



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ELÉCTRICA**

**“ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA POLUCIÓN
LUMÍNICA CAUSADO POR EL ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE
CUENCA”**

Tesis previa a la obtención del Título de
Ingeniero Eléctrico

AUTORES:

Marco Vinicio Guanquiza León
Raúl Martín Quito Arias

DIRECTOR:

Juan Leonardo Espinoza Abad Ph.D.

TUTOR:

Mst. Giovanni Santiago Pulla

Cuenca, Mayo de 2014



RESUMEN

El principal objetivo de esta tesis es presentar una metodología orientada al análisis de la polución lumínica provocada por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca. Para lograr este objetivo, se hizo el levantamiento de información mediante el medidor de la calidad del cielo (SQM-LU-DL), cuyos resultados deberán ser interpretados cuidadosamente, ya que, durante el presente trabajo, fueron tomados en tiempos y condiciones climáticas diferentes.

Con la información levantada, se recomendó una escala para representar la polución lumínica en ciudades. Con ello, es posible generar mapas de contaminación lumínica en una determinada ciudad. Sin embargo, dicha escala deberá ser analizada y revisada en próximos proyectos. La nubosidad, temperatura, y humedad, son tres factores que intervienen en la polución lumínica, particularmente en este último factor se pudo notar una correlación directa con el aumento o reducción de los niveles de polución medidos.

Los capítulos 1 y 2 contienen una revisión bibliográfica en tópicos relacionados con la polución lumínica y las normas que rigen el tema en algunos países. El capítulo 3 presenta el procedimiento seguido para la recopilación de información, con condiciones que variaron para cada zona. El capítulo 4 presenta una metodología que se recomienda sea usada en próximos trabajos que realice la Centrosur. Se incluye además una estimación de los costos para su implementación, así como un aproximado del ahorro que se tendría al reducir los niveles de contaminación lumínica, tomando como referencia experiencias de revistas especializadas en el tema. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

PALABRAS CLAVES

Polución lumínica, medidor de calidad del cielo, metodología, Centrosur.

ABSTRACT

The main purpose of this thesis is to introduce an efficient methodology in order to analyze the light pollution caused by street lighting in the city of Cuenca. To fulfill this purpose, important information was collected by using the sky quality meter (SQM-LU-DL). The results will be interpreted carefully because the weather conditions were different from the usual average.

With this information, a definite scale to represent light pollution in cities was recommended in order to make light pollution maps in a specific city. However, such scale has to be analyzed in future projects. Cloud cover, temperature, and humidity are the three factors involved in light pollution. The last one had an important influence in the increase or reduction of pollution levels.

Chapters 1 and 2 present a bibliographic review of topics related to light pollution as well as policies from different countries. Chapter 3 presents the methodology used for the collection of information and the varying conditions of the area. Chapter 4 introduces a methodology that is expected to be used by Centrosur in future tasks. This thesis also includes a cost estimate of its implementation as well as an estimated savings that might be achieved by reducing light pollution levels, based on experiences of specialized magazines. Finally, conclusions and recommendations are presented, too.

KEYWORDS:

Light pollution, sky quality meter, methodology, Centrosur.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
1. ALUMBRADO PÚBLICO Y POLUCIÓN LUMÍNICA	22
1.1 ANTECEDENTES	22
1.2. JUSTIFICACIÓN	22
1.3 OBJETIVOS	23
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
1.4 ALCANCE	23
1.5 METODOLOGÍA	24
1.6 PROBLEMAS NO RESUELTOS.....	24
1.7 HIPÓTESIS.....	24
1.8 VARIABLES	24
1.9 MÉTODOS UTILIZADOS.....	24
1.10 CONCEPTOS GENERALES SOBRE LUMINOTECNIA.....	25
1.10.1 MAGNITUDES LUMINOSAS	25
1.10.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA VISIÓN [5].....	31
1.11 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO	34
1.11.1 LUMINARIAS	34
1.11.2 CLASIFICACIÓN DE LUMINARIAS SEGÚN LA SIMETRÍA DE DISTRIBUCIÓN	35
1.11.3 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA RADIACIÓN DEL FLUJO LUMINOSO RESPECTO A UN PLANO HORIZONTAL.....	35
1.11.4 LUMINARIAS EMPLEADAS EN ALUMBRADO PÚBLICO	36
1.12 POLUCIÓN LUMÍNICA.....	37
1.12.1 CAUSAS Y PROBLEMAS DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA. [12] [13].....	39
1.12.2 LÁMPARAS Y SU IMPACTO COMO CONTAMINANTE LUMÍNICO	41
1.12.3 TIPOS DE EMISIONES DE LUZ ARTIFICIAL QUE CONTRIBUYEN CON LA POLUCIÓN LUMÍNICA. [1]	44
1.12.4 LEYES DE LA LUMINOTECNIA EN LA DIFUSIÓN DE LA LUZ EN LA ATMOSFERA [17]..	45
1.12.5 INSTRUMENTACIÓN Y MEDIDAS DE BRILLO DEL CIELO NOCTURNO DEBIDO A LA LUZ ARTIFICIAL. [17].....	49
1.12.6 RELACIÓN ENTRE MAGNITUDES LUMINOTÉCNICAS Y MAGNITUDES ESTELARES	53

1.12.7 USO DE ESTRELLAS COMO INDICADOR DE MEDIDA DEL BRILLO DEL CIELO NOCTURNO.....	54
1.12.8 MEDICIÓN A TRAVÉS DE LA OBSERVACIÓN DEL BRILLO DEL CIELO.....	55
1.12.9 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL SIMPLIFICADO: SKY QUALITY METER.....	56
1.12.10 POLUCIÓN LUMÍNICA SOBRE LA NATURALEZA Y LA BIODIVERSIDAD.....	58
1.12.11 ILUMINACIÓN Y SEGURIDAD.....	61
2. MARCO LEGAL Y NORMATIVO SOBRE POLUCIÓN LUMÍNICA.....	63
2.1 ANTECEDENTES.....	63
2.2 COMISIÓN INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN CIE [24].....	63
2.2.1 PUBLICACIÓN CIE 126-1997 “DIRECTRICES PARA LA MINIMIZACIÓN DEL BRILLO DEL CIELO”.....	64
2.2.2 PUBLICACIÓN DE LA CIE 150-2003 DE “GUIA PARA LA LIMITACIÓN DE LOS EFECTOS MOLESTOS DE LA LUZ PROCEDENTE DE LAS INSTALACIONES DE LA ILUMINACION EN EXTERIORES”.....	73
2.3 NORMATIVA ESPAÑOLA.....	74
2.3.1 OBJETIVOS.....	75
2.3.2 ESTUDIO COMPARATIVO.....	75
2.3.2.1 ZONIFICACIÓN.....	76
2.3.2.2 AMBITOS DE APLICACIÓN Y EXCEPCIONES.....	77
2.3.2.3 CARACTERISTICAS DE INSTALACIONES Y APARATOS DE ILUMINACION EXTERIOR.....	78
2.3.2.4 LIMITACIONES Y PROHIBICIONES.....	81
2.3.2.5 VALORES LUMINOTÉCNICOS.....	82
2.3.2.6 TIPIFICACIONES Y SANCIONES.....	91
2.4 REGLAMENTO COLOMBIANO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO.....	93
2.5 NORMATIVA ARGENTINA.....	95
2.6 NORMATIVA DE CHILE.....	97
2.6.1 OBJETIVO Y RESULTADOS ESPERADOS DE LA NORMA.....	98
2.6.2 DISPOSICIONES GENERALES.....	98
2.6.3 LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS [33].....	98
2.6.4 PLAZOS DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMA [33].....	99
2.6.5 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONTROL.....	100
2.6.6 ÁMBITO DE APLICACIÓN TERRITORIAL.....	104
2.6.7 FISCALIZACIÓN [33].....	104
2.6.8 VIGENCIA.....	104
2.7 NORMA ECUATORIANA RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”.....	105



2.8 CERTIFICACIÓN INTERNACIONAL	106
3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	110
3.1 ANTECEDENTES	110
3.2. ÁREA DE ESTUDIO: CIUDAD DE CUENCA	110
3.3 PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN	112
3.3.1 MODELOS DE ANÁLISIS.....	112
3.3.2 MODELOS PARA LA ZONIFICACIÓN [39].....	116
3.4 VARIABLES DE ESTUDIO	120
3.5 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL SIMPLIFICADO – SKY QUALITY METER .	123
3.6 ZONAS DE ESTUDIO	130
3.7 INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	135
4. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	138
4.1 INTRODUCCIÓN.....	138
4.2 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN CADA ZONA.	138
4.3 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN CADA ZONA	139
4.3.1 ZONA NORTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.	139
4.3.2 ZONA SUR DE LA CIUDAD DE CUENCA.....	146
4.3.3 ZONA OESTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.	148
4.3.4 ZONA ESTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.	151
4.3.5 ZONA CÉNTRICA OESTE- ESTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.	154
4.3.6 ZONA CÉNTRICA SUR- NORTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.....	157
4.3.7 ZONA DEL PARQUE INDUSTRIAL.....	160
4.4 METODOLOGÍA	164
4.4.1 SITUACIÓN ACTUAL.....	164
4.4.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	164
4.4.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	165
4.4.4 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	167
4.4.5 ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO: CIUDAD DE CUENCA	168
4.4.6 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	170
4.4.7 SELECCIÓN DEL EQUIPO.....	171
4.4.8 PROCESO DE MEDICIÓN.....	171
4.4.9 ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN	175
4.4.10 DETECCIÓN DE ZONAS VULNERABLES.....	177
4.4.11 TOMA DE MEDIDAS CORRECTIVAS.....	178

4.4.12 MONITOREO CONTINUO.....	178
4.5 ANALISIS DEL PROCESO DE MEDICIONES REALIZADO	179
4.6 LIMITACIONES EN EL TRABAJO REALIZADO	181
4.7 RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LA POLUCIÓN LUMÍNICA.....	182
4.8 PLANTEAMIENTO DE UNA RED DE MONITOREO PARA LA EVALUACIÓN DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA Y COSTOS ESTIMADOS.	184
4.8.1 COSTOS ESTIMADOS.....	185
4.9 TARIFA Y FACTURACIÓN	188
4.10 SUGERENCIAS PARA REALIZAR TRABAJOS FUTUROS	189
<i>CAPÍTULO 5</i>	<i>191</i>
<i>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	<i>191</i>
5.1 CONCLUSIONES.....	191
5.2 RECOMENDACIONES	193
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	<i>195</i>
<i>ANEXOS.....</i>	<i>198</i>
ANEXO 1	198
ANEXO 2	205
ANEXO 3	209
ANEXO 4	211
ANEXO 5	212
ANEXO 6	214

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Representación del flujo luminoso.....	26
Figura 1. 2 Transformación de energía eléctrica para la producción de luz en una lámpara incandescente	26
Figura 1. 3 Ángulo sólido	28
Figura 1. 4 Ángulo plano	29
Figura 1. 5 Luminancia de una superficie.....	30

Figura 1. 6 Luminancia L_0 , y la superficie iluminada L_f .	32
Figura 1. 7 Contrastes. a) Contraste fácil de distinguir. b) y c) Dificultad para distinguir.	32
Figura 1. 8 Clasificación de las luminarias según la radiación del flujo luminoso.	36
Figura 1. 9 a) Luminaria asimétrica cut - off b) Luminaria asimétrica semi cut – off c) Luminaria asimétrica no cut -off	37
Figura 1. 10 Figura del espectro magnético.	42
Figura 1. 11 Espectro de las lámparas.	42
Figura 1. 12 Curva de distribución espectral de lámpara LED.	42
Figura 1. 13 Distribución de flujo luminoso sobre distintas superficies.	46
Figura 1. 14 Iluminación en un punto desde fuentes de luz con diferente ángulo en incidencia.	47
Figura 1. 15 Iluminación normal, horizontal y vertical.	47
Figura 1. 16 Invariabilidad de la luminancia con el ángulo de incidencia.	49
Figura 1. 17 Influencia sobre el brillo del cielo nocturno de las direcciones de emisión a distancias crecientes de la fuente contaminante.	49
Figura 1. 18 Curva de sensibilidad del ojo a las radiaciones monocromáticas.	50
Figura 1. 19 Curva de los filtros más habituales en astronomía.	51
Figura 1. 20 Gráfico explicativo de la unidad del brillo del cielo ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$)	53
Figura 1. 21 Sky Quality Meter	56
Figura 1. 22 El sistema Excalibur para la medida multibanda de la extinción y el brillo de fondo de cielo.	57
Figura 2. 1 Conceptos aplicados en Contaminación Lumínica	65
Figura 2. 2 Ángulos de inclinación de proyectores para iluminar una superficie vertical.	70
Figura 2. 3 Control del flujo luminoso de luminarias esféricas o globos.	70
Figura 2. 4 Ángulos de inclinación de las luminarias.	71
Figura 2. 5 Ángulos de inclinación de proyectores.	71
Figura 2. 6 Control del flujo luminoso de proyectores.	72
Figura 2. 7 Formas de iluminación exterior de viviendas.	72

Figura 3. 1 Ubicación de la ciudad de Cuenca.	111
Figura 3. 2 Relación entre población y lúmenes de iluminación de calles de ciudades de California – EUA – con el modelo de Walker (Walker, 1977).....	113
Figura 3. 3 Modelo para la medición de la contaminación lumínica en cielos con nubes (Kocifaj 2007).	114
Figura 3. 4 Esquema del modelo de Garstang (1986).	116
Figura 3. 5 Formato para registro de las características del punto de medición.	122
Figura 3. 6 Diagrama de bloques SQM-LU-DL.....	124
Figura 3. 7 Medición con el equipo SQM.....	124
Figura 3. 8 Diagrama de bloques SQM-LE.....	125
Figura 3. 9 Tabla comparativa de modelos SQM.	126
Figura 3. 10 Brillo artificial de cielo nocturno en el zenit al nivel del mar para el ambiente descrito como una función de la distancia.	131
Figura 3. 11 Polígono de estudio.....	131
Figura 3. 12 Puntos de medición.....	133
Figura 3. 13 Cuadrículado de la Ciudad de Cuenca.	134
Figura 3. 14 Foto equipo SQM-LU-DL.....	136
Figura 3. 15 Foto domo de protección.....	136
Figura 3. 16 Foto del soporte metálico.	137
Figura 4. 1 Puntos Zona Norte.	140
Figura 4. 2 Puntos Zona Sur.	146
Figura 4. 3 Puntos Zona Oeste.	149
Figura 4. 4 Puntos Zona Este.....	152
Figura 4. 5 Puntos Zona Centro Oeste- Este.....	155
Figura 4. 6 Puntos Zona Centro Sur – Norte.	158
Figura 4. 7 Puntos Zona del Parque Industrial.	161
Figura 4. 8 Diagrama de Trabajo.....	166
Figura 4. 9 Estaciones de Medición	169
Figura 4. 10 Formato para registro de características del punto de medición.	170
Figura 4. 11 Programa UDM.	172
Figura 4. 12 Encabezado UDM.	173



Figura 4. 13 Cargar firmware del equipo. 173

Figura 4. 14 Programa UDM – Sección Data Logging..... 174

Figura 4. 15 Resumen de valores medidos. 180

Figura 4. 16 Tipos de iluminación..... 182

Figura 4. 17 Ejemplos de luminarias mal diseñadas y altamente contaminantes.
..... 183

Figura 4. 18 Formas de Iluminar. 183

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Magnitudes luminosas fundamentales.....	25
Tabla 1. 2 Luminancias de algunas lámparas	31
Tabla 1. 3 Niveles de Contaminación de cada tipo de Lámpara	43
Tabla 1. 4 Filtros y sus valores máximos de longitud.	51
Tabla 1. 5 Astros y la magnitud de su brillo.....	52
Tabla 2. 1 Descripción de las zonas ambientales de acuerdo con el sistema de zonificación CIE.	66
Tabla 2. 2 Recomendaciones para limitar el porcentaje del flujo luminoso instalado de la bombilla de una luminaria enviado sobre la horizontal.	67
Tabla 2. 3 Valores recomendados de la mínima distancia en kilómetros (km) entre las fronteras de la zona y el punto de referencia.	68
Tabla 2. 4 Zonas de iluminación medioambiental.....	73
Tabla 2. 5 Valores máximos de iluminancia vertical en propiedades límites....	73
Tabla 2. 6 Valores máximos para la intensidad de las luminarias en direcciones determinadas.	74
Tabla 2. 7 Legislación desarrollada por gobiernos regionales de España para la protección del medio nocturno.	75
Tabla 2. 8 Regulaciones desarrolladas por gobiernos regionales de España para la protección del medio nocturno.	76
Tabla 2. 9 Tabla 1, anexo. Decreto 82/2005 donde se muestran las lámparas según el lugar donde estén situadas.	78
Tabla 2. 10 Tabla 7, anexo. Iluminación media máxima en zonas destinadas a tránsito de vehículos y/o al paso peatonal, expresado en lux.	79
Tabla 2. 11 Tabla 8, anexo. Luminancia máxima de rótulos, expresados en cd/m^2	79
Tabla 2. 12 Tabla 9, anexo. Luminancia máxima de edificios, de escaparates y de ventanas, expresada en $cd*m^{-2}$	80
Tabla 2. 13 Tabla 10, anexo. Luminancia media máxima de fachadas y monumentos, expresada en $cd*m^{-2}$	80
Tabla 2. 14 Porcentaje máximo del flujo de hemisferio superior instalado de una pantalla de luz.....	81

Tabla 2. 15 Tabla 1, anexo. Valores límites del flujo hemisférico superior instalado en función de la zona de protección.....	82
Tabla 2. 16 Limitaciones al flujo hemisférico superior instalado (FHS_{inst}) según zonificación.	82
Tabla 2. 17 Tabla 3, anexo. Deslumbramiento perturbador máximo en iluminación exterior de tipo viario, expresado en %.....	83
Tabla 2. 18 Tabla 4, anexo. Índice máximo de deslumbramiento en alumbrado para peatones.	84
Tabla 2. 19 Tabla 5, anexo. Iluminación intrusa.	84
Tabla 2. 20 Tabla 7, anexo. Intensidad luminosa máxima emitida en dirección a áreas protegidas (E1), expresadas en kilo candelas (Kcd).....	84
Tabla 2. 21 Tabla 6, anexo. Iluminación media máxima en zonas destinadas a tránsito de vehículos y/o al paso peatonal, expresado en lux.	85
Tabla 2. 22 Tabla 2, anexo. Limitaciones de Luz molesta procedente de instalaciones de Alumbrado exterior.	87
Tabla 2. 23 Tabla 3, anexo. Clasificación vías de tráfico.	87
Tabla 2. 24 Tabla 4, anexo. Parámetros Luminotécnicos para Alumbrado Viario.	87
Tabla 2. 25 Tabla 5, anexo. Parámetros luminotécnicos para Alumbrado peatonal y alumbrado exterior viario para tráfico restringido de vehículos.....	88
Tabla 2. 26 Tabla 6, anexo. Niveles iluminancia media vertical (edificios), horizontal (entorno).	89
Tabla 2. 27 Tabla 7, anexo. Luminancia máxima en función de la superficie de los carteles luminosos.	89
Tabla 2. 28 Tabla 8, anexo. Luminancia máxima señales y anuncios en función de la zonificación.	89
Tabla 2. 29 Tabla 9, anexo. Valores de eficiencia energética con independencia del tipo de lámpara, pavimentos y las características o geometría de la instalación.	90
Tabla 2. 30 Límites del FHS según el flujo luminoso de la fuente.	94
Tabla 2. 31 Designación de Proyector y Tamaño de Zonas.	103
Tabla 2. 32 Definición de zonas para la contaminación lumínica.	105
Tabla 2. 33 Cantidad máxima permitida de emisión lumínica hacia los cielos nocturnos.	106

Tabla 2. 34 Niveles de certificación.....	108
Tabla 3. 1 Datos de Calibración SQM-LU-DL.....	126
Tabla 3. 2 Escala para representar la contaminación lumínica.....	127
Tabla 3. 3 Escala de Cielo Oscuro de Bortle para representar la contaminación lumínica.	129
Tabla 3. 4 Clasificación de los días en función de Kt.	131
Tabla 3. 5 Zonificación.	135
Tabla 4. 1 Direcciones Zona Norte.....	140
Tabla 4. 2 Luminancia del cielo en la Zona Norte de la Ciudad de Cuenca...	141
Tabla 4. 3 Índice de Correlación - Zona Norte.....	145
Tabla 4. 4 Direcciones Zona Sur.	146
Tabla 4. 5 Luminancia del cielo en la Zona Sur de la Ciudad de Cuenca.	147
Tabla 4. 6 Índice de Correlación - Zona Sur.....	148
Tabla 4. 7 Direcciones Zona Oeste.	149
Tabla 4. 8 Luminancia del cielo en la Zona Oeste de la Ciudad de Cuenca. .	150
Tabla 4. 9 Índice de Correlación Zona Oeste	151
Tabla 4. 10 Direcciones Zona Este.	152
Tabla 4. 11 Luminancia del cielo en la Zona Este de la Ciudad de Cuenca. .	153
Tabla 4. 12 Índice de Correlación - Zona Este	154
Tabla 4. 13 Direcciones Zona Centro Oeste Este.	155
Tabla 4. 14 Luminancia del cielo en la Zona Centro Oeste-Este de la Ciudad de Cuenca.	156
Tabla 4. 15 Índice de Correlación - Zona Centro Oeste - Este	157
Tabla 4. 16 Direcciones Zona Centro Sur-Norte.....	158
Tabla 4. 17 Luminancia del cielo en la Zona Centro Sur-Norte de la Ciudad de Cuenca.	159
Tabla 4. 18 Índice de Correlación - Zona Centro Sur - Norte.....	160
Tabla 4. 19 Direcciones Parque Industrial.....	161
Tabla 4. 20 Luminancia del cielo en la zona parque industrial de la Ciudad de Cuenca.	162
Tabla 4. 21 Índice de Correlación - Zona Parque Industrial.....	163

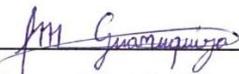


Tabla 4. 22 Estaciones de medición.....	168
Tabla 4. 23 Simbología propuesta para Centros Urbanos.....	176
Tabla 4. 24 Costos estimados para la implementación de estaciones de monitoreo.....	187
Tabla 4. 25 Costos estimados para funcionamiento de estaciones de monitoreo.....	187
Tabla 4. 26 Facturación mensual	188
Tabla 4. 27 Facturación anual.....	188



Yo, Marco Vinicio Guanuquiza León, autor de la tesis "ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA CAUSADO POR EL ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE CUENCA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Mayo de 2014



Marco Vinicio Guanuquiza León
0105702484



Yo, Marco Vinicio Guanuquiza León, autor de la tesis "ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA CAUSADO POR EL ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE CUENCA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Mayo 2014



Marco Vinicio Guanuquiza León
0105702484



Yo, Raúl Martín Quito Arias, autor de la tesis “ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA CAUSADO POR EL ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE CUENCA”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Eléctrico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Mayo de 2014

Raúl Martín Quito Arias

0104963467



Yo, Raúl Martín Quito Arias, autor de la tesis "ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA CAUSADO POR EL ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE CUENCA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Mayo 2014

Raúl Martín Quito Arias

0104963467



Esta Tesis ha sido desarrollada dentro del Convenio entre la Universidad de Cuenca y la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por haberme dado la vida, de igual manera expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre María quien me ha brindado todo su apoyo durante mi vida estudiantil, a mis hermanos Juan y Guillermo que siempre me ayudaron a salir adelante en momentos difíciles, así también al Ing. Juan Espinoza por su excelente dirección de la tesis y un trato personal excepcional, y al Ingeniero Santiago Pulla por su colaboración como tutor y por su buenos consejos para el desarrollo de este proyecto.

MARCO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, a mis padres Raúl y Eva por su apoyo incondicional y estar a mi lado brindándome siempre sus consejos. A mi hermano David y a toda mi familia por su apoyo entregado a lo largo de este tiempo. Un agradecimiento especial al grupo de trabajo de la EERCS C.A., al mando del Ing. Iván Genovéz, por su apoyo brindado para la realización de esta tesis. A mis profesores que a lo largo de mi carrera nos entregaron conocimientos y valores importantes, en especial a los directores de tesis el Ing. Juan Leonardo Espinoza y el Ing. Santiago Pulla, quienes con dedicación y paciencia nos guiaron para la culminación de este proyecto.

MARTÍN

DEDICATORIAS

Quiero dedicar esta tesis de manera muy especial a mi querida madre que es mi ejemplo a seguir y siempre estuvo en todos los momentos importantes de mi vida, así como a mis hermanos, y mis abuelitos que me aconsejan para cumplir mis metas.

MARCO

La presente tesis quiero dedicar a mis padres, hermano, y a toda mi familia en general; quienes me brindaron apoyo incondicional para poder culminar esta nueva etapa de mi vida.

MARTÍN

CAPÍTULO 1

1. ALUMBRADO PÚBLICO Y POLUCIÓN LUMÍNICA

1.1 ANTECEDENTES

Se puede definir a la Contaminación Lumínica como toda energía luminosa desaprovechada y que directa o indirectamente tiene efectos perjudiciales sobre el medio ambiente, es decir, la emisión de flujo de luz en zonas o direcciones que no corresponden a las áreas a iluminar, especialmente en dirección al cielo, áreas naturales próximas o en el interior de las edificaciones adyacentes, por parte del alumbrado público, comercios, vallas publicitarias, etc., produciendo un halo luminoso o resplandor sobre las poblaciones. [1]

Son casi más de cien años que la luz artificial producido por la electricidad iluminó una calle por primera vez, y desde entonces se ha producido una proliferación por todas las ciudades del mundo, hasta llegar a nuestros días, donde astrónomos y biólogos denuncian las altas tasas de contaminación lumínica. Una de las pocas ciudades que cuentan con un cielo limpio, es la Palma en España, debido a los más de 20 años de vigencia de su Ley del Cielo. [2]

“El cielo, patrimonio común y universal de todos nosotros, es parte integrante del medio que la humanidad percibe a su alrededor. Los hombres siempre lo han observado, ya sea para interpretarlo o para entender las leyes físicas que rigen el universo. Este interés por la astronomía ha influido poderosamente en la ciencia, la filosofía, la religión, la cultura y, en general, la concepción del universo.” [3]

1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la no existencia de trabajos realizados acerca de la polución lumínica en el Ecuador, esta tesis pretende establecer un procedimiento preliminar para determinar la polución lumínica en Cuenca, con el fin de minimizar sus efectos tales como: el denominado “resplandor luminoso nocturno” o la llamada “luz intrusa” que afectan tanto personas, animales o plantas cuyo hábitat puede ser

perturbado de forma tal que ponga en riesgo la calidad de vida e incluso la propia supervivencia de ciertas especies.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de la polución lumínica producida por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca, y proponer una metodología para dicho análisis, misma que será utilizada a futuro por la EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Plantear una metodología de evaluación de la polución lumínica en la Ciudad de Cuenca.
- Obtener medidas de niveles de polución lumínica que produce el alumbrado público de la ciudad de Cuenca.
- Dar a conocer los factores causantes de la polución lumínica en la ciudad.
- Estimar la cantidad de energía y flujo luminoso que se desperdicia.
- Planteamiento de soluciones para la reducción de la emisión contaminante lumínica.

1.4 ALCANCE

Se pretende levantar información de campo y plantear una metodología de evaluación de la polución lumínica para años futuros, la cual podrá ser utilizada por la EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.

El trabajo de campo consistirá en la adquisición de datos mediante el equipo SKY QUALITY METER, cuya información permitirá establecer niveles puntuales de polución lumínica provocada por el alumbrado público en determinadas zonas en la ciudad de Cuenca.



1.5 METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se van a revisar artículos académicos, reportes de instituciones, libros y publicaciones de revistas científicas acerca del tema de polución lumínica, además de analizar normas internacionales relacionadas con el tema.

Se recopilará y clasificará los datos de campo que permitan dar a conocer los niveles de polución lumínica en zonas puntuales. Se plantea la construcción de una metodología de evaluación del tema que puede ser usada en próximas mediciones.

1.6 PROBLEMAS NO RESUELTOS

- No existe una metodología para la medición de la polución lumínica en la ciudad de Cuenca causada por el alumbrado público.
- No existen evaluaciones previas que muestren la condición de la ciudad en temas de polución lumínica.

1.7 HIPÓTESIS

La evaluación de la polución lumínica causada por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca, permitirá adoptar medidas para conseguir un sistema de alumbrado público más eficiente y evitar consecuencias por la polución lumínica.

1.8 VARIABLES

- Partículas de polvo suspendidas en el aire.
- Tipo y disposición de lámparas.
- Tipo y disposición de luminarias.
- Superficies reflectivas.
- Clima.
- Presencia de la Luna

1.9 MÉTODOS UTILIZADOS

- Analíticos.

- Estadísticos.
- Investigación de Campo.

1.10 CONCEPTOS GENERALES SOBRE LUMINOTECNIA

A continuación se muestran las principales magnitudes luminosas que necesitaremos previo a entrar al tema de Polución Lumínica.

1.10.1 MAGNITUDES LUMINOSAS

La luz puede ser definida de la siguiente manera: “La luz es la parte de la energía radiante evaluada visualmente, es decir, la energía que, al interactuar con alguna superficie, se refleja o se transmite hacia el sistema visual y produce la respuesta de los fotorreceptores, dotando al ser humano del sentido de la visión” [4]. Generalmente se tiene la idea que la luz es de color blanca y que la podemos percibir de una manera fácil pero al contrario, está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas. El objeto que se va a iluminar y la fuente productora de luz, son dos elementos básicos al momento de realizar un estudio de iluminación.

Tabla 1. 1 Magnitudes luminosas fundamentales

MAGNITUD LUMINOSA	UNIDAD DE MEDIDA
FLUJO LUMINOSO	Lumen (lm)
RENDIMIENTO LUMINOSO	Lumen por vatio (lm/W)
CANTIDAD DE LUZ	Lumen por hora (lmh)
INTENSIDAD LUMINOSA	Candela (cd)
ILUMINANCIA	Lux (lm/m ²)
LUMINANCIA	Candela por metro cuadrado (cd/m ²)

Fuente: Autores

1.10.1.1 FLUJO LUMINOSO

El reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público” define el flujo luminoso como: “Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo” [5].

La unidad de medida es el lumen (lm) y se representa por la letra griega ϕ (fi). El reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público” define al lumen como: “Unidad de medida del flujo luminoso en el Sistema Internacional (SI). Radiométricamente, se determina de la potencia radiante; fotométricamente, es el flujo luminoso emitido dentro de una unidad de ángulo sólido (un estereorradián) por una fuente puntual que tiene una intensidad luminosa uniforme de una candela” [5].

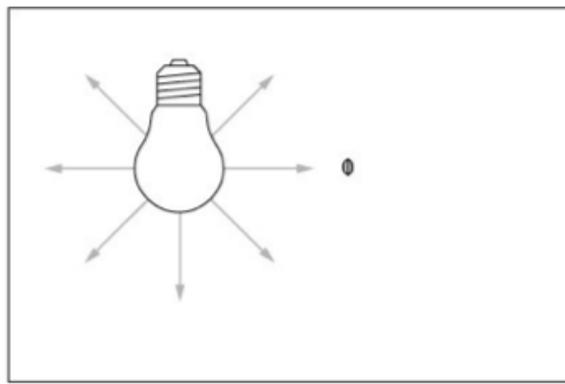


Figura 1. 1 Representación del flujo luminoso

Fuente: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1>

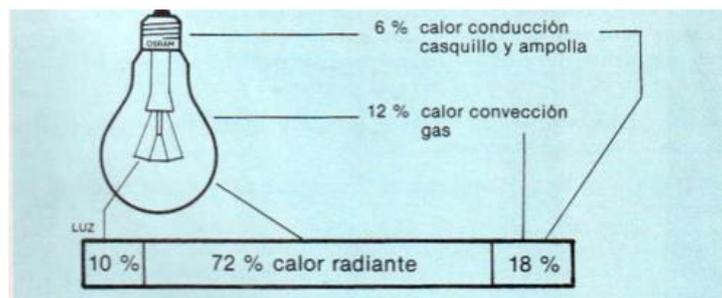


Figura 1. 2 Transformación de energía eléctrica para la producción de luz en una lámpara incandescente

Fuente: J.A. Taboada (1983), Manual de Luminotecnia.

1.10.1.2 RENDIMIENTO LUMINOSO

El rendimiento luminoso se le conoce también como eficacia luminosa de una fuente de luz. El reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado

Público “la define como: “Relación entre el flujo luminoso total emitido por una fuente luminosa (lámpara) y la potencia de la misma” [5]. Si en una lámpara se tuviera un rendimiento luminoso perfecto, es decir que esta transformara en luz sin ninguna pérdida, está tendría una eficacia de 683 lm/W, pero esto solo queda en la teoría ya que siempre existirá un porcentaje que se desperdicie.

La unidad de medida del rendimiento luminoso es el lumen por vatio (lm/W) y es representado por la letra griega η (eta), y la fórmula que lo representa es:

$$\eta = \frac{\phi}{W} \left[\frac{lm}{W} \right]$$

1.10.1.3 CANTIDAD DE LUZ

Como ocurre cuando medimos el caudal de un río, como el flujo de líquido en un determinado tiempo, o para determinar la energía eléctrica consumida en nuestros hogares, como la potencia eléctrica en una unidad de tiempo, de la misma forma la cantidad de luz o también denominada energía luminosa es determinada según el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público” como: “Energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas” [5]. Este valor es muy importante para poder conocer la cantidad de luz que una lámpara emitirá durante su vida útil, claro está que se debe tener en cuenta las pérdidas por calor.

La unidad de medida de la cantidad de luz es el lumen por hora (lmh) y es representado por la letra Q de la siguiente manera:

$$Q = \phi \times t$$

1.10.1.4 INTENSIDAD LUMINOSA

El reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público” define a la intensidad como: “Cantidad de flujo luminoso en cada unidad de ángulo sólido en la dirección en cuestión. Por lo tanto, es el flujo luminoso sobre una pequeña superficie centrada y normal en esa dirección, dividido por el ángulo sólido (en estereorradianes) el cual es subtendido por la superficie en la fuente I ” [5]. Se representa por la letra I , y su unidad de medida es la candela, que su definición según la Norma técnica de Diseños de redes urbanas y rurales de la EERCS es: “es la intensidad luminosa, en una dirección dada, que emite una fuente de radiación monocromática, de frecuencia 540×10^{12} Hz, de forma que la intensidad de la radiación emitida, en la dirección indicada es de $1/683$ W por estereoradián” [6]. La candela se la determina de la siguiente manera:

$$1 \text{ cd} = \frac{\phi}{\omega}$$

La intensidad luminosa es representada de la siguiente forma:

$$I = \frac{\phi}{\omega} [\text{lm}/\text{st}]$$

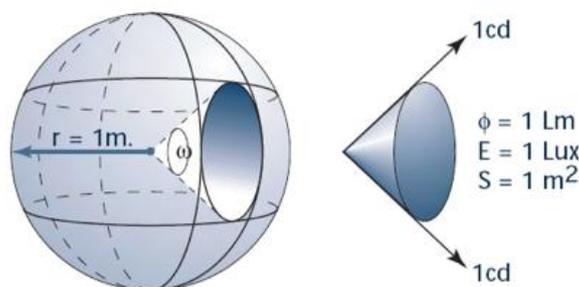


Figura 1. 3 Ángulo sólido

Fuente: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20I%20A.pdf?sequence=1>

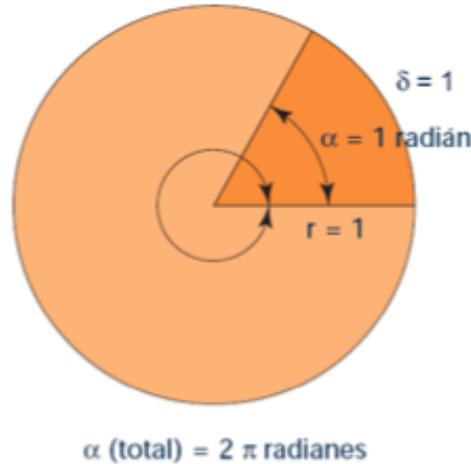


Figura 1. 4 Ángulo plano

Fuente: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1>

1.10.1.5 ILUMINANCIA

Se la conoce también con el nombre de iluminación y se define como la relación que existe entre el flujo luminoso que recibe la superficie y la extensión que esta posea, es decir mientras aumente el flujo luminoso sobre una superficie la iluminancia será mayor, y con un mismo flujo luminoso si disminuimos la superficie esta iluminancia aumentará. Se utiliza fundamentalmente para determinar cuál es el nivel de iluminación que existe en un lugar de trabajo, avenida, sector. Es representado por la letra E, y su unidad de medida es el lux, se encuentra representado de la siguiente manera:

$$E = \frac{\phi}{S} \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \right]$$

El reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público” define al lux como: “Unidad de medida de iluminancia en el Sistema Internacional (SI).

Un lux es igual a un lumen por metro cuadrado (1 lx = 1 lm/m²)” [5].

1.10.1.6 LUMINANCIA

La luminancia se describe como la relación que existe entre la intensidad luminosa en una dirección determinada y la superficie que es vista por el observador que está en la misma dirección. Ésta provoca la denominada sensación de claridad, es por eso que la luminancia nos permite ver los cuerpos de mayor o menor manera. Su medida se la realiza por medio de un luminancímetro, parecido al luxómetro utilizado para medir la iluminancia. Se encuentra representado por la letra L, y la unidad de medida es la candela por metro cuadrado, y se expresa de la siguiente manera:

$$L = \frac{I}{S \times \cos \beta} \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \right]$$

El valor de luminancia será máximo cuando el observador se encuentre en posición perpendicular a la superficie luminosa, debido a que el ángulo β es cero y el valor del coseno es 1.

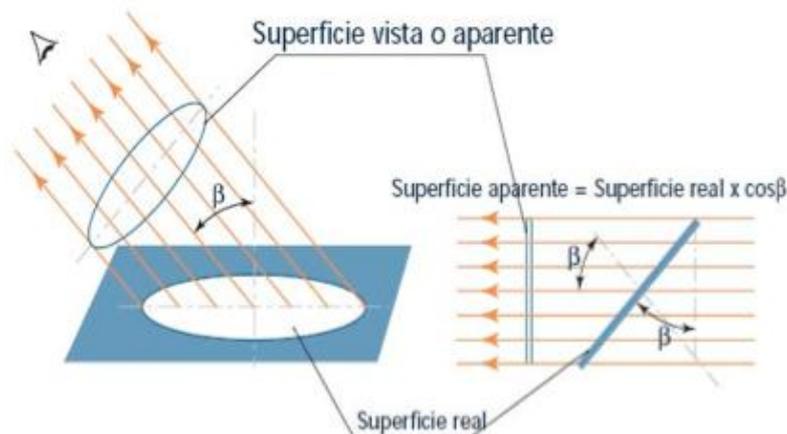


Figura 1. 5 Luminancia de una superficie.

Fuente: <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12732/L%20U%20M%20I%20N%20O%20T%20E%20C%20N%20I%20A.pdf?sequence=1>

Tabla 1. 2 Luminancias de algunas lámparas

Luminancia de diferentes fuentes de luz	
Fuente de luz	Luminancia (Cd/cm ²)
Sol	150 000
Lámpara de sodio a alta presión	500
Papel blanco iluminado con 1 000 lx	250
Lámpara incandescente clara	100 a 200
Lámpara incandescente mate	5 a 50
Lámpara incandescente opal	1 a 5
Lámpara de halogenuros metálicos	78
Lámpara de vapor de mercurio	11
Lámpara fluorescente	0,75
Luna	0,25
Cielo despejado (estrellas)	0,3 a 0,5

Fuente: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171721.pdf>

1.10.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA VISIÓN [5]

Existen diferentes factores que afectan al órgano visual entre las principales se encuentran:

- Contraste
- Sombras
- Iluminación
- Ambientes cromáticos
- Deslumbramientos

1.10.2.1. CONTRASTE

Según el concepto de luminancia, el ojo solo aprecia las diferencias de luminancia entre el objeto que observamos y su espacio inmediato, y a esto se le conoce como contraste. Para poder obtener un contraste que resulte fácil de distinguir en algún lugar se debe tomar en cuenta de una manera correcta los niveles de reflexión, obteniéndose una disminución de la luminancia.

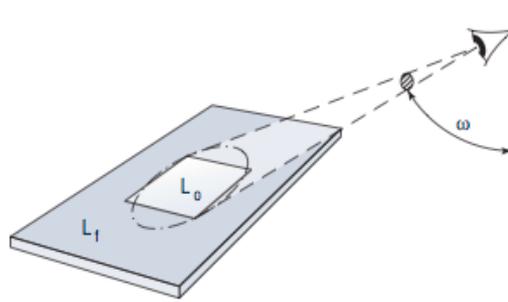


Figura 1. 6 Luminancia L_0 , y la superficie iluminada L_f .

Fuente: Manual práctico de INDALUX. (2002).

En la figura 1.6., se puede apreciar una luminancia L_0 y la superficie iluminada denominada L_f , el contraste K (valor relativo entre luminancias) se expresa de la siguiente manera:

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

Según el valor de K si $L_0 > L_f$ entonces $k > 0$ y el objeto es más claro que el fondo; si $L_0 < L_f$ entonces $k < 0$ y el objeto más oscuro que el fondo.

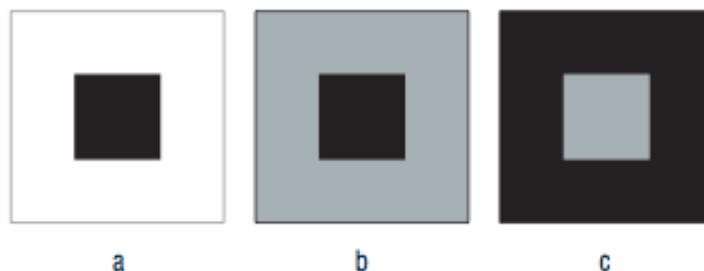


Figura 1. 7 Contrastes. a) Contraste fácil de distinguir. b) y c) Dificultad para distinguir.

Fuente: J.A. Taboada (1983), Manual de Luminotecnia.

1.10.2.2. SOMBRAS

El ojo humano en sí es uno de los órganos más sorprendentes, debido a que puede interpretar diferentes cosas y manipular nuestro cerebro, es por eso que

los objetos como los conocemos con un relieve no serían apreciados si no existieran los dos ojos, ya que cada uno forma una imagen distinta, además de ser necesario zonas más iluminadas que otras, estas son las denominadas sombras, que no son más que una diferencia de luminancias con respecto a un sitio más iluminado.

Existen dos tipos de sombras: las fuertes, que nacen de iluminar un objeto desde un lugar más o menos alejado, con alto relieve, y las suaves, que se originan por iluminar un objeto con luz difusa, con menor relieve.

1.10.2.3 ILUMINACIÓN

Las actividades que desarrollamos a lo largo del día, no serían posibles sin un nivel de iluminación que nos permita sentirnos cómodos y realizarlas con la satisfacción deseada. Cada una de las actividades que se realizan no son iguales, es por eso que se requiere un análisis de los niveles de iluminación que se coloquen, dependiendo de diferentes factores tales como: factor de reflexión del objeto a observar, tamaño de los detalles, distancia entre el ojo y el objeto observado, tiempo para la observación, además de algunos tan conocidos como la edad del personal que va a realizar la actividad, ya que se sabe que no es lo mismo que lo realice una persona de avanzada edad que una joven.

1.10.2.4 AMBIENTES CROMÁTICOS

Los colores se dice que provocan diferentes sensaciones en la persona, y pueden hasta cambiar el estado de ánimo en el que nos encontremos, es por eso que los colores que se coloquen en un ambiente influirán en el rendimiento



del personal de una empresa o de los estudiantes de una clase. El ambiente cromático según el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público” es definido como: “Longitud de onda dominante o complementaria y de los aspectos de pureza de un color tomados como un conjunto” [5].

1.10.2.5 DESLUMBRAMIENTOS

Según la regulación para alumbrado público del CONELEC No. 008/11, el deslumbramiento se describe como: “Condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo. La excesiva luminancia de lámparas y de superficies iluminadas, puede generar deslumbramiento y reducir el contraste de los objetos” [5]. El deslumbramiento en el cuerpo humano puede producir diferentes síntomas como molestia o perturbación, entre los factores más habituales que intervienen están la dimensión de la fuente de luz y la iluminancia, siendo el máximo valor que el ojo tolera de 7500 candelas por metro cuadrado (cd/m^2).

1.11 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO

1.11.1 LUMINARIAS

Las luminarias según la norma UNE-EN 60598-1 (UNA NORMA ESPAÑOLA), se define como: “aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y la protección de lámparas, (excluyendo

las propias lámparas) y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación” [7].

1.11.2 CLASIFICACIÓN DE LUMINARIAS SEGÚN LA SIMETRÍA DE DISTRIBUCIÓN

1.11.2.1 LUMINARIAS DE DISTRIBUCIÓN SIMÉTRICA

“En ellas el flujo luminoso se reparte simétricamente respecto al eje de simetría, y la distribución espacial de las intensidades luminosas puede representarse con una sola curva fotométrica” [8].

1.11.2.2 LUMINARIAS DE DISTRIBUCIÓN ASIMÉTRICA

“En ellas el reparto del flujo luminoso no se hace de forma simétrica respecto a un eje, y la distribución espacial de las intensidades luminosas solo puede expresarse mediante un sólido fotométrico, o por una representación plana de dicho sólido, o parcialmente, según diversos planos característicos de la luminaria” [8].

1.11.3 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA RADIACIÓN DEL FLUJO LUMINOSO RESPECTO A UN PLANO HORIZONTAL

“La Comisión Internacional de Alumbrado (CIE, 1986) reconoce seis tipos de distribuciones de intensidad luminosa, en artefactos de iluminación interior” [4].

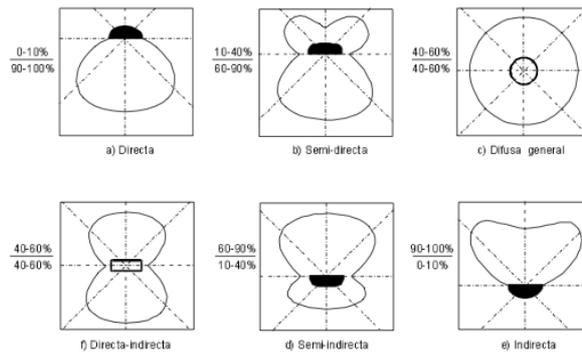


Figura 1. 8 Clasificación de las luminarias según la radiación del flujo luminoso.

Fuente: Elisa Colombo. Beatriz O'Donell. Manual de Iluminación Eficiente. (2002).

1.11.4 LUMINARIAS EMPLEADAS EN ALUMBRADO PÚBLICO

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) plantea una clasificación de luminarias para el alumbrado público, entre las que están:

1.11.4.1 LUMINARIAS CUT OFF O DE HAZ RECORTADO

“Luminaria para la cual la intensidad nula se alcanza para un ángulo de 90° sobre el nadir y para todos los ángulos mayores. Además que la distribución luminosa en $\text{cd}/1000 \text{ lm}$ no exceda numéricamente en 100 (10%) para un ángulo de 80° a partir del nadir. Esto se aplica para todos los ángulos laterales alrededor de la luminaria” [4].

1.11.4.2 LUMINARIAS SEMI CUT OFF O DE HAZ SEMI RECORTADO

“Cuando la distribución luminosa en $\text{cd}/1000$ no excede numéricamente en 50 (5%) para un ángulo de 90° sobre el nadir y en 200 (20%) para un ángulo de 80° sobre el nadir. Esto se aplica para todos los ángulos laterales alrededor de la luminaria” [4].

1.11.4.3 LUMINARIAS NON CUT OFF O DE HAZ NO RECORTADO

“Sin limitación de la distribución Luminosa” [8].

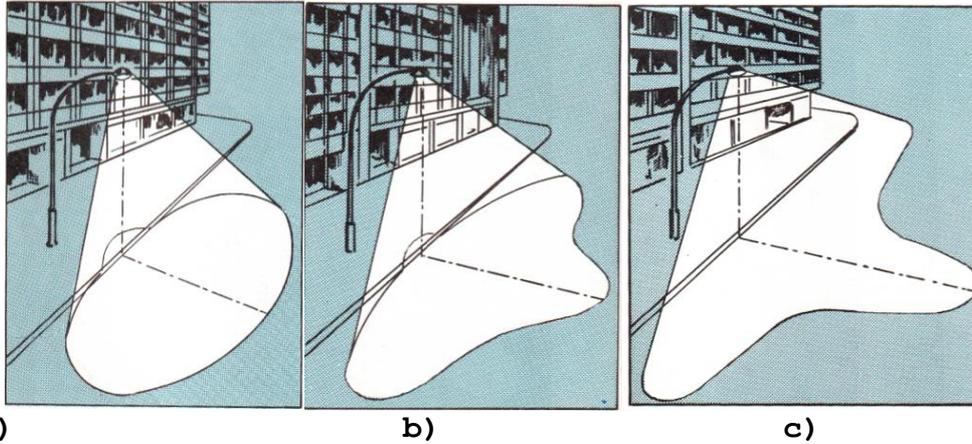


Figura 1. 9 a) Luminaria asimétrica cut - off b) Luminaria asimétrica semi cut – off c) Luminaria asimétrica no cut -off

Fuente: J.A. Taboada (1983), Manual de Luminotecnia.

1.12 POLUCIÓN LUMÍNICA.

A la fecha no hay consenso para definir la polución lumínica, por lo que se han tomado los conceptos emitidos por algunas normativas e institutos de investigación.

“La contaminación lumínica puede definirse como la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, rangos espectrales u horarios innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en la que se instalan las luces” [9].

Contaminación Lumínica.- “es la alteración innecesaria de la cantidad natural de luz presente en el medio nocturno. Esta alteración, innecesaria, está provocada por las emisiones de flujo luminoso producido por fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones, horarios o rangos espectrales



innecesarios para la realización de las actividades previstas en la zona en que se han instalado las luminarias” [10].

Según la Oficina Técnica para la Protección del Cielo (OTPC) del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC):

La contaminación lumínica es el brillo o resplandor de luz en el cielo nocturno producido por la reflexión y difusión de luz artificial en los gases y en las partículas del aire por el uso de luminarias inadecuadas y/o excesos de iluminación. El mal apantallamiento de la iluminación de exteriores envía la luz de forma directa hacia el cielo en vez de ser utilizada para iluminar el suelo.

Según el Departamento de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Barcelona:

“Se entiende por contaminación lumínica la emisión de flujo luminoso de fuentes artificiales nocturnas en intensidades, direcciones y/o rangos espectrales donde no es necesario para la realización de las actividades previstas en la zona alumbrada” [11].

Luego del análisis de estos conceptos podemos llegar a la siguiente conclusión:

En función de los conceptos presentados concluimos que contaminación lumínica es la alteración del medio nocturno del cielo y lugares aledaños por la emisión del flujo luminoso de fuentes artificiales en cantidades y direcciones que no cumplen con su propósito de iluminar las zonas previstas. La contaminación lumínica que produce el alumbrado público se debe

principalmente a la mala posición de las luminarias, el reflejo que produce la calzada y las fachadas de las casas.

1.12.1 CAUSAS Y PROBLEMAS DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA. [12] [13]

Las causas de la polución lumínica pueden ser muy variadas por lo cual vamos a describir algunas de las más importantes:

- Instalaciones eléctricas de alumbrado público que usan luminarias con un mal diseño luminotécnico o la mala disposición en el momento de ser ubicadas en las áreas de trabajo, permitiendo que parte del flujo luminoso llegue al hemisferio superior.
- El ambiente de trabajo de la luminaria, al estar con una atmosfera contaminada con partículas de polvo, agua y gases que al entrar en contacto con el rayo lumínico causan dispersión de la luz en todas direcciones alcanzando lugares para los cuales no fueron previstas.
- Exceso de iluminación que producen una gran cantidad de reflexión del flujo luminoso en la calzada u objetos reflejantes, la cantidad de luz reflejada depende del tipo de material, color, forma, de la superficie reflejante.
- Estudio inadecuado al momento de diseñar el sistema de alumbrado público, residencial y comercial que pueden usar reflectores, cañones laser, con fines propagandísticos u ornamentales que emiten flujo luminoso en cualquier dirección.
- Falta de normativa sobre polución lumínica, de modo que permitan controlar y regular los diseños existentes y nuevos proyectos de iluminación, con lo cual se logra reducir los niveles de polución lumínica.



Los problemas que se presentan por la contaminación lumínica son los siguientes:

a) Formación de velo luminoso en el cielo nocturno

Este problema afecta de manera directa a las observaciones astronómicas de observatorios y a cualquier persona ya que el flujo de luz artificial da lugar a que se forme un velo luminoso que impide ver con claridad los astros del cielo.

b) Deslumbramiento

“Se produce cuando las personas que transitan por la vía pública, pierden la percepción visual; y es ocasionada por exceso o carencia de luz. Este efecto es especialmente peligroso para el tráfico vehicular, dado que puede producir accidentes” [14]. El deslumbramiento puede darse en los siguientes niveles:

1. resplandor cegador
2. resplandor debilitador
3. resplandor molesto

c) Intrusión Lumínica

“Se produce cuando la luz artificial procedente de las luminarias entra por las ventanas invadiendo el interior de las viviendas, modificando el entorno doméstico y provocando trastornos de las actividades humanas” [14].

