

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PÚBLICA EN CAMPO
ABIERTO DE ZONA INDUSTRIAL
EMPLEANDO PANELES SOLARES Y LUMINARIA LED**

MILLER ORDOÑEZ SOTO

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2014**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN PÚBLICA EN CAMPO
ABIERTO DE ZONA INDUSTRIAL
EMPLEANDO PANELES SOLARES Y LUMINARIA LED**

MILLER ORDOÑEZ SOTO

**Trabajo de Proyecto de pasantía presentado
como prerrequisito para obtener el título de
Ingeniero Electrónico
Director: Ing. Edilberto Polanía Puentes**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2014**

Nota de aceptación

Presidente de jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORÍA

Indudablemente, son muchas las personas que
están tras el logro de ser profesional.

Más aun así, dedico dicho logro a Dios por haberles traído a mí.
A mi madre, por haberme brindado la vida, la oportunidad de aprender
y la gran parte de mi caracterización.

A mi hermano, quien falleciera poco antes de llegar a este logro.

Dios le acoja en su perdón y le brinde la paz que merecía
A mi madrina Esther, por haber extendido su mano, apoyo y orientación
en el momento menos esperado.

A Margarita Matiz y la Fundación Colomboamericana.

Sin ellos, mucho de este logro no se habría dado.

A cada uno de los profesores que me impartieron su formación académica,
profesional y humana, para constituir un profesional integro.

Miller Ordoñez Soto

AGRADECIMIENTOS

No bastará una página para expresar mis agradecimientos, pues es amplio el compendio de razones por la cuales agradecer:

A Dios, por la compañía día a día en el extenso trasegar, por cada una de las herramientas que acerco a mí para hacerme fuerte. Y por las veces que olvide decir, gracias.

A mi madre, quien fue y es mi única familia que ha estado cerca, con quien he luchado y confrontado las adversidades de la vida, por más tajantes que fueren.

A mi madrina Esther, a Julita Edith, quienes han sido mis segundas madres. Madres con valiosos aportes.

A Juan Carlos Hernandez, quien me impartiera una de las mejores enseñanzas en mi vida. No podría brindarme el pez, más me enseñó a pescar.

A las profesoras del colegio Amparo Alfaro y Amparo Cuenca, quienes incentivaran mi ingreso a la universidad. Al igual por todos sus aportes en la secundaria.

A las profesoras de la universidad Amparo Cuenca y Ofelia Ramírez, quienes consolidaran y fortalecieron en mí, un profesional humano y ávido de aprendizaje.

Al ingeniero Ivan Joya, quien me abriera las puertas de Colombia Energy, para ser parte de su proyecto.

A cada uno de los ingenieros que participaron en mi formación como profesional, por cuanto me aportaron.

Finalmente, a cada uno las personas que conociera en mi trascurso por la universidad, pues de cada uno he conservado un poco, para el futuro venidero.

La universidad, es lo más genial que he podido vivir en mi vida académica. !!!

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PROCESO DE PASANTÍAS	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2 JUSTIFICACIÓN	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo General	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. MARCO DE REFERENCIA	20
3.1 RESEÑA HISTORIA DE COLOMBIA ENERGY S.A.S	20
3.2 CONVENIO INTERINSTITUCIONAL	20
3.2 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA (USCO)	21
4. ANTECEDENTES	24
4.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ILUMINACIÓN PÚBLICA.	24
4.2 ANTECEDENTES DE AVANCES EN EL CAMPO DE LA ILUMINACIÓN CON LUMINARIA LED Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.	29
4.2.1 Estudios de Factibilidad.	29
4.2.2 Proyectos aplicados internacionalmente.....	30
4.2.3 Proyectos a nivel nacional	31
4.2.4 Proyectos locales.....	32
5. MARCO CONCEPTUAL	33
5.1 LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (SFV)	33
5.2 ORÍGENES, ANTECEDENTES Y APLICACIONES INICIALES.	34
5.3 ¿CÓMO ESTÁN CONFORMADOS LOS SFI?	35
5.3.1 Paneles solares	37
5.3.2 Diodo emisor de luz [LED].	39
6. MARCO LEGAL COLOMBIANO PARA LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS ...	45
6.1 PROMOCIÓN Y MARCO REGULATORIO.	45
6.2 ESTAMENTOS GUBERNAMENTALES	46
6.3 NORMATIVA NACIONAL PARA SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.	48
7. METODOLOGÍA	49
7.1 VARIABLES DE EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO	49
7.1.1 Nivel de irradiancia en el territorio colombiano	54

8. PRUEBAS, RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS	57
8.1 PRUEBA DE PARÁMETROS: Paneles Solares.....	57
8.1.1 La selección de paneles de prueba.	58
8.1.2 Metodología de la prueba	58
8.1.3 Resultados	58
8.1.4 Análisis de resultados	59
8.2. PRUEBA DE PARÁMETROS: Luminaria LED	60
8.2.1 La selección de la lámpara de prueba.	60
8.2.2 Metodología de la prueba	61
8.2.3 Resultados	62
8.2.4 Análisis de resultados.	63
8.3 PRUEBA DE PARÁMETROS: Luminaria Convencional.....	64
8.3.1 La selección de la lámpara de prueba.	64
8.3.2 Metodología de la prueba	66
8.3.3 Resultados	66
8.3.4 Análisis de resultados.	67
8.4. CONTRASTE E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	68
9. ANÁLISIS COMPARATIVO Y CONTRASTE.....	70
9.1 VENTAJAS Y LIMITANTES	70
9.1.1 Ventajas del uso de luminaria LED	70
9.1.2 Limitantes del uso de luminaria LED.....	70
9.1.3 Ventajas del uso Sistemas de Iluminación con Fuentes de Alimentación Fotovoltaica.....	72
9.1.4 Limitantes del uso de Sistemas de Iluminación con Fuentes de Alimentación Fotovoltaica.	73
9.2 DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	75
9.2.1 Relación de costes ante otras fuentes energéticas.....	75
9.2.1.1 Fuentes convencionales: Hidrocarburos Vs. Fotovoltaicos.....	75
9.2.1.2 Fuentes convencionales: Hidrogeneración Vs. Fotovoltaicos	75
9.2.2 Factibilidad de costes en tiempo:.....	76
9.3 DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD AMBIENTAL	85
9.3.1 Factores de factibilidad ambiental.....	85
9.4 CONCLUSIONES ALREDEDOR DE LA FACTIBILIDAD AMBIENTAL.....	89
10. PROCESO DE DISEÑO	90
10.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO POR ETAPAS.....	91
10.1.1 Reconocimiento del sitio y objetos a iluminar	92
10.1.3 Carga en potencia lumínica.	97
10.1.4 Condiciones ambientales y Niveles de Irradiancia.....	97
10.1.5 Horas de funcionamiento	98
10.1.6 Capacidad nominal de los módulos de almacenamiento	98

10.1.7 Determinación de la potencia de módulos solares.....	100
10.2 DISEÑO DEL POSTE.....	101
10.2.1 Parámetros de diseño de postes metálicos para alumbrado público ..	101
CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES.....	104
REFERENCIAS	105

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Proyectos iluminación pública: Sector no industrial.	31
Tabla 2: Clasificación Índices de Rendimiento del Color.	56
Tabla 3: Parámetros funcionamiento - Paneles fotovoltaicos disponibles Colombia Energy.	58
Tabla 4: Voltajes y corrientes de funcionamiento de los paneles a una carga prueba.	58
Tabla 5: Parámetros técnicos de la lámpara LED en prueba.	60
Tabla 6: Valores de Iluminancia en lámpara de prueba- LED.	62
Tabla 7: Parámetros técnicos de lámpara Convencional en prueba.	65
Tabla 8: Valores de Iluminancia en lámpara de prueba- Sodio Baja presión.	66
Tabla 9: Contraste de valores en las pruebas de luminarias.	68
Tabla 10: Aspectos complementarios de selección.	69
Tabla 11: Cuadro comparativo de luminaria convencional a LED.	71
Tabla 12: Precio promedio entre los años 2011 y 2013.	79
Tabla 13: Estadístico descriptivo del incremento trimestral ACPM 2011-2013.	80
Tabla 14: Resumen proyección coste de funcionamiento 1 y 10 años.	81
Tabla 15: Estadístico descriptivo de la variación trimestral del precio promedio bolsa energía- Última década.	84
Tabla 16: Principales constituyentes inorgánicos, de lámparas de vapor de mercurio.	86
Tabla 17: Cantidad de bombillas importadas por tecnología [Junio 2006-2007].	87
Tabla 18: Estimativo de los componentes orgánicos que liberaron al medio ambiente las lámparas importadas durante junio de 2006 y 2007.	87
Tabla 19: Requisitos fotométricos mantenidos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada	94

Tabla 20: Parámetros fotométricos de diseño.	96
Tabla 21: Características carga lumínica.	97
Tabla 22: Niveles promedio multianual de radiación de las regiones en aplicación.	98
Tabla 23: Características Módulo de almacenamiento 6 50G05 GNB Adsolyte GP	99
Tabla 24: Características Módulo de almacenamiento 3 100G15 GNB Adsolyte GP	99
Tabla 25: Factores determinantes en la selección del Módulo Fotovoltaico.	100
Tabla 26: Parámetros de diseño en Postes y brazos metálicos.	101
Tabla 27: Características mecánicas mínimas para láminas, tubos y platinas de acero	101

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Sitio Web Ecosolar –Cubasolar	30
Figura 2: Encabezado promotor de las Lámparas Solares de Hybrytec.	32
Figura 3: Etapas que componen un SFI. Bloques de desarrollo	36
Figura 4: Esbozo inicial del sistema a desarrollar	36
Figura 5: Funcionamiento de las células solares.	37
Figura 6: Celda solar en el proceso de diseño de paneles solares.	38
Figura 7: Tipos de LED ampliamente usados.	39
Figura 8: Recreación del experimento de Round.	40
Figura 9: Aplicaciones de los LED.	42
Figura 10: Desglose de elementos en una batería.	43
Figura 11: Consumo final de energía por sectores- UPME (índice a 2011.)	47
Figura 12: Luminancia-Alumbrado público.	50
Figura 13: Luminancia-Alumbrado público.	51
Figura 14: Esquema del espectro de luz visible definido por la long. Onda.	51
Figura 15: Lámparas de alumbrado público.	52
Figura 16: Ejemplos de distribución de haz de luz en Luminaria.	52
Figura 17: Mapa de Radiación Solar Colombia: Promedio multianual	55
Figura 18: Esquema del método de prueba.	57
Figura 19: Esquema del Patrón de lectura de Iluminancia en Luminaria LED	60
Figura 20: Lámpara LED sometida a prueba de ilumancia y patrón de radiación	61
Figura 21: Gráfico de lecturas de iluminancia a varias alturas.	62

Figura 22: Esquema del patrón de lectura de Iluminancia en Luminaria Convencional.	64
Figura 23: Lámpara convencional de Sodio de Baja presión.	65
Figura 24: Gráfico de lecturas de iluminancia obtenidos en la prueba.	67
Figura 25: Distribución del consumo de energía eléctrica en Colombia (2005).	76
Figura 26: Evolutivo de costes ACPM, entre 2010 y 2011.	77
Figura 27: Evolutivo de costes –ACPM-, entre 2003 y 2013, en la capital del país-UPME.	78
Figura 28: Comportamiento del costo del kWh-(1995-2014).	83
Figura 29: Esquema de caja blanca con el que se define el modelo de diseño.	91
Figura 30: Iluminancia en un punto - Método del coseno	95
Figura 32: (Izq.) Matriz de LED's de la lámpara a emplear.	97
Figura 33: (Izq.) Módulo Absolyte 6 50G05	100
Figura 31: Arreglo de unidades lumínicas para el sistema de alumbrado diseñado.	102

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A: Variación precio del ACPM (última década).	114
ANEXO B: Variación precio de la bolsa energía eléctrica.	117
ANEXO C: Imágenes de la implementación	120

NOMENCLATURAS

AC	Corriente alterna (por sus siglas en inglés Alternating Current)
DAI	Descarga de alta intensidad.
DC	Corriente Directa (por sus siglas en inglés Direct Current)
<i>Ev</i>	Iluminancia.
<i>HID</i>	<i>High Intensity Discharge</i>
<i>LED</i>	Diodo Emisor de Luz (por sus siglas en inglés, Light Emitting Diode).
<i>Lv</i>	Luminancia.
η	Eficiencia lumínica.
<i>SI</i>	Sistema Internacional de Unidades.
<i>SIC</i>	Sistemas de Iluminación Convencional.
<i>SFI</i>	Sistemas Fotovoltaicos de Iluminación.
<i>SFV</i>	Sistemas Fotovoltaicos.

INTRODUCCIÓN

Aunque inadvertida la invención del alumbrado público con componentes eléctricos es bastante reciente. Los sistemas de iluminación eléctricos surgen tras la primera revolución industrial y se masificaron con los consecuentes éxodos de los sectores rurales hacia la ciudad.

Transcurría el último tercio del siglo XIX y, las nuevas y crecientes ciudades industriales del occidente de Europa, implementaban a su paso las novedosas soluciones que estaban al alcance. Una de las primeras soluciones en conocerse corresponde a la farola del tipo arco eléctrico, que funcionaba con un electrodo de carbón, conocidas como velas *Jablochkoff* y desarrolladas por el ruso Pawel Yablochkov. Sin embargo, la luz de arco eléctrico tenía dos grandes inconvenientes: emitía una luz intensa y presentaba gran desprendimiento de calor, aunque útil para zonas industriales como los astilleros, era incómoda para las calles de las ciudades. Además requiere mucho mantenimiento debido al rápido desgaste de los electrodos de carbón.

Con la segunda Revolución Industrial y la posterior era tecnológica, surgieron y evolucionaron un buen número de descubrimientos o invenciones alrededor del sector eléctrico, que fueron especializadas en la iluminación pública y paralelamente en la industrial. Teniendo lugar a finales del siglo XIX, con el desarrollo de lámparas incandescentes ahorradoras, brillantes y fiables, las de luces de arco quedaron en desuso para el alumbrado público, permaneciendo para usos industriales.

La documentación histórica data, por ejemplo, casos como el de la lámpara fluorescente, que se usó brevemente después de la lámpara incandescente en alumbrado público, principalmente debido a que no es una fuente puntual de luz, aún cuando son más eficientes que las lámparas incandescentes.

Posteriormente, se desarrolla la lámpara de vapor de mercurio de alta presión, que es una lámpara de arco eléctrico cuya descarga ocurre dentro de un gas bajo alta presión, por lo que se llamó HID, también se conocen como DAI¹. En estas lámparas debido a la degradación de los componentes internos, se pierde intensidad luminosa rápidamente, pero es una fuente puntual de luz. Posterior a la

¹ Sigla en español Descarga en Alta Intensidad

lámpara de vapor de mercurio, se desarrolló la lámpara de vapor de sodio de baja presión, que emite una luz monocromática, después se desarrolló la lámpara de vapor de sodio de alta presión, cuya luz es de color ámbar, pero tiene un índice de rendimiento de color un poco mayor, es una fuente de luz más puntual y de un tamaño menor que la lámpara de vapor de sodio de baja presión, lo que facilita su manejo y permite un mejor diseño de los luminarias, esta lámpara entra dentro de la categoría HID o DAI

Trascurre la década de los 60 del siglo pasado y tiene su origen uno de los principales protagonistas de la actual revolución por la eficiencia energética ante la creciente demanda de soluciones tecnológicas, con el menor número de afectaciones al medio ambiente. El LED, que en sus primeras aplicaciones no se contemplaba como un elemento factible para aplicaciones de iluminación, se empleaba como piloto indicador en dispositivos electrónicos, posteriormente en señalización y carteles en exteriores.

