiteurbano, las cuales están en el archivo denominado DATOS.dbf.

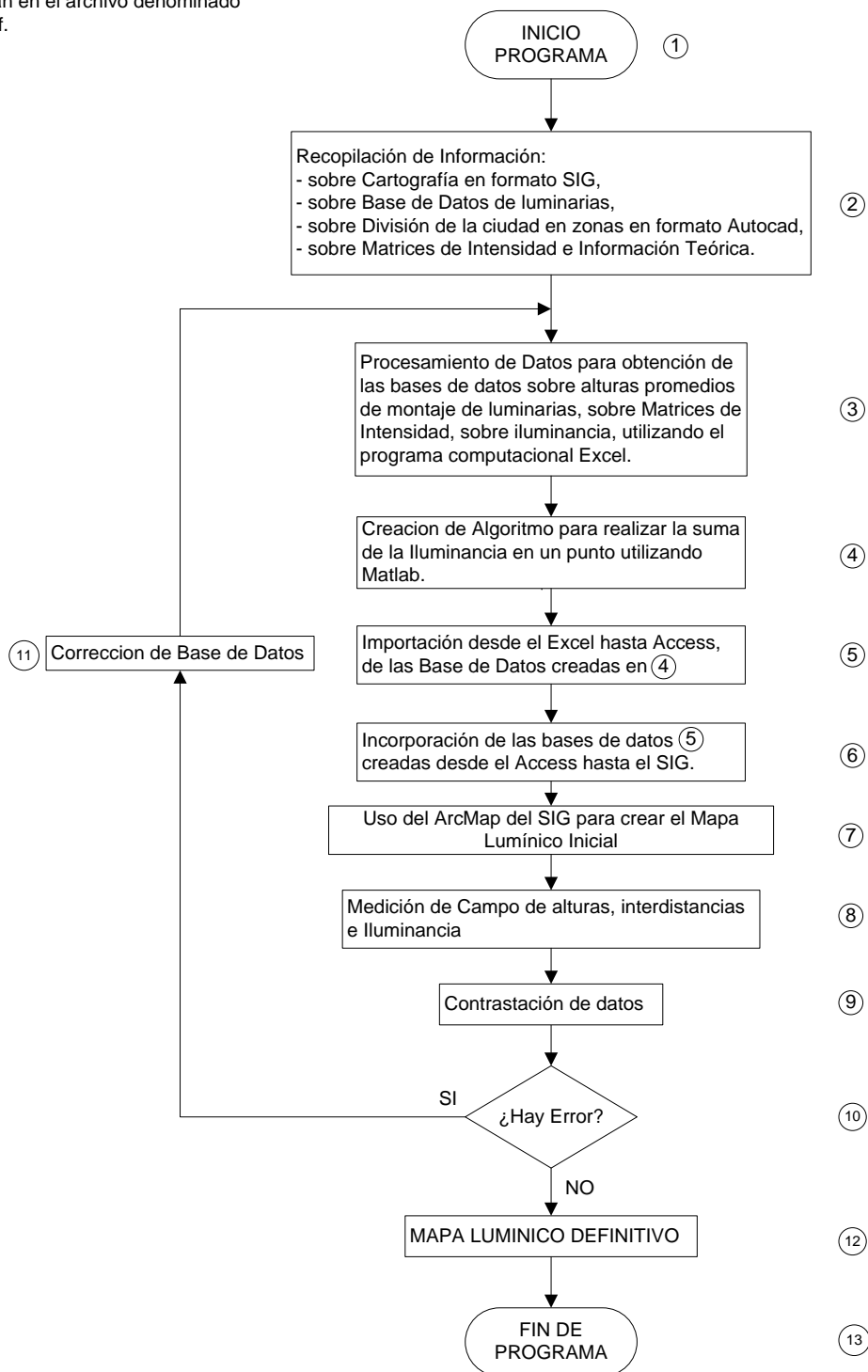


Fig.4.1 Metodología de Trabajo

4.5 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE.

La información facilitada por la Centrosur, es una geodatabase en la que se tiene las coordenadas de la luminaria referidas en el ArcMap del SIG, cuyo sistema de coordenada XY a la cual esta referenciada es WGS_1984_UTM_Zone_17S, el tipo de luminaria y su ángulo de rotación, la potencia, la estructura en la cual está instalada la luminaria, la fecha de instalación, tipo de estructura en donde está instalada (MT o BT), numero del poste, estructura con o sin transformador y otros, las cuales fueron utilizadas en el desarrollo del tema. Cabe indicar además, que la Centrosur dispone de otra información como son diseños de alumbrado por zonas, planos constructivos, diseños lumínico por zonas, etc., las cuales no fueron utilizadas. [Información disponible en la Base de Datos de la Centrosur, actualizada para el caso de la tesis el 13 de Diciembre del año 2010]. Además, es importante volver a indicar que el lugar de estudio sobre el cual se desarrollara el Mapa Lumínico es el área urbana de la ciudad de Cuenca, la cual de acuerdo a la Centrosur se ha dividido en 26 (ver plano 1), en donde la importancia de esta división esta en que permite entre otros aspectos, tener un mejor orden para realizar el mantenimiento, ya que de acuerdo a la programación que se tiene, cuando se realice mantenimiento, esta se llevara a cabo para toda la zona.

Por otro lado, la información facilitada por la Centrosur es la que se indicó anteriormente, sin embargo no abarca toda la información utilizada en el desarrollo de la tesis, porque adicionalmente se incorporó la base de datos de las matrices de intensidad de luminarias en el Excel, obtenidas de la base de datos de las referencias [9], [10].

Nota: En el anexo 1 se indica el certificado de autorización facilitada por la Empresa Schröder para uso del software Ulysse y DocWin.

4.6 PROCESAMIENTO DE DATOS

Varios son los programas computacionales utilizados, entre ellos esta Microsoft Excel, la cual nos servirá para manejarlas bases de datos de las Matrices de intensidad e importarlas a otros programas.

Microsoft Access necesario para importar la geodatabase personal al ArcMap del SIG, la cual contiene la información facilitada por la Centrosur y las creadas sobre las matrices de intensidad.

Matlab programa necesario para el desarrollo del algoritmo que realiza la suma de la iluminancia en un punto y el ArcMap del SIG necesaria para crear el Mapa Lumínico.

4.6.1 MICROSOFT EXCEL 2007

Considerando la compatibilidad del Excel con Matlab, con Access y el ArcMap del SIG, se crearan tablas de las alturas promedios, tablas de las matrices de intensidad, iluminancia, coordenadas de luminarias y otros parámetros, que al combinarlas, procesarlas, importarlas y graficarlas en el ArcMap del SIG cree el Mapa Lumínico.

4.6.1.1 TABLA DE ALTURAS PROMEDIOS DE MONTAJE DE LUMINARIAS

PASO 1: Para construir la tabla de alturas promedios a la cual esta montada una luminaria, antes se debe conocer los tipos de luminarias que la Centrosur maneja puesto que algunas luminarias ornamentales, ubicadas en parques o plazoletas, no fueron tomadas en cuenta, debido a que estas están emplazadas en el piso, y/o su contribución lumínica es baja, razón por la que fueron excluidas de la base de datos facilitada por la Centrosur.

Las luminarias excluidas son los siguientes:

Tabla 4.1 Luminarias Excluidas

DESCRIPCIÓN	POTENCIA	TIPO
PROYECTOR MH. 70W. EN PISO	70,00	MERCURIO REFLECTOR
PROYECTOR MH. 100W. EN PISO	100,00	MERCURIO REFLECTOR
PROYECTOR MH. 150W. EN PISO	150,00	MERCURIO REFLECTOR
PROYECTOR MH. 250W. EN PISO	250,00	MERCURIO REFLECTOR
LUMINARIA FLUORESCENTE DECORATIVA 26W.	26,00	FLUORESCENTE DECORATIVA
LUMINARIA TIPO LED 3.6W.	3,60	LED

Las luminarias consideradas para el proyecto son luminarias abiertas y cerradas de sodio de simple nivel y de doble nivel, luminarias cerradas de mercurio, proyectores y luminarias ornamentales de sodio y mercurio, las cuales

fueron tomadas de la base de datos de la Centrosur facilitada el 13 de Diciembre de 2010.

Tabla 4.2 Tipos de Luminarias consideradas para el proyecto

DESCRIPCION	Nº LUM	POTENCIA	TIPO
LUMINARIA ABIERTA NA. 150W	3	150	SODIO
LUMINARIA ABIERTA NA. 150W AUTOCONTROLADA	28	150	SODIO
LUMINARIA ABIERTA NA. 70W AUTOCONTROLADA	8	70	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA. 70W	253	70	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA. 150W	2006	150	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA. 250W	2664	250	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA. 400W	613	400	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA. 70W AUTOCONTROLADA	397	70	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA. 150W AUTOCONTROLADA	3013	150	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA. 250W AUTOCONTROLADA	1618	250	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA. 400W AUTOCONTROLADA	86	400	SODIO
LUMINARIA ABIERTA HG. 175W	28	175	MERCURIO
LUMINARIA ABIERTA HG. 175W AUTOCONTROLADA	214	175	MERCURIO
LUMINARIA CERRADA HG. 175W	197	175	MERCURIO
LUMINARIA CERRADA HG. 250W	114	250	MERCURIO
LUMINARIA CERRADA HG. 400W	56	400	MERCURIO
LUMINARIA CERRADA HG. 175W AUTOCONTROLADA	45	175	MERCURIO
LUMINARIA CERRADA HG. 250W AUTOCONTROLADA	44	250	MERCURIO
LUMINARIA CERRADA NA. 100W	335	100	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA. 100W AUTOCONTROLADA	809	100	SODIO
LUMINARIA CERRADA HG. 125W	54	125	MERCURIO
LUMINARIA CERRADA HG. 125W AUTOCONTROLADA	21	125	MERCURIO
LUMINARIA CERRADA HG. 400W AUTOCONTROLADA	4	400	MERCURIO
PROYECTOR NA. 400W	590	400	SODIO REFLECTOR
PROYECTOR NA. 250W	70	250	SODIO REFLECTOR
PROYECTOR NA. 250W DNP	73	250	SODIO REFLECTOR
PROYECTOR NA. 400W DNP	416	400	SODIO REFLECTOR
PROYECTOR HG. 400W HALOGENADO	6	400	MERCURIO REFLEC
PROYECTOR NA. 150W	59	150	SODIO REFLECTOR
LUMINARIA ORNAMENTAL NA. 70W	214	70	SODIO
LUMINARIA ORNAMENTAL NA. 150W	391	150	SODIO
LUMINARIA ORNAMENTAL HG. 125W	87	125	MERCURIO
LUMINARIA ORNAMENTAL HG. 175W	96	175	MERCURIO
LUMINARIA ORNAMENTAL HG. 70W HALOGENADA	30	70	MERCURIO
LUMINARIA ORNAMENTAL HG. 100W HALOGENADA	57	100	MERCURIO
LUMINARIA ORNAMENTAL MH. 150W.	33	150	MERCURIO
LUMINARIA CERRADA NA.100W AUTOCONTROLADA DOBLE NIVEL	160	100	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA.150W AUTOCONTROLADA DOBLE NIVEL	3012	150	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA.250W AUTOCONTROLADA DOBLE NIVEL	4683	250	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA.100W DOBLE NIVEL	58	100	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA.150W DOBLE NIVEL	3368	150	SODIO
LUMINARIA CERRADA NA.250W DOBLE NIVEL	3151	250	SODIO
TOTAL DE LUMINARIAS ES	29164		

PASO 2: Es necesario conocer las características de la estructura en la que está montada la luminaria, para de esta manera determinar la altura a la cual está instalada.

Los tipos de estructuras consideradas para el proyecto, y en base a la cual se obtendrá una altura promedio para cada luminaria son:

- Estructuras de Media Tensión (MT).
- Estructuras de Baja Tensión (BT).
- Estructuras con Transformadores.
- Postes para alumbrado ornamental.
- Estructuras para uso exclusivo de alumbrado público en postera de hormigón o metálica.

Tabla 4.3 Tipos de Estructuras de la Centrosur

DESCRIPCION	CODIGOESTRUCTURA
POSTE DE H.A. DE 10m.	P484996
POSTE RECTANGULAR DE 11m.	P484997
POSTE RECTANGULAR DE 14m.	P484998
POSTE DE H.A. DE 11m. cuadrado	P484999
POSTE DE H.A. DE 11m.	P485000
POSTE DE H.A. DE 9m.	P485001
POSTE DE H.A. DE 12m.	P485002
POSTE DE H.A. DE 15m.	P485003
POSTE DE H.A. DE 12m. SECCION RECTANGULAR	P485004
POSTE DE H.A. DE 14m.	P485005
POSTE DE H.A. DE 18m.	P485006
POSTE CIRCULAR DE FIBRA DE 9m.	P485007
POSTE CIRCULAR DE FIBRA DE 11m.	P485008
POSTE DE FIBRA 10M	P485009
POSTE METALICO SIEMENS	P485010
POSTE DE H.A. DE 9m. CUADRADO	P485011
POSTE DE H.A. DE 15m. SECCION RECTANGULAR	P485012
POSTE DE H.A. DE 12m. OCTOGONAL	P485015
POSTE DE H.A. DE 14m. OCTOGONAL	P485016
POSTE METALICO PARA A.P.	P485020
POSTE DE FIBRA 12M	P485030
POSTE TUBULAR METALICO 8M	P485031
POSTE TUBULAR METALICO 10M	P485032
POSTE TUBULAR METALICO 11,5M	P485033
POSTE TUBULAR METALICO 12M	P485034
POSTE DE M.T. DE 8,5m.	P485050
POSTE DE M.T. DE 9m.	P485051
POSTE DE H.A. DE 11m.	P485052
POSTE DE M.T. DE 12m.	P485054

El criterio para determinar la altura promedio de cada luminaria es:

1. Utilizar la siguiente fórmula que particularmente es para postes de hormigón, se obtiene la longitud del poste que esta enterrada:

$$P_{emp} = 01 * H + 0.5$$

donde: P_{emp} = Emplazamiento del poste

H = altura del poste

0.5 = Factor de correccion

Para el caso de luminarias ornamentales se considera una altura promedio de 5m, mientras que para estructuras con transformadores la altura promedio se determina, a través de las mediciones realizadas, la cual se indica en la tabla que sigue.

Tabla 4.4 Altura Promedio de las Luminarias en estructuras con transformador

MEDICIONES PARA DETERMINAR ALTURA EN ESTRUCTURAS CON TRANSFORMADOR	H MEDIDA (m)
	8,9152
	8,0008
	8,9152
	8,0008
	8,9152
	7,0864
	8,0008
	8,0008
	7,0864
	8,9152
	8,9152
	8,0008
	8,0008
	8,9152
	8,9152
	8,9152
	8,0008
	8,0008
	8,0008
	8,0008
	8,9152
	8,9152
	8,9152
	8,9152
	8,0008
	8,9152
	8,9152
	8,0008
	8,9152
	8,9152
	8,9152
	8,9152
Altura promedio para Estructuras con Transformador	8,4834

Mientras que para el caso de luminarias instaladas en postes metálicos se considera directamente la altura del poste, como la altura promedio a la cual esta instalada la luminaria.

2. Considerando los tipos de estructuras mencionado anteriormente y las alturas adicionales como: altura del brazo, altura desde la punta en estructuras de MT, se determina la altura promedio a la cual está montada cada luminaria.

Tabla 4.5 Altura Promedio de las Luminarias

Altura del poste (H)	Longitud de empotrado del poste=0,1*H+0,5	Sujeción de abrazadera de brazo a la punta del poste	Ganancia promedio de altura de la luminaria por brazo	Altura de montaje de la luminaria A-B-C+D=h
9	1,4	0,1	0,7	8,2
11	1,6	0,1	0,7	10
12	1,7	0,1	0,7	10,9
14	1,9	0,1	0,7	12,7
15	2	0,2	0	12,8
18	2,3	0,2	0	15,5
Ornamentales	5			
Con Transformador	8,5			

3. En la siguiente tabla se indica el total de las estructuras que se consideraran en el proyecto, la altura promedio determinada para cada una y su código de estructura, y el total de las estructuras que son excluidas por estar emplazadas en el piso o no tener un aporte significativo.

Tabla 4.6 Estructuras consideradas para el Proyecto

DESCRIPCION	CODIGOESTRUCTURA		Altura
POSTE DE H.A. DE 11m.	P485000	PM485000	8,5
		PT485000	8,5
		P485000	10
POSTE DE H.A. DE 9m.	P485001	P485001	8,2
POSTE DE H.A. DE 12m.	P485002	P485002	10,9
POSTE DE H.A. DE 15m.	P485003	P485003	12,8
POSTE DE H.A. DE 14m.	P485005	P485005	12,8
POSTE DE H.A. DE 18m.	P485006	P485006	15,5
POSTE METALICO SIEMENS	P485010	P485010	8,2
		PS485010	15,5
POSTE DE H.A. DE 15m. SECCION RECTANGULAR	P485012	P485012	12,8
POSTE DE H.A. DE 12m. OCTOGONAL	P485015	P485015	10,9
POSTE DE H.A. DE 14m. OCTOGONAL	P485016	P485016	12,8
POSTE METALICO PARA A.P.	P485020	P485020	8,2
POSTE TUBULAR METALICO 8M	P485031	P485031	8,2
POSTE TUBULAR METALICO 10M	P485032	P485032	10
POSTE DE M.T. DE 8,5m.	P485050	P485050	8,2
POSTE DE M.T. DE 9m.	P485051	P485051	8,2
SIN POSTE EN PARED DE 150W Y 250W DN EN CH	P485055	P485055	8,5
SIN POSTE EN PARED DE 70W Y 100W DN EN CH	P485056	P485056	8,5
ORNAMENTALES NA150W, MH150W Y HG175W	P485057	P485057	8,5
ORNAMENTALES NA70 W Y HG70W HAL	P485058	P485058	5
ORNAMENTALES HG100W HAL Y HG125W	P485059	P485059	5
PARQUE CALDERON	P486064	P486064	5
PARQUE SANBLAS Y SAN SEBASTIAN	P486065	P486065	5
SIN POSTE EN EL PISO	P486060	P486060	
DECORATIVA DE 26W EN POSTE	P486061	P486061	
TIPO LED DE 3,6W EN POSTE O PISO	P486062	P486062	
TUNEL	P486063	P486063	

Nota: Las filas marcadas en amarillo no son utilizadas.

4.6.1.2 TABLA DE MATRICES DE INTENSIDAD E ILUMINANCIA.

Para el manejo de las matrices de intensidad de cada luminaria, enlazadas con su respectivo código de estructura, código de luminaria, y los respectivos campos creados para él uso en Matlab se tuvo la necesidad de construir una base de datos en Excel, denominado **AP_TESIS.xlsx**. La cual contiene las siguientes hojas enlazadas respectivamente: **MI**, **MR**, **PUNTOS**, **DATOS**, hojas que al ser vinculadas lógicamente darán como resultado la base de datos requerida para el proceso, las cuales son:

MI: Contiene las matrices de intensidad utilizadas, en función de los planos C-G.

MR: Contiene código de luminarias, código de estructuras, los campos **POINT_X**, **POINT_Y**, **ROTACIONSI**, **CODIGOESTR**, **ALTURA** en la cual se pegara respectivamente las coordenadas x-y de la luminaria, ángulo de rotación, código de luminaria, y código de estructura, obtenidas de exportar la tabla de atributos de la capa luminarias que se tiene en el ArcMap del SIG.

Cuando se nombra al ángulo de rotación, se refiere al ángulo a la que esta rotada la luminaria con respecto a la calle y de acuerdo al sistema de coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_17S, a la cual se encuentra referenciada la geodatabase personal de la Centrosur.

PUNTOS: Contiene todos los campos resultantes de los cálculos realizados en la hoja anterior, cálculos de la iluminancia, matriz de intensidad referidos a la coordenadas de la luminarias introducidas, altura, etc.

DATOS: Contiene solamente los campos requeridos para usos posteriores, Coordenadas x-y, ángulo de rotación, potencia, altura, iluminancia.

Además es necesario indicar, que la fórmula utilizada para el cálculo de la iluminancia es de acuerdo a la norma CIE-140-2010, cuya expresión es la siguiente.

$$Eh = \frac{I(C, G) * \cos^3(G)}{H^2}$$

En donde:

E_h = *Iluminancia*

$I(C, G)$ = *Intensidad Luminosa referenciada a los planos C, G*

H = *Altura de montaje*

NOTA: La información referente al archivo Excel creado se tiene CD adjunto.

4.7 CREACIÓN DEL ALGORITMO EN MATLAB 2008

Matlab es el nombre abreviado de “MATriz LABoratory”. Es un programa para Ciencia e Ingeniería, en la cual se puede desarrollar aspectos del cálculo matricial, análisis numérico y otras estructuras de informaciones más complejas. [11]

Matlab también cuenta con un lenguaje de alto rendimiento para cálculos técnicos, es al mismo tiempo un entorno gráfico y un lenguaje de programación que posibilita la creación de algoritmos propios. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic o VisualC++.

4.7.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a que las curvas isolux creadas de las luminarias no se combinan de manera adecuada cuando se realiza la interpolación de la geodatabase personal construida con las matrices de intensidad, se realiza las siguientes pruebas preliminares de verificación para dar solución a este problema.

Prueba 1: Del ArcMap del SIG, del Layer **luminarias**, se exporta su tabla de atributos, cuyo datos de interés son la coordenadas de las luminarias, ángulo de rotación, código de estructura, código de altura e introducirlas en las hoja de excel creada, esta primera prueba se realiza solamente con una luminaria la cual sirve para verificar si las curva isolux creadas en el ArcMap del SIG reproduce la curva isolux dada por el fabricante, tal cual se indica en el punto 4.10.3

Prueba 2: Del ArcMap del SIG, del Layer **luminarias**, se exporta su tabla de atributos, cuyo datos de interés son la coordenadas de las luminarias, ángulo de rotación, código de estructura, código de altura e introducirlas en las hoja de

excel creada, esta segunda prueba se realiza para las luminarias de una zona completa, tal cual se indica en el punto 4.10.3

El resultado de esta prueba nos indica que la base de datos de la matriz de intensidad creados para cada luminaria, aquellas que fueron exportadas e interpoladas en el ArcMap SIG, producen alteraciones de las curvas isolux creadas, debido a que algunos de los puntos de la matriz de una luminaria caen dentro de otra, caso que era de esperarse ya que la curvas isolux de luminarias continuas o cercanas deben combinarse.

El problema está en que cierto puntos de la matriz de intensidad de luminarias cercanas se traslapan, pero no suman sus valores al realizar la interpolación en el ArcMap del SIG, produciéndose alteraciones en la uniformidad de la curva isolux, debido a que el concepto en la construcción de la curva, en el ArcMap, es la de unir los puntos de un mismo valor y crear de esta manera rangos de valores de distinto color.

Es por este motivo que se requiere desarrollar un algoritmo computacional que permita combinar las curvas isolux de una manera más eficiente, la cual se conseguirá sumando la Iluminancia (en luxes) de todas las luminarias que contribuyan a una superficie determinada, reduciéndose de esta manera la cantidad de valores que se tenga en la geodatabase personal.

4.7.2 ALGORITMO

En esencia la solución al problema ya se indicó en el punto anterior. Lo que se presenta en la figura 4.2, mediante un diagrama de flujo. El proceso del algoritmo básicamente se realiza en función de los datos de entrada, las cuales son tomadas de la tabla que contiene información sobre las coordenadas de las luminarias y aquellas que están asociadas a su respectiva matriz de intensidad; a partir de los datos de entrada el algoritmo básicamente compara los valores de la matriz de intensidad de una luminaria con otra y verifica si estos puntos están cerca para sumarlos.

Las líneas de programación escritas fueron realizadas en el editor del Matlab, desde la cual se ejecuta el algoritmo.

Cabe indicar que este algoritmo se ejecutara para cada zona, cuidando que los cambios necesario entre cada zona sean correctos.