La luz intrusa también invade al hábitat de la flora y la fauna, lo cual les obliga a la migración hacia otros territorios con el fin de sobrevivencia propia y de sus futuras generaciones.

d) Efectos económicos

Se da un problema de sobreconsumo con lo cual se tiende a desperdiciar y gastar más energía de la necesaria.

sobreiluminación = sobreconsumo = contaminación

La polución lumínica como tal provoca que se desperdicie energía eléctrica que en definitiva es dinero.

e) Afecciones sobre Flora y Fauna

La polución lumínica afecta en especial a los ciclos biológicos que son regulados por la alternancia del día y la noche, así establecen los periodos sueño-vigilia en algunos animales, por lo que la polución lumínica puede afectar su reproducción llegando a límites que resultan mortales para las especies y para las que quedan tienen mayores exigencias para adaptarse al nuevo hábitat.

La flora es afectada porque los insectos encargados de la polinización ya no cumplen con este cometido y se termina eliminando este proceso natural de fertilización de las plantas. Existen problemas de fototropismo. [15]

1.12.2 LÁMPARAS Y SU IMPACTO COMO CONTAMINANTE LUMÍNICO.

La lámpara al actuar como un elemento transformador de energía eléctrica a energía lumínica, tiene que producir la mayor radiación en el espectro visible porque solo la radiación en esa zona va servir al ojo humano. La luz debe poseer una buena reproducción cromática semejante a la del día, esto implica que el espectro debe abarcar los colores entre violeta y rojo, con mayor sensibilidad del ojo humano en el color amarillo-verdoso, entonces se busca que la mayor radiación este en la zona de los 555 nanómetros (nm).

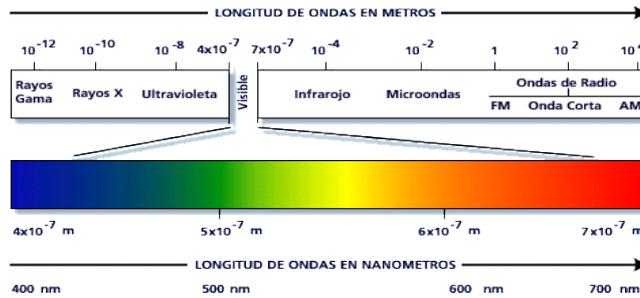


Figura 1. 10 Figura del espectro magnético.

Fuente: www.misteriosdelaire.blogspot.com

“El espectro de las lámparas (el color de la luz que emiten), está directamente relacionado con el impacto que determinadas iluminaciones puede tener sobre la salud humana y sobre la calidad del cielo nocturno” [16]. Como se puede ver en la Figura 1.11 y Figura 1.12.

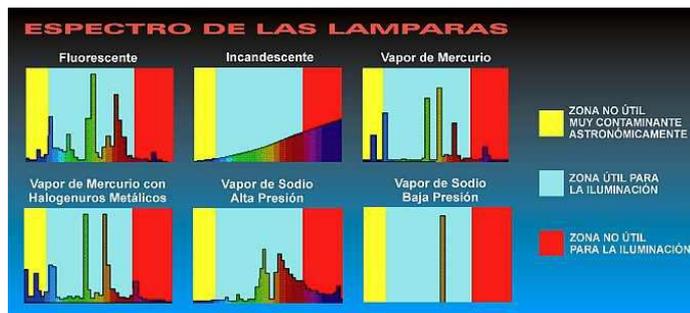


Figura 1. 11 Espectro de las lámparas.

Fuente: Manual del aire libre del código de la iluminación, 2005, E.U.A. versión 1,14, p. 1-110.

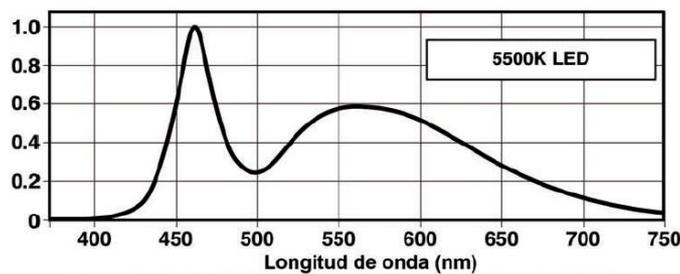


Figura 1. 12 Curva de distribución espectral de lámpara LED.

Fuente: <http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>.

En la siguiente tabla se dan los niveles de contaminación de cada tipo de lámpara.

Tabla 1. 3 Niveles de Contaminación de cada tipo de Lámpara

TIPO DE LAMPARA	CARACTERISTICAS DEL ESPECTRO	NIVEL CONTAMINANTE
Sodio baja presión	Espectro visible es casi monocromático, se forma principalmente por dos rayas fundamentales que se encuentran muy próximas entre sí con longitudes de onda de 589 y 589,6 nm.	Nivel bajo
Sodio alta presión	Espectro más continuo en la zona visible que las de sodio de baja presión.	Nivel bajo
Incandescente	Espectro continuo abarca toda la zona del espectro visible, sin embargo parte del espectro está en la zona del infrarrojo.	Nivel medio
Incandescente Halógenas	Su espectro emite algo más en la zona del ultravioleta, y son más eficientes que las incandescentes.	Nivel medio
Fluorescentes	Su espectro emite mayoritariamente en el ultravioleta y son muy eficientes.	Nivel medio
Vapor de Mercurio de Alta presión	Su espectro tiende a reproducir colores en violeta, forma una luz blanco azulada y una raya de su espectro cae en la zona ultravioleta en 365nm.	Nivel alto
Halogenuros metálicos	Espectro similar al de la lámpara de vapor de sodio, sin embargo tiene un espectro más continuo.	Nivel alto
LED	Su espectro se reproduce en gran parte en la zona visible pero su máximo valor o pico se presenta próximo a los 460-470 nanómetros, correspondiente al color azul.	Nivel alto

Fuente: Juan Arturo Hernández Ortiz. Ahorro de energía y Reducción de la Contaminación Lumínica.

(2010)



1.12.3 TIPOS DE EMISIONES DE LUZ ARTIFICIAL QUE CONTRIBUYEN CON LA POLUCIÓN LUMÍNICA. [1]

Son tres los tipos básicos de emisión de luz artificial que contribuyen con el fenómeno de polución lumínica y estas son:

- Emisión Directa
- Emisión por reflexión
- Emisión por refracción

Emisión directa._ Este tipo de emisión es la que contribuye con mayor cantidad de flujo luminoso y es la más perjudicial puesto que el flujo luminoso contaminante va en dirección directa al cielo o invade perpendicularmente sobre los espacios en los domicilios. Ejemplos de este tipo de emisión son:

- Luminarias en forma de faros globos usadas para decorar o realzar zonas patrimoniales e históricas sin control sobre su flujo luminoso.
- Tableros publicitarios con luces que se distribuyen en dirección del cielo nocturno.

Emisión por reflexión._ Aunque esta emisión es más pequeña en potencia, en comparación con la emisión directa, siendo hasta 10 veces menor, su importancia radica en la cantidad, ya que al tener la reflexión de la luz de todo el alumbrado público de una ciudad puede llegar a ser un gran aporte en la polución lumínica.

La reflexión depende mucho de las propiedades físicas de los objetos (pavimento de la calzada, paredes de viviendas, vegetación) encontrados en el camino del rayo luminoso, que puede tener diferentes tipos de reflexión entre los que están la dirigida, semi directa, difusa y semi difusa.

Emisión por refracción._ Aunque su efecto es pequeño en comparación con los dos anteriores se da debido a la atmósfera que rodea la lámpara, las partículas de polvo y agua logra que el rayo de luz desvíe su dirección. La refracción varía dependiendo de la longitud de la onda de luz entonces las longitudes de onda corta como el azul, violeta se transmiten con más facilidad que las ondas con longitudes largas como el rojo.

1.12.4 LEYES DE LA LUMINOTECNIA EN LA DIFUSIÓN DE LA LUZ EN LA ATMOSFERA [17]

La polución lumínica puede presentarse de dos maneras fundamentales. La primera a gran alcance o general que se produce por la difusión de la luz artificial en las moléculas y partículas que rodean la lámpara, se puede extender a cientos de kilómetros, mientras que la segunda, de corto alcance o local, se debe a la emisión directa de luz artificial a la bóveda celeste u objetos que no deben ser iluminados.

Al analizar la Ley de la inversa del cuadrado de la distancia que nos dice que:

“Para una misma fuente luminosa, las iluminancias en diferentes superficies situadas perpendicularmente a la dirección de la radiación son directamente proporcionales a la intensidad luminosa del foco, e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que las separa del mismo” [8].

Esta ley se expresa por la fórmula:

$$E = \frac{I}{d^2}$$

La ley de la inversa del cuadrado de la distancia se cumple cuando la distancia es grande en relación al tamaño del foco y la dirección del flujo es

perpendicular al mismo. La relación de iluminancias E_1 y E_2 que hay entre dos planos separados una distancia d y D de la fuente de luz, respectivamente, es:

$$E_1 d^2 = E_2 D^2$$

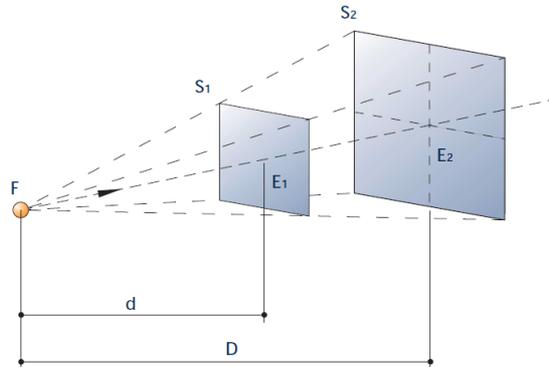


Figura 1. 13 Distribución de flujo luminoso sobre distintas superficies.

Fuente: LUMINOTECNIA (2002). Manual práctico de INDALUX.

Esta ley nos indica que el primer afectado por la polución lumínica es el entorno inmediato a las instalaciones de alumbrado puesto que la iluminancia recibida es mayor al encontrarse cerca de la fuente de luz y a largas distancias la iluminancia tendrá una potencia menor pero contaminara una superficie mayor.

Así también se debe recordar que esta ley de inversa solo considera la superficie ubicada en forma perpendicular a la fuente de luz pero para las superficies que se ubican a determinado ángulo se puede usar la ley del coseno que establece:

$$E = \frac{I}{d^2} \cos(a)$$

“La iluminancia en cualquier punto de una superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de los rayos luminosos en el punto iluminado” [8].

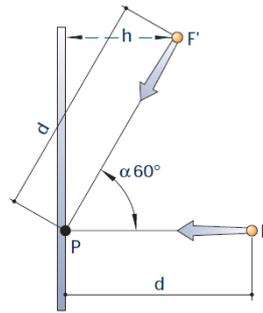


Figura 1. 14 Iluminación en un punto desde fuentes de luz con diferente ángulo en incidencia.

Fuente: LUMINOTECNIA (2002). Manual práctico de INDALUX.

La polución lumínica de tipo local está determinada por la iluminación normal, horizontal y vertical que llega a la superficie o individuo afectado. En la figura 1.15, se observa los tres planos y sus respectivas iluminaciones.

$E_N = \text{iluminancia normal}$
 $E_H = \text{iluminancia horizontal}$
 $E_v = \text{iluminancia vertical}$

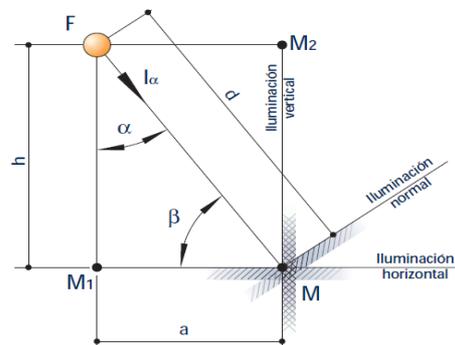


Figura 1. 15 Iluminación normal, horizontal y vertical.

Fuente: LUMINOTECNIA (2002). Manual práctico de INDALUX.

Iluminancia normal.- Aplicando la ley de inversa al cuadrado se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$E_N = \frac{I_a}{d^2}$$

Donde I_a es la intensidad luminosa bajo el ángulo α . En el caso que éste se encuentre situado en la vertical de la fuente sobre el plano horizontal (punto M1), la fórmula anterior se convierte en:

$$E_N = \frac{I}{h^2}$$

Y si está en línea recta con la fuente sobre el plano vertical (punto M2):

$$E_N = \frac{I}{a^2}$$

Iluminancia horizontal.-Aplicando la ley de inversa al cuadrado se obtiene:

$$E_H = E_N \cos(a) = \frac{I_a}{d^2} \cos(a)$$

$$E_H = \frac{I_a}{h^2} \cos^3(a)$$

Iluminación vertical.- Aplicando la ley de inversa al cuadrado se obtiene:

$$E_v = E_N \cos(\beta)$$

Entre los ángulos α y β existe una relación sencilla, ya que ambos pertenecen a un triángulo rectángulo.

$$\beta = 90 - a$$

Por lo tanto, $\cos(\beta) = \text{sen}(a)$

Sustituimos este valor en la expresión y obtenemos que:

$$E_v = E_N \text{sen}(a) = \frac{I_a}{d^2} \text{sen}(a)$$

La ley de Lambert plantea la existencia de superficies emisoras o difusas que al observarlas desde distintos ángulos se tiene la misma sensación de claridad [18]. A estas superficies se las denomina emisores o difusores perfectos.

$$L_a = L_o$$

Entonces se cumple la ecuación:

$$I_a = I_o \cos(\alpha)$$

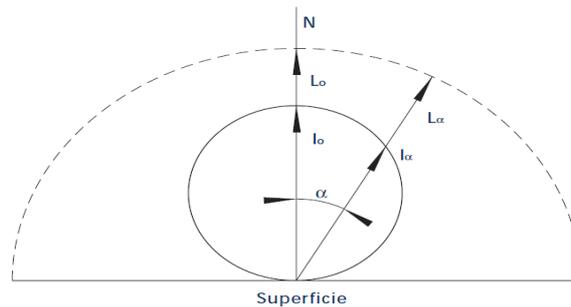


Figura 1. 16 Invariabilidad de la luminancia con el ángulo de incidencia.

Fuente: Manual práctico de INDALUX.LUMINOTECNIA (2002).

También la luz emitida a pequeños ángulos sobre la horizontal desde una luminaria es la causante de polución lumínica a grandes distancias, por lo cual para el control de la polución lumínica se debe evitar a toda costa que se produzca emisión de flujo luminoso.

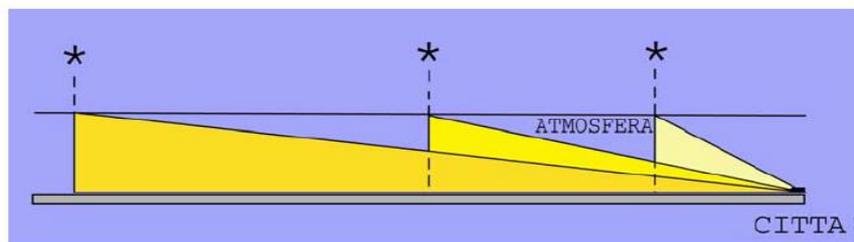


Figura 1. 17 Influencia sobre el brillo del cielo nocturno de las direcciones de emisión a distancias crecientes de la fuente contaminante.

Fuente: Manuel Nicolás Barba. Congreso Nacional del Medio Ambiente.

1.12.5 INSTRUMENTACIÓN Y MEDIDAS DE BRILLO DEL CIELO NOCTURNO DEBIDO A LA LUZ ARTIFICIAL. [17]

En astronomía para la medición del brillo de astros se usa el sistema de magnitudes estelares, las cuales fueron formalizadas de manera cuantitativa en el año de 1856 por Norman Pogson, y los métodos para medir el brillo del cielo que acompañan a estas magnitudes se conocen como fotometría astronómica.

Pues se identificó que para medir el brillo de algún astro primero se debía conocer el brillo del fondo del cielo.

Para medir el brillo aparente de una fuente se selecciona la región de espectro que es de nuestro interés, podría ser la zona de longitudes de onda de luz visible entre 380 y 780nm. Luego se cuantificaría solo la energía recibida en esta zona, despreciando toda energía que se encuentra fuera de la misma.

Para no perder información al seleccionar una zona tan pequeña se utiliza para un estudio una curva normalizada suave que permita tener un máximo en un determinado valor de longitud de onda y con su respectivo decaimiento al inicio y final de la curva. Se puede usar la curva de sensibilidad del ojo humano ya que su forma es la de una función suave.

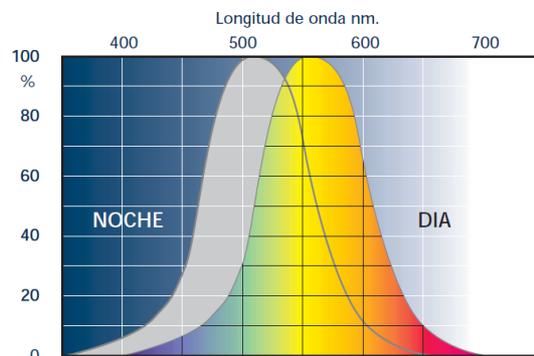


Figura 1. 18 Curva de sensibilidad del ojo a las radiaciones monocromáticas.

Fuente: Manual práctico de INDALUX.LUMINOTECNIA (2002).

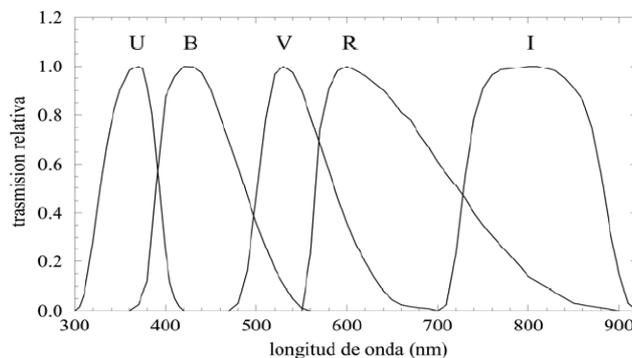
Podemos encontrar varios filtros que miden el brillo de astros y en diferentes bandas del espectro electromagnético, el filtro que más se aproxima a la curva de sensibilidad del ojo es el filtro V. En la siguiente tabla se da ejemplos de algunos filtros:

Tabla 1. 4 Filtros y sus valores máximos de longitud.

Máximo valor de longitud de onda del filtro en (nm)	Tipo de filtro
360	U
550	V
650	R
800	I

Fuente: Autores.

En la siguiente figura se observa la curva de los filtros más habituales en astronomía.


Figura 1. 19 Curva de los filtros más habituales en astronomía.

Fuente: Manuel Nicolás Barba. Congreso Nacional del Medio Ambiente.

Si tenemos un objeto astronómico y definimos como FV al flujo recibido del mismo, el brillo del objeto en magnitudes estelares es $m = C - 2,5\log_{10}(FV)$, siendo C una constante que se fijó cuando la estrella Vega tuviera una magnitud de valor cero en la banda de V. Este valor de la constante C no es de gran interés ya que en el momento de considerar el brillo de dos estrellas da como resultado:

$$m_1 - m_2 = -2,5\log_{10}\left(\frac{FV_1}{FV_2}\right)$$

Esta ecuación nos indica que mientras mayor es el brillo de un objeto, menor resulta el valor de la magnitud. Ejemplos:

Tabla 1. 5 Astros y la magnitud de su brillo.

Astro	Brillo mag/arcseg ²
Estrella brillante	0
Estrella con brillo débil	6
Luna	-12
Sol	-24

Fuente: Autores.

La unidad astronómica para medir brillo superficial de objetos extensos es mag/arcsec² (magnitudes por arco segundo al cuadrado)". [19]

El procedimiento de la fotometría seguido para determinar el brillo de algún astro es el siguiente:

- Seleccionar un grupo de estrellas con magnitudes conocidas (estrellas estándar), en la banda espectral con la cual se va a trabajar.
- Optar por algún instrumento para realizar las mediciones.
- Realizar las mediciones de las estrellas desconocidas (estrella problema) y las estrella conocidas (estrellas estándar).
- Comparación de las mediciones para definir el valor de la magnitud.

El brillo de una estrella se determina sin mayor problema debido a que por la distancia a la que se encuentra la estrella se considera como una fuente puntual, pero cuando se busca determinar el brillo del fondo del cielo un solo valor de la magnitud no tiene sentido, por lo cual el valor se especifica "por unidad de área medida sobre el cielo" en luminotecnia se usa el ángulo sólido. Entonces la comunidad astronómica usa una unidad muy conocida para ella, es el flujo recibido en un trozo de cielo que abarca un ángulo sólido de un segundo de arco cuadrado (arcseg²), esto es que el brillo que emite el trozo de cielo con forma cuadrada y que su lado mide un segundo de arco.

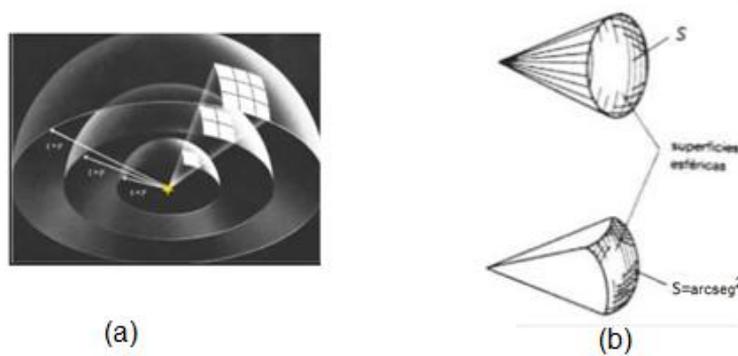


Figura 1. 20 Gráfico explicativo de la unidad del brillo del cielo ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$)

Fuente: (a) astronavegacion.webcindario.com (b) www2.uah.es

1.12.6 RELACIÓN ENTRE MAGNITUDES LUMINOTÉCNICAS Y MAGNITUDES ESTELARES

Al tener la luminancia de un “trozo de cielo” de un segundo de arco cuadrado con un brillo m medido con el filtro V su equivalente sería la luminancia b en candelas por metro cuadrado.

$$b = 10^{[(12,60-m)/2,5]}$$

$$m = 12,60 - 2,5\log_{10}b$$

Un ángulo sólido de un segundo de arco cuadrado abarca $2,35 \times 10^{-11}$ estereorradián.

Entonces una fuente luminosa astronómica con un brillo de m magnitudes con el filtro V sobre un terreno horizontal tiene una iluminancia i en luxes [lumen por metro cuadrado], dado por:

$$m = 12,60 + 2,5\log_{10}(2,35 \times 10^{-11}) - 2,5 \log_{10} i = -13,97 - 2,5 \log_{10} i$$

$$i = 10^{[(-13,97-m)/2,5]}$$

Un cielo oscuro en la banda del filtro V mide 21,5 mag/segarc² y un cielo con brillo tiene valores inferiores de 19,5 mag/segarc² [17]. La fórmula para la transformación a candelas por metro cuadrado (cd/m²), se obtuvo de la página web de la empresa Unihedron.

$$[Valor\ en\ cd/m^2] = 10.8 * 10^4 * 10^{(-0.4*(valor\ en\ mag/arcseg^2))}$$

La extinción de la atmosfera: Al ver las estrellas se realiza a través de la atmosfera obteniendo un brillo aparente, las condiciones de medición siempre están variando por la rotación de la Tierra, se presentan diferentes grosores de la atmosfera por la presencia de nubes que atenúan el brillo del cielo este efecto se conoce como extinción de la atmosfera. [17]

1.12.7 USO DE ESTRELLAS COMO INDICADOR DE MEDIDA DEL BRILLO DEL CIELO NOCTURNO

Como el objetivo es determinar el brillo aparente de un objeto astronómico de intensidad desconocida se usa la técnica de comparar con objetos que tienen brillo conocido.

Para ello se debe realizar los siguientes pasos:

- Seleccionamos un instrumento de medida.
- Definir el espectro en el cual se va a trabajar.
- Determinar cuáles son las estrellas conocidas (estrellas estándar) y cuales las estrellas problemas.

La metodología es la siguiente:

- Anotar los valores que da el instrumento seleccionado tanto de estrellas estándar como de estrellas problema entonces de manera inmediata se estará determinado también el brillo del cielo.
- Luego se debe apuntar el instrumento en dirección junto al astro y con esto se logra medir el brillo del cielo.
- El valor del brillo del astro de la estrella problema se puede obtener al realizar la diferencia del brillo de la estrella menos la segunda medida del fondo del cielo.

Al usar las estrellas como patrón de medición se presentan varias dificultades como la necesidad de equipo especializado, personal calificado, la extinción de la atmosfera, en este tipo de medición se tiene un limitado número de mediciones y el público en general no tiene mucha participación sobre el tema.

1.12.8 MEDICIÓN A TRAVÉS DE LA OBSERVACIÓN DEL BRILLO DEL CIELO.

Se basa en el simple uso de la vista y aprovecha que el ojo funciona como un filtro natural en la zona del espectro visual. En este método se siguen los siguientes pasos:

- Se inicia definiendo una zona dentro de grandes cuadrantes o triangulo de preferencia se delimita por estrellas más brillantes.
- Se efectúa el conteo de número de astros dentro del cuadrante.
- En este método un número determinado de estrellas es equivalente a un brillo de cielo nocturno.

Esta forma de evaluar el brillo del cielo tiene las ventajas de que no requiere de personal o equipo especializado, se puede realizar gran número de mediciones

y en diferentes zonas con la participación de cualquier persona. Las limitaciones que presenta este método es que solo se trabaja con la banda del espectro visible, y las mediciones pueden variar por la experiencia de las personas, la sensibilidad y razones fisiológicas de quien efectúa la medición.

1.12.9 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL SIMPLIFICADO: SKY QUALITY METER

Es uno de los pocos instrumentos que se han logrado establecer en el mercado y que ha logrado tener mucha difusión pues este dispositivo permite cubrir un área que abarca 90° de diámetro en el hemisferio superior, en su interior tiene incorporado un filtro V para realizar las mediciones y las lecturas tomadas dan su resultado en unidades de $\text{mag}/\text{segarc}^2$.

Entre sus ventajas tenemos su gran portabilidad, no requiere de personal especializado, permite efectuar gran cantidad de número de mediciones. Su limitación es que solo tiene un filtro tipo V.



Figura 1. 21 Sky Quality Meter

Fuente: www.firstlightoptics.com

1.12.9.1 HERRAMIENTAS AUTOMATIZADAS PARA MEDICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

Este tipo de instrumento proporciona alta calidad científica, permite un manejo del instrumento y datos automático. El que se encuentra en el mercado es

conocido como excalibur y su desarrollador es el Ingeniero Jesus Excalibur. Básicamente el funcionamiento consiste en un monitor de extinción atmosférica que con ayuda de 8 filtros permite que se abarque una mayor banda y determina de mejor manera el brillo del cielo nocturno debido a la polución lumínica. [17]



Figura 1. 22 El sistema Excalibur para la medida multibanda de la extinción y el brillo de fondo de cielo.

Fuente: http://cotfe1.reserva.ebd.csic.es/documentos/Redes/Filtrodecontaminacionlumínica/todos/LUZ_fin al.pdf

Entre las ventajas de este instrumento es que los datos son de gran calidad, abarca un mayor rango del espectro que otros aparatos de medida, la automatización en la manipulación del instrumento y de los datos, y el personal no requiere ser especializado. Sus limitantes son que todavía existen muy pocos instrumentos de este tipo.

1.12.9.2 EQUIPOS DE ASTRONOMÍA NO PROFESIONAL PARA MEDIR EL BRILLO DEL CIELO.

En el planeta existe mucha gente entusiasta o aficionada de la astronomía que a pesar de no ser profesionales en el tema utilizan diferentes equipos que pueden ser usados para evaluar el brillo del cielo.

Entre los instrumentos que caen dentro de este método están los:

Marco Vinicio Guanquiza León
Raúl Martín Quito Arias



- Telescopios
- Cámaras CCM comercial o fotómetro fotoeléctrico
- Ruedas de filtros equipados hasta con 3 filtros de los ya mencionados
- Sistemas de manejo de datos o tratamiento de información.

La ventaja es la participación de muchas personas en las mediciones. Se puede difundir a mucho público sobre la problemática de la polución lumínica.

1.12.9.3 MEDIDAS DEL BRILLO CON TECNOLOGÍA SATELITAL.

Otro avance interesante para evaluar la polución lumínica se ha enfocado en las observaciones que se hace del exterior de la Tierra mediante satélites, de este modo se logra adquirir imágenes en varias bandas del espectro.

Su gran ventaja es que puede abarcar extensiones grandes de diferentes partes del planeta, la dificultad que se presenta en este método de evaluación es la de pasar estos resultados a magnitudes estelares o a la fotometría estelar o quizá métodos directos para magnitudes luminotécnicas. Además también este tipo de medición puede verse afectado por condiciones meteorológicas, o locales y depende de la calibración que se le puedan aplicar en los satélites desde las estaciones de la misma Tierra.

1.12.10 POLUCIÓN LUMÍNICA SOBRE LA NATURALEZA Y LA BIODIVERSIDAD.

De forma genérica, la luz cumple un papel fundamental en el desarrollo de la vida. Fenómenos como la fotosíntesis de las plantas y la conversión luz-calor se hallan en la base de la cadena vital [20]. En la vida animal, la polución lumínica no sólo afecta a la función visual, sino que influye en todas las

glándulas de secreción interna y, en consecuencia, en el comportamiento de los animales. [21]

En las aves que tienen su periodo de migración basadas en guiarse por la luz de las estrellas se desorientan por el brillo del cielo. En el caso de los insectos no logran encontrar su pareja alterando sus niveles de reproducción, en otros casos la luz de las lámparas llega a ser tan atrayente para los insectos provocando incluso incremento del número de diferentes plagas.

“En lugares cercanos a las playas provoca alteraciones ya sea incrementándose o reduciéndose el nivel de planto marino, que es la alimentación de especies marinas”. [22]

1.12.10.1 EFECTOS EN EL SER HUMANO

El ser humano evolucionó con la absorción y la asimilación de la energía luminosa, incluso una persona al pasar de su etapa de niñez a la de vejez tiene diferente capacidad de asimilación de energía luminosa con la edad. [23]

Tierna Edad.- en esta etapa del ser humano la piel de los niños es lampiña, el pelo claro y los ojos más bien transparentes para absorber gran cantidad de Energía Luminosa que le permita soportar el gran desarrollo de esa edad.

Edad Adulta.- al llegar a esta edad la piel es más grasa, el pelo oscurece y los ojos pierden transparencia, porque la razón de crecimiento disminuye y con ello, se reduce la captación de Energía Luminosa.

Edad Anciana.- en esta etapa la piel se seca, se encanece (al blanco), lo ojos se vuelven poco brillantes (mate) y la piel se vuelve flácida, todo ello, porque



disminuye la eficiencia de la captación de Energía por vía oral y para compensar se incrementa la asimilación Energía Luminosa. [23]

“Los ritmos circadianos (de vigilia y de sueño) son los más afectados por la exposición a la luz, trastornos de la personalidad, insomnio, depresión y estrés se incrementan por un uso inadecuado de iluminación”. [14]

La luz nocturna, cuando es de suficiente intensidad y de la longitud de onda apropiada (azul), es convertida a una señal eléctrica que viaja al sistema nervioso central. Esta señal altera la función del reloj biológico y en última instancia, la producción de melatonina en la glándula pineal. La melatonina, que se segrega fundamentalmente de forma exclusiva durante la noche, presenta una serie de importantes funciones que se pierden en el momento en el que existe exposición nocturna a la luz [22]. Además no se producen antioxidantes que protege a nuestro organismo, de alteraciones degenerativas y contra ciertos tipos de cáncer.

1.12.10.2 EFECTOS DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA SOBRE LA SOCIEDAD.

La luz es un factor importante que define el progreso de la sociedad y de la tecnología. Se ha buscado que mediante la luz se mejore la calidad de vida de todo ser humano en el planeta que disponen de ella pero ello no significa que debemos de hacer un derroche innecesario de la luz ya sea iluminando con potencias más de las necesarios o lugares que no deberían ser iluminados. [20]

La polución lumínica se hizo evidente para la comunidad astronómica que al estar en constante contacto con el brillo que presentan los planetas, las

estrellas y el universo empezaron a notar que el brillo que producía la polución lumínica los limitaba cada vez más en el momento de realizar sus estudios.

Pero este problema no solo debe preocupar a los científicos dedicados a la rama de la astronomía, debe alertar a todo el público en general pues no deseamos que nuestras futuras generaciones se encuentre privados de conocer el universo pues en el pasado la gente estaba más en contacto con él, se guiaba en fases lunares y brillo de estrellas. [20]

Todas las personas deberían comprender que el iluminar no es necesariamente un signo de progreso o de grandes avances en tecnología e industria. Deberíamos buscar calidad y no cantidad para de este modo mejorar nuestros paisajes nocturnos.

1.12.11 ILUMINACIÓN Y SEGURIDAD.

El público en general tiene enraizado en su conciencia que a mayor iluminación da como resultado mayor seguridad, cayendo en una falsedad [17]. Si bien un adecuado nivel de iluminación favorece a la movilización y la seguridad del tránsito peatonal, un exceso de este produce un efecto contrario. Un claro ejemplo de esto es que al encontrarnos viajando en un auto y pasar de una zona muy iluminada a una zona con una adecuada iluminación nos causara el efecto de estar mal iluminada, pero además nuestro ojos requieren de un tiempo para acostumbrarse al cambio del nivel de iluminación que se produjo entonces conllevará a que se sienta cansancio al momento de conducir lo que puede conllevar a que tengamos un accidente de tránsito.



Podríamos darnos el caso del deslumbramiento que debería de ser otro factor a tener en cuenta cuando sucede un accidente de tránsito.

Adicionalmente, la iluminación en exceso puede causar deslumbramiento al peatón que puede ser el que no pueda distinguir lo que se encuentra en su alrededor como auto, o un posible agresor y sea víctima de la delincuencia y al encontrarse disminuido en sus funciones visuales por el deslumbramiento incluso se hace imposible identificar al individuo agresor.

CAPÍTULO 2

2. MARCO LEGAL Y NORMATIVO SOBRE POLUCIÓN LUMÍNICA.

2.1 ANTECEDENTES

El Ministerio de Industrias y Productividad, publicó en el registro oficial recientemente el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”, donde además de presentar fundamentos técnicos para la realización de un proyecto de alumbrado público, muestra un punto dedicado al tema de polución lumínica.

Una de las organizaciones más antiguas en el tema de la polución lumínica fue la Dark - Sky Association quien empezó a preocuparse y estar en defensa de los cielos nocturnos, y con ello reducir sus efectos que cada día está quitando el privilegio de visualizar los cielos. Además de ser la promotora de varias leyes y ordenanzas en los EEUU.

En Sudamérica Chile y Colombia son de los pocos países en aprobar leyes y reglamentos que tengan como objetivo prevenir la polución lumínica.

En España la primera ley de protección del cielo nocturno frente a la contaminación lumínica fue la Ley 31/1988, de 31 de octubre, sobre protección de la calidad astronómica de los observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias, y desde entonces hasta el año 2001 no se trabajó sobre el tema. Pero a partir del año 2001 varios ayuntamientos autónomos han ido aprobando leyes para minimizar la polución lumínica, dichas leyes se explican en el desarrollo de este capítulo. De igual modo se muestra una recopilación de varias leyes, normativas y reglamentos.

2.2 COMISIÓN INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN CIE [24]

Es una organización fundada en 1931 y con sede en Viena - Austria¹, participa en el intercambio de información a nivel internacional entre sus países miembros, en todas las materias referentes a ciencia y el estado del arte de las tecnologías de la iluminación.

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Comisi3n_Internacional_de_la_Iluminaci3n



La Comisión Internacional de Iluminación ha desarrollado las siguientes publicaciones sobre polución lumínica:

- Publicación CIE 126-1997: “Directrices para la minimización del brillo del cielo”.
- Publicación de la CIE 150-2003: “Guía para la limitación de los efectos molestos de la luz procedente de las instalaciones de iluminación en exteriores”.

2.2.1 PUBLICACIÓN CIE 126-1997 “DIRECTRICES PARA LA MINIMIZACIÓN DEL BRILLO DEL CIELO”.

En 1997, la CIE presentó su número de publicación 126-1997: " Directrices para reducir al mínimo el brillo del cielo". Este documento aborda una serie de técnicas de iluminación y aspectos fotométricos para la reducción del brillo del cielo.

En este apartado presentaremos los aspectos más relevantes de esta publicación de la CIE, iniciando con el concepto de porcentaje de flujo hemisférico superior (FHS) que es un indicador usado por la CIE para limitar el nivel de polución lumínica, asimismo mostraremos las fórmulas para realizar el cálculo de la contaminación lumínica. Seguido describimos el sistema de zonificación que establece la CIE según las actividades que se realizan en la zona. Además se proporcionan los valores límite del porcentaje de flujo hemisférico superior permitidos en cada zona. Finalmente exhibimos los procedimientos recomendados para reducir la polución lumínica.

Los indicadores principales del documento de la CIE son:

FHS (Flujo Hemisférico Superior): Proporción del flujo de las lámparas de una luminaria que se emite sobre la horizontal cuando la luminaria está montada en su posición normal de diseño.

FHSINST (Flujo Hemisférico Superior instalado): Proporción del flujo de una luminaria que se emite sobre la horizontal cuando la luminaria se monta en su posición de instalación.

2.2.1.2 CÁLCULO DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA. [14]

Como los estudios de contaminación lumínica han sido promovidos por las ciudades que poseen observatorios astronómicos, la Comisión Internacional de Iluminación CIE en la norma 126-1997 GUIDELINES FOR MINIMIZING SKY GLOW, define los siguientes conceptos:

Para calcular el grado de contaminación lumínica enviado sobre la horizontal de una instalación de alumbrado, debe tenerse en cuenta:

$$\phi_{Total} = ULOR + UWLR + Kr1 + Kr2, \text{ donde:}$$

- Kr1 Reflexión de la vía.
- Kr2 Reflexión de alrededores.
- ULOR Upward Light Output Ratio, es el porcentaje del flujo luminoso de la bombilla de una luminaria enviado sobre la horizontal.
- UWLR Upward Waster Light Ratio, es el porcentaje del flujo luminoso de una luminaria enviado sobre la horizontal.

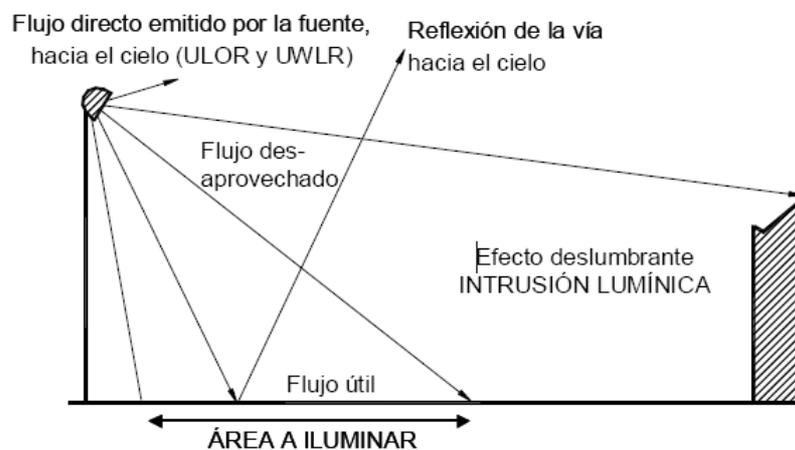


Figura 2. 1 Conceptos aplicados en Contaminación Lumínica

Fuente: REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO RETILAP (2010).

2.2.1.3 ZONIFICACIÓN [24]

La zonificación es una práctica para establecer una base para las regulaciones ambientales. La idea básica es que, en caso de que la actividad contaminante no se puede evitar por completo, las consecuencias ambientales de la contaminación no sean igualmente perjudiciales a todas las ubicaciones.

Las zonas y los requisitos de iluminación de la zona se configuran en relación con las actividades (humanos y no humanos) en estas zonas. Aunque la idea de zonificación es generalizada, su actual ejecución y la forma se realizan de acuerdo al sistema jurídico de cada país.

Zonificación no significa que se detiene la contaminación del medio ambiente, pero puede servir de marco de referencia para legislación anticontaminación y regulación. La descripción de las zonas aprobado por CIE es dada en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Descripción de las zonas ambientales de acuerdo con el sistema de zonificación CIE.

Zona	Descripción
E1	Áreas con paisajes intrínsecamente oscuros: Parques nacionales, Áreas de excepcional belleza natural (donde las carreteras suelen estar sin iluminar).
E2	Áreas de " distrito de baja luminosidad": generalmente fuera de áreas residenciales urbanas y rurales (donde las carreteras están iluminadas según las normas para carreteras residenciales).
E3	Áreas de "distrito de luminosidad media ": zonas residenciales generalmente urbanas (donde las carreteras están iluminadas de acuerdo al estándar de vías con tráfico).
E4	Áreas de "distrito de alta luminosidad ": generalmente áreas urbanas que incluyen zonas residenciales y para usos comerciales con elevada actividad nocturna.

Fuente: (CIE 1997)

2.2.1.4 TOQUE DE QUEDA

En la mayoría de casos, la exigencia de cantidad de la luz cambian durante la noche después de cierta hora la iluminación puede ser reducida. La forma más sencilla es apagar las luces cuando no se necesita. Sin embargo no es posible apagar toda la iluminación pública y entonces se aplica el concepto de toque

de queda: “El tiempo a partir del cual se aplican los estrictos requisitos para el control de la luz molesta; a menudo una condición de utilización de la iluminación aplicada por las autoridades gubernamentales de control, siendo esta normalmente la autoridad local”. [25]

Pero si después del ' toque de queda ' todavía hay necesidad de luz se usan atenuadores en los sistemas de iluminación. Muchas leyes y ordenanzas locales imponen un horario de uso de las instalaciones de iluminación mediante dimmers. [25]

2.2.1.5 LIMITACIONES AL PORCENTAJE DE FLUJO LUMINOSO INSTALADO ENVIADO SOBRE LA HORIZONTAL [25]

La CIE usa el valor del $ULOR_{inst}$ (es el porcentaje del flujo luminoso de una luminaria enviado sobre la horizontal) como parámetro para limitar los niveles de polución lumínica.

Los valores recomendados se dan en la Tabla 2.2. Estos dan los límites máximos permitidos del valor de $ULOR_{inst}$, expresados como un porcentaje del flujo luminoso de la bombilla de una luminaria) para cada uno de las cuatro zonas ambientales de la tabla 2.1. Las actividades astronómicas se indican en la Tabla 2.2 se derivan de las descripciones de Murdin (1997).

Tabla 2. 2 Recomendaciones para limitar el porcentaje del flujo luminoso instalado de la bombilla de una luminaria enviado sobre la horizontal.

Zona	$ULOR_{max, instalado}$ (%)	Actividades astronómicas
E1	0	Observatorios de clase internacional
E2	0-5	Postgrado y estudios académicos
E3	0-15	Estudios de pregrado, observaciones informal de aficionados del cielo
E4	0-25	Visualización casual del cielo

Fuente: Norma CIE 126-1997)

2.2.1.6 EL COLOR DE LA LUZ.

El color de la luz es tratado con cierto detalle (CIE, 1997, sec. 10). Sin embargo se acepta que la manera más eficaz de iluminación en la actualidad son las lámparas de vapor de sodio de baja presión. Este tipo de lámparas reducen las interferencias al momento de realizar las observaciones astronómicas, porque son fuentes de luz monocromáticas.

2.2.1.7 LAS RELACIONES DE DISTANCIA PARA LA ZONIFICACIÓN. [24]

La contaminación lumínica en un punto de una zona específica (llamado como “punto de referencia”, por ejemplo observatorios astronómico, parques naturales, etc.) no se determina sólo por la iluminación en esa zona, sino también por la iluminación y dimensiones de las zonas vecinas. Los requisitos de iluminación de los alrededores de las zonas de esa ubicación específica deben ser tomados en cuenta. La influencia de la iluminación de las zonas vecinas genera en el lugar de referencia (punto de referencia) un resplandor del cielo que depende de la distancia entre las fronteras de la zona y el punto de referencia.

Se recomienda los valores distancia indicados en la Tabla 2.3.

Tabla 2. 3 Valores recomendados de la mínima distancia en kilómetros (km) entre las fronteras de la zona y el punto de referencia.

Zona de referencia	Distancias en kilómetros (km), recomendadas entre los límites de cada zona y el punto de referencia así como los límites entre las distintas zonas.		
	E1- E2	E2 -E3	E3- E4
E1	1	10	100
E2		1	10
E3			1
E4	sin límites		

Fuente:(CIE 1997)

A continuación se realiza la explicación de cómo interpretar los valores de la tabla anterior.

Punto de referencia E1:

Distancia mínima entre E1 y límite E1-E2: 1 km.

Distancia mínima entre E1 y límite E2-E3: 10 km.

Distancia mínima entre E1 y límite E3-E4: 100 km.

Punto de referencia E2:

Distancia mínima entre E2 y límite E2-E3: 1km.

Distancia mínima entre E2 y límite E3-E4: 10 km.

Punto de referencia E3:

Distancia mínima entre E3 y límite E3-E4: 1 km.

Punto de referencia E4: Sin límite.

Estos valores de distancia son especialmente válidos para países o regiones donde las distancias son grandes y la población es escasa o inexistente. Son el caso de los países de clase mundial para la ubicación de observatorios astronómicos.

Sin embargo, zonas muy amplias hacen que sea difícil o incluso imposible de realizar reservas naturales de pequeña escala, o establecer observatorios con una función didáctica en regiones densamente pobladas o países.

2.2.1.8 PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS POR LA CIE PARA REDUCIR LA POLUCIÓN LUMÍNICA [26]

La CIE fundamenta sus recomendaciones en los siguientes principios:

- Los porcentajes de flujo luminoso que se envía por encima de la horizontal con relación a las actividades en la zona.
- Limitaciones en los niveles de luz entre algunas horas de noche. Cuando se aplica el ' toque de queda ', que mediante un sistema de regulación del nivel luminoso reducen el flujo luminoso a ciertas horas de la noche.
- Con el fin de reducir la polución lumínica en un lugar, también de deben de tomar en cuenta los porcentajes de iluminación en las inmediaciones

de las zonas (relaciones de distancia).

(A1) Apagar las luces cuando no se necesitan para la seguridad o realce de la escena nocturna. A este respecto se puede introducir el concepto de un “toque de queda” con unas limitaciones en los niveles de luz entre algunas horas, como por ejemplo apagar la iluminación decorativa, comercial y publicitaria en las calles entre las 23hs y el amanecer.

(A2) Utilizar luz directa hacia abajo siempre que sea posible para iluminar sus objetivos; no hacia arriba. Si no hay alternativa a la iluminación hacia arriba, entonces utilizar un apantallamiento para reducir al mínimo la luz esparcida:



Figura 2. 2 Ángulos de inclinación de proyectores para iluminar una superficie vertical.

Fuente: “Proyecto de alumbrado urbano y contaminación lumínica”. I Seminario alumbrado urbano sustentable y energéticamente eficiente.

(A3) Utilizar equipos especialmente diseñados de modo que una vez instalados minimice la luz esparcida cerca o sobre el plano horizontal:

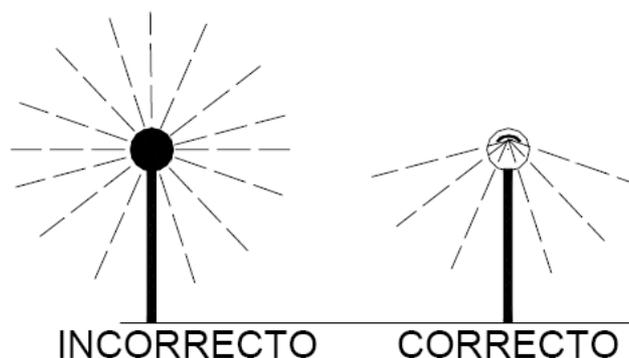


Figura 2. 3 Control del flujo luminoso de luminarias esféricas o globos.

Fuente: REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO RETILAP (2010).

(A4) No iluminar “excesivamente”. Ello da lugar a contaminación luminosa y a

malgastar el dinero. La CIE dispone de numerosas normativas recomendando niveles óptimos de iluminación según la tarea visual de que se trate.

(A5) Para mantener el deslumbramiento en un mínimo, habrá que asegurarse de que el ángulo del haz principal de todas las luces dirigidas hacia cualquier observador potencial se mantenga por debajo de los 70° . Deberá tenerse en cuenta, que si se aumenta la altura del montaje, deberá disminuirse el ángulo del haz de los rayos luminosos. En los lugares con poca luz ambiente, el deslumbramiento puede ser muy molesto, por lo que se debe cuidar con esmero el posicionamiento y orientación de las luminarias:

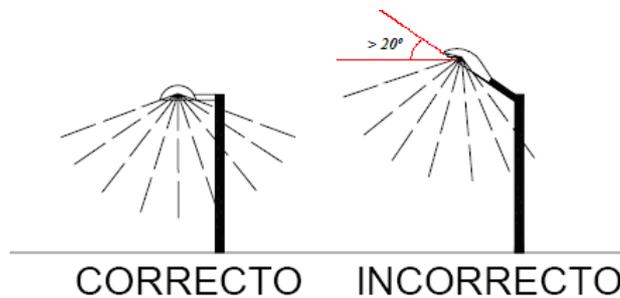


Figura 2. 4 Ángulos de inclinación de las luminarias.

Fuente: REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO RETILAP (2010).

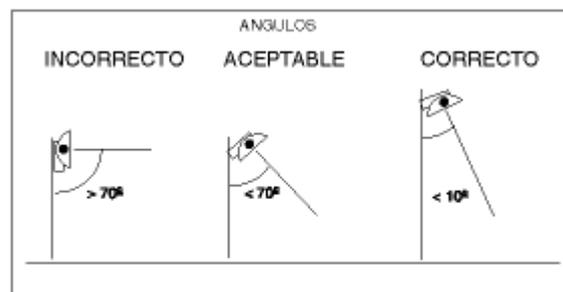


Figura 2. 5 Ángulos de inclinación de proyectores.

Fuente: "Proyecto de alumbrado urbano y contaminación lumínica". I Seminario alumbrado urbano sustentable y energéticamente eficiente.

(A6) Cuando sea posible, se recomienda utilizar luminarias con haces asimétricos que permitan mantener su cierre frontal paralelo o casi paralelo a la superficie que se quiere iluminar:

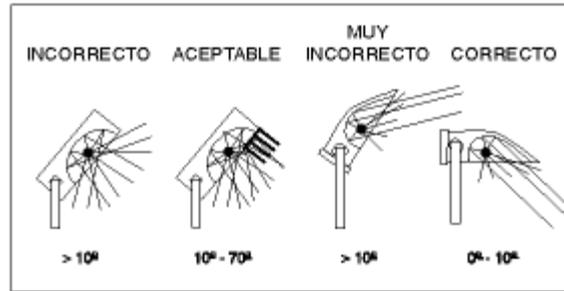


Figura 2. 6 Control del flujo luminoso de proyectores.

Fuente: "Proyecto de alumbrado urbano y contaminación lumínica". I Seminario alumbrado urbano sustentable y energéticamente eficiente.

(A7) Para iluminación doméstica e iluminación de seguridad a pequeña escala existen dos soluciones:

(i) Se pueden utilizar con efectividad detectores pasivos de infrarrojo, si se instalan y alinean correctamente.

Una lámpara incandescente halogenada de 150W (2000 lm) resulta más que suficiente. Lámparas de 300 a 500W producen demasiada iluminación, mayor deslumbramiento y sombras más oscuras o acentuadas.

(ii) Son igualmente aceptables iluminaciones permanentes con bajo brillo durante toda la noche. En el caso de iluminar un porche de una vivienda, lo más adecuado es utilizar una lámpara fluorescente compacta de 9W (600 lm).

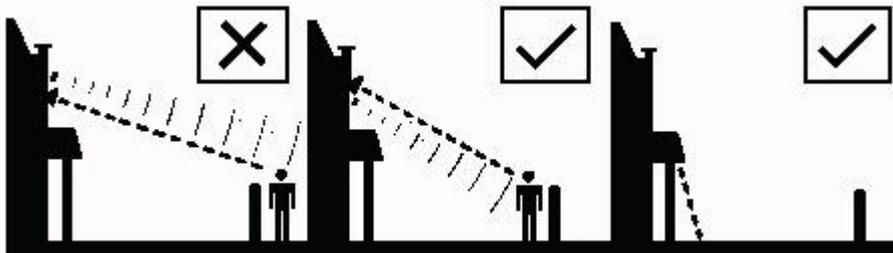


Figura 2. 7 Formas de iluminación exterior de viviendas.