Los nuevos modelos desarrollados para obtener el LED de brillo durante las dos últimas décadas del siglo XX, permitió una mayor implementación en aplicaciones como luces de semáforos. Actualmente, los LED han alcanzado niveles de rendimiento significativos, resultando viables en una amplia gama de aplicaciones en los sistemas de iluminación.

Es en virtud de este histórico evolutivo de los sistemas de iluminación, que ha trascendido desde las rústicas y poco eficientes fuentes lumínicas del siglo XVIII hasta las más recientes luminarias, de significativo costo ambiental, cortos tiempo de vida y frecuentes fallos de funcionamiento, que este proyecto de investigación se ha orientado en la exploración de las actuales y recientes desarrollos de la tecnología LED para fusionarlos a las ventajas de los sistemas fotovoltaicos, obteniéndose de este modo, el mejor desempeño en eficiencia energética, lumínica y económica, salvaguardando el medio ambiente.

1. PROCESO DE PASANTÍAS

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia Energy S.A.S, empresa prestadora de servicios en soluciones energéticas, cofundada y, actualmente dirigida por el ingeniero Iván Joya Olivares, ingeniero electrónico egresado de la Universidad Surcolombiana y emprendedor de la región en la industria energética y de los hidrocarburos. En el desarrollo de sus labores como empresario, el ingeniero Joya, llevo a cabo la invención de los módulos móviles de iluminación fotovoltaica, haciéndolos parte de los servicios que ofrece su empresa, Colombia Energy.

Como parte del proceso de pasantía se planteó el siguiente problema:

¿Utilizar luminaria LED y sistemas fotovoltaicos en iluminación pública del sector industrial, ofrecería mayores niveles de factibilidad económica, funcional y de cuidado ambiental frente a la luminaria convencional?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Globalmente se han observado los efectos que han traído elevados niveles de consumo energético, reflejados en el desequilibrio y cambio climático. Los crecientes niveles de consumo energético que representan las industrias y el sector domiciliario, son algunos aspectos que preocupan frente a las medidas que deben adoptarse para suplir dicha demanda.

Inmerso dentro de los subsectores de notable consumo se encuentran los sistemas de iluminación que, aunque mitigados por medidas y acuerdos internacionales, no logran eliminar los fallos y afectaciones que representan grandes cantidades de desechos con contenido de metales pesados y la generación de energía con combustibles fósiles para su funcionamiento. Sumado a lo anterior, cabe señalar que los costos de carácter ambiental y económico, en razón a frecuentes cambios por daño y cortos tiempos de vida en los sistemas de iluminación convencionales, conllevan a factores de factibilidad económica y medioambiental cuestionables.

Ante la continuación de dichos sistemas de iluminación, por carencia de buenas prácticas operacionales y cultura de buen uso de la energía, se estaría ante una condición que aportaría al recrudecimiento de los efectos nocivos para el medio ambiente a largo plazo. Así pues, conservándose las condiciones actuales se tendrían: alto consumo de energía, costos de consumo significativos, costos de

mantenimiento adicionales, puntos de iluminación sin reparar, entre otros. Este sería un indicador del atraso presente en la industria y el sector productivo, ante nuevas soluciones presentadas para innovar y avanzar tecnológicamente en pro del desarrollo local y nacional, generando industria innovadora, con cabida a la investigación y de mano con el cuidado del ambiente.

El auge de las energías alternativas ha permitido que todos tengan una opción diferente que mitigue los efectos nocivos de grandes consumos de energía que afectan el planeta. En ese orden de ideas, la realización de un estudio de factibilidad del uso de tecnología LED para la iluminación junto a las bondades de los sistemas fotovoltaicos, aportaría a contrarrestar esta problemática.

Dicho estudio busca los elementos teóricos y prácticos, que demuestren la factibilidad y ventajas del uso de tecnología LED en relación con el uso de tecnología convencional, abriendo localmente una ventana a la industria de la innovación, alentando a la inversión en investigación y desarrollo de soluciones en la ingeniería local que pareciese no conocer las ventajas que ello representa.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Estudiar la factibilidad económico-ambiental de un sistema de iluminación pública, en campo abierto de zona industrial, empleando sistemas fotovoltaicos y luminaria LED y diseñar un prototipo de prueba.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las variables de contraste para definir los aspectos favorables y defectivos de los sistemas de iluminación tradicional y LED.
- Realizar las pruebas y toma de datos de los sistemas en estudio.
- Definir las relaciones de costo/beneficio económico y ambiental entre los Sistemas LED, ante los sistemas tradicionales.
- Determinar los posibles fallos y peligros potenciales de los sistemas en estudio.
- Determinar el grado de factibilidad de un sistema de iluminación pública a través de Sistemas fotovoltaicos.
- Elaborar un prototipo de Sistema Fotovoltaico de Iluminación con Luminaria LED.

3. MARCO DE REFERENCIA

COLOMBIA ENERGY, S.A.S. es una empresa especializada en energías alternativas. Desarrollando productos y sistemas con la más alta tecnología, en un mercado con eficiencia y con la mayor disposición en el cuidado del medio ambiente.

Empresa líder en el desarrollo de energías alternativas, orientada a lograr un aprovechamiento racional de los recursos naturales de nuestro planeta; apostándole al desarrollo sostenible y a las nuevas tecnologías que den una mayor calidad de vida a las personas. Especializados en la venta e instalación, ofreciendo una mayor satisfacción a nuestros clientes con un óptimo y excelente servicio de calidad, realizando un seguimiento continuo de la tecnología utilizada; respaldados por empresas como CEPS LTDA.

3.1 RESEÑA HISTORIA DE COLOMBIA ENERGY S.A.S

Legalmente constituida en Marzo de 2010 por un personal joven y de altos conocimientos en el área, especializada en energías alternativas; creando una empresa como SOCIEDAD ANONIMA SIMPLIFICADA (S.A.S.) conocida como COLOMBIA ENERGY.

En el desarrollo de sus labores, se han concebido una serie de soluciones en iluminación para el sector industrial, con enfoque en los sistemas fotovoltaicos. Sin dejar de lado la investigación en el campo mismo.

3.2 CONVENIO INTERINSTITUCIONAL

Dentro del desarrollo de nuevas soluciones en iluminación, Colombia Energy, realiza un convenio interinstitucional con la Universidad Surcolombiana, en el que se concibe el presente estudio de factibilidad como fruto del proceso de pasantía.

3.2 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA (USCO)

El 17 de diciembre de 1968, mediante la Ley 55 se crea el Instituto Técnico Universitario Surcolombiano, ITUSCO, con la misión de preparar y calificar los profesionales que requerían la región y el conocimiento de su realidad concreta. Inició labores académicas el 30 de marzo de 1970, con tres programas de Tecnología (Administración de Empresas, Administración Educativa y Contaduría Pública), con trescientos cinco (305) alumnos y cuatro (4) profesores de tiempo completo.

ITUSCO, mediante ley 13 de 1976, se transformó en Universidad Surcolombiana, con estructura similar a la de la Universidad Nacional de Colombia, excepto en la conformación del Consejo Superior; en consecuencia, limitó la competencia de la Universidad al ofrecimiento sólo de programas académicos establecidos por la Universidad Nacional. La Universidad Surcolombiana nunca atendió este mandato legal y creó otros programas que luego oficializó ante el ICFES. Vale decir que durante la primera década de existencia, varios programas nacieron sin tener un norte específico y sin el aval de la Universidad Nacional. Sólo en el transcurso de su desarrollo se fueron creando las facultades y oficializando los programas a nivel profesional ante el ICFES.

En 1973 se trasladó a la sede de la Avenida Pastrana Borrero, Carrera 1°, con los mismos programas, más Lingüística y Literatura, todos a nivel de tecnología. En 1974 se creó el Programa de Enfermería.

Hasta 1980, la Universidad Surcolombiana aún no había iniciado la cultura de la planeación y la autoevaluación y ya ofrecía nueve programas educación: Preescolar, Lingüística y Literatura, Administración Educativa, Educación Física, Matemáticas y Física, Contaduría Pública, Administración de Empresas, Ingeniería Agrícola y Enfermería; tenía 1.879 estudiantes, noventa y nueve profesores de tiempo completo y algunos de medio tiempo y cátedra. Hasta esa fecha, no se ofrecía ningún programa de postgrado.

En 1983, se crearon cuatro nuevos programas: Medicina, Ingeniería de Petróleos, Tecnología Agropecuaria y Licenciatura en Tecnología Educativa, estos dos últimos en la modalidad a distancia.

En 1984 se ofreció el primer Postgrado en la Universidad Surcolombiana, de Especialización en Matemáticas, en convenio con la Universidad Nacional de Colombia.

En 1989 ya se ofrecían once programas presenciales en Neiva: los nueve programas arriba mencionados, más Medicina e Ingeniería de Petróleos. Además, tres fueron creados en convenio con el Instituto Huilense de Cultura;6 seis a distancia en las sedes: Licenciatura en Tecnología Educativa, creada por Resolución 2123 de octubre de 1989; Tecnología Agropecuaria, Resolución 0626 de marzo de 1988; Tecnología en Gestión Bancaria y Financiera, en convenio con la Universidad del Tolima, Resolución 2419 de noviembre de 1989; Tecnología en Obras Civiles, en convenio con la Universidad del Quindío, según Resolución 190 de febrero de 1990; Tecnología en Administración Municipal, en convenio con la ESAP y Licenciatura en Educación Básica Primaria, en convenio con la Universidad del Quindío, Resolución 191 de febrero de 1990, y dos postgrados de Especialización en Gestión del Desarrollo Regional, según Acuerdo 191 de noviembre de 1989 y en Sistemas, en convenio con la Universidad Nacional de Colombia, abril de 1989. Todas las resoluciones y acuerdos mencionados fueron expedidos por el ICFES. En los veintidós programas, 201 profesores de tiempo completo, 29 de medio tiempo y un número oscilante de catedráticos atendían 4.275 estudiantes. Una sola cohorte del Programa de Educación Básica Primaria a Distancia, atendía 1082 estudiantes.

Los años 1993 y 1994 marcan la aplicación de la Ley 30 de 1992 y la designación del rector por parte de la comunidad universitaria, de acuerdo con los nuevos procedimientos normativos.

Otro hecho importante para el desarrollo de la Universidad se produjo entre 1993 y 1994 con la definición, por parte del Consejo Superior, de la primera Teleología Institucional, plasmada en el Estatuto General.

A la fecha, la institución ha logrado un mejoramiento significativo en la realización de sus funciones misionales, evidente en la acreditación de alta calidad de los programas de Medicina, Enfermería, Educación Física, Contaduría Pública, Lenguas Modernas e Ingeniería de Petróleos, y en el fortalecimiento y consolidación de grupos de investigación y proyección social.

Por Acuerdo 020 de 2003, el Consejo Superior expidió el Proyecto Educativo Universitario donde se declaran la misión, los principios, los propósitos, la visión, las políticas y los macro proyectos institucionales, en atención a lo aprobado en el Plan de Desarrollo. Por acuerdo 021 de 2006 se modificó la misión de la Universidad.

Además, en el año 2007, el Consejo Superior estableció políticas académicas, de investigación, de proyección social, administrativas y financieras para la institución.

Durante el año 2008, con participación de la comunidad universitaria y los actores relevantes de la región, se formuló el quinto plan de desarrollo para el periodo comprendido entre los años 2009 – 2012 con horizonte prospectivo al año 2019. Este plan está orientado a la Acreditación Académica y Social de la Universidad Surcolombiana; para ser reconocida por el mundo académico y productivo en los ámbitos regional, nacional y mundial. Está orientado por la estrategia de gestión de calidad para la acreditación institucional, mediante las estrategias de consolidación de la comunidad académica, la modernización logística y tecnológica y de cooperación interinstitucional.

En este año 2014, la Universidad Surcolombiana está cumpliendo 44 años de labores académicas como institución de educación superior.

Ante el reto de la consolidación del trabajo academia-industria, la Universidad surcolombiana celebra acuerdos con las diferentes empresas locales y regionales. Siendo en esta oportunidad con la empresa Colombia Energy S.A.S, para efecto del desarrollo del presente estudio de factibilidad realizado. Dando cabida a una participación activa y fuerte de la misma dentro del sector industrial, lográndose una mayor aplicabilidad de las investigaciones, estudios y metodologías en el ámbito local, para el desarrollo, inversión y el repunte de la región surcolombiana.

4. ANTECEDENTES

4.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ILUMINACIÓN PÚBLICA.

La iluminación en la historia ha sido un referente de desarrollo técnico de la humanidad en búsqueda de mejores condiciones en la oscuridad de la noche, aquel elemento que a diario vivimos, sinónimo de descanso y peligro. Múltiples fuentes datan como los primeros intentos de iluminación fueron, precisamente, para alejar o cazar a los depredadores, así como asediar a los grandes mamíferos.

La primera forma de iluminación artificial se logró con las fogatas utilizadas para calentarse y protegerse de los animales salvajes. Siendo un evolutivo de las mismas, las antorchas. Durante miles de años la antorcha continuó como una importante fuente de iluminación. Durante el medioevo las antorchas, portátiles o ancladas en soportes metálicos de las callejuelas y plazas, se convirtieron en el primer ejemplo de alumbrado público.

Las lámparas de terracota más antiguas, que datan de 7.000 a 8.000 A.C., han sido encontradas en las planicies de Mesopotamia. En Egipto y Persia se han encontrado lámparas de cobre y bronce que datan aproximadamente de 2.700 A.C.

En 1.000 A.C. la eficiencia de las luminarias se debía a sus mechas vegetales que quemaban aceites de olivo o nuez. Los romanos desarrollaron lámparas de terracota con o sin esmaltar y con una o más salidas para mechas. Con la introducción del bronce y posteriormente del hierro, los diseños de las lámparas de aceite se fueron haciendo más y más elaborados.

Leonardo Da Vinci, modificó este diseño y añadió un lente de cristal. La luz que provenía de esta nueva lámpara se lograba por una mecha que se quemaba en forma constante, y gracias al lente de cristal la superficie de trabajo recibía niveles de iluminación que permitían la lectura nocturna.

El físico suizo Aimé Argand patentó una lámpara con un quemador circular, una mecha tubular y una columna de aire con la que dirigiría y regulaba el suministro de aire a la flama. Argand descubrió que la columna circular de aire reducía el "parpadeo" de la llama. En 1880, Bertrand G. Carcel añadió a este diseño una bomba con mecanismo de reloj para alimentar el aceite a la mecha. La lámpara Argand se convirtió en el standard de fotometría debido a la constancia de su luz. Posteriormente, Benjamín Franklin descubrió que dos mechas juntas daban más luz que dos lámparas de una sola mecha.