Las líneas de programación que deben ser modificadas son:

```
%2. DATOS DE ENTRADA
%-----

P=xlsread('Z17A.xlsx','Z17A','B2:B800199'); % POTENCIA
lum= xlsread('Z17A.xlsx','Z17A','A2:A800199');
FID= xlsread('Z17A.xlsx','Z17A','C2:C800199');
x1=xlsread('Z17A.xlsx','Z17A','D2:D800199'); % PUNTOSX
y1=xlsread('Z17A.xlsx','Z17A','E2:E800199'); % PUNTOSY
E1=xlsread('Z17A.xlsx','Z17A','F2:F800199'); % ILUMINANCIA

%*****

%5. SALIDA DE MATRICES RESULTANTES
%-----

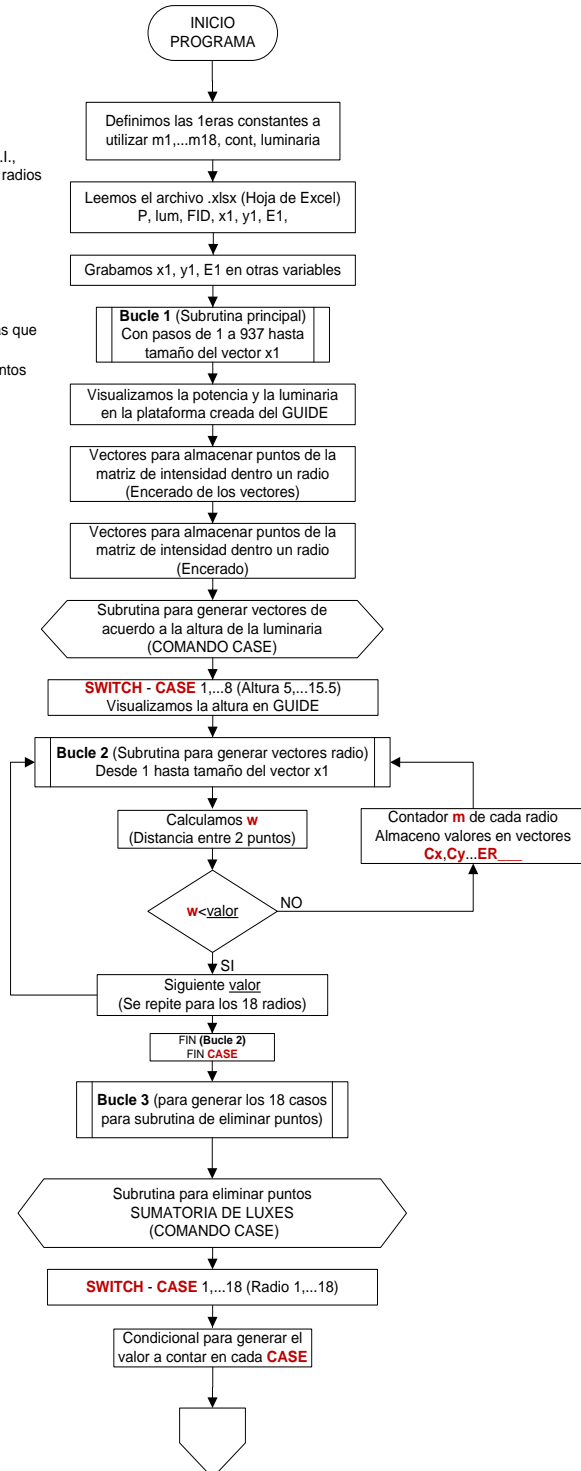
Fxx;
Fyy;
EE;
mx=max(EE)
tbl2=horzcat(Fxx,Fyy,EE);

set(handles.uitable2,'data',tbl2);
xlswrite('Z17A.xlsx',tbl2,'Z17AR');

%-----
```

DIAGRAMA DE FLUJO
SUMATORIA DE LUXES

m1,...m18 = Contador para cada radio de la M.I.,
cont = Contador principal para subrutina radios
luminaria = Contador numero de luminaria
P = Potencia de Luminaria
Lum = Altura de Luminaria
FID = Cantidad de luminarias
x1 = Coordenadas x
y1 = Coordenadas y
E1 = Valor en Luxes
Cx,Cy = Vector que almacena coordenadas que
están dentro de un radio
ER_ = Vector que almacena luxes de puntos
que están dentro de un radio



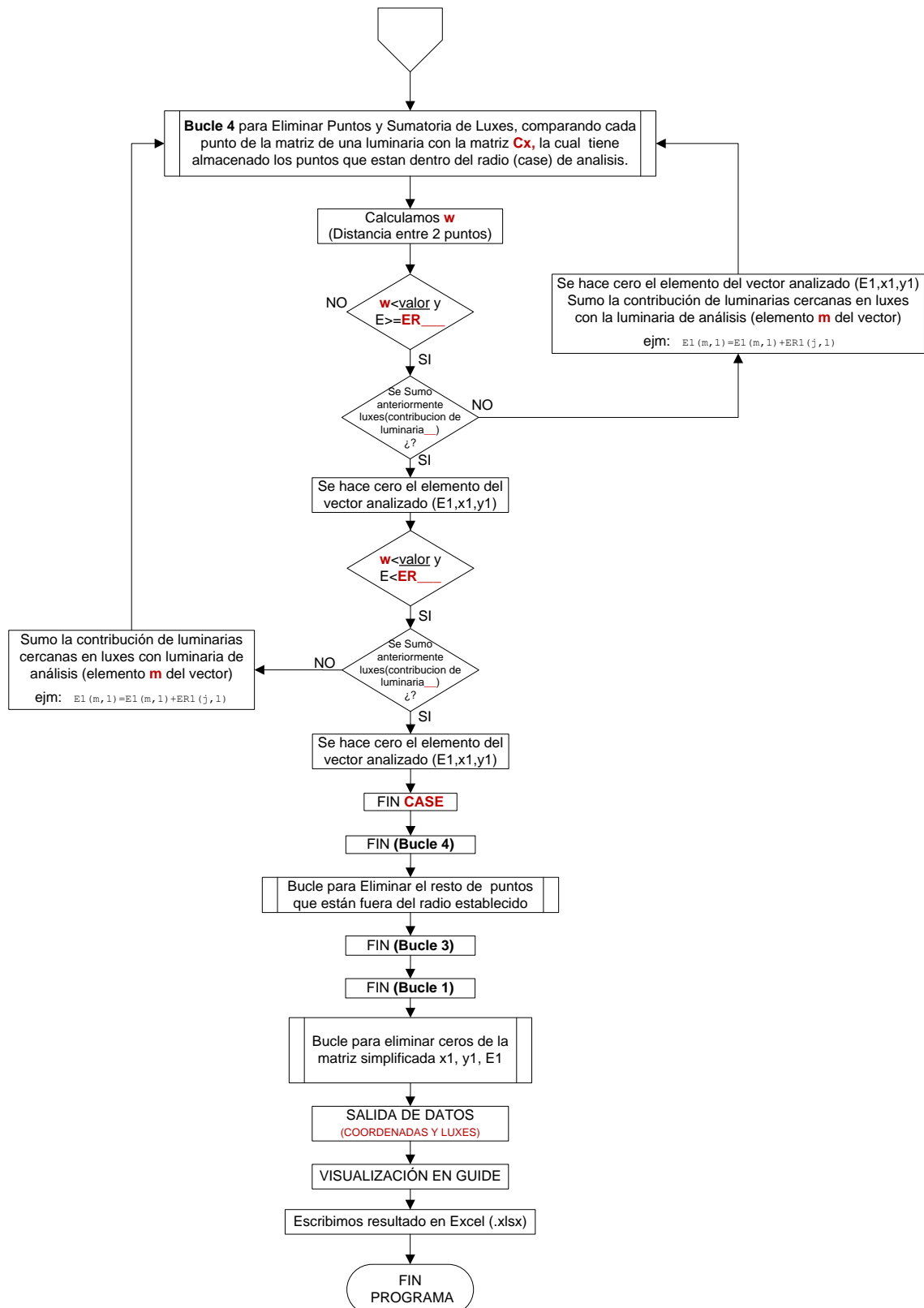


Fig.4.2 Diagrama de Flujo

4.8 EXPORTACIÓN DE LOS DATOS DEL EXCEL AL ACCESS.

Las tablas con las que se trabaja en el proyecto son de un tamaño considerable, abarcando zonas de alumbrado público de hasta un millón de valores y zonas específicas cuyo datos superan los dos millones; zonas que necesitan ser subdivididas en otras más pequeñas, tal como se indica en el punto 4.10.4, ya que la cantidad de valores que soporta la versión 2007 de Excel, es de 1048576. Además, cabe señalar que el ArcMap del SIG v9.2 no es compatible con la versión 2007 de Excel, razón por la que se requiere la utilización del Programa Base de Datos ACCESS v2003.

Para Exportar la tabla desde Excel al Access, se debe:

1. Seleccionar la zona a analizar en el ArcMap del SIG (ejm: Zona17A).
2. La Selección en el ArcMap de las luminarias que contiene la zona debe ser por localización.
3. Realizado la selección, se debe Exportar tales luminarias.
4. Abrir el archivo exportado, y copiar los valores de 80 luminarias y pegar en la Hoja **MR** del archivo Excel diseñado (**AP_TESIS.xlsx**) en los campos que llevan los mismos nombres e inmediatamente copiar los valores de la hoja denominada como **DATOS** en un archivo nuevo, y nombrarla de acuerdo a la zona que se está analizando; además dentro de este nuevo archivo de excel creado, es necesario dar un nombre a la hoja en donde se copió los valores, por ejemplo **Z11A**, y a otra hoja se debe también dar un nombre para que en esta, se exporten los resultados del matlab.
5. Repetir el paso 4, hasta completar las 854 luminarias que contiene la zona 17A analizada. Recuerde que la limitación que se tiene de analizar solamente 80 luminarias y acumularla hasta completar el total de luminarias de la zona, se debe al tamaño considerable de datos con las que se trabaja.
6. Abrir la geodatabase personal facilitada por la Centrosur guardada en Access; en la barra de títulos seleccionar Datos externos, y en importaciones guardadas seleccionar la opción Excel, para finalmente seguir los pasos del asistente de

importación que ofrece Access y crear el nuevo registro de datos, con los valores procesados de matlab.

4.9 INCORPORACIÓN DE DATOS ESPACIALES DEL ACCESS AL ARCMAP DEL SIG.

Para incorporar la Geodatabase personal al SIG desde el Access, se debe seguir los pasos indicados en el punto 4.10.1 (b), además una vez cargadas en el ArcMap del SIG, estos deben ser exportados para posteriormente interpolarlos e implementar de esta manera el Mapa Lumínico.

4.10 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica SIG o GIS en su acrónimo inglés (Geographic Information System) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente digitalizadas.

Por lo tanto al poseer esta herramienta en conjunto con las bases de datos, permiten la elaboración de variadas operaciones, como por ejemplo: preguntas, crear cartografía, cruzar datos o información, crear modelos territoriales, etc.

La base de un Sistema de Información Geográfica está formada por una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (formato raster), o bien capas que representan objetos (formato vectorial) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Esta estructura permite combinar en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos, incrementando de esta manera la complejidad del sistema.

Por lo tanto, conforme a lo indicado anteriormente y expuesto en los puntos anteriores, se utilizarán las herramientas necesarias del ArcMap del SIG para incorporar, procesar e interpolar la geodatabase personal creada, y obtener de esta manera el Mapa Lumínico.

4.10.1 INCORPORACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS ESPACIALES (ACCESS 2003)

La geodatabase personal del SIG contienen datos gráficos y alfanuméricos, constituidos para crear una base de información, cada uno de ellos presenta diferentes características en sus almacenamientos, o en la forma de representación. Es así, que una línea puede representar un río, o un polígono un predio, o como es el caso de una imagen satelital, donde el píxel es el representante del terreno en estudio.

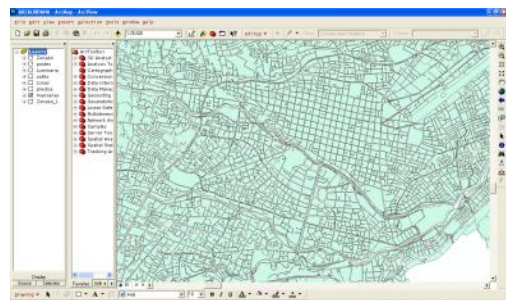
Por otra parte, de acuerdo al tipo de datos a operar y principalmente de los objetivos que se desean adquirir, existen dos formas de representación de datos una es Raster y la otra es Vectorial.

a. FORMATO DE ALMACENAMIENTO DE DATOS ESPACIALES.

FORMATO VECTORIAL

Representación discreta de la realidad

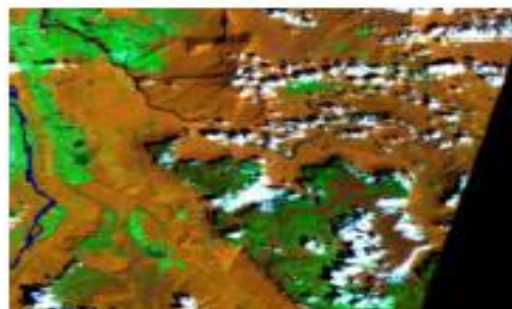
Información que posee una expresión espacial claramente definida (Vías de comunicación, redes de servicio, etc.)



FORMATO RASTER

Representación continua de la realidad

Información que NO posee una expresión espacial claramente definida. (Topografía del terreno, variables climáticas, etc...).



El modelo vectorial utiliza coordenadas discretas para representar las características geográficas en forma de puntos, líneas y polígonos, por lo tanto este es el modelo para la geodatabase incorporada en el ArcMap del SIG. El modelo raster trabaja con celdas de igual tamaño que poseen un valor; el tamaño

de la celda define el nivel de detalle de la información, por lo tanto este es el modelo que representa el Mapa Lumínico creado.

b. INCORPORACIÓN DE DATOS ESPACIALES.

Para incorporar la geodatabase personal facilitada por la Centrosur, y la construida para la implementación del Mapa Lumínico se procede de la siguiente manera:

1. Clic en el botón añadir datos.
2. En la ventana que se despliega, dar clic en el archivo de Access que contiene la geodatabase personal (**DATOS.mdb**)
3. En la ventana que se despliega, elegir el registro se desea incorporar (**ejm: calles**). Ver figura 4.3

Repetir el procedimiento para incorporar al ArcMap del SIG, la información necesaria de la geodatabase personal; los requeridos para el proyecto son:

- Las facilitadas por la Centrosur: Luminaria, calles, predios, manzanas.
- Las Creadas: Zonas, Matrices de intensidad.

4.10.2 HERRAMIENTAS DEL ARCMAP DEL SIG (ADDXY DATA...)

Para importar los datos de la matriz de intensidad del Excel al SIG, se utilizó la herramienta Añadir datos XY (**AddXY Data...**), la cual se encuentra ubicada en la opción Tools de la barra de menús.

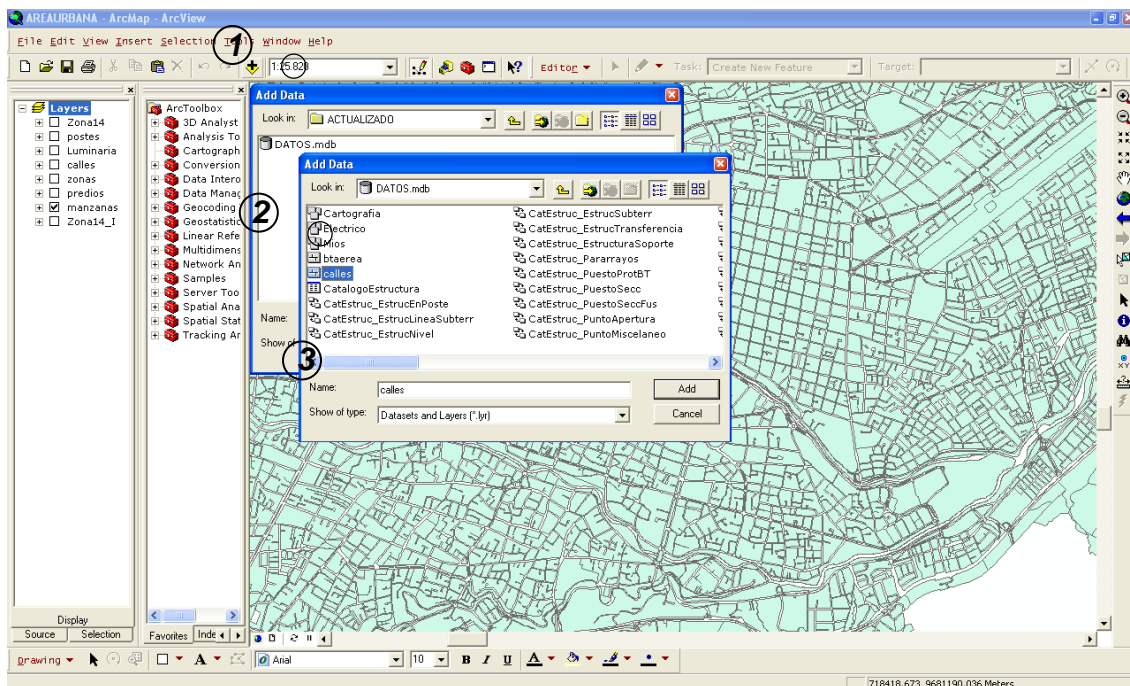


Fig.4.3 Pasos para incorporar Datos

Tal como se indicó en el punto 4.7.1, se tuvo la necesidad de comprobar que una vez importado e interpolado en el ArcMap del SIG, los valores tabulados en Excel de la matriz de intensidad de las luminarias instalados por la Centrosur, reproducen la curva isolux de la luminaria dada por el fabricante.

Para esta comprobación fue necesario tomar una luminaria como ejemplo, cuya matriz de intensidad y curva isolux creada son las indicadas en el Anexo 2.

Por lo tanto, para añadir datos utilizando la herramienta mencionada se debe seguir los siguientes pasos:

PASO 1: Ingresar los valores de la matriz de intensidad en Excel, considerando los dos planos en el que se presenta, plano C y G.

Cabe indicar que la matriz tiene 52 valores en el plano C (0 - 360°) y 25 valores en el plano G (0 - 90°), dando un total de 1300 puntos, aquellos que fueron reducido a 937 puntos debido a que la curva isolux no se ve alterada significativamente. Ver figura 4.4

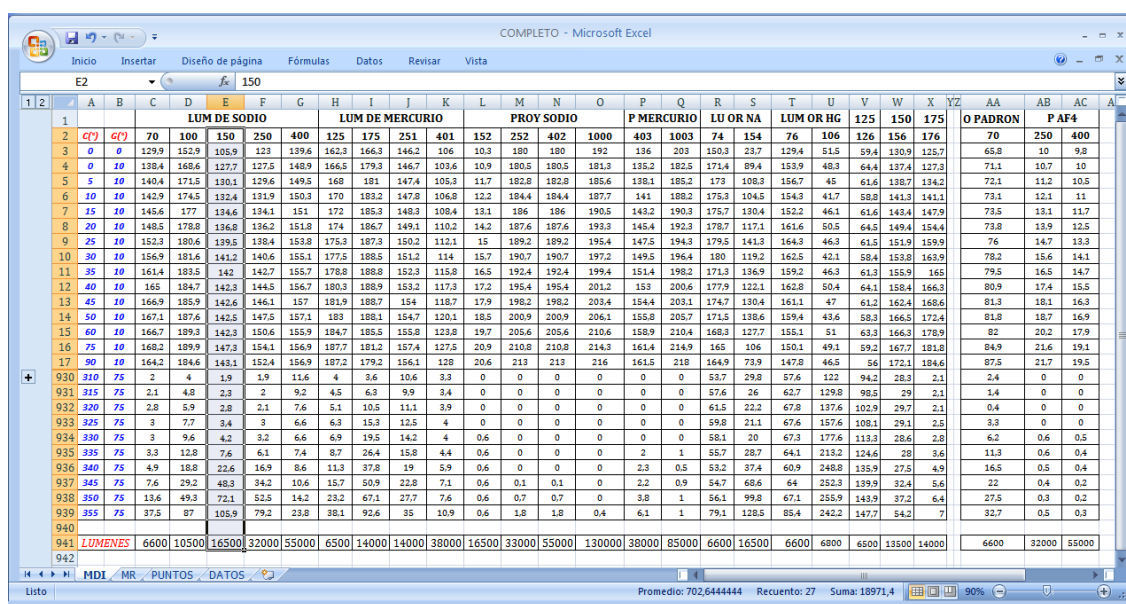


Fig.4.4 Matriz de Intensidad en Excel

PASO 2: Buscar y seleccionar una luminaria de 150 W en el ArcMap del SIG, exportamos la información de la tabla de atributos de la luminaria seleccionada, extraemos los datos que tienen como título los siguientes campos: Point X, Point Y, Rotacionsimbolo, código Estructura y Altura, como se observa en la figura 4.5.

En el archivo Excel principal (AP_TESIS.xlsx), copiamos los datos antes mencionados en la Hoja MR en los campos que llevan los mismos nombres.

Ahora bien, de la Hoja DATOS, copiamos solamente los 1eros 937 valores los cuales pertenecen a la luminaria analizada y lo guardamos en otro archivo Excel, para finalmente exportar al ArcMap del SIG.

NOTA: El ArcMap del SIG versión 9.2, solo es compatible con Excel 2003

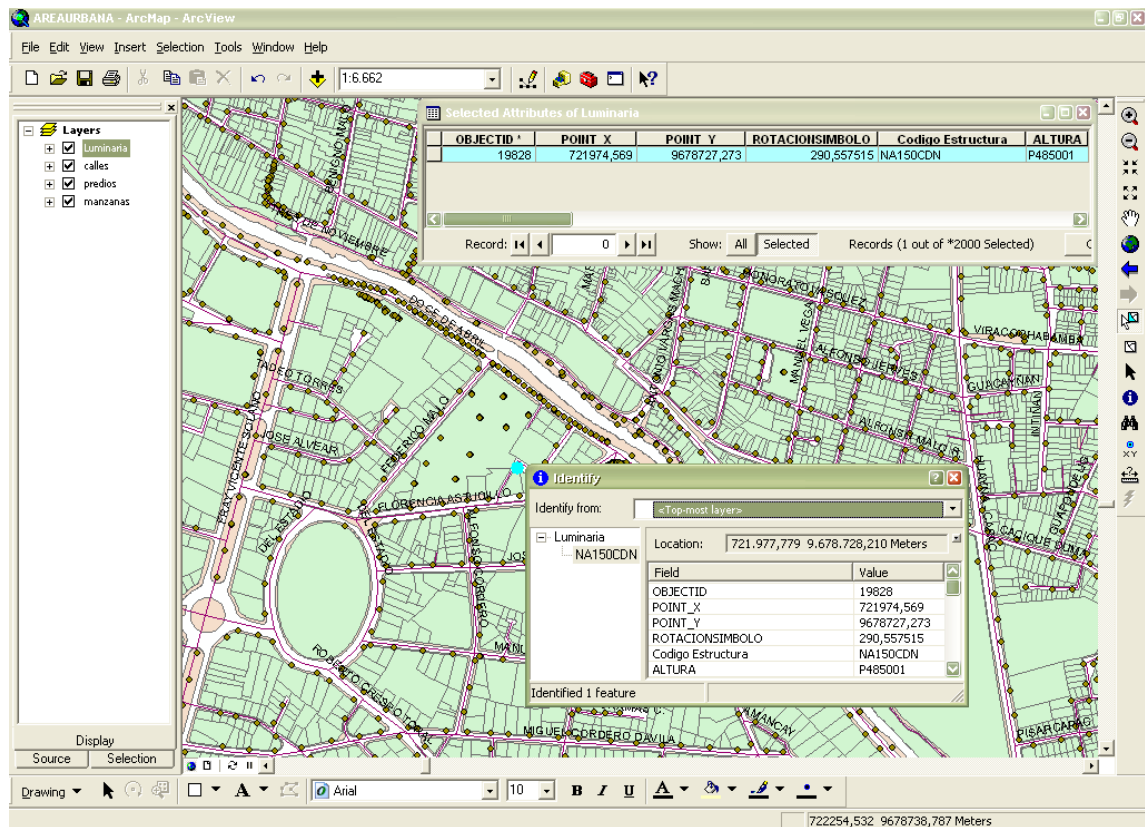
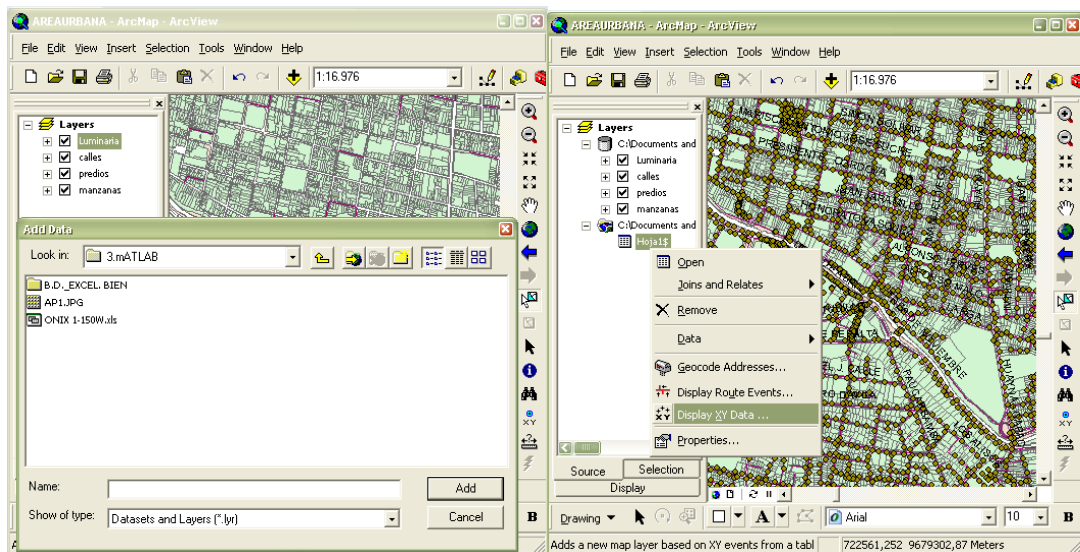


Fig.4.5 Selección de la luminaria y exportación de atributos

PASO 3: Utilizamos la herramienta AddXY Data...del ArcMap del SIG, y seguimos el procedimiento tal como se indica en las siguientes figuras.