Fuente: "Proyecto de alumbrado urbano y contaminación lumínica". I Seminario alumbrado urbano sustentable y energéticamente eficiente.

(A8) Para alumbrado de vías de tráfico rodado se debe minimizar el flujo sobre el plano horizontal y restringir la intensidad cerca de dicho plano.

A los ingenieros en iluminación o a la autoridad de planificación involucrada en el diseño de instalaciones de iluminación, la CIE en su publicación N° 126[12] recomienda la adopción de las siguientes limitaciones de la luz perturbadora para las instalaciones de alumbrado exterior:

Zonas Medioambientales (deberán ser definidas en cada caso por la Autoridad de Planificación Local).

2.2.2 PUBLICACIÓN DE LA CIE 150-2003 DE “GUIA PARA LA LIMITACIÓN DE LOS EFECTOS MOLESTOS DE LA LUZ PROCEDENTE DE LAS INSTALACIONES DE LA ILUMINACION EN EXTERIORES”

La CIE en su publicación CIE 150-2003, presenta el sistema de zonificación, los valores máximos de iluminancia en las propiedades cercanas y valores máximos de intensidad luminosa de las luminarias.

Tabla 2. 4 Zonas de iluminación medioambiental.

ZONA	ENTORNO	ILUMINACIÓN AMBIENTAL	EJEMPLOS
E1	Natural	Intrínsecamente oscuro	Parques nacionales y sitios protegidos
E2	Rural	Zona de brillo bajo	Áreas rurales industriales o residenciales
E3	Suburbano	Zona de brillo medio	Suburbios industriales o residenciales
E4	Urbano	Zona de brillo alto	Centros de ciudades y áreas comerciales

Fuente: CIE N°150-2003.

La guía CIE 150-2003 muestra los límites de iluminancia aplicables en viviendas, o viviendas potenciales cercanas a luminarias, más específicamente a sus superficies relevantes a partes de superficies, especialmente donde están las ventanas. Los valores se dan en la tabla 2.5 y estos son la suma de todas las instalaciones de iluminación.

Tabla 2. 5 Valores máximos de iluminancia vertical en propiedades límites.

Parámetro Luminotécnico	Condiciones de Aplicación	Zonas Medioambientales			
		E1	E2	E3	E4
Iluminancia en plano vertical (E_v)	Pre-toque de queda:	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
	Post-toque de queda:	0* lux	1 lux	2 lux	5 lux

*NOTA: Si la luminaria es para iluminación pública (carretera) entonces este valor puede alcanzar hasta 1 lux.

Fuente: CIE N°150-2003.

De igual manera se expone los límites máximos de las intensidades para las luminarias, aplicables en direcciones donde los campos de visión de superficies brillantes de las luminarias probablemente sean problemáticas para los residentes. En la tabla 2.6 se dan estos valores de estos valores.

Tabla 2. 6 Valores máximos para la intensidad de las luminarias en direcciones determinadas.

Parámetro Luminotécnico	Condiciones de Aplicación	Zonas Medioambientales			
		E1	E2	E3	E4
Intensidad luminosa emitida por luminarias (I)	Pre-toque de queda:	2500 cd	7500cd	10000 cd	25000 cd
	Horas post-toque de queda:	0* cd	500 cd	1000 cd	2500 cd

*NOTA: Si la luminaria es para iluminación pública (carretera) entonces este valor puede alcanzar hasta 500 cd.

Fuente: CIE N°150-2003.

2.3 NORMATIVA ESPAÑOLA

La primera norma en abordar tema de la polución lumínica en España fue la ley 31/1988 del 31 de octubre, sobre la protección de calidad astronómica de los observatorios del instituto de astrofísica de Canarias. El real decreto 243/1992 del 13 de marzo aprobó el reglamento para esta ley, establecimiento condiciones y límites tolerables a cada uno de los factores que intervengan a la propagación de este fenómeno.

Del mismo modo autónomamente se han ido desarrollando normativas referentes al tema de polución lumínica, los ayuntamientos que han elaborado normativa son: Cataluña, Islas Baleares, Navarra, Cantabria, Andalucía. El objetivo de estas es regular las instalaciones y aparatos de alumbrado público, en lo referente a polución lumínica y mejorar la eficiencia energética, sin olvidarse de la seguridad de los peatones.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de cada una de las leyes que poseen algunos ayuntamientos en España.

Tabla 2. 7 Legislación desarrollada por gobiernos regionales de España para la protección del medio nocturno.

Ayuntamiento	Ley
Cataluña	Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.
Islas Baleares	Ley 3/2005, de 20 de abril, de protección del medio nocturno de las Illes Balears.
Navarra	Ley Foral 10/2005, de 9 de noviembre, de ordenación del alumbrado para la protección del medio nocturno.
Cantabria	Ley de Cantabria 6/2006, de 9 de junio, de prevención de la contaminación lumínica.
Andalucía	Ley 7/2007, de 9 de julio, de gestión integrada de la calidad ambiental (Sección 3ª, Capítulo II, Título IV).

Fuente: Manuel Nicolás Barba. Congreso Nacional del Medio Ambiente.

El desarrollo reglamentario de la ley balear corresponde a los consejos insulares.

2.3.1 OBJETIVOS

Los principales objetivos de estos ayuntamientos son:

- Prevenir y corregir los efectos de la polución lumínica, como la emisión de luz al cielo nocturno y la luz intrusa en entornos domésticos.
- Proteger el máximo posible las condiciones naturales del cielo nocturno, en beneficio de la flora, la fauna y el ecosistema en general.
- Mejorar la eficiencia energética del alumbrado exterior e interior y lograr un ahorro de energía.

2.3.2 ESTUDIO COMPARATIVO

Cataluña fue uno de los primeros ayuntamientos en contar con una ley que regule las emisiones de luz hacia el cielo y que fuera aprobada en España, y fue tomada como referente para que otros lugares tomarán la iniciativa de seguir este ejemplo, originando grandes similitudes entre ella, con la excepción de Andalucía, que se centra en regular factores ambientales de la región.

Considerando que todas las normas están enfocadas para eliminar los efectos ocasionados por la polución lumínica y obtener mayor eficiencia energética en

los sistemas de iluminación de alumbrado público. En este estudio se mostraran las similitudes en cuestiones de regulación, considerando los siguientes aspectos principales:

- Zonificación
- Ámbitos y excepciones de aplicación.
- Características Instalaciones y aparatos de iluminación
- limitaciones y prohibiciones
- Deslumbramiento
- Regulación horaria
- Sanciones

Tabla 2. 8 Regulaciones desarrolladas por gobiernos regionales de España para la protección del medio nocturno.

Aspecto principal	Cataluña	Islas Baleares	Navarra	Cantabria	Andalucía
Zonificación	<input checked="" type="checkbox"/>				
Excepciones	<input checked="" type="checkbox"/>				
Características Instalaciones y aparatos de iluminación	<input checked="" type="checkbox"/>				
Limitaciones y prohibiciones	<input checked="" type="checkbox"/>				
Tipificaciones y sanciones	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-	-

Fuente: Manuel Nicolás Barba. Congreso Nacional del Medio Ambiente.

2.3.2.1 ZONIFICACIÓN

Cataluña, Islas Baleares, Navarra, Cantabria, Andalucía, establecen en la zonificación cuatro zonas de protección contra la polución lumínica, en función de la vulnerabilidad, va desde zona E1 de mayor importancia natural hasta la E4 de menor importancia, entonces las zonas son:

Zona E1: consisten en espacios de gran interés natural que requieren protección especial o territorios con un valor astronómico especial, que admiten un brillo mínimo.

Zona E2: se encuentra cerca de lugares urbanizables, son aquellos que ya no están incluidos en la zona E1. Áreas que admiten un brillo reducido.

Zona E3: áreas que se encuentran con planeamiento urbanístico y que admiten brillo medio.

Zona E4: considerada la de menor importancia, involucra centros urbanos que tienen gran actividad nocturna tanto; comercial, industrial o de diferentes servicios. Áreas que admiten brillo alto.

2.3.2.2 AMBITOS DE APLICACIÓN Y EXCEPCIONES

Los reglamentos son de aplicación a sistemas de iluminación exterior tanto públicos como privados, los nuevos proyectos deben cumplir con estas disposiciones cuando se realiza la implementación y los sistemas de iluminación que están en funcionamiento realizarán los cambios necesarios cuando se realice la renovación de instalaciones obsoletas que han cumplido su vida útil de funcionamiento.

Así también se presentan excepciones de la aplicación de estas leyes a los aeropuertos y puertos de interés general del Estado, las instalaciones ferroviarias, las instalaciones de las fuerzas, los cuerpos de seguridad, instalaciones de carácter militar, los vehículos a motor, en general, las infraestructuras, cuya iluminación esté regulada por normas destinadas a garantizar la seguridad de la ciudadanía.

La normativa de Andalucía da excepciones también en los siguientes casos:

- “a) Por motivos de seguridad ciudadana debidamente justificados.
- b) En operaciones de salvamento y otras situaciones de emergencia. Esta excepción solo será aplicable durante el tiempo de duración de la operación de salvamento o a la situación de emergencia.

c) Para eventos de carácter temporal con especial interés social, entre los que se incluyen el turístico y el económico, así como los de interés cultural o deportivo. Esta excepción sólo será aplicable durante el tiempo de duración del evento.

d) Para iluminación de monumentos o ámbitos de especial interés patrimonial y cultural.

e) Para otros usos del alumbrado de especial interés debidamente justificados.”

[27]

2.3.2.3 CARACTERISTICAS DE INSTALACIONES Y APARATOS DE ILUMINACION EXTERIOR.

Aquí las normativas especifican que las lámparas utilizadas deben ser las de mayor eficiencia energética, priorizando el uso de lámparas de sodio de alta o baja presión. En el proceso de renovación de la iluminación exterior se deben de sustituir las lámparas de mercurio por otras de menor impacto.

El ayuntamiento de Navarra dispone que las lámparas tengan sistemas de reducción del flujo luminoso en horarios de alumbrado restringido.

En Cataluña, como en todas las leyes de los ayuntamientos establece que se debe utilizar luminarias con la mayor eficiencia posible, en la tabla a continuación se da a conocer los tipos de lámparas en función a la zona de protección y el horario que deberán ser usadas.

Tabla 2. 9 Tabla 1, anexo. Decreto 82/2005 donde se muestran las lámparas según el lugar donde estén situadas.

Zona de protección	Horario de atardecer	Horario de noche
E1	VSBP/VSAP	VSBP/VSAP
E2	Preferentemente VSBP/VSAP	VSBP/VSAP
E3	Preferentemente VSBP/VSAP	Preferentemente VSBP/VSAP
E4	Preferentemente VSBP/VSAP	Preferentemente VSBP/VSAP

VSBP: Lámparas de vapor de sodio a baja presión.

VSAP: Lámparas de vapor de sodio a alta presión.

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

En Cataluña en zonas protegidas E1 o E2 deberán poseer un sistema que permita variar el flujo luminoso sin afectar la uniformidad (artículo 9.4), además cualquier luz que sea dirigida a zonas protegidas o den lugar a deslumbramientos deberán estar regidas a la siguiente Tabla.

Tabla 2. 10 Tabla 7, anexo. Iluminación media máxima en zonas destinadas a tránsito de vehículos y/o al paso peatonal, expresado en lux.

I: Iluminación en zona de vehículos; P: Iluminación en zona peatonal

	I	P
Tránsito elevado	35	20
Tránsito moderado	25	10
Tránsito bajo	15	6
Tránsito escaso	10	5

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

El artículo 9.7, 9.8 y 9.9 de Cataluña establece la luminancia máxima que deberán poseer rótulos luminosos en medios exteriores, además la iluminación interior de edificios en escaparates y ventanas, y si estos valores se superan, deberán utilizar persianas de manera obligatoria. En la tabla 2.11 se muestra la luminancia media que debe poseer una fachada y monumentos. Las tablas son las siguientes.

Tabla 2. 11 Tabla 8, anexo. Luminancia máxima de rótulos, expresados en cd/m^2 .

Z: Zona de protección; L: Luminancia máxima

Z	L
E1	50
E2	400
E3	800
E4	1.000

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

Tabla 2. 12 Tabla 9, anexo. Luminancia máxima de edificios, de escaparates y de ventanas, expresada en $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Zona de protección; A: Horario de atardecer; N:
Horario de noche

Z	A	N
E1	10	5
E2	40	20
E3	80	40
E4	100	50

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo.

Tabla 2. 13 Tabla 10, anexo. Luminancia media máxima de fachadas y monumentos, expresada en $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Zona de protección; A: Horario de atardecer; N:
Horario de noche

Z	A	N
E1	5	0
E2	5	0
E3	10	5
E4	25	12

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

En sus artículos 8.1 y 8.2, de la denominada ley Foral en Navarra sugieren que las instalaciones y aparatos de iluminación deben diseñarse de manera que prevengan en gran parte la contaminación lumínica y favorezcan al ahorro energético, además de establecer vías reglamentarias en función a la zonificación y los niveles máximos de FHS, en especial en la inclinación y la dirección de las luminarias, tipo de lámparas que hay que utilizar, sistemas de reducción del flujo luminoso en horarios de alumbrado restringido, equipos, que serán de carácter estático, estabilizarán la tensión de salida en los regímenes nominal y reducido, para tensiones de entrada comprendidas en el entorno de $230\text{ V} \pm 7$ por 100.” [28]

En el artículo 8.5 se sugiere el uso de lámparas de sodio a alta y baja presión, debiendo estas sustituir a las lámparas de mercurio, además de fomentar el uso de equipos estabilizadores - reductores de tensión, para elevar los niveles

de eficiencia energética.

2.3.2.4 LIMITACIONES Y PROHIBICIONES.

En los reglamentos se prohíben las fuentes de luz como láseres o dispositivos aéreos de publicidad nocturna.

Las distintas leyes presentan diferencias con respecto al FHS (flujo hemisférico superior) entre las que tenemos las más relevantes que son:

CATALUÑA

Desde el 3 de mayo de 2005, el porcentaje de FHS permitido es asignado según la zonificación, como lo indica la siguiente tabla.

Tabla 2. 14 Porcentaje máximo del flujo de hemisferio superior instalado de una pantalla de luz.

Zona de protección; A: Horario de atardecer; N:
Horario de noche

Z	A	N
E1	1	1
E2	5	1
E3	15	15
E4	25	25

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

Actualmente en la normativa catalana se encuentran prohibidas las pantallas con FHS > 25% en todo el territorio.

ISLAS BALEARES

Desde el 20 de abril del 2005 se prohíbe usar luminarias con un FHS mayor a 25% del emitido.

NAVARRA

En el 2005 dio a conocer la prohibición de luminarias con un flujo hemisférico superior que supere el 20% del emitido.

CANTABRIA:

Desde el 9 de junio del 2006 establece los niveles de flujo hemisférico superior para las luminarias en cada zona como lo indica la siguiente tabla:

Tabla 2. 15 Tabla 1, anexo. Valores límites del flujo hemisférico superior instalado en función de la zona de protección.

Zona de protección	Flujo de Hemisferio Superior Instalado
E1	1%
E2	2%
E3	3%
E4	≤5%

Fuente: Cantabria. Ley de Cantabria 6/2006. Decreto 48/2010

En todo el territorio de Cantabria se prohíbe las pantallas con un FHS > 10%.

ANDALUCÍA

En el 2010 se establece los niveles de flujo hemisférico superior para las luminarias en cada zona como lo indica la siguiente tabla:

Tabla 2. 16 Limitaciones al flujo hemisférico superior instalado (FHS_{inst}) según zonificación.

Valores límite del FHS_{inst} según zonificación

E1	≤ 1 %
E2	≤ 5 %
E3	≤ 15 %
E4	≤ 15%
Para alumbrado viario en general	≤ 5 %

Fuente: Andalucía. Decreto 357/2010. Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética. Anexo1.

En Cataluña y Navarra se prohíbe la iluminación permanente de las pistas de esquí.

Cantabria por su lado prohíbe el uso de farolas tipo globo, los proyectores para alumbrado de espacios o superficies al aire libre deben ser asimétricos con apantallamiento preciso. Asimismo la iluminación será en sentido descendente.

2.3.2.5 VALORES LUMINOTÉCNICOS

En esta sección se muestra los valores luminotécnicos permitidos en los

ayuntamientos de Cataluña, Islas Baleares, Navarra, Cantabria y Andalucía.

Ya que no todos los reglamentos presentan estos valores luminotécnicos descritos de igual manera, se los enunciará y explicará de manera individual.

a) VALORES LUMINOTÉCNICOS DE CATALUÑA.

La tabla 2.17 muestra los valores máximos permitidos de deslumbramiento en una iluminación exterior de vías (Artículo 8.2). La tabla 2.18 muestra los valores máximos de deslumbramiento para pasos peatonales, por pantallas colocadas a diferentes alturas (Artículo 8.3). El artículo 8.4 plantea diferentes requerimientos que debe cumplir un proyector, entre los que están el haz luminoso que debe limitarse a la superficie a iluminar, intensidad luminosa fuera de la superficie a iluminar menor a 10 candelas por cada kilómetro emitido por la lámpara, además la Tabla 2.19 muestra los valores de iluminación intrusa y la Tabla 2.20 las intensidades luminosas. En superficies horizontales, el ángulo de enfoque será de 70° para la intensidad máxima, para ángulos mayores a 85° , la intensidad máxima será nula. Para iluminación vertical, se los colocará elevados enfocados por debajo de la horizontal. [29]

“ARTÍCULO 8.5 La documentación fotométrica de la pantalla de una luz debe contener: el tipo y la potencia de la lámpara, el flujo de hemisferio superior instalado, diagrama de distribución de las intensidades luminosas y si procede el valor máximo de deslumbramiento perturbador o el índice de deslumbramiento.” [29]

Tabla 2. 17 Tabla 3, anexo. Deslumbramiento perturbador máximo en iluminación exterior de tipo viario, expresado en %.

Zona de protección; D: Deslumbramiento perturbador	
Z	D
E1	10
E2	10
E3	15
E4	15

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

Tabla 2. 18 Tabla 4, anexo. Índice máximo de deslumbramiento en alumbrado para peatones.

A: Altura de la luz en m; I: Índice de deslumbramiento

A	I
4,5	4.000
4,5-6	5.500
6	7.000

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

Tabla 2. 19 Tabla 5, anexo. Iluminación intrusa.

Zona de protección; A: Horario de atardecer; N: Horario de noche

Z	A	N
E1	2	1
E2	5	2
E3	10	5
E4	25	10

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

Tabla 2. 20 Tabla 7, anexo. Intensidad luminosa máxima emitida en dirección a áreas protegidas (E1), expresadas en kilo candelas (Kcd).

Zona de protección; A: Horario de atardecer; N: Horario de noche

Z	A	N
E2	50	0,5
E3	100	1
E4	100	2,5

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

El artículo 9 de la ley 6/2001, Decreto 82/2005, establece normas de iluminación para la prevención de la polución lumínica. En su artículo 9.1 y 9.2, los municipios podrán establecer el flujo luminoso al hemisferio superior, siempre que no se atente al nivel de protección del decreto, además si debido a la iluminación de un espacio u objeto, se da una iluminación residual o sobrante, estas deben ser inferiores a lo indicado en la tabla 2.19 (tabla 5 del anexo al decreto). La iluminación en fachadas de edificios que superen los 4,5m, producida por el alumbrado exterior, deberán regirse a la tabla 2.19, según el Artículo 9.3. La tabla 2.21 (tabla 6 del anexo al decreto), da a conocer

los niveles de iluminación media que deberán poseer las vías tanto de tránsito vehicular como peatonal (Artículo 9.5). En zonas protegidas E1 o E2 deberán poseer un sistema que permita variar el flujo luminoso sin afectar la uniformidad (artículo 9.4), además cualquier luz que sea dirigida a zonas protegidas o den lugar a deslumbramientos a las personas deberán estar regidas a la tabla 2.20 (tabla 7 del anexo al decreto). En el caso de nuevas instalaciones de iluminación ornamental, los estudios deben incluir sistemas de eficiencia energética, además de formas de prevención a la contaminación lumínica, sobre todo se recomienda no sobrepasar valores establecidos en la tabla 2.19 (tabla 5 del anexo al decreto) (Artículo 9.10), además para áreas industriales, comerciales, de servicios, deportivos, recreativos y equipamientos al exterior, debe cumplir los valores de iluminación si estos existieran en las normas de la empresa distribuidora o en su lugar los establecidos en la tabla 2.19 (tabla 5 del anexo al decreto), pero si esto es infringido se deberá presentar una justificación razonada al ayuntamiento. Además se establece que: “La iluminación media máxima de seguridad en estas áreas será de 5 lux. Excepcionalmente los valores máximos de iluminación media de seguridad serán de 20 lux en áreas de riesgo elevado y de 50 lux en áreas de alto riesgo.” [29]

Tabla 2. 21 Tabla 6, anexo. Iluminación media máxima en zonas destinadas a tránsito de vehículos y/o al paso peatonal, expresado en lux.

I: Iluminación en zona de vehículos; P: Iluminación en zona peatonal

	I	P
Tránsito elevado	35	20
Tránsito moderado	25	10
Tránsito bajo	15	6
Tránsito escaso	10	5

Fuente: Cataluña. Decreto 82/2005. Anexo

En el capítulo 3, artículo 10, acerca del funcionamiento de la iluminación exterior y su regulación horaria, establece los horarios nocturnos a partir de las 22 horas UTC (Tiempo Universal Coordinado) hasta la salida del sol (Artículo 10.1). En los artículos 10.1 y 10.2, el ayuntamiento está en pleno derecho de

establecer horarios de noche, además de casos especiales como el periodo navideño que va desde noviembre al 6 de enero autorizando un máximo de 168 horas de iluminación ornamental, festividades locales, y temporadas turísticas.” [29]

En el artículo 10.4., Se establece el periodo de funcionamiento de la iluminación ornamental, cuando este sea mayor a una semana, se deberá pedir una autorización previa al ayuntamiento, justificando su uso, y no se permite los comerciales o de origen publicitario, debe cumplir los valores en la noche y solo se permite el funcionamiento de rótulos luminosos que muestren información necesaria como farmacias, transportes públicos, hoteles, gasolineras, etc., y no se permite los comerciales o de origen publicitario.

El artículo 11, presenta un programa de mantenimiento para instalaciones y aparatos de iluminación en elementos de grupos ópticos, control de enfoque de las pantallas de luces, verificación de accesorios y los temporizadores.

b) VALORES LUMINOTÉCNICOS DE ISLAS BALEARES.

Se da a conocer algunas características fotométricas que deberían tener los pavimentos al realizar un estudio de alumbrado público, que dice:

“1. Siempre que las características constructivas, composición y sistema de ejecución resulten idóneos respecto de la textura, resistencia al deslizamiento, drenaje de la superficie, etc., en las calzadas de las vías de tráfico se recomienda utilizar pavimentos cuyas características y propiedades resulten adecuadas para las instalaciones de alumbrado público.

2. En consecuencia, siempre que sea factible, en las calzadas de las vías de tráfico se recomienda implantar pavimentos con un coeficiente de luminancia medio o grado de luminosidad lo más elevado posible y con factor especular bajo.” [30]

c) VALORES LUMINOTÉCNICOS DE CANTABRIA.

La tabla 2.22 (tabla 2 del anexo) se muestra los límites de luz que deberán poseer cada zona, que procedan de alumbrados exteriores.

Tabla 2. 22 Tabla 2, anexo. Limitaciones de Luz molesta procedente de instalaciones de Alumbrado exterior.

Parámetros luminotécnicos	VALORES MÁXIMOS			
	E1	E2	E3	E4
Iluminancia vertical (Ev)	2 lux	2 lux	5 lux	10 lux
Intensidad luminosa emitida por las luminarias (I)	2.500 cd	7.500 cd	10.000 cd	25.000 cd
Luminancia media de las fachadas (Lm)	2 cd/m ²	4 cd/m ²	6 cd/m ²	12 cd/m ²
Luminancia máxima de las fachadas (Lmax)	10 cd/m ²	10 cd/m ²	60 cd/m ²	150 cd/m ²
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos (Lmáx)	40 cd/m ²	300 cd/m ²	600 cd/m ²	1.000 cd/m ²
Incremento de umbral de contraste (TI)	TI = 10% para adaptación a L = 0,1 cd/m ²	TI = 10% para adaptación a L = 1 cd/m ²	TI = 15% para adaptación a L = 2 cd/m ²	TI = 15% para adaptación a L = 5 cd/m ²

Nota: El Incremento umbral de contraste (TI) expresa la limitación del deslumbramiento perturbador o incapacitante en las vías de tráfico rodado producido por instalaciones de alumbrado distintas de las de viales. Dicho incremento constituye la medida por la que se cuantifica la pérdida de visión causada por dicho deslumbramiento.

Fuente: Cantabria. Ley de Cantabria 6/2006. Decreto 48/2010.

La ley de Cantabria 6/2006, muestra una clasificación en la tabla 2.23 (tabla 3 del anexo a la norma) de las vías de tráfico, para establecer los niveles de iluminación en la tabla 2.24 (tabla 4 del anexo) (Artículo 9).

Tabla 2. 23 Tabla 3, anexo. Clasificación vías de tráfico.

CLASIFICACIÓN VIAS DE TRÁFICO
• Vías clase A1: Autopistas, autovías y carreteras nacionales. Carreteras de cualquier otra índole con tráfico de intensidad media diaria superior a 10.000 vehículos, en ámbito interurbano.
• Vías clase A2: Carreteras nacionales, regionales y de otras tipologías en entornos urbanos. Intersecciones, nudos de viales y Rotondas de cualquier vía.
• Vías clase A3: Rondas de circunvalación y arterias urbanas.
• Vías clase A4: Vías principales de la ciudad con zonas comerciales y tráfico mixto y vías urbanas secundarias de distribución a barrios.
• Vías clase A5: Carreteras de categoría inferior a las nacionales y con tráfico de Intensidad media Diaria inferior a 10.000 vehículos. Vías de unión de zonas residenciales con las vías urbanas.

Fuente: Cantabria. Ley de Cantabria 6/2006. Decreto 48/2010.

Tabla 2. 24 Tabla 4, anexo. Parámetros Luminotécnicos para Alumbrado Viario.

ILUMINANCIAS

TIPO VIA	ILUMINANCIA MEDIA EM (Lux)	UNIFORMIDAD MEDIA UM	UNIFORMIDAD EXTREMA UE
A1	15 (± 20 %)	≥ 0.85	≥ 0.3
A2	25 (± 20 %)		
A3	30 (± 20 %)		
A4	30 (± 20 %)	≥ 0.50	≥ 0.25
A5	10 (± 20 %)	≥ 0.40	≥ 0.25

LUMINANCIAS

TIPO VIA	LUMINANCIA MEDIA LM (CD/m ²)	UNIFORMIDAD GLOBAL U ₀	UNIFORMIDAD LONGITUDINAL U _L	DESLUMBRAMIENTO PERTURBADOR (TL) (%)
A1	≥ 2	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 7
A2	≥ 2			≤ 7
A3	≥ 1.8			≤ 10
A4	≥ 1.5		≥ 0.6	≤ 10
A5	≥ 1.5		≥ 0.6	≤ 10

Fuente: Cantabria. Ley de Cantabria 6/2006. Decreto 48/2010.

En la tabla 2.25 (tabla 5 del anexo) se muestra los niveles de iluminación media, mínima y la uniformidad media para diferentes tipos de vías (Artículo 10).

Tabla 2. 25 Tabla 5, anexo. Parámetros luminotécnicos para Alumbrado peatonal y alumbrado exterior viario para tráfico restringido de vehículos.

CARACTERISTICAS DE LA VÍA	Iluminación Media Em (lux)	Iluminación mínima E mín. (lux)	Uniformidad Media Um
Carril Bici a lo largo de la calzada, entre ciudades en área abierta y de unión en zonas abiertas	15 (± 20 %)	≥ 5	-
Áreas de aparcamientos en autopistas y autovías. Aparcamiento en general. Estaciones de autobuses.	25 (± 20 %)	≥ 5	≥ 0.4
Calles residenciales suburbanas con aceras para peatones a lo largo de la calzada. Zona de velocidad muy limitada	20 (± 20 %)	≥ 5	≥ 0.4
Espacios peatonales Paradas de autobuses con zonas de espera	25 (± 20 %)	≥ 5	≥ 0.4
Áreas comerciales peatonales Áreas comerciales con acceso restringido y uso prioritario de peatones	25 (± 20 %)	≥ 5	≥ 0.4

Fuente: Cantabria. Ley de Cantabria 6/2006. Decreto 48/2010.

“Los niveles de iluminación de áreas exteriores destinadas al desarrollo de actividades industriales, comerciales, deportivas, recreativas y de equipamiento serán.

Alumbrado de áreas exteriores industriales: Iluminancia media Em = 20 lux (20%). – Uniformidad media Um 0,3

Alumbrado de áreas exteriores comerciales: Iluminancia media Em = 30 lux (20%). – Uniformidad media Um 0,3

Alumbrado de áreas deportivas, recreativas y de equipamiento: Iluminancia media Em = 25 lux (20%). – Uniformidad media Um 0,3” [31]

En la tabla 2.26 (tabla 6 del anexo), se muestra los niveles de iluminancia media vertical en fachadas de edificios y horizontal en las inmediaciones, tomando como referencia la reflectancia o factor de reflexión de la fachada (Artículo 13).

Tabla 2. 26 Tabla 6, anexo. Niveles iluminancia media vertical (edificios), horizontal (entorno).

Factor de reflexión Fachada Edificio		Iluminancia Media Em (lux) (1)	
		Vertical en Fachada (2)	Horizontal en Inmediaciones
Muy clara	$\rho=0,60$	1	1
Normal	$\rho=0,30$	2	2
Oscura	$\rho=0,15$	4	2
Muy oscura	$\rho=0,075$	8	4

(1) Los niveles de la tabla son valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación de alumbrado. A fin de mantener dichos niveles de servicio, debe considerarse un factor de depreciación no mayor de 0.8 dependiendo del tipo de luminaria y grado de contaminación del área.
 (2) La iluminancia media vertical solo se considerará hasta una altura de 4 m desde el suelo

Fuente: Cantabria. Ley de Cantabria 6/2006. Decreto 48/2010.

En la tabla 2.27 (tabla 7 del anexo) y tabla 2.28 (tabla 8 del anexo), se muestra la luminancia máxima en señales y anuncios luminosos en función de la superficie y de la zonificación respectivamente (Artículo 14).

Tabla 2. 27 Tabla 7, anexo. Luminancia máxima en función de la superficie de los carteles luminosos.

Superficie (m ²)	Luminancia Máxima (cd/m ²)
$S \leq 0,5$	1.000
$0,5 < S \leq 2$	800
$2 < S \leq 10$	600
$S > 10$	400

Fuente: Cantabria. Ley de Cantabria 6/2006. Decreto 48/2010

Tabla 2. 28 Tabla 8, anexo. Luminancia máxima señales y anuncios en función de la zonificación.

Parámetros luminotécnicos	VALORES MÁXIMOS			
	E1	E2	E3	E4
Luminancia máxima de señales y anuncios luminosos (L_{max})	50 cd/m ²	400 cd/m ²	800 cd/m ²	1.000 cd/m ²

Fuente: Cantabria. Ley de Cantabria 6/2006. Decreto 48/2010

Para el alumbrado festivo y navideño según el Artículo 15, la potencia asignada a las lámparas incandescentes deberá ser igual o inferior a 15 W.

En el Artículo 16 se presenta un resumen de alumbrado específico para

diferentes puntos, a continuación se muestra estas especificaciones.

“Alumbrado de glorietas, rotondas e intersecciones.

- Iluminancia media $E_m = 40$ lux (20 %)
- Uniformidad media $U_m 0,5$

Alumbrado de parques y jardines.

- Iluminancia media $E_m = 25$ lux (20 %)
- Uniformidad media $U_m 0,4$

Alumbrado de túneles y pasos inferiores.

- Iluminancia media $E_m = 50$ lux (20 %)
- Uniformidad media $U_m 0,5$ ” [31]

En la tabla 2.29 (tabla 9 del anexo) se muestra los valores de eficiencia energética, en razón de diferentes factores (Artículo 18).

Tabla 2. 29 Tabla 9, anexo. Valores de eficiencia energética con independencia del tipo de lámpara, pavimentos y las características o geometría de la instalación.

Nivel de iluminancia media en servicio E_m (lux)	Eficiencia energética mínima (m ² · lux)/w	
	Alumbrado Vial	Resto Alumbrado peatonal, parques y jardines, etc.
≥30	22	9
25	20	9
20	17,5	9
15	15	7,5
10	12	6
7,5	9,5	5
≤5	-	3,5

Fuente: Cantabria. Ley de Cantabria 6/2006. Decreto 48/2010

2. En iluminación de superficies horizontales la inclinación de los proyectores no sobrepasará los 65°, con respecto a la vertical.” [31]

2.3.2.6 TIPIFICACIONES Y SANCIONES

CATALUÑA

Tanto en Cataluña como en otros reglamentos se plantean tres tipos de infracciones que son:

Infracciones leves: por vulnerar el horario de uso del alumbrado, exceder los valores del porcentaje de flujo hemisférico superior (FHS) emitido por las respectivas leyes.

Infracciones graves: Vulnerar el horario de iluminación, exceder el 20% de FHS, modificar los niveles de iluminación exterior de manera que modifique el flujo luminoso, instalar o utilizar aparatos de alumbramiento que sobrepasen los valores de luminancia e iluminancia, cometer una infracción tipificada como leve dentro de una zona E1, obstruir la actividad inspectora y de control, cometer dos o más infracciones leves [29]. No cumplan los requisitos establecidos por esta ley.

Infracción muy grave: cometer una infracción grave si causa un perjuicio importante al medio ambiente, cometer una infracción grave dentro de una zona E1 o en un punto de referencia, cometer dos o más infracciones graves. [29]

Las infracciones leves se sancionan con multas de 150,25 euros a 601,02 euros; las infracciones graves se sancionan con multas de 601,02 euros a 3.005,06 euros y las infracciones muy graves se sancionan con multas de 3.005,07 euros a 30.050,60 euros. El Gobierno podrá actualizar mediante decreto estas multas, de acuerdo con las variaciones del índice de precios al consumo. [29]

ISLAS BALEARES

Entre tipificaciones la ley 3/2005 presenta las infracciones leves que son las que exceden hasta el 20% el flujo de hemisferio superior instalado hasta las graves de iluminación que no cumplan los requisitos establecidos por esta ley y



muy graves si causa un perjuicio importante al medio”. [30]

NAVARRA

Como se indicó anteriormente se presente diferentes tipos de infracciones entre las que están:

Leves._ Vulnerar el horario de uso del alumbrado, exceder del 20 por 100 y hasta el 30 por 100 el flujo de hemisferio superior emitido, infringir por acción o por omisión cualquier otra determinación de la presente Ley Foral, instalar luminarias o fuentes de luz contraviniendo lo que dispone el artículo 7.5.a) y b)”. [28]

Graves._ Vulnerar por más de dos horas el régimen horario de uso del alumbrado, exceder del 30 por 100 el flujo de hemisferio superior emitido, instalar aparatos de iluminación que no cumplan los requisitos establecidos por la presente Ley Foral, llevar a cabo una modificación del alumbrado exterior que altere su intensidad, cometer dentro de una zona E1 o en un punto de referencia una infracción tipificada como leve, obstruir la actividad de control o de inspección de la administración, cometer dos o más infracciones leves en el plazo de un año”. [28]

Muy Graves._ Cometer una infracción tipificada como grave, cometer dentro de una zona E1 o en un punto de referencia una infracción tipificada como grave, cometer dos o más infracciones graves en el plazo de un año”. [28]

Además el artículo 18 da a conocer los valores que se deben pagar por motivo de infringir las leyes.

1. Las infracciones leves se sancionan con multas de 150 euros a 600 euros.
2. Las infracciones graves se sancionan con multas de 601 euros a 3.000 euros.
3. Las infracciones muy graves se sancionan con multas de 3.001 euros a 60.000 euros.

4. En el caso de infracciones graves y muy graves, junto a la multa podrá, en los casos en que sea procedente para asegurar el cumplimiento de los objetivos de esta Ley Foral, imponerse alguna de las siguientes sanciones:

- a) Clausura definitiva, total o parcial, de las instalaciones.
- b) Clausura temporal, total o parcial, de las instalaciones por un período no superior a cinco años.
- c) Revocación de la autorización o suspensión de la misma por un período no superior a cinco años”. [28]

En Cantabria y Andalucía no presentan tipificaciones ni sanciones, pero como se explicó al comienzo de este punto de estudio, todas se encuentran basadas en los reglamentos de Cataluña, pudiendo relacionarlos para estos sectores.

2.4 REGLAMENTO COLOMBIANO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO

En la República de Colombia el ministerio de Minas y Energía presentó en su resolución NO 180540 del 30 de marzo del 2010, algunas modificaciones al Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP. Aunque Colombia no tiene una normativa exclusiva sobre polución lumínica si se incluyen conceptos sobre el tema en el RETILAP.

En el RETILAP se puede encontrar una sección dedicada a la polución lumínica (SECCION 575 CONTAMINACION LUMINICA). En este apartado se encuentra la definición, se explica sus orígenes y las formas de contaminación lumínica. Para el cálculo de la polución lumínica el RETILAP usa los estudios que han realizados las ciudades que poseen observatorios astronómicos, también se guían en la Comisión Internacional de Iluminación CIE publicación 126-1997 GUIDELINES FOR MINIMIZING SKY GLOW.

A continuación se describen los puntos más importantes que contiene el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público en lo referente a polución lumínica.

- a) Sistema de zonificación.- usa el mismo sistema de zonificación de la CIE

b) Flujo hemisférico superior (FHS)

“El Flujo Hemisférico Superior (FHS) se define como el flujo luminoso emitido por el equipo de iluminación (luminaria y bombilla) por encima del plano horizontal.

Dadas las anteriores disposiciones, se hacen las siguientes precisiones:

-En vías importantes de la malla vial, con clases de iluminación M1 a M3, se deben instalar luminarias con $FHS \leq 3\%$. En el resto de vías de tráfico vehicular con clases de iluminación M4 a M5, se deberá utilizar un $FHS \leq 5\%$.

- En el caso de alumbrados peatonales, clases P1 a P7, así como artísticos con faroles, aparatos históricos etc., el flujo hemisférico superior instalado FHS debe ser $\leq 25\%$ ”. [14]

c) Límites máximos permitidos de emisión lumínica a la bóveda celeste.

La cantidad máxima permitida de emisión lumínica hacia los cielos nocturnos, medida en el efluente de la fuente emisora, será la siguiente (Adaptado de la Norma Chilena de emisión para la regulación de la contaminación lumínica D.S 686 de 1998):

Tabla 2. 30 Límites del FHS según el flujo luminoso de la fuente.

Flujo luminoso de la fuente	Límite de FHS
Flujo luminoso > 15.000 lúmenes	$FHS \leq 0,8 \%$ del flujo luminoso nominal
9.000 lúmenes < Flujo luminoso \leq 15.000 lúmenes	$FHS \leq 1,8 \%$ del flujo luminoso nominal
Flujo luminoso \leq 9.000 lúmenes	$FHS \leq 5,0 \%$ del flujo luminoso nominal

FHS= Flujo hemisférico superior

Fuente: REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO RETILAP (2010).

d) Recomendaciones para la minimización del alumbrado publico

Presentan las mismas recomendaciones de la CIE publicación 126-1997 *GUIDELINES FOR MINIMIZING SKY GLOW*, para la reducción de la polución lumínica.

2.5 NORMATIVA ARGENTINA.

En la República de Argentina se han implementado el programa de iluminación eficiente llamado ELI, por Efficient Lighting Initiative que se encuentra funcionando desde 1999. ELI se encarga de desarrollar la normativa para productos de iluminación eficiente.

En Argentina la primera ciudad en tratar el tema de polución lumínica fue la Ciudad de Rosario la cual dictó la Ordenanza 6939/1999, por la necesidad de preservar la oscuridad del cielo nocturno de la ciudad, en afán de reducir la contaminación lumínica y obtener los siguientes beneficios:

- Disminuir en forma directa el consumo energético e indirectamente el consumo de combustibles y emisiones contaminantes en las centrales generadoras de energía.
- Proteger el medio ambiente nocturno.
- Aumentar la seguridad vial al evitar el deslumbramiento y al uniformar la iluminación (reduciendo los contrastes).
- Favorecer la observación astronómica, tanto de astrónomos profesionales como de aficionados.

A continuación se presenta los Artículos de esta ordenanza.

“La presente Ordenanza establece el régimen de protección del cielo contra la contaminación luminosa generada por instalaciones de alumbrado exterior en todo el ámbito de la ciudad de Rosario.”

Se considerará alumbrado exterior, a todo tipo de instalación de alumbrado permanente u ocasional en recintos abiertos. Entendiéndose como tal a los siguientes:

- Alumbrado vial.



- Alumbrado ornamental y de plazas o parques.
- Letreros, anuncios luminosos y vidrieras comerciales,
- Alumbrado de establecimientos recreativos y deportivos,
- Alumbrado de seguridad.
- Alumbrado exterior de viviendas particulares y edificio públicos.

El ámbito de aplicación de esta ordenanza es para todo proyecto de iluminación en urbanizaciones públicas como privadas, de la ciudad de Rosario. Con la excepción a la iluminación exterior usada para navegación fluvial u organismos oficiales de seguridad y defensa.

El Departamento Ejecutivo establecerá por vía reglamentaria las características requeridas para los alumbrados exteriores. También establecerá la cantidad máxima de contaminante permitida, los tipos de lámparas, luminarias, apantallamientos y filtros autorizados inclinaciones máximas de las fuentes, etc.

Las luminarias para el alumbrado vial deben proyectar toda la luz emitida por debajo del plano horizontal. Se evitara el empleo de lámparas de vapor de mercurio. Privilegiando la instalación de lámparas de vapor de sodio de baja o alta presión.

El Departamento Ejecutivo establecerá por vía reglamentaria los horarios nocturnos en cada estación del año, a partir de los cuales se ha de reducir la intensidad luminosa del alumbrado público, sin que esta disminución sea en detrimento de la seguridad o de la uniformidad de la iluminación. Donde se justifique, el alumbrado vial dispondrá de dispositivos para controlar el flujo luminoso y poder reducir dicho flujo a un tercio del normal. Para el alumbrado ornamental se procurará que el flujo luminoso se oriente de arriba hacia abajo. La iluminación de anuncios publicitarios, letreros, carteles, debe ser previamente autorizado.

Solo será autorizado el uso de luminarias esféricas tipo "globo" que no provoquen contaminación luminosa C.L. Las luminarias del tipo 'globo' ya instaladas que no cumplan con las exigencias deberán ser retiradas y modificadas de manera de optimizar su eficacia luminosa.

Después de la puesta en vigencia de la presente Ordenanza deberán cumplir con sus exigencias de la siguiente manera:

- “Alumbrado vial: a partir de la sustitución de la luminaria o en un plazo que no exceda los 12 (doce) años.
- Alumbrado ornamental de monumentos, edificios públicos y privados, parques, plazas y paseos y alumbrado de seguridad pavada: al momento de ser sustituida la luminaria o en un plazo que no exceda los 5 (cinco) años.
- Para vidrieras comerciales, letreros luminosos y demás alumbrados con fines comerciales o publicitarios, las fuentes de emisión, utilizadas durante los horarios establecidos por el Departamento Ejecutivo para la reducción de intensidad luminosa, deberán cumplir con los requisitos establecidos en la presente Ordenanza a partir de la fecha de su puesta en vigencia.” [32]

Para los efectos de reglamentar la presente Ordenanza, en un plazo que no exceda los 120 (ciento veinte) días de la promulgación de la misma; el Departamento Ejecutivo designará un equipo técnico integrado por: representantes de la Dirección General de Alumbrado Público y del Observatorio Municipal.

La presente Ordenanza entrará en vigencia cumplidos 120 (ciento veinte) días de su reglamentación. Esta ordenanza se presentó en la sala de sesiones, 23 de marzo de 1999.

2.6 NORMATIVA DE CHILE.

Chile es un país que tiene uno de los mejores cielos para las observaciones astronómicas es por ello que cuenta con varios observatorios ubicados en sus territorios como los de Cerro Tololo, La Silla, Las Campanas y Paranal. “Este país tiene las regiones II, III, IV que son el patrimonio ambiental y cultural que permiten llevar excelentes actividades de observación astronómica.” [33]

En Sudamérica Chile, es uno de los países que más ha trabajado en crear una normativa para la protección del cielo nocturno, especialmente con la Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica D.S. N°686 de 7 de diciembre de 1998, del Ministerio de Economía Fomento y

Reconstrucción. (D.O. de 2 de agosto de 1999).

2.6.1 OBJETIVO Y RESULTADOS ESPERADOS DE LA NORMA

“Prevenir la contaminación lumínica de los cielos nocturnos de la II, III y IV regiones, de manera de proteger la calidad astronómica de dichos cielos, mediante la regulación de la emisión lumínica. Se espera conservar la calidad actual de los cielos señalados y evitar su deterioro futuro.” [33]

2.6.2 DISPOSICIONES GENERALES

En esta sección De la normativa, se presenta varias definiciones como la de calidad de cielo, cielo nocturno, magnitudes luminosas, elementos utilizados en el alumbrado público como la lámpara, luminaria. Además los siguientes conceptos son de gran importancia para el momento que se presenten los límites máximos de emisión de flujo luminoso permitido.

“Flujo Luminoso Nominal: Flujo declarado por el fabricante, en lúmenes.

Flujo Hemisférico Superior: Flujo emitido sobre un plano horizontal que pasa por la fuente.” [33]

2.6.3 LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS [33]

Los límites máximos permitidos se establecen midiendo la emisión en el afluyente de la fuente, entonces la norma decreta lo siguiente:

a) Las lámparas cuyo flujo luminoso nominal sea igual o menor a 15.000 lúmenes, no podrán emitir, una vez instaladas en la luminaria, un flujo hemisférico superior mayor al 0,8 % de su flujo luminoso nominal.

Las lámparas de flujo luminoso nominal superior a 15.000 lúmenes, no podrán emitir, una vez instaladas en la luminaria, un flujo hemisférico superior que exceda del 1,8 % de su flujo luminoso nominal.

Lámparas destinadas al alumbrado de vías públicas deberán, limitarse al espectro del ancho de banda de luz visible para el ojo humano (entre 350 y 760 nanómetros), su eficacia luminosa no podrá ser inferior a 80 lúmenes por watt.

b) Lámparas instaladas en proyectores, para alumbrado de jardines, playas, parques y demás áreas naturales, y las destinadas al alumbrado ornamental de edificios y monumentos, cuyo flujo luminoso nominal sea igual o menor a 9.000 lúmenes, no podrán emitir un flujo hemisférico superior mayor al 5 % de su flujo luminoso nominal.

Estas lámparas deberán ajustarse a lo establecido en el punto (a), incluida la exigencia sobre eficacia luminosa establecida para el alumbrado de vías públicas, cuando su flujo luminoso nominal sea superior a 9.000 lúmenes.

c) Las lámparas destinadas al alumbrado de instalaciones deportivas o recreativas se someterán a lo establecido en el punto 3.1 desde las 2:00 horas AM.

d) Las lámparas destinadas a la iluminación de avisos y letreros no se someterán a lo establecido en el punto (a). Sin embargo, desde la 1:00 horas AM no podrán emitir un flujo hemisférico superior mayor al 0,8 % de su flujo luminoso nominal.

Dicho porcentaje no será aplicable a aquellos anuncios y letreros que se ubiquen en recintos comerciales mientras permanezcan abiertos al público.

e) Los proyectores láser no se someterán a lo establecido en el punto (a) Sin embargo, desde las 2:00 horas AM no podrán emitir flujo hemisférico superior, por lo que, en ese horario, no podrán orientarse sobre la horizontal.

f) Los horarios señalados en los puntos (c), (d), (e), comenzarán a regir una hora después, durante los días sábados, domingos y festivos.

2.6.4 PLAZOS DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMA [33]

Los plazos para cumplir con la norma se dan de acuerdo a lo siguiente:

Las fuentes existentes a que se refiere los puntos (a) y (b), al momento de ser sustituida la luminaria. A más tardar en el plazo de cinco años a contar de su entrada en vigencia.



Las fuentes existentes destinadas al alumbrado de vías públicas, al momento de ser sustituida la luminaria. A más tardar en el plazo de seis años a contar de su entrada en vigencia.

Las fuentes nuevas deberán cumplir con la norma de emisión establecida en el presente decreto, en el momento que sean instaladas.

2.6.5 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN Y CONTROL

Para el control que realice el organismo fiscalizador considerará los siguientes métodos de medición:

“La medición de la emisión lumínica hacia los cielos nocturnos se realizará en los laboratorios que cumplan con los requisitos señalados en la presente norma, y bajo las condiciones establecidas en la misma. Los ensayos se realizarán con una muestra representativa de las luminarias y/o proyectores.”
[33]

El cumplimiento de la presente norma se verificará con un informe técnico, fundado en mediciones realizadas en los laboratorios.

2.6.5.1 CONDICIONES GENERALES

a) LABORATORIO

En el laboratorio se debe considerar que no se afecte en la prueba luz externa, la temperatura ambiental se mantenga en $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($77^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$), las lámparas deberán ser envejecidas. La distancia de prueba desde el centro goniométrico hasta el fotoreceptor, debe ser suficiente para que se ajuste a la ley del cuadrado-inverso de la distancia.

b) REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS [33]

Debe tener regulación de poder, con un subministro de potencia ac que sus componentes armónicos no excedan un 3% de la fundamental. La instrumentación ya sea digitales o analógicos deben responder a los valores rms verdaderos.

c) GONIÓMETROS

El goniómetro es el medio de montaje del proyector y la luminaria con él se puede rotarlos en forma angular y con un rango de tolerancia de $0,5^\circ$. El goniómetro debe permitir usar un sistema de eje de coordenadas polares horizontal o vertical.

d) POSICIONAMIENTO DE LAS LÁMPARAS/LUMINARIAS

El centro de luz de la lámpara de prueba debe ubicarse en el goniómetro de manera tal que esté en el centro de intersección de los ejes del goniómetro.

e) PREPARACIÓN DEL EQUIPO PARA LA PRUEBA

- Posicionamiento del Proyector o Luminaria en el Goniómetro, se debe ubicar en el goniómetro de modo que el centro de luz esté en el centro de la lámpara, y a su vez en el centro del goniómetro.
- Orientación de la Lámpara la posición debe de estar de tal manera que permitan un promedio de los valores de los lados del haz con distorsión mínima de la forma del haz e información.
- Enfoque. Foco fijo, el centro de luz de la lámpara deberá ser localizado en el punto focal de diseño del reflector. Foco ajustables, la lámpara deberá ser ajustada en el proyector para otorgar el haz específico para la cual es usada.

f) CALIBRACIÓN

Se usará el método relativo para establecer los resultados de la prueba para el proyector en términos de la operación de la lámpara en las condiciones nominales. Se utiliza la misma instrumentación para la lámpara o el proyector, por lo tanto, los efectos de las diferencias de respuesta del instrumento son llevados a un mínimo.

Los datos son ajustados a la información nominal dada por el fabricante de ese tipo de lámpara.

Las lecturas deberán ser tomadas a intervalos verticales de 10 grados (5, 15,

25,35 grados... y así sucesivamente) y a espacios de 8 o más intervalos iguales para cada intervalo vertical.

2.6.5.2 MÉTODO PARA PRUEBAS DE FOTOMETRÍA DE LUMINARIAS UTILIZANDO FILAMENTO INCANDESCENTE Y LÁMPARAS DE DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD

“En este método, la determinación del Flujo Hemisférico Superior se establece a partir de la determinación de los porcentajes de flujo de lámpara emitidos por la luminaria en el hemisferio superior. Para ello es preciso investigar fotométricamente la emisión de luz en el hemisferio superior de la luminaria hasta un ángulo de elevación de al menos 135 grados.” [33]

2.6.5.3 INFORME TÉCNICO

El informe técnico deberá incluir a lo menos lo siguiente: Información General que identifique la fecha e identifique quien emite el informe, descripción de la luminaria, lámpara, datos del sensor usado para la prueba, registro de los valores de intensidades luminosas obtenidas. Además en la norma se puede encontrar más detalles del informe técnico.

2.6.5.4 MÉTODO PARA PRUEBAS FOTOMÉTRICAS DE PROYECTORES USANDO LÁMPARAS DE FILAMENTO INCANDESCENTE O LÁMPARAS DE DESCARGA [33]

a) CLASIFICACIÓN DE PROYECTORES

Se clasifican por el ancho del haz de luz tanto en el eje horizontal como vertical de la distribución de intensidades. La clasificación será designada por números tipo, como está listado en la Tabla 1.