El descubrimiento del petróleo en 1859 por Edwin L. Drake produjo una nueva fuente de gran eficiencia luminosa. Durante los próximos 20 años, el 80% de las patentes anuales se destinaron a este tipo de luminarias. Durante el resto del siglo XIX y principios del siglo XX, estas lámparas registraron numerosas mejoras, haciéndolas de uso común en los ambientes domésticos, industriales y de alumbrado público.

El uso de velas data a los principios de la era cristiana y su fabricación es probablemente una de las industrias más antiguas. Las primeras velas eran hechas con palos de madera recubiertos con cera de abeja. Se piensa que los fenicios fueron los primeros en usar velas de cera (400 D.C.). Durante los siglos XVI a XVIII, las velas eran la forma más común para iluminar los interiores de los edificios.

Los antiguos códigos de Egipto y Persia hablan de explosiones de gases combustibles que brotaban a través de las fisuras de la tierra. Los chinos usaban al gas como fuente de iluminación muchos siglos antes de la era cristiana. Extraían al gas de yacimiento subterráneos por medio de tubería de bambú y lo usaban para iluminar las minas de sal y edificios de la provincia de Szechuan. En 1664, John Clayton descubrió en el norte de Inglaterra un pozo de gas y lo extrajo por destilación. En 1784, Jean Pierre Mincklers produjo luz por primera vez con gas mineral. La primera instalación de luminarias de gas la usó William Murdock en 1784 para iluminar su casa en Inglaterra. Posteriormente, se iluminaron almacenes, a los cuáles se conducía el gas por medio de ductos de metal.

En 1650, Otto von Guericke de Alemania descubrió que la luz podía ser producida por excitación eléctrica. Encontró que cuando un globo de sulfuro era rotado rápidamente y frotado, se producía una emanación luminosa. En 1706, Francis Hawsbee inventó la primera lámpara eléctrica al introducir sulfuro dentro de un globo de cristal al vacío. Después de rotarla a gran velocidad y frotarla, pudo reproducir el efecto observado por von Guericke.

William Robert Grove en 1840, encontró que cuando unas tiras de platino y otros metales se calentaban hasta volverse incandescentes, producían luz por un periodo de tiempo. En 1809, uso una batería de 2000 celdas a través de la cual paso electricidad, para producir una llama de luz brillante, de forma arqueada. De este experimento nació el término "lámpara de arco".

La primera patente para una lámpara incandescente la obtuvo Frederick de Moleyns en 1841 en Inglaterra. Aun cuando esta producía luz por el paso de electricidad entre sus filamentos, era de vida corta. Durante el resto del siglo XIX, muchos científicos trataron de producir lámparas eléctricas.

Finalmente, Thomas A. Edison produjo una lámpara incandescente con un filamento carbonizado que se podía comercializar. Aunque esta lámpara producía luz constante durante un periodo de dos días, continuó sus investigaciones con materiales alternos para la construcción de un filamento más duradero. Su primer sistema de iluminación incandescente la exhibió en su laboratorio el 21 de diciembre de 1879.

Edison hizo su primera instalación comercial para el barco Columbia. Esta instalación con 115 lámparas fue operada sin problemas durante 15 años. En 1881, su primer proyecto comercial fue la iluminación de una fábrica de Nueva York. Este proyecto fue un gran éxito comercial y estableció a sus lámparas como viables. Durante los siguientes dos años se colocaron más de 150 instalaciones de alumbrado eléctrico y en 1882 se construyó la primera estación para generar electricidad en Nueva York. En ese mismo año, Inglaterra montó la primera exhibición de alumbrado eléctrico.

Cuando la lámpara incandescente se introdujo como una luminaria pública, la gente expresaba temor de que pudiese ser dañina a la vista, particularmente durante su uso por largos períodos. En respuesta, el parlamento de Londres impuso una legislación prohibiendo el uso de lámparas sin pantallas o reflectores. Uno de los primeros reflectores comerciales a base de cristal plateado fue desarrollado por el E. L. Haines e instalado en los escaparates comerciales de Chicago.

Hubo numerosos esfuerzos por desarrollar lámparas más eficientes. Welsbach inventó la primera lámpara comercial con un filamento metálico, pero el osmio utilizado era un metal sumamente raro y caro. Su fabricación se interrumpió en 1907 cuando apareció de la lámpara de tungsteno.

En 1904, el norteamericano Willis R. Whitney produjo una lámpara con filamento de carbón metalizado, la cual resultó más eficiente que otras lámparas incandescentes previas. La preocupación científica de convertir eficientemente la energía eléctrica en luz, pareció ser satisfecha con el descubrimiento del tungsteno para la fabricación de filamentos. La lámpara con filamento de tungsteno representó un importante avance en la fabricación de lámparas incandescentes y rápidamente reemplazaron al uso de tántalo y carbón en la fabricación de filamentos metálicos.

La primera lámpara con filamento de tungsteno, que se introdujo a los Estados Unidos en 1907, era hecha con tungsteno prensado. William D. Coolidge, en 1910, descubrió un proceso para producir filamentos de tungsteno "drawn" mejorando enormemente la estabilidad de este tipo de lámparas.

En 1913, Irving Langmuir introdujo gases inertes dentro del cristal de la lámpara logrando retardar la evaporación del filamento y mejorar su eficiencia. Al principio se usó el nitrógeno puro para este uso, posteriormente otros gases como el argón se mezclaron con el nitrógeno en proporciones variantes. El bajo costo de producción, la facilidad de mantenimiento y su flexibilidad dio a las lámparas incandescentes con gases tal importancia, que las otras lámparas incandescentes prácticamente desaparecieron.

Durante los próximos años se crearon una gran variedad de lámparas con distintos tamaños y formas para usos comerciales, domésticos y otras funciones altamente especializadas. Jean Picard en 1.675 y Johann Bernoulli alrededor del año 1.700 descubrieron que la luz puede ser producida al agitar el mercurio. En 1850 Heinrich Geissler, un físico Alemán, inventó el tubo Geissler, por medio del cual demostró la producción por medio de una descarga eléctrica a través de gases nobles. John T. Way, mostró el primer arco de mercurio en 1860. Los tubos se usaron inicialmente solo para experimentos. Utilizando los tubos Geissler, Daniel McFarlan Moore entre 1891 y 1904 introdujeron nitrógeno para producir una luz amarilla y bióxido de carbón para producir una luz rosada-blanca, color que se aproxima a la luz del día. Estas lámparas eran ideales para comparar colores. La primera instalación comercial con los tubos Moore, se hizo en un almacén de Newark, N.J., durante 1904. El tubo Moore era difícil de instalar, reparar, y mantener. Peter Moore Hewitt comercializó una lámpara de mercurio en 1901, con una eficiencia dos o tres veces mayor que la de la lámpara incandescente. Su limitación principal era que su luz carecía totalmente de rojo. La introducción de otros gases fracasó en la producción de un mejor balance del color, hasta Hewitt ideó una pantalla fluorescente que convertía parte de la luz verde, azul y amarilla en rojo, mejorando así el color de la luz. Peter Moore Hewitt hizo su primera instalación en las oficinas del New York Post en 1903. Debido a su luz uniforme y sin deslumbramiento, la lámpara fluorescente inmediatamente encontró aceptación en Norteamérica.

La investigación en el uso de gases nobles para la iluminación era continua. En 1910 Georges Claude, en Francia estudió lámparas de descarga con varios gases tales como el neón, argón, helio, criptón y xenón, resultando estos experimentos en las lámparas de neón. El uso de las lámparas de neón fue rápidamente aceptado para el diseño de anuncios, debido a su flexibilidad, luminosidad y sus brillantes colores. Pero debido a su baja eficiencia y sus colores particulares nunca encontró aplicación en la iluminación general.

El fenómeno fluorescente se había conocido durante mucho tiempo, pero las primeras lámparas fluorescentes se desarrollaron en Francia y Alemania en la década de los 30. En 1934 se desarrolló la lámpara fluorescente en los Estados Unidos. Esta ofrecía una fuente de bajo consumo de electricidad con una gran

variedad de colores. La luz de las lámparas fluorescentes se debe a la fluorescencia de ciertos químicos que se excitan por la presencia de energía ultravioleta.

La primera lámpara fluorescente era a base de un arco de mercurio de aproximadamente 15 watts dentro de un tubo de vidrio revestido con sales minerales fluorescentes (fosforescentes). La eficiencia y el color de la luz eran determinados por la presión de vapor y los químicos fosforescentes utilizados. Las lámparas fluorescentes se introdujeron comercialmente en 1938, y su rápida aceptación marcó un desarrollo importante en el campo de iluminación artificial. No fue hasta 1944 que las primeras instalaciones de alumbrado público con lámparas fluorescentes se hicieron.

A partir de la segunda guerra mundial se han desarrollado nuevas lámparas y numerosas tecnologías que además de mejorar la eficiencia de las lámparas, las ha hecho más adecuadas a las tareas del usuario y su aplicación. Entre los desarrollos a las lámparas fluorescentes, se incluyeron las balastas de alta frecuencia que eliminan el parpadeo de la luz, y la lámpara fluorescente compacta que ha logrado su aceptación en ambientes domésticos.

(Arizpe, 1990)

4.2 ANTECEDENTES DE AVANCES EN EL CAMPO DE LA ILUMINACIÓN CON LUMINARIA LED Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Numerosos son los productos del sector de la iluminación que salen a flote en un mercado que demanda respuestas inmediatas y, efectivas mejoras a los ya existentes. De igual modo, es así visible la especialización que adquieren en los subsectores los diferentes productos; encontrándose en el mercado lámparas de uso específico del subsector domiciliario, con características afines al mismo, ahorradoras y de amplia distribución en tiendas locales; así mismo del subsector industrial, con requerimientos en lámparas de mayores niveles de eficiencia y tiempos de vida mejorados. Por su parte el subsector del transporte presenta de igual manera sus requerimientos y productos específicos.

De este modo, es este capítulo correspondiente a investigaciones, avances o proyectos afines, en el que se develan los resultados obtenidos en otras regiones y a nivel local, resultados que se destacaron y resultan como índice referencial de útil importancia.

4.2.1 Estudios de Factibilidad.

4.2.1.1 Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental (CUBASOLAR).

Frente a la iluminación convencional, los LED's, han demostrado tener significativos y mejores rendimientos, además de características técnicas que los hace funcionales para aplicar en sistemas de iluminación pública.

La iluminación de exteriores basada en LED's ofrece una eficiencia elevada, un tiempo de vida prolongado y una operación con niveles de voltaje pequeños, lo cual la hace apropiada para trabajar con paneles fotovoltaicos. En un comienzo esta aplicación estaba restringida a localidades aisladas y áreas de desastres donde no era posible contar con la red eléctrica. Esta situación ha ido cambiando debido a la disminución sistemática en los precios de los paneles fotovoltaicos y los LEDs; unido al aumento sostenido en la eficiencia de estos últimos, por lo que esta opción se ha hecho atractiva en el alumbrado de nuevas instalaciones. Otros aspectos a considerar son la existencia en Cuba de la infraestructura necesaria para el diseño y la fabricación de los diferentes elementos del sistema, así como para la elaboración del proyecto de iluminación, con lo cual se alcanzaría un grado de integración nacional elevado. (Lay Portuondo & Herrera Acosta, 2012)

En otros términos, los estudios previos definen aspectos a favor para la aplicación en la iluminación exterior, sin que se expongan los requerimientos establecidos dentro de los estándares y ofreciendo un nivel de consumo reducido.



Figura 1: Sitio Web Ecosolar –Cubasolar²

4.2.2 Proyectos aplicados internacionalmente.


4.2.2.1 Proyectos de alumbrado público en Dania City (EU) y Santiago (Chile)

Si de proyectos visibles se trata, los casos presentados en este aparte muestran dos ciudades en las que proyectos de iluminación con sistemas fotovoltaicos han superado la prueba de factibilidad. Lo que da un fuerte garante de funcionalidad y eficiencia ante los sistemas convencionales de iluminación.

Es de este modo como los proyectos ejecutados en ciudades como Dania, Estados Unidos, y Santiago de Chile, ofrecen una muestra del estado actual en el campo de la iluminación pública en el sector urbano y residencial.

² Imagen tomada del sitio web de Cubasolar. <http://www.cubasolar.cu>

Tabla 1: Proyectos iluminación pública: Sector no industrial.³

Proyecto de alumbrado público –Dania City		Parque público Juan Pablo II Santiago – Chile.	
			
Ubicación	Dania, FL - EU.	Ubicación	Santiago – Chile.
Número de unidades:	124	Número de unidades:	40
Capacidad real:	31 kW	Capacidad real:	10 kW
Costo de construcción:	US\$1.08 millones	Costo de construcción:	US\$ 175,000
Costo por unidad:	US\$ 8,710	Costo por unidad:	US\$ 4,375

4.2.3 Proyectos a nivel nacional

4.2.3.1 Lámpara Solar – Hybritec Medellín-Colombia

Al noroeste del país, en la ciudad de Medellín se encuentra la sede principal de Hybritec, empresa que viene desarrollando un fuerte y robusto proyecto alrededor de las energías alternativas. Ofreciendo y comercializando un sin número de soluciones energéticas de mano de los sistemas fotovoltaicos. Como resultará familiar al presente estudio, uno de sus productos ofrecidos dentro de su catálogo, resulta de particular interés dado su diseño importado. (Hybritec, 2013). Cabe resaltar que, aunque se trata de un producto de competencia, el producto que se desarrolle en este estudio será resultado de diseño en Colombia Energy S.A.S. y, por ende, un resultado de la industria y academia local.

³ Imágenes extraídas de la red,



Figura 2: Encabezado promotor de las Lámparas Solares de Hybrytec.⁴

Cabe resaltar, que a diferencia del producto de Hybrytec, Colombia Energy busca un enfoque en el sector industrial sin descartar, naturalmente, una eventual aplicación en el sector público.

4.2.4 Proyectos locales

4.2.4.1 Sistemas de Iluminación Fotovoltaicos Móviles –Sector Industrial. Colombia Energy S.AS.

El presente estudio corresponde a la segunda etapa de lo que inicio como un método de iluminación móvil empleando luminaria LED y sistemas fotovoltaicos. En su primer desarrollo de los Sistemas de Iluminación en entorno industrial, más aún, con sistemas fotovoltaicos Colombia Energy le apostó a una solución móvil y versátil de iluminación industrial. El modelo, aún en proceso de mejora, se encuentra en funcionamiento dentro del stand de servicios disponible en Colombia Energy.

Con dichos módulos se propone una salida rápida y eficiente ante requerimientos de iluminación en sitios sin interconexión a la red, con desplazamiento periódico y, de acuerdo con los estándares establecidos.