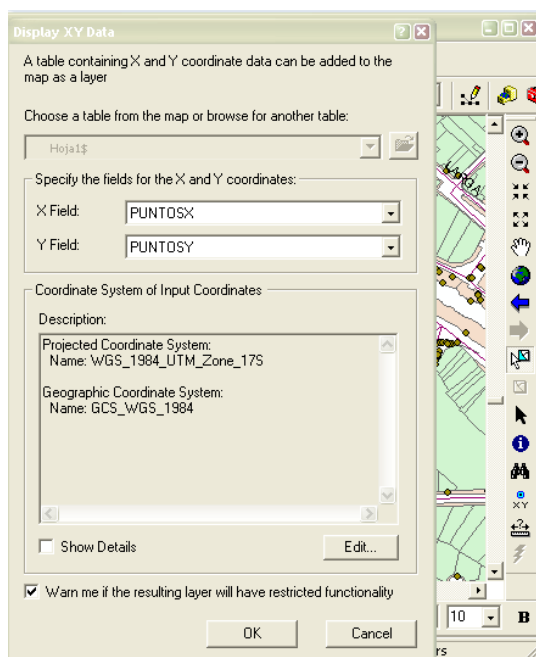


Fig.4.6 Incorporación de datos

Para realizar la interpolación, el Layer (capas) creado anteriormente debe ser exportado, creándose un nuevo Layer con los mismos datos. Además es recomendable eliminar todos los Layers que no sean utilizados para no hacerle al ArcMap del SIG muy pesado. Ver figura 4.7.

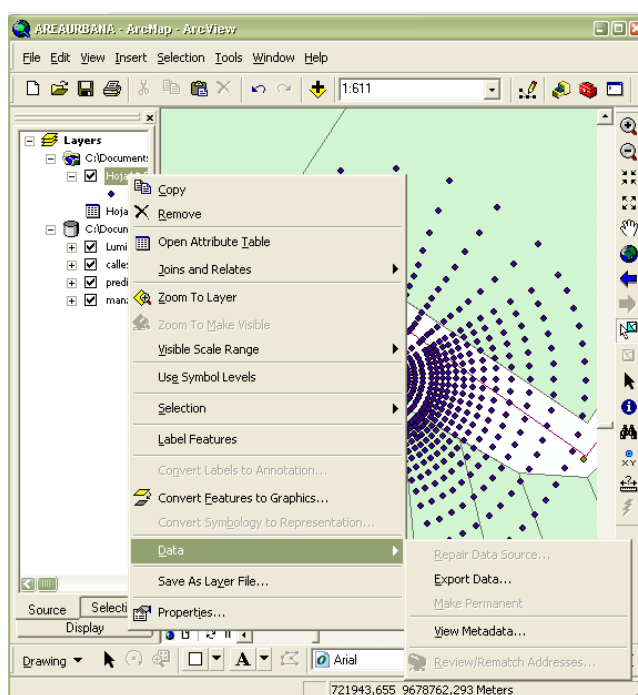


Fig.4.7 Datos exportados

4.10.3 HERRAMIENTAS DEL ARCMAP DEL SIG (SPATIAL ANALYST TOOLS-INTERPOLATION-NATURAL NEIGHBOR)

Una vez realizado los 3 pasos indicados anteriormente, se debe utilizar otra herramienta del ArcMap del SIG, con la cual se efectuara la interpolación, permitiendo de esta manera visualizar las curvas Isolux de la luminaria o zona en análisis.

Esta herramienta esta localizada en el **ArcToolbox** del ArcMap del SIG y se designa como **Interpolation** del **Spatial Analyst** Tools, la cual se despliega en la pantalla figura 4.8

Dentro de esta herramienta existen varias formas de Interpolación.

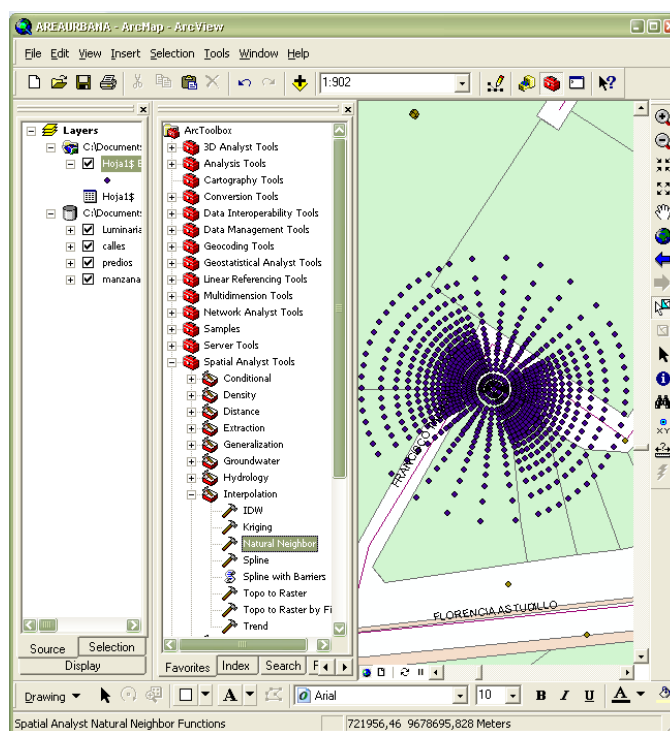


Fig.4.8 Puntos de la Matriz de Intensidad

La forma de interpolación **Natural Neighbor**, es el escogido para el proyecto, debido a que resulta sencilla y su resultado equivalente a la curva isolux presentada por el fabricante. Ver figura 4.9

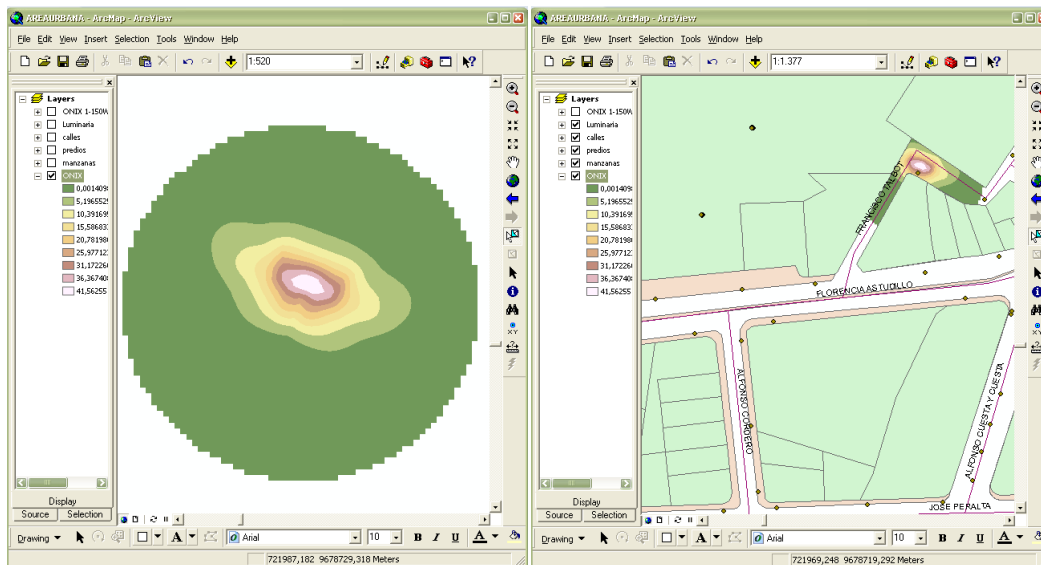


Fig.4.9 Resultado de la Interpolación

La curva presentada en la figura anterior se encuentra rotada, debido a la disposición de la calle.

Para mejorar la presentación de la curva isolux creada en el ArcMap SIG, se puede modificar la configuración de sus propiedades. Ver figura 4.10

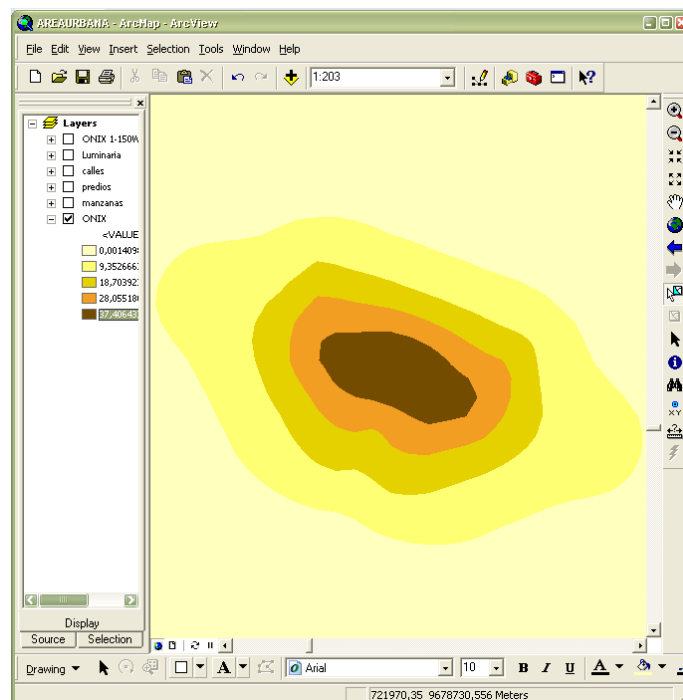


Fig.4.10 Curva Isolux modificada

Como se puede observar en las figuras 4.11 y 4.12 la curva isolux creada en el ArcMap del SIG es similar a la presentada por el fabricante, por lo que se concluye que los datos tabulados de la Matriz de Intensidad y el diseño del archivo Excel esta correcto.

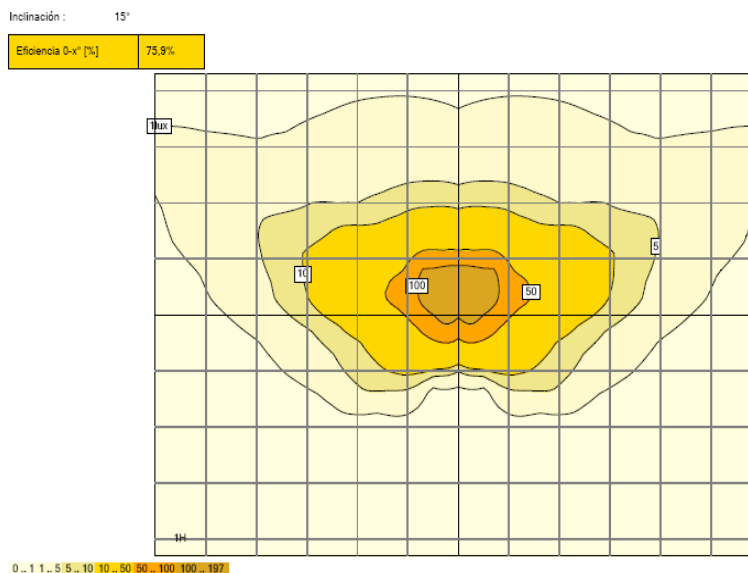


Fig.4.11 Curva Isolux del fabricante

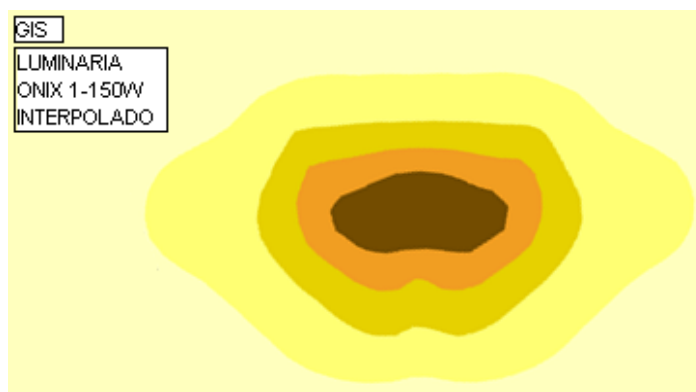


Fig.4.12 Curva Isolux creada en el ArcMap del SIG

Nota: Para evitar errores, es importante Georeferenciar los datos añadidos al mismo sistema de coordenadas de la Geodatabase provista por la Centrosur.

Además, para ejemplificar de forma gráfica lo indicado en el punto 4.7.1, de la necesidad de crear un algoritmo en matlab, se tiene:

1. Las nuevas capas creadas sobre las Matrices de Intensidad, las cuales están almacenados en la misma Geodatabase personal de la Centrosur, es incorporado en el ArcMap del SIG desde Access, en este caso la zona 17A. Ver figura 4.13

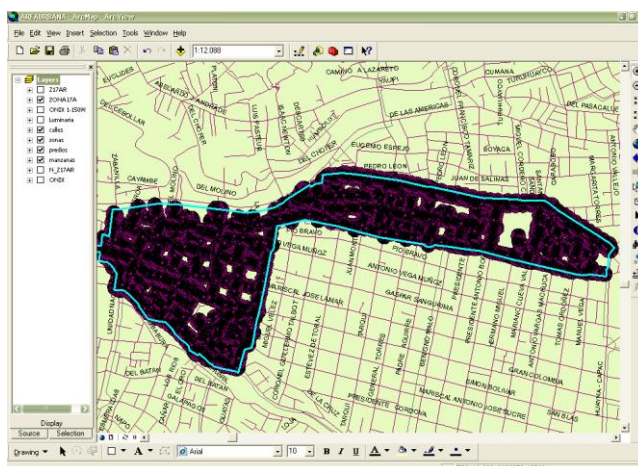


Fig.4.13 Capas creadas sobre las matrices de intensidad e incorporadas desde la Geodatabase personal de la Centrosur al ArcMap.

2. Se realiza la respectiva configuración en el ArcMap del SIG, para el procedimiento de interpolación. Ver figura 4.14.

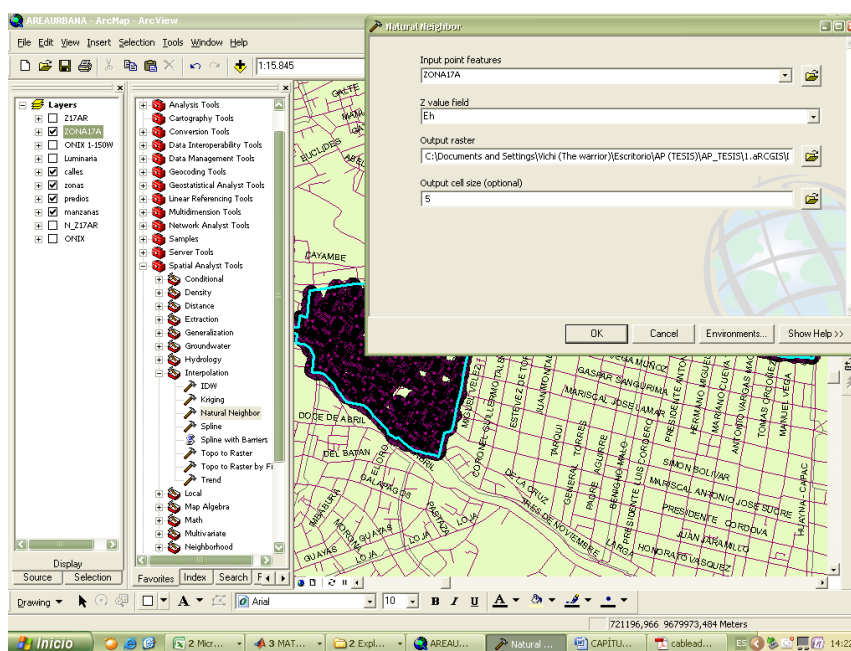


Fig.4.14 Configuración para la Interpolación

3. El resultado de la Interpolación se indica en la figura 4.15.

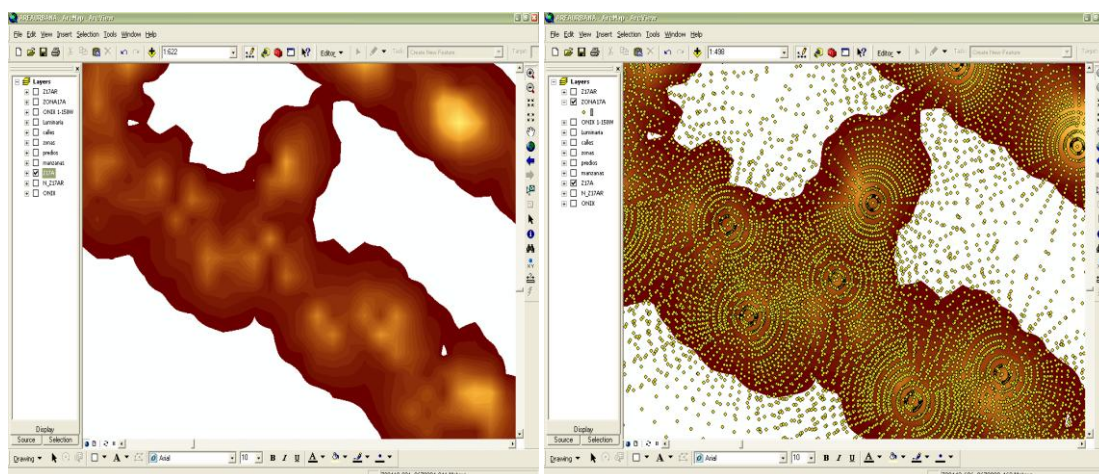


Fig.4.15 Resultado de Interpolación


Obsérvese en la figura anterior que la curva isolux creada a partir de la base de datos incorporada, presenta irregularidades en la uniformidad, esto se debe a que los puntos de la matriz de intensidad de las luminarias se mezclan, pero no se combinan, dando lugar a que la uniformidad sea deficiente. De allí la necesidad de crear el algoritmo indicado en el punto 4.7.1

4.10.4 CREACIÓN DE UNA NUEVA TABLA EN LA GEODATABASE PERSONAL DE LA CENTROSUR. (UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA EDITOR).

Para realizar la división en zonas del área urbana de la ciudad de Cuenca, se procede de la siguiente manera utilizando el editor de polígonos: Partiendo del polígono principal el cual delimita el área urbana, la misma que fue proporcionada por la Centrosur se procede a realizar las divisiones por zonas utilizando las herramientas de edición para modificar un archivo de polígonos. Esto se realiza de la siguiente forma:

A continuación se procederá a cortar el polígono creado por la Centrosur, cuyo polígono indica el límite urbano de la Ciudad (el layer se llama **limiteurbano**).

4.10.4.1 CORTAR UN POLÍGONO

En Task: (Tarea:), busque la opción CutPolygon(Cortar Entidades de Polígono) para dividir el polígono en dos. Haga “clic” en el botón de digitalización Sketch Tool (Herramienta de Edición) .

Seleccione el último polígono digitalizado; haga “clic” en el botón **Select Features** (Seleccionar Entidades) dentro de éste polígono. Divida el polígono siguiendo la vía de comunicación que se visualiza a la derecha. Inicie y termine la digitalización en puntos adyacentes al polígono seleccionado y haga doble “clic” para terminar. Ver figura 4.16 y 4.17

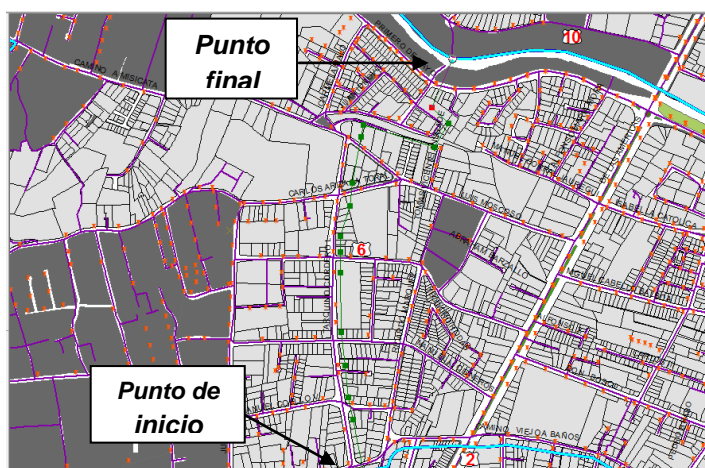


Fig.4.16 Polígono en proceso de división

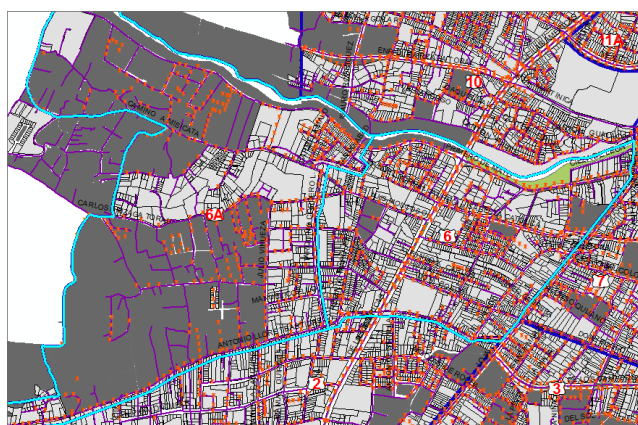


Fig.4.17 Polígono dividido en dos zonas.

Una vez realizado las divisiones se procede a seleccionar las luminarias pertenecientes a la zona, tal como se indica en la figura 4.18.

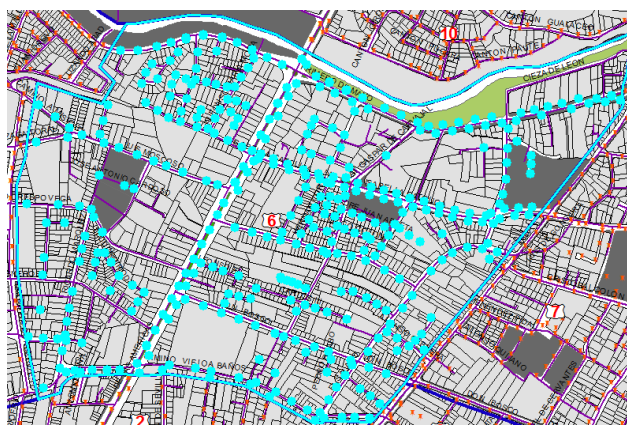


Fig.4.18 Proceso de selección de luminarias por zonas.

4.11 MAPA LUMÍNICO INICIAL

Conforme lo expuesto anteriormente, y lo indicado en el punto 4.7.1 acerca de la creación del algoritmo en matlab, se aclara que para ejecutar el algoritmo creado, se dará clic en el botón Run del Editor del matlab; asegúrese antes que la hoja de Excel con la que se va a trabajar y los tamaños de las variables a importar del Excel sean las correctas.

Con la base de datos de Excel correcta se procede a ejecutar el programa en Matlab, cuyos resultados serán almacenados en el mismo archivo Excel, pero en una hoja diferente.

Con esta base de datos obtenida, se realiza el procedimiento respectivo de Importar a la Geodatabase personal de la Centrosur la cual esta en Access, para luego incorporar e Interpolan este nuevo Layer al ArcMap del SIG.