“Para una distribución simétrica rotacional, el tipo de proyector se definirá como el promedio del ángulo horizontal y vertical del haz de luz. Para proyectores de distribución con simetría no rotacional, el tipo se designará por el ángulo horizontal y vertical del haz de luz, y en ese orden. Por ejemplo, un proyector

con un ángulo horizontal de haz de luz de 75 grados (Tipo 5) y un ángulo vertical de campo de 35 grados (Tipo 3), sería designado como un proyector Tipo 5x3.” [33]

Tabla 2. 31 Designación de Proyector y Tamaño de Zonas.

Tabla 1- Designaciones de Proyector y Tamaño de Zonas			
Tipo	Angulo de Campo (grados)	Tamaño de Zona de Prueba (grados)	Número de Puntos de Prueba en Matriz de Haz
1	10 hasta 18	1	100 a 324
2	18 hasta 29	2	100 a 256
3	29 hasta 46	3	100 a 256
4	46 hasta 70	5	100 a 196
5	70 hasta 100	8	100 a 196
6	100 hasta 130	10	100 a 196
7	130 hasta 180	10	196 a 324

Fuente: Norma de emisión para la regulación de la contaminación lumínica D.S. N°686 de 7 de diciembre de 1998.

b) SELECCIÓN DE ÁNGULOS Y ZONAS PARA MEDICIONES FOTOMÉTRICAS [33]

1. General. Una medición de intensidad en el centro de una zona representa la intensidad promedio en toda la zona.

2. Procedimiento para Selección del Tamaño de Zona.

Para la selección del tamaño de la zona se busca la distribución máxima en una superficie perpendicular al eje de la distribución, y se determina la posición angular a lo largo de esos ejes donde la intensidad es 10 por ciento de la máxima.

3. Angulo de Campo. Es el número de grados entre las posiciones de la intensidad del 10 por ciento de la intensidad lumínica máxima.

c) DISTANCIA DE PRUEBA

La distancia de prueba mínima para probar los proyectores del Tipo 4 al Tipo 7, será de 8 a 10 metros (26 a 30 pies). Una distancia de 25 metros (82 pies) es el mínimo para probar proyectores Tipo 2 y Tipo 3.



d) PROCESAMIENTO DE LOS DATOS FOTOMÉTRICOS

Para el procesamiento de datos se presenta una secuencia de pasos para realizar el tratamiento de información de las características del proyector.

En caso de tener distribuciones simétricas se puede promediar los datos, dependiendo del tipo de goniómetro se puede usar la interpolación, luego se crea un conjunto de isocurvas de intensidad lumínica constante a partir de los valores tomados. Por último se calcula el flujo lumínico (en lúmenes) y la eficiencia de campo del proyector, dividiendo el flujo de campo lumínico por el flujo lumínico nominal de la lámpara.

e) INFORME TÉCNICO.

El informe técnico deberá incluir a lo menos lo siguiente:

Información general del informe identificar al que emite el informe y del solicitante, descripción del proyector y sus datos técnicos también con bosquejo mostrando sus dimensiones. Además en los datos obtenidos de las pruebas se obtendrán las características con sus curvas de distribución horizontal y vertical también deberá contener las tablas de la intensidad lumínica máxima (en candelas) y posición, tablas de del flujo luminoso.

2.6.6 ÁMBITO DE APLICACIÓN TERRITORIAL

“La presente norma de emisión se aplicará dentro de los actuales límites territoriales de las regiones II, III y IV.” [33]

2.6.7 FISCALIZACIÓN [33]

Para efectos de la fiscalización del cumplimiento de la presente norma, el organismo del Estado competente será la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

2.6.8 VIGENCIA

“La presente norma entrará en vigencia sesenta días después de su

publicación en el Diario Oficial.” [33]

2.7 NORMA ECUATORIANA RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”

En la ciudad de Quito, el 17 de octubre de 2013, se da a conocer por parte del Ministerio de Industrias y Productividad, con resolución No 13 098, el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”, donde encontramos en el punto 4.6, dedicado abordar el tema de Contaminación Lumínica definiéndolo como: “La contaminación lumínica se define como la propagación de luz artificial hacia el cielo nocturno. Igualmente, se tiene contaminación luminosa al iluminar espacios que no se requieren iluminar. La contaminación lumínica es producto de un diseño o montaje inadecuado, por lo que la solución se debe dar desde la etapa de diseño de los proyectos”. [2]

Se trata el tema muy superficialmente presentando conceptos básicos tomados de otras normas, donde se muestra las causas de su aparición, las formas en las que se puede presentar, el cálculo que presenta la CIE y que mostramos en el apartado anterior de la Contaminación Lumínica, sistemas de zonificación, efectos que este fenómeno produce, etc.

Tabla 2. 32 Definición de zonas para la contaminación lumínica.

ZONA	TIPO	DESCRIPCIÓN
E1	Áreas con entornos oscuros	Observatorios astronómicos de categoría internacional
E2	Áreas de bajo brillo	Áreas rurales
E3	Áreas de brillo medio	Áreas urbanas residenciales
E4	Áreas de brillo alto	Centros urbanos con elevada actividad nocturna

Fuente: REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 “Alumbrado Público”. (2013).

Además se muestra valores de FHS que deberían ser tomados en cuenta al momento de adquirir un equipo de iluminación (luminaria y lámpara), para lo cual tenemos que:

“a) En vías importantes de la malla vial, con clases de iluminación M1 a M3, se deben instalar luminarias con $FHS \leq 3\%$. En el resto de vías de tráfico vehicular con clases de iluminación M4 a M6 se deberá utilizar un $FHS \leq 5\%$.

b) En el caso de alumbrados peatonales, clases P1 a P7, así como artísticos

con faroles, aparatos históricos etc., el flujo hemisférico superior instalado FHS debe ser $\leq 25\%$ ". [2]

Además se muestran varias sugerencias que se podrían adoptar para minimización del impacto de la contaminación lumínica, las cuales podrán ser encontradas en el punto 4.6.8.1 y 4.6.8.2 de la norma antes mencionada.

En el punto 4.6.9.1 se muestra una tabla de la cantidad de emisión lumínica hacia los cielos nocturnos, además de los valores de FHS para los flujos luminoso ahí mencionados, que se muestra a continuación.

Tabla 2. 33 Cantidad máxima permitida de emisión lumínica hacia los cielos nocturnos.

Flujo luminoso de la fuente	Límite de FHS
Flujo luminoso > 15.000 lúmenes	FHS $\leq 0,8$ % del flujo luminoso nominal
9.000 lúmenes < Flujo luminoso \leq 15.000 lúmenes	FHS $\leq 1,8$ % del flujo luminoso nominal
Flujo luminoso \leq 9.000 lúmenes	FHS $\leq 5,0$ % del flujo luminoso nominal
FHS= Flujo hemisférico superior	
(Adaptado de la Norma Chilena de emisión para la regulación de la contaminación lumínica D.S 686 de 1998)	

Fuente: REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 "Alumbrado Público". (2013).

2.8 CERTIFICACIÓN INTERNACIONAL

A pesar de ser un tema relativamente reciente, la preocupación por la contaminación lumínica ha llevado a establecer sistemas y certificaciones internacionales para aquellas iniciativas que buscan proteger la calidad de los cielos nocturnos. Tanto la Fundación StarLight (La Luz de las Estrellas), como la organización "International Dark-Sky Association – IDA" (Asociación Internacional del cielo oscuro), en su afán de proteger el medio ambiente durante las noches, y la observación de las estrellas, promueven iniciativas con la entrega de certificados internacionales que avalen la no existencia de contaminación lumínica en las localidades que lo requieran.

La Fundación StarLight, respaldada por la UNESCO, se crea a partir de la Conferencia Internacional en Defensa de la Calidad del Cielo Nocturno y el Derecho a Observar las Estrellas celebrada en 2007 en La Palma, Islas

Canarias, España, y se presenta el “Sistema de Certificación Turística Starlight” el 23 de Diciembre de 2009, en Madrid, España, con el fin de promover las iniciativas locales, nacionales e internacionales para evitar la contaminación lumínica. La certificación StarLight, se encuentra enmarcada en dos ámbitos que son la Declaración sobre la Defensa del Cielo Nocturno y el Derecho a la Luz de las Estrellas (Declaración de la Palma de abril 2007) y la Iniciativa Internacional StartLight. [34]

DESTINOS TURÍSTICOS STARLIGHT

La certificación de destinos turísticos Starlight, se crea en cooperación con la Red de Conocimiento de la Organización Mundial del Turismo, para la mejora de la calidad en las experiencias turísticas concernientes a la astronomía y la protección de los cielos nocturnos. Son definidos como lugares que poseen buenas condiciones para la contemplación de las estrellas y que se encuentran protegidos de la contaminación lumínica, que se hacen sitios aptos para las iniciativas turísticas relacionadas con la contemplación del cielo. [35]

RESERVAS STARLIGHT

Las reservas starlight son algo más exigentes con respecto a la calidad del cielo, y sin el requisito de tener un desarrollo turístico. La reserva posee una o más zonas núcleo o de exclusión donde se mantienen las condiciones de iluminación natural. Además poseerá una zona de ámbito general, donde se aplican los criterios de iluminación inteligente y responsables. [36]

Por otro lado, la organización IDA (Asociación Internacional del cielo oscuro), fue fundada en 1988, es una de las primeras organizaciones que pretende hacer un llamado sobre los peligros que trae consigo la contaminación lumínica. La certificación por parte de IDA nos dice que:

RESERVAS

Son terrenos públicos o privados que posean cualidades excelentes para observación de las estrellas y que se encuentre protegido por un científico, o persona afín al tema. Está compuesta por una zona central que satisface criterios mínimos de calidad el cielo y la oscuridad natural, y una zona

periférica. Se definen tres niveles de calidad de los cielos nocturnos, el oro que es el máximo nivel, representando a cielos más oscuros, seguidos de plata y bronce².

Tabla 2. 34 Niveles de certificación.

	 Oro	 Plata	 Bronce
Luz Artificial y resplandor del cielo	Observador típico no se distrae por las fuentes de luz. Cúpulas de luz son sólo tenue y restringido al cielo cerca del horizonte.	Fuentes de luz Punto y las luces no dominan la escena nocturna. Cúpulas de luz presentes en todo el horizonte, pero no se estiran al cenit.	Las áreas con mayor luz artificial y resplandor del cielo que el Plata, pero donde los aspectos del cielo natural son todavía visibles.
Limitación Visual (magnitud)	Igual o superior a 6,8 bajo cielos despejados y buenas condiciones de visibilidad.	6,0-6,7 bajo cielos despejados y buenas condiciones.	5.0-5.9 bajo cielos despejados y buenas condiciones de visibilidad
Clasificación de cielo Bortle	1-3	3-5	5-6
Fenómenos del cielo observables	La gama completa de los fenómenos del cielo visible se puede ver por ejemplo, aurora, la luminiscencia atmosférica, la Vía Láctea, la luz zodiacal, y meteoros débiles	Fenómenos más brillantes del cielo se pueden ver regularmente, con los más débiles a veces visibles. La vía láctea es visible en verano como en invierno.	Muchos fenómenos del cielo no se pueden ver. La vía láctea se ve débilmente cuando se ha señalado, como si es la Galaxia de Andrómeda.
Medidor de la calidad del cielo – Unihedron	21.75 o por encima	21.00 o por encima	20.00 o por encima

Fuente: <http://www.darksky.org/international-dark-sky-places/about-ids-places/reserves>.

² <http://www.darksky.org/international-dark-sky-places/about-ids-places/reserves>

PARQUES

En esta clasificación de la IDA se encuentran parques o suelos públicos que posean cielos estrellados excepcionales y hábitat nocturno natural donde se mitiga la contaminación lumínica. Como el punto anterior son tres las categorías que engloba la clasificación³. Los niveles de certificación son similares a los de la Tabla 2.34.

COMUNIDADES

En esta categoría se encuentran enmarcados los pueblos, ciudades, municipios, u otras comunidades organizadas jurídicamente, que demuestren dedicación a la preservación de los cielos nocturnos, con la implementación y aplicación de códigos de calidad de iluminación y apoyo ciudadano de los cielos oscuros⁴.

Cabe recalcar que tanto StarLight como IDA, no entregan certificaciones para pueblos, municipios o ciudades, debido a la no existencia de investigaciones acerca del tema.

³ <http://www.darksky.org/international-dark-sky-places/about-ids-places/parks>

⁴ <http://www.darksky.org/international-dark-sky-places/about-ids-places/communities>

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 ANTECEDENTES

En cuanto a metodologías a seguir paso a paso para la modelación o análisis de la polución lumínica, no existe un manual que nos diga cómo hacerlo, pero si podemos encontrar varios proyectos y experimentos que muestran una didáctica, que tienen como objetivo primordial diagnosticar el problema y buscar la reducción del brillo en nuestros cielos. Complementariamente, se ha iniciado en varios países un proceso de concientización sobre los impactos que causa la polución lumínica en la sociedad.

El presente capítulo describe la metodología seleccionada para el trabajo de campo de la presenta tesis, para luego con la experiencia tomada presentar una metodología final que podrá ser usada para años posteriores por parte de la Centrosur, en el proceso de análisis de la polución lumínica en la ciudad y su constante monitoreo futuro.

En diferentes ciudades del mundo se han presentado modelos matemáticos que caracterizan la polución lumínica a lo largo de los años, pero que generalmente duran entre dos a tres años de investigación. Es por eso que presentamos estos modelos, pero en este proyecto mostraremos resultados obtenidos por medio de la medición con el equipo Sky Quality Meter, en diferentes puntos de la ciudad de Cuenca, que permitan en años posteriores el involucramiento de técnicos en este tema y con la experiencia tomada poder armar la metodología final, y así en algún momento poder obtener certificados internacionales que avalen la calidad de nuestros cielos.

3.2. ÁREA DE ESTUDIO: CIUDAD DE CUENCA

La Ciudad de Cuenca, será el sector considerado para nuestro estudio de Polución Lumínica. La ciudad está ubicada al sur del Ecuador, es capital de la provincia del Azuay, su ubicación geográfica es $2^{\circ}54'08''S$ $79^{\circ}00'19''O$, se encuentra a una altura de 2550 msnm, su población estimada es de 331.888

habitantes y cuenta con una superficie de 70,59 Km².⁵

La ciudad se encuentra limitada toda la parte Sur por la vía Troncal de la Sierra (E35). La parte Norte, Este y Oeste está rodeado por la Av. de las Américas aunque la ciudad se encuentra en constante crecimiento en estas direcciones. Además al Noreste se ubica el parque industrial de la Ciudad y al Este el Aeropuerto Mariscal Lamar y el Terminal Terrestre.

La ciudad fue fundada el 12 de abril de 1557 y en el año de 1999 fue declarada por la UNESCO Patrimonio Cultural de la Humanidad. En el año 2011 fue declarada por la Asamblea Nacional del Ecuador como ciudad universitaria, además de ser una ciudad que se encuentra en constante desarrollo turístico, industrial y económico.

Cuenca está dotada de un clima templado, por ubicarse dentro de un extenso valle en medio de la cordillera de los Andes, su temperatura oscila entre los 13 a los 19 °C, [37] gozando en gran parte del año de un clima primaveral que ayuda a la siembra de flores y orquídeas, pero con grandes variaciones del clima a lo largo del día.

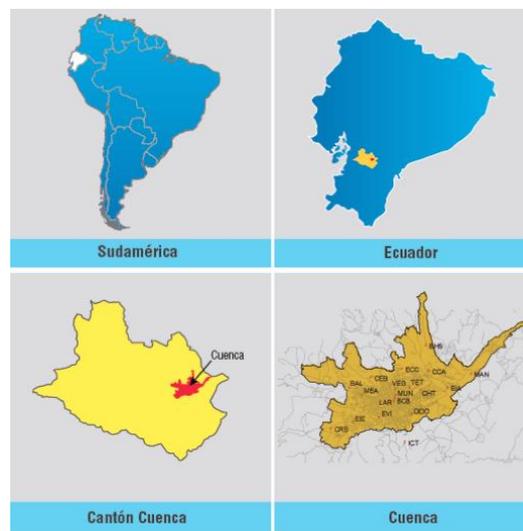


Figura 3. 1 Ubicación de la ciudad de Cuenca.

Fuente: Informe de Calidad del Aire. EMOV EP. 2011

En la ciudad de Cuenca, el sistema de alumbrado da servicio a espacios públicos como: vías, plazas, parques, glorietas, espacios deportivos, y sirve

⁵ CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA (CPV 2010). INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS



también para la iluminación ornamental de edificios, templos, monumentos, etc.

Los sistemas de alumbrado público vial generalmente utilizan la infraestructura de las redes de distribución eléctrica, no así los sistemas de iluminación para uso ornamental o para parques, plazas y áreas deportivas que generalmente cuentan con sistemas expresos de alumbrado público. Existen pocos sistemas de iluminación vial con sistemas expresos, entre los que se puede citar: la vía Troncal de la Sierra (E35), Av. de las Américas, vía Medio Ejido San Joaquín Sayausí, los cuales en total no superan las 4.000 luminarias.

3.3 PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN

En el siguiente apartado se mostrará diferentes modelos de análisis utilizados para la medición de la polución lumínica.

3.3.1 MODELOS DE ANÁLISIS

3.3.1.1 MODELO DE WALKER

Uno de los primeros modelos para la caracterización de la polución lumínica fue realizado por Walker [38] en el año de 1970, pero en 1977 se realizaron las primeras aplicaciones prácticas en el Estado de California (Estados Unidos). El modelo consiste en relacionar la cantidad de población, con la distancia que existe entre la ciudad y el observador. Se basa fundamentalmente en localizar los lugares ideales donde se podría colocar un observatorio astronómico, expuestos a la luz natural nocturna.

“Básicamente se basa en identificar las ciudades por su número de habitantes y asignar un promedio de flujo lumínico por persona en base a la experiencia del autor, por lo tanto se puede argumentar que el modelo es empírico”. [38]

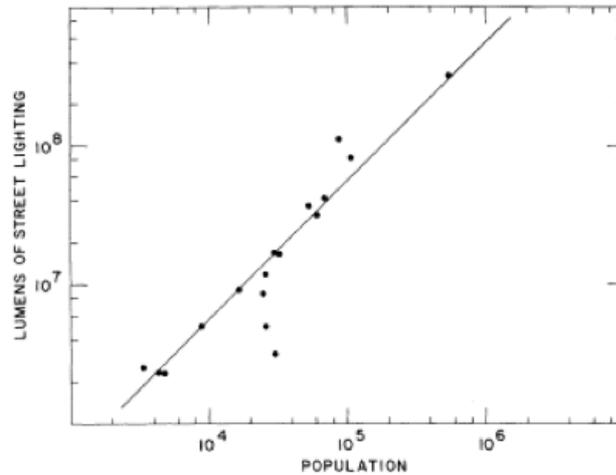


Figura 3. 2 Relación entre población y lúmenes de iluminación de calles de ciudades de California – EUA – con el modelo de Walker (Walker, 1977).

Fuente: Medición de la Contaminación Lumínica en Espacios Naturales. Solano Lamphar Héctor Antonio. 2010.

La fórmula que presenta este modelo es:

$$I = CPD^{2,5}$$

Donde tenemos que:

I=Índice de contaminación lumínica; C=Constante (estimación del flujo lumínico que tiene cada habitante de una población); P=población (número de habitantes); D= distancia (dependiendo del punto a calcular)

Este modelo es relativamente fácil de usar, pero también muestra una gran desventaja la de no tomar en cuenta la dispersión y extinción de partículas que se encuentran suspendidas, causando así que no se obtengan resultados precisos de la caracterización.

3.3.1.2 MODELO DE KOCIFAJ

En el año 2007, se plantea un modelo donde el clima toma parte del problema, enfocándose principalmente en las fuentes de luz terrestre, y la relación que se tenga con las nubes o condiciones del cielo nocturno. [38]

La ecuación que Kocifaj utilizó para plantear este modelo es la siguiente:

$$I = IT \times RN \times T \times D + \int_0^H (IG \times T \times D \times h^{-2}) dh$$

IT=Flujo Luminoso de la ciudad; RN=Reflexión de la ciudad; T=Transmisión; D=Dispersión; IG= Comportamiento del flujo luminoso; h= Altura de nube (capa efectiva de la atmósfera)

En este modelo como se indicó, se incluye diferentes factores como el clima, nubosidad, aerosoles, moléculas suspendidas, por lo que se trata de un método completo de representación pero que solo ha quedado en el papel, ya que no ha sido probado en la práctica sino solo en simulaciones. [38]

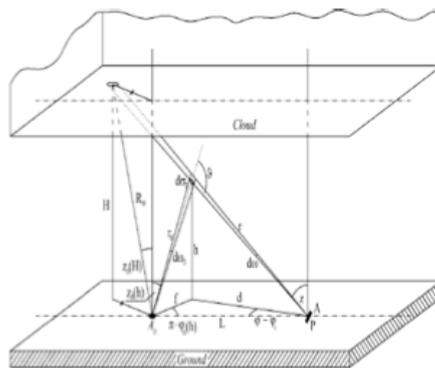


Figura 3. 3 Modelo para la medición de la contaminación lumínica en cielos con nubes (Kocifaj 2007).

Fuente: Medición de la Contaminación Lumínica en Espacios Naturales. Solano Lamphar Héctor Antonio. 2010.

3.3.1.3 MODELADO CON OBSERVACIÓN DE ESTRELLAS

El nivel de contaminación lumínica en el que se encuentre una ciudad, también se verá reflejado en la visibilidad que se tenga en el firmamento, es decir el número de estrellas que podamos observar. Se toma en cuenta las constelaciones fáciles de divisar, y con el apoyo de plantillas para el propósito, se pudo plantear una relación directa entre la contaminación lumínica y la visibilidad que se tiene en el cielo de las constelaciones, esto fue aplicado en el año 2003 por estudiantes de la preparatoria de Tucson High, programa de

educación NAOA y la secundaria Vail.

Este método da una aproximación muy razonable, con relación a la contaminación lumínica, pero este procedimiento al ser empírico puede dar diferentes resultados entre persona y persona, además de conocer de cierta forma las magnitudes de referencia.

Otro método empírico fue expuesto en 1998, mediante visualizaciones fotográficas, por parte de los científicos Isobe y Kosai en Tokio, Japón. A continuación se muestra la fórmula encontrada:

$$m_2 = \frac{1}{0,4} \log \left(\frac{10^{\frac{D_1}{a}}}{10^{\frac{D_2}{a}}} - 1 \right) + m_1 + 16.3$$

m_2 =Brillo del cielo nocturno en mag/arcseg².

m_1 =Magnitud de la estrella de referencia (mag/arcseg²).

D_1 y D_2 = Medidas de densidad.

3.3.1.4 MODELADO USANDO GIS

Este método utiliza Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), donde toma en cuenta datos geográficos de sitio, además de imágenes capturadas por satélites utilizando esta tecnología.

Diferentes investigadores como Tavoosi en el año 2009 o Chalkias y Kalogirou en el 2007, [38] utilizaron este método para mostrar los niveles de contaminación lumínica en diferentes sectores como Teherán (Irán) o Atenas (Grecia). Se mostró diferentes mapas, donde se puede observar el crecimiento de este fenómeno a lo largo de 11 años.

3.3.1.5 MODELO DE GARSTANG [38]

En el año de 1984, Garstang, presentó un modelo de medición de la contaminación lumínica, que se encuentra basado en la luminancia del cielo

nocturno, apoyado en el modelo de Walker (1970), además, como la mayoría de los modelos son usados para la localización de observatorios astronómicos.

En este modelo el autor generaliza a la ciudad como un disco uniforme parecido a una fuente puntual, utilizando una escala de atmósferas. Este modelo agrega un parámetro que representa el número de aerosoles, permitiendo un modelado angular de la distribución de luz y toma en cuenta una distribución lambertiana para los reflejos y el flujo lumínico que parte de los focos contaminantes. Una gran ventaja es tomar en cuenta los aerosoles y partículas en suspensión, pero a pesar de eso se sigue relacionando el flujo lumínico con la población, sin incluir el efecto de las nubes. [38]

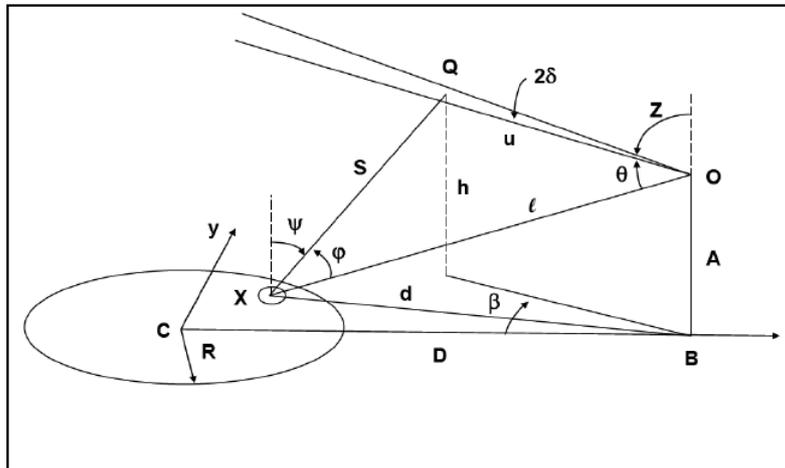


Figura 3. 4 Esquema del modelo de Garstang (1986).

Fuente: Medición de la Contaminación Lumínica en Espacios Naturales. Solano Lamphar Héctor Antonio. 2010.

La fórmula usada por el modelo Garstang se muestra a continuación:

$$I = \alpha P U D^{-2} (DS)(EF)$$

DS=Es la dispersión por aerosoles entre la ciudad y la atmósfera; EF= Factor de extinción; α =Constante relacionada con la población; P=Número de habitantes; D=Distancia al observador; U= Constante.

3.3.2 MODELOS PARA LA ZONIFICACIÓN [39]

En la presente sección se describen distintas metodologías para la zonificación de las mediciones, de las cuales tomaremos la más adecuada de acuerdo a los

objetivos planteados en el estudio. Las metodologías son las siguientes:

- Metodología de la cuadrícula (o retícula).
- Metodología de viales (o de tráfico).
- Metodología de zonas específicas.
- Metodologías aleatorias.
- Metodologías por modelos predictivos.

3.3.2.1. METODOLOGÍA DE LA CUADRÍCULA

Se determina mediante la colocación sobre el plano de estudio de una retícula cuyas cuadrículas tienen dimensiones proporcionales a la superficie del área. En los nodos de la cuadrícula se ubican las estaciones de medida, o bien, en el punto más cercano al mismo, en la vía más próxima. El valor medido en este punto será asignado a la retícula que lo contiene como centro.

Lleva consigo un alto grado de representatividad de la zona de estudio como un conjunto y es posible calcular valores globales con seguridad. Esto permite identificar las zonas de más alto nivel de brillo de cielo y aquellas con menos polución lumínica. Entonces se podrá tomar decisiones de cómo proceder en cada zona para disminuir la polución o proteger áreas naturales sensibles. Es una técnica mucho más directa para obtención de información.

Además esta metodología no necesita un estudio previo sobre las características urbanísticas particulares de la zona que se estudiará, ya que la propia retícula define la ubicación de los puntos de medida. Sin embargo, este método tiene el riesgo de no evaluar algunos puntos de interés, en el supuesto que la retícula sea muy grande. En otras palabras, mientras más densa la retícula, mayor precisión en los datos, pero mayores son los costos también. Por lo anterior, la selección del tamaño de la rejilla es lo más complicado de este método.

Al utilizar colores que expresan valores de contaminación lumínica (como curvas de nivel), y donde estos colores llenan un mapa de estudio, se le atribuirá el nivel de brillo al resto de zonas, sin perder de vista que estos valores son aproximaciones hechas de los valores medidos. Es indudable que



la representación de colores en todo mapa (cubriendo toda la superficie) es muy ilustrativa y didáctica, y por lo tanto, es la más usada.

3.3.2.2 METODOLOGÍA DE VIALES

En esta metodología los puntos se ubican a lo largo de las fuentes luminosas más importantes, que mayoritariamente corresponden a las calles en una ciudad. Por tal motivo, es necesario realizar un estudio urbanístico de la zona de estudio, definir vías principales y secundarias (estudio de categorización de vías), determinar tramos de vías similares y fijar las estaciones de medida de acuerdo a estos criterios. Con este procedimiento es posible estudiar una zona más amplia de la ciudad, en comparación con el método de retícula (se seleccionan puntos), y se limita sólo a las vías con tráfico.

Una ventaja de este método, y que se diferencia del de retícula, es que éste último comete imprecisiones al considerar a la ciudad como un campo isótropo y desconocido, cuando es un campo complejo posible de estudiar por las ciencias urbanísticas, y así reducir el número de medidas y reducir costos en mediciones.

La representación gráfica es más apropiada que la de los mapas que utilizan rejillas, ya que sólo entregan valores de niveles de polución de las calles. Sin embargo, con esta metodología se dejan sin evaluar otras fuentes luminosas, que son menos numerosas, pero pueden generar brillo del cielo, ejemplos de estos casos son la zona de bares, lugares ornamentales (parques, iglesias, plazas), o centros comerciales y turísticos.

3.3.2.3 METODOLOGÍA DE ZONAS ESPECÍFICAS

Los puntos de medición quedarán determinados según el tipo de fuente a medir, y distribuidos según aquellos intereses a los que responden la realización de las medidas. Como por ejemplo Iglesias, parques, plazas, canchas deportivas.

Claramente esta metodología tiene la limitación que sólo es válida para

determinar los niveles de contaminación lumínica de una fuente, y no es posible obtener valores globales. Sin embargo, resulta de gran utilidad para los administradores y los planificadores de alumbrado público para evaluar un lugar específico y decidir cómo trabajar en esa zona específica.

3.3.2.4 METODOLOGÍA ALEATORIA

En este caso, los puntos de medida son determinados al azar siguiendo algún tipo de proceso predeterminado. Puede utilizarse, tal como en un trabajo de encuestas, sorteos por manzanas y números de casas por medio de dados, asignación de números aleatorios a distintas zonas o manzanas de la ciudad, etc. Otra forma de determinar estos puntos es por medio de la utilización de una cuadrícula (similar al método de la cuadrícula), pero no se toman en cuenta todos los puntos de ella, sino se eligen al azar cuáles de estos se medirán.

3.3.2.5 METODOLOGÍA POR MODELOS PREDICTIVOS.

Esta metodología es basada en la aplicación de modelos matemáticos que predicen los niveles de brillo en el cielo según la fuente luminosa que los generan (vías urbanas, carreteras rurales cercanas a la ciudad, zonas industriales, comerciales, ornamentales, etc.).

En estos métodos es posible definir los puntos de "medida", receptores u observadores (como se llaman con frecuencia) casi con total libertad, según el interés de lo que se quiera modelar. Es así como en los software utilizados en computadores se pueden establecer medidores en los vértices de una retícula muy densa, de hasta 2 metros de lado (y a distintas alturas).

Es posible realizar predicciones del impacto futuro de la polución por el desarrollo urbano, y utilizarlas como herramienta de apoyo para la evaluación de impacto ambiental. Las empresas de construcción de alumbrado público pueden proyectar el cumplimiento de la legislación medioambiental y las modificaciones en su fase de diseño lumínico. Otra ventaja es que se reducen los costos de caracterización de polución lumínica de la zona de estudio.

3.4 VARIABLES DE ESTUDIO

En este punto se plantean las variables consideradas como importantes, al momento de realizar la medición del brillo del cielo y que nos permitirá un mejor tratamiento. Las variables más sobresalientes que se tomarán en cuenta son las siguientes:

Ubicación Geográfica: Los puntos de medición serán tomados con la ayuda de la aplicación Google Earth 7.1.2.2041.

Característica de la Luna: Se tomará en cuenta la fase y el porcentaje de visibilidad de la luna (iluminación de la luna) para ese día de las páginas web:

- <http://www.tutiempo.net/ecuador/cuenca.html?datos=calendario#Calendario>
- <http://www.inocar.mil.ec/mareas/calendario.php>

En estas primeras mediciones se obviará la realización en días con luna llena, para evitar mediciones fallidas. [19]

Clima: En este punto se incluirán diferentes factores tales como nubosidad, humedad y temperatura ambiental, tomado de la página web:

- http://www.meteored.com.ec/graficas_tiempo-Cuenca-20244-7.html

Contaminación Atmosférica: La ciudad de Cuenca cuenta con una red de estudio de la calidad del aire, se considerarán los contaminantes referentes a las concentraciones de material particulado de diámetro menor a $10 \mu\text{m}$ (MP10), generadas principalmente por vías sin pavimento, por erosión, por el viento en áreas desnudas y secas, y por actividades de construcción. Estas partículas suspendidas en las vecindades de las lámparas causan la difusión y la reflexión del flujo luminoso, debido a que su tamaño oscila entre $0,4$ y $0,7 \mu\text{m}$, que corresponde al rango de la onda de luz visible, según la aplicación de la teoría de esparcimiento de Mie [40].

Además otro contaminante que influye en la proliferación de la contaminación lumínica son las moléculas de gas NO_2 , que se da por los procesos de combustión, como en motores, centrales térmicas e industria, los cuales son mil veces más pequeña que la longitud de onda visible, según la teoría de

esparcimiento de Rayleigh. [41].

Los datos sobre material particulado se obtuvieron del estudio de calidad del aire en la ciudad de Cuenca realizado en el año 2012 por la RED DE MONITOREO EMOV E.P. En el anexo 4 se muestra la solicitud realizada para obtener la información requerida.⁶

Tipo de Construcciones: Se tomarán en cuenta si el sector de estudio es residencial, comercial o industrial.

Vegetación.- Se hará solo una descripción muy general de la naturaleza que rodea a las luminarias en dicho sector, pudiendo ser **BAJA** que no pase de los 0,50 m de altura, **MEDIA** que va desde 0,50 a 2m y **ALTA** que es toda vegetación mayor a los 2m.

A continuación presentamos una tabla realizada por los autores para el presente proyecto, donde se incluyen las variables descritas anteriormente.

⁶ En el Anexo 4 se muestra la solicitud enviada, para pedir la información necesaria.



EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A. DEPARTAMENTO DE ALUMBRADO PÚBLICO ESTUDIO DE POLUCIÓN LUMINICA		Puesta del Sol:	
Localidad:	Provincia/Cantón:	Hora de Inicio:	
Fecha de Inicio:	Fecha de Finalización:	Hora de Finalización:	Salida del Sol:
Variables de Estudio			
Ubicación Geográfica	Característica de la Luna		Tipo de Construcción
	Fase	% de iluminación	
Nubosidad	Humedad	Contaminación Atmosférica	
		MP10	NO2
Clima			
Temperatura Ambiental °C		Precipitación	
		<input type="checkbox"/> Lluvia	Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/> Llovizna	
		<input type="checkbox"/> Seco	
Realizado por:			
Observaciones			
Firma			

Figura 3. 5 Formato para registro de las características del punto de medición.

Fuente: Autores.

3.5 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL SIMPLIFICADO – SKY QUALITY METER

El equipo que a lo largo de este proyecto servirá para tomar medidas de la calidad del cielo en la ciudad de Cuenca es el SKY QUALITY METER (SQM) o traducido al español como MEDIDOR DE LA CALIDAD DEL CIELO, en su modelo SQM-LU-DL, fabricado por la empresa canadiense Unihedron, y los investigadores Welch y Tekatch, quienes fueron los diseñadores del equipo [42]. El equipo es de reducido tamaño y costo bajo, que consiste en un fotómetro que mide el brillo de los cielos en la noche en una banda espectral semejante a la de la sensibilidad humana, con el propósito de determinar lugares aptos donde se realicen las observaciones astronómicas.

Las principales características que presenta el equipo son las siguientes: [42]

- El instrumento sólo es sensible para el espectro visible porque tiene un filtro de corte para infrarrojo cercano, frente al detector.
- El error o la precisión de las medidas es $\pm 10\%$ ($\pm 0,10 \text{ mag/arcseg}^2$).
- Las dimensiones del instrumento son $96,52 \times 63,5 \times 1,0 \text{ mm}$.
- El campo de visión es aproximadamente de 40° .
- Los resultados de las medidas son un número expresado en mag/arcsec^2 , una medida astronómica que puede ser pasada a candelas por metro cuadrado (cd/m^2).

Este dispositivo es capaz de poder almacenar internamente las lecturas en una memoria “flash” (USB), y a su vez las lecturas son tomadas a través de un sensor de luz TSL237, que entrega al micro-controlador estas señales, que a su vez este posee un nivel de luz programado y lecturas de temperatura que ayudan a compensar lo medido por el sensor.

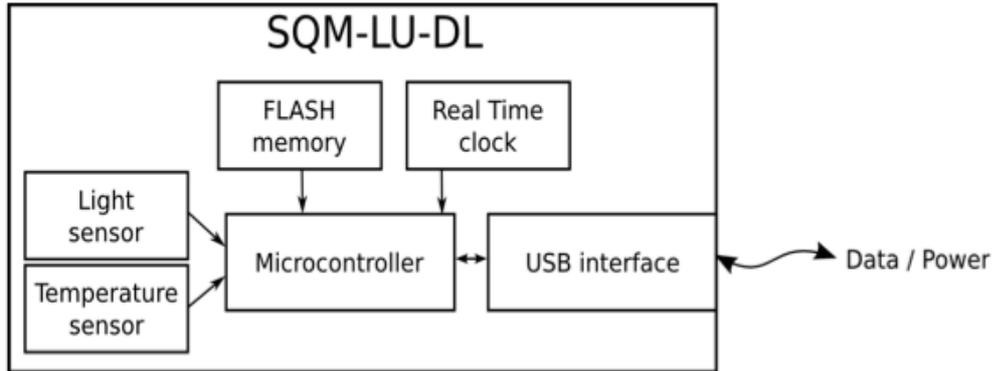


Figura 3. 6 Diagrama de bloques SQM-LU-DL.

Fuente: Manual de usuario SQM-LU-DL. Unihedron

Existen diferentes modelos de medidores de calidad de cielo construidos por Unihedron, cada uno de ellos con diferentes cualidades, entre ellos está el SQM que es un equipo portátil, que permite realizar medidas en ese momento, solo basta con apuntar directamente hacia el cenit, pulsando un botón rojo, en cielos urbanos la lectura es inmediata, pero con cielos oscuros fuera de la civilización puede tardar unos minutos para completar su medición; en este equipo se toma medidas individuales tomando en cuenta la temperatura del lugar. La lectura es un indicativo del brillo del cielo en un cono medio de ángulo de 80° , y sin tener una incidencia de luz en la placa frontal.

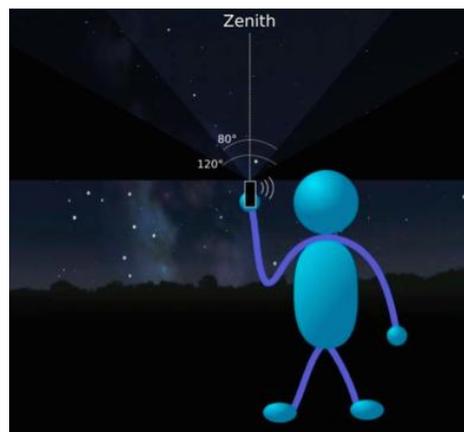


Figura 3. 7 Medición con el equipo SQM.

Fuente: Manuel Nicolás Barba.

El modelo SQM-L es un equipo que mide el brillo del cielo a un ángulo de 20° , y su manera de uso es el mismo que el SQM, pero permitiendo dirigir el sensor a diferentes áreas del cielo evitando la luminosidad concentrada en horizontes.

El modelo SQM-LE es un equipo parecido al SQM-L con la diferencia que tiene una conexión ethernet que permite el almacenamiento de datos en el computador y poder inmediatamente enviarlos por una red de datos. Posee un sensor de luz TSL237, proporcionando al micro controlador señales precisas, que a su vez posee un nivel de luz programado, que son compensadas con las lecturas de temperatura que éste realiza internamente.

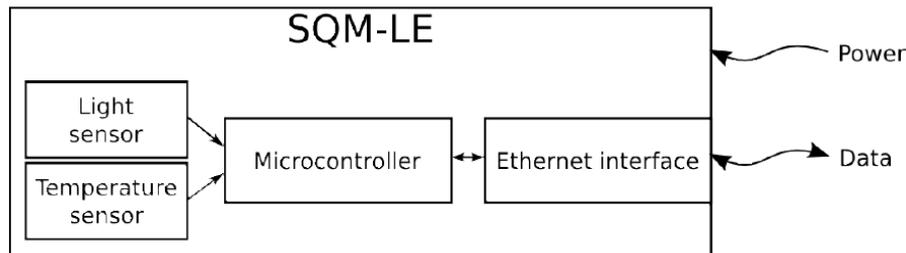


Figura 3. 8 Diagrama de bloques SQM-LE

Fuente: Manual de usuario SQM-LE. Unihedron

Los últimos dos modelos de este tipo de equipos son el SQM-LU y el SQM-LU-DL, el primero tiene características similares al SQM-LE, pero la comunicación con el computador la realiza mediante una conexión USB, y el segundo es el equipo que se ha escogido para el análisis de polución lumínica en la ciudad de Cuenca, debido a que es autónomo en el momento de las mediciones, posee una alimentación propia, y a su vez luego del análisis respectivo posee una gran ventaja que es descargar los datos con fecha y hora a la que fueron tomados, con un periodo de tiempo que se puede programar. La capacidad de la memoria flash para el almacenamiento de datos es de 1Mb, es decir aproximadamente 32768 registros.

Modelo	SQM	SQM-L	SQM-LE	SQM-LU	SQM-LU-DL	SQM-LR
Interfaz	 Handheld / Display	 Handheld / Display	 Ethernet	 USB	 USB	 RS232
FOV	 Amplio	 Estrecho	 Estrecho	 Estrecho	 Estrecho	 Estrecho
Lugar	 Mano	 Mano	 Global	 5 m (15')	 Autónomo	 100 m (300')
Lectura	 Lectura individual	 Lectura individual	 Single / Continuous	 Single / Continuous	 Single / Continuous	 Single / Continuous

Figura 3. 9 Tabla comparativa de modelos SQM.

Fuente: <http://www.unihedron.com/projects/darksky/comparison/>

Los datos de calibración son los siguientes:

Tabla 3. 1 Datos de Calibración SQM-LU-DL

DATOS DE CALIBRACIÓN SQM-LU-DL	
FECHA DE INFORME	2013-09-04
NÚMERO DE SERIE	2499
NÚMERO DE SERIE USB	FTDBJFAE
NÚMERO DE MODELO	6 (SQM-LU-DL)
VERSIÓN	25
VERSIÓN DEL PROTOCOLO	4
CALIBRACIÓN CON LUZ	19.95 mag/arcsec ²
CALIBRACIÓN DE LA TEMPERATURA CON LUZ	21.2 °C
PERIODO DE CALIBRACIÓN EN LA OSCURIDAD	285.541 SEGUNDOS
CALIBRACIÓN DE LA	22.2°C

TEMPERATURA CON OSCURIDAD	
OFFSET DE CALIBRACIÓN	8.71 mag/arcsec ²

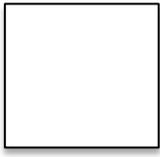
Fuente: Manual de usuario SQM-LU-DL. Unihedron.

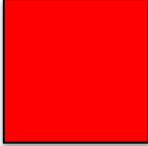
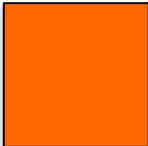
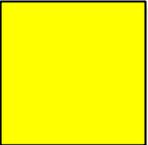
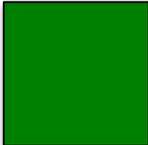
Al tratarse de un equipo muy sensible cuyas mediciones serán por el periodo de un día en la intemperie, se tomó en cuenta una cubierta fabricada por la misma empresa Unihedron, que básicamente es una cúpula de plástico, que reducirá la luz entrante un 15-20% (mayor valor magnitudes por arco segundo cuadrado).

Las mediciones en la ciudad de Cuenca serán desde las 20h30 hasta las 4h10 del día siguiente día, [19] debido a recomendaciones técnicas se toma dos horas después del atardecer y dos horas antes del amanecer, para lograr obtener datos más exactos.

En cuanto a las magnitudes obtenidas, es necesario partir de una referencia establecida en estudios anteriores. La simbología que se muestra a continuación es recomendada por parte de la Royal Astronomical Society (Real Sociedad Astronómica), asumiendo que fueron tomadas alrededor de las 23h00, por el equipo SQM (Sky Quality Meter) dedicadas especialmente para zonas o parques protegidos donde la iluminación externa es reducida. [43]

Tabla 3. 2 Escala para representar la contaminación lumínica.

MAGNITUD (MSAS)	SIGNIFICADO	COLOR
SQM < 18.8	La Vía Láctea es esencialmente invisible. En las partes más oscuras de esta zona, los observadores experimentados pueden ver el Double Cluster y la galaxia de Andrómeda con bastante facilidad y sin ayuda óptica. Suburbio brillante o barrio urbano oscuro. Cerca del centro de una gran ciudad. MUY CONTAMINADO	BLANCO 

SQM 18.8 - 19.8	<p>Los observadores casuales nunca se dan cuenta de la Vía Láctea, pero los observadores de estrellas experimentados pueden verlo con bastante facilidad. Típico de un barrio con viviendas unifamiliares muy espaciados.</p> <p>CONTAMINADO</p>	<p>ROJO</p> 
SQM 19.8 - 20.5	<p>Los observadores son propensos a notar la Vía Láctea. Las galaxias comienzan a ser interesante a través de telescopios.</p> <p>MEDIANAMENTE CONTAMINADO.</p>	<p>NARANJA</p> 
SQM 20.5 - 21.2	<p>La Vía Láctea de verano es evidente. Los observadores experimentados pueden ver muchos objetos de cielo profundo a simple vista, incluyendo posiblemente M33. Las Galaxias son relativamente brillantes como M31 y muestran una gran cantidad de detalles a través de grandes telescopios.</p> <p>LIGERAMENTE CONTAMINADO.</p>	<p>AMARILLO</p> 
SQM 21.2 - 21.6	<p>La Vía Láctea es mucho más nítida. La Nebulosa de great Dark Horse es visible. La luz zodiacal es fácil ver en las noches sin luna, Observación telescópica puede ser bastante bueno.</p> <p>SIN CONTAMINACIÓN</p>	<p>VERDE</p> 

Fuente: P. Cinzano / F. Falchi / C. D. Elvidge. Real Sociedad Astronómica

Además existe otro tipo de escalamiento para la representación de la contaminación lumínica, esta es la denominada “Escala de Cielo Oscuro de

Bortle”, diseñada por John Bortle y publicada en febrero de 2001 por parte de la revista Sky and Telescope (Cielo y telescopio), como una ayuda para comparar los cielos observados. A continuación se muestra en la tabla cada uno de los diferentes niveles. [44] [45]

Tabla 3. 3 Escala de Cielo Oscuro de Bortle para representar la contaminación lumínica.

MAGNITUD (MSAS)	SIGNIFICADO	COLOR
SQM >21.90	Cielo Oscuro Excelente.	Negro 
SQM 21.90 – 21.50	Cielo oscuro verdadero típico.	Gris 
SQM 21.50-21.30	Cielo rural oscuro	Azul 
SQM 21.30-20.80	Cielo rural	Verde 
SQM 20.80-20.10	Transición cielo rural / suburbano	Amarillo 
SQM 20.10-19.10	Cielo Suburbano	Naranja 
SQM 19.10-18.00	Cielo suburbano brillante y transición cielo suburbano / urbano	Rojo 
SQM <18.00	Cielo urbano y cielo urbano central	Blanco 

Fuente: Northern Virginia Astronomy Club (NOVAC). <http://www.novac.com/wp/observing/bortle-scale/>

3.6 ZONAS DE ESTUDIO

La ciudad de Cuenca ha sido dividida estratégicamente en diferentes zonas, mediante la utilización de la metodología de la cuadrícula y la vial, permitiendo así poder cubrir la gran mayoría de zonas de la ciudad, y vías principales de la zona urbana, en el que se pueda observar los lugares considerados críticos o de gran importancia, y así dar soluciones estratégicas para mediciones futuras.

En primera instancia los cuatro puntos cardinales de la ciudad son el punto de partida para el estudio, es decir las zonas Norte, Sur, Este y Oeste, además del centro de la ciudad. Se toman en cuenta lugares especiales como avenidas, parque industrial, además se incluyen puntos adicionales que permitirán una mejor medida en el área urbana. En cada una de las zonas de medición se colocará el equipo a una distancia de 1,5 Km, tomando en consideración recomendaciones de la empresa constructora del mismo (Unihedron) (Anexo 5), con la diferencia que en las zonas este y oeste se lo colocará cada 500 metros.

En la Figura 3.10, podemos ver una comparación entre las predicciones del brillo artificial del cielo nocturno obtenido con los modelos de LPTRAN (línea continua) y el modelo clásico de Garstang (línea discontinua). El modelo de Garstang se calcula para bandas V, atmósferas claras estándar, y con índices de claridad $K_t=1, 3, 5$ (Tabla 3.4). Con el fin de imitar el modelo de Garstang con $K_t=1$, la predicción LPTRAN, se obtuvo para 550nm, sectores rurales con visibilidad de 26 kilómetros con $K_t=1$, reflexión del suelo insignificante, etc. Si observamos la Figura 3.10, a una distancia de 1 Km hasta los 10 Km que la empresa Unihedron sugiere, no se presentan variaciones en los valores, y como es de esperarse las diferencias surgirán cuando se consideren diferentes situaciones atmosféricas [46]. El valor adoptado de 1,5 Km, es el más adecuado para una ciudad con un gran alumbrado público, como lo es Cuenca.

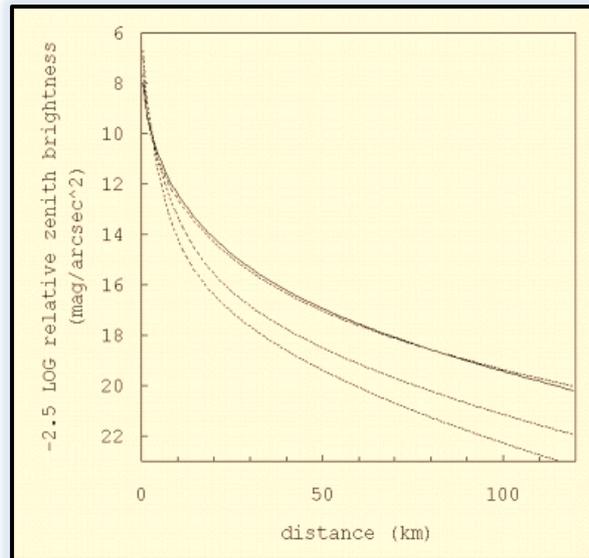


Figura 3. 10 Brillo artificial de cielo nocturno en el zenit al nivel del mar para el ambiente descrito como una función de la distancia.

Fuente: "The Propagation of Light Pollution in the Atmosphere". Cinzano, P. and Falchi. (2012).

Tabla 3. 4 Clasificación de los días en función de K_t .

Tipo de día	Valor de K_t
Días claros	$0,65 \leq K_t \leq 0,9$
Días parcialmente nublados	$0,3 \leq K_t \leq 0,65$
Días nublados	$0 \leq K_t \leq 0,3$

Fuente: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4987/fichero/6.+Estudio+estad%EDstico+de+Kt+y+Kb.pdf>.

El espacio de medición de la luminancia del cielo, se encuentra constituido por valores tomados hacia el zenit, para tener una evaluación previa del fenómeno.

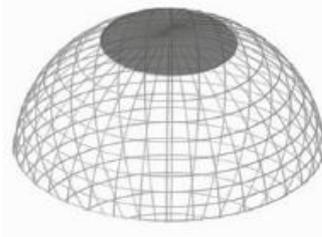


Figura 3. 11 Polígono de estudio.

Fuente: Solano Lamphar Héctor Antonio. (2010)

Se establecieron 51 puntos de medición, repartidos de la siguiente manera:



- Zona Norte: Siete puntos de medición
- Zona Sur: Siete puntos de medición
- Zona Oeste: seis puntos de medición
- Zona Este: Cinco puntos de medición
- Zona Centro Sur – Norte: Cinco puntos de medición
- Zona Centro Oeste-Este: Seis puntos de Medición.
- Zona Parque Industrial: Cinco puntos de medición.

En las figuras 3.12 y 3.13 se muestran la ubicación de estos puntos en el mapa de la ciudad de Cuenca, así como el cuadrículado realizado en Auto Cad 2013. Las direcciones de cada uno de los puntos los podemos observar en la Tabla 3.5. El Anexo 3 presenta las fechas exactas cuando estas mediciones fueron realizadas, pero básicamente se las realizó desde el 23 de diciembre de 2013 hasta el 02 de abril de 2014.