⁴ Imagen extraída del catálogo de servicios Hybrytec,
<http://hybrytec.com/cmanager/uploads/Lamparas%20Solares%208%20metro.pdf>

5. MARCO CONCEPTUAL

En lo extenso del histórico de la humanidad, contar con luz artificial ha sido una de las necesidades que, la misma, ha logrado satisfacer de diversas formas. Dentro de las primeras formas de iluminación artificial empleadas estuvo el fuego, seguido de lámparas de aceite, empleando fuentes diversas para la iluminación, que posteriormente llevarían a la creación de los primeros prototipos de lámparas incandescentes. Desde entonces, ha habido cambios alrededor de su eficiencia lumínica y durabilidad, siendo estos últimos, desfavorables por fines comerciales. Actualmente, el mercado surte múltiples alternativas de diferentes formas, tamaños, colores de incidencia, potencial de luminosidad, precios y, por su puesto, economizadores.

En particular la iluminación constituye un foco importante de consumo energético siendo, de esta manera, responsable en la proporción de su consumo en la degradación ambiental que la misma genere. Por otro lado, los componentes de los sistemas de iluminación convencional generan una diversidad de desechos contaminantes al final de su vida útil. Componentes, que en su mayoría, resultan tóxicos o generan afectaciones en la salud humana y fauna. De esta manera, el panorama medio ambiental ante estos elementos no resulta alentador, en especial, por su fácil propagación y la cantidad de productos que presentan estos efectos nocivos.

Para el caso en particular del actual estudio, se hará una descripción de cada uno de los componentes principales que conforman los sistemas de iluminación convencional (SIC), contrastados frente a los sistemas de iluminación fotovoltaicos (SIF). Siendo estos últimos, puestos a prueba de factibilidad. Se describirán las variables que serán referentes de contraste entre ambos sistemas. De igual modo se incluirán antecedentes históricos y comerciales de estos con objeto de ofrecer un desglose conceptual generalizado.

5.1 LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (SFV)

De acuerdo con la (RAE, 2001)⁵, el término fotovoltaico es relativo a la generación de fuerza electromotriz por acción de la luz. Según (Wikipedia, 2014) el término "fotovoltaico" proviene del griego φῶς:phos, que significa "luz", y voltaico, que proviene del campo de la electricidad, en honor al físico italiano Alejandro Volta, (que también proporciona el término voltio a la unidad de medida de la diferencia

⁵ Real Academia Española

de potencial en el SI⁶). El término fotovoltaico se comenzó a usar en Reino Unido desde el año 1849.

El concepto de fotovoltaico dentro de los sistemas de generación, según (Perpiñan Lamigueiro, 2012) en su reciente publicación *Energía Solar Fotovoltaica*, refiere: “Un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado.”

Las definiciones locales acogen los conceptos que a nivel de naciones como España, Estados Unidos y Alemania surgen alrededor de esta rama de la generación energía eléctrica.

5.2 ORÍGENES, ANTECEDENTES Y APLICACIONES INICIALES.

De acuerdo con la publicación de Scientific America (America, 1873) los primeros registros históricos datan de 1839, cuando el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, mientras experimentaba con una celda electrolítica compuesta por dos electrodos metálicos, descubrió que al exponer ciertos materiales a la luz solar podría generar una corriente eléctrica débil. Con posterioridad, la primera célula solar se construyó hasta 1883. Su autor fue Charles Fritts-

Así mismo, el Colegio Oficial de Ingenieros (COI, 2004) refiere los estudios realizados posteriormente por físicos reconocidos como lo son Faraday, James Maxwell, Nikola Tesla y Heinrich Hertz sobre inducción electromagnética, fuerzas eléctricas y ondas electromagnéticas, y sobre todo los de Albert Einstein en 1905, proporcionaron la base teórica al efecto fotoeléctrico, que es el fundamento de la conversión de energía solar a electricidad.

Según (Current, 2010), Russell Ohl patentó la célula solar moderna en el año 1946, aunque Sven Ason Berglund había patentado, con anterioridad, un método que trataba de incrementar la capacidad de las células fotosensibles.

⁶ Sistema Internacional de Unidades

Sin embargo, los avances más significativos en esta tecnología no llegarían hasta el año 1954. De acuerdo con (D. M. Chapin, 1954) los Laboratorios Bell, descubrieron, de manera accidental, los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, determinando la alta sensibilidad a la luz. Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente, el 6%.

5.3 ¿CÓMO ESTÁN CONFORMADOS LOS SFI?

Técnicamente un sistema de iluminación está compuesto por tres bloques: el primero, el bloque de alimentación o suministro; que por lo general, cuenta con un segmento de adecuación de voltajes. El segundo, corresponde al bloque de control de funcionamiento y/o regulación; suele ser el menos notorio de la estructura. El tercero, es específicamente la luminaria. Punto último en el cual se consumirá la energía suministrada y, el cual cumple la función en sí.

Los Sistemas Fotovoltaicos de Iluminación (SFI) cuentan con una distribución afín, más incluye bloques y sub-bloques especializados, si así pudiese determinárseles. Los SFI, básicamente están compuesto por 4 bloques: el primero, el bloque Generación/conversión; etapa en la que se realiza el conversión por medios fotovoltaicos.

El segundo, corresponde al bloque de almacenamiento. El tercero, compuesto por las etapas de regulación y control. El cuarto, corresponde a la luminaria como tal.

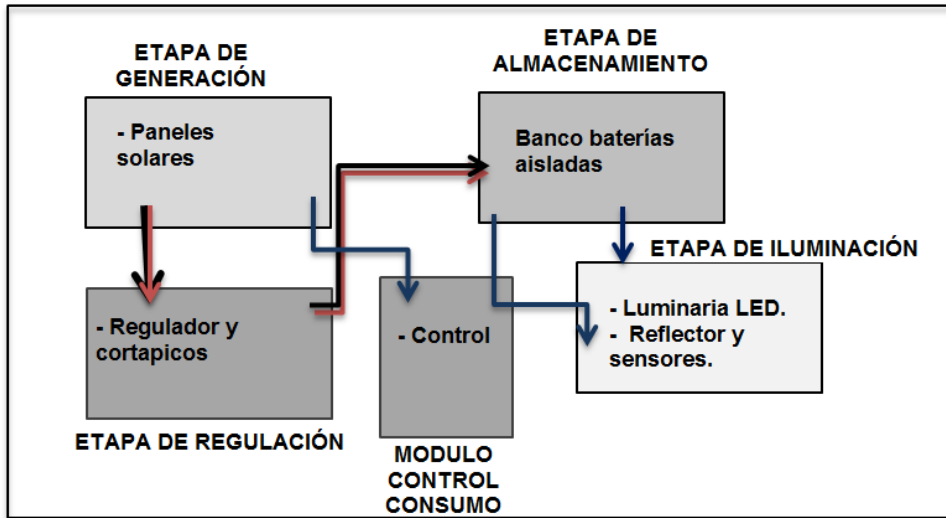


Figura 3: Etapas que componen un SFI. Bloques de desarrollo⁷

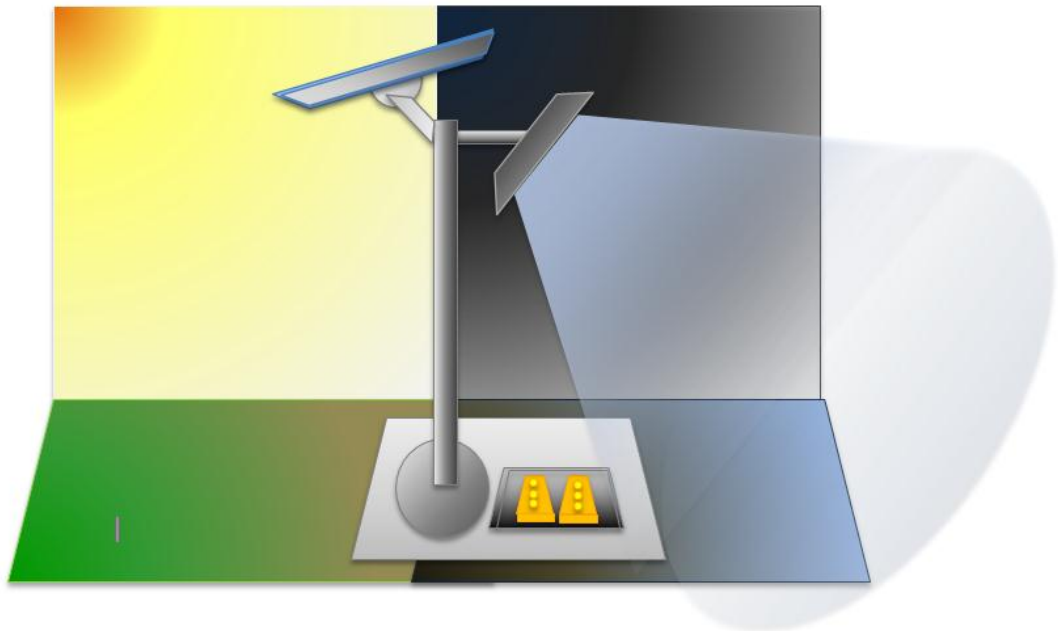


Figura 4: Esbozo inicial del sistema a desarrollar⁸

⁷ Etapas contempladas dentro del proceso inicial.

⁸ Esquema de diseño propuesto. –el esquema fue desarrollado dentro del trabajo actual-.

5.3.1 Paneles solares

Según (Minian, 2010), el efecto fotoeléctrico es el fundamento del funcionamiento de las células solares, dispositivos basados en la unión p-n, cuyos electrones se desplazan a la banda de conducción por el aporte energético de fotones incidentes.

El campo eléctrico de la unión conduce los portadores generados por esta interacción y dificulta la recombinación. Esta corriente de iluminación, denominada fotocorriente, es ahora aprovechable por un circuito externo. (Perpiñan Lamigueiro, 2012)

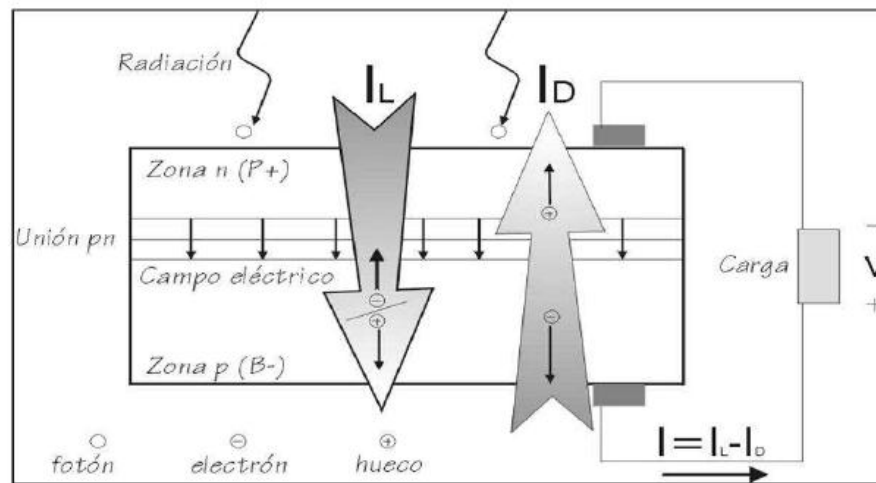


Figura 5: Funcionamiento de las células solares.⁹

En 1905 Albert Einstein, en un artículo titulado *Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz* exponía la tesis de que la emisión de electrones era producida por la absorción de cuantos de luz que más tarde serían llamados fotones. (Einstein, 1905).

El (COI, 2004)¹⁰ refiere que el efecto fotoeléctrico había sido previamente observado por Heinrich Hertz en 1887, y analizado sucesivamente por Joseph John Thomson en 1889, y Philipp von Leonard en 1902. Einstein mostró como la idea de partículas discretas de luz podía explicar el efecto fotoeléctrico y la

⁹ Fuente: Imagen extraída de (Perpiñan Lamigueiro, 2012). Pág. 43.

¹⁰ Colegio Oficial de Ingenieros

presencia de una frecuencia característica para cada material por debajo de la cual no se producía ningún efecto. El trabajo de Einstein predecía que la energía con la que los electrones escapaban del material aumentaba linealmente con la frecuencia de la luz incidente. (Einstein, 1905)

Según (Perpiñan Lamigueiro, 2012), sorprendentemente este aspecto no había sido observado en las experiencias anteriores. La demostración experimental de este aspecto fue llevada a cabo en 1915 por el físico estadounidense Robert Andrews Millikan.



Figura 6: Celda solar en el proceso de diseño de paneles solares.¹¹

¹¹ Fuente imagen: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Klassieren.jpg>

5.3.2 Diodo emisor de luz [LED].

5.3.2.1 Qué es la tecnología LED?.

Conocidos con el acrónimo de LED, que corresponde a la sigla en inglés (Light Emitting Diode), del diodo emisor de luz.

Son fuentes lumínicas con tecnologías promisorias y gran dinámica de investigación. A la fecha se carece de normatividad técnica internacional o de reconocimiento internacional, que permita establecer requisitos específicos obligatorios para estas tecnologías, lo cual no implica que su uso esté prohibido cuando el producto y su aplicación cumplen los requisitos generales de iluminación eficiente y segura establecidos en el presente reglamento. (MME M. , 2009), p.53.

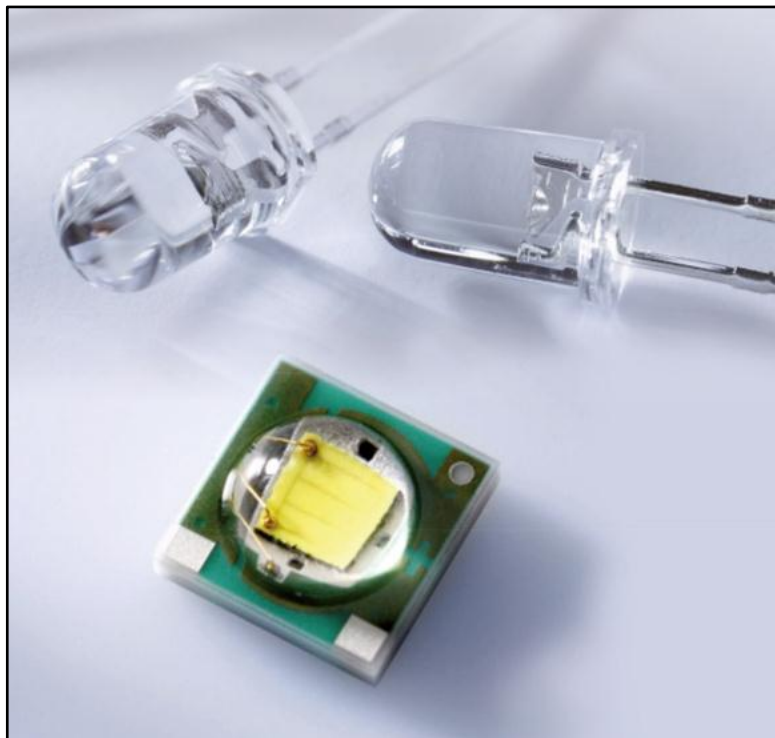


Figura 7: Tipos de LED ampliamente usados.¹²

Pese a la fuerte acogida que han tenido en el mercado, la normativa para implementación de dicha tecnología de iluminación.

5.3.2.2 Histórico del LED:

En el primer decenio del siglo XX, Henry Joseph Round, mientras realizaba experimentos intentando mejorar el rendimiento de los receptores de radio, que funcionaban sin energía y basados en la galena, observó una extraña luminosidad

¹² Fuente: <http://www.varta-consumer.com/es-ES/Products/Flashlights/Further-information/LED-Technology.aspx>

que aparecía desde determinados materiales semiconductores con los que se experimentaba.