Como se puede observar la curva isolux presenta una considerable mejora en su uniformidad, debido a que puntos cercanos se han combinado, como se puede observar en la figura 4.19.

Nótese la considerable diferencia entre la curva isolux con y sin el uso del programa en Matlab.

SIN MATLAB

CON MATLAB

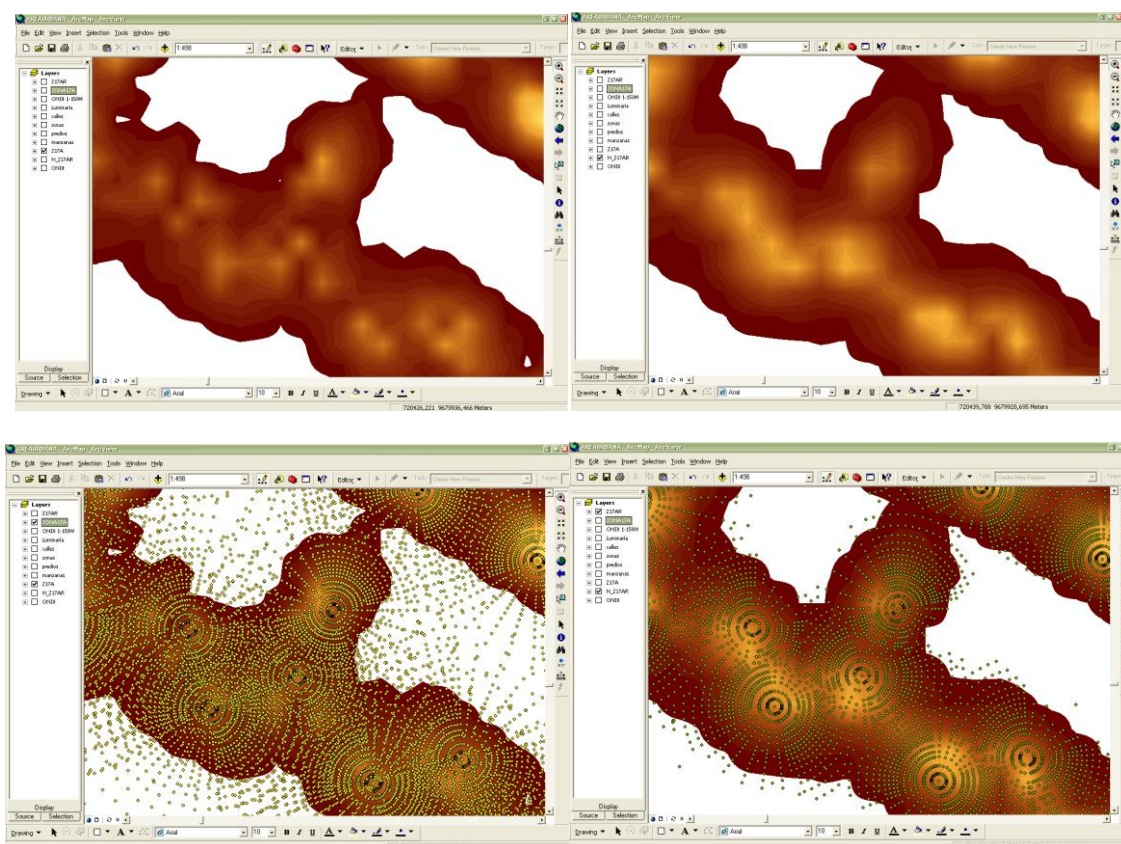


Fig.4.19 Comparación de resultados con y sin Matlab

Modificando las propiedades del layer creado con la interpolación, la cual esta en formato raster y al activar las capas necesarias para una visualización más adecuada, se tiene el Mapa Lumínico completo para la zona 17A (Ver plano 2).

Este procedimiento se realiza para cada zona, creándose las Curvas Isolux de cada luminaria y logrando implementar de esta manera el Mapa Lumínico de la ciudad.

4.12 MEDICIÓN DE CAMPO Y COMPROBACIÓN

Es necesaria la medición de campo para comprobar los datos obtenidos y presentados en el ArcMap del SIG. Por esta razón se considerara una muestra de 100 luminarias a medir para el caso de alturas, interdistancias e iluminancias.

La adecuada justificación del porqué del tamaño de estas muestras, se indican a continuación.

4.12.1 CALCULO DE LA MUESTRA

Utilizando el Teorema del Limite Central que indica la distribución de muestreo de la media muestral (\bar{x}), con media (μ) y varianza finita σ^2 , se tiene la distribución normal definida con el nivel de confianza (Z), con un tamaño de muestra (n) tendiente al infinito, cuya fórmula es la siguiente expresión:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

De acuerdo a lo expuesto en el libro de Douglas Montgomery [12] en donde indica que: aunque, en muchos casos, el teorema del límite central funciona bien para muestras pequeñas ($n=4,5$), en particular donde la población es continua, unimodal y simétrica, en otras situaciones se requieren muestras grandes dependiendo de la forma que tenga la población. En muchos casos de interés practico, si $n \geq 30$, la aproximación normal será satisfactoria sin importar cuál sea la forma de la población. Si $n < 30$, el teorema central funciona si la distribución de la población no esta mucho muy alejada de una distribución normal.

Por otro lado, el teorema de límite central [12] es aplicable para datos cuantitativos con prueba pareada. En estadística descriptiva la prueba pareada para variables cuantitativas hace referencia a que si un objeto es analizado durante la medición, el mismo deberá ser tomado para el cálculo. Así por ejemplo, si una estructura se mide en campo, la tomada para el cálculo de la geodatabase personal de la Centrosur deberá ser la misma.

Entonces, utilizando el teorema de límite central se determina el tamaño n de la muestra en donde se tiene que:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} * \sigma}{E} \right)^2$$

Ahora bien:

$Z_{\alpha/2}$: Es una constante que depende del nivel de confianza que se asigne. Los valores más utilizados y sus niveles de confianza son:

$Z_{\alpha/2}$	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2	2,58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95,5%	99%

σ : Indica la máxima diferencia esperada entre el valor medido y calculado de una de la muestra de una de las variables.

Para calcular el tamaño de la muestra, vamos a tomar la interdistancia, cuya máxima diferencia esperada se considera que esta alrededor de 1.5m con lo que:

$$\sigma_{estimadoapriories} = \left(\frac{3}{2 * 3} \right) = 0.5$$

Puesto que la distribución normal es simétrica con respecto a cero, se tiene una área α en la cola de la distribución que es igual a un valor alrededor del 3%. De aquí el valor que se introduce para el cálculo del sigma estimado, más información en el libro de Douglas Montgomery [12].

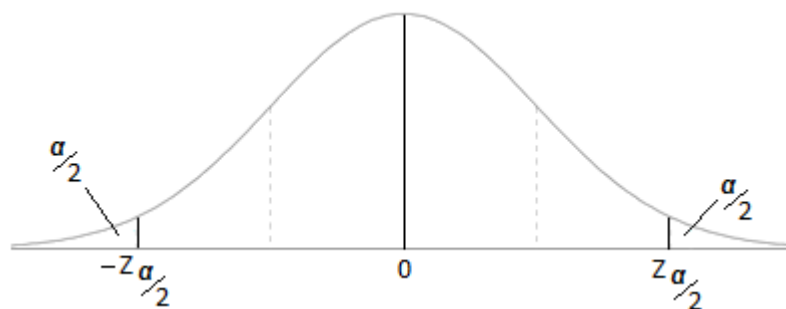


Fig.4.20 Curva de la distribución normal

E : Es la estima de la diferencia de las medias, para el caso del análisis del proyecto se considerara 10 cm (0.10m)

Por lo tanto, se tiene:

$Z_{\alpha/2}$:

σ :

E :

q :

Calcular muestra

n : numero de mediciones

En conclusión el tamaño de la muestra que se tomara para el proyecto es 100. Este cálculo de la muestra, será la utilizada también tanto para las mediciones que se tenga que hacer de las alturas e iluminancias.

4.12.2 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN PARA LA ILUMINANCIA

El método a utilizar para la medición es el método de nueve puntos [5], se ha optado por esta metodología por ser un método conocido y usado por la CIE en el cálculo lumínico, y además porque facilitara una base de datos de medición más amplia que si se utilizara el Método del Punto, con la cual se podrá comparar y corregir los datos obtenidos en la teoría.

La descripción del método se explicó en el capítulo 3, aquí se remite a indicar las consideraciones tomadas en la medición, los parámetros establecidos, instrumentos de medida, las variables de influencia que se presentan; en resumen se indicará el procedimiento a seguir para la medición.

4.12.2.1 SELECCIÓN DEL VANO PARA LA MEDICIÓN

El método indica que debe seleccionarse un vano adecuado en donde se efectuara la medición, para que aquellos requisitos a obtener del área medida, la forma del marcado de la malla o grilla, la ejecución de las mediciones y el cálculo de los parámetros de calidad sean apropiados.

Por lo tanto el área en donde se va a realizar las mediciones deben cumplir los siguientes requisitos:

1. No debe presentar obstáculos que obstruyan la distribución luminosa de las luminarias (árboles, automóviles estacionados, etc.).
2. El recubrimiento de las calzadas no debe presentar ondulaciones (presencia de baches pronunciados) que impidan la visualización de los puntos de medición o la horizontalidad del luxómetro.
3. Estado de la calzada. Deberá estar seca para la medición.
4. Estar libres de influencia de iluminación diferente al sistema a evaluar (vehicular o comercial).

5. Y finalmente la medición serán realizada en calles rectas sin pendientes considerables, para no incluir otros aspectos que se presenta en calles con curva, o inclinadas.

4.12.2.2 PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN

Todas las fuentes de luz que pertenezcan a la instalación de alumbrado que se va a medir deben ser visibles y estar encendidas, mientras que aquellas fuentes que no lo sean deben estar apagadas en lo posible.

Para estar seguros de la confiabilidad de las mediciones se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Conocer el error que daría el Luxómetro cuando esta no este calibrado. Para el caso del luxómetro utilizado para el proyecto, el error que esta introduce, debido a la precisión se indicara más adelante.
- Se debe tener en cuenta la correcta geometría de la instalación: altura de montaje, avance, ángulo de inclinación de la luminaria, interdistancias, ancho de la vía, posición de la bombilla.
- En lo posible las luminarias a medir deben estar funcionando al 100% de la potencia, pero de no ser así se debe remitir a las normas para justificar la cantidad de flujo que disminuye, cuando las luminarias están funcionando en el régimen de doble nivel de potencia. Para el caso del proyecto las mediciones fueron realizadas a partir de las 23H00, debido a que a partir de esta hora el tráfico vehicular es mínima, además debe tener en cuenta que a esta hora las luminarias están funcionando en doble nivel de potencia. El lugar y la hora donde se midió se indicara más adelante.
- Las bombillas deben estar nuevas con un envejecimiento mínimo de 100 h.
- Verificar visualmente que el conjunto óptico de la luminaria este limpio.
- En lo posible, se debe eliminar o evitar el efecto de las fuentes luminosas ajenas al sistema analizado que puedan causar errores en la medición, tales como avisos luminosos, faros de automóviles, etc.
- Evitar las mediciones cuando el piso está mojado, porque pueden presentarse reflexiones que introducen errores.

- El personal que interviene en las mediciones no debe producir sombras en el campo de medición, ni bloquear la luz hacia el aparato de medición.
- Ubicación del sensor: La fotocelda del luxómetro será colocado a una altura máxima de quince centímetros (0,15 m), en posición horizontal, en el caso de tener superficies planas, el luxómetro será colocado en la calle.
- Ubicación del punto a medir: El dispositivo con el sensor es colocado por el operario sobre el punto inicial marcado sobre el vano o tramo a medir. La persona encargada de realizar la medición, registrará la lectura obtenida en el luxómetro. Cada punto marcado en el vano será medido de igual forma.

4.12.2.2.1 MARCACIÓN DE LA VÍA

La marcación de los puntos de medición en los tramos o vanos seleccionados dependerá del tipo de calzada para lograr una buena visualización durante las mediciones. Calzadas claras y oscuras. El marcado de los puntos a medir, se realizó con tiza blanca. Para determinar el punto a marcar se procedió a medir con una cinta la distancia del vano y dividirla para las cuatro secciones que se requiere tener en la calle.

Además, la marcación de los puntos generalmente se hace sobre tramos rectos de vía; aunque pueden existir casos especiales en la marcación de los puntos para las mediciones de: intersecciones, rampas, pendientes, plazas, cruces, puentes peatonales y vías curvas, las cuales serán obviadas en este caso.

4.12.2.2.2 MALLA DE MEDICIÓN

Como ya se mencionó anteriormente el método que se ha decidido considerar para las mediciones, es el método de 9 puntos. Se ha optado por usar este método debido a que los valores medidos para cada luminaria, permitirán realizar una comparación y un análisis adecuado con los valores obtenidos de las curvas Isolux creadas durante la construcción del Mapa Lumínico en el ArcMap del SIG.

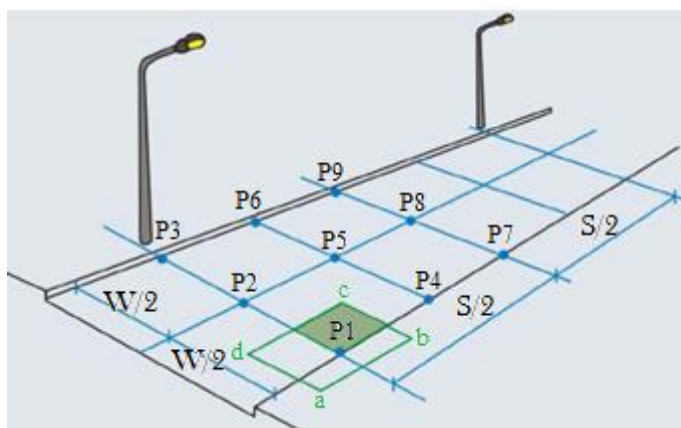


Fig.4.21 Malla de medición (método de 9 puntos)

4.12.2.2.3 EQUIPO UTILIZADO

El Luxómetro y el Distanciómetro son los equipos utilizados en el proyecto para la medición en campo, y ambos son de propiedad de la Centrosur.

EQUIPO LUMINOTÉCNICO (LUXÓMETRO): Para ajustar los datos teóricos y medidos, se debe antes determinar el error que existe entre estas; para lo cual es necesario establecer una base de datos con valores medidos y compararlos con los valores teóricos de la misma; razón por la que se necesita medir la iluminancia con un equipo luminotécnico denominado Luxómetro. Es necesario indicar que de acuerdo a la norma NTC 900 adoptada de la CIE, el luxómetro debe tener una alta sensibilidad y una precisión no mayor del $\pm 5\%$.



Fig.4.22 Luxómetro

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS: Las especificaciones del equipo son:

Escalas y Resolución	Precisión
Lux	$\pm 3\%$ Lectura
40,400,4000,40k,400kLux	$\pm (4\% \text{ Lectura})$ si $> 10000 \text{ lux}$

- Pantalla LCD multifunción, 3-3/4 (3999) dígitos con indicador de gráfica de barras.
- Respuesta del espectro fotópico
- Precisión del espectro CIE (6%)
- Repetibilidad de medición $\pm 2\%$
- Coeficiente de temperatura $\pm 0,1\%$ por $^{\circ}\text{C}$
- Tasa de muestreo 13,3 veces por segundo (gráfica de barras); 1,3 veces por segundo (Indicador digital)
- Foto detector Foto diodo de silicio con filtro de respuesta del espectro
- Retención de picos Captura picos de luz hasta 100uS (microsegundos)
- Condiciones de operación Temperatura: 0 a 40°C (32 a 104°F)
- Condiciones de almacenamiento Temperatura: 14 a 140°C (-10 a 50°F)

4.12.2.2.4 CONSIDERACIONES PARA DISMINUIR ERRORES EN LAS MEDICIONES.

En lo posible se debe evitar que las medidas se alteren por:

- a. Luces o sombras introducidas: Deberá evitarse introducir luz adicional por reflexión sobre ropa blanca o colores fosforescentes e igualmente, se debe evitar producir sombras o bloquear la luz que llega al luxómetro.
- b. Introducción de errores de medición por deficiencias en la calibración.
- c. Introducción de errores por deficiencias en las lecturas. Como variación de las alturas de medición, posición inadecuada del sensor y señalización incorrecta de los puntos de medición.

4.12.2.2.5 INFORME DE LA MEDICIÓN.

En el informe se deben incluir los siguientes datos:

- a. Localización del sitio de la medición.
- b. Fecha y hora de la medición.
- c. Descripción del sistema de iluminación en el que se incluye: tipo de luminaria, altura del montaje, interdistancias entre postes, avance,

inclinación de la luminaria, disposición, potencia, tensión, condiciones de los alrededores, etc.

- d. Condiciones atmosféricas.
- e. Tabla de datos medidos en el sitio
- f. Descripción de los instrumentos utilizados
- g. Nombre de los participantes en la medición.
- h. Tipo de piso donde se realizó la medición.

4.12.3 MEDICIÓN DE LA ALTURA Y LA INTERDISTANCIA

La necesidad de medir las alturas y las interdistancias de las luminarias, se debe básicamente a que la iluminancia depende del valor que tenga estas dos medidas, obsérvese la fórmula que se indica en el punto 4.6.1.2, para aclarar lo mencionado.

Con el valor de la medición y la respectiva comparación con el valor obtenido de la geodatabase personal de la Centrosur, se procede a realizar la comparación para determinar un error que me ayude a justificar la diferencia existente entre la iluminancia medida y calculada.

4.12.3.1 EQUIPO UTILIZADO

El equipo que se utilizó para tomar las medidas, tanto de la altura de la luminaria como de la interdistancia, es el distanciometro, la cual se describe a continuación.

DISTANCIOMETRO: El uso de este equipo es necesario para realizar las mediciones de campo de las alturas e interdistancias. Mediciones que serán comparadas con los valores obtenidos del ArcMap del SIG, y con la cual se determinara un error proveniente de las alturas e interdistancias, la explicación de los errores obtenidos se realizara más adelante.

El instrumento utilizado es el ELITE® 1500 de Bushnell® es un telémetro de láser avanzado que utiliza Tecnología Digital y permite lecturas de distancias comprendidas entre 5 y 1500 yardas/5-1372 metros. El ELITE® 1500 mide 1,7 x 5,1 x 3,7pulgadas y pesa 10 onzas, y tiene una precisión de +/- una yarda/metro.



Fig.4.23 Distanciómetro

PRECISIÓN PARA MEDIR DISTANCIAS: La precisión para medir las distancias es de más o menos una yarda o metro en la mayoría de los casos. El alcance máximo del instrumento dependerá de la reflectividad del blanco. La distancia máxima para la mayor parte de los objetos es de 1000 yardas / 914 metros, mientras que en el caso de los objetos altamente reflectantes es de 1500 yardas / 1373 metros

El color, acabado de la superficie, tamaño y forma del blanco afectarán la reflectividad y el alcance. Cuanto más brillante es el color, mayor será el alcance de la medición. Por ejemplo, el rojo es altamente reflectante y permite hacer mediciones a más distancia que el color negro, que es el color menos reflectante.

ESPECIFICACIONES

- Dimensiones: Mide 1,7 x 5,1 x 3,7 pulgadas
- Peso: 10 onzas.
- Precisión: ± 1 yarda
- Alcance: 5-1500 yardas / 5-1372 metros
- Aumento: 7x
- Diámetro de lente objetiva: 26 mm
- Revestimientos ópticos: Múltiples capas completas
- Pantalla: LCD

- Fuente de alimentación: pila de 9 voltios alcalina (suministrada por el usuario)
- Campo de Visión: 340 pies a 1000 yardas
- Distancia extra de la pupila al ocular: 19 mm
- Pupila de salida: 3.7 mm
- Construcción impermeable al 100%
- Revestimiento RainGuard
- Luz LED interna de Luz-Baja para atardecer y anochecer
- Incluye estuche y correa

Finalmente, cabe indicar que los sectores en donde se realizó la medición se indican en la tabla que se presenta en el Anexo 3, en la cual se indica además los valores medidos y los tomados de la Geodatabase personal de la Centrosur, el error determinado para cada luminaria y un promedio de estos. La explicación del cálculo del error encontrado y expuesto en esta tabla, se hará más adelante.

4.8 CONTRASTACIÓN DE DATOS.

Este punto básicamente trata sobre la diferencia existente entre el valor medido de iluminancia y el obtenido mediante cálculo.

Para indicar el porqué de esta diferencia y el respectivo ajuste que se tuvo que hacer al valor medido de la iluminancia, se debe antes indicar que las mediciones fueron realizadas a partir de las 11:00 pm de la noche, con la intención de evitar en lo posible el tráfico vehicular.

Sin embargo, a pesar de que el tráfico vehicular se redujo al mínimo, se presenta una consecuencia, la cual implica que al ser las mediciones tomadas a estas horas de la noche, las luminarias de doble nivel de potencia están funcionando en su nivel reducido, tanto en su potencia, como en el flujo; por lo que los valores de las medidas de iluminancia no pueden ser comparadas con las obtenidas del cálculo, puesto que el flujo de las medidas tomadas no están al 100%, mientras que las usadas para el cálculo sí.

No obstante, esta contrariedad es ajustada, adecuada y justificada para realizar las comparaciones y el análisis necesario, usando los criterios y

conceptos que se indican en la Norma NTC 900 (Ver página 122), específicamente la que se cita en la tabla de la recomendación **C.2 SISTEMAS DE REGULACIÓN DEL NIVEL LUMINOSO.**

Tabla C.1. Sistemas de regulación del nivel luminoso. ahorro máximo durante el periodo de funcionamiento del nivel o potencia reducida

Parámetros	Nivel máximo	Nivel reducido
Potencia absorbida por la red	$W = 100 \%$	$60 - 64 \% W$
Flujo de bombilla	$\phi = 100\%$	$45 - 55 \% \phi$
Ahorro	--	$40 - 36 \%$
NOTA Es importante destacar que el ahorro consignado en la Tabla C.1 comprendido entre un 36 % y un 40 %, corresponde solamente al período de funcionamiento del nivel o potencia reducida.		

Como se puede observar la reducción de potencia y flujo no son directamente proporcionales. Sin embargo, utilizando la recomendación citada en la tabla, se considera que las mediciones son tomadas a una potencia reducida del 64%, la cual implica que el flujo se reduce a un 55%. Por lo tanto, para llevar los valores medidos a valores que se aproximen al de una luminaria en funcionamiento normal, es decir al 100% de su potencia, se debe multiplicar cada valor por un factor igual a 1,45.

Realizado este ajuste se puede realizar las comparaciones requeridas, y los cálculos necesarios para determinar el error mantenido entre los valores medidos y calculados. La determinación del error, debido a las alturas, interdistancias, precisión de instrumentos e iluminancias se indican en el siguiente punto.

Además, una vez obtenido los resultados de la interpolación en el ArcMap del SIG, se debe configurar la visualización del formato Raster en la que se presenta el Mapa Lumínico (curvas isolux), tratando en lo posible de mostrar una visualización que sea lo más aproximada a la realidad, tanto en uniformidad, como en las zonas oscuras y claras que se tengan. Por lo tanto, a continuación se indican graficas en las que se muestra las diferentes visualización resultantes de los ajustes necesarios que se deben hacer en la configuración.