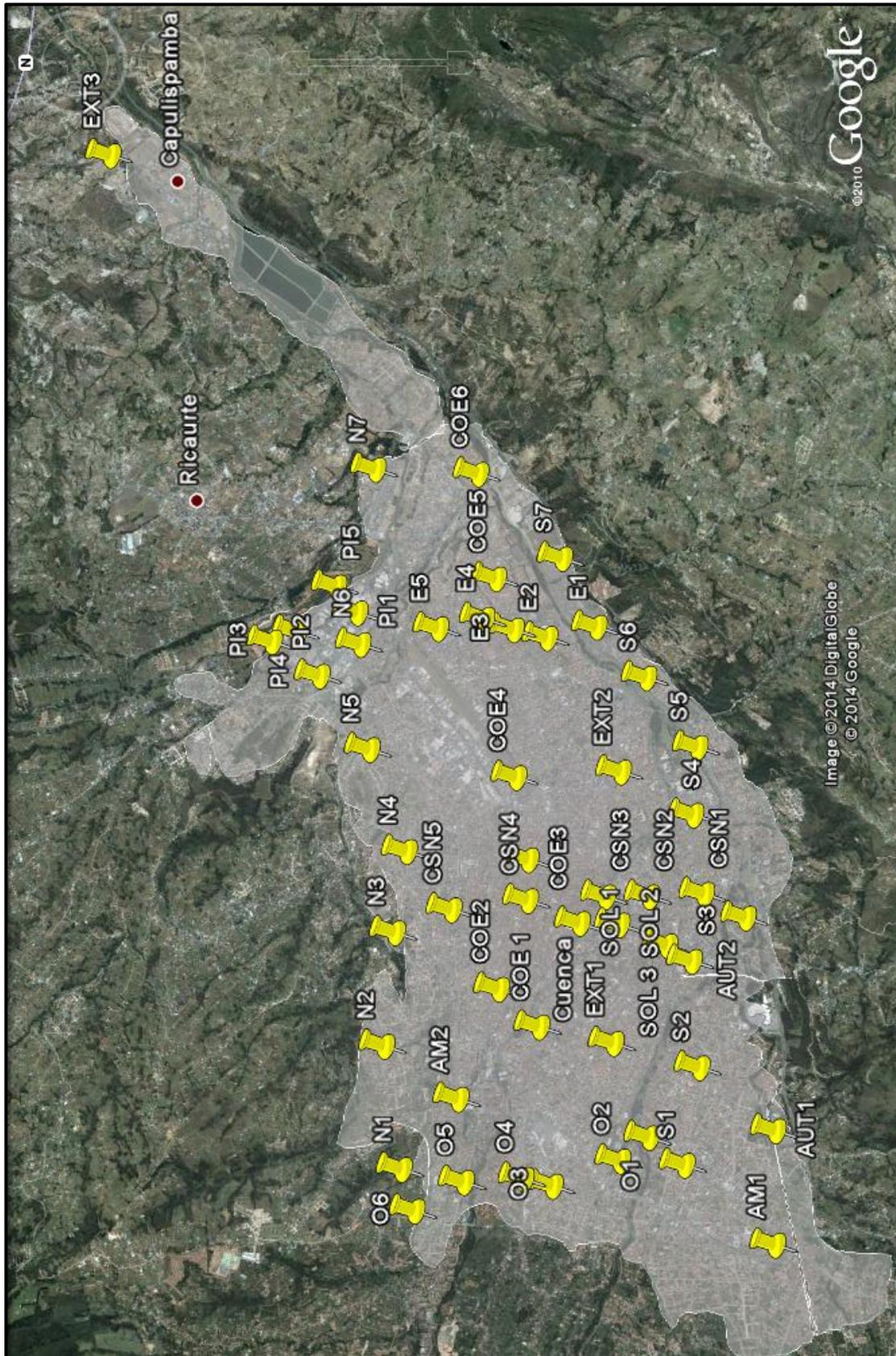


Figura 3. 12 Puntos de medición.

Fuente: Autores. Mapa de Google Earth.

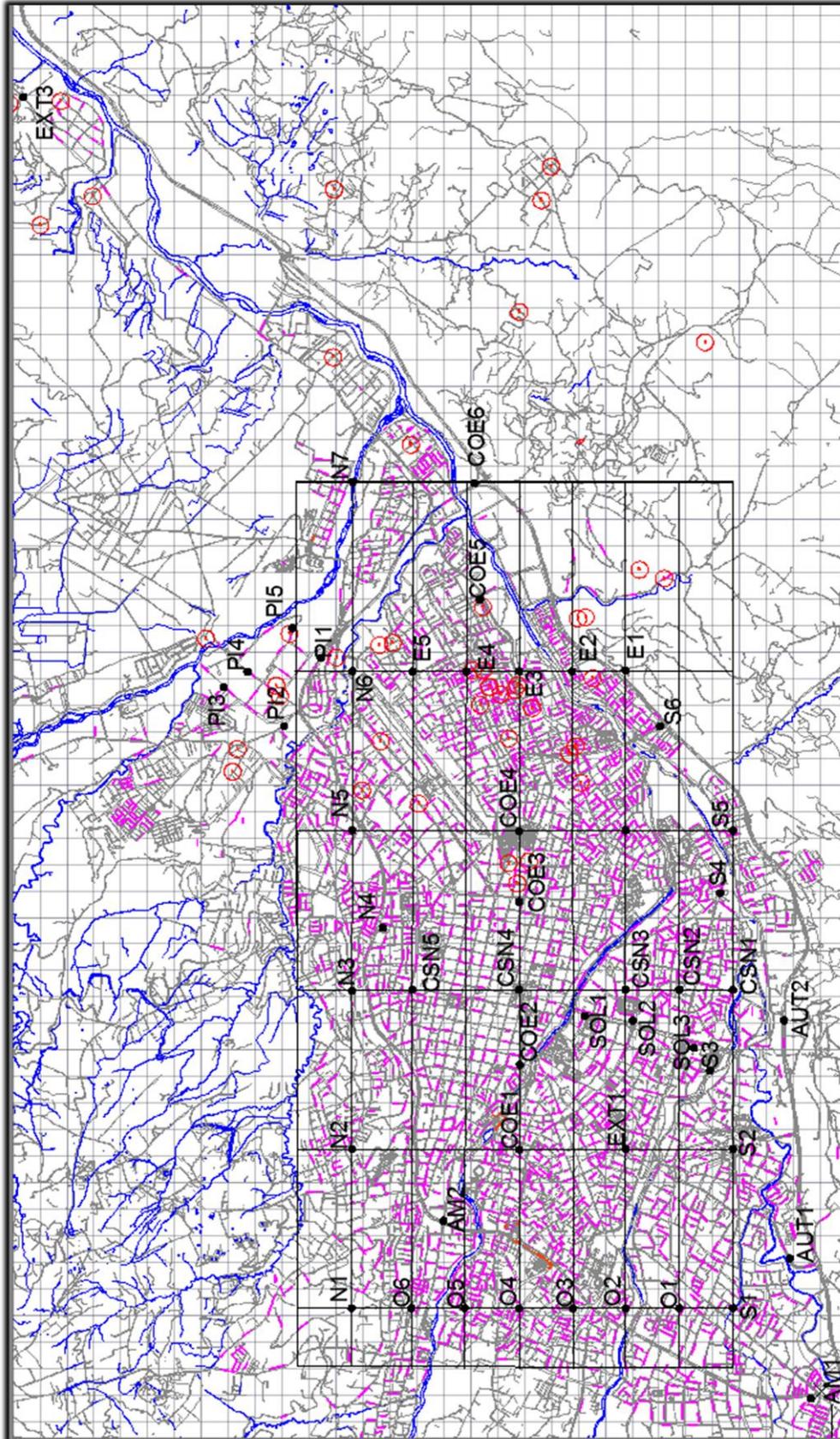


Figura 3. 13 Cuadrículado de la Ciudad de Cuenca.

Fuente: Autores. AutoCad 2013.

Las zonas establecidas de manera general son las siguientes:

Tabla 3. 5 Zonificación.

PUNTO	ZONA NORTE	ZONA SUR	ZONA ESTE	ZONA OESTE
1	Calle de la Magnolia y Camino a Racar	Av. Don Bosco y Av. Loja	Calle Buenos Aires y Calle Republicano	Av. Isabela la Católica y Cieza de León
2	Euclides y Abelardo J. Andrade	Av. 12 de Octubre y Cristóbal Colon	Calle Pancho Villa y Calle José Martí	Calle Paute y Calle Santa Isabel
3	Av. de las Américas y Calle Tarqui. Basílica de Cuenca	Av. Solano y Av. 27 de Febrero	Trece de Abril	Calle Ricardo Cordero y Eduardo Cevallos
4	Calle Tomás de Heres y Calle Manuel Arteaga	Av. 10 de Agosto	Av. Yanahurco - Paupolican	Calle Manuel Balarezo y Calle Manolo Estrella
5	Av. de las Américas y Barrial Blanco	Vilcabamba y Av. 24 de Mayo	Av. de los Andes -Fureran	Calle Víctor Manuel Albornoz y Daniel Muñoz
6	Av. de la Independencia y Calle General Mires	Av. Max Uhle y la vía Troncal de la Sierra (E35)		Camino del Tejar y Calle del Sarar
7	Victoria del Portete - Parque Machángara	Camino a Rayoloma		

PUNTO	ZONA CENTRO (SUR-NORTE)	ZONA CENTRO (OESTE -ESTE)	ZONA PARQUE INDUSTRIAL
1	Av. 27 de Febrero y Av. Roberto Crespo	Av. Remigio Crespo y Calle Imbabura. Edificio MIESS	Av. de la Independencia y Av. de las Américas- frente SECAP.
2	Av. Roberto Crespo y Av. Luis Moreno Mora.	Calle Emilio Arévalo y Calle Miguel Heredia	Paseo Río Machángara y El Toril- Gasolinera.
3	Calle Florencio Astudillo y Calle Cornelio Merchán. Edificio Cámara de Industrias de Cuenca	Calle Bolívar y Calle Mariano Cueva. Casa frente al Consejo Provincial del Azuay.	Paseo Río Machángara. Y Calle Pucarumi
4	Calle Benigno Malo y Calle Sucre. Edificio de la Ilustre Municipalidad de Cuenca	Calle Octavio Díaz. Sector Cementerio	Calle Cornelio Vintimilla y Carlos Tosi.
5	Calle General Torres Y Calle Rafael María Arizaga	Av. Gonzales Suárez y Gualcopo	Paseo Río Machángara
6		Av. de las Américas y la vía Troncal de la Sierra (E35)	

Fuente: Autores.

3.7 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Los instrumentos que fueron utilizados en el estudio son los siguientes:

- **Medidor del fondo del cielo.**_ El equipo utilizado para este propósito es el SQM-LU-DL, de la empresa Unihedron.



Figura 3. 14 Foto equipo SQM-LU-DL.

Fuente: Manual de usuario SQM-LU-DL.

- **Domo de protección.**_ Utilizado para la protección del equipo ante inclemencias del clima, fabricado de la misma manera por la empresa Unihedron para este propósito.



Figura 3. 15 Foto domo de protección.

Fuente: Manual de Usuario SQM-LU-DL.

- **Cámara fotográfica digital.**_ Utilizado para el registro fotográfico de los lugares de medición.
- **GPS.**_ Para determinar la localización exacta de los puntos se usó el programa Google Earth.
- **Computador.**_ Se utilizó un computador HP con un procesador Core 2 Duo, 4 Gb de memoria RAM y 250 Gb de disco duro, utilizado para la descarga de información tomado por el equipo SQM-DU-DL.

- **Soporte Metálico.**_ Se construyó un brazo de soporte para colocar el equipo de medición en el poste del punto determinado, además que permite estar alejado de fuentes de iluminación que alteren las medidas.

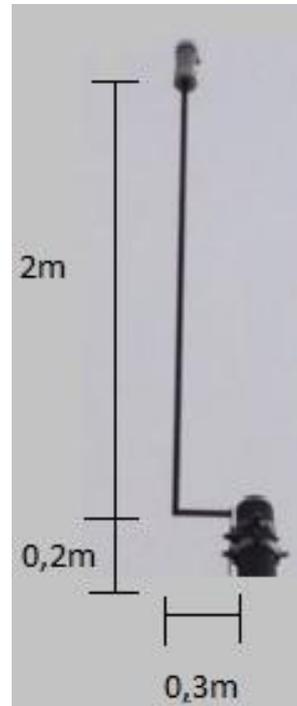


Figura 3. 16 Foto del soporte metálico.

Fuente: Autores.

CAPÍTULO 4

4. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta los resultados de la recopilación de información que se tuvo en cada punto de medición, tomando en cuenta que dichas mediciones fueron obtenidas con diferentes condiciones climatológicas y en diferentes tiempos, siendo esto un limitante importante. Sin embargo, la información levantada permite tener una idea general de la polución lumínica en Cuenca, lo que se podrá complementar y mejorar en próximas mediciones.

Debido a que la recolección de información se debe hacer al mismo tiempo, se presentaron dificultades al poner en marcha las mediciones, haciendo que los resultados sean tomados cuidadosamente al querer dar conclusiones. La principal dificultad se debió a que, al poseer un solo equipo, las mediciones se debieron tomar en varios días, con valores de polución atmosférica diferentes, y en general con condiciones que variaron, para una misma zona.

En la última sección de este capítulo se muestra una metodología que se recomienda usar para próximos proyectos, tomando en consideración todo lo abordado en el capítulo 3, que ayudó a recopilar lo más importante de la experiencia que se tuvo al poner en marcha las primeras mediciones.

Es importante destacar que las mediciones del brillo del cielo en la ciudad son recopiladas en puntos representativos de cada zona (Norte, Sur, Este, Oeste, Centro Sur-Norte, Centro Oeste-Este, Parque Industrial).

4.2 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN CADA ZONA.

Para el tratamiento de la información obtenida en cada zona se usaron diferentes programas computacionales tales como: Microsoft Excel, el cual es usado para manejar las bases de datos de las luminancias medidas del cielo, Auto CAD 2013, para el cuadrículado de los puntos de medición y además,

Google Earth, que nos permitió ubicar las coordenadas geográficas de los lugares.

Se inició el tratamiento de datos colocando los valores medidos de cada zona en hojas de Excel, las cuales fueron denominadas según su ubicación, por ejemplo:

- NORTE 1: donde se ubicarán los datos medidos por el SQM.
- Cond. N1: en esta hoja se colocarán los datos de las variables que se consideran.
- Gráf. N1: Se muestra la gráfica respectiva de cada punto relacionando Tiempo vs. MSAS ($\text{mag}/\text{arcseg}^2$).
- Grafi. N1: Se muestra la gráfica respectiva de cada punto relacionando Tiempo vs. (cd/m^2).

4.3 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN CADA ZONA

Se debe tomar en cuenta que en cada una de las zonas las variables climatológicas son diferentes, debido a que fueron tomados en diferentes días, y es por eso que se debe tener mucho cuidado al interpretar estos valores. Los datos para cada día de medición se encuentran en el Anexo 3.

4.3.1 ZONA NORTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.

En la zona norte de la ciudad de Cuenca se efectuaron las mediciones en 7 lugares distintos, estos fueron seleccionados y distribuidos de manera que abarquen toda la parte norte de la Ciudad. En la Figura 4.1 se puede observar la ubicación de estos puntos en Google Earth.

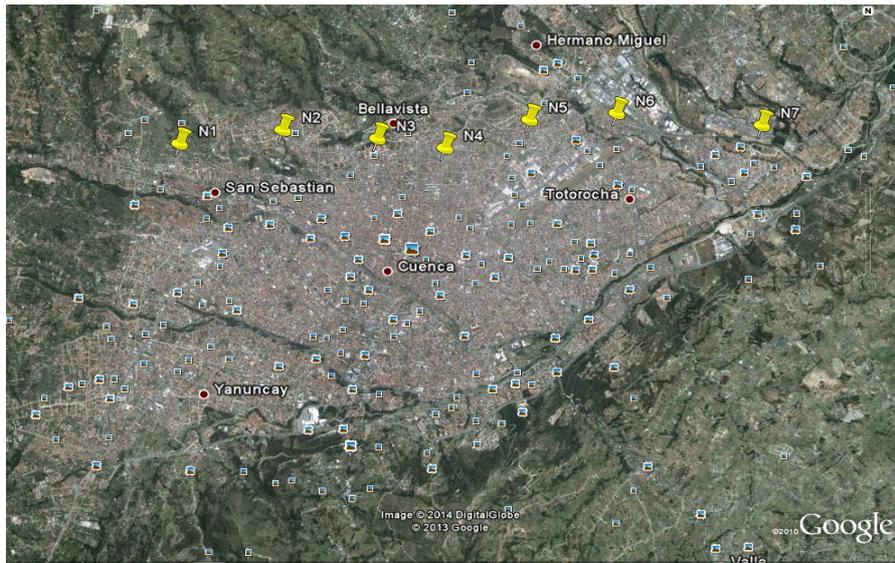


Figura 4. 1 Puntos Zona Norte.

Fuente: Autores.

En la tabla 4.1 se muestran las direcciones de los puntos de medición.

Tabla 4. 1 Direcciones Zona Norte.

ZONA NORTE		
PUNTO	CODIFICACIÓN	DIRECCIÓN
NORTE 1	N 1	Calle de la Magnolia y Camino a Racar.
NORTE 2	N 2	Calle Euclides y Calle Abelardo J. Andrade.
NORTE 3	N 3	Av. de las Américas y Calle Tarqui. Basílica de Cuenca.
NORTE 4	N 4	Calle Tomás de Heres y Calle Manuel Arteaga.
NORTE 5	N 5	Av. de las Américas y Calle Barrial Blanco.
NORTE 6	N 6	Av. de la Independencia y Calle General Mires.
NORTE 7	N 7	Calle Victoria del Portete - Parque Machángara.

Fuente: Autores.

4.3.1.1 REVISIÓN DE LA ZONA

Los valores que se obtuvieron fueron tomados desde las 20:30 a 04:10, en el Anexo 1 se puede observar el valor de la luminancia en mag/(arcseg²) y su respectiva transformación a cd/m². Para determinar el valor que corresponde al

punto de medida se realiza el cálculo del promedio de estos valores tomados en una noche, que se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4. 2 Luminancia del cielo en la Zona Norte de la Ciudad de Cuenca.

	N1		N2		N3		N4		N5		N6		N7	
	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)
Promedio:	17,33	0,0127	16,43	0,0290	16,40	0,0296	16,36	0,0308	18,69	0,0036	16,56	0,0257	16,19	0,0362
Media:	17,30	0,0130	16,36	0,0309	16,39	0,0300	16,32	0,0320	18,68	0,0036	16,54	0,0262	16,17	0,0367
Moda:	18,44	0,0045	18,44	0,0045	15,99	0,0434	15,78	0,0527	18,38	0,0048	16,60	0,0247	15,86	0,0489
Total Med:	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Mínimo:	15,66	0,0588	14,28	0,2096	15,53	0,0663	14,94	0,1141	18,21	0,0056	15,06	0,1022	15,35	0,0782
Máximo:	18,63	0,0038	18,51	0,0043	18,15	0,0059	18,54	0,0041	19,53	0,0017	17,63	0,0096	17,95	0,0071
Desv Estd	0,94	0,01	1,51	0,06	0,65	0,02	1,15	0,03	0,28	0,00	0,80	0,03	0,64	0,02
Nivel PL	MEDIANAMENTE CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO		LIGERAMENTE CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO	

Fuente: Autores.

El punto Norte 1 se encuentra ubicado en la calle de la Magnolia y Camino a Racar, sector noroeste de la ciudad, al momento de la medición el porcentaje de iluminación de la luna era de un 83,96%, además una nubosidad del 90%, humedad del 80%, temperatura ambiente de 10 °C y se presentaron lloviznas (Anexo 3). En este punto tenemos un mínimo de 15,66 mag/arcseg² (0,0588 cd/m²) alrededor de las 20:30 de la noche debido a la actividad de algunos centros comerciales que están aportando al incremento de la contaminación lumínica, y un máximo de 18,63 mag/arcseg² (0,0038 cd/m²) a la media noche, ya que en estos momentos las lámparas de alumbrado público cambia su potencia de funcionamiento. Si revisamos el valor promedio de 17,33 mag/arcseg² obtenido en este punto, encontramos un Nivel medianamente contaminado.

El punto Norte 2 se encuentra ubicado en la calle Euclides y Abelardo J. Andrade, sector noroeste de la ciudad, al momento de la medición el porcentaje de iluminación de la luna era de un 76,39%, además una nubosidad del 30%, humedad del 40%, temperatura ambiente de 12 °C y no se presentaron lluvias (Anexo 3). En este punto tenemos un mínimo de 14,28 mag/arcseg² (0,2096 cd/m²) alrededor de las 20:50 de la noche, influenciado especialmente por aportes de centros comerciales alrededor del sitio medido que se encuentran aportando al incremento de la contaminación lumínica, y un

máximo de $18,51 \text{ mag/arcseg}^2$ ($0,0043 \text{ cd/m}^2$) alrededor de las 2:40 de la mañana, es aquí donde el aporte del alumbrado público se puede notar con mayor facilidad, pero se tomará el promedio de todas las mediciones tomadas a lo largo de la noche y madrugada del siguiente día, este valor está en los $16,43 \text{ mag/arcseg}^2$ encontrándose a un nivel contaminado.

El punto Norte 3 se encuentra ubicado en la Av. de las Américas y calle Tarqui, en la Basílica de Cuenca, sector norte de la ciudad, al momento de la medición el porcentaje de iluminación de la luna era de un 27,07 %, además una nubosidad del 70%, humedad del 60%, temperatura ambiente de $12 \text{ }^\circ\text{C}$ y no se presentaron lluvias (Anexo 3). En este punto tenemos un mínimo de $15,53 \text{ mag/arcseg}^2$ ($0,0663 \text{ cd/m}^2$) alrededor de las 23:30 pm, es un horario en el cual el impacto de los centros comerciales es reducido, además que la iluminación de la luna es reducido, pero al encontrarse el punto en una avenida muy transitada a estas horas, se puede concluir que se encuentra influenciada por el alumbrado público y luz emitida por las viviendas del sector en menor valor, y un máximo de $18,15 \text{ mag/arcseg}^2$ ($0,0059 \text{ cd/m}^2$) a la media noche, pero si se revisa el Anexo 1 lo vamos a encontrar en una sola oportunidad, adjudicándolo más a una estabilización de las mediciones en el equipo SQM, es por eso que si revisamos el valor promedio de $16,40 \text{ mag/arcseg}^2$ obtenido en este punto, encontramos un nivel contaminado.

El punto Norte 4 se encuentra ubicado en la calle Tomás de Heres y calle Manuel Arteaga, sector noreste de la ciudad, al momento de la medición el porcentaje de iluminación de la luna era de un 58,33%, además una nubosidad del 40%, humedad del 30%, temperatura ambiente de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ y no se presentaron lluvias (Anexo 3). En este punto tenemos un mínimo de $14,94 \text{ mag/arcseg}^2$ ($0,1141 \text{ cd/m}^2$) alrededor de las 00:00 de la mañana, la iluminación de la luna a pesar de no influenciar de gran manera puede estar presente en parte en esta medición, pero se nota que en este punto el alumbrado público aporta en gran parte a la medición; además un máximo de $18,54 \text{ mag/arcseg}^2$ ($0,0041 \text{ cd/m}^2$) a las 02:00 de la mañana, ya que en estos momentos las lámparas de alumbrado público cambia su potencia de

funcionamiento. Si revisamos el valor promedio de $16,36 \text{ mag/arcseg}^2$ obtenido en este punto, se establece un nivel contaminado.

El punto Norte 5 se encuentra ubicado en la Av. de las Américas y calle Barrial Blanco, sector noreste de la ciudad, al momento de la medición el porcentaje de iluminación de la luna era de un 67,77%, además una nubosidad del 40%, humedad del 30%, temperatura ambiente de $11 \text{ }^\circ\text{C}$ y no se presentaron lluvias (Anexo 3). En este punto tenemos un mínimo de $18,21 \text{ mag/arcseg}^2$ ($0,0056 \text{ cd/m}^2$) alrededor de las 23:00 de la noche, debido al alumbrado público dedicado al flujo de vehículos en esta zona y a la incidencia que el comercio tiene, además, pero en menor porcentaje la iluminación de la luna; y un máximo de $19,53 \text{ mag/arcseg}^2$ ($0,0017 \text{ cd/m}^2$) a las 04:10 de la mañana, donde el alumbrado público es la principal fuente de contaminación, pero encontrándose en niveles óptimos para una zona urbana, donde existe una gran flujo de vehículos. Si revisamos el valor promedio de $18,69 \text{ mag/arcseg}^2$ obtenido en este punto, encontramos un nivel ligeramente contaminado.

El punto Norte 6 se encuentra ubicado en la Av. de la Independencia y calle de la Quebrada, sector noreste de la ciudad, al momento de la medición el porcentaje de iluminación de la luna era de un 48,33%, además una nubosidad del 20%, humedad del 40%, temperatura ambiente de $12 \text{ }^\circ\text{C}$ y no se presentaron lluvias (Anexo 3). En este punto tenemos un mínimo de $15,06 \text{ mag/arcseg}^2$ ($0,1022 \text{ cd/m}^2$) alrededor de las 0:00 de la mañana, por la hora que se presenta esta medición se muestra un nivel de polución lumínica que se debería considerar para su tratamiento porque en este punto en gran parte es debido al alumbrado público, y un máximo de $17,63 \text{ mag/arcseg}^2$ ($0,0096 \text{ cd/m}^2$) a las 21:00 de la noche, siendo un valor un poco extraño de encontrar por la hora que se presenta, pero que puede suceder. Si revisamos el valor promedio de $16,56 \text{ mag/arcseg}^2$ obtenido en este punto, estableciéndose un nivel contaminado.

El punto Norte 7 se encuentra ubicado en la calle Victoria del Portete, cerca del Parque Machángara, sector noreste de la ciudad, al momento de la medición el

porcentaje de iluminación de la luna era de un 38,09%, además una nubosidad del 35%, humedad del 55%, temperatura ambiente de 11 °C y no se presentaron lluvias (Anexo 3). En este punto tenemos un mínimo de 15,35 mag/arcseg² (0,0782 cd/m²) alrededor de las 23:40 de la noche debido a la actividad de algunos centros comerciales y al alumbrado público de la zona que aportan a los niveles de polución lumínica, y un máximo de 17,95 mag/arcseg² (0,0071 cd/m²) a distintas horas de la madrugada, donde el alumbrado público es la principal fuente de contaminación. Si revisamos el valor promedio de 16,19 mag/arcseg² obtenido en este punto, encontramos un nivel contaminado.

En toda la zona norte de acuerdo a las mediciones, la mayor desviación estándar podemos encontrarla en el punto N2, con un valor de 1,51. La representación gráfica de las mediciones durante toda la noche se muestran en el Anexo 2.

4.3.1.2 CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES LUMÍNICAS CON LA NUBOSIDAD, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN LA ZONA NORTE

En la Tabla 4.3 se puede observar las correlaciones entre la nubosidad, humedad relativa, temperatura y los datos lumínicos, recordando que la información usada para los cálculos no fueron tomados al mismo tiempo. El índice de correlación puede variar entre [-1,+1], en donde:

- Si $x=1$, tenemos un índice de correlación positivo perfecto, es decir si una de las variables aumenta, la otra también lo hace en proporción directa.
- Si $0 < x < 1$, se tiene una correlación positiva.
- Si $x=0$, no existe una relación lineal, pero sin que esto implique una independencia entre las variables.
- Si $x=-1$, tenemos un índice de correlación negativo perfecto, es decir si una aumenta, la otra disminuye en proporción constante.
- Si $-1 < x < 0$, existe una correlación negativa. [47]

- N= número de datos en estudio.

Tabla 4. 3 Índice de Correlación - Zona Norte.

ZONA NORTE			
		NUBOSIDAD	SQM-LU-DL
NUBOSIDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	0,181
	N	7	7
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	0,181	1
	N	7	7
		HUMEDAD	SQM-LU-DL
HUMEDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,136
	N	7	7
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,136	1
	N	7	7
		TEMPERATURA	SQM-LU-DL
TEMPERATURA	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,240
	N	7	7
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,240	1
	N	7	7

Fuente: Autores.

Se puede observar, que existe una correlación positiva entre los valores de brillo del cielo y la nubosidad, es decir si la nubosidad aumentaría, el brillo del cielo también los haría, pero como el índice de correlación es bajo (<0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y humedad relativa, es decir si la humedad relativa aumenta disminuye el valor de brillo del cielo, aumentando los valores de polución lumínica, recordando que entre menor es este valor, mayor es la luminancia del cielo, pero como el índice de correlación es bajo (<-0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y la temperatura, pero como el índice de correlación es bajo la relación entre estos dos factores es no significativa, para esta zona.

4.3.2 ZONA SUR DE LA CIUDAD DE CUENCA.

En la zona sur de la ciudad de Cuenca se realizaron las mediciones en 7 lugares, mismos que estaban seleccionados y distribuidos de manera que abarquen la zona. Sin embargo la ciudad tiene la forma de un polígono irregular y por ellos las distancias de separación de la zona sur no son las mismas que la zona norte. En la figura 4.2 se puede observar la ubicación de estos puntos en Google Earth.

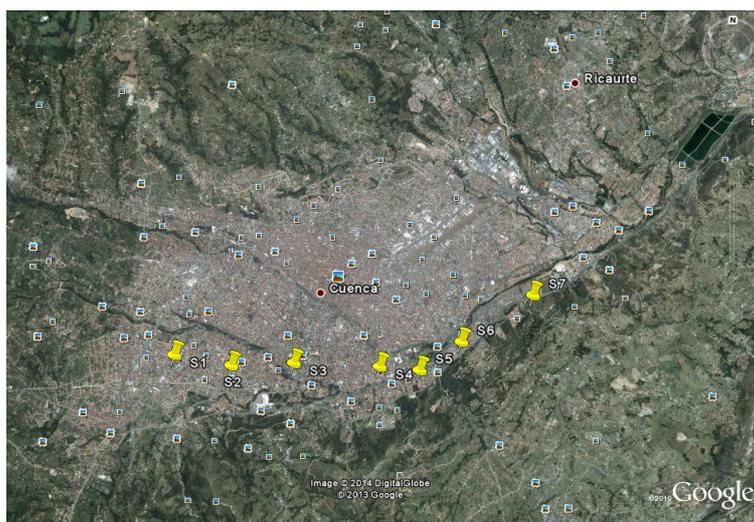


Figura 4. 2 Puntos Zona Sur.

Fuente: Autores.

En la tabla 4.4 se da la dirección de los puntos de medición.

Tabla 4. 4 Direcciones Zona Sur.

ZONA SUR		
PUNTO	CODIFICACIÓN	DIRECCIÓN
SUR 1	S 1	Av. Don Bosco y Av. Loja
SUR 2	S 2	Av. 12 de Octubre y Cristóbal Colon
SUR 3	S 3	Av. Solano y Av. 27 de Febrero
SUR 4	S 4	Av. 10 de Agosto
SUR 5	S 5	Vilcabamba y Av. 24 de Mayo
SUR 6	S 6	Av. Max Uhle y la vía Troncal de la Sierra (E35)
SUR 7	S 7	Camino a Rayoloma

Fuente: Autores.

4.3.2.1 REVISIÓN DE LA ZONA

Los valores que se obtuvieron fueron tomados desde las 20:30 a 04:10, en el Anexo 1 se puede observar el valor de la luminancia en mag/(arcseg²) y su respectiva transformación a cd/m². Para determinar el valor que corresponde al punto de medida se realiza el cálculo del promedio de estos valores, que se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4. 5 Luminancia del cielo en la Zona Sur de la Ciudad de Cuenca.

	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)
Promedio:	15,64	0,0598	15,76	0,0537	16,60	0,0246	17,72	0,0089	16,11	0,0388	15,85	0,0494	16,80	0,0206
Media:	15,62	0,0612	15,74	0,0545	16,58	0,0252	17,68	0,0091	16,09	0,0395	15,85	0,0495	16,78	0,0209
Moda:	15,33	0,0797	15,35	0,0782	15,61	0,0616	18,38	0,0048	15,85	0,0494	15,66	0,0588	17,26	0,0135
Total Med:	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Minimo:	14,00	0,2713	14,23	0,2195	14,91	0,1173	15,47	0,0701	15,04	0,1041	15,25	0,0858	15,62	0,0610
Maximo:	18,11	0,0062	17,44	0,0114	18,36	0,0049	18,81	0,0032	19,10	0,0025	16,36	0,0309	19,09	0,0025
Desv Estd	0,88	0,06	0,72	0,05	0,91	0,03	1,10	0,02	0,83	0,02	0,30	0,01	0,67	0,01
Nivel PL	CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO		MEDIANAMENTE CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO		MEDIANAMENTE CONTAMINADO	

Fuente: Autores.

La revisión de los puntos Sur 1 a Sur 7 sigue la misma lógica de la presentada para los puntos de la zona norte. Los valores correspondientes al porcentaje de iluminación de la luna, nubosidad, humedad, temperatura ambiente y presencia de lluvia se muestran en el Anexo 3.

En toda la zona sur de acuerdo a las mediciones, la mayor desviación estándar podemos encontrarla en el punto S4, con un valor de 1,10. La representación gráfica de las mediciones durante toda la noche se muestran en el Anexo 2.

4.3.2.2 CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES LUMÍNICAS CON LA NUBOSIDAD, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN LA ZONA SUR

En la siguiente tabla se puede observar las correlaciones entre la nubosidad, humedad relativa, temperatura y los datos lumínicos, recordando que la información usada para los cálculos no fueron tomados al mismo tiempo. Los tipos de correlaciones encontradas se describen en el punto 4.3.1.2.

Tabla 4. 6 Índice de Correlación - Zona Sur

ZONA SUR			
		NUBOSIDAD	SQM-LU-DL
NUBOSIDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	0,351
	N	7	7
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	0,351	1
	N	7	7
		HUMEDAD	SQM-LU-DL
HUMEDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,223
	N	7	7
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,223	1
	N	7	7
		TEMPERATURA	SQM-LU-DL
TEMPERATURA	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	0,425
	N	7	7
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	0,425	1
	N	7	7

Fuente: Autores.

Se puede observar, que existe una correlación positiva entre los valores de brillo del cielo y la nubosidad, pero como el índice de correlación es bajo (<0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y humedad relativa, pero como el índice de correlación es bajo (< -0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación positiva entre los valores de brillo del cielo y la temperatura, pero como el índice de correlación es bajo la relación entre estos dos factores es no significativa, para esta zona.

4.3.3 ZONA OESTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.

En la zona oeste de la ciudad de Cuenca se realizaron las mediciones en 6 lugares, mismos que fueron seleccionados y distribuidos de manera que abarquen toda la parte oeste de la Ciudad. En la figura 4.3 se puede observar la ubicación de estos puntos.

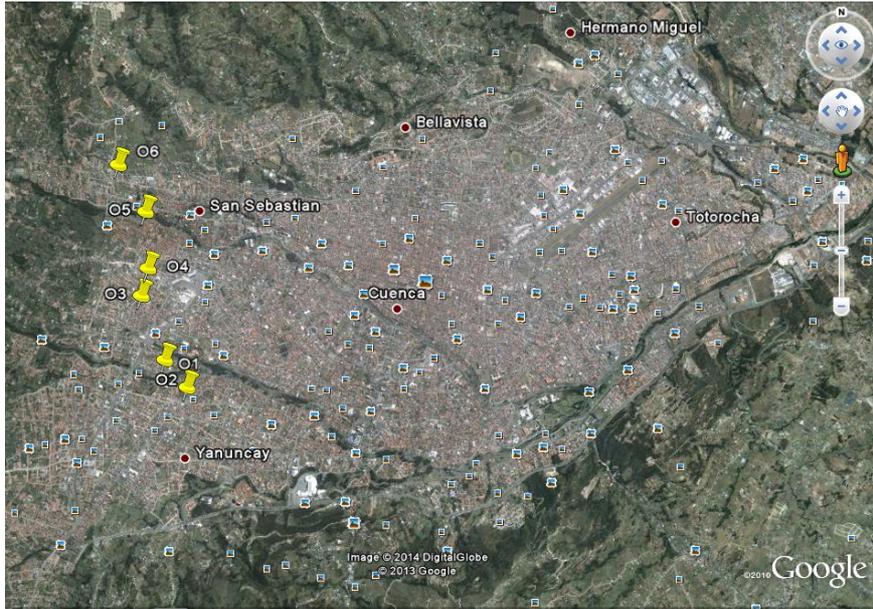


Figura 4. 3 Puntos Zona Oeste.

Fuente: Autores.

En la tabla 4.7 se muestra la dirección de los puntos de medición.

Tabla 4. 7 Direcciones Zona Oeste.

ZONA OESTE		
PUNTO	CODIFICACIÓN	DIRECCIÓN
OESTE 1	O 1	Av. Isabela la Católica y Cieza de León
OESTE 2	O 2	Calle Paute y Calle Santa Isabel
OESTE 3	O 3	Calle Ricardo Cordero y Eduardo Cevallos
OESTE 4	O 4	Calle Manuel Balarezo y Calle Mariano Estrella
OESTE 5	O 5	Calle Víctor Manuel Albornoz y Daniel Muñoz
OESTE 6	O 6	Camino del Tejar y Calle del Sarar

Fuente: Autores.

4.3.3.1 REVISIÓN DE LA ZONA

En el Anexo 1 se observan los valores de luminancia en $\text{mag}/(\text{arcseg}^2)$ y su respectiva transformación a cd/m^2 . Para determinar el valor que corresponde al punto de medida se realiza el cálculo del promedio, estos resultados se muestra en la tabla 4.8.

Tabla 4. 8 Luminancia del cielo en la Zona Oeste de la Ciudad de Cuenca.

	O1		O2		O3		O4		O5		O6	
	MSAS	(cd/m ²)										
Promedio:	16,05	0,0411	15,60	0,0620	15,93	0,0459	15,84	0,0500	15,89	0,0476	16,36	0,0308
Media:	16,04	0,0413	15,57	0,0636	15,92	0,0465	15,81	0,0510	15,88	0,0480	16,35	0,0312
Moda:	15,77	0,0531	16,21	0,0354	16,29	0,0329	16,29	0,0329	15,32	0,0804	16,24	0,0345
Total Med:	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Minimo:	15,16	0,0932	14,31	0,2039	14,90	0,1184	14,25	0,2155	15,12	0,0967	15,44	0,0720
Maximo:	16,85	0,0197	17,77	0,0084	17,26	0,0135	17,44	0,0114	17,16	0,0148	18,86	0,0031
Desv Estd	0,43	0,02	0,95	0,05	0,65	0,03	0,83	0,06	0,55	0,02	0,66	0,02
Nivel PL	CONTAMINADO											

Fuente: Autores.

De manera similar que en los casos anteriores (zonas norte y sur), la revisión de los puntos O1 a O6 considera las variables correspondientes al porcentaje de iluminación de la luna, nubosidad, humedad, temperatura ambiente y presencia de lluvia (ver Anexo 3).

En toda la zona oeste de acuerdo a las mediciones, la mayor desviación estándar podemos encontrarla en el punto O2, con un valor de 0,95. La representación gráfica de las mediciones durante toda la noche se muestran en el Anexo 2.

4.3.3.2 CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES LUMÍNICAS CON LA NUBOSIDAD, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN LA ZONA OESTE

En la siguiente tabla se puede observar las correlaciones entre la nubosidad, humedad relativa, temperatura y los datos lumínicos, recordando que la información usada para los cálculos no fueron tomados al mismo tiempo. Los tipos de correlaciones encontradas se describen en el punto 4.3.1.2.

Tabla 4. 9 Índice de Correlación Zona Oeste

ZONA OESTE			
		NUBOSIDAD	SQM-LU-DL
NUBOSIDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,185
	N	6	6
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,185	1
	N	6	6
		HUMEDAD	SQM-LU-DL
HUMEDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,428
	N	6	6
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,428	1
	N	6	6
		TEMPERATURA	SQM-LU-DL
TEMPERATURA	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,246
	N	6	6
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,246	1
	N	6	6

Fuente: Autores.

Se puede observar, que existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y la nubosidad, pero como el índice de correlación es bajo (<-0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y humedad relativa, pero como el índice de correlación es bajo (<-0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y la temperatura, pero como el índice de correlación es bajo la relación entre estos dos factores es no significativa, para esta zona.

4.3.4 ZONA ESTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.

En la zona Este de la ciudad de Cuenca se realizaron las mediciones en 5 lugares, mismos que fueron seleccionados y distribuidos de manera que abarquen toda la parte este de la Ciudad. En la figura 4.4 se puede observar la ubicación de estos puntos.

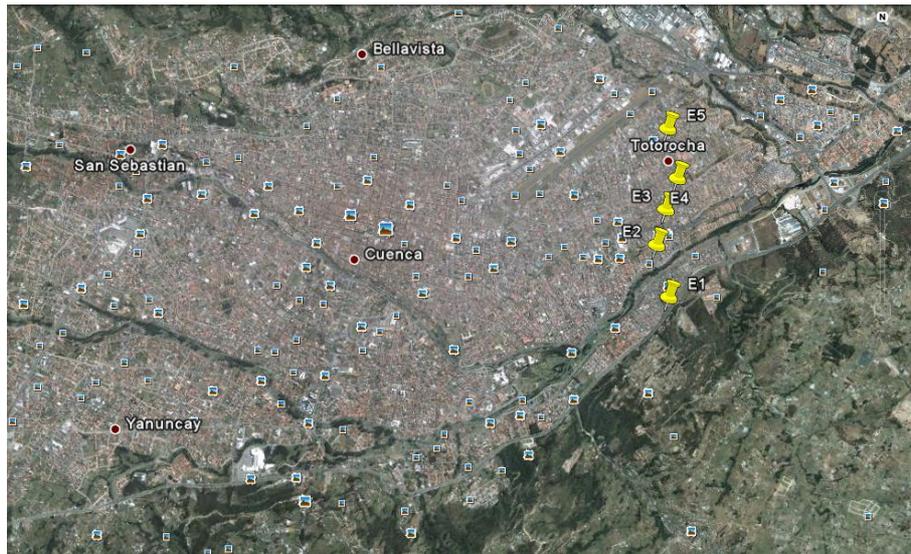


Figura 4. 4 Puntos Zona Este.

Fuente: Autores.

En la tabla 4.10 se da la dirección de los puntos de medición.

Tabla 4. 10 Direcciones Zona Este.

ZONA ESTE		
PUNTO	CODIFICACIÓN	DIRECCIÓN
ESTE 1	E 1	Calle Buenos Aires y Calle Republicano
ESTE 2	E 2	Calle Pancho Villa y Calle José Martí
ESTE 3	E 3	Calle Trece de Abril
ESTE 4	E 4	Av. Yanahurco y Calle Paupolican
ESTE 5	E 5	Av. de los Andes y Calle Fueran

Fuente: Autores.

4.4.4.1 REVISIÓN DE LA ZONA

Los valores que se obtuvieron fueron tomados desde las 20:30 a 04:10, en el Anexo 1 se puede observar el valor de la luminancia en mag/ (arcseg²) y su respectiva transformación a cd/m². Para determinar el valor que corresponde al punto de medida se realiza el cálculo del promedio de estos valores, que se muestra en la tabla 4.11.

Tabla 4. 11 Luminancia del cielo en la Zona Este de la Ciudad de Cuenca.

	E1		E2		E3		E4		E5	
	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)						
Promedio:	15,92	0,0464	16,50	0,0271	15,75	0,0539	16,02	0,0421	17,31	0,0129
Media:	15,90	0,0471	16,48	0,0276	15,74	0,0546	16,00	0,0430	17,28	0,0132
Moda:	15,58	0,0633	16,02	0,0422	15,12	0,0967	16,07	0,0403	17,46	0,0112
Total Med:	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Minimo:	15,08	0,1003	14,93	0,1152	14,74	0,1372	14,61	0,1547	15,30	0,0819
Maximo:	18,09	0,0063	18,54	0,0041	16,96	0,0178	17,84	0,0079	18,52	0,0042
Desv Estd	0,74	0,03	0,78	0,03	0,66	0,03	0,89	0,04	0,91	0,02
Nivel PL	CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO		MEDIANAMENTE CONTAMINADO	

Fuente: Autores.

De manera similar que en las zonas anteriores, la revisión de los puntos E1 a E5 considera las variables correspondientes al porcentaje de iluminación de la luna, nubosidad, humedad, temperatura ambiente y presencia de lluvia (ver Anexo 3).

En toda la zona este de acuerdo a las mediciones, la mayor desviación estándar podemos encontrarla en el punto E5, con un valor de 0,91. La representación gráfica de las mediciones durante toda la noche se muestran en el Anexo 2.

4.3.4.2 CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES LUMÍNICAS CON LA NUBOSIDAD, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN LA ZONA ESTE

En la siguiente tabla se puede observar las correlaciones entre la nubosidad, humedad relativa, temperatura y los datos lumínicos, recordando que la información usada para los cálculos no fueron tomados al mismo tiempo. Los tipos de correlaciones encontradas se describen en el punto 4.3.1.2.

Tabla 4. 12 Índice de Correlación - Zona Este

ZONA ESTE			
		NUBOSIDAD	SQM-LU-DL
NUBOSIDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	0,393
	N	5	5
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	0,393	1
	N	5	5
		HUMEDAD	SQM-LU-DL
HUMEDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,606
	N	5	5
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,606	1
	N	5	5
		TEMPERATURA	SQM-LU-DL
TEMPERATURA	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,249
	N	5	5
SQM-LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,249	1
	N	5	5

Fuente: Autores.

Se puede observar, que existe una correlación positiva entre los valores de brillo del cielo y la nubosidad, pero como el índice de correlación es bajo (<0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y humedad relativa, y como el índice de correlación es alto (>-0.5) se considera a la relación como significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y la temperatura, pero como el índice de correlación es bajo la relación entre estos dos factores es no significativa, para esta zona.

4.3.5 ZONA CÉNTRICA OESTE- ESTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.

En la zona céntrica Oeste-Este de la ciudad de Cuenca se realizaron las mediciones en 6 lugares, mismos que fueron seleccionados y distribuidos de manera que abarquen toda la parte central de la Ciudad. En la figura 4.5 se puede observar la ubicación de estos puntos.

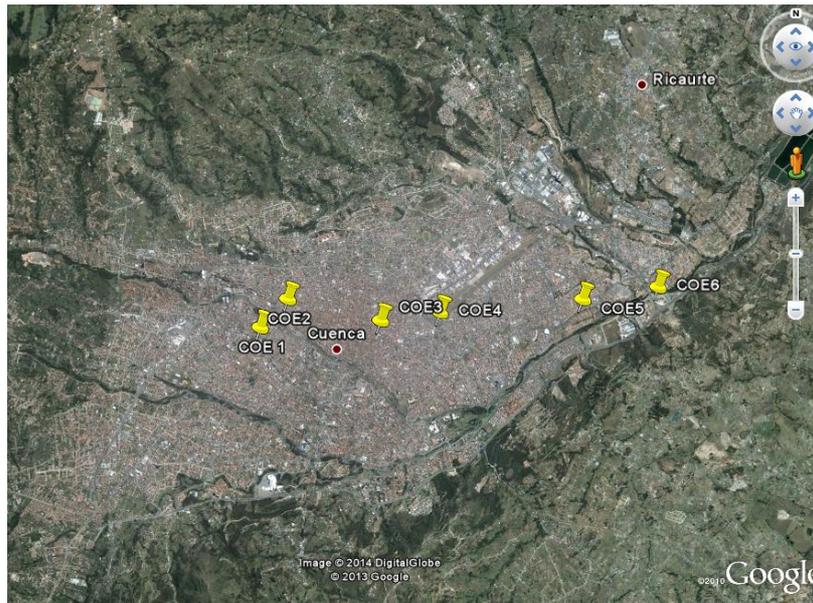


Figura 4. 5 Puntos Zona Centro Oeste- Este.

Fuente: Autores.

En la tabla 4.13 se da la dirección de los puntos de medición.

Tabla 4. 13 Direcciones Zona Centro Oeste Este.

ZONA CENTRO OESTE-ESTE		
PUNTO	CODIFICACIÓN	DIRECCIÓN
CENTRO OESTE-ESTE 1	COE1	Av. Remigio Crespo y Calle Imbabura
CENTRO OESTE-ESTE 2	COE2	Calle Emilio Arévalo y Calle Miguel Heredia
CENTRO OESTE-ESTE 3	COE3	Calle Simón Bolívar y Calle Crnel. Vargas Machuca
CENTRO OESTE-ESTE 4	COE 4	Calle Octavio Díaz
CENTRO OESTE-ESTE 5	COE5	Av. Gonzales Suarez y calle Hualcopo
CENTRO OESTE-ESTE 6	COE 6	Av. de las Américas y la vía Troncal de la Sierra (E35)

Fuente: Autores.

4.3.5.1 REVISIÓN DE LA ZONA

En el Anexo 1 se observan los valores medidos de luminancia, en $\text{mag}/(\text{arcseg}^2)$ y su respectiva transformación a cd/m^2 . Para determinar el valor que corresponde al punto de medida se realiza el cálculo del promedio, estos

resultados se muestra en la tabla 4.14.

Tabla 4. 14 Luminancia del cielo en la Zona Centro Oeste-Este de la Ciudad de Cuenca.

	COE1		COE2		COE3		COE4		COE5		COE6	
	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)
Promedio:	15,77	0,0529	15,17	0,0924	15,38	0,0763	15,76	0,0536	15,98	0,0439	16,50	0,0271
Media:	15,75	0,0541	15,16	0,0929	15,37	0,0767	15,73	0,0553	15,97	0,0443	16,49	0,0275
Moda:	15,07	0,1013	14,77	0,1335	15,51	0,0675	15,31	0,0812	15,58	0,0633	15,74	0,0546
Total Med:	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Minimo:	14,86	0,1229	14,42	0,1843	14,49	0,1728	14,19	0,2277	14,90	0,1184	15,48	0,0694
Maximo:	18,01	0,0068	16,87	0,0193	16,24	0,0345	18,12	0,0061	17,56	0,0102	18,74	0,0034
Desv Estd	0,91	0,03	0,45	0,03	0,38	0,03	1,05	0,06	0,62	0,03	0,72	0,02
NIVEL PL	CONTAMINADO		MUY CONTAMINADO		MUY CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO	

Fuente: Autores.

Como en los casos de las zonas anteriores, la revisión de los puntos COE1 a COE6 considera las variables correspondientes a iluminación de la luna, nubosidad, humedad, temperatura ambiente y presencia de lluvia (ver Anexo 3).

En toda la zona oeste-este de acuerdo a las mediciones, la mayor desviación estándar podemos encontrarla en el punto OE4, con un valor de 1,05. La representación gráfica de las mediciones durante toda la noche se muestran en el anexo 2.

4.3.5.2 CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES LUMÍNICAS CON LA NUBOSIDAD, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN LA ZONA CENTRO OESTE - ESTE

En la siguiente tabla se puede observar las correlaciones entre la nubosidad, humedad relativa, temperatura y los datos lumínicos, recordando que la información usada para los cálculos no fueron tomados al mismo tiempo. Los tipos de correlaciones encontradas se describen en el punto 4.3.1.2.

Tabla 4. 15 Índice de Correlación - Zona Centro Oeste - Este

Centro OESTE - ESTE			
		NUBOSIDAD	SQM-LU-DL
NUBOSIDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	0,326944832
	N	6	6
SQM.LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	0,326944832	1
	N	6	6
		HUMEDAD	SQM-LU-DL
HUMEDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,363579206
	N	6	6
SQM.LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,363579206	1
	N	6	6
		TEMPERATURA	SQM-LU-DL
TEMPERATURA	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,298812642
	N	6	6
SQM.LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,298812642	1
	N	6	6

Fuente: Autores.

Se puede observar que existe una correlación positiva entre los valores de brillo del cielo y la nubosidad, pero como el índice de correlación es bajo (<0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y humedad relativa, pero como el índice de correlación es bajo (< -0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y la temperatura, pero como el índice de correlación es bajo la relación entre estos dos factores es no significativa, para esta zona.

4.3.6 ZONA CÉNTRICA SUR- NORTE DE LA CIUDAD DE CUENCA.

En la zona céntrica sur-norte de la ciudad de Cuenca se realizaron las mediciones en 5 lugares, mismos que fueron seleccionados y distribuidos de manera que abarquen toda la parte central de la Ciudad. En la figura 4.6 se puede observar la ubicación de estos puntos.