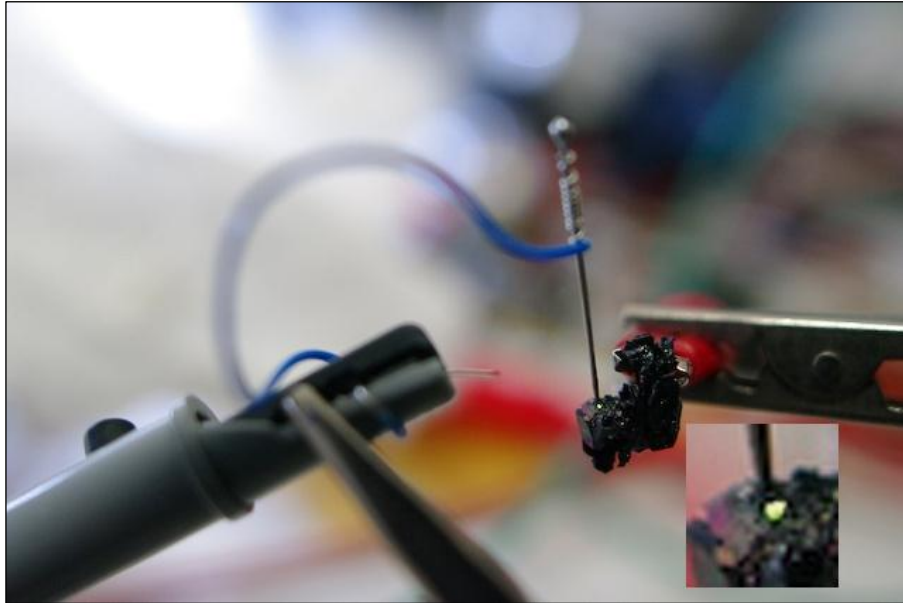


Figura 8: Recreación del experimento de Round.¹³

"A los Editores de Electrical World:

Durante una investigación del paso asimétrico de la corriente a través de un contacto de carburo de silicio (Carborundun) y otras sustancias, un curioso fenómeno fue observado. Aplicando una tensión de 10 voltios entre dos puntos de un cristal de carburo de silicio (SiC), este produjo un resplandor de color amarillento. Solamente uno de los especímenes produjo un brillante resplandor con esta baja tensión, pero con 110 voltios se encontró una gran cantidad de puntos que producían luz. En algunos cristales sólo las esquinas proporcionaban un resplandor de luz y otros en vez de producirse una luz amarilla se producían de color verde, naranja o azul. En todos los casos comprobados, el resplandor parecía proceder del polo negativo, una brillante chispa azul aparecía en el polo positivo. En un único cristal, si el contacto se hace cerca del centro con el polo negativo y el positivo en cualquier otra parte (de la muestra de carburo de silicio), sólo una sección del cristal resplandecerá .

Parece haber alguna conexión entre el efecto arriba descrito y la fuerza electro motriz (F.E.M) producida por una unión de carburo de silicio y otro conductor

¹³ Fuente: Imagen extraída de:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/SiC_LED_historic.jpg

cuando se calientan por medio de una corriente continua o alterna; pero este nexo puede ser unicamente secundario como una explicación obvia de la fuerza electro motriz mediante el efecto termoelectrico (pila Peltier) El autor agradecería referencias de otras publicaciones relativas a este fenómeno
Nueva York , N. Y.

Round aspiraba modificar la estructura del elemental receptor de radio con detector a galena ensayando con diferentes materiales semiconductores a los que les hacía circular pequeñas corrientes eléctricas. Sorprendido por el hallazgo de encontrar que el carburo de silicio emitía diferentes luminosidades cuando era atravesado por corrientes eléctricas, (afortunadamente) dejó escritos, anotaciones y cartas enviadas a diversos ámbitos editoriales que avalaron el descubrimiento del fenómeno y sentaron las bases del verdadero origen del diodo electroluminiscente (LED).

5.3.2.3 Usos del LED:

Los LEDs operan en un amplio rango de temperaturas y por supuesto, ofrecen características mejoradas a bajas temperaturas. Esto es, a menor temperatura existe una agitación térmica menor (o nula en el mejor de los casos) que impide los “saltos” indeseados de electrones de una región a otra. En el aspecto mecánico, los LEDs son dispositivos pequeños, compactos y robustos que pueden ser utilizados de forma fiable en entornos reducidos y alcanzan una vida útil donde cualquier iluminación tradicional no podría caber ni sobrevivir.

A la fecha, los LEDs han penetrado en una serie de mercados de iluminación y han permitido el desarrollo de otros mercados. La mayor penetración ha sucedido en áreas que utilizan LEDs de color (monocromáticos). La tecnología del LED de color ya es madura y por lo tanto está lista para entrar al mercado.

- ✓ Iluminación en vehículos.
- ✓ Alumbrado público y semáforos.
- ✓ Iluminación arquitectónica, publicitaria y decorativa.
- ✓ Pantallas electrónicas.
- ✓ Iluminación General.
- ✓ Iluminación residencial para hogares fuera de la red.

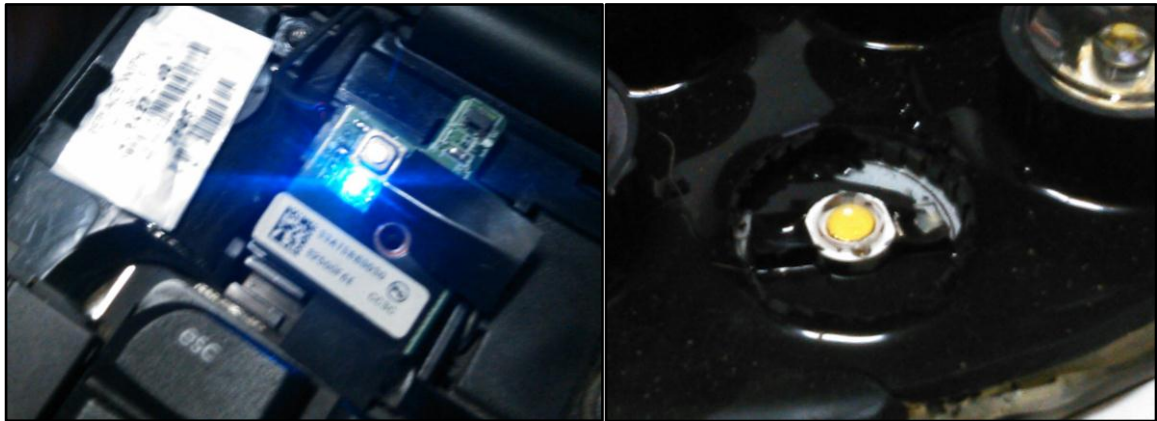


Figura 9: Aplicaciones de los LED. (Fuente: Propia)

a. (Izq.) LED de montaje superficial de un indicador ON/OFF.

b. (Der.) LED de potencia en montaje superficial (desprovisto del lente).

Ventajas de factibilidad de los LED

Las ventajas del uso de LED está basada en los siguientes aspectos.

- ✓ Reducción de costes de mantenimiento, la vida útil de los sistemas LED oscila desde las 40.000h, hasta las 60.000 horas.
 - ✓ Eficiencia energética, reducción del consumo eléctrico gracias a la optimización del ratio lm/w.
 - ✓ Eficiencia medioambiental, reducción de emisiones CO2 gracias al menor consumo eléctrico.
 - ✓ Ausencia de mercurio, plomo y gases tóxicos.
 - ✓ Diseño: Amplias posibilidades de diseño estético de las luminarias.
 - ✓ Color de la luz: Además, los LED ofrecen un amplio abanico de colores de luz, con un índice de reproducción cromática de hasta 95.
 - ✓ Control de la luz: Grandes posibilidades de diseño óptico que hace que la luz dirija allí donde realmente se necesita.
- [<http://benquinsostenibles.wordpress.com/>]

5.3.4 Módulos de almacenamiento: Baterías.

Según (Perpiñan Lamigueiro, 2012), un acumulador electroquímico es una batería secundaria o recargable, capaz de almacenar energía eléctrica mediante una transformación en energía electroquímica. Es capaz de dar autonomía al sistema fotovoltaico al satisfacer los requerimientos de consumo en cualquier momento, independientemente de la generación. También contribuye al buen funcionamiento del sistema al aportar picos de intensidad superiores a los que proporciona el generador FV y al estabilizar el voltaje del sistema, evitando fluctuaciones dañinas en los equipos de consumo.

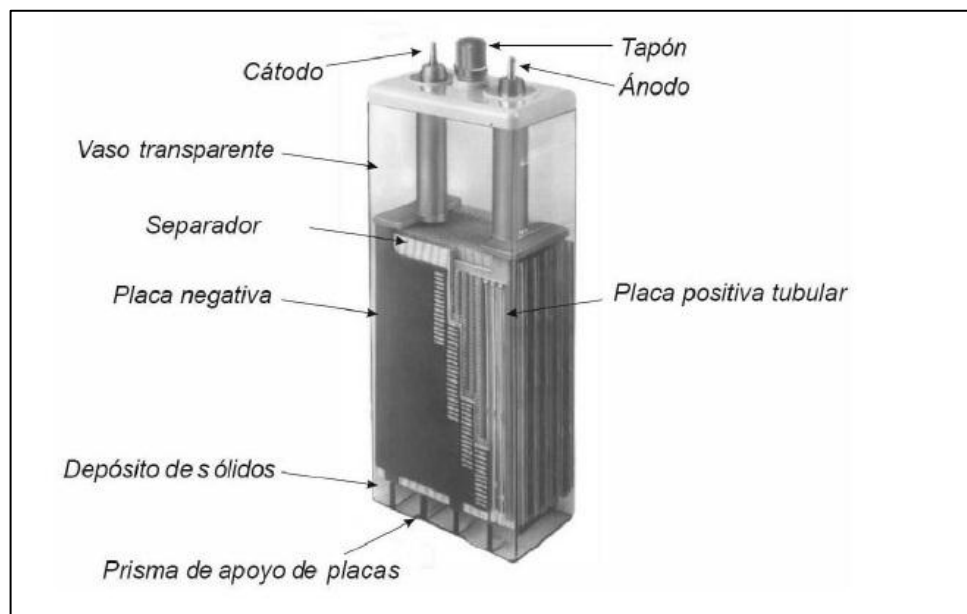


Figura 10: Desglose de elementos en una batería ⁴.

5.3.4.1 Definiciones de baterías.

Capacidad nominal (Cb): Según (Perpiñan Lamigueiro, 2012), es la carga eléctrica que puede ser extraída de una batería hasta llegar a la descarga total.

Régimen de carga/descarga, (Perpiñan Lamigueiro, 2012) define: es la corriente aplicada a una batería para restablecer/extraer la capacidad nominal. Normalmente se presenta como un ratio entre la capacidad nominal y la corriente. Por ejemplo, si la capacidad es 300 Ah, se habla de un régimen de carga (descarga) C_{10} cuando se aplican (extraen) 30 A, de forma que en 10 horas se restablece (extrae) la capacidad.

Habitualmente, la documentación técnica de los fabricantes incluye la capacidad a C_{10} . Sin embargo, los regímenes de funcionamiento más habituales en los sistemas fotovoltaicos son del orden de C_{100} .

Como regla aproximada puede emplearse la relación $C_{100} \cong 1,35 \cdot C_{10}$. Es importante resaltar que, debido a esta relación, la corriente I_{100} correspondiente a C_{100} , no equivale a $0,1 \cdot I_{10}$. En el caso anterior, con $C_{10} = 300Ah$, $I_{10} = 30$ y como $C_{100} \cong 405Ah$, obtenemos $I_{100} = 4,05A$

Estado de carga (SoC) de una batería es la capacidad de una batería parcialmente cargada, dividida por su capacidad nominal. Por tanto siempre será $0 < SoC < 1$.

Profundidad de descarga (PD): es el complemento del estado de carga.

Tensión de corte: es la tensión a la que finaliza la descarga de la batería. Depende del régimen de descarga y del tipo de batería. Determina la profundidad de descarga máxima, PD_{max} , y por tanto, la capacidad útil, CU , siendo

$$Cu = PD_{max} \cdot C_b$$

Eficiencia farádica es la relación entre la carga extraída durante la descarga y la carga requerida para restablecer el estado inicial.

Eficiencia energética es la relación entre la energía extraída durante la descarga y la energía requerida para restablecer el estado inicial.

6. MARCO LEGAL COLOMBIANO PARA LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS

6.1 PROMOCIÓN Y MARCO REGULATORIO.

Según (MME M. d., 2001), en Colombia la regulación de energías alternativas se encuentra normalizada por la ley 697 de 2001, reglamentada por el decreto 3683 de 2003, modificado posteriormente por los decretos 139 de 2005 y 2688 de 2008.

Hay que tener en cuenta las consideraciones del decreto 3683 de 2003 las cuales entre otras dictan:

“...Que la Ley 697 de 2001 declaró asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, el uso racional y eficiente de la energía así como el uso de fuentes energéticas no convencionales; declaración que impone la necesidad de expedir la reglamentación necesaria para garantizar que el país cuente con una normatividad que permita el uso racional y eficiente de los recursos energéticos existentes en el territorio nacional;

...Que así mismo la Ley 697 ordenó que el Gobierno Nacional estableciera los estímulos que permitan desarrollar en el país el uso racional y eficiente de la energía y las fuentes energéticas no convencionales;

...Que la Ley 99 de 1993 en su artículo 5o, numerales 32 y 33, asigna al Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la función de promover la formulación de planes de reconversión industrial ligados a la implantación de tecnologías ambientalmente sanas, así como también promover, en coordinación con las entidades competentes y afines, la realización de programas de sustitución de los recursos naturales no renovables, para el desarrollo de tecnologías de generación de energías no contaminantes ni degradantes;

...Que en el Plan de Implementación de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible realizada en Johannesburgo en el 2002, en la cual Colombia participó, se establece que el acceso a la energía facilita la erradicación de la pobreza y que para esto se deben incluir medidas relacionadas con el Uso Eficiente de Energía, fuentes renovables de energía, diversificación de fuentes energéticas, investigación y desarrollo en tecnologías de uso eficiente de energía y políticas que reduzcan distorsiones en el mercado energético, entre otras.

...Que la Ley General de Educación, 115 de 1994 en su artículo 5o, establece como un fin de la educación, la adquisición de una conciencia para la conservación, protección y mejoramiento del medio ambiente, de la calidad de vida, del uso racional de los recursos naturales.”

6.2 ESTAMENTOS GUBERNAMENTALES

La Unidad de Planeación Minero Energética UPME, Unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, regida por la Ley 143 de 1994 y por el Decreto número 255 de enero 28 de 2004, busca consolidarse como la autoridad técnica nacional, que articule el planeamiento integral y la información de los sectores energético y minero, promoviendo el desarrollo sostenible del país.