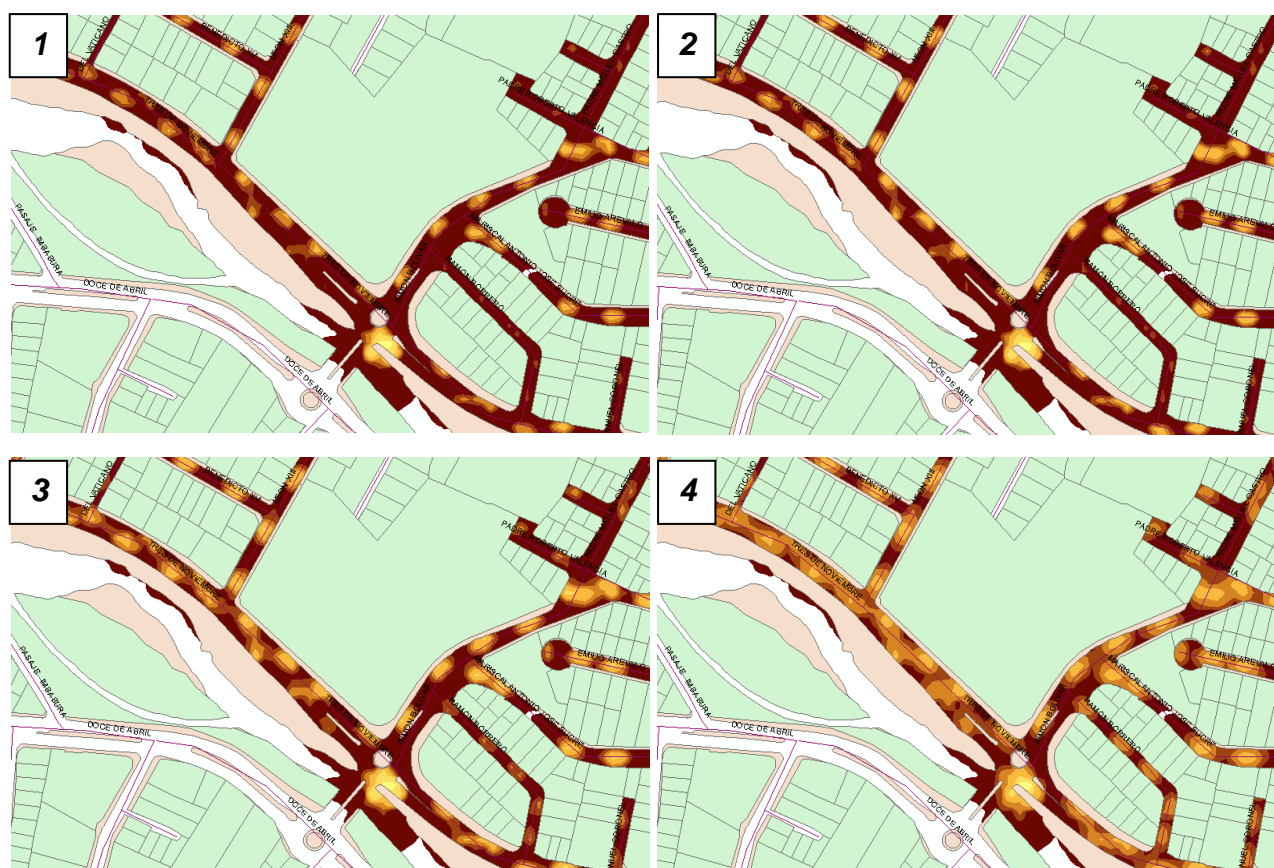


Fig.4.24 Mapa Lumínico resultante

4.9 DETERMINACIÓN DE ERRORES.

Con el ajuste que se realizó en el punto anterior, se realiza las comparaciones y cálculos necesarios entre los valores obtenidos de las mediciones y los tomados de la geodatabase personal de la Centrosur, con la cual se obtiene los siguientes errores.

4.9.1 CÁLCULO DEL ERROR.

Como se indicó anteriormente el tipo de datos que se maneja en este estudio, es de tipo cuantitativo, ya que sus resultados pueden cuantificarse o expresarse numéricamente.

Por lo tanto, una vez obtenido los valores resultantes de la medición, se procede con el análisis descriptivo de los mismos, para esto se utiliza la formula indicada en el libro de estadística de Douglas C. Montgomery [12], con la cual se calcula el error mantenido entre la medición y los datos calculados.

El método de análisis utilizado es la siguiente:

1. Para dar una mayor validez a las inferencias obtenidas, se determinó la diferencia que existe entre cada valor medido y calculado, en forma pareada. En estadística descriptiva la prueba pareada para variables cuantitativas hace referencia a que si un objeto es analizado durante la medición, el mismo deberá ser tomado para el cálculo. Así por ejemplo, si una estructura se mide en campo, la tomada para el cálculo de la geodatabase personal de la Centrosur deberá ser la misma.
2. Se obtiene el valor absoluto de la diferencia muestral determinada entre el valor medido y calculado, y se la divide para el valor real, es decir para el valor medido. Lo que se ha hecho entonces es determinar el error relativo entre cada medida tomada y su respectivo valor calculado. Además, si se multiplica por 100 se obtiene el tanto por ciento (%) de error.

Las reglas que vamos a adoptar para el cálculo del error son las siguientes:

- a. La estadística indica que en lo posible, cada medida debe repetirse 3 o 4 veces, para determinar con estos valores una media muestral. Sin embargo, de no ser así, se toma cada valor medido como la media muestral. Por lo tanto cada valor medido y calculado es la media muestral.
 - b. Se tomara como valor real al valor que se tenga de la medición.
3. Con el cálculo del error para cada valor, se determina el error promedio.

4.9.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL ERROR.

Utilizando lo indicado anteriormente se determina el error para la altura, interdistancia e iluminancia y por otro lado se tiene el error que introduce el instrumento, debido a la precisión que esta tenga, la cual se obtiene de las especificaciones técnicas indicadas anteriormente.

Por lo tanto los errores determinados son las que se indican a continuación:

Tabla 4.7 Errores Determinados

TABLA DE ERRORES	
DESCRIPCIÓN	ERROR (%)
ALTURA	5,2
INTERDISTANCIA	3,67
INSTRUMENTO LUXÓMETRO	3
ILUMINANCIA	15,02

Cabe indicar que el equipo utilizado para las mediciones de altura e interdistancia también introduce un error debido a la precisión que esta tiene, sin embargo no se ha colocado en la tabla anterior debido a que esta ya se está considerando en el error determinado de las alturas e interdistancias.

Por otro lado, la suma del error de la altura, interdistancia y el luxómetro dan un total de:

Tabla 4.8 Error debido a la altura, interdistancia e instrumento

ALTURA	5,2
INTERDISTANCIA	3,67
INSTRUMENTO LUXÓMETRO	3
TOTAL	11,87 %

Como se puede observar se tiene un error de 11.87%, esto implica que la suma de estos 3 parámetros contribuyen en esta cantidad al error de 16.19% de la iluminancia.

Finalmente los 3.15% que resulta de la diferencia entre el error de la iluminancia (15.02%) y los 11.87%, expresan el error debido a otras variables como la degradación de flujo luminoso, polución, vida útil, etc.

En resumen, los 15.02% de error debido a la iluminancia, indica que la visualización del Mapa Lumínico, puede estar más o menos claro en esta medida. Por lo tanto nos da una idea de la aproximación que existe entre el Mapa Lumínico construido con lo que se tiene efectivamente en la realidad.

CAPITULO 5

ACTUALIZACIÓN DE LA GEODATABASE PERSONAL

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se indicara el procedimiento que se debe seguir para actualizar la geodatabase personal, en el caso de que, nuevas luminarias sean instaladas. Además se indicara en detalle las tablas desarrolladas, y los procesos internos que realizan cada una.

5.2 PROCEDIMIENTO DE ACTUALIZACIÓN

5.2.1 GEODATABASE PERSONAL DE LA CENTROSUR

La geodatabase personal utilizada para la Tesis, fue la facilitada por la Centrosur con fecha 13 de Diciembre 2010.

- Nombre del archivo: **DATOS.dbf**
- Tipo de Archivo: Microsoft Access

El archivo indicado contiene varios Layers, de las cuales las utilizadas para la Tesis son las siguientes:

- manzanas
- calles
- predios
- Luminaria
- limiteurbano

Cabe indicar que los Layers de: manzanas, calles, predios, fueron utilizados básicamente con propósitos de visualización.

NOTA: Las tablas construidas durante el desarrollo de la tesis, serán almacenadas en la misma geodatabase personal de la Centrosur; convirtiéndose en Layers al ser almacenado con un archivo adjunto Shapefile.

5.2.2 INCORPORACIÓN DE LA GEODATABASE AL ARCMAP DEL SIG

Utilizando la herramienta del ArcMap Add Data (Añadir Datos), Incorporar los layers de la geodatabase personal mencionadas en el punto anterior.

5.2.3 DIVISIÓN EN ZONAS Y SUBZONAS EL ÁREA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA

La Centrosur tiene dividido en 26 zonas el Área Urbano de la Ciudad de Cuenca, la cual está en formato AutoCAD v2009, la misma que se digitalizo en el ArcMap del SIG, con el uso de la herramienta Editor.

Además, algunas de las zonas tuvieron que ser divididas en sub-zonas, esto debido a que el manejo de las tablas creadas en el Excel v2007, son de tamaños considerables; y el tamaño límite de filas que excel maneja es de 1048576, ocasionando que las tablas creadas de las luminarias de cada zona y combinadas con las matrices de intensidad estén limitados a este valor.

EJEMPLO: La zona 17 contiene 2388 luminarias las cuales al ser combinadas con los 937 valores de la matriz de intensidad dan un total de: $2388 \times 937 = 2237556$.

Del proceso de la división en zonas, se obtiene una nueva tabla en donde se indica el número de zonas y subzonas y su respectiva cantidad de luminarias. Esta tabla se llama **zonas** y se la ha ubicado en la misma geodatabase personal con la que estamos trabajando, esta tabla también es un Layer por esta almacenada con el archivo adjunto Shapefile. La cantidad total de zonas que se obtuvo de la división es 40. Más sobre el proceso de división en zonas en el punto 4.5.1.

Nota: Para realizar la división del Área Urbana en zonas y subzonas se trabajó sobre el polígono principal denominado **limiteurbano**.

5.2.4 SELECCIÓN Y EXPORTACIÓN DE DATOS EN EL ARCMAP

SELECCIÓN DE DATOS:

- Abrir la tabla de atributos (**Open Attribute Table**) de la capa **zonas** y seleccionar el número de zona que se quiere exportar (por ejemplo **zona 11A**).
- Ahora, para seleccionar las luminarias de la zona escogida se procede de la siguiente manera:

BARRA DE MENUS: **Selection**→**Select By Location**

En la ventana de dialogo que se despliega luego de pulsar en **Select By Location** realizar lo siguiente:

1. En la opción **I want to** seleccionar: **select features from**
 2. En la opción **the following layer(s)** seleccionar: Luminaria
 3. En la opción **that** seleccionar: **intersect**
 4. En la opción **the features in this layer** seleccionar: zonas
 5. Seleccionar la opción **Use selected features** y pulsar en **OK**.
- Finalmente luego del proceso indicado se puede observar los puntos de las luminarias seleccionadas pertenecientes a la zona en estudio (zona11A).

EXPORTACIÓN DE DATOS:

Trabajando sobre las mismas luminarias seleccionadas la exportación de datos se procede de la siguiente manera:

- Abrir la tabla de atributos (**Open Attribute Table**) de la capa **Luminaria**
- Abrir el botón **Options** y seleccionar **Export**.

- En la ventana que se abre, elegir la carpeta en donde se va a trabajar (en este caso **TESIS/ZONAS**) y escribir el nombre con el que se grabara el archivo (por ejemplo **zona11A**).
- El archivo exportado contiene varios campos de los cuales para el desarrollo de esta tesis solo se utilizaran los siguientes:

POINT_X y **POINT_Y**= Coordenadas X-Y (referenciado al sistema de coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_17S)

ROTACIONSI= Angulo de rotación de la luminaria con respecto al sistema de coordenadas.

CODIGOESTR= Código de la potencia de la luminaria.

ALTURA= Código de la altura del montaje de la luminaria (m)

Nota: El archivo exportado (**zona11A**) está con extensión **.dbf**, la cual se abrirá con Excel.

5.2.5 CREACIÓN DE LA TABLA MATRIZ DE INTENSIDAD

- Nombre del archivo: **MATRIZ.xlsx**(Tabla creada para la tesis)
- Hojas que contiene: **MDI** y **VI**

- Escoger la Matriz de Intensidad de una luminaria de la Base de datos del programa Docwin v3.4.
- Pegar la Matriz de Intensidad escogida en la Hoja **MDI**
- La hoja **VI** está vinculada con la **MDI** por lo que se crea en **VI** un Vector de Intensidades.

Nota: El número de valores de la matriz de intensidad que se obtiene en el DocWin es 1300, sin embargo el número de valores en el vector es 937. Los valores que se eliminaron son los que están en el plano G mayores a 75 grados, estos valores se eliminan debido a que su contribución lumínica es pequeña lo cual no dará un mayor error en el resultado final.

5.2.6 CREACIÓN DE LA TABLA PARA DETERMINAR LA ILUMINANCIA

- Nombre del archivo: **AP_TESIS.xlsx** (Tabla creada para la tesis)
- Hojas que contiene: **MI, MR, PUNTOS, DATOS**

HOJA **MI**: (MATRIZ DE INTENSIDADES)

- Seleccionar los datos del campo denominado **Intensidad** de la Hoja **VI** del archivo **MATRIZ.xlsx**, y pegar en la hoja **MI** del archivo **AP_TESIS.xlsx**, realizar el mismo proceso para obtener la matriz de intensidades completa con los vectores de intensidad para cada modelo de luminaria.
- En la misma hoja en la fila llamada **FLUJO** se tiene el flujo luminoso de cada luminaria utilizada para el desarrollo de esta tesis, la misma que se obtiene de la hoja de datos del fabricante o del programa de simulación de iluminación Ulysse v2.2.

HOJA **MR**: (Tabla creada para tratar los códigos de las alturas y las potencias de cada luminaria)

- Abrir el archivo exportado que se exporta del ArcMap (**zona11a**) guardada en la carpeta seleccionada, copiar los primeros 80 valores de los 5 campos denominados **POINT_X**, **POINT_Y**, **ROTACIONSI**, **CODIGOESTR** y **ALTURA**, y pegar en el archivo **AP_TESIS.xlsx** en la Hoja **MR** en los campos indicados con los mismos nombres del archivo exportado (ejemplo **zona11A**) que van desde las **celdasAL2** a **AP81**.
- Se toma solamente los valores de 80 luminarias debido a que la programación es muy extensa por la gran cantidad de datos con la que se trabaja.
- Se indica también el contador ubicado en el campo **E2** (resaltado con amarillo) el mismo que sirve como un contador para colocar el número de luminaria, inicialmente en la celda **E2** está colocada en 0 esto para las 80 primeras luminarias luego para el siguiente grupo de 80

luminarias incrementar la celda **E2** en 1 y así sucesivamente hasta finalizar el proceso.

- La hoja **MR** contiene además los siguientes campos:

H: Compara el código de la altura colocada en el campo **ALTURA** con el código correspondiente de la columna **D**(desde la celda **D35 a D59**) y coloca en la celda correspondiente del campo **H** el valor de la altura de la luminaria.

P(W): Compara el código de la potencia colocada en el campo **CODIGOESTR** con el código correspondiente de la columna **A** (desde la celda **D35 a D100**) y coloca en la celda correspondiente del campo **P(W)** el valor de la potencia de la luminaria.

FLUJO: Compara el código de la potencia colocada en el campo **P(W)** con el código correspondiente de la columna **A** (desde la celda **A11 a A32**) y coloca en la celda correspondiente del campo **FLUJO** el valor de flujo luminoso de la luminaria.

Angulo: Valores referenciados con respecto a un sistema de coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_17S, estos valores se obtienen restando de 270° los valores del campo denominado **ROTACIONSI** obteniendo de esta manera el ángulo a la cual se encuentra la luminaria con respecto a la calle.

HOJA PUNTOS: (Tabla creada para calcular los valores de la iluminancia y de las coordenadas para cada punto de la matriz)

- En esta hoja se realiza el procesamiento de la información obtenida mediante vínculo de la hoja **MR**, la misma que sirve para realizar las comparaciones y de acuerdo a esta establecer los valores y códigos correspondientes a cada luminaria, en esta hoja también se realizan los cálculos correspondientes de las iluminancias y coordenadas X-Y, para los 937 tomadas de la matriz de intensidades.

Esta hoja contiene Altura, Lum, Flujo, P(W), P, Angulo, EJE_X, EJE_Y, FID, Crot, G, PUNTOSX, PUNTOSY, I, Eh, H y W, las mismas que se describen a continuación:

Los campos **Altura, Flujo, P(W), Angulo, EJE_X, EJE_Y** de la hoja **PUNTOS** están vinculados directamente mediante programación y son iguales a los campos **H, FLUJO, P(W), Angulo, POINT_X** y **POINT_Y** respectivamente, los mismos que se encuentran en la hoja **MR**.

H: Esta columna indica los valores de la altura de montaje de cada luminaria (desde la celda **Q2 a Q11**) a las mismas que se le asigna un código (desde la celda **R2 a R11**) necesarias para la programación del campo **Lum**.

Lum: Compara el valor de la altura colocada en el campo **Altura** (valor buscado) con el vector de la columna **Q** (vector de comparación desde la celda **Q2 a Q11**) y coloca en las 937 celdas correspondientes del campo **Lum** el mismo código de la altura perteneciente a una luminaria, este código está ubicada en el vector de la columna **R** (vector resultado desde la celda **R2 a R11**), este valor en código es utilizado para realizar la programación en Matlab.

W: Esta columna indica los valores de la potencia en vatios de cada luminaria (desde la celda **U2aU27**) las cuales están relacionadas con el código de la columna **T** (desde la celda **T2aT27**).

P: Compara el código de la potencia colocada en el campo **P(W)** de la columna **D** con el código correspondiente de la columna **T**(desde la celda **T2 a T27**) y coloca en las celdas correspondientes del campo **P** el valor de la potencia de la columna del vector resultante **U**.

Fid: En este campo se coloca el número de luminaria en estudio, además se proporciona el mismo valor para los 937 valores de cada luminaria el mismo que sirve para identificar el número de luminaria sobre el cual está trabajando el algoritmo desarrollado en Matlab.

Crot: Angulo al cual se encuentra cada punto de la matriz de intensidades de cada luminaria, este ángulo se encuentra sumando el ángulo original de la matriz de intensidades colocada en la columna **G** de la hoja **MR** del archivo **AP_TESIS.xlsx** la del campo **Angulo**.

G: Este campo no requiere mayor explicación ya que es el mismo valor de la matriz de intensidades colocada en la columna **H** de la hoja **MR** del archivo **AP_TESIS.xlsx**.

PUNTOSX: Este campo contiene las coordenadas calculadas mediante programación de cada punto de la matriz de intensidades en dirección del eje_X para los 937 valores pertenecientes a cada luminaria cuya fórmula está en función de los planos **Crot**, **G** y de las coordenadas originales de cada luminaria las mismas que se obtienen de la tabla exportada del ArcMap del SIG.

Para realizar el cálculo se utiliza la fórmula de relación entre coordenadas cartesianas y polares:

$$x = r * \cos(\theta)$$

Donde para nuestro caso r viene a ser la altura multiplicada por la tangente del valor en grados del plano G, Theta (θ) es el valor en grados del plano G, además a este valor se debe sumar el valor de la coordenada x de la luminaria analizada.

Ejemplo:

$$\text{PUNTOSX} = \text{A\$2} * \text{TAN} \left(\text{K2} * \frac{\text{PI}()}{180} \right) * \text{COS} \left(\text{J2} * \frac{\text{PI}()}{180} \right) + \text{G\$2}$$

PUNTOSY: Este campo contiene las coordenadas calculadas mediante programación de cada punto de la matriz de intensidades en dirección del eje_Y para los 937 valores pertenecientes a cada luminaria cuya fórmula está en función de los planos **Crot**, **G** y de las coordenadas originales de cada luminaria las mismas que se obtienen de la tabla exportada del ArcMap del SIG.

Para realizar el cálculo se utiliza la fórmula de relación entre coordenadas cartesianas y polares:

$$y = r * \text{sen}(\theta)$$

Donde para nuestro caso r viene a ser la altura multiplicada por la tangente del valor en grados del plano G, Theta (θ) es el valor en grados del plano G, además a este valor se debe sumar el valor de la coordenada y de la luminaria analizada.

Ejemplo:

$$\text{PUNTOSY} = \$A\$2 * \text{TAN} \left(K2 * \frac{\text{PI}()}{180} \right) * \text{SENO} \left(J2 * \frac{\text{PI}()}{180} \right) + \$H\$2$$

Eh: Este campo contiene las iluminancias calculadas mediante programación de cada punto de la matriz de intensidades para los 937 valores de cada luminaria cuya fórmula está en función de la altura, del flujo, del ángulo G y de su respectiva intensidad I.

Para realizar el cálculo se utiliza la fórmula de la iluminancia indicada en el punto 4.6.1.2:

Ejemplo:

$$Eh = \frac{N2 * \left(\cos \left(K2 * \frac{\text{PI}()}{180} \right) \right)^3 * \$C\$2}{\$A\$2^2 * 1000}$$

HOJA **DATOS:** (Tabla creada para obtener los resultados finales)

- La hoja **DATOS** del archivo **AP_TESIS.xlsx** contiene los campos **Lum**, **P**, **FID**, **PUNTOSX**, **PUNTOSY** y **Eh** los mismos que están vinculados a la hoja **PUNTOS**, del mismo archivo.

5.2.7 CREACIÓN DE LA HOJA DE CÁLCULO FINAL

Los datos que serán utilizados, sobre las luminarias de una zona combinadas respectivamente con su matriz de intensidad, serán presentados en una nueva hoja de cálculo, de esta manera:

- Nombre del archivo: **zona...xlsx**(ejemplo zona11A)
- Contiene solo dos hojas: **z...zR...**(ejemplo z11A, zR11A)

- Crear el archivo de excel con el nombre correspondiente a cada zona (ejemplo **zona11A**) en la misma carpeta que contiene los archivos de Matlab (en este caso **TESIS \ MATLAB**), esto debido a que los dos programas mencionados se pueden vincular mediante programación para importar datos desde excel a Matlab y exportar datos desde Matlab a excel.
- En el archivo creado (**zona11A**) nombrar a cada hoja con sus respectivos nombres (ejemplo **z11A**, **zR11A**), las mismas que serán utilizadas para llamar desde Matlab.
- Del archivo **AP_TESIS.xlsx** hoja **DATOS** seleccionar todos los campos (celdas **A2** hasta **F74961**) la cual indica los puntos de la matriz de intensidades pertenecientes a 80 luminaria.
- Pegar los valores de todos los campos obtenidos de la hoja **DATOS** del archivo **AP_TESIS.xlsx** de las 80 luminarias en la hoja (**z11A**) del archivo creado (**zona11A**). Los datos deben ser pegados sin vínculo sino solo como valores.
- Para obtener los puntos de la matriz de intensidades de las siguientes 80 luminarias pertenecientes a la zona seleccionada (**zona11A**) se procede de la siguiente manera:
 1. Copiar los siguientes 80 valores de los 5 campos denominados **POINT_X**, **POINT_Y**, **ROTACIONSI**, **CODIGOESTR** y **ALTURA** del archivo exportado desde el ArcMap del SIG (**zona11A.dbf**) y pegar en el archivo **AP_TESIS.xlsx** en la Hoja **MR** en los campos indicados con los mismos nombres del archivo exportado (ejemplo **zona11A**) que van desde las **celdasAL2** a **AP81**.
 2. Cambiar el número de la celda E2 (resaltada con amarillo) en la hoja MR del archivo **AP_TESIS.xlsx** indicada con 0 para las primeras 80 luminarias e incrementar en 1 para las siguientes 80 y así sucesivamente hasta finalizar el proceso, esto debido a que se debe identificar el número de la luminaria para realizar la programación.
 3. Copiar del archivo **AP_TESIS.xlsx** hoja **DATOS** todos los campos (celdas **A2** hasta **F74961**) la cual indica los puntos de la matriz de intensidades

pertenecientes a 80 luminaria y pegar estos valores debajo de los valores de las primeras 80 luminarias en la hoja (z11A) del archivo creado (zona11a).

Los datos deben ser pegados sin vínculo simplemente como valores. Realizar este proceso para toda la zona seleccionada.

4. La hoja denominada zR... (zR11A) es en donde se guarda la información exportada de Matlab la realiza al Matlab automáticamente. A esta hoja se exportan simplemente 3 campos las mismas que son: las coordenadas X ubicada en la columna A, Y ubicada en la columna B y las iluminancias ubicada en la columna D.

5.2.8 MANEJO DEL ALGORITMO EN MATLAB

- Nombre del archivo: **uNacionalP1G.m**
- Contiene también entorno GUIDE: **uNacionalP1G.fig**

- Para correr el programa en Matlab se debe:

1. Colocar el nombre de la hoja y el tamaño del archivo a procesar, este cambio se debe realizar en el archivo de Matlab ubicadas en las filas que van desde **277** a **282**.