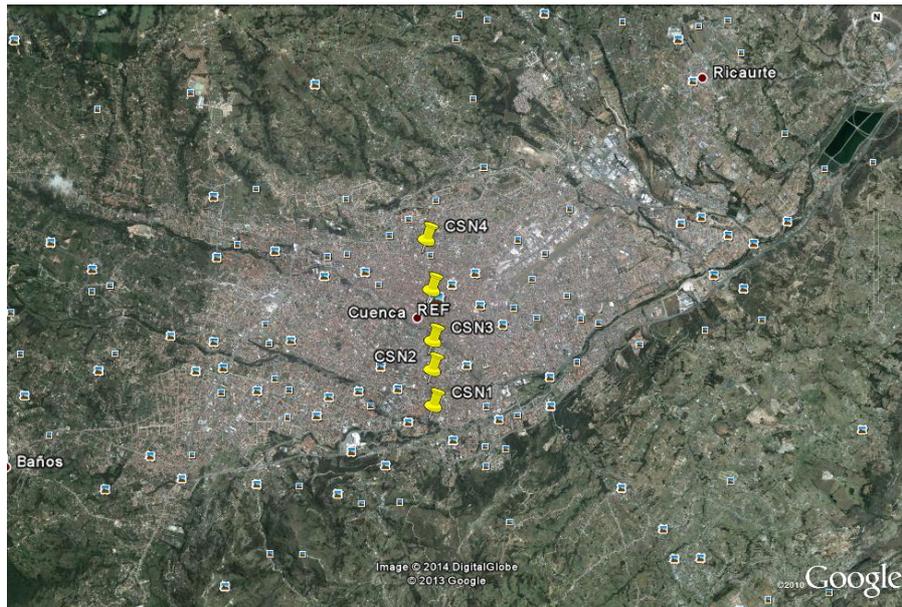


Figura 4. 6 Puntos Zona Centro Sur – Norte.

Fuente: Autores.

En la tabla 4.16 se da la dirección de los puntos de medición.

Tabla 4. 16 Direcciones Zona Centro Sur-Norte.

ZONA CENTRO SUR-NORTE		
PUNTO	CODIFICACIÓN	DIRECCIÓN
CENTRO SUR-NORTE 1	CSN 1	Av.27 de Febrero y Av. Roberto Crespo
CENTRO SUR-NORTE 2	CSN 2	Roberto Crespo y Av. Luis Moreno Mora
CENTRO SUR-NORTE 3	CSN 3	Cámara de Industrias
CENTRO SUR-NORTE 4	CSN 4	Calle Mariscal Sucre y Calle Benigno Malo
CENTRO SUR-NORTE 5	CSN 5	Rafael María Arízaga y General Torres

Fuente: Autores.

4.3.6.1 REVISIÓN DE LA ZONA

En el Anexo 1 se presentan los valores medidos de luminancia en mag/(arcseg²) y su respectiva transformación a cd/m². Para determinar el valor que corresponde al punto de medida se realiza el cálculo del promedio, estos resultados se muestra en la tabla 4.17.

Tabla 4. 17 Luminancia del cielo en la Zona Centro Sur-Norte de la Ciudad de Cuenca.

	CSN1		CSN2		CSN3		CSN4		CSN5	
	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)
Promedio:	17,01	0,0170	16,52	0,0267	15,19	0,0910	15,24	0,0868	17,55	0,0103
Media:	16,97	0,0176	16,49	0,0273	15,18	0,0915	15,23	0,0875	17,53	0,0105
Moda:	16,19	0,0361	17,45	0,0113	15,63	0,0605	15,37	0,0768	18,25	0,0054
Total Med:	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Mínimo:	15,47	0,0701	14,47	0,1760	14,41	0,1860	14,44	0,1809	15,54	0,0657
Máximo:	18,81	0,0032	17,77	0,0084	16,24	0,0345	17,00	0,0171	18,43	0,0046
Desv Estd	1,12	0,02	0,95	0,04	0,43	0,04	0,53	0,04	0,82	0,01
NIVEL PL	MEDIANAMENTE CONTAMINADO		CONTAMINADO		MUY CONTAMINADO		MUY CONTAMINADO		MEDIANAMENTE CONTAMINADO	

Fuente: Autores.

Como se procedió para las zonas anteriores, la revisión de los puntos CSN1 a CSN5 toma en cuenta las variables correspondientes a iluminación de la luna, nubosidad, humedad, temperatura ambiente y presencia de lluvia (ver Anexo 3).

En toda la zona sur-norte de acuerdo a las mediciones, la mayor desviación estándar podemos encontrarla en el punto CSN5, con un valor de 1,12. La representación gráfica de las mediciones durante toda la noche se muestran en el Anexo 2.

4.3.6.2 CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES LUMÍNICAS CON LA NUBOSIDAD, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN LA ZONA CENTRO SUR - NORTE

En la siguiente tabla se puede observar las correlaciones entre la nubosidad, humedad relativa, temperatura y los datos lumínicos, recordando que la información usada para los cálculos no fueron tomados al mismo tiempo. Los

tipos de correlaciones encontradas se describen en el punto 4.3.1.2.

Tabla 4. 18 Índice de Correlación - Zona Centro Sur - Norte

Centro SUR – NORTE			
		NUBOSIDAD	SQM-LU-DL
NUBOSIDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	0,297999117
	N	5	5
SQM.LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	0,297999117	1
	N	5	5
		HUMEDAD	SQM-LU-DL
HUMEDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,772520814
	N	5	5
SQM.LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,772520814	1
	N	5	5
		TEMPERATURA	SQM-LU-DL
TEMPERATURA	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	0,165505546
	N	5	5
SQM.LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	0,165505546	1
	N	5	5

Fuente: Autores.

Se puede observar, que existe una correlación positiva entre los valores de brillo del cielo y la nubosidad, pero como el índice de correlación es bajo (<0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y humedad relativa, y como el índice de correlación es alto (>-0.5) se considera a la relación como significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y la temperatura, pero como el índice de correlación es bajo la relación entre estos dos factores es no significativa, para esta zona.

4.3.7 ZONA DEL PARQUE INDUSTRIAL

En la zona del parque industrial de la ciudad de Cuenca se realizaron las mediciones en 5 lugares, mismos que fueron distribuidos de manera que abarquen toda la zona industrial. En la figura 4.7 se puede observar la ubicación de estos puntos.

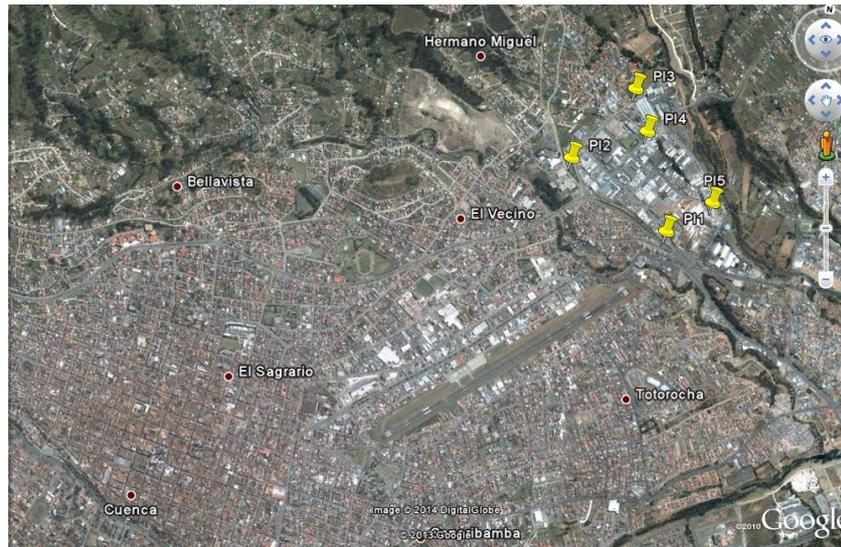


Figura 4. 7 Puntos Zona del Parque Industrial.

Fuente: Autores.

En la tabla 4.19 se da la dirección de los puntos de medición.

Tabla 4. 19 Direcciones Parque Industrial

ZONA PARQUE INDUSTRIAL		
PUNTO	CODIFICACIÓN	DIRECCIÓN
PARQUE INDUSTRIAL 1	PI 1	Av. de la Independencia y Av. de las Américas- frente SECAP.
PARQUE INDUSTRIAL 2	PI 2	Paseo Río Machángara y El Toril-Gasolinera.
PARQUE INDUSTRIAL 3	PI 3	Paseo Río Machángara. Y Calle Pucarumi
PARQUE INDUSTRIAL 4	PI 4	Calle Cornelio Vintimilla y Carlos Tosi.
PARQUE INDUSTRIAL 5	PI 5	Paseo Río Machángara.

Fuente: Autores.

4.3.7.1 REVISIÓN DE LA ZONA

Los valores que se obtuvieron fueron tomados desde las 20:30 a 04:10, en el

Anexo 1 se puede observar el valor de la luminancia en mag/ (arcseg²) y su respectiva transformación a cd/m². Para determinar el valor que corresponde al punto de medida se realiza el cálculo del promedio de estos valores, que se muestra en la tabla 4.20.

Tabla 4. 20 Luminancia del cielo en la zona parque industrial de la Ciudad de Cuenca.

	PI1		PI2		PI3		PI4		PI5	
	MSAS	(cd/m ²)	MSAS	(cd/m ²)						
Promedio:	16,34	0,0315	15,88	0,0479	15,98	0,0437	15,75	0,0544	14,91	0,1176
Media:	16,30	0,0326	15,87	0,0486	15,98	0,0439	15,74	0,0546	14,90	0,1180
Moda:	15,52	0,0669	16,24	0,0345	15,66	0,0588	15,82	0,0507	14,73	0,1385
Total Med:	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Mínimo:	14,75	0,1360	14,78	0,1323	15,35	0,0782	15,14	0,0949	14,61	0,1547
Máximo:	18,58	0,0040	18,19	0,0057	16,54	0,0261	16,96	0,0178	16,45	0,0284
Desv Estd	1,11	0,03	0,71	0,03	0,36	0,02	0,42	0,02	0,31	0,03
Nivel PL	CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO		CONTAMINADO		MUY CONTAMINADO	

Fuente: Autores.

Como se hizo con las zonas anteriores, la revisión de los puntos PI1 a PI5 considera las variables correspondientes a iluminación de la luna, nubosidad, humedad, temperatura ambiente y presencia de lluvia (ver Anexo 3).

Vale destacar que, en la zona del parque industrial la mayoría de puntos se encuentra en un nivel de contaminación medio, sin embargo en el punto PI5 se pudo observar un valor alto de polución lumínica y en este lugar también se tiene una alta contaminación atmosférica. Todo lo revisado en esta zona nos indica que la contaminación atmosférica causa que el efecto del brillo del cielo se incremente y por ende tenemos mayor polución lumínica en esta zona.⁷

En toda la zona del parque industrial de acuerdo a las mediciones, la mayor desviación estándar podemos encontrarla en el punto PI5, con un valor de 1,11. Las gráficas se encuentran en el anexo 2.

⁷ David Galadi Enriquez. Contaminación Lumínica: La propagación de la luz en la atmósfera y sus implicaciones en la astronomía. Explicado en el capítulo 1

4.3.7.2 CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES LUMÍNICAS CON LA NUBOSIDAD, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN LA ZONA DEL PARQUE INDUSTRIAL

En la siguiente tabla se puede observar las correlaciones entre la nubosidad, humedad relativa, temperatura y los datos lumínicos, recordando que la información usada para los cálculos no fueron tomados al mismo tiempo. Los tipos de correlaciones encontradas se describen en el punto 4.3.1.2.

Tabla 4. 21 Índice de Correlación - Zona Parque Industrial

PARQUE INDUSTRIAL			
		NUBOSIDAD	SQM-LU-DL
NUBOSIDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,464995058
	N	5	5
SQM.LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,464995058	1
	N	5	5
		HUMEDAD	SQM-LU-DL
HUMEDAD	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,660310622
	N	5	5
SQM.LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,660310622	1
	N	5	5
		TEMPERATURA	SQM-LU-DL
TEMPERATURA	CORRELACIÓN DE PEARSON	1	-0,114040854
	N	5	5
SQM.LU-DL	CORRELACIÓN DE PEARSON	-0,114040854	1
	N	5	5

Fuente: Autores.

Se puede observar, que existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y la nubosidad, pero como el índice de correlación es bajo (< -0.5) se considera a la relación como no significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y humedad relativa, y como el índice de correlación es alto (> -0.5) se considera a la relación como significativa, para esta zona.

Existe una correlación negativa entre los valores de brillo del cielo y la temperatura, pero como el índice de correlación es bajo la relación entre estos dos factores es no significativa, para esta zona.

4.4 METODOLOGÍA

En el presente punto se sugiere una metodología para la determinación de la polución lumínica en la ciudad de Cuenca.

Es decir se indican los pasos a seguir para sistematizar el proceso de determinación de la polución lumínica, que básicamente se puede resumir en: recopilación de información, zonificación, uso de programas computacionales, procedimiento para las mediciones, creación de una base de datos de las medidas realizadas, validación, análisis y finalmente elaborar y dar a conocer el mapa de polución lumínica, que se podrá lograr con mediciones, donde cada punto tenga las mismas condiciones de medición.

4.4.1 SITUACIÓN ACTUAL

La Centrosur, en su afán de brindar la mejor calidad de iluminación, preservar el medio ambiente y tener sistemas de alumbrado público eficientes, ha visto la necesidad de asumir políticas que permitan incrementar la calidad de servicio, y, siempre preocupado en sus usuarios, implementar proyectos en temas de iluminación.

Para el efecto se dispone de una amplia información acerca del alumbrado público en varios aspectos como diseños, planos constructivos, base de datos sobre características de luminarias, etc. A pesar de esto, la Centrosur no dispone de estudios del impacto que tiene el alumbrado público sobre el brillo de nuestros cielos, es decir niveles de polución lumínica que afecta a nuestra urbe, es por eso que esta tesis plantea una metodología que debería ser observada por la Empresa para en el futuro emprender proyectos permanentes para determinar los niveles de polución lumínica en Cuenca.

4.4.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.4.2.1 HIPÓTESIS

Una evaluación de la polución lumínica, causada por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca, permitirá adoptar medidas para conseguir un sistema de

alumbrado público más eficiente y evitar altos niveles de contaminación lumínica.

4.4.2.2 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una metodología para la evaluación de la contaminación lumínica producida por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca.

4.4.2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mostrar un esquema de zonificación que tendrá la ciudad de Cuenca.
- Dar a conocer las variables relacionados con la contaminación lumínica en la ciudad.
- Mostrar el funcionamiento correcto del equipo medidor de la calidad del cielo.
- Presentar de manera gráfica los niveles de contaminación lumínica.

4.4.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo que se propone para evaluar la contaminación lumínica en Cuenca, es similar a la metodología general elaborada para el desarrollo de la tesis, misma que se indica en el siguiente diagrama de flujo. Vale indicar que si bien el diagrama se plantea para la ciudad de Cuenca, puede ser extendido a otras ciudades de la región y el país.

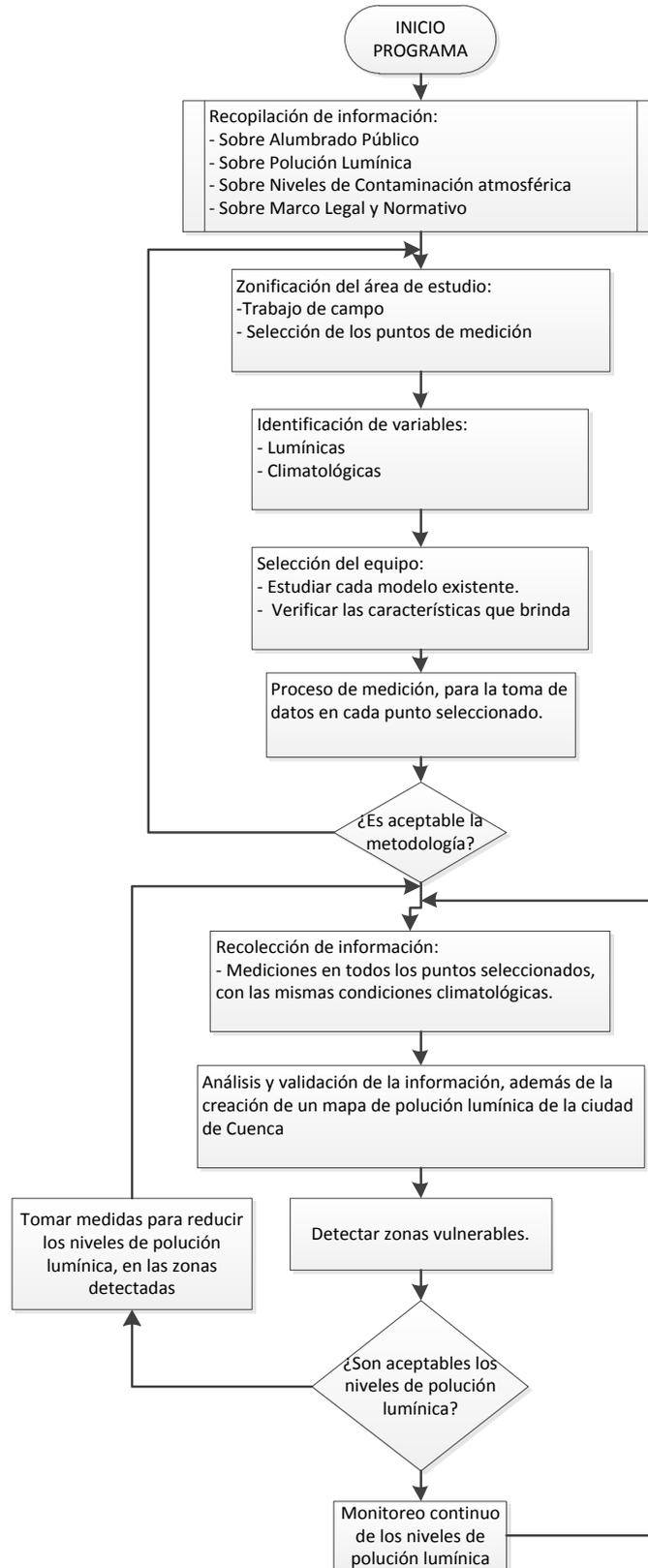


Figura 4. 8 Diagrama de Trabajo

Fuente: Autores.

Como se mencionó anteriormente, esta tesis es un primer paso para determinar la polución lumínica en Cuenca y, por tanto, varios de los aspectos definidos en este trabajo de graduación pueden servir para futuras campañas de medición de la Centrosur, dentro de un proceso permanente de determinación de la polución lumínica en la ciudad e incluso, en el futuro, extenderlo a otras ciudades.

En ese sentido, aspectos tales como recolección de información, zonificación, etc., bien pueden quedar definidos para posteriores mediciones y la revisión de dichos aspectos deberá hacerse únicamente cuando sea necesario, por ejemplo si cambia la tecnología de luminarias o si se reforma/amplía la normativa vigente.

4.4.4 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información utilizada para el desarrollo del trabajo constará básicamente de:

- Alumbrado Público
- Polución lumínica
- Niveles de contaminación atmosférica
- Marco legal y normativo

En cuanto a la información concerniente al alumbrado público, se debe tomar en cuenta el tipo de luminaria, lámpara, localización de cada punto de medición que se analice, cuya información puede ser proporcionada por la misma empresa Centrosur.

La información concerniente a polución lumínica, y marco legal y normativo proviene principalmente de una búsqueda bibliográfica, que permita tener información de trabajos de la misma índole, dentro y fuera del país, normativa vigente, etc. que ayuden a fortalecer la metodología planteada.

Para la información acerca de los niveles de contaminación atmosférica, se debe recurrir a las instituciones responsables. En el caso de Cuenca, se debe solicitar estos datos a la Empresa Municipal de Movilidad EMOV EP, encargada del monitoreo atmosférico continuo en la ciudad.

4.4.5 ZONIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO: CIUDAD DE CUENCA

En base a las mediciones realizadas y descritas en el Capítulo 3, se pudo llegar a la conclusión, que el número mínimo de estaciones de medición necesarios para cubrir la ciudad de Cuenca son 25, cada uno de ellos a una distancia de aproximadamente 1,5 Km (Sección 3.6).

Tabla 4. 22 Estaciones de medición.

PUNTO	ESTACIÓN	PUNTO	ESTACIÓN	PUNTO	ESTACIÓN
1	Calle de la Magnolia y Camino a Racar	10	Capulispamba a la altura de CELEC EP.	19	Av. de las Américas y Av. Loja.
2	Euclides y Abelardo J. Andrade	11	Calle Manuel Balarezo y Calle Mariano Estrella	20	Vía Troncal de la Sierra (E35) y Av. 12 de Octubre.
3	Av. de las Américas y Calle Tarqui. Basílica de Cuenca	12	Av. Remigio Crespo y Calle Imbabura. Edificio MIESS.	21	Av. 12 de Octubre y Cristobal Colon.
4	Av. de las Américas y Barrial Blanco	13	Calle Benigno Malo y Calle Sucre. Edificio de la Ilustre Municipalidad de Cuenca.	22	Vía Troncal de la Sierra (E35) y Av. 24 de Mayo.
5	Calle Cornelio Vintimilla y Carlos Tosi.	14	Calle Octavio Díaz. Sector Cementerio	23	Vilcabamba y Av. 24 de Mayo
6	Av. de los Andes – Fureran	15	Av. de las Américas y la vía Troncal de la Sierra (E35).	24	De los X juegos Bolivarianos y Domingo Astudillo
7	Victoria del Portete - Parque Machángara	16	Av. Isabela la Católica y Cieza de León	25	Calle Tomás de Heres y Calle Manuel Arteaga
8	Panamericana Norte y Camino a Paccha.	17	Av. Roberto Crespo y Av. Luis Moreno Mora.		
9	Panamericana Norte.	18	Calle Pancho Villa y Calle José Martí		

Fuente: Autores.

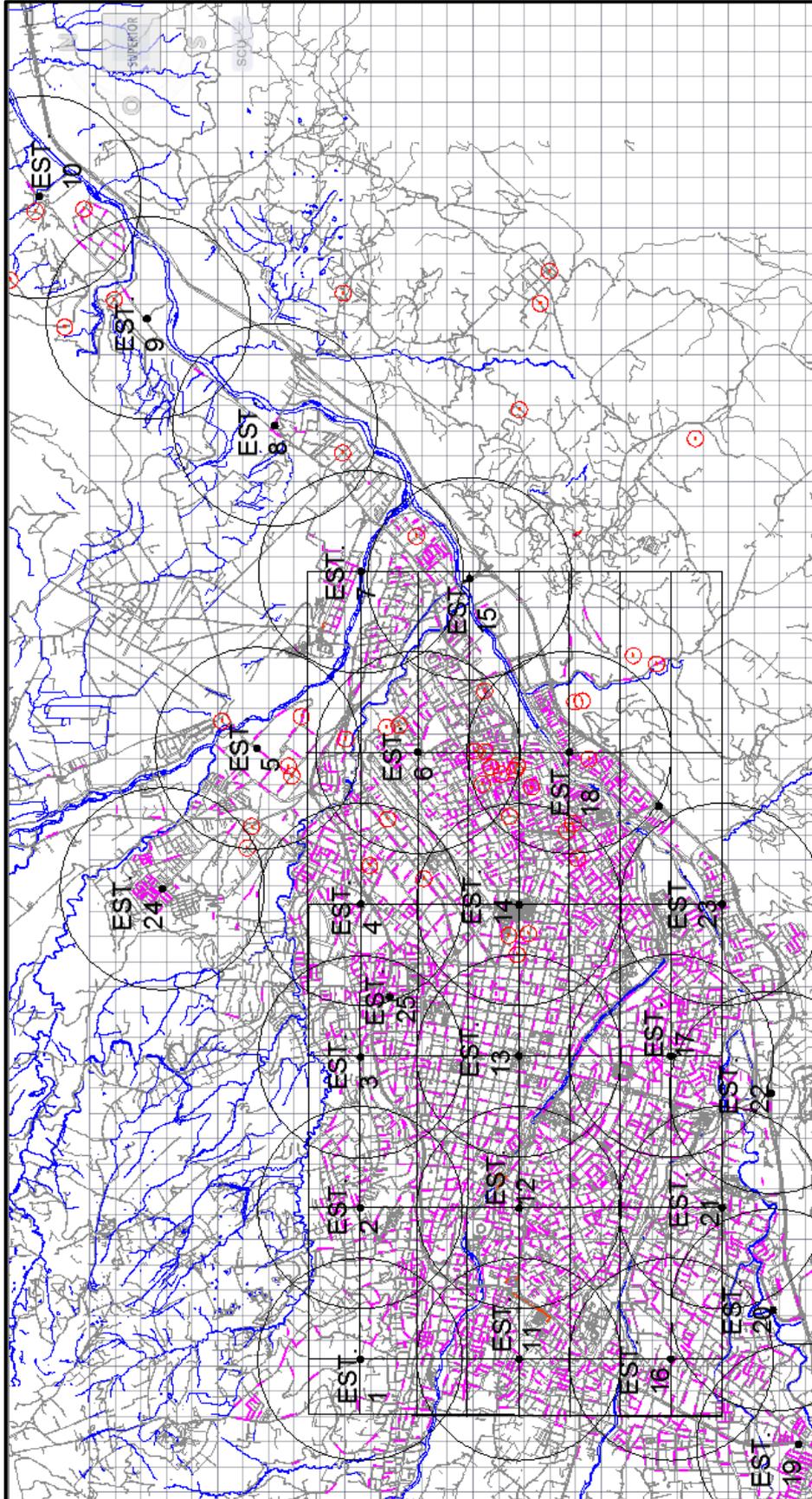


Figura 4. 9 Estaciones de Medición

Fuente: Autores.



4.4.6 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

En cada punto de medición se deberá llenar una hoja de variables que intervienen en las mediciones y que servirán como respaldo para saber las condiciones en las que fueron tomadas las mismas. El formato propuesto es el mostrado en la Figura 4.10. Los datos posteriormente serán registrados a una hoja de Excel.

EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A. DEPARTAMENTO DE ALUMBRADO PÚBLICO ESTUDIO DE POLUCIÓN LUMÍNICA						
Localidad:	Provincia/Cantón:	Hora de Inicio:	Puesta del Sol:			
Fecha de Inicio:	Fecha de Finalización:	Hora de Finalización:	Salida del Sol:			
Variables de Estudio						
Ubicación Geográfica	Característica de la Luna		Contaminación Atmosférica		Tipo de Construcción	
	Fase	% de Iluminación	MP10	NO2	<input type="checkbox"/>	Residencial
					<input type="checkbox"/>	Comercial
					<input type="checkbox"/>	Industrial
Clima				Vegetación		
Nubosidad	Humedad	Temperatura Ambiental °C	Precipitación		<input type="checkbox"/>	Alta
			<input type="checkbox"/>	Lluvia	<input type="checkbox"/>	Media
			<input type="checkbox"/>	Llovizna	<input type="checkbox"/>	Baja
			<input type="checkbox"/>	Seco		
Realizado por:						
Observaciones						
Firma						

Figura 4. 10 Formato para registro de características del punto de medición.

Fuente: Autores.

Ubicación Geográfica: Como se indicó en el punto 3.4, las coordenadas del punto de medición pueden ser tomadas con la ayuda de la aplicación Google Earth 7.1.2.2041.

Característica de la Luna: La fase de la luna y el porcentaje de iluminación para el día de medición se pueden tomar de las páginas web:

- <http://www.tutiempo.net/ecuador/cuenca.html?datos=calendario#Calendario>
- <http://www.inocar.mil.ec/mareas/calendario.php>

Clima: Se pueden tomar los datos de la página web:

- http://www.meteored.com.ec/graficas_tiempo-Cuenca-20244-7.html

Además se deberá marcar el tipo de precipitación que se tenga para ese día en

particular, como se presenta en la Figura 4.10.

Contaminación Atmosférica: Como se indica en el punto 3.4, los datos son tomados del estudio de calidad del aire en la ciudad de Cuenca que lo realiza la RED DE MONITOREO EMOV E.P.

Tipo de Construcciones: Se deberá marcar si el sector de estudio es residencial, comercial o industrial, según sea el caso.

Vegetación: Se tomará en cuenta el tipo de vegetación del sector, pudiendo ser BAJA, MEDIA y ALTA, como se indicó en el punto 3.4.

4.4.7 SELECCIÓN DEL EQUIPO

Como se describió en la sección 3.5, el equipo seleccionado para las mediciones de la calidad del cielo en la ciudad de Cuenca, y que presenta las mejores características técnicas, de costo y tamaño, es el SQM-LU-DL, fabricado por la empresa Unihedron, que es un fotómetro que mide el brillo de los cielos en la noche en una banda espectral semejante a la de la sensibilidad humana, utilizado para determinar lugares aptos donde se pueden realizar observaciones astronómicas. Por lo tanto se sugiere utilizar este equipo u otro de características similares, que se considere adecuado.

4.4.8 PROCESO DE MEDICIÓN

Las mediciones deben ser realizadas por los dos meses de funcionamiento de las baterías, de manera que para el análisis se recomienda tomar los datos recolectados hasta en un 86 % de visibilidad de la superficie lunar (iluminación por parte de la luna). Este porcentaje es el propuesto por los autores, tomado en función a la página web descrita en la sección 3.4. Es recomendable la medición en los días que la luna presente valores reducidos de iluminación, de manera que esto no afecte a las medidas tomadas y sean lo más reales posibles. Como referencia, y en base solamente al calendario lunar, no se deberían realizar las mediciones en la fase de luna llena.

Si se utiliza el equipo SQM-LU-DL, los siguientes pasos permitirán configurar el equipo, antes de ser colocado en el sitio adecuado:

1. Conectar el equipo SQM-LU-DL al computador mediante el cable USB, este proceso será reconocido por el equipo.
2. Comprobar que la hora del computador sea la correcta.
3. Abrir el programa UDM (Software Administrador de Dispositivos Unihedron) que es proporcionado en el CD que acompaña al equipo.
4. Cuando el programa esté abierto se debe dar click en “Find” para que el equipo sea reconocido, y luego seleccionar el dispositivo.
5. Colocarse en la pestaña “Data Logging”.
6. Sincronizar el reloj del dispositivo con el del computador, dando click en “set”, asegurándose que esté en cero segundos.
7. Dar click en cada 10 minutos en la sección de “Trigger”, permitiéndonos tomar medidas en este periodo de tiempo.
8. Colocar los datos del Sector en la pestaña de “Header”.
9. Ir a la pestaña “Firmware” para poder cargar el firmware del equipo.
 - 9.1 Seleccionar el último firmware en la pestaña “Select Firmware”
 - 9.2 Dar click en “Load Firmware” para que se cargue en el equipo.
10. Desconectar el equipo, y equipar la batería, la cual servirá de alimentación a lo largo de las mediciones; asegurarse que el LED de color rojo se encienda al conectar.

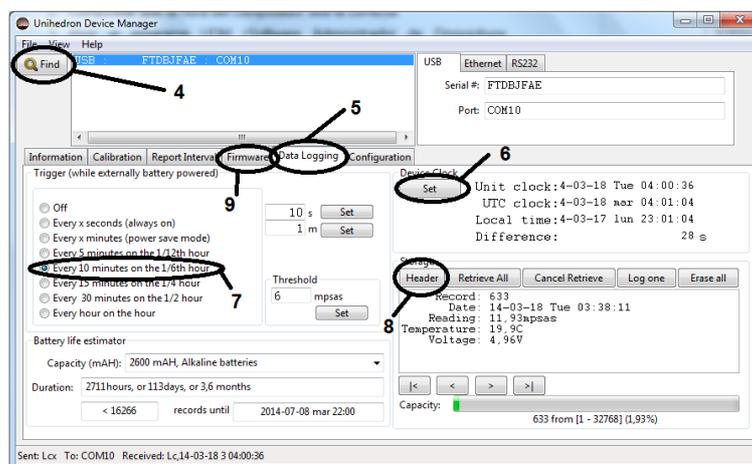


Figura 4. 11 Programa UDM.

Fuente: Impresiones de pantalla UDM.

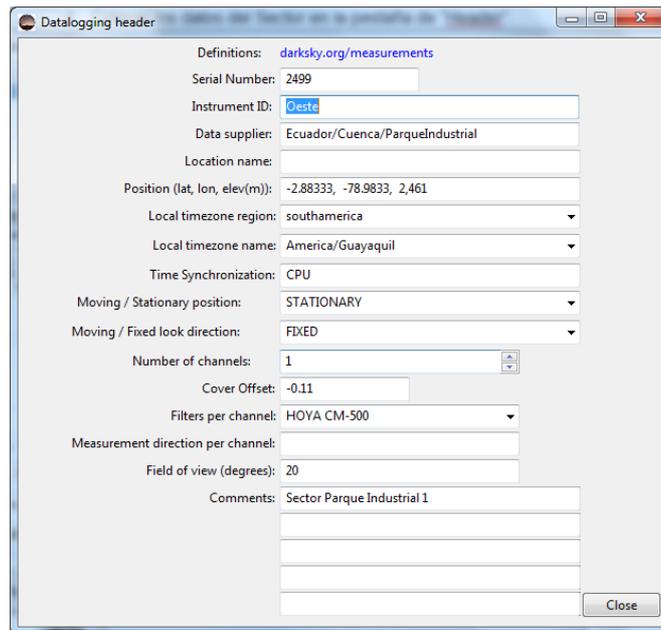


Figura 4. 12 Encabezado UDM.

Fuente: Impresiones de pantalla UDM.

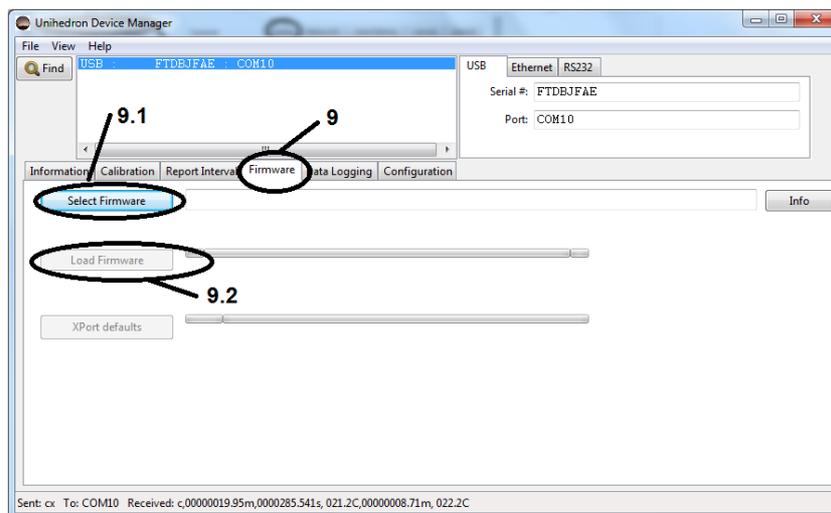


Figura 4. 13 Cargar firmware del equipo.

Fuente: Impresiones de pantalla UDM.

Para descargar la información al computador se deberá seguir los siguientes pasos:

1. Conectar el equipo SQM-LU-DL al computador, mediante el cable USB.
2. Arrancar el programa UDM.
3. Seleccionar el dispositivo como se realizó anteriormente.

4. Dar click en la pestaña “Data Logging”.
5. Para poder tener los datos recolectados por el equipo, dar click en “Retrieve All”.
6. Cuando se compruebe que los datos han sido recuperados satisfactoriamente, se puede borrar la memoria para una próxima medición.

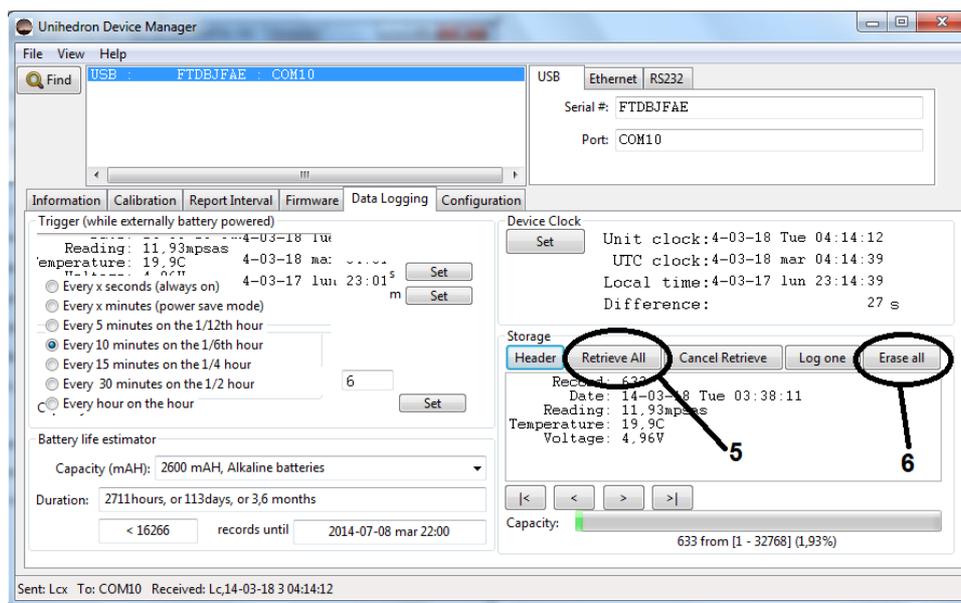


Figura 4. 14 Programa UDM – Sección Data Logging.

Fuente: Impresiones de pantalla UDM.

Para el proceso de recopilación de la información se tuvo la participación de la Centrosur, en especial del Departamento de Alumbrado Público.

PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS:

1. Realizar la inspección previa del lugar que permita colocar el equipo en un punto donde no sea afectado por una luz artificial directamente, por ejemplo en la estación 1, se recomienda la colocación en el poste N° 353250, ubicado en la calle de la Magnolia y camino a Racar.
2. Recopilar la información pertinente a las variables de estudio, para el día de la medición (sección 4.4.5)
3. Configurar el equipo como se indicó en los párrafos anteriores.

4. Colocar el equipo SQM-LU-DL en la cubierta protectora (asegurarle con cinta aislante) con su respectiva batería que servirá como suministro de energía a lo largo de la medición.
5. Cuando se esté en el lugar considerado para la medición, preparar el equipo, con el soporte construido para la mejor colocación en los postes de la ciudad.
6. Colocar el equipo en sitios predeterminados.
En lugares como en el centro de la ciudad en donde no hay estructuras de soporte (postes) para el equipo, se procederá a colocarlos en edificios altos y fuera del alcance directo de fuentes de luz artificial.
7. Se dejará colocado el equipo según lo descrito en el punto 4.4.12, para luego proceder a desmontarlo de la estructura.

4.4.9 ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para realizar el análisis de los datos medidos se debe recordar que otras fuentes de luz, que no son del alumbrado público, pueden influir en los valores evaluados, entonces en la selección de datos a ser analizados se debe tener en cuenta las consideraciones siguientes:

- a) En el anochecer y amanecer existe flujo luminoso del sol que influye en las lecturas.
- b) En horas del anochecer entre 18 - 21 existen centros comerciales en funcionamiento y muchas veces tienen gran cantidad de luces publicitarias.
- c) El alumbrado residencial exterior e interior aportan con flujo luminoso en dirección del cielo.

Para la validación de datos se toman en cuenta aquellos registrados a partir de dos horas después del anochecer y dos horas antes del amanecer. De esta manera se evita los aportes de flujo luminoso por cualquiera de las situaciones descritas en los puntos anteriores, se sugiere analizar particularmente los datos registrados desde las 20:30 hasta las 4:10 am del siguiente día.

Se propone una simbología y sus rangos de niveles de contaminación lumínica, los cuales son descritos en la tabla 4.23.

Tabla 4. 23 Simbología propuesta para Centros Urbanos.

MAGNITUD (MSAS)	SIGNIFICADO	COLOR
SQM < 15.4	MUY CONTAMINADO	BLANCO
SQM 15.4 - 16.6	CONTAMINADO	ROJO
SQM 16.6 - 17.8	MEDIANAMENTE CONTAMINADO	NARANJA
SQM 17.8 – 18.8	LIGERAMENTE CONTAMINADO.	AMARILLO
SQM 18.8 – 21.6	ACEPTABLE	VERDE

Fuente: Autores

Como se conoce en un centro urbano, donde la iluminación es primordial, los rangos permitidos de brillo del cielo pueden ser mayores, que en lugares donde se ubican observatorios astronómicos.⁸

Con los valores medidos y con la zonificación establecida se podrá determinar en qué rango de polución lumínica se encuentra en cada punto seleccionado, pudiendo ser este: aceptable, ligeramente contaminado, medianamente contaminado, etc. Luego se usa la simbología propuesta para la elaboración de un mapa de la ciudad con los respectivos colores. El mapa dará una idea general de que zonas tienen los más altos niveles de polución.

4.4.9.1 ANALISIS DE DATOS MEDIDOS

Los datos descargados del SQM-LU-DL en el computador se proceden a incorporarlos a una hoja de cálculo de Excel. Luego con estos datos registrados entre las 20:30 hasta las 4:10 se calcula el promedio de estos valores, el valor máximo, el valor mínimo, la variación estándar que nos sirven para analizar cada punto medido y definir si alguna zona se encuentra o no con altos niveles de polución lumínica, pero tomando siempre en cuenta las

⁸ La forma de construcción de la escala propuesta por los autores, se describe en la sección 4.5.

condiciones en las que fueron tomados.

También, como se muestra en la sección 4.3, se debe realizar las correlaciones con los datos climatológicos como; temperatura, humedad, y nubosidad, para determinar cómo contribuyen estas variables con el incremento de brillo del cielo.

4.4.9.2 ELABORACIÓN DE UN MAPA DE POLUCIÓN LUMÍNICA

Para un mejor entendimiento y fácil determinación si una zona se encuentra o no contaminada, el presente estudio recomienda la creación de un mapa que puede indicar gráficamente los sectores que se encuentran afectados, siempre que todos los valores medidos sean realizados al mismo tiempo.

Para la creación de este mapa se recomienda usar el programa ArcGis o similar, el cual es una herramienta diseñada para el tratamiento de información geográfica digitalizada, con la ayuda de la herramienta ArcMap del GIS (Geographic Information System) [48], para la incorporación, procesamiento e interpolación de la información con las mediciones realizadas en la ciudad.

Para la construcción del mapa se puede usar la simbología planteada en la sección 4.4.9 para la representación de la polución lumínica (Tabla 4.23).

En el Anexo 6 se presenta un mapa referencial de polución lumínica de la ciudad de Cuenca. Para la elaboración de este mapa se usaron los valores medidos en todas las zonas de la ciudad. Se debe recordar que este mapa no es definitivo y no expresa la situación actual de la ciudad, solo presenta lo que se conseguiría al poner en práctica la metodología propuesta, ya que las medidas no fueron realizadas al mismo tiempo ni con iguales condiciones climáticas en todos los puntos.

4.4.10 DETECCIÓN DE ZONAS VULNERABLES

Después que se elabore el mapa de polución lumínica se procede a observar las zonas que presentan los colores blanco y rojo, puesto que esto significa que son las áreas con los niveles más altos de contaminación.

Con ello se puede realizar una lista de los lugares con valores de polución lumínica más altos a fin de implementar las mejoras necesarias, priorizando las zonas más contaminadas para ser intervenidas lo más rápido posible.

Este punto es esencial ya que aquí se debe decidir si se toman medidas correctivas en los lugares que se encuentran contaminados, o en caso de tener valores bajos de polución lumínica realizar una evaluación después de un periodo determinado.

4.4.11 TOMA DE MEDIDAS CORRECTIVAS

Una vez detectadas las zonas más contaminadas se puede comenzar la implementación de medidas correctivas.

En este punto las instituciones responsables se encargarán de desarrollar nuevos proyectos o mejoras en el sistema de alumbrado público. Estos proyectos siempre serán enfocados a mejorar la eficiencia energética y reducir la polución lumínica, salvaguardando el buen servicio a la ciudadanía.

Después de la implementación de las mejoras necesarias se puede volver a realizar las mediciones con el equipo SQM-LU-DL para comprobar si efectivamente se redujeron los niveles de polución lumínica.

4.4.12 MONITOREO CONTINUO

La medición de los niveles de polución lumínica, se recomienda realizarla con frecuencia trimestral, durante el primer año que corresponde a la etapa de implementación de estaciones de monitoreo permanente. Luego en la etapa de operación puede realizarse la medición cada semestre, durante 2 años. Terminados estas etapas se podrá evaluar la necesidad de realizar un monitoreo; mensual, trimestral, semestral, o anual según sea conveniente para un buen seguimiento de los niveles de polución lumínica de la ciudad. Los periodos de tiempo recomendados para el monitoreo de la polución lumínica, se basan en experiencias presentadas en planes de monitoreo ambiental para la reducción del ruido [49]. El periodo de monitoreo dependerá de varios factores entre los que se puede citar: el nivel de importancia que represente

para la ciudad la calidad del cielo, la factibilidad económica que se tenga para la implementación del sistema de monitoreo, la necesidad de más datos para un buen análisis de la polución lumínica, y de las características técnicas del equipo de medición.

Por ejemplo en el caso de usar el SQM-LU-DL, las baterías duran un tiempo estimado de 2,8 meses [42], por lo cual los datos serán registrados durante dos meses de manera continua y el siguiente mes se realizaría la carga de las baterías recargables. Este ciclo de trabajo puede repetirse de manera continua hasta completar el año.

4.5 ANALISIS DEL PROCESO DE MEDICIONES REALIZADO

En el proceso de mediciones desarrollado en el presente trabajo, que sirve de base para plantear una metodología que permita determinar la contaminación lumínica en la ciudad de Cuenca, se pudo obtener un documento de ayuda para próximas investigaciones. A pesar del avance se puede tener vacíos, que a nuestro criterio pueden corregirse si se trabaja algo más en la obtención de información sobre porcentajes diarios de partículas de contaminación atmosférica suspendidas en el aire. En cuanto a las medidas correctivas, un trabajo de investigación con mediciones previas, ayudaría a tomar decisiones mucho más enfocadas a sectores específicos de la ciudad de Cuenca, además que previamente se pueda determinar cuáles son las zonas contaminadas. Cuando se tenga una base de datos mucho más consolidada con suficientes mediciones, se puede tener la información necesaria para la construcción de un mapa de polución lumínica, que indique gráficamente los sectores afectados, además que con esta información un análisis de datos es más fácil realizar. La simbología propuesta, con los valores obtenidos en la medición realizada, debería revisarse en los próximos años cuando la base de datos sea completa, para así poder dar los ajustes necesarios.

Se debe tomar en cuenta que en cada una de las mediciones realizadas no se tuvieron las mismas condiciones de clima, tampoco de iluminación de la luna, un tema importante al momento de tener un resultado global de la polución lumínica en la ciudad de Cuenca, y que puede ser un tema de investigación en

próximos proyectos.

El alumbrado público tiene un componente fundamental al momento de incidir en los valores medidos, además de otros factores en menor medida como luces de domicilios, alumbrado comercial, iluminación de la luna, clima, etc., que afectan de cierta manera los resultados, es por eso que se optó por tomar medidas continuas a lo largo de la noche y madrugada del día siguiente donde se muestra claramente las horas en las cuales podemos suponer una mínima incidencia externa, al menos en el caso de luces que aporten a este fenómeno, ya que la luna y el clima estarán presentes.

Para la creación de la escala recomendada de contaminación lumínica, se toma como punto de partida el nivel de polución lumínica de $21,6 \text{ mag/arcsec}^2$ (Tabla 3.2). Se toma como extremo de este rango el valor de $18,8 \text{ mag/arcsec}^2$. Del análisis de todas las mediciones obtenidas un 10% se ubica entre 18 mag/arcsec^2 y 19 mag/arcsec^2 , es por eso que para el nivel bajo se estableció un rango de una unidad, partiendo de $18,8 \text{ mag/arcsec}^2$. Un 12% del total de mediciones se ubicó entre 17 mag/arcsec^2 y 18 mag/arcsec^2 , mientras que un 30% estuvo entre 16 y 17 mag/arcsec^2 y el 39% se ubicó entre 15 y 16 mag/arcsec^2 por lo que se estableció un rango tanto para el nivel contaminado como para el medio de 1,2 unidades, a partir de $17,8 \text{ mag/arcsec}^2$.

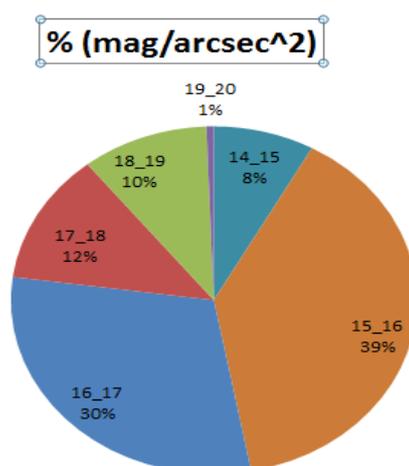


Figura 4. 15 Resumen de valores medidos.

Fuente: Autores.

4.6 LIMITACIONES EN EL TRABAJO REALIZADO

En vista que el tema en estudio, no solo es causado por un foco de luz contaminante, sino que varios son los factores que contribuyen a incrementar los niveles de contaminación, en la presente tesis se tuvo varias limitaciones entre las que se destacan:

- Debido a poseer un solo equipo SQM-LU-DL, las mediciones se consideraron en diferentes días en todos los sectores, con condiciones climatológicas diferentes, como de porcentaje de visibilidad de la luna (iluminación de la luna) distinta, además de nubosidad, humedad, etc., diferentes.
- Por falta de una normativa vigente en el país que regule los valores admisibles de polución que debería tener una ciudad, se tuvo que tomar en cuenta niveles admisibles que presentan trabajos relacionados al tema y así poder establecer límites que debería tener un centro urbano.
- Los institutos meteorológicos ecuatorianos no llevan de forma continua y confiable los datos meteorológicos de las ciudades, tales como temperatura, humedad, nubosidad, por lo cual se usó información de páginas web.
- La tesis limita su análisis a los valores de luminancia del cielo, no analiza la polución lumínica por luz intrusa a domicilios, y que niveles estaría afectando a los ciudadanos.
- No poseer una caracterización completa de la contaminación atmosférica (partículas), para cada día de medición, fue también un limitante.
- En resumen, el análisis es limitado debido a no tener mediciones en un mismo instante de tiempo, y con las mismas condiciones para cada punto.

A pesar de las limitaciones encontradas a lo largo de las mediciones, en este trabajo se plantea una metodología de medición que permita en el futuro tener mediciones globales de los niveles de contaminación lumínica de la ciudad.

4.7 RECOMENDACIONES PARA REDUCIR LA POLUCIÓN LUMÍNICA

Este trabajo se encuentra enfocado a presentar una metodología que ayude a realizar mediciones y determinar la contaminación lumínica en un sector determinado. En base a ello, se puede dar a conocer recomendaciones útiles que ayudarán a la reducción del problema, y seguir unas reglas simples que consisten en iluminar solamente los lugares necesarios y con una intensidad adecuada, además que su aplicación lleva a un ahorro energético.



Figura 4. 16 Tipos de iluminación.

Fuente: Victor G. Bibé. Recomendaciones generales para evitar la contaminación lumínica.
www.sigmaoctantis.com.ar.

Entre las recomendaciones más importantes están:

- Cuando se adquiriera luminarias para alumbrado público, estas deberían presentar en sus catálogos el nivel de FHS calculados en laboratorios certificados, y estos no deben sobrepasar los establecidos en la norma ecuatoriana RTE INEN 069, que ayuda a evitar el flujo lumínico hacia el cielo. El haz de luz producido no debe salirse de las zonas previstas a iluminar, ya que esta es energía desperdiciada, produciendo deslumbramiento, fatiga visual, contaminación lumínica etc.

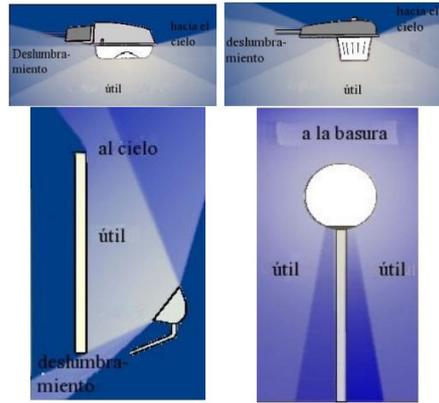


Figura 4. 17 Ejemplos de luminarias mal diseñadas y altamente contaminantes.

Fuente: Victor G. Bibé. Recomendaciones generales para evitar la contaminación lumínica.

www.sigmaoctantis.com.ar

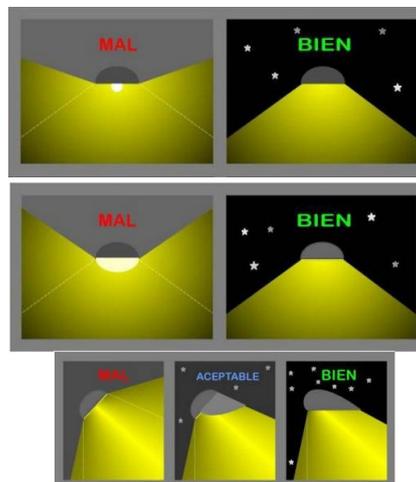


Figura 4. 18 Formas de Iluminar.

Fuente: Victor G. Bibé. Recomendaciones generales para evitar la contaminación lumínica.

www.sigmaoctantis.com.ar

- Se debe propender a un trabajo conjunto entre instituciones (Centrosur, Prefectura, MTOP (Ministerio de Transporte y obras públicas), I. Municipalidad de Cuenca) para la elección del material en vías, aceras, etc., que ayuden a reducir los niveles de reflexión de la luz hacia el cielo.
- A pesar de existir horarios de iluminación en zonas patrimoniales, se recomienda seguir con esta práctica, que ayuda a reducir los niveles de brillo en el cielo.
- Empezar un proceso sistemático para la determinación de los niveles de contaminación lumínica en base a la metodología recomendada.