Eficiencia energética, consumo racional, menor afectación al medio ambiente, componentes reciclables, mejor precio, competencia comercial, tiempo de vida y autonomía, relaciones de costo-beneficio a mediano y largo plazo, son las anteriores algunas de las variables que son evaluadas en los futuros sistemas de iluminación pública dentro del sector industrial y comercial, cómo se encuentra establecido en el Marco de Política y Normatividad del Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE), que indica: “Establecer medidas para contribuir a la conservación del medio ambiente a través del uso de “Tecnología de Eficiencia Energética” de acuerdo con:

- 1. Promoción de cambio tecnológico en iluminación, refrigeración, aire acondicionado, y cocción**
- 2. Capacitación a los empresarios sobre los beneficios económicos de cambios hacia tecnologías de producción más eficientes**
- 3. Mejores prácticas en el uso de energía...”**

Presentando, de igual modo, estadísticas con tasas de consumo dentro de los diferentes sectores de la economía colombiana. Condensadas en gráficos como el presentado a continuación:

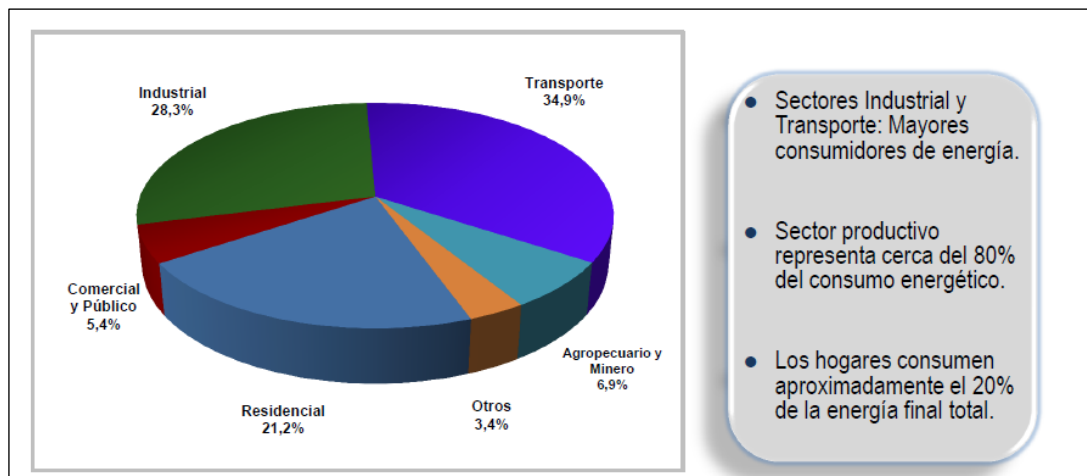


Figura 11: Consumo final de energía por sectores- UPME (índice a 2011.)¹⁴

Los sectores industriales y transporte presentan los mayores índices de consumo, alcanzando un porcentaje cercano al 80%. De igual manera, este informe señala algunas de las falencias de tipo técnica y operacional.

CARACTERÍSTICA DEL CONSUMO

SECTOR COMERCIAL:

- Sobre iluminación en grandes superficies y centros comerciales.
- Creciente requerimiento de energía para acondicionamientos de espacios y refrigeración.
- Alto consumo de energía térmica.

SECTOR INDUSTRIAL:

- Alto consumo de energía térmica por ineficiencia en procesos de combustión
- Obsolescencia tecnológica en equipamiento eléctrico y térmico
- Omisión de buenas prácticas operacionales y cultura de buen uso de la energía”

¹⁴ Fuente: UPME disponible en <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Grupo%20de%20Participacion%20Ciudadana/ProgramaNacionalDeUsoRacionalyEficientedeLaEnergiaPROURE.pdf>

6.3 NORMATIVA NACIONAL PARA SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.

Conforme a lo establecido en el REGLAMENTO TECNICO DE ILUMINACION Y ALUMBRADO PUBLICO "RETILAP" contemplado en la Resolución 18 1331 del 6 agosto del 2009 (MME M. , 2009), se establecen los siguientes objetos para con la iluminación y el alumbrado público:

- Seguridad en las personas utilizando los niveles y calidad de la energía lumínica, requerida en la actividad visual.
- Seguridad en el abastecimiento energético.
- Protección del consumidor.
- Preservación del medio ambiente.
- No crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa.
- Establecer las reglas generales aplicables a los sistemas de iluminación interior y exterior, como el alumbrado público, inculcando el uso racional y eficiente de energía (URE) en iluminación.
- Señala las exigencias y especificaciones mínimas para que las instalaciones de iluminación garanticen la seguridad y confort con base en su buen diseño y desempeño operativo.
- Establece los requisitos de los productos empleados en las mismas.
- Fijar las condiciones para evitar: accidentes, desperdicio de iluminación, alteraciones en los ciclos naturales en los animales y deslumbramiento.
- Establecer las responsabilidades que deben cumplir: los diseñadores, constructores, interventores, operadores, inspectores, propietarios, fabricantes, distribuidores o importadores de materiales o equipos y las personas jurídicas relacionadas con la gestión, operación y prestación del servicio de alumbrado público
- Establecer: eficacias mínimas para fuentes luminosas, balastos y luminarias; requisitos de productos para contribuir con el URE.

Dentro de las excepciones que establece la no aplicabilidad del reglamento RETILAP, precisa: "Los LEDS con potencias menores a 10 W y las fuentes con arreglos de LEDS con potencias menores a 10 W no son objeto del presente reglamento" (MME, 2009)

7. METODOLOGÍA

Frente al presente estudio, el método a emplear es el Método Inductivo. La metodología se enmarca en tres pasos: proceso de toma de datos, contraste y posterior determinación del nivel de factibilidad.

Inicialmente, se definen las variables que serán objeto de medición y posterior contraste, con objeto de valorar y ponderar su uso durante el mismo. Posteriormente, la toma de datos, etapa en la que se ejecutarán pruebas en diferentes elementos.

Finalmente, para determinar el nivel de factibilidad que pueden ofrecer los Sistemas Fotovoltaicos junto a la Iluminación LED, se contrastarán las variables medidas, surtiendo las conclusiones correspondientes.

7.1 VARIABLES DE EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO

Dado el objetivo planteado en el actual estudio/diseño, en este segmento del mismo se definen las variables que se evaluarán dentro del estudio. En virtud de lo antes mencionado, las observaciones, lecturas y registros generados de equipos de iluminación fotovoltaica de funcionamiento en la empresa Colombia Energy, se determinaron las siguientes variables iniciales de seguimiento.

Voltajes de funcionamiento (V): Esta variable resulta indispensable desde el parámetro de diseño y en la posterior compra de elementos como baterías, paneles solares y otros elementos. Es menester resaltar esta variable como parámetro de diseño, en especial por la capacidad, tamaño y valores de voltaje existentes en el mercado de los módulos de almacenamiento (baterías). Aunque el enfoque del estudio gira en torno a los sistemas DC, se tendrán en cuenta los voltajes de funcionamiento de los SIC, de funcionamiento en AC.

Corrientes (I): Este parámetro, al igual que el anterior, resulta determinante en los parámetros de diseño. Es de vital importancia para la determinar la potencia de consumo, tanto en los SIC como en los SFI; el tiempo de autonomía del sistema a diseñar (de acuerdo con la capacidad -Ah- de la batería); los calibres del cableado durante el diseño, para una futura implementación. Al igual que en los voltajes, se tendrán en cuenta las corrientes de funcionamiento de los SIC de funcionamiento en AC.

Potencias de consumo y suministro (P): Parámetro resultante de las anteriores variables y, al igual que las anteriores, adquiere un determinante nivel de

ponderación. Permite determinar el tiempo de autonomía del sistema SIF y, a través de la misma, se obtiene la eficiencia energética del mismo. En los SIC, será empleada para determinar la eficiencia energética y obtener las relaciones de costo beneficio/comparativo en relación con los SIF.

Luminancia (L): En un punto de una superficie, en una dirección, se interpreta como la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada, producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada. La unidad de luminancia es candela por metro cuadrado. [Cd/m²]. Bajo el concepto de intensidad luminosa, la luminancia puede expresarse como (MME, 2009):

$$L = \left(\frac{dI}{dA}\right)\left(\frac{1}{\cos \phi}\right)$$

Siendo dI , la variación de la intensidad luminosa en la dirección del punto a medir; dA el área que rodea el punto a medir; y $1/\cos \phi$, la relación para la componente de intensidad de la fuente de luz puntual, en la dirección del punto a medir.

Lo que en otros términos se refiere como, la medida de la luz emitida por una fuente primaria o secundaria. En la figura para el observador, la fuente primaria es la superficie del pavimento y la fuente secundaria es la luminaria.



Fuente: Guía didáctica para el buen uso de la energía, UPME, 2007.

Figura 12: Luminancia-Alumbrado público.

Iluminancia (Ev): Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de medida de Iluminancia es el lux, que equivale a un lumen por metro cuadrado. ($1\text{lx} = 1\text{lm}/\text{m}^2$). (MME, 2009).

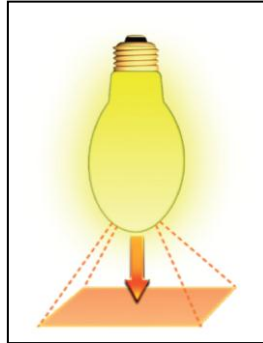


Figura 13: Iluminancia-Alumbrado público.¹⁵

Variable fotométrica de referencia para confrontar los rendimientos en iluminación de los SIF y los SIC. Cabe resaltar que se trata de una variable de contraste que funcionará junto a la longitud de onda (λ) de la fuente de luz de los SIF y SIC.

Longitud de onda de la luz (λ): A través de la Iluminancia, la longitud de onda, será una variable adjunta que permitirá evaluar no sólo la eficiencia lumínica y la calidez, además el espectro de emisión cromática y el tipo idóneo de luz para los usuarios de los Sistemas de Iluminación. (MME, 2009)

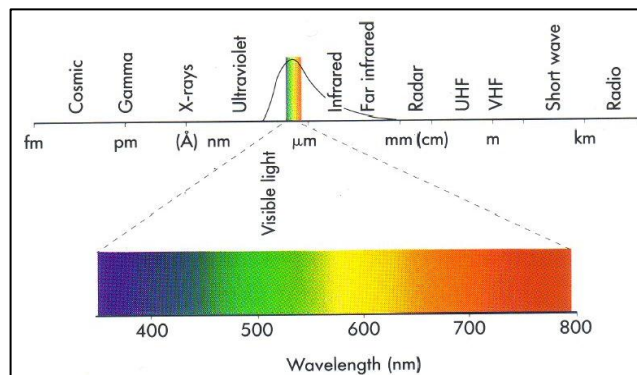


Figura 14: Esquema del espectro de luz visible definido por la long. Onda.¹⁶

Bombilla o lámpara: Según (MME, 2009), lámpara es el término genérico para denominar una fuente de luz fabricada por el hombre. Por extensión, el término también es usado para denotar fuentes que emiten radiación en regiones del espectro adyacentes a la zona visible.

¹⁵ Fuente: Guía didáctica para el buen uso de la energía, UPME, 2007.

¹⁶ Fuente imagen: http://belenblanco.files.wordpress.com/2010/02/electromagneticspectrum_fullsize.jpg

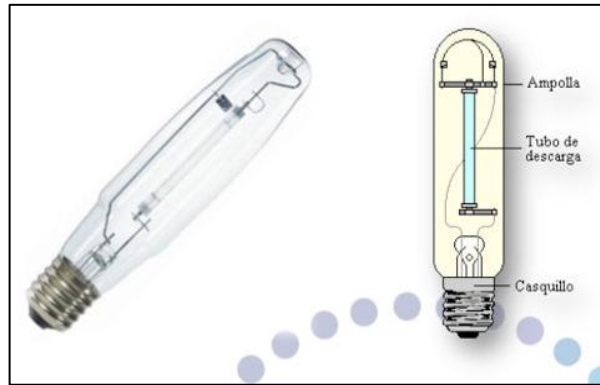


Figura 15: Lámparas de alumbrado público.¹⁷

Distribución del haz de luz: Junto a la Iluminancia, la forma del haz de luz permite determinar el área efectiva iluminada por la fuente de luz, los niveles de iluminancia en el mismo y la contaminación ambiental que pueda presentar. (MME, 2009).

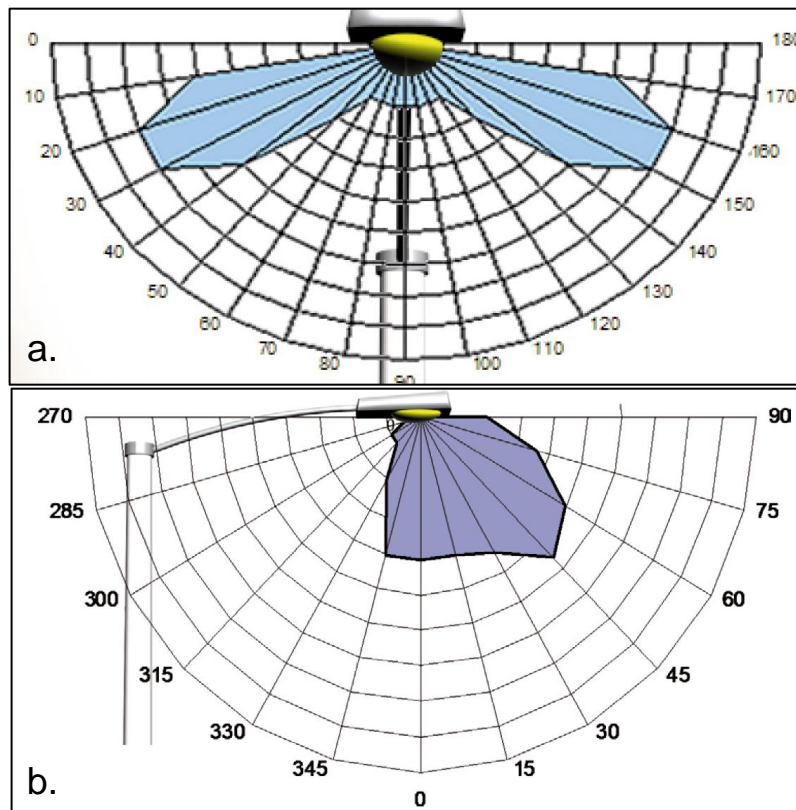


Figura 16: Ejemplos de distribución de haz de luz en Luminaria.¹⁸
a.) Vista Frontal. b.) Vista lateral

¹⁷ Fuente imagen: <http://www.peatom.info/municipios/123768/las-tecnologias-led-revolucionan-el-alumbrado-publico/>

Eficiencia lumínica (lm/W): corresponde a la relación existente entre el flujo luminoso (en lúmenes) emitido por una fuente de luz y la potencia en vatios (W).

Altura (h): Variable de referencia que permitirá determinar el cambio de iluminancia de una fuente de luz, a medida que la misma cambia. En el proceso de diseño se tendrán en cuenta las alturas establecidas en las normativas que aplican, para el caso en particular, el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.