Ejemplo para la zona11A se tendría que realizar los siguientes cambios:

```
lum= xlsread('zona11A.xlsx','z11A','A2:A74961');  
P=xlsread('zona11A.xlsx','z11A','B2:B74961');  
FID= xlsread('zona11A.xlsx','z11A','C2:C74961');  
x1=xlsread('zona11A.xlsx','z11A','D2:D74961'); % PUNTOSX  
y1=xlsread('zona11A.xlsx','z11A','E2:E74961'); % PUNTOSY  
E1=xlsread('zona11A.xlsx','z11A','F2:F74961'); % Eh
```

Donde 'zona11A.xlsx' indica el nombre del archivo.

'z11A.xlsx' indica la hoja de donde se importaran los datos.

'B2:B74961' indica el tamaño de la matriz.

2. Cambiar el nombre de la hoja donde se colocara los datos procesados ubicada en la fila **3198** del archivo de Matlab procediendo de la siguiente manera:

```
xlswrite('zona11A.xlsx',tbl2,'zR11A');
```

Donde 'zona11A.xlsx' indica el nombre del archivo.

'zR11A' indica la hoja a donde se exportan los datos.

3. Pulsar el botón **Save** e inmediatamente el botón **run uNacionalP1G.m** de donde enseguida el programa cargara los archivos y empezara a ejecutarse el algoritmo. Una vez finalizado el proceso la información será exportada automáticamente a la hoja de Excel correspondiente (**zona11A.xlsx**, hoja **zR11A**).
4. Los datos obtenidos en la hoja **zR...** del archivo **zona...xlsx** (ejemplo **zR11A**, **zona11A.xlsx**) contiene los campos de las coordenadas X, Y, e ILUMINANCIAS ubicadas en las columnas A, B y C respectivamente.

5.2.9 DATOS FINALES DE MATLAB INCORPORADOS EN LA GEODATABASE PERSONAL

- Nombre del archivo: **ZONAS.mdb** y
- Contiene BASE DE DATOS DE ILUMINANCIA DE LAS 40 ZONAS

La última tabla conseguida al ejecutar el programa en Matlab, se debe incorporar a la geodatabase personal que esta en Access, para lo cual se debe hacer lo siguiente (esto se debe hacer para cada zona):

Ir a la barra de menú del archivo Access y seleccionar la opción Datos Externos y pulsar en el icono de Excel, en la ventana desplegada proceder de la siguiente manera:

1. Seleccionar el origen de los datos (**C:\TESIS\MATLAB\zona11A.xlsx**) y **Aceptar**.
2. En la siguiente ventana desplegada seleccionar la hoja que desea exportar (**zR11A**) y pulsar **siguiente**.

3. En la siguiente ventana simplemente pulsar **siguiente** sin realizar ningún cambio.
4. En la siguiente ventana ir a las opciones de campo y cambiar simplemente el nombre de los campos nombrando con sus respectivos nombres tales como **campo 1** por **X**, **campo 2** por **Y** y **campo 3** por **E** y pulsar en siguiente.
5. En la siguiente ventana simplemente pulsar **siguiente** sin realizar ningún cambio.
6. Finalmente colocar el nombre con el que se guardara la base de datos (ejemplo **ZONA11A**) y pulsar en **Finalizar**.
7. Este proceso se debe realizar para las 40 zonas en estudio.

5.2.10 INCORPORACIÓN DE LOS LAYERS DE LA GEODATABASE PERSONAL AL ARCMAP DEL SIG

- Nombre del archivo: **AREAURBANA.mxd**

1. Para exportar la base de datos de cada zona desde Access al GIS se procede de la siguiente manera:

BARRA DE MENÚS: **Tools**→**AddXY data**

En la ventana desplegada al dar clic en **AddXY data** realizar:

- 1) En la primera opción escoger la carpeta y la base de datos a incorporar ejemplo **ZONA11A**.
 - 2) En los siguientes campos especificar los campos pertenecientes a las coordenadas, en **Field X**: seleccionar X y en **Field Y**: seleccionar Y, y finalmente presionar **OK**.
2. Para crear el **MAPA LUMÍNICO** respecto a cada zona se procede a realizar la interpolación la misma que se procede de la siguiente manera:

BARRA DE HERRAMIENTAS: Show/Hide ArcToolbox Window

Luego en la ventana que se abre con título **ArcToolbox** ir a la opción **Spatial Analyst Tools**→ **Interpolation**→**Natural Neighbor**.

En la ventana desplegada luego de pulsar en la opción **Natural Neighbor** realizar lo siguiente:

- 1) En **Input point features** escoger la base de datos a interpolar ejemplo **ZONA11AEvents**.
- 2) En **Z value field** seleccionar el campo **E** a interpolar, este campo hace referencia a la iluminancia.
- 3) En **Output raster** seleccionar la carpeta en donde se desea guardar los datos de la interpolación (**TESIS\LUXES\LUXES.mdb\ZON11A**).
- 4) En **Output cell size** no realizar ningún cambio ya que este valor coloca automáticamente el programa y finalmente presionar **OK**.

3. Finalmente el **MAPA LUMÍNICO** queda construido.

5.3 PROYECCIÓN DE LOS DATOS DE LA GEODATABASE PERSONAL

Todas las instalaciones de alumbrado público deben contar con un plan de mantenimiento que garantice el mantenimiento de los niveles de eficiencia energética y los parámetros de iluminación. Este plan de mantenimiento debe incluir entre otras informaciones, el periodo de limpieza del conjunto óptico de las luminarias y de cambio de las bombillas. (Ver la figura 5.1). La curva B corresponde a la curva de depreciación del flujo luminoso de la bombilla (DLB). La curva C corresponde a la curva del factor de ensuciamiento (FE).

La periodicidad de la limpieza del conjunto óptico de la luminaria y del cambio de las bombillas debe ser tal que garanticen que las instalaciones de alumbrado público no estén funcionando con valores de iluminancia promedio por debajo de los mínimos mantenidos.

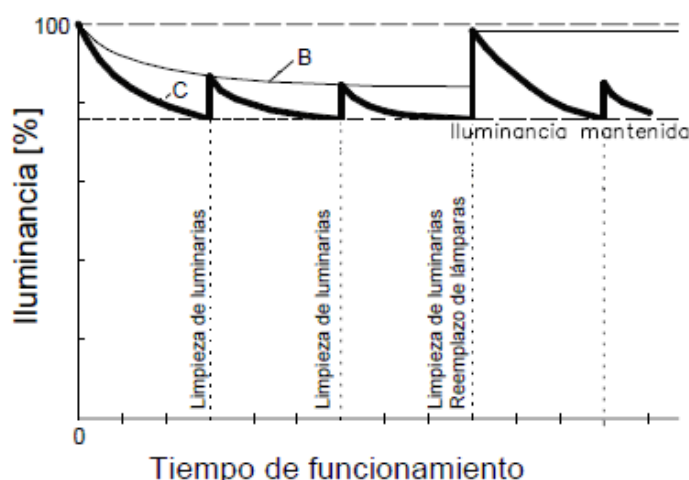


Fig.5.1 Curvas de Depreciación

5.3.1 METODOLOGÍA PARA REALIZAR LA PROYECCIÓN

La información referente a este tema, y lo expuesto en este punto consiste básicamente en indicar pautas generales para el caso que se requiera hacer la proyección; es decir, lo indicado nos dará una idea general, pero la cual deberá ser profundizada, en el caso de realizar la proyección, ya que otras variables pueden estar presentes, las cuales al no ser analizadas de forma correcta, producirán un resultado incierto.

Se optado por dejar expuesto el tema de la proyección de esta manera, porque el resultado de realizar la proyección, dará un factor multiplicativo, que deberá multiplicarse a los datos de la geodatabase personal. Luego el Mapa Lumínico será construido con estos nuevos valores, presentando una disminución en los niveles de iluminación visualizados. Sin embargo esta disminución en la iluminación, es una disminución teórica, ya que en la realidad muchas variables están presentes, originando que la proyección no sea del todo justificable. Además la Centrosur, dispone de un programa de mantenimiento definido, con la cual se ejecutan las intervenciones y cambios de luminarias.

La metodología para proyectar los datos de la geodatabase personal, consiste básicamente en:

- Utilizar las curvas de depreciación que intervienen en el cálculo del F.M.
- Determinar los valores de cada curva.
- Calcular el factor de mantenimiento, que es equivalente al factor multiplicativo requerido para la proyección.

El factor multiplicativo, puede ser determinado anualmente, y esta indicara la proporción de iluminación que disminuirá cada año.

5.4 ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN.

De acuerdo a lo expuesto en los capítulos 4 y 5, donde se indican respectivamente el procedimiento para la creación del Mapa Lumínico y su forma de actualizar; se concluye que esta forma manual de crear el Mapa Lumínico es dificultoso, demorado y poco práctico. No obstante la mejor alternativa para solucionar este problema es automatizar los procedimientos mediante el desarrollo de un programa.

El lenguaje de programación que se recomienda para el desarrollo de este tipo de trabajos es uno que cuente con un lenguaje de alto rendimiento, que disponga además de un entorno gráfico y un lenguaje de programación que posibilite la creación de algoritmos propios. Uno de los programas visuales que cumple estas características básicas es el Visual Basic 6.0, por lo tanto se ha optado por hacer uso de este programa ya que cumple las características previas que se requiere y además cuenta con herramientas que permiten vincular directamente el programa desarrollado al ArcMap del SIG.

CAPÍTULO 6

AUTOMATIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MAPA LUMÍNICO

6.1 INTRODUCCIÓN

En vista de que un procedimiento manual implica mayor probabilidad de cometer errores, y un incremento en los tiempos de procesamiento, y ya que la construcción del Mapa Lumínico y su forma de actualizar es de esta manera, se ha planteado una alternativa para solucionar este problema, la cual consiste en automatizar el proceso a través de la creación de un programa en Visual Basic. Por lo tanto este nuevo capítulo se incorpora como un trabajo adicional al desarrollo de la tesis, en la cual se indica el programa computacional desarrollado en Visual Basic.

6.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido fundamentalmente a que la actualización del Mapa Lumínico en forma manual, tal como se indica en el capítulo 5, resulta tedioso, demorado, y poco práctico, se tiene la necesidad de automatizar el proceso mediante la creación de un programa. En donde lo más recomendable y práctico es utilizar un software que cuente con un lenguaje de alto rendimiento y un entorno de programación visual.

6.3 EXPLICACIÓN DEL ALGORITMO

Antes de empezar a programar es necesario tener la información necesaria con la cual se va a trabajar.

La información requerida es:

1. Tabla de Luminarias
2. Tabla de Matrices de Intensidad
3. Tabla del Catalogo
4. Tabla Mapa Lumínico

La tabla 1, tabla de luminarias contiene la información de las luminarias, la cual se encuentra colocada en la geodatabase personal de la Centrosur.

La tabla 2, es la tabla de Matrices de Intensidad definidas durante el desarrollo de la Tesis

La Tabla 3, es la tabla que contiene la descripción de las luminarias, código de estructura, potencia, y material; esta información también fue proporcionada por la Centrosur.

La Tabla 4, es la tabla en donde se almacenan los resultados, es decir aquí se almacena los valores que se obtienen de enlazar cada registro de la tabla de luminarias con los 937 valores de la matriz de intensidades.

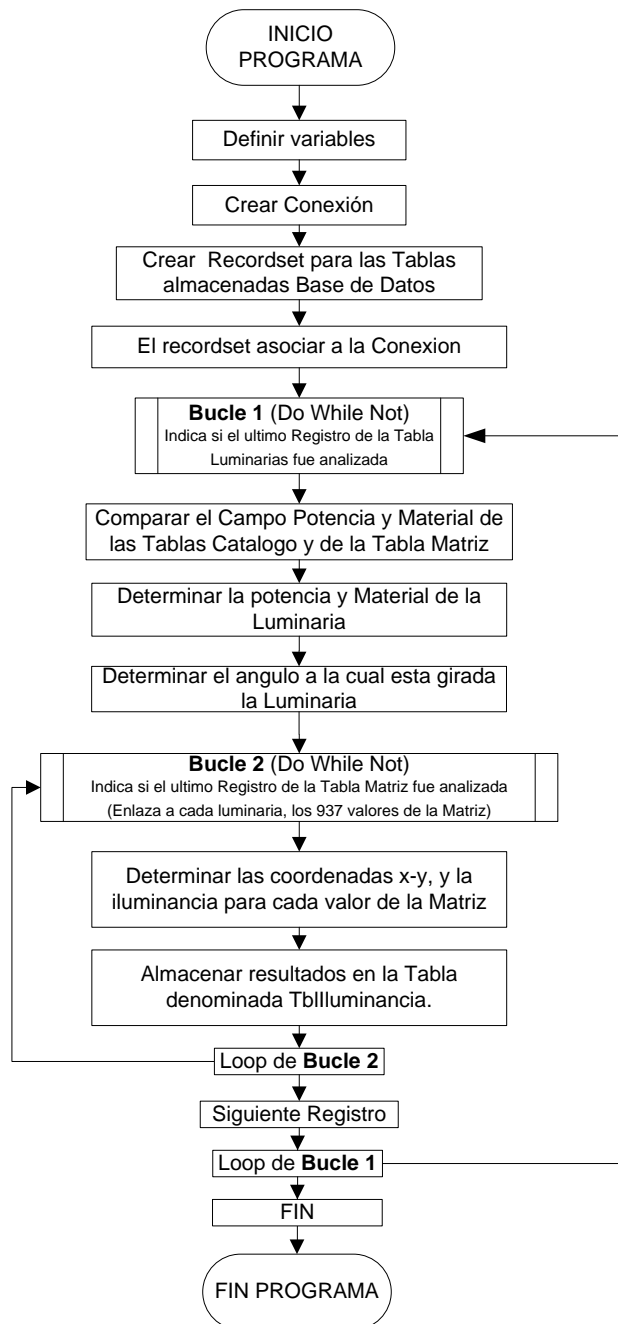
Cabe mencionar que todas las tablas indicadas anteriormente se encuentran almacenadas en la base de datos en Access denominada **(TESISLUM.mdb)**

Determinado entonces la información necesaria se indica a continuación en breves rasgos la consistencia del algoritmo desarrollado:

1. Definir variables con las que se va a trabajar
2. Crear conexión con la base de datos
3. Crear un bucle principal que indique si el último dato de la tabla luminarias fue analizada
4. Crear un bucle secundario que enlace cada registro de la tabla luminarias con los 937 valores de la tabla de las matrices de intensidad.
5. Fin

6.4 DIAGRAMA DE FLUJO

DIAGRAMA DE FLUJO (algoritmo principal) Matrices de intensidad en visual basic



6.5 INTERFAZ GRÁFICA DEL USUARIO PARA CALCULAR LA ILUMINANCIA

El programa desarrollado en VB 6.0 se ha realizado con la ayuda del Interfaz Gráfica del Usuario (IGU) debido a que esta interfaz nos permite visualizar la información de una manera más ordenada y su manejo es mucho más fácil.

Para ingresar al programa pulsar en el icono de aplicación de Visual Basic 6.0 denominado MAPA_LUMINICO, una vez realizado esta acción aparecerá de manera inmediata la ventana titulada PORTADA indicada en la figura 6.1.

Una vez ingresado al programa en la ventana principal se tienen las siguientes opciones: LUMINARIAS-EERCS, SIMULACIÓN Y TERMINAR PROCESO.



Fig.6.1 Portada

A continuación se realiza la explicación de cada uno de los botones indicados en la figura 6.1.

6.5.1 LUMINARIAS-EERCS

Pulsando en esta opción se ingresa a la ventana titulada DATOS, indicada en la figura 6.2, la misma contiene dos tablas denominadas LUMINARIAS

INSTALADAS POR LA EERCS y MATRIZ DE ILUMINANCIAS que son los valores de entrada y los valores de salida respectivamente.

En la tabla denominada LUMINARIAS INSTALADAS POR LA EERCS se tienen varios campos (columnas) de los cuales los utilizados para esta tesis son el OBJECTID, POINT_X, POINT_Y, ROTACIONSIMBOLO y CODIGOESTRUCTURA, estos valores son tomados de la tabla tblLuminarias la misma que fue información proporcionada por la Centrosur y es parte de la base de datos denominada **TESISLUM.mdb**.

En la ventana de la figura 6.2 se tiene también un botón denominado CALCULAR MATRIZ DE ILUMINANCIAS, el cual al dar un clic sobre este nos permite realizar los cálculos de las coordenadas (X,Y) y de las iluminancias para los 937 puntos de la matriz de intensidades que pertenece a cada luminaria, esta información se guarda de forma inmediata en una tabla denominada tblILUMINANCIAS la misma que es parte de una base de datos denominada **TESISLUM.mdb**.

Finalmente luego de realizar todos los cálculos el programa internamente procesa dicha información y lo visualiza en la tabla denominada MATRIZ DE ILUMINANCIAS la misma que contienen varios campos como el IDENTIFICADOR, Material, Potencia, PUNTOSX, PUNTOSY, ILUMINANCIA y FECHA de procesamiento de la información.

Por último para regresar a la ventana denominada PORTADA (figura 6.1) y decidir allí si finaliza el programa o desea realizar otro proceso pulsar en el botón denominado FINALIZAR PROCESO indicado en la ventana DATOS (figura 6.2).

DATOS

OBJECTID	POINT_X	POINT_Y	ROTACION	IMBOLC
1	728396.442	9681354.416	216.04438326	
2	728879.78	9681855.173	216.3151257	
3	729357.498	9682638.197	213.48667403	
4	728732.575	9679925.574	238.87831194	
5	727004.305	9680131.032	54.5603287	
6	728834.373	9681697.223	44.50250382	
7	729150.615	9682299.533	29.0947287	
8	729095.037	9682197.072	32.32277076	
9	729011.603	9682055.608	32.23428112	
10	728991.197	9682021.082	32.24505169	

CALCULAR MATRIZ DE ILUMINANCIAS

[REDACTED]

FINALIZAR PROCESO

MATRIZ DE ILUMINANCIAS

IDEN	Material	Potencia	PUNTOSX	PUNTOSY	ILUMIN.
1	SODIO	250	728396.442	9681354.416	24.0234
1	SODIO	250	728397.770036818	9681356.24091066	23.7845
1	SODIO	250	728397.60531827	9681356.34971234	24.1762
1	SODIO	250	728397.432968617	9681356.44379731	24.6053
1	SODIO	250	728397.25246354	9681356.52244952	25.0157
1	SODIO	250	728397.065790348	9681356.58507038	25.4074
1	SODIO	250	728396.874369738	9681356.63118332	25.8178
1	SODIO	250	728396.679658534	9681356.66043738	26.2282
1	SODIO	250	728396.483138605	9681356.67260992	26.6200
1	SODIO	250	728396.286305588	9681356.66760831	26.9558
1	SODIO	250	728396.090657498	9681356.6454706	27.2542
1	SODIO	250	728395.897683336	9681356.60636529	27.5154
1	SODIO	250	728395.525599864	9681356.47856915	28.0937
1	SODIO	250	728395.022993358	9681356.17110708	28.7466
1	SODIO	250	728394.61708977	9681355.74403741	28.4295
1	SODIO	250	728394.335550747	9681355.22646423	28.7466
1	SODIO	250	728394.1975627	9681354.65365927	28.0937
1	SODIO	250	728394.190391642	9681354.26030632	27.5154
1	SODIO	250	728394.212529283	9681354.06465823	27.2542
1	SODIO	250	728394.251634536	9681353.87168405	26.9558
1	SODIO	250	728394.307409785	9681353.68285245	26.6200
1	SODIO	250	728394.379430548	9681353.49960054	26.2282

Fig.6.2 Ventana que indica los datos de entrada y salida.

6.5.2 SIMULACIÓN

Esta opción nos permite simular la instalación de una o varias luminarias en cualquier parte de la ciudad, para luego con esa información realizar el cálculo de las iluminancias de todas las luminarias.

Ahora al elegir el botón SIMULAR se ingresa a la ventana titulada SIMULAR indicada en la figura 6.3, la misma contiene dos tablas denominadas LUMINARIAS FICTICIAS PARA SIMULAR y MATRIZ DE ILUMINANCIAS que son los valores de entrada y los valores de salida respectivamente.

En la tabla denominada LUMINARIAS FICTICIAS PARA SIMULAR se tienen los siguientes campos (columnas) OBJECTID, POINT_X, POINT_Y, ROTACIONSIMBOLO y CODIGOESTRUCTURA los mismos que pueden ser agregados y almacenados en la tabla tblLSimulada que es parte de la base de datos denominada **TESISLUM.mdb**.

En la ventana de la figura 6.3 se tiene también un botón denominado CALCULAR MATRIZ DE ILUMINANCIAS, el cual al dar un click sobre este nos permite realizar los cálculos de las coordenadas (X,Y) y de las iluminancias para los 937 puntos de la matriz de intensidades que pertenece a cada luminaria, esta información se guarda de forma inmediata en una tabla denominada tblRSimulada la misma que es parte de la base de datos denominada **TESISLUM.mdb**.

Finalmente luego de realizar todos los cálculos el programa internamente procesa dicha información y lo visualiza en la tabla denominada MATRIZ DE ILUMINANCIAS la misma que contienen los siguientes campos: IDENTIFICADOR, Material, Potencia, PUNTOSX, PUNTOSY, ILUMINANCIA y FECHA de procesamiento de la información.

Por último para regresar a la PORTADA (figura 6.1) y decidir allí si finaliza el programa o desea realizar otro proceso pulsar en el botón denominado FINALIZAR PROCESO indicado en la ventana SIMULAR (figura 6.2).

SIMULAR

LUMINARIAS NUEVAS PARA SIMULAR

OBJECTID	POINT X	POINT Y	RI
1	728396,442	9681354,416	21
2	728879,76	9681855,173	21
3	729357,498	9682638,197	21
4	729357,498	9682638,197	21

AGREGAR NUEVAS LUMINARIAS

OBJETO
 POINTX
 POINTY
 ROTACION
 COD. ESTR
 ALTURA 8

AGREGAR NUEVO REGISTRO

CALCULAR MATRIZ DE LUMINARIAS

FINALIZAR PROCESO

MATRIZ DE LUMINARIAS

IDEN	Material	Potencia	PUNTOSX	PUNTOSY	ILLUMIN
1	SODIO	250	728382,995203838	9681346,97594352	14,8415
1	SODIO	250	728383,68481645	9681345,8322899	14,6297
1	SODIO	250	728384,491442786	9681344,75396347	13,8076
1	SODIO	250	728385,37902004	9681343,74917095	11,8386
1	SODIO	250	728386,350793217	9681342,8255594	9,58414
1	SODIO	250	728387,399366538	9681341,99015807	7,65451
1	SODIO	250	728388,516759732	9681341,24932486	6,24175
1	SODIO	250	728389,694468765	9681340,60869795	5,37535
1	SODIO	250	728390,923530563	9681340,07315291	4,70100
1	SODIO	250	728392,194591228	9681339,64676555	4,36135
1	SODIO	250	728393,497977225	9681339,33278093	4,04631
1	SODIO	250	728394,823769004	9681339,13358867	3,70173
1	SODIO	250	728396,161876493	9681339,05070474	3,38665
1	SODIO	250	728397,50211589	9681339,08475994	2,52032
1	SODIO	250	728398,834287168	9681339,23549508	1,56045
1	SODIO	250	728400,148251704	9681339,50176298	1,06815
1	SODIO	250	728402,681774982	9681340,37192738	0,44302
1	SODIO	250	728406,104032619	9681342,46543963	0,09352
1	SODIO	250	728408,867838973	9681345,37336248	0,08365
1	SODIO	250	728410,784845285	9681348,89752587	0,09352
1	SODIO	250	728411,724410799	9681352,79776401	0,44302
1	SODIO	250	728411,773240409	9681355,47611088	1,06815
1	SODIO	250	728411,622505703	9681356,80828221	1,56045
1	SODIO	250	728411,35623823	9681358,12224683	2,52032
1	SODIO	250	728410,976454446	9681359,40800469	3,38665
1	SODIO	250	728410,486074658	9681360,65577039	3,70173
1	SODIO	250	728409,888801026	9681361,8560477	4,04631

Fig.6.3 Proceso de ingreso y simulación con luminarias ficticias.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez finalizado el trabajo y la mayoría de los objetivos propuestos, se hace posible rescatar, analizar y concluir, ciertos aspectos que influyeron en el desarrollo de las labores.