- Diseñar las instalaciones con el máximo factor de utilización. Esto se refiere a realizar un plan de mantenimiento para el sistema de alumbrado público de forma que se tenga una iluminación de calidad y larga vida del sistema.
- Seleccionar un tipo de lámpara que no irradie su espectro en el infrarrojo o en el ultravioleta puesto que en estas zonas no sirve para mejorar la iluminación. Por ello en la actualidad se aconseja el uso de las lámparas de vapor de sodio de baja y alta presión ya que su espectro se encuentra en mayor parte en la zona del espectro visible.
- Utilizar luminarias que solo dirijan la luz bajo el plano horizontal.
- Colocar el ángulo de enfoque de forma que la luz solo se dirija a la zona a iluminar. Si la altura de ubicación de la luminaria aumenta modificar adecuadamente el ángulo de enfoque.
- Se debe seleccionar brazos que coloquen a la luminaria en forma horizontal. Así mismo en lugares donde los postes estén inclinados se deben tomar las medidas correctivas de forma que el poste este en una dirección vertical y la luminaria en dirección horizontal.
- En el caso de alumbrado ornamental y carteles propagandísticos se debe iluminar desde arriba hacia abajo.
- Empezar campañas de concientización en la ciudadanía en general sobre temas de polución lumínica, sus efectos, consecuencia y beneficios.
- Se recomienda la adquisición de una cubierta adherible a la luminaria que permita direccionar la luz al sector que se debe iluminar (Figura 4.18).

4.8 PLANTEAMIENTO DE UNA RED DE MONITOREO PARA LA EVALUACIÓN DE LA POLUCIÓN LUMÍNICA Y COSTOS ESTIMADOS.

Después de realizar el levantamiento de datos de los niveles de polución lumínica, presentados en el capítulo anterior y con la metodología de medición desarrollada, se decidió proponer como solución; la implementación de una red de monitoreo de polución lumínica para la ciudad de Cuenca.

En esta tesis las medidas fueron puntuales en cada zona, con diferentes

condiciones climatológicas y en diferentes fechas. Se plantea una medición global y sistemática de la polución lumínica en la Ciudad. Para ello primero se deben seleccionar los puntos más idóneos para la implementación de las estaciones de monitoreo.

Esta selección debe considerar que la polución lumínica es producida principalmente por el alumbrado público, que en el centro de la ciudad se estima que presentarán mayores niveles de polución lumínica debido a la mayor densidad de personas y también se estima que las estaciones de monitoreo deberían de ubicarse por lo menos a 1,5 km de distancia según recomendaciones de la empresa Unihedron (Sección 3.6) ya que con estas distancias se puede apreciar un cambio en los valores medidos de polución lumínica, por el Sky Quality Meter. En la figura 4.9 se puede observar las estaciones de medición recomendadas, a partir de los puntos medidos previamente.

Al realizar una medición global de la polución lumínica en toda la ciudad se alcanzarán los siguientes objetivos:

- Obtener de forma simultanea los valores de polución lumínica en toda la ciudad.
- Analizar de mejor manera como afectan los variables como humedad, nubosidad, temperatura, contaminación atmosférica (partículas), sobre la polución lumínica.
- Tener un monitoreo continuo de la evolución la polución lumínica.
- Tomar las medidas correctivas necesarias.

La implementación de un sistema de monitoreo va a requerir, de infraestructura y personal para el monitoreo y control del mismo, lo que implica costos. A continuación se da una estimación de estos costos.

4.8.1 COSTOS ESTIMADOS.

Para la implementación de la infraestructura de medida se requiere considerar los costos de los siguientes elementos:

Sky Quality Meter (SQM-LU-DL): Fotómetro que realiza la medición de luminancia del cielo. En el mapa anteriormente se muestra los puntos donde se pretenden ubicar las estaciones de monitoreo. Se requieren 25 equipos SQM (Figura 3.14).

Domo de protección del SQM-LU-DL: Elemento que sirve para proteger de las inclemencias del clima al SQM. Se requieren 25 domos (Figura 3.15).

Estructura de montaje (brazo): Estructura donde se colocarán los equipos, misma que debe tener las dimensiones mostradas en la Figura 3.16., debido a la necesidad que el equipo quede sobre las lámparas y sus lecturas no sean afectadas por el flujo luminoso. Se requieren 25 estructuras de montaje.

Abrazaderas: Dependiendo del diseño del brazo se requiere de dos abrazaderas por brazo. Estas abrazaderas aseguran el brazo y el SQM al poste.

Módulo de alimentación: Elemento encargado de brindar la energía para el funcionamiento del SQM, al momento se requiere de 6 pilas recargables por cada equipo.

Módulo de carga: Elemento que recarga la energía de las baterías para el funcionamiento del SQM, al momento se requiere de 1 equipo por 4 pilas recargables.

Costo mano de obra para ubicación del equipo: Costo de mano de obra del personal para ubicar el equipo y los elementos necesarios.

Costo mano de obra para retiro del equipo: Costo de mano de obra del personal para retirar el equipo y los elementos necesarios.

Costo mano de obra para configuración y descarga de datos del SQM: Este deberá ser un ingeniero eléctrico o electrónico que configure los SQM y que luego obtenga la información.

Tabla 4. 24 Costos estimados para la implementación de estaciones de monitoreo.

Elementos para estación de monitoreo	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Sky quality meter	25	250	6.250
Domo de protección	25	50	1.250
Infraestructura de montaje	25	20	500
Abrazaderas	50	5	250
Módulo de carga	10	10	100
Módulo de alimentación (baterías)	150	2,5	375
Total			8.725

Fuente: Autores.

Este costo total de \$ 8.725 presentado en la tabla 4.24 se debe a la implementación del sistema de monitoreo, pero luego para realizar las mediciones continuas durante todo el año implicara un costo anual de funcionamiento del sistema de monitoreo, en la Tabla 4.25 se presenta estos costos.

Tabla 4. 25 Costos estimados para funcionamiento de estaciones de monitoreo.

Costo de funcionamiento estación de monitoreo	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Mano de obra de ubicación del equipo	25	40	1.000
Mano de obra de retiro del equipo	25	40	1.000
Mano de obra configuración y descarga de datos	1	1200	3.600
Costo trimestral por instalación			5.600
Costo total por año			22.400

Fuente: Autores.

Debido a que el equipo usa pilas recargables que permiten una duración de 2,8 meses [42] se tendrá que recargar las pilas por lo menos cada 2 meses.

Para el monitoreo de la polución lumínica se recomienda que los equipos sean colocados de manera que tomen lecturas del brillo del cielo durante 2 meses de forma continua, luego se retirarán y el siguiente mes se utilizaría con la finalidad de descargar, validar los datos y recargar las baterías. El costo de instalar, retirar y configurar el SQM es de \$ 5.600 cada trimestre. Y el costo anual llegaría a ser \$ 22.400. Cabe recalcar que el equipo una vez retirado su

fuelle de alimentación, este debe ser configurado nuevamente.

En cuanto al costo total, sumando el equipo y la mano de obra, se tendría un valor de \$ 31.125, recordando siempre que la compra del medidor de la calidad del cielo se lo realiza una sola vez.

4.9 TARIFA Y FACTURACIÓN

La facturación por el servicio de alumbrado público se realiza de acuerdo a las tarifas y políticas establecidas por el CONELEC, las mismas que considera los requerimientos de expansión, mejoras y mantenimiento de los sistemas de alumbrado.

Tabla 4. 26 Facturación mensual

LUMINARIAS INSTALADAS EN EL CANTON CUENCA POR LA CENTROSUR 2013												
MESES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
CANTIDAD DE LUMINARIAS	47.533	47.671	47.820	48.194	48.596	49.195	49.662	50.054	50.377	50.520	51.517	51.545
ENERGÍA TOTAL (kWh)	3.189.827	2.903.488	3.264.521	3.159.267	3.283.049	3.535.629	3.571.528	3.470.603	3.389.094	3.490.988	4.122.375	3.483.987

Fuente: Centrosur.

Tabla 4. 27 Facturación anual

Año	Energía Total anual (kWh)/año	Tarifa (\$/KWh)	FACTURACIÓN (\$/año)
2013	40.864.356,00	0,1103	4.506.031,62

Fuente: Centrosur.

En el año 2013, se tuvo un costo promedio de 0.1103 \$. / kWh, y el total anual de consumo de energía en luminarias considerando el consumo en los balastos fue de 40.864.356,00 kWh/año. Esto representa una facturación de \$ 4.506.031,62 en la ciudad de Cuenca⁹, considerando únicamente el consumo en las luminarias y balastos, ya que el consumo por pérdidas en los conductores y transformadores se considera para el cálculo “Valor Agregado de Distribución” (VAD), con el cual se calcula las tarifas para el servicio eléctrico.

Según un documento presentado por la Dark Sky Association (Asociación Internacional de Cielos Oscuros) [50] [51] se estima que el ahorro energético por causa de la polución lumínica llega hasta un valor alrededor del 30%. Si

⁹ Datos proporcionados por la Centrosur.

consideramos que el porcentaje de energía desperdiciada por causa de la polución lumínica es de un 30% esto representaría un valor de \$ 1.351.809,49.

Pero como 10% de energía desperdiciada en polución lumínica no puede ser controlada ya que esto se debe exclusivamente a flujo luminoso producido por reflexión y difusión en superficies cercanas a las luminarias, si se podría recuperar el 20% de energía desperdiciada lo que equivale a \$ 901.206,32, valor que podría servir para mejorar el sistema de iluminación con elementos más eficientes y también costearía la implementación del sistema de monitoreo de polución lumínica, además de un ahorro energético y la reducción de los niveles de emisión de CO₂ al ambiente.

4.10 SUGERENCIAS PARA REALIZAR TRABAJOS FUTUROS

El tema de polución lumínica es tan amplio que es tratado principalmente en trabajos de doctorados, y con un tiempo de análisis mucho mayor, pero a pesar de las limitaciones que se ha tenido en estas tesis, se tiene el punto de partida para futuros trabajos de investigación, que permita proyectar a la ciudad de Cuenca como una de las urbes con menos contaminación lumínica a largo plazo, que dará resultados satisfactorios.

A continuación se dan sugerencias para ayudar a que este trabajo tenga la continuidad deseada y pueda ser mejorado en el futuro, entre estos tópicos tenemos:

- Implementar por parte de las instituciones pertinentes un sistema de monitoreo continuo de la evolución de este efecto en la ciudad, mediante la continua investigación y el apoyo que se pueda dar para investigaciones futuras.
- Se sugiere un estudio en sectores donde el alumbrado público no es indispensable, como reservas naturales donde la luz incide en la vida normal de fauna y flora, donde se podrá mostrar las diferencias que existen entre los valores obtenidos en una ciudad y una reserva natural.



- Estudiar más a fondo los efectos que tienen las variables aquí presentadas como climatológicas, humedad, nubosidad, iluminación de la luna, material de las carreteras, contaminación atmosférica.
- Proponer un proyecto dirigido hacia el sector rural y poder establecer la incidencia que pueda tener aquí.
- Proponer un plan de mantenimiento dirigido especialmente hacia el alumbrado público por parte de las instituciones pertinentes, que muestre nuevas formas de mantener funcionando en correctas condiciones a la misma.
- Ampliar el análisis a otros sectores tales como parroquias y cantones dentro del área de concesión de la Centrosur.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Un sistema de alumbrado público debe ser diseñado para la iluminación de vías beneficiando tanto a peatones como al tránsito vehicular, además de la parte decorativa en el caso del alumbrado ornamental, y no dirigir este flujo luminoso a zonas inapropiadas como es el caso del cielo.
2. Las normas internacionales presentadas son un resumen que se espera sean tomadas en cuenta para reducir los niveles de polución lumínica, a pesar que la norma ecuatoriana RTE INEN 069 es un gran avance, falta todavía más reglamentación específica.
3. Tanto la Fundación StarLight, como la Organización IDA, no emiten actualmente certificaciones para pueblos, municipios o ciudades, debido a la poca información que se tiene acerca del tema de polución lumínica, pero si lo hacen para parques y reservas naturales.
4. Si bien se ha determinado que en zonas como el centro urbano de Cuenca los niveles de brillo del cielo están fuera de los rangos recomendados, con una planificación previa, análisis de la situación y toma de decisiones, se puede colocar poco a poco estos valores a punto, sin afectar el servicio de alumbrado público.
5. La metodología propuesta deberá ser mejorada paulatinamente a lo largo de las experiencias que se obtengan al poner en marcha proyectos relacionados y con varias investigaciones futuras.
6. Una metodología de investigación bien elaborada, como la propuesta en la presente tesis, ayuda enormemente a la correcta realización del proyecto siguiendo cánones establecidos.
7. El equipo SQM-LU-DL, brindó todas las características necesarias, en cuanto a tiempo de medición y disposición del equipo de trabajo de la



Centrosur, ya que permite grabar los resultados dentro del mismo y descargarlos para análisis posteriores.

8. La metodología establecida en base al proceso de medición realizado, es una buena herramienta que cubre varios aspectos que caracterizan a la polución lumínica.

9. Los valores medidos no son aún lo suficientemente representativos para una evaluación completa de la polución lumínica, debido a que no se tuvo continuidad en el tiempo, se realizaron mediciones parciales con un solo equipo, y además se tuvo diferentes condiciones de medida entre puntos y días de registro.

10. La distancia para la colocación de los SQM-LU-DL, sugerida por la empresa proveedora, es la adecuada y las mediciones de brillo del cielo no presentan variaciones significativas al ser puestos a una menor distancia, permitiendo la reducción del número de equipos para la medición en la ciudad de Cuenca.

11. Los datos obtenidos en las mediciones sirven para establecer un procedimiento, más no para realizar una evaluación integral de la polución lumínica.

12. A partir de los resultados obtenidos en el trabajo “Medición de la Contaminación Lumínica en espacios naturales” [38], y de las correlaciones realizadas con los datos obtenidos en las zonas de la ciudad de Cuenca, se puede concluir lo siguiente: No se encontró una relación significativa entre la polución lumínica con la nubosidad y temperatura, debido a que los índices de correlación entre ellas tienen valores bajos. Se pudo encontrar una correlación negativa alta en las zonas Este, Centro Sur-Norte y Parque Industrial, entre la humedad y el brillo del cielo, esto sugiere que, cuando se tiene mayor humedad en la atmosfera se encontrarán más partículas de agua que reflejarán la luz, dando como resultado una reducción en los valores medidos de brillo del cielo (aumento de la contaminación lumínica). Cabe recalcar que en las zonas Norte, Sur, Oeste y Centro Oeste-Este no se obtuvo valores altos de correlación entre la humedad y el brillo del cielo, datos que deberían ser

analizados en proyectos futuros.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Centrosur, tomar en cuenta las normas aquí planteadas, tendientes a reducir los niveles de polución lumínica.
2. Ampliar los trabajos con la normativa ya desarrollada por el Estado ecuatoriano (INEN) y que en esta tesis es mencionada, realizando las modificaciones necesarias para que se pueda aplicar en la ciudad, y controlar los niveles de polución lumínica.
3. Continuar realizando mediciones para tener mayor cantidad de datos y realizar con mayor detalle la evaluación de la polución lumínica. Así mismo se recomienda mantener actualizados los valores de polución lumínica de la ciudad.
4. Realizar trabajos sobre zonificación en la ciudad para poder establecer los sectores que deberán ser de mayor importancia para la CENTROSUR.
5. Para la realización de mediciones futuras se recomienda siempre colocar el equipo Sky Quality Meter en la parte superior de las lámparas para no ser afectados por flujo directo de luz o flujo reflejado en alguna superficie cercana.
6. Tomar medidas correctivas en el sistema de alumbrado público para reducir la polución lumínica, en sectores que se han detectado como muy contaminados y luego volver a realizar una evaluación para constatar cuanto disminuyeron los niveles.
7. Trabajar con nuevas tecnologías de iluminación, como el caso de la tecnología LED que brinda ventajas de eficiencia energética, teniendo en cuenta que puede producir mayor polución lumínica que las lámparas de sodio.
8. Continuar trabajando en el tema de polución lumínica, de manera que se pueda ir desarrollando mayor conocimiento sobre este efecto.
9. Es recomendable que la Centrosur inicie campañas de información



sobre la polución lumínica, para dar a conocer a la ciudadanía sobre los efectos y soluciones que se tienen para contrarrestar este fenómeno.

10. Trabajar con universidades y centros de investigación para profundizar en el conocimiento del fenómeno, desde una perspectiva técnico-académica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Hernández Ortiz, «Ahorro de energía y Reducción de la Contaminación Lumínica,» México D.F., 2010.
- [2] J. Ianiszewski R., «Círculo Astronómico - Santiago, Chile,» 2007. [En línea]. Available: <http://edition.cnn.com/2008/WORLD/asiapcf/03/29/lights.out.ap/index.html#cn-STCVideo>. [Último acceso: Abril 2014].
- [3] Conferencia General de la UNESCO, «Proclamación del 2009 como año internacional de la Astronomía,» París, 2005.
- [4] E. Colombo y B. O'Donnell, Manual de Iluminación Eficiente, 2002.
- [5] H. Del Pozo, «REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 "ALUMBRADO PÚBLICO".,» Quito, 2013.
- [6] EERCS, «Norma Técnica de Diseños de redes urbanas y rurales de la EERCS,» Cuenca.
- [7] N. U.-E. 60598-1, «Norma UNE-EN 60598-1».
- [8] J. Taboada, Manual de Luminotecnia, España: Dossat S.A., 1983.
- [9] Wikipedia, «Wikipedia,» 28 Abril 2014. [En línea]. Available: http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminación_lumínica. [Último acceso: Abril 2014].
- [10] Descubre el Cielo Oscuro - Proyecto Pilas AIA-IYA, «Año Internacional de la Astronomía 2009,» 2009. [En línea]. Available: http://www.astronomia2009.es/Proyectos_pilares/Descubre_el_Cielo_Oscuro/Definicion_y_Origen_de_la_Contaminacion_Luminica.html. [Último acceso: Diciembre 2013].
- [11] A. P. Rosales, «Sociedad Astronómica Granadina,» Febrero 2002. [En línea]. Available: http://www.astrogranada.org/cieloscurro/htm/que_es_cl.htm. [Último acceso: Diciembre 2013].
- [12] [En línea]. Available: http://www.farq.edu.uy/joomla/images/stories/luminico/AL2008_Contaminacion.pdf.
- [13] L. O. Assaf y G. S. Dutt, «Efficient Lighting,» 2000. [En línea]. Available: <http://www.efficientlighting.net/formerdoc/pubdoc/ELI136.pdf>. [Último acceso: Diciembre 2013].
- [14] RETILAP, «Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado,» Bogotá, 2010.
- [15] T. Lincoln y E. Zeiger, Fisiología Vegetal, Castelló de la Plana: Book Print Digital S.A., 2006.
- [16] ECOLIGHT, «El tratamiento de la Contaminación Lumínica en el Parque Natural de L'Albufera de Valencia,» Valencia, 2002.
- [17] M. N. Barba, «Congreso Nacional del Medio Ambiente».
- [18] INDALUX, «Manual Práctico de Luminotecnia,» 2002.
- [19] Proyecto NIXNOX (Sociedad Española de Astronomía), «LPIYA Group,»



- Abril 2013. [En línea]. Available:
http://www.lpiya.org/nuestrosalumnos/proyecto_nixnox.pdf. [Último acceso: Diciembre 2013].
- [20] J. M. Peña Perez, «Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio,» 2008. [En línea]. Available:
<http://www.infra.upm.es/Documentacion%20U.D.s/GT20%20-%20Contaminacion%20luminica.PDF>. [Último acceso: Enero 2014].
- [21] A. Pons, «Efectos actínicos de la radiación óptica,» Jerez, 1997.
- [22] Oficina de protección de la Calidad del Cielo de Chile y Canarias, «Guía Práctica de Iluminación de Exteriores,» 2010.
- [23] M. G. Renté, «Alteraciones del medio ambiente luminoso: Implicaciones en el hombre,» 2012.
- [24] D. A. Schreuder, «Reducing Obtrusive Light».
- [25] CIE, «NORMA CIE 126-1997,» 1997.
- [26] CIE, «Guidelines for Minimizing Sky-Glow - CIE N° 126,» 1997.
- [27] Gobierno de la Comunidad Autónoma de Andalucía, «Reglamento para la Protección de la Calidad del Cielo Nocturno frente a la contaminación lumínica y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética,» Andalucía, 2010.
- [28] Comunidad Foral de Navarra, «Ley Foral 10/2005,» Navarra, 2005.
- [29] Departamento de medio ambiente y vivienda, «Decreto 82/2005,» Cataluña, 2005.
- [30] Comunidad Autónoma de las Illes Balears, «Protección del Medio Nocturno de las Illes Balears - Ley 3/2005,» Islas Baleares, 2005.
- [31] Comunidad Autónoma de Cantabria, «Prevención de la Contaminación Lumínica,» Cantabria, 2006.
- [32] Municipalidad de Rosario, «Ordenanza N° 6939,» Rosario, 1999.
- [33] Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción, «Norma de emisión para la regulación de la Contaminación Lumínica,» Santiago, 1998.
- [34] INICIATIVA STARLIGHT, «Declaración sobre la defensa del cielo nocturno y el derecho a la luz de las estrellas,» La Plama, 2007.
- [35] Fundación StarLight, «StarLight,» 23 Diciembre 2009. [En línea]. Available:
http://starlight2007.net/index.php?option=com_content&view=article&id=169%3Aatouristdestinations&catid=58%3Astarlight-sites&Itemid=158&lang=es. [Último acceso: 12 Mayo 2014].
- [36] F. StarLight, «StarLight,» 23 Diciembre 2009. [En línea]. Available:
http://starlight2007.net/index.php?option=com_content&view=article&id=172%3Astarlight-reserves&catid=58%3Astarlight-sites&Itemid=160&lang=es. [Último acceso: 12 Mayo 2014].
- [37] Ilustre Municipalidad de Cuenca - Universidad del Azuay, «Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Cuenca,» Cuenca, 2011.
- [38] H. A. Solano Lamphar, «Medición de la Contaminación Lumínica en Espacios Naturales,» Barcelona, 2010.
- [39] V. H. Lobos Vega, «Evaluación del ruido Ambiental en la Ciudad de Puerto Montt,» Puerto Montt, 2008.

- [40] C. Espinoza, «Informe de Calidad del aire. EMOV EP,» Cuenca, 2012.
- [41] D. Galadi Enriquez, «Contaminación Lumínica: La propagación de la luz en la atmósfera y sus implicaciones en la astronomía,» Almería.
- [42] Unihedron, «Manual de Usuario SQM-LU-DL,» 2013.
- [43] T. Flanders, «SKY & TELESCOPE,» 5 December 2008. [En línea]. Available: <http://www.skyandtelescope.com/astronomy-resources/rate-your-skyglow/>. [Último acceso: Marzo 2014].
- [44] C. Troglia, «From Quarks to Quasars,» 13 December 2013. [En línea]. Available: <http://es.fromquarkstoquasars.com/cielo-nocturno/>. [Último acceso: Marzo 2014].
- [45] J. Bortle, «NOVAC (Northern Virginia Astronomy Club),» Febrero 2001. [En línea]. Available: <http://www.novac.com/wp/observing/bortle-scale/>. [Último acceso: Marzo 2014].
- [46] P. Cinzano y F. Falchi, «The Propagation of Light Pollution in the Atmosphere,» 2012.
- [47] G. Aduvillo, «Wikipedia,» [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos84/correlacion/correlacion.shtml>. [Último acceso: Marzo 2014].
- [48] W. F. Pañi Uguña y M. V. Lojano Uguña, «Mapa lumínico del Área Urbana de la Ciudad de Cuenca,» Cuenca, 2011.
- [49] Ministerio Energía y Minas del Perú, «Plan de Monitoreo Ambiental,» Tarucani, 2011.
- [50] International Dark Sky Association, «Residencial Lighting (Good Neighbor Guide),» 2007.
- [51] K. Chichilla, «Las estrellas se apagan con el destello de la humanidad,» Tarija, 2007.

ANEXOS

ANEXO 1

Luminancia del cielo en la Zona Norte. MSAS (mag/arcseg²).

Hora Local	N1		N2		N3		N4		N5		N6		N7	
	MSAS	(cd/m ²)												
20:30:08.000	15,66	0,0588	14,40	0,1877	15,81	0,0512	17,19	0,0144	18,69	0,0036	16,60	0,0247	15,47	0,0701
20:40:08.000	16,19	0,0361	14,65	0,1491	15,87	0,0485	17,55	0,0103	18,63	0,0038	17,59	0,0099	16,23	0,0348
20:50:08.000	16,32	0,0320	14,28	0,2096	15,93	0,0459	15,29	0,0827	18,58	0,0040	17,08	0,0159	15,57	0,0639
21:00:08.000	17,01	0,0170	15,20	0,0898	15,96	0,0446	15,33	0,0797	18,38	0,0048	17,63	0,0096	16,30	0,0326
21:10:08.000	17,26	0,0135	14,33	0,2002	15,9	0,0471	15,35	0,0782	19,00	0,0027	17,46	0,0112	16,14	0,0378
21:20:08.000	16,67	0,0232	14,28	0,2096	15,98	0,0438	15,78	0,0527	18,86	0,0031	17,44	0,0114	16,93	0,0183
21:30:08.000	17,24	0,0137	14,82	0,1275	15,99	0,0434	15,93	0,0459	18,80	0,0033	17,61	0,0098	17,95	0,0071
21:40:08.000	18,20	0,0057	15,42	0,0734	15,95	0,0450	16,00	0,0430	18,76	0,0034	17,62	0,0097	16,12	0,0385
21:50:08.000	17,77	0,0084	15,33	0,0797	15,88	0,0480	15,58	0,0633	19,08	0,0025	17,29	0,0131	16,24	0,0345
22:00:08.000	16,74	0,0217	16,29	0,0329	15,85	0,0494	15,21	0,0890	18,86	0,0031	16,31	0,0323	15,95	0,0450
22:10:08.000	16,98	0,0174	15,59	0,0627	15,84	0,0498	15,78	0,0527	19,20	0,0023	15,94	0,0454	15,44	0,0720
22:20:08.000	16,30	0,0326	15,56	0,0645	15,69	0,0572	16,29	0,0329	18,58	0,0040	16,60	0,0247	15,86	0,0489
22:30:08.000	16,28	0,0332	15,32	0,0804	15,68	0,0577	16,26	0,0338	18,70	0,0036	16,43	0,0289	15,86	0,0489
22:40:08.000	16,28	0,0332	15,35	0,0782	16,36	0,0309	16,04	0,0414	18,51	0,0043	15,94	0,0454	15,81	0,0512
22:50:08.000	16,29	0,0329	14,47	0,1760	16,54	0,0261	15,48	0,0694	18,38	0,0048	16,74	0,0217	15,84	0,0498
23:00:08.000	15,72	0,0556	15,22	0,0882	16,02	0,0422	15,63	0,0605	18,21	0,0056	17,59	0,0099	15,69	0,0572
23:10:08.000	16,69	0,0228	14,70	0,1424	16,17	0,0368	15,62	0,0610	18,36	0,0049	17,50	0,0108	15,42	0,0734
23:20:08.000	17,03	0,0167	14,74	0,1372	15,75	0,0541	16,14	0,0378	18,51	0,0043	17,17	0,0146	15,40	0,0747
23:30:08.000	17,61	0,0098	15,35	0,0782	15,53	0,0663	16,25	0,0342	18,38	0,0048	15,58	0,0633	15,39	0,0754
23:40:08.000	18,44	0,0045	15,31	0,0812	16,23	0,0348	15,54	0,0657	18,38	0,0048	15,61	0,0616	15,35	0,0782
23:50:08.000	18,45	0,0045	15,25	0,0858	15,67	0,0583	15,24	0,0866	18,64	0,0038	15,79	0,0522	15,58	0,0633
00:00:08.000	18,51	0,0043	15,33	0,0797	16,04	0,0414	14,94	0,1141	18,86	0,0031	15,06	0,1022	15,59	0,0627
00:10:08.000	18,58	0,0040	15,40	0,0747	15,82	0,0507	14,97	0,1110	19,00	0,0027	15,29	0,0827	15,68	0,0577
00:20:08.000	18,58	0,0040	15,52	0,0669	17,94	0,0072	14,96	0,1121	19,04	0,0026	15,18	0,0915	15,69	0,0572
00:30:08.000	18,52	0,0042	16,09	0,0396	17,2	0,0142	15,97	0,0442	19,36	0,0019	15,16	0,0932	15,78	0,0527
00:40:08.000	18,58	0,0040	15,62	0,0610	17,64	0,0095	16,16	0,0371	18,52	0,0042	15,39	0,0754	15,86	0,0489
00:50:08.000	18,63	0,0038	16,73	0,0219	18,15	0,0059	15,67	0,0583	18,57	0,0040	15,35	0,0782	16,04	0,0414
01:00:08.000	18,37	0,0048	18,28	0,0053	16,59	0,0250	15,55	0,0651	18,44	0,0045	15,79	0,0522	16,06	0,0407
01:10:08.000	18,28	0,0053	18,44	0,0045	16,37	0,0306	15,37	0,0768	18,38	0,0048	16,02	0,0422	16,52	0,0266
01:20:08.000	18,29	0,0052	18,37	0,0048	16,73	0,0219	15,90	0,0471	18,45	0,0045	16,33	0,0317	15,88	0,0480
01:30:08.000	18,44	0,0045	18,37	0,0048	17,24	0,0137	16,29	0,0329	18,52	0,0042	16,01	0,0426	16,46	0,0281
01:40:08.000	18,44	0,0045	18,44	0,0045	16,72	0,0222	18,19	0,0057	18,51	0,0043	16,12	0,0385	17,57	0,0101
01:50:08.000	18,36	0,0049	18,44	0,0045	15,99	0,0434	18,50	0,0043	18,44	0,0045	15,57	0,0639	17,41	0,0117
02:00:08.000	18,36	0,0049	18,44	0,0045	16,21	0,0354	18,54	0,0041	18,36	0,0049	16,69	0,0228	17,58	0,0100
02:10:08.000	18,20	0,0057	18,20	0,0057	16,6	0,0247	18,34	0,0050	18,36	0,0049	17,27	0,0133	17,71	0,0089
02:20:08.000	18,11	0,0062	18,45	0,0045	16,08	0,0399	18,22	0,0056	18,45	0,0045	17,49	0,0109	16,70	0,0226
02:30:08.000	17,24	0,0137	18,45	0,0045	16,86	0,0195	18,26	0,0054	18,76	0,0034	17,49	0,0109	16,63	0,0241
02:40:08.000	16,66	0,0234	18,51	0,0043	17,38	0,0121	18,43	0,0046	18,69	0,0036	17,62	0,0097	16,31	0,0323
02:50:08.000	16,71	0,0224	18,01	0,0068	17,72	0,0088	18,47	0,0044	18,81	0,0032	16,81	0,0204	16,39	0,0300
03:00:08.000	16,71	0,0224	18,29	0,0052	16,72	0,0222	18,46	0,0045	18,76	0,0034	16,56	0,0257	16,90	0,0188
03:10:08.000	17,03	0,0167	17,00	0,0171	16,34	0,0314	17,68	0,0092	18,81	0,0032	16,66	0,0234	16,77	0,0212
03:20:08.000	17,42	0,0116	17,78	0,0083	16,37	0,0306	16,83	0,0200	18,64	0,0038	16,76	0,0214	15,91	0,0467
03:30:08.000	17,04	0,0165	17,99	0,0069	16,11	0,0389	16,84	0,0198	18,80	0,0033	16,90	0,0188	15,90	0,0471
03:40:08.000	16,25	0,0342	17,87	0,0077	16,38	0,0303	16,17	0,0368	18,81	0,0032	16,76	0,0214	16,34	0,0314
03:50:08.000	15,77	0,0531	17,62	0,0097	16,68	0,0230	15,78	0,0527	18,86	0,0031	16,77	0,0212	16,08	0,0399
04:00:08.000	16,11	0,0389	17,45	0,0113	17,06	0,0162	15,52	0,0669	19,04	0,0026	16,74	0,0217	16,33	0,0317
04:10:08.000	16,10	0,0392	17,21	0,0141	17,48	0,0110	15,47	0,0701	19,53	0,0017	16,90	0,0188	16,09	0,0396

Fuente: Autores.

Luminancia del cielo en la zona Sur. MSAS (mag/arcseg²).

Hora Local	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	MSAS	(cd/m ²)												
20:30:08.000	14,36	0,1947	15,52	0,0669	14,91	0,1173	15,47	0,0701	16,6	0,0247	15,98	0,0438	17,34	0,0125
20:40:08.000	15,23	0,0874	15,58	0,0633	15,17	0,0923	16,16	0,0371	16,6	0,0247	16,08	0,0399	17	0,0171
20:50:08.000	14	0,2713	15,48	0,0694	15,61	0,0616	16,37	0,0306	16,56	0,0257	15,52	0,0669	16,71	0,0224
21:00:08.000	15,33	0,0797	15,35	0,0782	15,3	0,0819	16,66	0,0234	17,74	0,0087	16,11	0,0389	16,99	0,0173
21:10:08.000	14,21	0,2236	15,38	0,0761	15,79	0,0522	16,73	0,0219	16,09	0,0396	16,21	0,0354	17,26	0,0135
21:20:08.000	14,1	0,2474	14,43	0,1826	16,32	0,0320	16,07	0,0403	15,66	0,0588	16,3	0,0326	17,2	0,0142
21:30:08.000	15,61	0,0616	15,25	0,0858	16,08	0,0399	15,57	0,0639	15,35	0,0782	15,37	0,0768	17,26	0,0135
21:40:08.000	15,62	0,0610	15,37	0,0768	15,68	0,0577	15,86	0,0489	15,04	0,1041	15,55	0,0651	16,24	0,0345
21:50:08.000	15,53	0,0663	14,64	0,1505	15,54	0,0657	16,57	0,0254	15,41	0,0740	15,66	0,0588	16,23	0,0348
22:00:08.000	15,51	0,0675	14,23	0,2195	15,73	0,0551	16,62	0,0243	15,3	0,0819	15,82	0,0507	16,24	0,0345
22:10:08.000	17,77	0,0084	15,09	0,0994	15,61	0,0616	16,39	0,0300	15,33	0,0797	15,25	0,0858	16,84	0,0198
22:20:08.000	16,72	0,0222	14,35	0,1965	15,22	0,0882	16,4	0,0297	15,44	0,0720	15,26	0,0850	17,15	0,0149
22:30:08.000	16,71	0,0224	14,38	0,1912	15,75	0,0541	16,06	0,0407	15,27	0,0842	15,45	0,0714	16,46	0,0281
22:40:08.000	18	0,0068	15,31	0,0812	16,12	0,0385	16,72	0,0222	15,32	0,0804	15,69	0,0572	17,05	0,0163
22:50:08.000	18,11	0,0062	15,35	0,0782	15,52	0,0669	17,49	0,0109	15,27	0,0842	15,88	0,0480	17,47	0,0111
23:00:08.000	16,98	0,0174	15,49	0,0688	15,95	0,0450	16,61	0,0245	15,49	0,0688	15,6	0,0621	17,01	0,0170
23:10:08.000	15,64	0,0599	14,76	0,1347	16,03	0,0418	16,14	0,0378	15,49	0,0688	15,75	0,0541	17,25	0,0136
23:20:08.000	15,57	0,0639	15,99	0,0434	15,98	0,0438	17,57	0,0101	15,48	0,0694	15,73	0,0551	17,84	0,0079
23:30:08.000	15,35	0,0782	15,42	0,0734	16,18	0,0364	18,51	0,0043	15,69	0,0572	15,92	0,0463	17,39	0,0120
23:40:08.000	15,52	0,0669	15,35	0,0782	16,22	0,0351	18,76	0,0034	15,78	0,0527	15,66	0,0588	16,74	0,0217
23:50:08.000	16,1	0,0392	15,29	0,0827	16,56	0,0257	18,79	0,0033	15,64	0,0599	15,61	0,0616	15,88	0,0480
00:00:08.000	14,53	0,1665	15,66	0,0588	16,69	0,0228	18,76	0,0034	15,62	0,0610	15,41	0,0740	16,03	0,0418
00:10:08.000	15,49	0,0688	16,28	0,0332	17,48	0,0110	18,77	0,0034	15,75	0,0541	15,43	0,0727	17,12	0,0153
00:20:08.000	15,4	0,0747	16,23	0,0348	16,94	0,0181	18,81	0,0032	15,85	0,0494	15,83	0,0503	19,09	0,0025
00:30:08.000	16,09	0,0396	16,66	0,0234	17,57	0,0101	18,51	0,0043	15,98	0,0438	15,69	0,0572	17,61	0,0098
00:40:08.000	15,42	0,0734	16,28	0,0332	16,73	0,0219	18,34	0,0050	15,85	0,0494	15,66	0,0588	17,07	0,0160
00:50:08.000	14,23	0,2195	16,25	0,0342	17,76	0,0085	18,29	0,0052	16,24	0,0345	15,97	0,0442	16,78	0,0210
01:00:08.000	15,24	0,0866	16,3	0,0326	17,89	0,0075	18,35	0,0049	16,29	0,0329	16,15	0,0374	16,54	0,0261
01:10:08.000	15,33	0,0797	15,73	0,0551	17,6	0,0098	18,38	0,0048	16,51	0,0269	16,31	0,0323	16,52	0,0266
01:20:08.000	15,26	0,0850	15,76	0,0536	16,36	0,0309	18,38	0,0048	16,34	0,0314	16,31	0,0323	16,09	0,0396
01:30:08.000	15,46	0,0707	16,32	0,0320	16,91	0,0186	18,44	0,0045	17,09	0,0158	16,08	0,0399	16,17	0,0368
01:40:08.000	15,58	0,0633	15,7	0,0567	16,96	0,0178	18,4	0,0047	16,27	0,0335	15,88	0,0480	17,15	0,0149
01:50:08.000	16,19	0,0361	16,35	0,0311	17,66	0,0093	18,4	0,0047	16,34	0,0314	15,86	0,0489	17,66	0,0093
02:00:08.000	16,15	0,0374	17,44	0,0114	16,96	0,0178	18,38	0,0048	16,02	0,0422	15,85	0,0494	17,28	0,0132
02:10:08.000	16,03	0,0418	16,66	0,0234	16,79	0,0208	18,36	0,0049	15,95	0,0450	15,69	0,0572	17,2	0,0142
02:20:08.000	15,45	0,0714	15,72	0,0556	17,39	0,0120	18,28	0,0053	15,88	0,0480	15,91	0,0467	17,26	0,0135
02:30:08.000	15,61	0,0616	16,14	0,0378	17,15	0,0149	18,51	0,0043	16,62	0,0243	15,8	0,0517	16,9	0,0188
02:40:08.000	15,55	0,0651	15,72	0,0556	16,14	0,0378	18,56	0,0041	16,89	0,0189	15,77	0,0531	16,37	0,0306
02:50:08.000	15,68	0,0577	16,29	0,0329	16,53	0,0264	18,57	0,0040	16,41	0,0295	15,95	0,0450	16,21	0,0354
03:00:08.000	15,39	0,0754	16,96	0,0178	17,91	0,0074	18,57	0,0040	15,85	0,0494	15,95	0,0450	16,08	0,0399
03:10:08.000	15,52	0,0669	16,24	0,0345	17,01	0,0170	18,38	0,0048	15,58	0,0633	15,98	0,0438	15,92	0,0463
03:20:08.000	15,45	0,0714	16,99	0,0173	17,04	0,0165	18,58	0,0040	15,69	0,0572	16,32	0,0320	15,68	0,0577
03:30:08.000	14,8	0,1298	16,2	0,0358	17,24	0,0137	18,62	0,0038	16,15	0,0374	16,36	0,0309	15,62	0,0610
03:40:08.000	15,43	0,0727	16,66	0,0234	18,29	0,0052	18,59	0,0040	16,74	0,0217	15,81	0,0512	15,64	0,0599
03:50:08.000	16,06	0,0407	16,27	0,0335	18,02	0,0067	18,59	0,0040	18,85	0,0031	15,9	0,0471	16,36	0,0309
04:00:08.000	16,17	0,0368	16,17	0,0368	18,36	0,0049	18,68	0,0036	19,1	0,0025	16,34	0,0314	16,89	0,0189
04:10:08.000	15,66	0,0588	15,66	0,0588	17,74	0,0087	18,6	0,0039	16,83	0,0200	16,28	0,0332	16,67	0,0232

Fuente: Autores.



Luminancia del cielo en la zona Oeste. MSAS (mag/arcseg²).

Hora Local	O1		O2		O3		O4		O5		O6	
	MSAS	(cd/m ²)										
20:30:08.000	15,16	0,0932	16,28	0,0332	15,31	0,0812	15,55	0,0651	15,24	0,0866	16,27	0,0335
20:40:08.000	15,48	0,0694	14,47	0,1760	15,22	0,0882	15,31	0,0812	15,33	0,0797	16,35	0,0311
20:50:08.000	15,36	0,0775	15,39	0,0754	15,35	0,0782	14,92	0,1163	15,53	0,0663	16,24	0,0345
21:00:08.000	15,18	0,0915	16,24	0,0345	15,13	0,0958	15,43	0,0727	15,5	0,0681	16,65	0,0236
21:10:08.000	15,29	0,0827	15,32	0,0804	15,91	0,0467	15,44	0,0720	15,47	0,0701	16,16	0,0371
21:20:08.000	15,41	0,0740	15,27	0,0842	17,24	0,0137	14,7	0,1424	15,51	0,0675	16,95	0,0179
21:30:08.000	15,69	0,0572	15,41	0,0740	17,24	0,0137	15,49	0,0688	15,32	0,0804	17,87	0,0077
21:40:08.000	15,77	0,0531	14,86	0,1229	17,26	0,0135	15,64	0,0599	15,21	0,0890	16,2	0,0358
21:50:08.000	16,01	0,0426	14,31	0,2039	16,46	0,0281	14,95	0,1131	15,32	0,0804	16,64	0,0238
22:00:08.000	15,89	0,0476	14,64	0,1505	16,13	0,0381	14,25	0,2155	15,14	0,0949	16,98	0,0174
22:10:08.000	15,9	0,0471	14,5	0,1712	15,62	0,0610	14,57	0,1605	15,15	0,0941	16,72	0,0222
22:20:08.000	15,98	0,0438	14,58	0,1590	14,96	0,1121	14,49	0,1728	15,12	0,0967	16,7	0,0226
22:30:08.000	16,01	0,0426	14,49	0,1728	14,9	0,1184	14,63	0,1519	15,27	0,0842	16,71	0,0224
22:40:08.000	16,15	0,0374	15,18	0,0915	15,15	0,0941	14,37	0,1929	15,35	0,0782	16,71	0,0224
22:50:08.000	16,18	0,0364	14,38	0,1912	15,31	0,0812	15,21	0,0890	15,46	0,0707	18,86	0,0031
23:00:08.000	16,85	0,0197	15,2	0,0898	15,33	0,0797	14,32	0,2020	15,58	0,0633	17,88	0,0076
23:10:08.000	16,28	0,0332	14,52	0,1680	15,35	0,0782	14,77	0,1335	15,78	0,0527	16,77	0,0212
23:20:08.000	16,2	0,0358	15,36	0,0775	15,41	0,0740	14,84	0,1251	16,28	0,0332	16,17	0,0368
23:30:08.000	16,68	0,0230	15,1	0,0985	15,88	0,0480	16,15	0,0374	17,16	0,0148	16,07	0,0403
23:40:08.000	16,52	0,0266	14,66	0,1477	16,14	0,0378	16,32	0,0320	16,98	0,0174	15,56	0,0645
23:50:08.000	16,36	0,0309	15,44	0,0720	16,29	0,0329	16,27	0,0335	16,69	0,0228	15,58	0,0633
00:00:08.000	15,9	0,0471	16,21	0,0354	16,62	0,0243	16,32	0,0320	16,24	0,0345	15,52	0,0669
00:10:08.000	16,63	0,0241	15,58	0,0633	16,37	0,0306	16,66	0,0234	15,95	0,0450	15,44	0,0720
00:20:08.000	16,45	0,0284	15,28	0,0834	16,18	0,0364	16,71	0,0224	15,74	0,0546	15,92	0,0463
00:30:08.000	16,59	0,0250	15,6	0,0621	16,09	0,0396	17,44	0,0114	15,66	0,0588	16,14	0,0378
00:40:08.000	16,37	0,0306	15,64	0,0599	16,34	0,0314	17,01	0,0170	15,77	0,0531	15,56	0,0645
00:50:08.000	16,59	0,0250	16,21	0,0354	16,97	0,0176	16,34	0,0314	15,72	0,0556	15,48	0,0694
01:00:08.000	16,46	0,0281	16,15	0,0374	16,4	0,0297	16,29	0,0329	15,73	0,0551	15,62	0,0610
01:10:08.000	16,2	0,0358	16,68	0,0230	16,62	0,0243	16,64	0,0238	15,86	0,0489	15,66	0,0588
01:20:08.000	16,35	0,0311	17,01	0,0170	16,8	0,0206	16,27	0,0335	16,11	0,0389	16,2	0,0358
01:30:08.000	16,41	0,0295	15,47	0,0701	16,34	0,0314	16,27	0,0335	16,39	0,0300	16,32	0,0320
01:40:08.000	16,36	0,0309	15,51	0,0675	16,43	0,0289	16,29	0,0329	16,49	0,0274	16,96	0,0178
01:50:08.000	16,58	0,0252	15,24	0,0866	16	0,0430	16,25	0,0342	16,93	0,0183	16,29	0,0329
02:00:08.000	15,47	0,0701	14,85	0,1240	16,13	0,0381	16,29	0,0329	16,75	0,0215	16,6	0,0247
02:10:08.000	15,63	0,0605	14,61	0,1547	15,92	0,0463	16,26	0,0338	16,52	0,0266	16,5	0,0271
02:20:08.000	15,97	0,0442	15,66	0,0588	15,23	0,0874	16,28	0,0332	16,25	0,0342	16,5	0,0271
02:30:08.000	16,05	0,0411	15,75	0,0541	15,01	0,1070	16,29	0,0329	16,13	0,0381	16,32	0,0320
02:40:08.000	16,01	0,0426	15,3	0,0819	15,27	0,0842	16,68	0,0230	15,83	0,0503	16,71	0,0224
02:50:08.000	16,09	0,0396	14,84	0,1251	15,18	0,0915	16,34	0,0314	15,71	0,0562	16,35	0,0311
03:00:08.000	15,6	0,0621	15,25	0,0858	15,01	0,1070	16,29	0,0329	15,66	0,0588	16,24	0,0345
03:10:08.000	16,33	0,0317	16,14	0,0378	15,32	0,0804	16,32	0,0320	15,71	0,0562	16,68	0,0230
03:20:08.000	16,41	0,0295	17,26	0,0135	15,9	0,0471	16,99	0,0173	15,79	0,0522	16,29	0,0329
03:30:08.000	16,3	0,0326	17,04	0,0165	16,29	0,0329	16,97	0,0176	16,02	0,0422	16,24	0,0345
03:40:08.000	16,02	0,0422	17,6	0,0098	16,29	0,0329	16,63	0,0241	16,29	0,0329	15,7	0,0567
03:50:08.000	15,77	0,0531	17,6	0,0098	16,1	0,0392	15,63	0,0605	17,04	0,0165	16,26	0,0338
04:00:08.000	15,77	0,0531	17,77	0,0084	16,12	0,0385	15,62	0,0610	16,06	0,0407	15,76	0,0536
04:10:08.000	15,61	0,0616	17,46	0,0112	16,1	0,0392	15,62	0,0610	16,08	0,0399	15,68	0,0577

Fuente: Autores.

Luminancia del cielo en la zona Este. MSAS (mag/arcseg²).

Hora Local	E1		E2		E3		E4		E5	
	MSAS	(cd/m ²)								
20:30:08.000	15,37	0,0768	15,92	0,0463	16,96	0,0178	15,3	0,0819	16,09	0,0396
20:40:08.000	15,58	0,0633	15,98	0,0438	15,55	0,0651	14,95	0,1131	17,78	0,0083
20:50:08.000	15,08	0,1003	16,02	0,0422	15,25	0,0858	14,7	0,1424	16,64	0,0238
21:00:08.000	15,18	0,0915	15,24	0,0866	15,57	0,0639	14,61	0,1547	18,36	0,0049
21:10:08.000	15,37	0,0768	15,11	0,0976	14,74	0,1372	14,76	0,1347	18,29	0,0052
21:20:08.000	16,32	0,0320	16,15	0,0374	15,21	0,0890	14,96	0,1121	17,27	0,0133
21:30:08.000	16,29	0,0329	15,76	0,0536	15,5	0,0681	15,14	0,0949	17,46	0,0112
21:40:08.000	16,24	0,0345	15,01	0,1070	15,37	0,0768	15,52	0,0669	18,19	0,0057
21:50:08.000	16,38	0,0303	14,93	0,1152	16,18	0,0364	15,39	0,0754	18,23	0,0055
22:00:08.000	16,68	0,0230	16,02	0,0422	16,01	0,0426	15,16	0,0932	18,1	0,0062
22:10:08.000	16,66	0,0234	16,6	0,0247	15,12	0,0967	15,07	0,1013	17,46	0,0112
22:20:08.000	16,99	0,0173	16,64	0,0238	14,8	0,1298	16,34	0,0314	17,98	0,0069
22:30:08.000	15,72	0,0556	16,63	0,0241	15,98	0,0438	17,3	0,0130	17,62	0,0097
22:40:08.000	15,7	0,0567	16,55	0,0259	15,95	0,0450	17,43	0,0115	17,45	0,0113
22:50:08.000	15,3	0,0819	16,77	0,0212	16,06	0,0407	17,05	0,0163	17,21	0,0141
23:00:08.000	15,14	0,0949	16,75	0,0215	16,51	0,0269	16,66	0,0234	17,46	0,0112
23:10:08.000	15,43	0,0727	16,88	0,0191	16,57	0,0254	17,27	0,0133	16,81	0,0204
23:20:08.000	15,48	0,0694	17,03	0,0167	16,9	0,0188	15,68	0,0577	16,18	0,0364
23:30:08.000	15,65	0,0594	17,11	0,0155	16,69	0,0228	15,47	0,0701	16,08	0,0399
23:40:08.000	16,29	0,0329	17,24	0,0137	16,6	0,0247	15,44	0,0720	15,58	0,0633
23:50:08.000	17,26	0,0135	17,45	0,0113	16,6	0,0247	16,48	0,0276	15,3	0,0819
00:00:08.000	16,03	0,0418	17,84	0,0079	16,59	0,0250	17,7	0,0090	15,48	0,0694
00:10:08.000	15,75	0,0541	17,94	0,0072	16,19	0,0361	17,51	0,0107	15,61	0,0616
00:20:08.000	16,19	0,0361	18,54	0,0041	15,67	0,0583	17,45	0,0113	16,71	0,0224
00:30:08.000	17,01	0,0170	16,69	0,0228	15,18	0,0915	16,52	0,0266	16,92	0,0184
00:40:08.000	17,25	0,0136	16,03	0,0418	15,03	0,1051	17,84	0,0079	16,93	0,0183
00:50:08.000	17,26	0,0135	16,03	0,0418	15,08	0,1003	16,83	0,0200	18,45	0,0045
01:00:08.000	17,42	0,0116	16,35	0,0311	14,83	0,1263	15,71	0,0562	18,44	0,0045
01:10:08.000	18,09	0,0063	16,29	0,0329	14,77	0,1335	15,9	0,0471	18,38	0,0048
01:20:08.000	16,57	0,0254	16,39	0,0300	15,12	0,0967	15,65	0,0594	18,52	0,0042
01:30:08.000	15,73	0,0551	16,55	0,0259	15,22	0,0882	15,95	0,0450	18,51	0,0043
01:40:08.000	15,22	0,0882	16,58	0,0252	15,1	0,0985	15,97	0,0442	18,36	0,0049
01:50:08.000	15,48	0,0694	16,23	0,0348	15,02	0,1060	16,15	0,0374	18,09	0,0063
02:00:08.000	15,58	0,0633	16,94	0,0181	15,08	0,1003	16,06	0,0407	17,76	0,0085
02:10:08.000	15,62	0,0610	17,67	0,0092	15,32	0,0804	16,2	0,0358	17,88	0,0076
02:20:08.000	15,55	0,0651	17,24	0,0137	15,43	0,0727	16,04	0,0414	17,76	0,0085
02:30:08.000	15,55	0,0651	17,39	0,0120	15,36	0,0775	16,07	0,0403	17,87	0,0077
02:40:08.000	15,11	0,0976	17,51	0,0107	15,49	0,0688	16,42	0,0292	17,06	0,0162
02:50:08.000	15,32	0,0804	17,07	0,0160	16,84	0,0198	16,96	0,0178	18,12	0,0061
03:00:08.000	15,13	0,0958	16,79	0,0208	16,12	0,0385	17,34	0,0125	17,49	0,0109
03:10:08.000	15,26	0,0850	16,05	0,0411	16,31	0,0323	16,07	0,0403	16,75	0,0215
03:20:08.000	15,38	0,0761	16,33	0,0317	16,49	0,0274	15,28	0,0834	16,89	0,0189
03:30:08.000	15,52	0,0669	16,06	0,0407	16,47	0,0279	15,19	0,0907	16,14	0,0378
03:40:08.000	15,48	0,0694	16,02	0,0422	16,12	0,0385	15,58	0,0633	16,35	0,0311
03:50:08.000	15,49	0,0688	15,82	0,0507	16,4	0,0297	15,35	0,0782	16,27	0,0335
04:00:08.000	15,47	0,0701	15,67	0,0583	15,48	0,0694	15,27	0,0842	17,44	0,0114
04:10:08.000	15,58	0,0633	15,73	0,0551	15,63	0,0605	15,4	0,0747	17,78	0,0083

Fuente: Autores.