Costo ambiental: Variable de cuantificación aproximada de los efectos adversos que presentan los sistemas de iluminación convencionales para el medio ambiente, teniendo en cuenta los materiales de diseño interno de los elementos que los conforman. A través de esta variable se contrastarán los efectos de los SIC y los SIF. En esta variable se tendrá en cuenta parámetros como:

- **Materiales de construcción reciclables:** Materiales como el hierro, aluminio, cobre, vidrio, plástico, entre otros que se usen en la construcción de elementos conformantes del sistema y que puedan ser recuperados o reciclados en uso posterior.
- **El uso de metales pesados:** Porcentaje de concentración y cantidades empleadas en la construcción de elementos del sistema de iluminación. Metales pesados como Mercurio (Hg) y Plomo (Pb).

Frecuencia de mantenimiento: Las instalaciones de luminaria suelen requerir de un mantenimiento periódico con objeto de reemplazar lámparas y otros componentes. Esta variable resulta determinante para establecer el costo/beneficio de funcionamiento y el tiempo de mantenimiento requerido por los sistemas de iluminación. Empleada como variable de contraste entre los SIC y los SIF.

Costo/beneficio comercial: Variable de carácter económico que permite determinar los costos de materiales, construcción, ensamble y mantenimiento que demandan los SIC y los SIF (en contraste).

¹⁸ Fuentes: Guía didáctica para el buen uso de la energía, UPME, 2007.

7.1.1 Nivel de irradiancia en el territorio colombiano

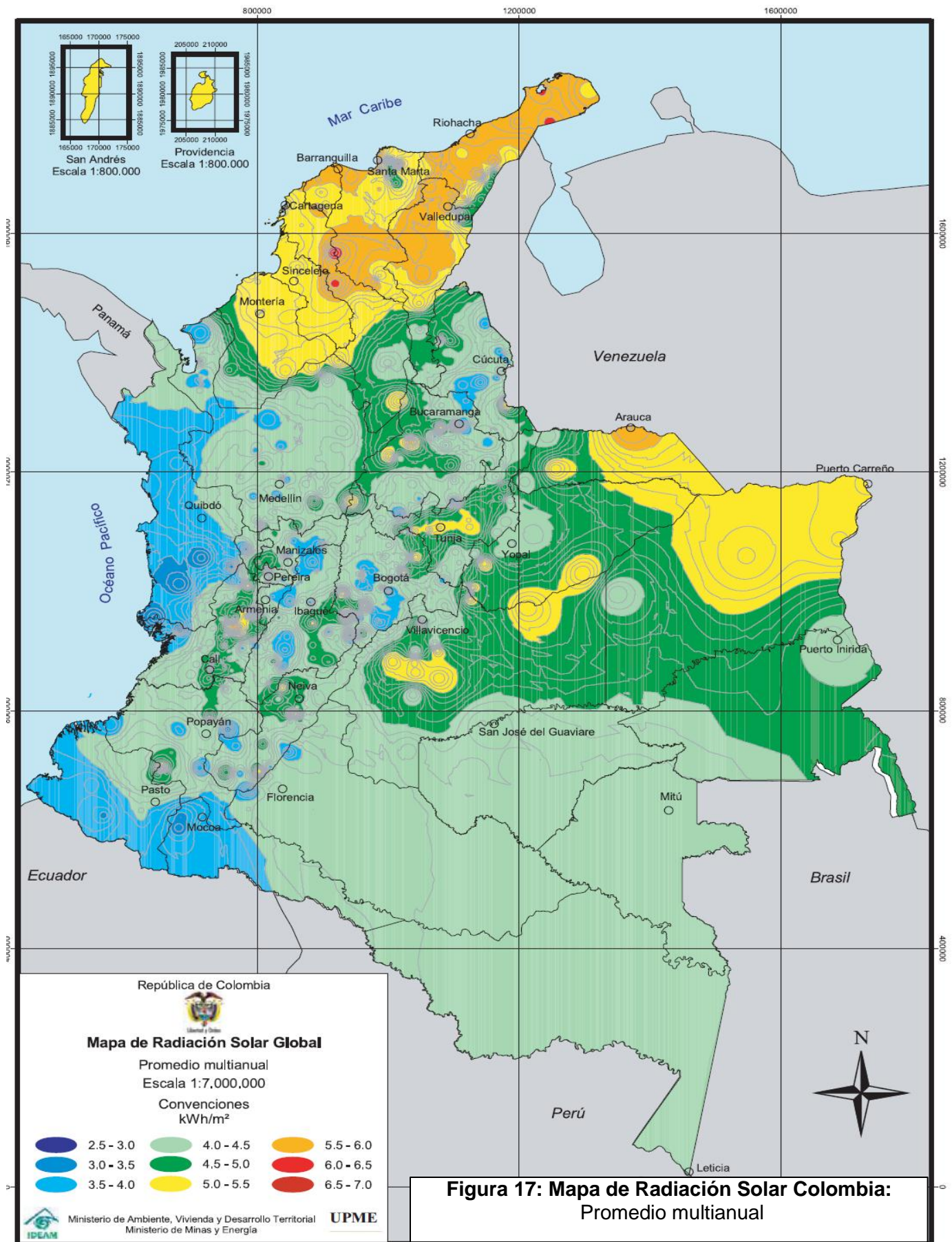
El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM, junto a la Unidad de Planeación Minero energética, cuentan con un conglomerado de datos en relación con los niveles de radiación solar a lo largo y ancho del territorio colombiano. Estos últimos se encuentran dispuestos en el Atlas de Radiación Solar de Colombia.

El Atlas es un documento de referencia para Colombia que contribuye al conocimiento de la disponibilidad de sus recursos renovables y facilita la identificación de regiones estratégicas donde es más adecuada la utilización de la energía solar para la solución de necesidades energéticas de la población.

El conocimiento de la disponibilidad de la energía solar es indispensable porque facilita el aprovechamiento adecuado de este recurso energético mediante el uso de sistemas y tecnologías que lo transforman en diversas formas de energía útil; sistemas fotovoltaicos o térmicos para la producción de electricidad, destilación solar para separación de contaminantes, climatización de edificaciones como tecnología fuente de confort térmico, y como fuente directa de producción de biomasa.

El Atlas de Radiación Solar brinda información que cuantifica la energía solar que incide sobre la superficie del país. Para el caso de las zonas apartadas de las redes nacionales de transporte y distribución de energía, por ejemplo, esta información es necesaria para el dimensionamiento de sistemas o aplicaciones tecnológicas que a partir de la energía solar permiten el abastecimiento de energía eléctrica con el fin de satisfacer diversos requerimientos como iluminación, comunicaciones, bombeo, etc.

El Atlas de Radiación Solar de Colombia contiene una aproximación a la distribución espacial del recurso solar, desarrollada con base en información radiométrica medida directamente en 71 estaciones sobre el territorio nacional, complementada con 383 estaciones meteorológicas donde se realizan medidas rutinarias de brillo solar, y 96 estaciones donde realizan mediciones de humedad relativa y temperatura, variables que fueron correlacionadas con la intensidad radiante sobre la superficie. (IDEAM, 2004)



Fuente: Imagen extraída de Atlas de Radiación Solar, (IDEAM, 2004).

7.1.2 Índice de rendimiento de color (IRC O RA):

La reglamentación establecida por la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE, 200) dicta:

El rendimiento en color de las lámparas es una medida de la calidad de reproducción de los colores, y el índice de reproducción cromática (IRC) se caracteriza por la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz.

El IRC nos indica la capacidad de la fuente de luz para reproducir colores normalizados, en comparación con la reproducción proporcionada por una luz de referencia. Digamos que un CRI 100 sería aquel que nos proporciona la luz del día.

La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE, 200) ha propuesto un sistema de clasificación de las lámparas en cuatro grupos según el valor del IRC.

Tabla 2: Clasificación Índices de Rendimiento del Color.

CLASIFICACIÓN DEL IRC	
1 A y B.	IRC o RA entre 81 y 100:
Características	Los colores serán reproducidos de forma muy eficiente. Este tipo de lámparas que debe utilizarse en aquellos lugares donde una pequeña variación en la tonalidad puede ser importante, ya bien sea por motivos laborales o decorativos. Otro factor importante a tener en cuenta es la afluencia de personas en la zona a iluminar. Como industria textil, escaparates, tiendas, hospitales, hogares, restaurantes...
2 A y B.	IRC entre 61 y 80:
Características	Ciertos colores pueden parecer a simple vista distorsionados. Se deberá emplear en interiores donde no haya permanencia de personas. Como colegios, grandes almacenes, industria de precisión...
3	IRC menor 60.
Características	Los colores no se aprecian con claridad. Lámparas con IRC <60 pero con propiedades de rendimiento en color bastante aceptables para uso en locales de trabajo, donde la discriminación cromática no es demasiado importante.
S.	Lámparas especiales.
Características	Son lámparas con rendimiento en color fuera de lo normal, con aplicaciones concretas.

Fuente: Elaboración propia con datos del RETILAP (MME, 2009)

8. PRUEBAS, RECOLECCION Y ANALISIS DE DATOS

Tras haber considerado las variables a evaluar, se harán una serie de pruebas para la obtención de valores prácticos, con objeto de establecer los límites comerciales y prácticos de las variables de análisis y eventual diseño de un prototipo.

Las pruebas que se definen a continuación, arrojarán los datos con los que se busca hacer un contraste de variables y, por ende, de factibilidades. De igual modo estas, permitirán determinar comportamientos específicos ante condiciones del medio y valores atípicos, por aspectos no valorados

8.1 PRUEBA DE PARÁMETROS: Paneles Solares.

La prueba consiste en ubicar cada uno de los módulos fotovoltaicos a condiciones de irradiación solar, elegidas de acuerdo con las condiciones ambientales que nos brindarán una irradiación promedio baja. Lo anterior, se hace teniendo en cuenta los patrones de irradiación promedio que ofrece el Atlas de Radiación Solar. De este modo, al llevar cabo la prueba, cada módulo se expone a la radiación solar en campo abierto, contando con una carga de prueba. Carga resistiva pura que entrega los valores que se muestran en la tabla. El esquema de instalación del panel se muestra en la Figura 18.

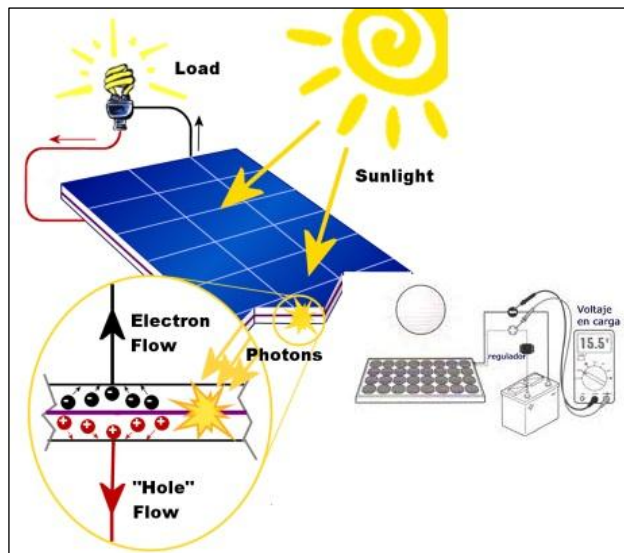


Figura 18: Esquema del método de prueba.¹⁹

¹⁹ Fuente: Imagen tomada de <http://www.easytechtips24.com/how-to-install-photovoltaic-solar-panels/>

8.1.1 La selección de paneles de prueba.

Tras definir la metodología de la prueba y los elementos para ejecutarla, se eligieron paneles disponibles en el stand.

En la Tabla 3 se muestran los parámetros de funcionamiento de los paneles comerciales dispuestos por Colombia Energy para el estudio, que inicialmente se habrían de emplear como referencias.

Tabla 3: Parámetros funcionamiento - Paneles fotovoltaicos disponibles Colombia Energy.

Características de Paneles Fotovoltaicos comerciales - Colombia Energy						
Panel	V _{nominal} (V)	Voc (V)	I _{nominal} (A)	Isc (A)	P (W)	Área efectiva
SOLAR PANEL SF90	18.0	21.24	5.0	5.5	90	1.15x0.50
BP SOLAR BP275F	17.0	21.40	4.45	4.75	70	1.15x0.50
SOLAREX SX800	16.8	21.0	5.0	4.75	80	1.40x0.46
PV180WATT	35.5	43.4	5.07	5.76	180	1.56x0.76

Fuente: Elaboración propia con las características de fabricantes de los paneles.

Nota: Voc=Voltaje de circuito abierto; Isc=Corriente de corto circuito; P= Potencia.

8.1.2 Metodología de la prueba

La prueba inicial consistía en la verificación de funcionamiento de los paneles con una carga resistiva (un resistor de 1 Ω @ 10W). La prueba se realizó dentro del horario 7:AM a 11:AM, contando con condiciones de radiación sin obstrucción por árboles o edificaciones. Los resultados se consignaron en la tabla.

8.1.3 Resultados

Los resultados obtenidos se tabularon en la Tabla 4.

Tabla 4: Voltajes y corrientes de funcionamiento de los paneles a una carga prueba.

Resultados Pruebas de Paneles Fotovoltaicos comerciales - Colombia Energy						
Test No.	Panel	V prueba (V)	I prueba (A)	R prueba (Ω)	P (W)	Condiciones del día
1	SOLAR PANEL SF90	0.324	0.324	1	0.105	Mañana-cielo cubierto
	BP SOLAR BP275F	0.575	0.575	1	0.330	Mañana-cielo cubierto
	SOLAREX SX800	0.765	0.765	1	0.580	Mañana-cielo cubierto
	PV180WATT	0.800	0.800	1	0.640	Mañana-cielo cubierto

2	SOLAR PANEL SF90	1.20	1.20	1	1.44	Mañana-cielo p/cubierto
	BP SOLAR BP275F	1.31	1.31	1	1.72	Mañana-cielo p/cubierto
	SOLAREX SX800	1.06	1.06	1	1.12	Mañana-cielo p/cubierto
	PV180WATT	1.1	1.1	1	1.21	Mañana-cielo p/cubierto
3	SOLAR PANEL SF90	2.2	2.2	1	4.84	Mañana-cielo descubierto
	BP SOLAR BP275F	3.9	3.9	1	15.21	Mañana-cielo descubierto
	SOLAREX SX800	5.4	5.4	1	29.16	Mañana-cielo descubierto
	PV180WATT	6.0	6.0	1	36.0	Mañana-cielo descubierto

Fuente: Elaboración propia.

8.1.4 Análisis de resultados

Resulta evidente que los valores presentes en los parámetros comerciales se presentan bajo condiciones ambientales y de iluminación favorables, observación resultante de que las lecturas registradas no alcanzan los valores promedios ofrecidos en las tablas por el fabricante. Aunque las horas del día se eligieron arbitrariamente, teniendo en cuenta las condiciones climáticas que suelen presentarse localmente.

Es menester resaltar que las baterías cuentan con valores de corriente mínimos de carga, hecho que debe tenerse en cuenta en el diseño del controlador en la etapa de carga. Así por ejemplo, bajo condiciones de día con cielo cubierto y baja radiación podrían presentarse niveles de corriente en un panel de 200mA, que pueden resultar no suficiente para carga de un banco de baterías.

Frente al nivel de producción de energía, debe recalcar la importancia de la eficacia del panel en uso, con el objeto de aprovechar toda la energía contenida en la radiación solar.