CONCLUSIONES

- La meta propuesta fue la construcción del Mapa Lumínico, este objetivo se alcanzó a pesar de una serie de inconvenientes que se presentaron en el desarrollo como manejo de las matrices de intensidad, uso del ArcMap del SIG, etc. Sin embargo, con respecto al Mapa Lumínico se concluye que tiene una exactitud aproximada del 85%, las áreas que cubre el mapa son: calles, avenidas, parques, plazoletas, canchas, y áreas verdes.
- El Mapa Lumínico básicamente, se fundamenta en el manejo de las matrices de intensidad.
- Todo procedimiento manual para la creación del Mapa Lumínico, resulta poco práctico por la gran cantidad de información con la que se trabaja.
- Los niveles de iluminación conseguidos, para cada zona son las que se presentan en la tabla 7.1, en él se presentan los resultados obtenidos de los niveles de iluminación mínimos, máximos, promedios y su respectiva uniformidad, los mismos que están analizados en base a la Iluminancia (luxes), este análisis se realizó para cada una de las 40 zonas que comprende el área urbana de la ciudad de Cuenca.
- Los valores en luxes indicados en la tabla 7.1 son los resultados del análisis para las horas de mayor potencia.

Nº ZONA	LUXES			Uniformidad U (%)
	min	max	promedio	
1	1,000135	179,5	12,37	8,085
2	1,000312	178,67	15,54	6,437
3	1,001391	178,4	16,69	6,000
4	1,000135	178,85	17,11	5,845
4A	1,000689	179,83	13,95	7,173
5	1,000832	177,84	21,39	4,679
6	1,000431	178,67	16,5	6,063
6A	1,001391	141,31	15,03	6,663
7	1,000135	179,9	19,4	5,155
8	1,001391	179,89	19,11	5,240
8A	1,000135	179,92	19	5,264
9	1,00099	179,99	20,1	4,980
10	1,000471	178,34	18,12	5,521
11	1,001391	178,71	21,51	4,655
11A	1,000135	179,74	20,86	4,795
12	1,000102	179,65	20,42	4,898
13	1,000135	179,95	21,57	4,637
14	1,001391	179,75	14,86	6,739
15	1,000102	179,66	19,14	5,225
16	1,001391	179,92	16,94	5,911
17	1,002459	179,97	26,62	3,766
17A	1,000157	179,86	22,43	4,459
17B	1,001135	179,9	25,16	3,979
17C	1,000126	179,39	23,43	4,269
18	1,001391	179,2	22,5	4,451
18A	1,001391	178,76	20,38	4,914
19	1,001391	178,88	18,84	5,315
20	1,001391	179,96	17,15	5,839
20A	1,000608	179,14	14,25	7,022
21	1,000926	176,2	17,92	5,586
21A	1,000293	178,66	15,28	6,546
22	1,000345	179,67	19,35	5,170
22A	1,001391	143,33	15,7	6,378
23	1,000345	179,91	19,17	5,218
23A	1,000115	177,49	15,4	6,494
24	1,001384	179,48	21,1	4,746
24A	1,001391	178,88	19,38	5,167
25	1,001391	118,67	19,82	5,052
26	1,00039	168,53	16,12	6,206
26A	1,001391	172,13	15,67	6,390

Tabla 7.1 Iluminancia promedio para cada zona.

Además con los resultados obtenidos de la tabla anterior y considerando el nivel promedio de iluminación por zona se determina la iluminancia promedio y la uniformidad para el área urbana de la ciudad de Cuenca.

LUXES			uniformidad U (%)
min	max	promedio	
12,37	26,62	18,63	66,39

Sin embargo con estos valores de iluminancia no es posible concluir que la iluminancia de la ciudad esté acorde con las recomendaciones ya que para dar un conclusión acertada se debería clasificar la iluminancia para las distintas áreas críticas, calles, avenidas y otras áreas iluminadas.

RECOMENDACIONES

Para disminuir tiempos de procesamiento se recomienda:

- Crear nuevas versiones del algoritmo desarrollado en el capítulo 6
- Utilizar computadores cuyas características mínimas sean 2Gb de memoria RAM y 2Gb de velocidad para obtener resultados en tiempos no muy largos.
- En el caso de que nuevos software aparezcan en el mercado, se debe optar por mejorar el Mapa Lumínico haciendo uso de las mismas.

Para actualizar el Mapa Lumínico se recomienda:

- Que como mínimo, la persona designada, tenga conocimientos básicos del manejo de base de datos (Access) y ArcMap del SIG.
- Revisar que el formato de los campos actualizados, estén correctos.
- Que esta se realice cada vez que exista una cantidad importante de nuevas de luminarias instaladas, se puede considerar que cada 100 luminarias se actualice.
- Revisar que el formato de los campos actualizados, estén correctos.



BIBLIOGRAFÍA

- [1]. **Indalux**. www.indal.es. [En línea] 18 de 09 de 2011. [Citado el: 04 de 01 de 2011.] <http://www.indal.es/portal/docs/Documentaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica/Documentaci%C3%B3n%20Web%20Indalux/Luminotecnia/02.%20El%20ojo.pdf>.
- [2]. **García Fernández, Javier; CITCEA**. [En línea] [Citado el: 08 de 11 de 2010.] <http://edison.upc.edu/curs/llum/fotometria/magnitud.html>.
- [3]. **Coronel Gomezcoello, Luis Eduardo y Vasquez Romero, Luis Alfredo**. dspace. [En línea] 27 de 05 de 2009. [Citado el: 08 de 11 de 2010.] <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/74/7/Capitulo1.pdf>.
- [4]. **Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.** Unidad ejecutiva de servicios publicos. Manual Unico de Alumbrado Publico. Colombia. 2009. Tomado de la NTC 900.
- [5]. **Retilap**. Ministerio de Energia y Minas, Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Publico. Colombia. 2010
- [6]. **NTC 900**. Normativa de Alumbrado Publico. Colombia. 2010
- [7]. **Lopez, Karina Alejandra Altamirano**. *Construcción de bases de datos y Planificación de un proyecto de luminarias*. Facultad de Ingenieria, Universidad Santiago de Chile. Santiago de Chile : s.n., 2004. pág. 143, Tesis de graduación de pregrado.
- [8]. **Indalux**. www.indal.es. [En línea] 21 de 09 de 2011. [Citado el: 03 de 03 de 2011.] <http://www.indal.es/portal/docs/Documentaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica/Documentaci%C3%B3n%20Web%20Indalux/Luminotecnia/08.%20Lamparas.pdf>.
- [9]. **Ulysses v2.2**. Software de Diseño Luminotecnico de Alumbrado Publico. Facilitada por la Schereder
- [10]. **Docwin v3.4**. Base de datos de Matrices de Intensidad de las luminarias. Facilitada por la Schereder.
- [11]. **Jalon G., Xavier**. Aprende Matlab 7.0. Madrid. Mathworks. 2005.
- [12]. **Montgomery C. Douglas**, Probabilidad Estadística aplicada a la ingeniería, Mexico, Editorial Mc Graw Hill, 2da Edición, 2005.

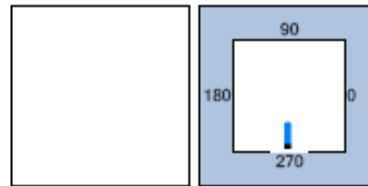
ANEXO 1: CERTIFICADO DE AUTORIZACIÓN DE LA SCHRÉDER

ANEXO 2: ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE

ONYX 1

234514

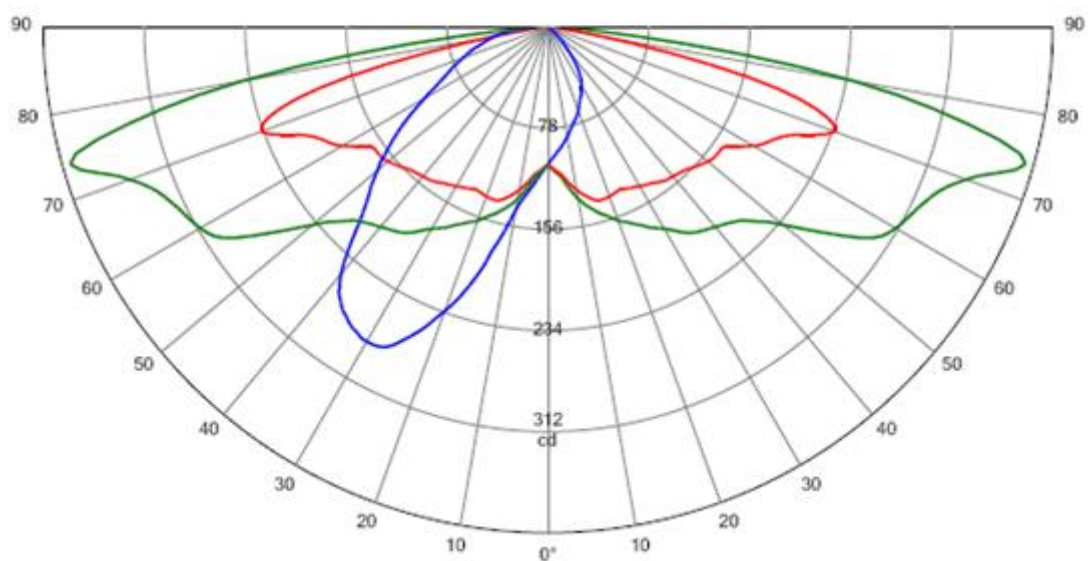
Reflector : 1097
Protector : BENDED GLASS
Inclinación : 15°
Fuentes : SON-T
Ajustes : POSITION 3



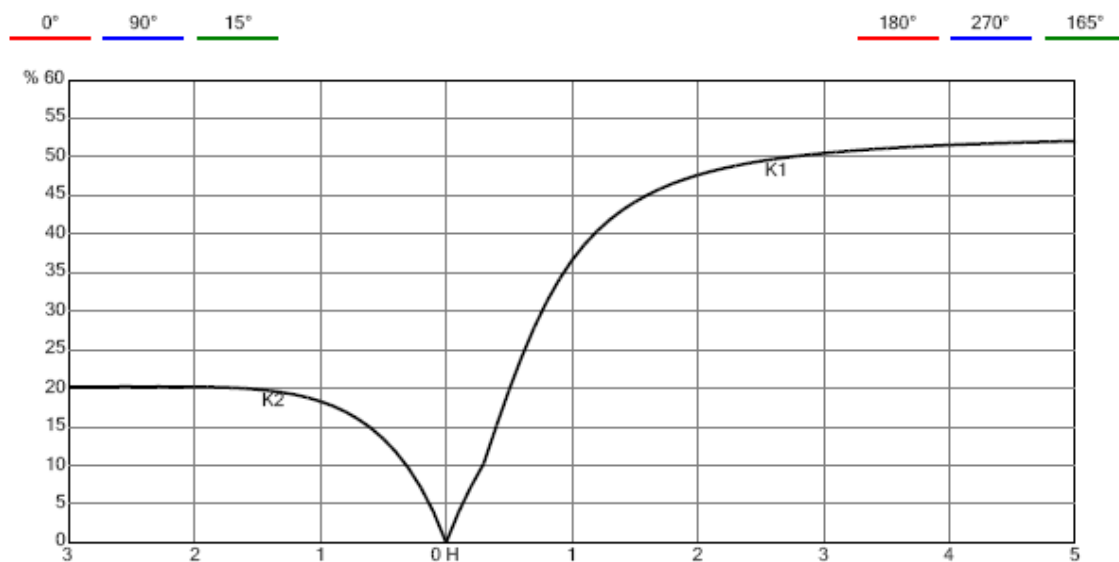
I70 - 80 - 85 - 90 - 95 [cd]	362-388-221-69-19		
Clase G (pr EN 13201-2)	UnClassified		
Clase KB (DIN 5044 Teil 1)	> KB2		
ULR [%]	0,97		
Eficiencia 0-x° [%]	75,9	0-90° [%]	75,2
Apertura 0-180° [°]	67 - 67	90-270° [°]	17 - X
IMáx [cd/1000 lm]	423,0		

Inclinación : 15°

Eficiencia 0-x° [%]	75,9%
---------------------	-------

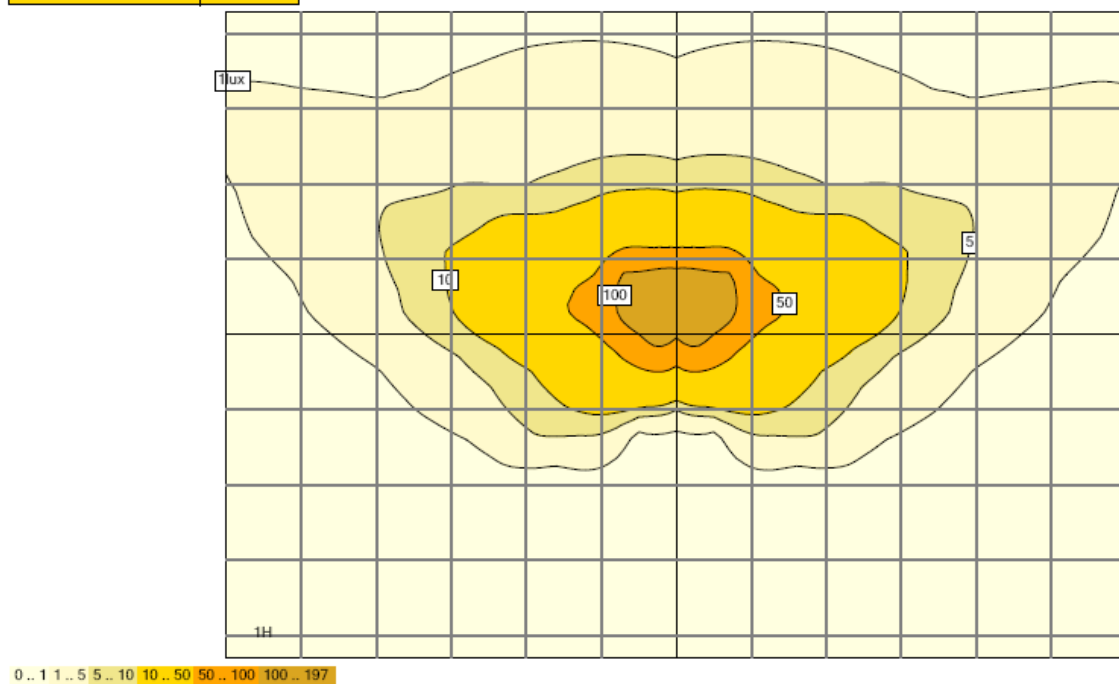


Nota : Todos los documentos están realizados para un flujo de 1000 lúmenes



Inclinación : 15°

Eficiencia 0-x° [%]	75.9%
---------------------	-------



Nota : Todos los documentos están realizados para un flujo de 1000 lúmenes



234514

G/C	270,0	285,0	300,0	310,0	315,0	320,0	325,0	330,0	335,0	340,0	345,0	350,0	355,0	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0
0,0	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9
10,0	86,1	92,5	99,4	103,9	106,2	108,4	110,9	113,4	115,9	118,1	120,3	122,8	125,3	127,7	130,1	132,4	134,6	136,8
20,0	68,6	80,1	92,7	98,9	102,0	105,7	109,9	113,8	118,1	121,8	125,6	129,9	134,4	139,0	143,8	150,2	158,9	166,2
30,0	52,5	63,5	76,4	84,7	88,8	92,6	96,8	101,6	106,9	112,2	118,4	124,1	131,7	142,0	150,8	165,8	179,7	197,5
35,0	41,5	52,4	65,9	76,9	82,1	86,9	91,8	97,7	103,1	108,8	115,5	123,4	135,3	146,3	160,0	174,9	193,7	216,6
40,0	27,2	40,7	57,1	70,1	76,5	82,6	88,7	94,9	100,9	106,5	112,1	123,9	136,7	150,3	165,2	182,3	201,4	219,9
45,0	14,6	25,9	45,5	63,1	70,8	77,9	84,8	91,8	98,3	104,1	112,5	123,8	137,4	154,2	170,3	191,7	211,0	228,7
47,5	9,7	18,8	38,8	58,5	67,7	75,6	83,2	90,2	96,8	102,6	111,9	123,1	138,7	157,9	178,5	201,5	222,0	236,3
50,0	6,1	12,7	32,5	54,5	65,5	74,3	81,6	88,9	95,5	102,3	112,0	122,1	140,2	161,4	188,6	216,9	237,5	248,8
52,5	4,0	6,6	26,5	51,1	62,6	72,3	80,7	88,5	94,8	102,1	111,0	120,8	141,4	163,6	202,1	237,7	258,1	264,3
55,0	2,9	3,7	22,1	47,6	60,0	70,5	79,5	87,2	94,4	102,4	111,3	121,4	142,5	163,5	216,7	264,0	281,3	281,6
57,5	2,2	2,8	20,5	44,9	58,3	69,2	79,4	86,9	94,0	102,1	111,0	124,5	147,0	172,0	227,1	282,0	302,2	298,1
60,0	1,8	2,6	18,2	41,4	54,7	67,9	79,5	86,7	93,7	102,0	110,7	128,2	153,3	183,4	233,9	285,7	310,4	314,4
62,5	1,5	1,9	14,7	35,4	48,8	66,0	80,8	87,0	93,7	101,4	109,9	131,2	159,0	192,0	237,5	284,8	315,2	325,7
65,0	1,3	1,8	9,2	26,3	40,9	62,9	80,6	86,7	93,7	100,7	108,8	134,5	163,4	200,0	238,8	285,5	320,6	334,0
67,5	1,2	1,8	2,5	8,2	26,6	57,7	78,4	85,6	93,0	99,4	107,4	137,0	168,4	217,0	255,6	292,3	328,7	343,1
70,0	1,0	1,0	1,4	2,2	6,1	24,6	54,9	69,2	85,2	97,4	105,6	127,5	163,2	235,8	293,7	320,9	343,8	362,0
72,5	0,7	1,0	1,4	1,9	2,5	4,4	9,9	20,4	40,2	70,6	94,7	110,4	140,2	223,2	304,0	341,8	371,0	394,4
75,0	0,2	0,8	1,4	1,9	2,3	2,8	3,4	4,2	7,6	22,6	48,3	72,1	105,9	184,0	265,9	308,4	377,9	419,9
77,5	0,2	0,8	1,0	1,8	2,0	2,6	3,0	3,6	4,3	5,6	11,2	24,0	52,2	111,4	184,0	247,0	319,3	388,4
80,0	0,2	0,8	1,0	1,0	1,4	1,9	2,1	2,9	3,3	4,4	5,5	7,8	15,5	42,4	81,5	149,2	239,6	314,5
82,5	0,2	0,8	1,0	1,0	1,5	1,9	2,0	2,0	2,4	3,2	4,2	5,5	8,2	14,7	25,7	61,8	127,3	220,8
85,0	0,0	0,4	1,0	1,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,9	5,3	8,3	11,4	21,2	42,2	112,4
87,5	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,6	5,3	6,5	10,6	16,5	39,7
90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,3	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	3,0	4,3	6,5	8,7	15,8

G/C	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0	130,0	135,0	140,0	145,0	150,0	155,0	160,0
0,0	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9
10,0	139,5	141,2	142,0	142,3	142,6	142,5	142,3	147,3	143,1	147,3	142,3	142,5	142,6	142,3	142,0	141,2	139,5	136,8
20,0	174,3	182,4	190,2	196,1	200,8	205,4	217,9	226,1	233,0	226,1	217,9	205,4	200,8	196,1	190,2	182,4	174,3	166,2
30,0	217,1	233,5	245,5	254,0	262,6	269,1	262,1	277,9	280,0	277,9	262,1	269,1	262,6	254,0	245,5	233,5	217,1	197,5
35,0	238,1	258,4	272,9	281,5	287,0	286,4	272,9	275,4	272,0	275,4	272,9	286,4	287,0	281,5	272,9	258,4	238,1	216,6
40,0	237,9	265,5	294,9	311,5	307,6	299,9	276,1	256,9	249,0	256,9	276,1	299,9	307,6	311,5	294,9	265,5	237,9	219,9
45,0	242,7	255,9	268,6	294,2	330,7	318,5	264,9	225,2	202,0	225,2	264,9	318,5	330,7	294,2	268,6	255,9	242,7	228,7
47,5	247,6	259,2	261,7	273,0	304,3	317,5	255,2	204,8	186,5	204,8	255,2	317,5	304,3	273,0	261,7	259,2	247,6	236,3
50,0	254,1	256,4	256,8	258,8	270,4	301,5	247,3	187,9	172,0	187,9	247,3	301,5	270,4	258,8	256,8	256,4	254,1	248,8
52,5	266,1	255,6	244,6	248,0	248,8	267,4	237,8	171,5	157,0	171,5	237,8	267,4	248,8	248,0	244,6	255,6	266,1	264,3
55,0	280,5	259,6	239,5	231,5	233,9	236,8	212,3	156,2	142,0	156,2	212,3	236,8	233,9	231,5	239,5	259,6	280,5	281,6
57,5	293,5	266,7	240,9	220,2	213,5	214,6	180,5	141,0	126,0	141,0	180,5	214,6	213,5	220,2	240,9	266,7	293,5	298,1
60,0	304,0	275,0	244,2	213,4	197,0	189,7	161,1	127,9	110,0	127,9	161,1	189,7	197,0	213,4	244,2	275,0	304,0	314,4
62,5	315,8	283,5	246,9	207,4	181,4	166,4	145,0	115,9	96,5	115,9	145,0	166,4	181,4	207,4	246,9	283,5	315,8	325,7
65,0	326,5	295,1	249,8	202,6	166,5	148,9	127,5	104,9	86,0	104,9	127,5	148,9	166,5	202,6	249,8	295,1	326,5	334,0
67,5	332,6	305,0	253,4	195,5	152,1	135,4	115,7	96,6	78,0	96,6	115,7	135,4	152,1	195,5	253,4	305,0	332,6	343,1
70,0	335,9	304,9	257,7	185,7	137,6	125,0	107,6	88,8	70,0	88,8	107,6	125,0	137,6	185,7	257,7	304,9	335,9	362,0
72,5	346,0	295,6	254,4	171,7	127,2	117,0	100,5	82,1	63,0	82,1	100,5	117,0	127,2	171,7	254,4	295,6	346,0	394,4
75,0	370,2	291,7	229,8	155,1	119,6	110,1	94,5	75,0	55,0	75,0	94,5	110,1	119,6	155,1	229,8	291,7	370,2	419,9
77,5	400,8	304,7	203,7	136,2	112,0	102,5	88,0	68,3	48,5	68,3	88,0	102,5	112,0	136,2	203,7	304,7	400,8	388,4
80,0	387,7	324,1	188,4	123,2	105,1	95,2	80,7	61,5	42,0	61,5	80,7	95,2	105,1	123,2	188,4	324,1	387,7	314,5
82,5	302,1	294,4	179,6	113,0	97,9	88,6	73,9	53,4	33,5	53,4	73,9	88,6	97,9	113,0	179,6	294,4	302,1	220,8
85,0	189,7	221,2	158,7	103,5	90,2	81,2	67,2	46,1	22,0	46,1	67,2	81,2	90,2	103,5	158,7	221,2	189,7	112,4
87,5	79,1	127,3	109,4	91,6	82,9	73,8	58,0	37,5	12,5	37,5	58,0	73,8	82,9	91,6	109,4	127,3	79,1	39,7
90,0	23,9	46,8	46,4	61,6	68,8	66,2	47,3	25,5	7,0	25,5	47,3	66,2	68,8	61,6	46,4	46,8	23,9	15,8