Luminancia del cielo en la zona Central Oeste Este. MSAS (mag/arcseg²).

Hora Local	COE1		COE2		COE3		COE4		COE5		COE6	
	MSAS	(cd/m ²)										
20:30:08.000	15,04	0,1041	14,77	0,1335	15,51	0,0675	14,19	0,2277	15	0,1080	15,6	0,0621
20:40:08.000	15,79	0,0522	14,42	0,1843	15,75	0,0541	14,34	0,1983	14,9	0,1184	15,48	0,0694
20:50:08.000	15,88	0,0480	14,9	0,1184	15,15	0,0941	14,35	0,1965	15,1	0,0985	15,53	0,0663
21:00:08.000	16,76	0,0214	15,21	0,0890	14,77	0,1335	14,36	0,1947	15,36	0,0775	15,74	0,0546
21:10:08.000	17,85	0,0078	15,48	0,0694	15,06	0,1022	14,38	0,1912	15,58	0,0633	16,28	0,0332
21:20:08.000	18,01	0,0068	15,3	0,0819	14,68	0,1450	14,74	0,1372	15,43	0,0727	17,9	0,0075
21:30:08.000	17,94	0,0072	14,82	0,1275	15,27	0,0842	15,5	0,0681	15,31	0,0812	17,61	0,0098
21:40:08.000	17,75	0,0086	14,84	0,1251	14,49	0,1728	15,76	0,0536	15,13	0,0958	18,64	0,0038
21:50:08.000	15,74	0,0546	15,02	0,1060	14,59	0,1576	16,2	0,0358	15,58	0,0633	18,74	0,0034
22:00:08.000	17,7	0,0090	14,97	0,1110	14,77	0,1335	16,14	0,0378	15,27	0,0842	17,24	0,0137
22:10:08.000	15,88	0,0480	14,68	0,1450	14,93	0,1152	15,62	0,0610	15,44	0,0720	16,37	0,0306
22:20:08.000	16,01	0,0426	14,47	0,1760	15,88	0,0480	17,96	0,0071	15,72	0,0556	16,79	0,0208
22:30:08.000	15,46	0,0707	14,74	0,1372	16,24	0,0345	18	0,0068	15,99	0,0434	16,42	0,0292
22:40:08.000	15,38	0,0761	14,93	0,1152	15,68	0,0577	18,03	0,0066	15,83	0,0503	16,74	0,0217
22:50:08.000	15,38	0,0761	15,2	0,0898	15,63	0,0605	16,8	0,0206	16,04	0,0414	16,66	0,0234
23:00:08.000	15,53	0,0663	15,16	0,0932	15,45	0,0714	15,27	0,0842	15,79	0,0522	17,22	0,0140
23:10:08.000	15,08	0,1003	15,24	0,0866	15,41	0,0740	15,13	0,0958	15,95	0,0450	17,05	0,0163
23:20:08.000	16,29	0,0329	14,72	0,1398	15,24	0,0866	14,8	0,1298	15,58	0,0633	17,24	0,0137
23:30:08.000	16,91	0,0186	14,86	0,1229	15,27	0,0842	14,71	0,1411	15,58	0,0633	16,99	0,0173
23:40:08.000	16,95	0,0179	15,13	0,0958	15,24	0,0866	15,11	0,0976	15,69	0,0572	16,47	0,0279
23:50:08.000	16,58	0,0252	14,9	0,1184	15,39	0,0754	17,58	0,0100	15,77	0,0531	16,08	0,0399
00:00:08.000	16,9	0,0188	15,27	0,0842	15,5	0,0681	18,12	0,0061	15,82	0,0507	16,27	0,0335
00:10:08.000	15,6	0,0621	15,06	0,1022	15,83	0,0503	16,9	0,0188	15,82	0,0507	16,15	0,0374
00:20:08.000	15,54	0,0657	15,16	0,0932	15,47	0,0701	17,08	0,0159	15,63	0,0605	15,96	0,0446
00:30:08.000	15,29	0,0827	15,14	0,0949	15,84	0,0498	17,66	0,0093	15,46	0,0707	16,13	0,0381
00:40:08.000	15,07	0,1013	15,12	0,0967	15,58	0,0633	16,18	0,0364	15,51	0,0675	16,58	0,0252
00:50:08.000	15,15	0,0941	15,33	0,0797	15,51	0,0675	15,74	0,0546	16,17	0,0368	16,92	0,0184
01:00:08.000	15,16	0,0932	15,46	0,0707	15,72	0,0556	15,41	0,0740	16,54	0,0261	17,02	0,0168
01:10:08.000	15,07	0,1013	15,65	0,0594	15,51	0,0675	15,42	0,0734	16,21	0,0354	16,75	0,0215
01:20:08.000	14,97	0,1110	16,19	0,0361	15,23	0,0874	15,19	0,0907	17,13	0,0152	16,76	0,0214
01:30:08.000	15,12	0,0967	16,87	0,0193	15,57	0,0639	15,25	0,0858	16,42	0,0292	16,72	0,0222
01:40:08.000	15,22	0,0882	15,38	0,0761	15,7	0,0567	15,77	0,0531	17,28	0,0132	16,62	0,0243
01:50:08.000	15,23	0,0874	15,44	0,0720	15,54	0,0657	15,73	0,0551	17,2	0,0142	16,33	0,0317
02:00:08.000	14,87	0,1217	15,58	0,0633	15,79	0,0522	15,84	0,0498	17,56	0,0102	16,15	0,0374
02:10:08.000	15,03	0,1051	14,82	0,1275	15,39	0,0754	15,69	0,0572	16,75	0,0215	16,17	0,0368
02:20:08.000	15,04	0,1041	15,04	0,1041	15,55	0,0651	16,64	0,0238	16,52	0,0266	16,04	0,0414
02:30:08.000	15,12	0,0967	14,93	0,1152	15,11	0,0976	15,35	0,0782	15,96	0,0446	15,88	0,0480
02:40:08.000	15,07	0,1013	14,83	0,1263	15,13	0,0958	15,12	0,0967	16,49	0,0274	15,74	0,0546
02:50:08.000	15,58	0,0633	14,88	0,1206	15,37	0,0768	15,47	0,0701	15,95	0,0450	15,87	0,0485
03:00:08.000	15,16	0,0932	15,03	0,1051	15,16	0,0932	15,29	0,0827	15,91	0,0467	15,75	0,0541
03:10:08.000	15,51	0,0675	15,59	0,0627	15,12	0,0967	15,31	0,0812	16,73	0,0219	15,9	0,0471
03:20:08.000	15,27	0,0842	16,04	0,0414	15,12	0,0967	15,01	0,1070	16,37	0,0306	15,77	0,0531
03:30:08.000	15,01	0,1070	15,81	0,0512	15,04	0,1041	15	0,1080	16,72	0,0222	16,01	0,0426
03:40:08.000	15,55	0,0651	15,69	0,0572	15,18	0,0915	15,31	0,0812	16,38	0,0303	16,06	0,0407
03:50:08.000	14,86	0,1229	15,21	0,0890	15,84	0,0498	15,72	0,0556	16,34	0,0314	16,24	0,0345
04:00:08.000	15,4	0,0747	14,77	0,1335	16,19	0,0361	15,56	0,0645	16,15	0,0374	16,32	0,0320
04:10:08.000	15,68	0,0577	14,92	0,1163	15,32	0,0804	15,98	0,0438	15,91	0,0467	16,69	0,0228

Fuente: Autores.

Luminancia del cielo en la zona Central Sur Norte. MSAS (mag/arcseg²).

Hora Local	CSN1		CSN2		CSN3		CSN4		CSN5	
	MSAS	(cd/m ²)								
20:30:08.000	16,19	0,0361	14,68	0,1450	14,41	0,1860	14,75	0,1360	18,29	0,0052
20:40:08.000	15,65	0,0594	14,47	0,1760	14,52	0,1680	15,22	0,0882	18,24	0,0055
20:50:08.000	15,47	0,0701	16,63	0,0241	14,55	0,1635	15,18	0,0915	18,2	0,0057
21:00:08.000	15,75	0,0541	17,26	0,0135	14,98	0,1100	16,06	0,0407	18,23	0,0055
21:10:08.000	16,56	0,0257	17,61	0,0098	14,68	0,1450	15,37	0,0768	18,25	0,0054
21:20:08.000	15,84	0,0498	17,46	0,0112	14,59	0,1576	15,61	0,0616	18,25	0,0054
21:30:08.000	15,8	0,0517	17,01	0,0170	15,63	0,0605	14,83	0,1263	18,27	0,0053
21:40:08.000	16,9	0,0188	17,24	0,0137	15,63	0,0605	15,01	0,1070	18,28	0,0053
21:50:08.000	18,28	0,0053	17,45	0,0113	15,17	0,0923	15,31	0,0812	18,14	0,0060
22:00:08.000	18,44	0,0045	17,45	0,0113	14,96	0,1121	15,1	0,0985	17,98	0,0069
22:10:08.000	18,03	0,0066	17,45	0,0113	14,99	0,1090	14,86	0,1229	17,99	0,0069
22:20:08.000	18,43	0,0046	17,45	0,0113	15,47	0,0701	15,2	0,0898	17,94	0,0072
22:30:08.000	18,45	0,0045	17,45	0,0113	15,39	0,0754	14,44	0,1809	17,94	0,0072
22:40:08.000	18,45	0,0045	17,76	0,0085	15,16	0,0932	15,3	0,0819	17,98	0,0069
22:50:08.000	16,82	0,0202	17,76	0,0085	14,7	0,1424	14,75	0,1360	18	0,0068
23:00:08.000	16,71	0,0224	17,76	0,0085	14,5	0,1712	15,41	0,0740	18,11	0,0062
23:10:08.000	16,08	0,0399	17,76	0,0085	14,51	0,1696	15,24	0,0866	18,17	0,0058
23:20:08.000	15,75	0,0541	16,3	0,0326	14,61	0,1547	15,46	0,0707	18,17	0,0058
23:30:08.000	15,76	0,0536	15,52	0,0669	14,99	0,1090	15,37	0,0768	18,11	0,0062
23:40:08.000	16,14	0,0378	16,68	0,0230	15,53	0,0663	15,37	0,0768	18,1	0,0062
23:50:08.000	16,15	0,0374	16,29	0,0329	15,15	0,0941	15,48	0,0694	17,66	0,0093
00:00:08.000	16,39	0,0300	17,01	0,0170	15,51	0,0675	15,64	0,0599	16,78	0,0210
00:10:08.000	16,47	0,0279	17,77	0,0084	15,66	0,0588	15,92	0,0463	16,51	0,0269
00:20:08.000	16,81	0,0204	17,63	0,0096	15,26	0,0850	16,72	0,0222	18,09	0,0063
00:30:08.000	17,27	0,0133	17,26	0,0135	14,89	0,1195	17	0,0171	18,43	0,0046
00:40:08.000	16,74	0,0217	17,21	0,0141	15,62	0,0610	16,32	0,0320	18,36	0,0049
00:50:08.000	17,12	0,0153	15,47	0,0701	15,79	0,0522	16	0,0430	18,21	0,0056
01:00:08.000	16,52	0,0266	15,45	0,0714	15,69	0,0572	15,17	0,0923	18,1	0,0062
01:10:08.000	16,19	0,0361	15,43	0,0727	15,77	0,0531	14,76	0,1347	18	0,0068
01:20:08.000	17,14	0,0150	16,07	0,0403	14,93	0,1152	14,71	0,1411	17,82	0,0080
01:30:08.000	17,01	0,0170	17	0,0171	14,94	0,1141	14,82	0,1275	17,67	0,0092
01:40:08.000	17,99	0,0069	17,46	0,0112	14,92	0,1163	14,95	0,1131	17,57	0,0101
01:50:08.000	18,76	0,0034	16,27	0,0335	15,12	0,0967	14,97	0,1110	17,48	0,0110
02:00:08.000	18,78	0,0033	16,61	0,0245	15,85	0,0494	14,93	0,1152	17,24	0,0137
02:10:08.000	18,81	0,0032	15,62	0,0610	16,24	0,0345	14,68	0,1450	16,42	0,0292
02:20:08.000	18,67	0,0037	16,2	0,0358	15,12	0,0967	14,67	0,1464	16,87	0,0193
02:30:08.000	18,71	0,0035	16,25	0,0342	15,04	0,1041	14,68	0,1450	17,42	0,0116
02:40:08.000	18,78	0,0033	16,13	0,0381	15,37	0,0768	14,86	0,1229	16,89	0,0189
02:50:08.000	18,77	0,0034	15,69	0,0572	15,69	0,0572	15,1	0,0985	16,3	0,0326
03:00:08.000	17,79	0,0083	15,55	0,0651	15,74	0,0546	15,66	0,0588	16	0,0430
03:10:08.000	17,1	0,0156	15,5	0,0681	15,42	0,0734	15,27	0,0842	16,04	0,0414
03:20:08.000	15,97	0,0442	15,37	0,0768	15,24	0,0866	15,15	0,0941	15,91	0,0467
03:30:08.000	15,95	0,0450	15,4	0,0747	15,25	0,0858	15,17	0,0923	15,54	0,0657
03:40:08.000	16,16	0,0371	15,37	0,0768	15,21	0,0890	14,86	0,1229	15,84	0,0498
03:50:08.000	16,07	0,0403	16,2	0,0358	15,1	0,0985	14,61	0,1547	17,45	0,0113
04:00:08.000	16,2	0,0358	15,57	0,0639	15,22	0,0882	14,88	0,1206	16,89	0,0189
04:10:08.000	15,54	0,0657	15,45	0,0714	15,02	0,1060	15,32	0,0804	16,79	0,0208

Fuente: Autores.



Luminancia del Parque industrial. MSAS (mag/arcseg²).

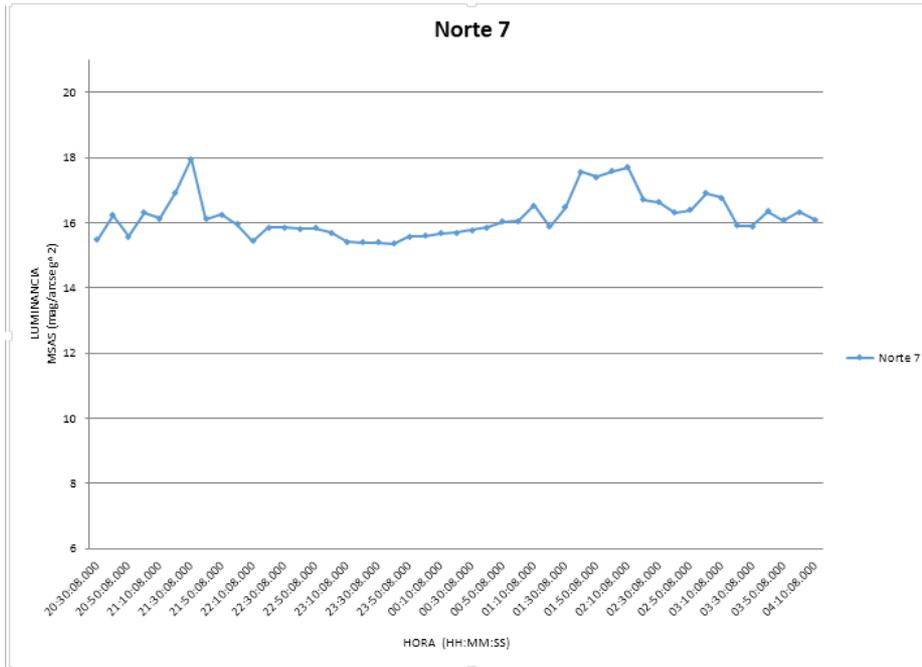
Hora Local	PI1		PI2		PI3		PI4		PI5	
	MSAS	(cd/m ²)								
20:30:08.000	14,75	0,1360	15,46	0,0707	15,66	0,0588	15,28	0,0834	14,75	0,1360
20:40:08.000	15,78	0,0527	15,88	0,0480	15,79	0,0522	15,19	0,0907	14,74	0,1372
20:50:08.000	15,11	0,0976	16,99	0,0173	15,59	0,0627	15,54	0,0657	14,69	0,1437
21:00:08.000	15,63	0,0605	15,54	0,0657	15,56	0,0645	15,27	0,0842	14,86	0,1229
21:10:08.000	15,85	0,0494	15,47	0,0701	15,71	0,0562	15,65	0,0594	14,84	0,1251
21:20:08.000	16,35	0,0311	14,78	0,1323	15,61	0,0616	15,58	0,0633	14,74	0,1372
21:30:08.000	16,24	0,0345	15,12	0,0967	15,53	0,0663	15,14	0,0949	14,85	0,1240
21:40:08.000	17,05	0,0163	15,45	0,0714	15,6	0,0621	15,31	0,0812	14,68	0,1450
21:50:08.000	15,46	0,0707	16,18	0,0364	15,62	0,0610	16,17	0,0368	14,65	0,1491
22:00:08.000	15,29	0,0827	15,75	0,0541	15,6	0,0621	16,21	0,0354	14,77	0,1335
22:10:08.000	15	0,1080	15,3	0,0819	15,5	0,0681	16,96	0,0178	14,82	0,1275
22:20:08.000	15,52	0,0669	15,52	0,0669	15,45	0,0714	16,76	0,0214	14,79	0,1310
22:30:08.000	15,77	0,0531	16,19	0,0361	15,45	0,0714	16,89	0,0189	14,96	0,1121
22:40:08.000	16,17	0,0368	15,69	0,0572	15,35	0,0782	15,31	0,0812	14,96	0,1121
22:50:08.000	15,52	0,0669	17,43	0,0115	15,47	0,0701	15,46	0,0707	14,82	0,1275
23:00:08.000	15,52	0,0669	18,19	0,0057	15,4	0,0747	15,47	0,0701	15	0,1080
23:10:08.000	15,27	0,0842	16,62	0,0243	15,66	0,0588	15,36	0,0775	14,93	0,1152
23:20:08.000	15,29	0,0827	17,01	0,0170	16,06	0,0407	15,38	0,0761	15,39	0,0754
23:30:08.000	15,03	0,1051	16,24	0,0345	16,09	0,0396	15,44	0,0720	14,8	0,1298
23:40:08.000	15,18	0,0915	15,36	0,0775	15,78	0,0527	15,33	0,0797	15,09	0,0994
23:50:08.000	15,09	0,0994	15,55	0,0651	15,66	0,0588	15,48	0,0694	14,89	0,1195
00:00:08.000	15,52	0,0669	15,81	0,0512	16,23	0,0348	15,54	0,0657	15,16	0,0932
00:10:08.000	15,51	0,0675	15,79	0,0522	16,29	0,0329	15,45	0,0714	14,92	0,1163
00:20:08.000	15,68	0,0577	15,5	0,0681	16,31	0,0323	15,9	0,0471	16,45	0,0284
00:30:08.000	15,63	0,0605	16,15	0,0374	16,28	0,0332	15,82	0,0507	15,06	0,1022
00:40:08.000	15,65	0,0594	16,22	0,0351	16,54	0,0261	15,82	0,0507	15,07	0,1013
00:50:08.000	16,14	0,0378	15,21	0,0890	16,28	0,0332	15,82	0,0507	15,07	0,1013
01:00:08.000	16,57	0,0254	14,8	0,1298	16,29	0,0329	15,59	0,0627	14,75	0,1360
01:10:08.000	16,13	0,0381	16,24	0,0345	16,29	0,0329	15,76	0,0536	15,76	0,0536
01:20:08.000	16,11	0,0389	16,69	0,0228	16,34	0,0314	15,8	0,0517	14,73	0,1385
01:30:08.000	16,29	0,0329	16,03	0,0418	16,33	0,0317	15,7	0,0567	14,64	0,1505
01:40:08.000	16,72	0,0222	15,47	0,0701	16,39	0,0300	15,92	0,0463	14,61	0,1547
01:50:08.000	16,72	0,0222	15,63	0,0605	16,27	0,0335	15,94	0,0454	14,62	0,1533
02:00:08.000	16,82	0,0202	16,13	0,0381	16,31	0,0323	15,68	0,0577	14,63	0,1519
02:10:08.000	16,77	0,0212	17,06	0,0162	16,25	0,0342	16,02	0,0422	14,68	0,1450
02:20:08.000	16,4	0,0297	17,04	0,0165	16,22	0,0351	15,65	0,0594	14,73	0,1385
02:30:08.000	17	0,0171	15,05	0,1031	15,86	0,0489	15,67	0,0583	14,9	0,1184
02:40:08.000	17,27	0,0133	15,28	0,0834	16,24	0,0345	15,67	0,0583	14,76	0,1347
02:50:08.000	17,42	0,0116	15,51	0,0675	16,19	0,0361	15,66	0,0588	14,73	0,1385
03:00:08.000	18,45	0,0045	15,68	0,0577	16,33	0,0317	15,75	0,0541	14,97	0,1110
03:10:08.000	18,52	0,0042	16,27	0,0335	16,39	0,0300	15,71	0,0562	14,86	0,1229
03:20:08.000	18,28	0,0053	15,35	0,0782	16,4	0,0297	15,77	0,0531	14,73	0,1385
03:30:08.000	18,1	0,0062	15,25	0,0858	16,07	0,0403	15,82	0,0507	14,74	0,1372
03:40:08.000	18,58	0,0040	14,93	0,1152	16,32	0,0320	15,62	0,0610	14,82	0,1275
03:50:08.000	18,01	0,0068	15,73	0,0551	16,15	0,0374	15,84	0,0498	15,06	0,1022
04:00:08.000	18,37	0,0048	16,24	0,0345	16,23	0,0348	16,26	0,0338	15,04	0,1041
04:10:08.000	18,28	0,0053	15,67	0,0583	16,24	0,0345	16,68	0,0230	15,13	0,0958

Fuente: Autores.

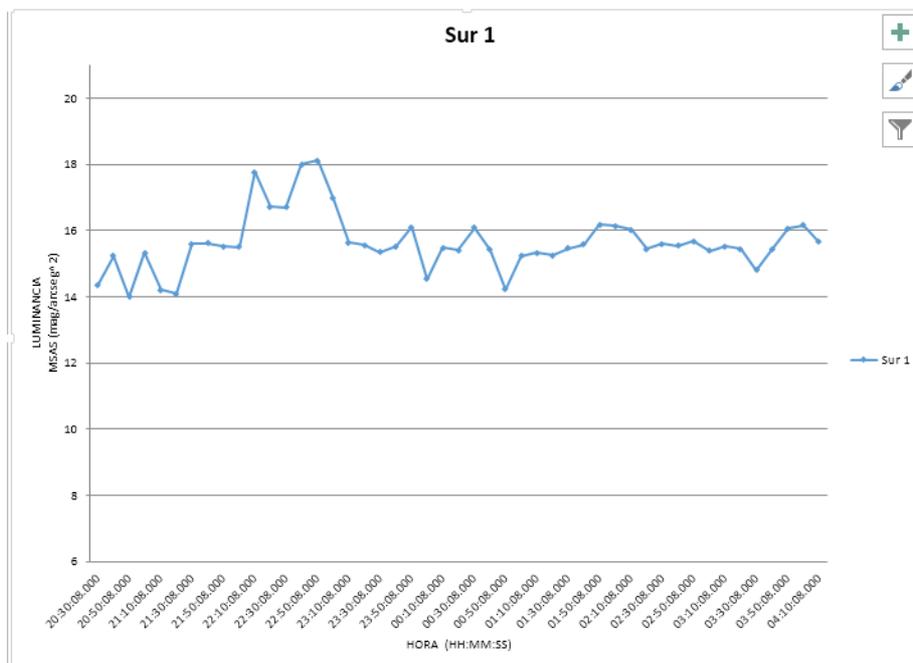
ANEXO 2

GRAFICAS DE PUNTOS REPRESENTATIVOS. MSAS (mag/arcseg²) vs
Tiempo (HH:MM:SS)

ZONA NORTE

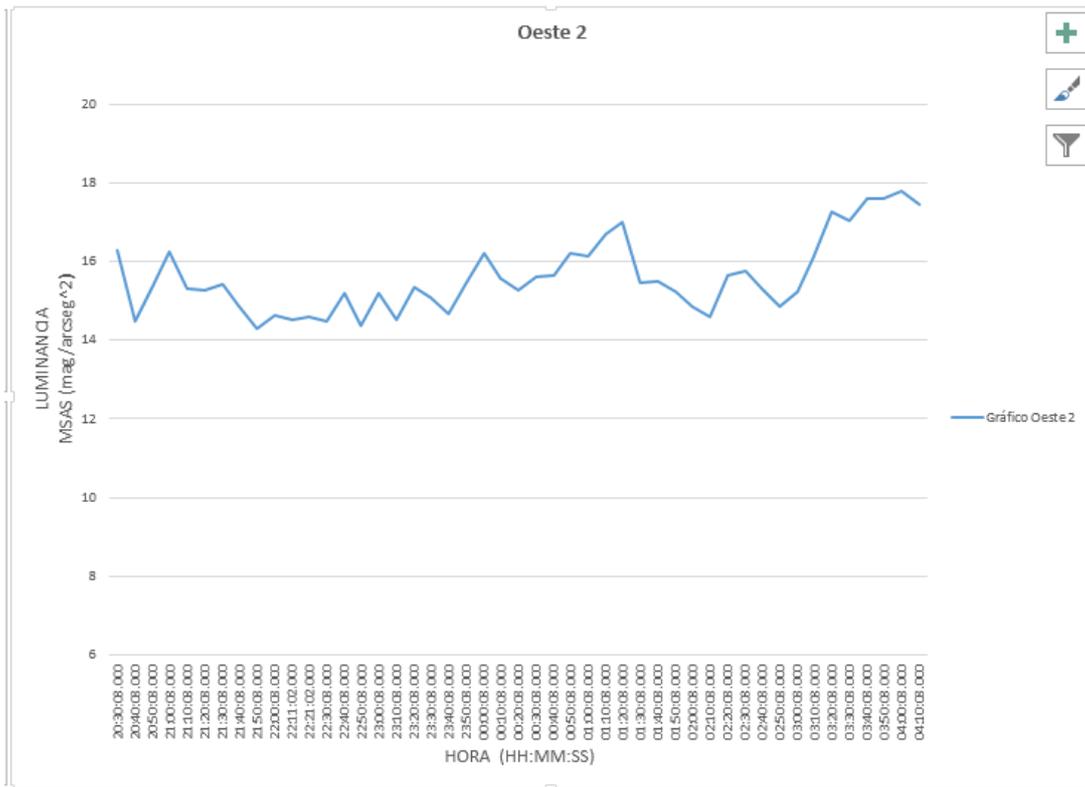


ZONA SUR

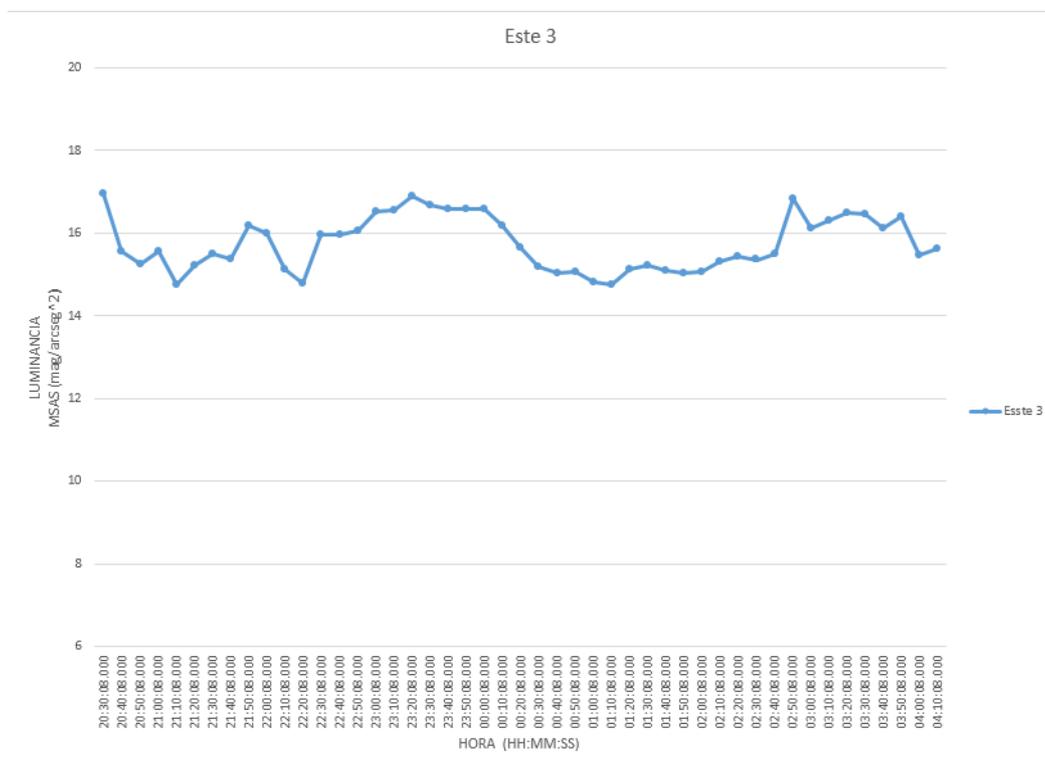




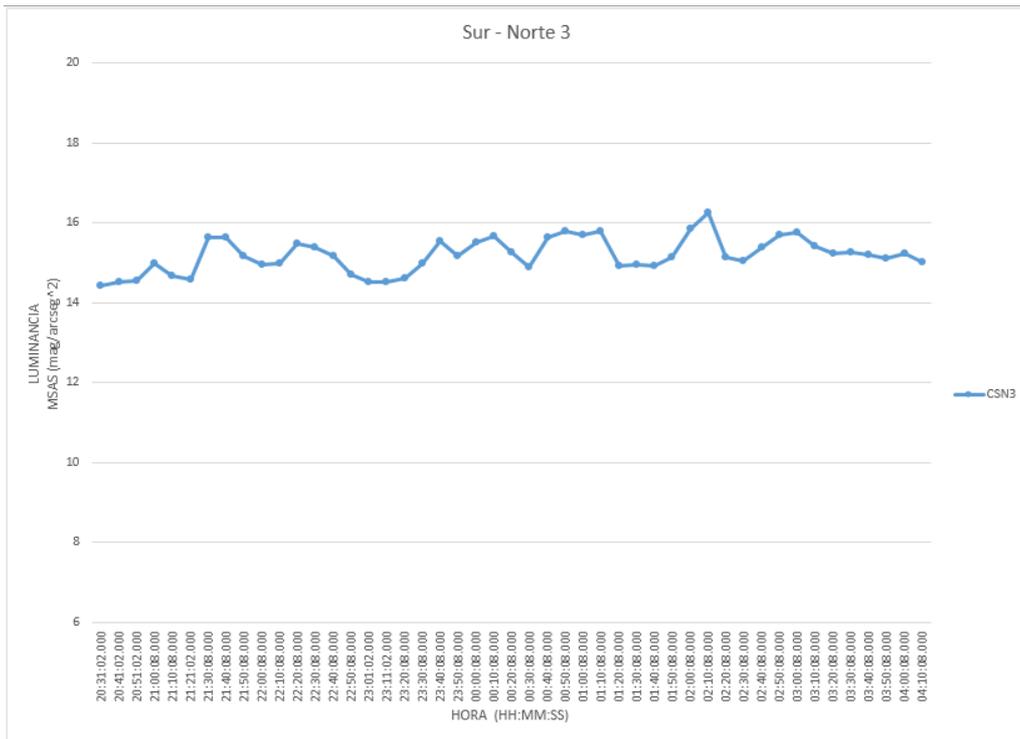
ZONA OESTE



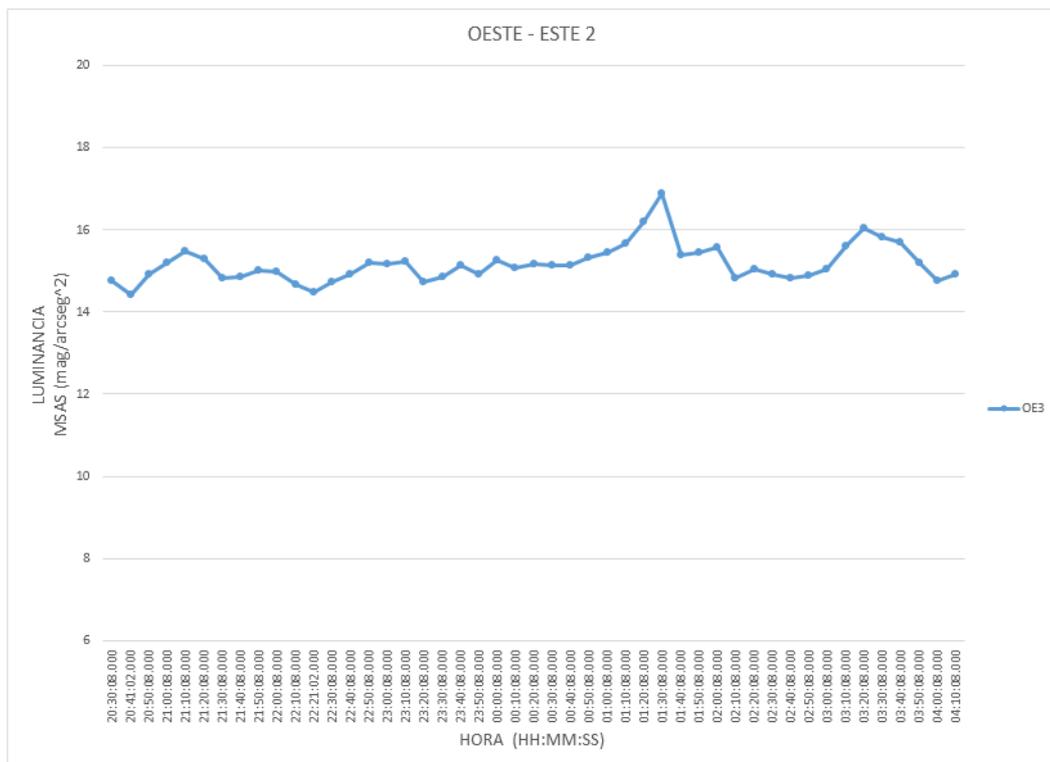
ZONA ESTE



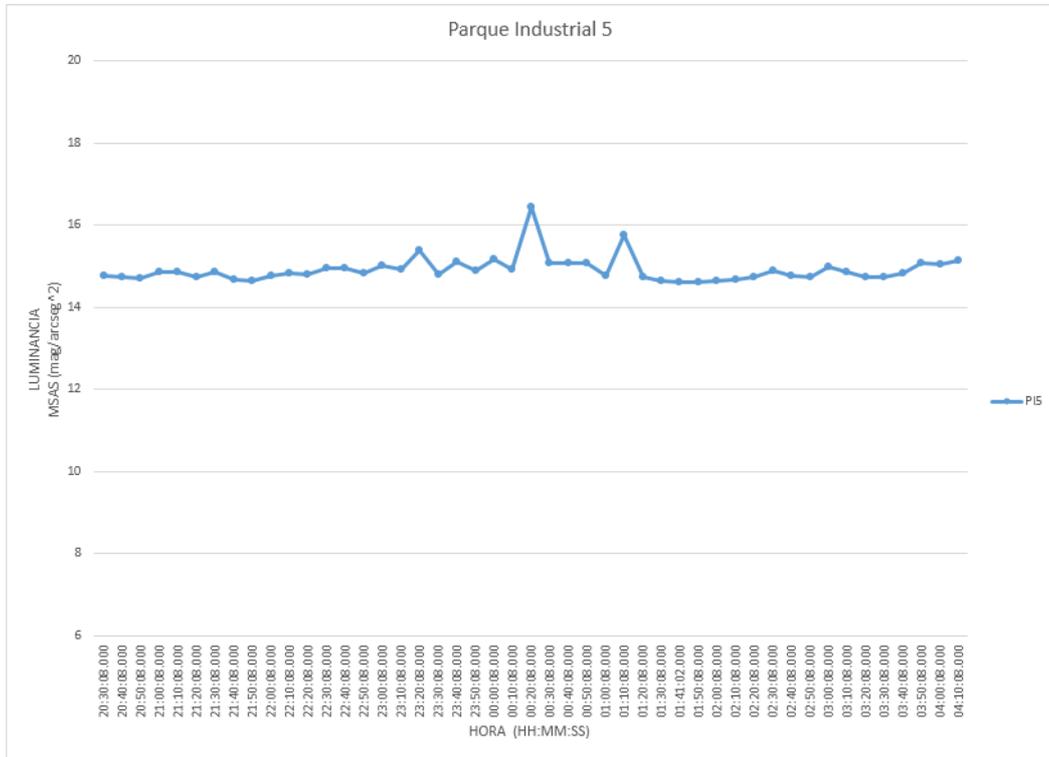
ZONA CÉNTRICA SUR-NORTE



ZONA CÉNTRICA OESTE- ESTE



ZONA PARQUE INDUSTRIAL



ANEXO 3
RESUMEN DE RESULTADOS EN CADA PUNTO

ZONA	CODIFICACIÓN	fecha			Brillo del Cielo MMS	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			CARACTERÍSTICAS DE LA LUNA		CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA (ug/m ³)			CLIMA				VEGETACIÓN	TIPO DE CONSTRUCCIÓN
		inicio	final	día		altura (msnm)	latitud	longitud	iluminación %	MP ₁₀ (ug/m ³)	NO _x (ug/m ³)	NUBOSIDAD %	HUMEDAD %	TEMPERATURA AMBIENTAL °C	PRECIPITACIÓN				
NORTE	N 1	22/12/2013	23/12/2013	Domingo	17,33	2°53'7.39"S	79° 1'52.51"O	2625	83,96	35,1	6,3	90	80	10	Lloviznas	Alta	Residencial		
	N 2	23/12/2013	24/12/2013	Lunes	16,43	2°53'1.77"S	79° 1'7.31"O	2666	76,39	35,1	6,3	30	40	12	Seco	Baja	Residencial		
	N 3	25/02/2014	26/02/2014	Martes	16,4	2°53'5.60"S	79° 0'27.13"O	2604	27,07	37,9	18,6	70	60	12	Seco	Baja	Residencial, Avenida transitada		
	N 4	25/12/2013	26/12/2013	Miércoles	16,36	2°53'9.50"S	78°59'58.27"O	2590	58,33	35,1	19,4	40	30	10	Seco	Media	Residencial		
	N 5	24/12/2013	25/12/2013	Martes	18,69	2°52'57.33"S	78°59'22.31"O	2540	67,77	35,1	10,5	40	30	11	Seco	Baja	Residencial		
	N 6	26/12/2013	27/12/2013	Jueves	16,56	2°52'53.14"S	78°58'44.28"O	2510	48,33	35,1	9,6	20	40	12	Seco	Baja	Residencial		
	N 7	27/12/2013	28/12/2013	Viernes	16,19	2°52'57.60"S	78°57'42.99"O	2449	38,09	35,1	5,5	35	55	11	Seco	Alta	Residencial		
SUR	S 1	28/12/2013	29/12/2013	Sábado	15,64	2°54'48.95"S	79° 1'50.39"O	2573	28,03	29,2	9,8	30	40	11	Seco	Baja	Residencial y comercial		
	S 2	29/12/2013	30/12/2013	Domingo	15,76	2°54'51.52"S	79° 1'10.55"O	2549	18,65	29,2	5,1	30	55	12	Seco	Baja	Residencial		
	S 3	30/12/2013	31/12/2013	Lunes	16,6	2°54'49.46"S	79° 0'39.40"O	2530	10,56	29,2	5,1	30	45	12	Seco	Media	Residencial y comercial		
	S 4	01/01/2014	02/01/2014	Miércoles	17,72	2°54'51.41"S	78°59'46.67"O	2504	0,79	32,3	14	50	85	12	Seco	Baja	Residencial		
	S 5	03/01/2014	04/01/2014	Viernes	16,11	2°54'53.29"S	78°59'21.16"O	2505	2,53	32,3	14	50	75	12	Seco	Media	Residencial		
	S 6	04/01/2014	05/01/2014	Sábado	15,85	2°54'35.97"S	78°58'56.88"O	2499	7,78	32,3	14	60	75	12	Seco	Baja	Residencial		
	S 7	06/01/2014	07/01/2014	Lunes	16,8	2°54'5.51"S	78°58'12.70"O	2512	24,65	32,3	12,4	75	95	12	Lloviznas	Media	Residencial		
OESTE	O 1	07/01/2014	08/01/2014	Martes	16,05	2°54'35.09"S	79° 1'40.72"O	2562	34,93	32,3	15,3	50	75	12	Seco	Baja	Residencial		
	O 2	08/01/2014	09/01/2014	Miércoles	15,6	2°54'24.39"S	79° 1'49.15"O	2565	45,59	32,3	15,3	60	85	12	Seco	Baja	Residencial		
	O 3	09/01/2014	10/01/2014	Jueves	15,93	2°54'2.13"S	79° 1'57.28"O	2585	56,11	27,6	20,7	70	99	12	Seco	Baja	Residencial		
	O 4	10/01/2014	11/01/2014	Viernes	15,84	2°53'51.11"S	79° 1'56.29"O	2586	66,08	27,6	20,7	60	90	13	Lloviznas	Baja	Residencial		
	O 5	21/01/2014	22/01/2014	Martes	15,89	2°53'29.92"S	79° 1'56.48"O	2587	82,08	31,1	9,7	70	75	13	Lloviznas	Media	Residencial		
	O 6	22/01/2014	23/01/2014	Miércoles	16,36	2°53'12.51"S	79° 2'6.47"O	2596	73,93	31,1	9,7	60	75	12	Lloviznas	Baja	Residencial		
	E 1	27/01/2014	28/01/2014	Lunes	15,92	2°54'17.29"S	78°58'38.04"O	2481	23,1	32,3	8,1	60	99	12	Lloviznas	Baja	Residencial		
ESTE	E 2	26/01/2014	27/01/2014	Domingo	16,5	2°53'59.61"S	78°58'42.84"O	2465	33,29	32,3	8,1	65	80	12	Seco	Media	Residencial		
	E 3	25/01/2014	26/01/2014	Sábado	15,75	2°53'47.78"S	78°58'38.97"O	2481	43,96	27,6	8,1	70	99	12	Seco	Baja	Residencial		
	E 4	24/01/2014	25/01/2014	Viernes	16,02	2°53'37.67"S	78°58'35.02"O	2495	54,57	27,6	12,4	75	99	13	Lloviznas	Baja	Residencial		
	E 5	23/01/2014	24/01/2014	Jueves	17,31	2°53'20.80"S	78°58'38.59"O	2510	64,67	31,1	19,6	75	90	12	Lloviznas	Baja	Residencial		



RESUMEN DE RESULTADOS EN CADA PUNTO

ZONA	CODIFICACIÓN	fecha			Brillo del Cielo		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			CARACTERÍSTICAS DE LA LUNA		CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA (ug/m ³)			CLIMA			VEGETACIÓN	TIPO DE CONSTRUCCIÓN
		inicio	final	día	MSAS	cd/m ²	latitud	longitud	altura (msnm)	ILUMINACIÓN %	MP ₁₀ (ug/m ³)	NO ₂ (ug/m ³)	NUBOSIDAD %	HUMEDAD %	TEMPERATURA AMBIENTAL °C	PRECIPITACIÓN			
CENTRO OESTE-ESTE	COE 1	19/02/2014	20/02/2014	Miércoles	15,77	0,0531	2°53'56,66"S	79° 1' 1,35"O	2549	86,63	34,3	14,5	70	80	12 Lloviznas	Baja	Residencial y comercial		
	COE 2	31/01/2014	01/02/2014	Viernes	15,17	0,0923	2°53'42,38"S	79° 0'47,76"O	2557	0,02	27,6	20,7	70	60	12 Lloviznas	Baja	Residencial y comercial		
	COE 3	07/02/2014	08/02/2014	Viernes	15,38	0,0761	2°53'53,25"S	79° 0'2,10"O	2538	49,79	34,3	17,1	75	90	12 Seco	Baja	Residencial y comercial		
	COE 4	30/01/2014	31/01/2014	Jueves	15,76	0,0636	2°53'48,56"S	78°59'32,09"O	2519	1,94	27,6	20,6	65	90	12 Lloviznas	Baja	Residencial y comercial		
	COE 5	29/01/2014	30/01/2014	Miércoles	15,98	0,0438	2°53'41,49"S	78°58'20,56"O	2471	6,76	27,6	12,4	80	70	12 Lloviznas	Baja	Residencial y comercial		
	COE 6	28/01/2014	29/01/2014	Martes	16,5	0,0271	2°53'35,08"S	78°57'42,67"O	2440	14,02	27,6	12,4	75	96	12 Lloviznas	Baja	Residencial y comercial		
CENTRO SUR-NORTE	CSN 1	03/02/2014	04/02/2014	Lunes	17,01	0,0170	2°54'55,45"S	79° 0'13,96"O	2517	11,71	32,7	10,2	60	75	12 Seco	Media	Residencial y comercial		
	CSN 2	02/02/2014	03/02/2014	Domingo	16,52	0,0266	2°54'36,34"S	79° 0'15,06"O	2518	5,22	32,7	10,2	45	75	12 Seco	Media	Residencial y comercial		
	CSN 3	20/02/2014	21/02/2014	Martes	15,19	0,0907	2°54'20,22"S	79° 0'14,98"O	2521	78,96	34,3	21,7	40	75	12 Seco	Baja	Residencial y comercial		
	CSN 4	04/02/2014	05/02/2014	Jueves	15,24	0,0866	2°53'52,68"S	79° 0'16,11"O	2551	20,02	34,3	24,2	65	80	11 Lluvia	Media	Residencial y comercial		
	CSN 5	01/02/2014	02/02/2014	Sábado	17,55	0,0103	2°53'25,52"S	79° 0'19,29"O	2553	1,18	37,9	18,6	60	70	12 Seco	Baja	Residencial y comercial		
PARQUE INDUSTRIAL	PI 1	06/03/2014	07/03/2014	Jueves	16,34	0,0314	2°52'51,97"S	78°58'32,90"O	2493	23,79	44,4	8,9	40	65	12 Seco	Baja	Industrial		
	PI 2	07/03/2014	08/03/2014	Viernes	15,88	0,0480	2°52'38,59"S	78°58'55,64"O	2523	33,1	44,4	8,9	80	70	11 Seco	Baja	Industrial		
	PI 3	08/03/2014	09/03/2014	Sábado	15,98	0,0438	2°52'21,62"S	78°58'43,38"O	2497	42,82	44,4	8,9	70	80	12 Seco	Baja	Industrial		
	PI 4	10/03/2014	11/03/2014	Lunes	15,75	0,0541	2°52'30,61"S	78°58'39,71"O	2490	62,04	44,4	8,9	80	70	12 Seco	Baja	Industrial		
	PI 5	11/03/2014	12/03/2014	Martes	14,91	0,1173	2°52'44,42"S	78°58'23,43"O	2476	70,98	44,4	8,9	70	80	12 Lloviznas	Baja	Industrial		

ANEXO 4

SOLICITUD EMOV EP

Cuenca, 19 de Noviembre 2013

Sr.
Dr. Darío Tapia Rivera.
Gerente General EMOV EP

EMOV EP
GERENCIA GENERAL
19 NOV 2013
TRAMITE Nº: 8265
RECIBIDO POR: [Signature] HORA: 03:11

De mis consideraciones.
Reciba un cordial saludo y deseo de éxito en sus labores; como parte del trabajo de grado en la Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Eléctrica, nos hemos planteado realizar conjuntamente con la EERCS C.A., un análisis de **POLUCIÓN LUMÍNICA** provocado por el alumbrado público en la ciudad de Cuenca, es por eso que por su intermedio pedimos a la Ing. Claudia Espinoza Molina, de la manera más comedida nos puedan ayudar con la información concerniente al último INFORME DE CALIDAD DEL AIRE DE CUENCA, habiendo un diálogo previo con la ingeniera sobre este tema, y teniendo la apertura del caso por parte de ella.

Por la favorable acogida que brinde a la presente, le anticipamos nuestros sinceros agradecimientos, suscribo.

Atentamente:
[Signature]
Raúl Martín Quito
C.I.: 0104963467
Estudiante de la Estudiante de la Universidad de Cuenca

[Signature]
Marco Vinicio Guanquiza
C.I.: 0105702484
Estudiante de la Estudiante de la Universidad de Cuenca

[Signature]
Ing. Santiago Pulla
Jefe del Departamento de Alumbrado Público
Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR

[Signature]
Ing. Juan Leonardo Espinoza
Director de Tesis

ANEXO 5

CORREOS ENVIADOS A UNIHEDRON.

Re: Equipment No2499 FTDB FAE 6 (SQM-LU-DL) - Cuenca



Anthony Tekatch [Agregar a contactos](#) 03/04/2014 |
Para: Martín Quito ▾

Hello Martin,

The 10km is our own estimate, but please check out the following which may help narrow down your conclusion:

"The Propagation of Light Pollution in the Atmosphere"
by Cinzano, P. and Falchi, F.
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol 427, Issue 4,
pages 3337-3357
<http://arxiv.org/pdf/1209.2031v1.pdf>
page 20
Figure 1 (left)

Best regards,
Anthony

On Thu, 3 Apr 2014 15:48:13 +0000, Martín Quito <martinquito@hotmail.com> wrote:

< Good morning, thanks for your response, then you tell me that we should put the meter each 10Km. Can you help us with any document that support the above, please. We need this information to present in the electrical company in Cuenca to buy the number of meter that we need, and have a support of the information to buy it.

> Best regards, Martín Quito

>

>> Date: Thu, 3 Apr 2014 09:06:57 -0400

>> From: anthony@unihedron.com

>> To: martinquito@hotmail.com

>> Subject: Re: Equipment No2499 FTDB FAE 6 (SQM-LU-DL) - Cuenca

>>

>> Hello Martin,

>>

>> Thank you for your interesting question.

>>

>> The meter is a point source device and only accurately tells the darkness of the sky at the point of the observer.

>>

>> There are many reasons for light pollution. One of the main factors is the reflection from particles in the air. Depending on the amount of smog or humidity and the distance to light sources, the "land coverage" will vary greatly.

>>

>> Generally, the cone of view of the meter is +/-20 degrees into the sky, but that does not help much to determine the size on the ground without knowing exactly how much of the atmosphere is reflecting light back from

Anthony Tekatch

Busca en Internet para obtener más información sobre Anthony Tekatch

Anthony Tekatch

Busca en Internet para obtener más información sobre Anthony Tekatch



>>
>> The distance over which the surface brightness of the sky changes
>> noticeably depends strongly on the nearest source of light pollution.
>> For, say, a shopping mall, radial intervals of 1 km would probably show
>> significant sky surface brightness changes. But for the integrated
>> skyglow due to a whole city, 10 km intervals would be needed to show
>> significant differences.
>>
>> Please let me know if you have any further questions.
>>
>>
>> Best regards,
>>
>> Anthony Tekatch
>> Unihedron
>> 4 Lawrence Ave.
>> Grimsby, ON L3M 2L9
>> Canada
>> Tel: (905) 945-1197
>> Fax: (905) 945-6770
>> <http://unihedron.com>
>>
>> On Thu, 3 Apr 2014 03:42:36 +0000, Martin Quito <martinquitoa@hotmail.com> wrote:
>>
>>> Good night, sorry to bother you, I bought the SQM-LU-DL equipment and perform
measurements in the city of Cuenca, Ecuador, but we need to know if you would be so kind to
help us, which is the radius of coverage of the measuring equipment. We need to know how much
land area covers measurement, how far should the equipment, the next equipment
>>>
>>> How many meters I put the equipment because the equipment cover that distance, that's
basically the question, I hope to understand me and that will depend on number of equipments
that we have to acquire your company ..
>

^ Anthony Tekatch

Busca en Internet pa
obtener más
información sobre
[Anthony Tekatch](#)

Contentido de

Contentido de
[Más información](#) |
[Desactivar](#)