Nota : Todos los documentos están realizados para un flujo de 1000 lúmenes



G/C	165,0	170,0	175,0	180,0	185,0	190,0	195,0	200,0	205,0	210,0	215,0	220,0	225,0	230,0	240,0	255,0
0,0	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9	105,9
10,0	134,6	132,4	130,1	127,7	125,3	122,8	120,3	118,1	115,9	113,4	110,9	108,4	106,2	103,9	99,4	92,5
20,0	158,9	150,2	143,8	139,0	134,4	129,9	125,6	121,8	118,1	113,8	109,9	105,7	102,0	98,9	92,7	80,1
30,0	179,7	165,8	150,8	142,0	131,7	124,1	118,4	112,2	106,9	101,6	96,8	92,6	88,8	84,7	76,4	63,5
35,0	193,7	174,9	160,0	146,3	135,3	123,4	115,5	108,8	103,1	97,7	91,8	86,9	82,1	76,9	65,9	52,4
40,0	201,4	182,3	165,2	150,3	136,7	123,9	112,1	106,5	100,9	94,9	88,7	82,6	76,5	70,1	57,1	40,7
45,0	211,0	191,7	170,3	154,2	137,4	123,8	112,5	104,1	98,3	91,8	84,8	77,9	70,8	63,1	45,5	25,9
47,5	222,0	201,5	178,5	157,9	138,7	123,1	111,9	102,6	96,8	90,2	83,2	75,6	67,7	58,5	38,8	18,8
50,0	237,5	216,9	188,6	161,4	140,2	122,1	112,0	102,3	95,5	88,9	81,6	74,3	65,5	54,5	32,5	12,7
52,5	258,1	237,7	202,1	163,6	141,4	120,8	111,0	102,1	94,8	88,5	80,7	72,3	62,6	51,1	26,5	6,6
55,0	281,3	264,0	216,7	163,5	142,5	121,4	111,3	102,4	94,4	87,2	79,5	70,5	60,0	47,6	22,1	3,7
57,5	302,2	282,0	227,1	172,0	147,0	124,5	111,0	102,1	94,0	86,9	79,4	69,2	58,3	44,9	20,5	2,8
60,0	310,4	285,7	233,9	183,4	153,3	128,2	110,7	102,0	93,7	86,7	79,5	67,9	54,7	41,4	18,2	2,6
62,5	315,2	284,8	237,5	192,0	159,0	131,2	109,9	101,4	93,7	87,0	80,8	66,0	48,8	35,4	14,7	1,9
65,0	320,6	285,5	238,8	200,0	163,4	134,5	108,8	100,7	93,7	86,7	80,6	62,9	40,9	26,3	9,2	1,8
67,5	328,7	292,3	255,6	217,0	168,4	137,0	107,4	99,4	93,0	85,6	78,4	57,7	26,6	8,2	2,5	1,8
70,0	343,8	321,0	293,7	235,8	163,2	127,5	105,6	97,4	85,2	69,2	54,9	24,6	6,1	2,2	1,4	1,0
72,5	371,0	341,8	304,0	223,2	140,2	110,4	94,7	70,6	40,2	20,4	9,9	4,4	2,5	1,9	1,4	1,0
75,0	377,9	308,4	265,9	184,0	105,9	72,1	48,3	22,6	7,6	4,2	3,4	2,8	2,3	1,9	1,4	0,8
77,5	319,3	247,0	184,0	111,4	52,2	24,0	11,2	5,6	4,3	3,6	3,0	2,6	2,0	1,8	1,0	0,8
80,0	239,6	149,2	81,5	42,4	15,5	7,8	5,5	4,4	3,3	2,9	2,1	1,9	1,4	1,0	1,0	0,8
82,5	127,3	61,8	25,7	14,7	8,2	5,5	4,2	3,2	2,4	2,0	2,0	1,9	1,5	1,0	1,0	0,8
85,0	42,2	21,2	11,4	8,3	5,3	3,9	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,0	1,0	0,4
87,5	16,5	10,6	6,5	5,3	3,6	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0
90,0	8,7	6,5	4,3	3,0	3,0	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Nota : Todos los documentos están realizados para un flujo de 1000 lúmenes



ANEXO 3: (MEDICIONES REALIZADAS Y CÁLCULO DE ERROR)

CANTIDAD	DIRECCIÓN	POSTE	MEDICIONES		DATOS DEL GIS (metros)		ERROR RELATIVO (%)	
LUMINARIAS	CALLES	CÓDIGO DE ELEMENTO	ALTURA metros	INTERDISTANCIA metros	ALTURA ESTIMADA	INTERDISTANCIA	ALTURA	INTERDISTANCIA
1	CAUPOLICÁN Y CHAPULTEPEC	20404	8,9152	33,8328	10,1	32,3532	11,73	4,57
2		20402	8,9152	39,3192	8,8	38,5056	1,31	2,11
3		20401	8,9152	35,6616	8,8	38,6138	1,31	7,65
4		20400	8,9152	36,576	8,8	36,0799	1,31	1,38
5		20388	8,0008	44,8056	8,8	44,4475	9,08	0,81
6		20389	10,744	27,432	10,1	26,13	6,38	4,98
7		20390	8,9152	71,3232	8,3	72,3274	7,41	1,39
8	TEOTIHUACÁN Y CAUPOLICÁN	20406	8,9152	18,288	8,3	17,2708	7,41	5,89
9	CAUPOLICÁN Y LOS MAYAS	20385	8,0008	28,3464	8,8	29,275	9,08	3,17
10		20383	8,0008	41,148	8,8	42,834	9,08	3,94
11		20379	8,0008	36,576	8,8	36,2863	9,08	0,80
12		20378	8,0008	32,9184	8,8	34,1983	9,08	3,74
13	YANAURCO Y CAUPOLICÁN	353636	8,9152	29,2608	9,7	28,6093	8,09	2,28
14		353641	8,9152	33,8328	9,7	33,8673	8,09	0,10
15		353368	8,9152	33,8328	9,7	37,0169	8,09	8,60
16		353631	9,8296	42,9768	11	40,7541	10,64	5,45
17		353638	10,744	37,4904	11	37,7137	2,33	0,59
18		20332	8,0008	28,3464	8,8	28,8831	9,08	1,86
19		20334	8,9152	32,9184	8,8	34,5931	1,31	4,84
20		20369	8,9152	20,1168	8,8	26,1237	1,31	22,99
21		20370	7,0864	41,148	8,8	45,40619	19,47	9,38
22		28372	8,9152	32,9184	8,8	33,0241	1,31	0,32
23		386593	8,9152	35,6616	9,7	36,2599	8,09	1,65
24		353320	10,744	31,0896	10,1	29,6104	6,38	5,00
25	YANAJURCO Y PASEO DE LOS CAÑARÍS	5573	9,8296	32,9184	10,1	33,75	2,68	2,46
26		5574	9,8296	41,148	10,1	40,3	2,68	2,10
27		5581	9,8296	41,148	10,1	40,85	2,68	0,73
28		5597	9,8296	44,8056	10,1	45,35	2,68	1,20
29		5604	9,8296	40,2336	10,1	51,1	2,68	21,26
30		21230	9,8296	39,3192	10,1	45,15	2,68	12,91
31		21229	8,9152	34,7472	8,3	45,95	7,41	24,38
32		21224	9,8296	38,4048	10,1	37,75	2,68	1,73
33		5607	9,8296	27,432	10,1	38,15	2,68	28,09
34	SARA URCO Y H. MENDOZA	21273	8,9152	31,0896	8,8	32,3828	1,31	3,99
35		21274	8,9152	32,9184	8,8	33,2897	1,31	1,12
36		21275	8,9152	32,004	8,8	36,4385	1,31	12,17
37		372814	8,9152	38,4048	8,8	40,5257	1,31	5,23
38		21278	10,744	37,4904	10,1	38,7763	6,38	3,32
39		328174	10,744	41,148	10,1	41,6672	6,38	1,25
40		328200	10,744	0	10,1		6,38	0,00

CANTIDAD	DIRECCIÓN	POSTE	MEDICIONES		DATOS DEL GIS (metros)		ERROR RELATIVO (%)	
LUMINARIAS	CALLES	CÓDIGO DE ELEMENTO	ALTURA metros	INTERDISTANCIA metros	ALTURA ESTIMADA	INTERDISTANCIA	ALTURA	INTERDISTANCIA
41	ILLIMANI Y H. MENDOZA	313170	8,9152	34,7472	8,3	36,9601	7,41	5,99
42		521012	8,9152	48,4632	8,3	52,9188	7,41	8,42
43		229192	8,9152	32,9184	8,3	33,0617	7,41	0,43
44		521010	8,9152	41,148	8,3	43,0152	7,41	4,34
45		521002	8,0008	39,3192	8,8	42,5207	9,08	7,53
46		521004	9,8296	34,7472	10,1	36,542	2,68	4,91
47	U. NACIONAL Y TOTEMS	323430	15,316	62,1792	13,7	62	11,80	0,29
48		290155	8,9152	50,292	8,8	50,5	1,31	0,41
49		290156	10,744	32,004	10,1	32,5	6,38	1,53
50		349866	10,744	39,6	10,1	39,75	6,38	0,38
51		323121	10,744	38,4048	10,1	38	6,38	1,07
52		355604	10,744	39,3192	10,1	40	6,38	1,70
53		295953	10,744	46,6344	10,1	47	6,38	0,78
54		283964	8,0008	47,5488	8,8	47,25	9,08	0,63
55		290002	9,8296	29,2608	10,1	33,25	2,68	12,00
56		290016	9,8296	40,2336	10,1	41	2,68	1,87
57		290018	9,8296	46,6344	10,1	47	2,68	0,78
58		62006	9,8296	43,8912	10,1	44	2,68	0,25
59		355568	8,9152	35,6616	8,8	35,5	1,31	0,46
60		355588	9,8296	45,72	10,1	46	2,68	0,61
61		61798	9,8296	36,576	10,1	36,9	2,68	0,88
62		61787	9,8296	32,004	10,1	32,25	2,68	0,76
63		61786	8,0008	29,2608	8,8	29,25	9,08	0,04
64		352545	9,8296	29,2608	10,1	29,6	2,68	1,15
65		61784	9,8296	32,004	10,1	32,7	2,68	2,13
66		61783	9,8296	40,2336	10,1	41,5	2,68	3,05
67		352546	9,8296	40,2336	10,1	40,36	2,68	0,31
68		323438	15,316	42,0624	13,7	45,8	11,80	8,16
69		323439	15,316	48,4632	13,7	49	11,80	1,10
70		323477	15,316	27,432	13,7	27,35	11,80	0,30
71		354777	10,744	29,2608	11	30,46	2,33	3,94
72		0	10,744	24,6888	10,1	27,15	6,38	9,07
73		272560	10,744	40,2336	10,1	40,3	6,38	0,16
74		87457	10,744	42,9768	10,1	43,3	6,38	0,75
75		87453	10,744	39,3192	10,1	40	6,38	1,70
76		242439	10,744	42,0624	10,1	42,15	6,38	0,21
77		272559	10,744	38,4048	10,1	38,6	6,38	0,51
78		87461	10,744	41,148	10,1	41,3	6,38	0,37
79		87462	10,744	40,2336	10,1	40,46	6,38	0,56
80	AV.10 DE AGOSTO Y HORTENCIA MATA	242440	10,744	40,2336	10,1	40,3	6,38	0,16
81	GRAN COLOMBIA Y UNIDAD NACIONAL	290584	8,9152	50,292	8,8	51	1,31	1,39
82		290583	9,8296	39,3192	10,1	40	2,68	1,70
83		290582	8,9152	27,432	8,8	27	1,31	1,60
84		343503	9,8296	21,0312	10,1	21	2,68	0,15
85		290581	9,8296	33,8328	10,1	34	2,68	0,49
86		343478	9,8296	35,6616	10,1	35	2,68	1,89

CANTIDAD	DIRECCIÓN	POSTE	MEDICIONES		DATOS DEL GIS (metros)		ERROR RELATIVO (%)	
LUMINARIAS	CALLES	CÓDIGO DE ELEMENTO	ALTURA metros	INTERDISTANCIA metros	ALTURA ESTIMADA	INTERDISTANCIA	ALTURA	INTERDISTANCIA
87		297165	9,8296	32,004	10,1	32,5	2,68	1,53
88		238734	8,9152	34,7472	8,8	35	1,31	0,72
89		241019	9,8296	27,432	10,1	27	2,68	1,60
90		343507	9,8296	34,7472	10,1	35	2,68	0,72
91		238732	10,744	29,2608	10,1	29,5	6,38	0,81
92		238731	8,9152	26,5176	8,8	27,25	1,31	2,69
93		343504	9,8296	24,6888	10,1	25,6	2,68	3,56
94		343443	9,8296	26,5176	10,1	27	2,68	1,79
95		238729	9,8296	21,0312	10,1	21	2,68	0,15
96		343465	10,744	21,0312	10,1	22,46	6,38	6,36
97		238728	10,744	21,0312	10,1	22,62	6,38	7,02
98		238728	10,744	18,288	10,1	17,11	6,38	6,88
99		238727	10,744	29,2608	10,1	28,5	6,38	2,67
100	GRAN COLOMBIA Y PADRE MIGUEL	238718	10,744	30,1752	10,1	29	6,38	4,05

ERROR PROMEDIO	
ALTURA	INTERDISTANCIA
5,20	3,67



ILUMINANCIA MEDIDA PARA LA AV. UNIDAD NACIONAL ENTRE LA PICHINCHA Y LA LUIS MARIO VALDIVIEZO (INDICADA COMO EJEMPLO)			
MEDICIONES EN DOBLE NIVEL DE POTENCIA	MEDICIONES CORREGIDOS A POTENCIA NOMINAL FACTOR MULTIPLICATIVO (1,45)	DATOS DEL GIS	ERROR RELATIVO
(Lux)	(Lux)	(Lux)	(%)
43	62	70,36	12,85
60	87	84,48	2,90
41	59	63,7	7,15
30	44	56,12	29,01
31	45	42,76	4,87
16	23	22	5,17
17	25	20,56	16,59
10	15	14	3,45
10	15	14	3,45
56	81	70,36	13,35
62	90	82,32	8,43
45	65	54,47	16,52
26	38	33	12,47
27	39	38,55	1,53
17	25	22	10,75
19	28	25,68	6,79
17	25	22,2	9,94
15	22	20	8,05
8	12	11,68	0,69
12	17	15,44	11,26
7	10	10,62	4,63
46	67	55	17,54
55	80	67	15,99
45	65	54,47	16,52
28	41	35	13,79
26	38	32	15,12
20	29	25	13,79
26	38	32	15,12
24	35	30	13,79
22	32	27	15,36
18	26	24	8,05
14	20	17	16,26
12	17	15	13,79
46	67	55,35	17,02
61	88	82,32	6,93
43	62	54,47	12,64
26	38	33	12,47
27	39	35	10,60
21	30	25	17,90
23	33	29	13,04
17	25	22	10,75
13	19	16	15,12
14	20	8,22	59,51
10	15	7,85	45,86
7	10	10,92	7,59
52	75	70,35	6,70



ILUMINANCIA MEDIDA PARA LA AV. UNIDAD NACIONAL ENTRE LA PICHINCHA Y LA LUIS MARIO VALDIVIEZO (INDICADA COMO EJEMPLO)			
MEDICIONES EN DOBLE NIVEL DE POTENCIA	MEDICIONES CORREGIDOS A POTENCIA NOMINAL FACTOR MULTIPLICATIVO (1,45)	DATOS DEL GIS	ERROR RELATIVO
(Lux)	(Lux)	(Lux)	(%)
60	87	82,32	5,38
48	70	54,47	21,74
35	51	18,75	63,05
27	39	26,37	32,64
24	35	21,12	39,31
34	49	38,14	22,64
30	44	29,5	32,18
21	30	18,24	40,10
21	30	16	47,45
12	17	14	19,54
10	15	11	24,14
57	83	67	18,94
56	81	78	3,94
38	55	54,47	1,14
40	58	38	34,48
29	42	30	28,66
20	29	27	6,90
19	28	23	16,52
16	23	21	9,48
13	19	16	15,12
8	12	12,8	10,34
20	29	26,2	9,66
16	23	21	9,48
68	99	86,9	11,87
75	109	93,7	13,84
32	46	54,47	17,39
21	30	27,9	8,37
26	38	32,15	14,72
13	19	20	6,10
15	22	19,59	9,93
15	22	19,77	9,10
9	13	13,33	2,15
14	20	20	1,48
12	17	17	2,30
9	13	15	14,94
61	88	34,91	60,53
89	129	71,22	44,81
68	99	64,46	34,62
21	30	28	8,05
20	29	25,5	12,07
18	26	23	11,88
44	64	53	16,93
47	68	59	13,43
40	58	50	13,79
16	23	22	5,17
15	22	20	8,05

ILUMINANCIA MEDIDA PARA LA AV. UNIDAD NACIONAL ENTRE LA PICHINCHA Y LA LUIS MARIO VALDIVIEZO (INDICADA COMO EJEMPLO)			
MEDICIONES EN DOBLE NIVEL DE POTENCIA	MEDICIONES CORREGIDOS A POTENCIA NOMINAL FACTOR MULTIPLICATIVO (1,45)	DATOS DEL GIS	ERROR RELATIVO
(Lux)	(Lux)	(Lux)	(%)
14	20	19	6,40
58	84	13,58	83,85
85	123	19,8	83,94
60	87	38,71	55,51
43	62	51	18,20
40	58	49	15,52
26	38	48	27,32
17	25	22	10,75
23	33	32	4,05
18	26	25,7	1,53
16	23	21,5	7,33
16	22	19,8	11,90
11	16	16,7	4,70
65	94	79,27	15,89
76	109	98,14	10,35
74	107	73,7	30,94
40	58	57	1,72
43	62	50	19,81
24	35	36,73	5,55
47	68	57	16,36
44	64	61	4,39
33	48	38,55	19,44
25	36	35	3,45
21	30	31	1,81
14	20	23	13,30
70	102	87	14,29
72	104	96	8,05
51	74	65,19	11,85
41	59	52	12,53
33	48	44	8,05
26	38	34,84	7,59
ERROR PROMEDIO DE ILUMINANCIA			16,19 %

ANEXO 4: (FORMATO DE REGISTRO PARA MEDICIONES Y DATOS CALCULADOS DE ILUMINANCIA)

MEDIDA DE NIVELES DE ILUMINANCIA									
MÉTODO DE LOS NUEVE PUNTOS									
RESPONSABLES:	Milton Lozano; William Pañi	FECHA:	24/03/2011	HORA INICIO:	00h-20min				
DIRECCION DEL SITIO DE MEDICION									
TRAMO DE VIA QUE TIENE CONDICIONES UNIFORMES									
AL SITIO DE MEDIDA									
LUXOMETRO (Marca - Referencia - Nde Serie)									
CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA NOCHE									
LUMINARIA									
(Tipo- referencia - marca)									
TIPO DE APOYO									
(poste-longitud)									
ANCHO DE CALZADA-W(m)									
SEPARADOR									
DISPOSICION DE LAS									
LUMINARIAS									
INTERDISTANCIA ENTRE LUMINARIAS									
CONSECUTIVAS - S(m)									
ANGULO DE INCLINACION DE LA									
LUMINARIA									
¿EL CONJUNTO OPTICO DE LA LUMINARIA ESTA SUJETO POR LA POLUCION?									
LUMINARIA 1-2	1	4	7	LUMINARIA 2-1	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	43	30	17	1	56	26	17		
2	60	31	10	2	62	27	10		
3	41	16	10	3	45	17	10		
LUMINARIA 2-3	1	4	7	LUMINARIA 3-2	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	56	19	8	1	46	28	8		
2	62	17	12	2	55	26	12		
3	45	15	7	3	45	20	7		
LUMINARIA 3-4	1	4	7	LUMINARIA 4-3	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	46	26	18	1	46	26	18		
2	55	24	14	2	61	27	14		
3	45	22	12	3	43	21	12		
LUMINARIA 4-5	1	4	7	LUMINARIA 5-4	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	46	23	14	1	52	35	14		
2	61	17	10	2	60	27	10		
3	43	13	7	3	48	24	7		
LUMINARIA 5-6	1	4	7	LUMINARIA 6-5	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	52	34	21	1	57	40	21		
2	60	30	12	2	56	29	12		
3	48	21	10	3	38	20	10		
LUMINARIA 6-7	1	4	7	LUMINARIA 7-6	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	57	19	8	1	68	21	8		
2	56	16	20	2	75	26	20		
3	38	13	16	3	32	13	16		
LUMINARIA 7-8	1	4	7	LUMINARIA 8-7	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	68	15	14	1	61	21	14		
2	75	15	12	2	89	20	12		
3	32	9	9	3	68	18	9		
LUMINARIA 8-9	1	4	7	LUMINARIA 9-8	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	61	44	16	1	58	43	16		
2	89	47	15	2	85	40	15		
3	68	40	14	3	60	26	14		
LUMINARIA 9-10	1	4	7	LUMINARIA 10-9	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	58	17	16	1	65	40	16		
2	85	23	16	2	76	43	16		
3	60	18	11	3	74	24	11		
LUMINARIA 10-11	1	4	7	LUMINARIA 11-10	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	65	47	25	1	70	41	25		
2	76	44	21	2	72	33	21		
3	74	33	14	3	51	26	14		



MEDIDA DE NIVELES DE ILUMINANCIA									
MÉTODO DE LOS NUEVE PUNTOS									
RESPONSABLES:		Milton Lojano; William Pañi		FECHA:		24/03/2011		HORA INICIO:	
DIRECCION DEL SITIO DE MEDICION		Unidad Nacional, entre Pichincha y Luis Mario Valdiviezo.							
TRAMO DE VIA QUE TIENE CONDICIONES UNIFORMES		Todo el tramo medido							
AL SITIO DE MEDIDA		Exttech Instruments. Easy View 30							
LUXOMETRO (Marca - Referencia - Nde Serie)		060204664							
CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA NOCHE		Normales, sin lluvia, sin luna, despejado							
LUMINARIA		BOMBILLA							
(Tipo- referencia -marca)		(Potencia - Fuente)							
TIPO DE APOYO (poste-longitud)		AVANCE DE LA LUMINARIA SOBRE LA CALZADA - A2(m)							
ANCHO DE CALZADA-W(m)		ALTURA DE MONTAIE DE LA LUMINARIA-H(m)							
SEPARADOR		TENSION NOMINAL DE LA LUMINARIA							
DISPOSICION DE LAS LUMINARIAS		DISTANCIA DEL POSTE AL BORDE DE LA CALZADA-A1(m)							
INTERDISTANCIA ENTRE LUMINARIAS CONSECUTIVAS -S(m)		TENSION MEDIDA EN LA RED							
ANGULO DE INCLINACION DE LA LUMINARIA		No medido							
¿EL CONJUNTO OPTICO DE LA LUMINARIA ESTA SUJO POR LA POLUCION?									
LUMINARIA 1-2	1	4	7	LUMINARIA 2-1	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	70,36	56,12	20,56	1	70,36	33	20,56		
2	84,48	42,76	14	2	82,32	38,55	14		
3	63,7	22	14	3	54,47	22	14		
LUMINARIA 2-3	1	4	7	LUMINARIA 3-2	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	70,36	25,68	11,68	1	55	35	11,68		
2	82,32	22,2	15,44	2	67	32	15,44		
3	54,47	20	10,62	3	54,47	25	10,62		
LUMINARIA 3-4	1	4	7	LUMINARIA 4-3	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	55	32	24	1	55,35	33	24		
2	67	30	17	2	82,32	35	17		
3	54,47	27	15	3	54,47	25	15		
LUMINARIA 4-5	1	4	7	LUMINARIA 5-4	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	55,35	29	8,22	1	70,35	18,75	8,22		
2	82,32	22	7,85	2	82,32	26,37	7,85		
3	54,47	16	10,92	3	54,47	21,12	10,92		
LUMINARIA 5-6	1	4	7	LUMINARIA 6-5	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	70,35	38,14	16	1	67	38	16		
2	82,32	29,5	14	2	78	30	14		
3	54,47	18,24	11	3	54,47	27	11		
LUMINARIA 6-7	1	4	7	LUMINARIA 7-6	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	67	23	12,8	1	86,9	27,9	12,8		
2	78	21	26,2	2	93,7	32,15	26,2		
3	54,47	16	21	3	54,47	20	21		
LUMINARIA 7-8	1	4	7	LUMINARIA 8-7	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	86,9	19,59	20	1	34,91	28	20		
2	93,7	19,77	17	2	71,22	25,5	17		
3	54,47	13,33	15	3	64,46	23	15		
LUMINARIA 8-9	1	4	7	LUMINARIA 9-8	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	71	53	22	1	13,58	51	22		
2	81,4	59	20	2	19,8	49	20		
3	54,47	50	19	3	38,71	48	19		
LUMINARIA 9-10	1	4	7	LUMINARIA 10-9	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	30	22	21,5	1	79,27	57	21,5		
2	72	32	19,8	2	98,14	50	19,8		
3	58	25,7	16,7	3	73,7	36,73	16,7		
LUMINARIA 10-11	1	4	7	LUMINARIA 11-10	1	4	7	OBSERVACIONES	RED DE MT
1	79,27	57	35	1	87	52	35		
2	98,14	61	31	2	96	44	31		
3	73,7	38,55	23	3	65,19	34,84	23		

PLANO 1

ÁREA DE ESTUDIO Y DIVISIÓN DE ZONAS

PLANO 2

IMPLEMENTACIÓN DE MAPA LUMÍNICO (CURVA ISOLUX) - ZONA 17A