De igual modo, se verifica que existe una relación proporcional entre el área efectiva del panel y el índice de potencia obtenido. Aunque lo anterior no indica que paneles de iguales áreas, pero de diferentes fabricantes y arquitecturas presentarán similares niveles de producción. Así por ejemplo, los paneles de referencia SOLAR PANEL SF90 y BP SOLAR BP275F, presentan áreas efectivas iguales, más no presentan voltajes y corrientes similares ante iguales condiciones.

8.2. PRUEBA DE PARÁMETROS: Luminaria LED

La prueba de las lámparas a contrastar permite obtener los niveles de iluminancia, patrón de irradiación que presenta, temperatura de funcionamiento, temperatura del haz, rendimiento, voltajes de funcionamiento e identificar posibles falencias para la posterior evaluación de la factibilidad del producto.

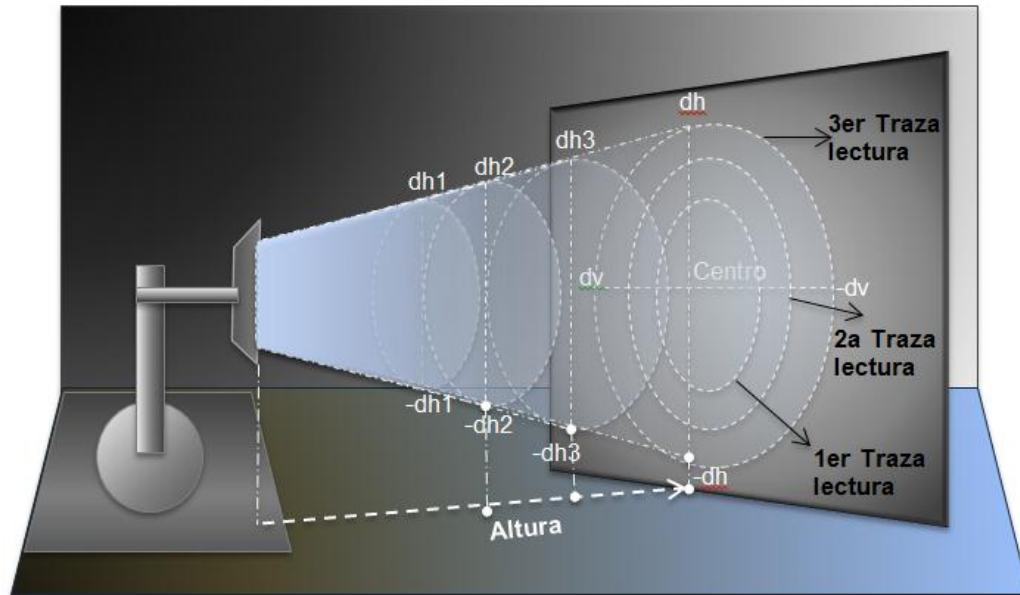


Figura 19: Esquema del Patrón de lectura de Iluminancia en Luminaria LED.
(Fuente: Elaboración propia)

8.2.1 La selección de la lámpara de prueba.

Colombia Energy cuenta con productos de iluminación de diseño propio y de productos de común distribución en el mercado, que forman parte de los productos en soluciones energéticas que ofrece a la industria. Por esta razón, en esta prueba de determinación de derroteros para luminaria LED se emplea una lámpara del stand disponible en la empresa. La lámpara compuesta por 18 LED's de alta potencia, que conforman un arreglo circular junto con un controlador interno nos permitirá conocer valores de iluminancia prácticos. La prueba se realiza en un recinto cerrado de 2.40 de ancho, por 2.70 de alto y 12 de largo. Los valores registrados se presentan en la Tabla 6.

El parámetro que determinó la elección de esta lámpara, correspondía más a disponibilidad y a que la misma se ha instalado en módulos de iluminación previamente desarrollados por Colombia Energy.

Tabla 5: Parámetros técnicos de la lámpara LED en prueba.

Lámpara de luminaria: LED.			
Parámetro	Tipo: LED	Peso lámpara: 500g aprox.	
Potencia promedio de consumo:	24 W.	Área efectiva del haz:	>>2.25m ² [altura 8m]
Voltaje de funcionamiento:	12 V.	Vida media (h):	32000
Corriente promedio de consumo:	2.0 A.	Pulso de ignición:	No requiere.
Dimensiones (para almacenamiento):		Tiempo de inició:	Inmediato.
Eficiencia lumínica:	90 lm/W.	Flujo luminoso(lm):	16000

Fuente: Elaboración propia con parámetros del fabricante.



Figura 20: Lámpara LED sometida a prueba de ilumancia y patrón de radiación²⁰
a.(Izq.) Lámpara LED [Matriz circular de 18 LED's]. Colombia Energy.
b. (Der.) Lámpara en prueba de iluminancia.

8.2.2 Metodología de la prueba

La prueba consiste en ubicar la lámpara, horizontal o verticalmente, y tomar un patrón de medida del haz de luz que proyecta. En esta prueba, se realiza de forma horizontal, dado que ello permitía elegir con facilidad la distancia a la fuente de luz. Con posterioridad, se toma el valor de iluminancia a cada distancia preestablecida de la fuente de luz (lámpara LED), siguiendo el patrón de lectura.

El patrón de lectura de Iluminancias, consiste en cinco puntos equidistantes: una lectura en el centro (c) y cuatro lecturas en los ejes vertical y horizontal (dh, -dh, dv, -dv). Siendo 'dh' la desviación horizontal (positiva, hacia arriba; negativa, hacia abajo) desde el centro hasta el borde del patrón de radiación y, 'dv' la desviación

²⁰ Fuente imágenes: Las imágenes fueron tomadas durante la prueba.

vertical (positiva, hacia la derecha; negativa, hacia la izquierda). De acuerdo como se enseña en la Figura 19.

8.2.3 Resultados

Los resultados obtenidos en la prueba, se presentan en la Tabla 6. Además, se presenta un esquema con el patrón de irradiación y las lecturas de iluminancia.

Tabla 6: Valores de Iluminancia en lámpara de prueba- LED.

Registro de Iluminancias – Lámpara LED comercial - Colombia Energy.													
Dist. Fuente Luz (m)	Planos de lectura: Desviación desde el centro (m)												
	Cent.	Primer traza de lectura				Segunda traza de lectura				Tercer traza de lectura			
		-dh ₁	-dv ₁	dh ₁	dv ₁	-dh ₂	-dv ₂	dh ₂	dv ₂	-dh ₃	-dv ₃	dh ₃	dv ₃
	0	-0.2	-0.35	0.2	0.3	-0.5	-0.7	0.5	0.7	-1.2	-1.35	1.2	1.3
1	4340	460	500	460	500	156	180	156	180	6	8.3	6	8.3
2.5	530	357	390	357	390	230	255	230	255	17	20	17	20
4	210	155	170	155	170	143	160	143	160	33	39	33	39
6	100	80	84	80	84	88	94	88	94	34	39	34	39
7.5	61	50	52	50	52	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R
8	53	41	46	41	46	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R
12	30	12	14	12	14	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R	N/R

Fuente: Elaboración propia con la información recopilada.

Nota: Las lecturas indicadas con N/R son las No Registradas.

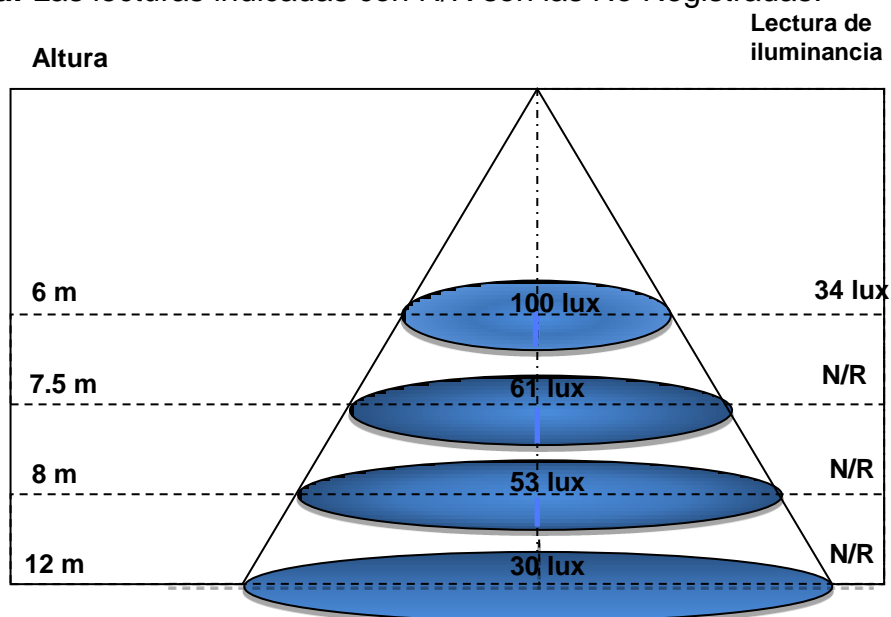


Figura 21: Gráfico de lecturas de iluminancia a varias alturas.

Fuente: Elaboración propia, con los datos recolectados.

8.2.4 Análisis de resultados.

Dentro del estudio resultan de vital importancia el análisis fotométrico de las diferentes fuentes de luz que serán objeto de contraste. Es por esta razón que la matriz resultante de la tabla ofrece una descripción de la variación de Iluminancia en el haz que proyecta la lámpara en prueba, al igual que su distribución y la resultante efectividad lumínica, con relación al área que cubre. Para esta oportunidad es en una lámpara LED. El estudio de este parámetro, ofrece un índice del área efectiva que será iluminada por la lámpara, el patrón que genera, y la variación de la Iluminancia en función de la altura. Factor indispensable para establecer la relación de Iluminancia vs. Altura, considerando, de igual modo, las distancias que puedan tenerse entre lámpara y lámpara y, así poder tener una correcta iluminación del campo en el que se instalen.

Para este caso en estudio, se presenta los siguientes cambios de iluminancia: un haz de luz de alto nivel de iluminancia a 1 m de distancia de la fuente, lecturas que van entre 6 y 4300 lm/m^2 , en el patrón de medida que se emplea. Seguidos de estos, a 2.5 m de la fuente lumínica, se encuentran niveles de iluminancia entre los 17 y los 530 lm/m^2 (en el centro, hay un descenso significativo, en la periferia hay un incremento de tres veces la lectura anterior). Los valores de luminancia descienden a la mitad de los anteriores, cuando la distancia se incrementa a 4 m; aunque en la periferia se incrementan. Los valores de luminancia van de 80 a 140 lm/m^2 en el patrón de medida.

El descenso que se presenta, sigue una trayectoria de 'caída suave' lo que indica un patrón de luz definido, factor que permite definir el área de iluminación efectiva.

De igual manera, de acuerdo con las lecturas registradas, se observa que los valores de iluminancia en la periferia, son inversamente proporcionales a la altura. Lo que lleva a concluir, que esta clase de luminaria no presenta contaminación lumínica.

8.3 PRUEBA DE PARÁMETROS: Luminaria Convencional

La prueba de las lámparas a contrastar permite obtener los niveles de iluminancia, patrón de irradiación que presenta, temperatura de funcionamiento, temperatura del haz, rendimiento, voltajes de funcionamiento e identificar posibles falencias para la posterior evaluación de la factibilidad del producto.

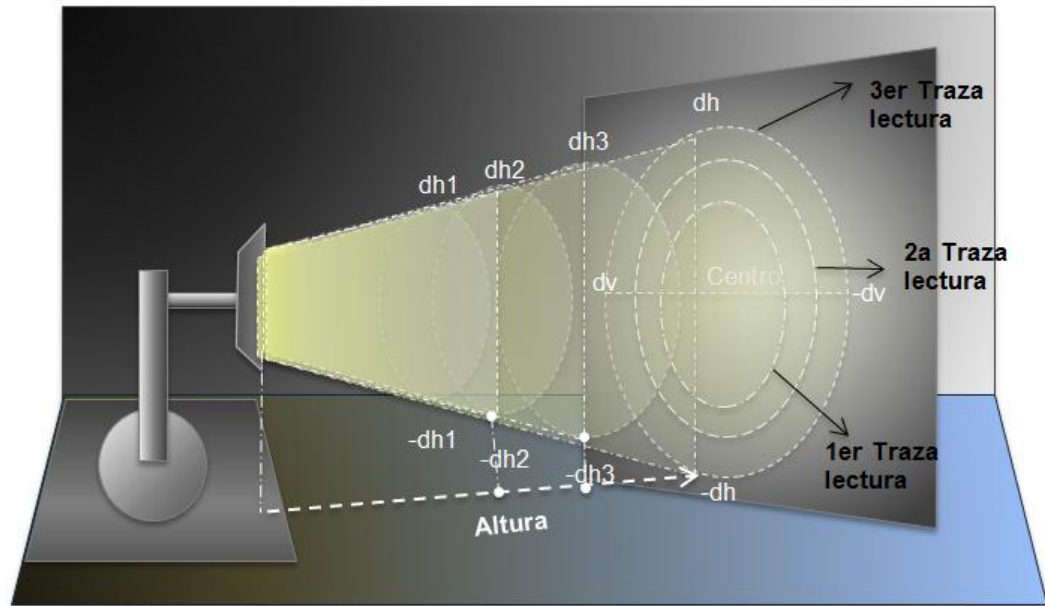


Figura 22: Esquema del patrón de lectura de Iluminancia en Luminaria Convencional.
(Fuente: Elaboración propia)

8.3.1 La selección de la lámpara de prueba.

Colombia Energy cuenta con productos de iluminación industrial, que corresponden a Sistemas Fotovoltaicos. Luego, para obtener una lámpara de iluminación convencional de uso común en la iluminación pública se realiza la consulta en un reconocido almacén de la ciudad. Lugar donde se accedió al uso y prueba de una lámpara de Sodio de Baja presión. La administradora del almacén Distrieléctricos, permitió realizar la prueba de la lámpara, solicitando que la misma fuese realizada en sus instalaciones. Durante el montaje de la lámpara, el operador que la ensamblaba, indicaba que ese tipo de lámparas venían siendo reemplazadas por las de sodio de alta presión, aunque seguían siendo usadas. La selección, de igual modo, obedece a la eficacia lumínica que presenta, siendo apenas superior a la de la lámpara LED. Siendo esta la variable en común para el contraste.

La prueba se ejecutó en la bodega, ubicada en el sótano del almacén, con condiciones de oscuridad suficientes para ejecutar la prueba.

Tabla 7: Parámetros técnicos de lámpara Convencional en prueba.

Lámpara de luminaria: Convencional.			
Tipo:	Sodio (LP).	Peso lámpara:	
Potencia promedio de consumo:	70 W.	Área efectiva del haz:	
Voltaje de funcionamiento:	220V.	Vida media (h):	32000
Corriente promedio de consumo:	0.98A.	Pulso de ignición:	1.5-2.8 KV.
Dimensiones (para almacenamiento):		Tiempo de inició:	10 min aprox.
Eficiencia lumínica:	94 lm/W.	Flujo luminoso(lm):	6600

Fuente: elaboración propia con las características del fabricante.

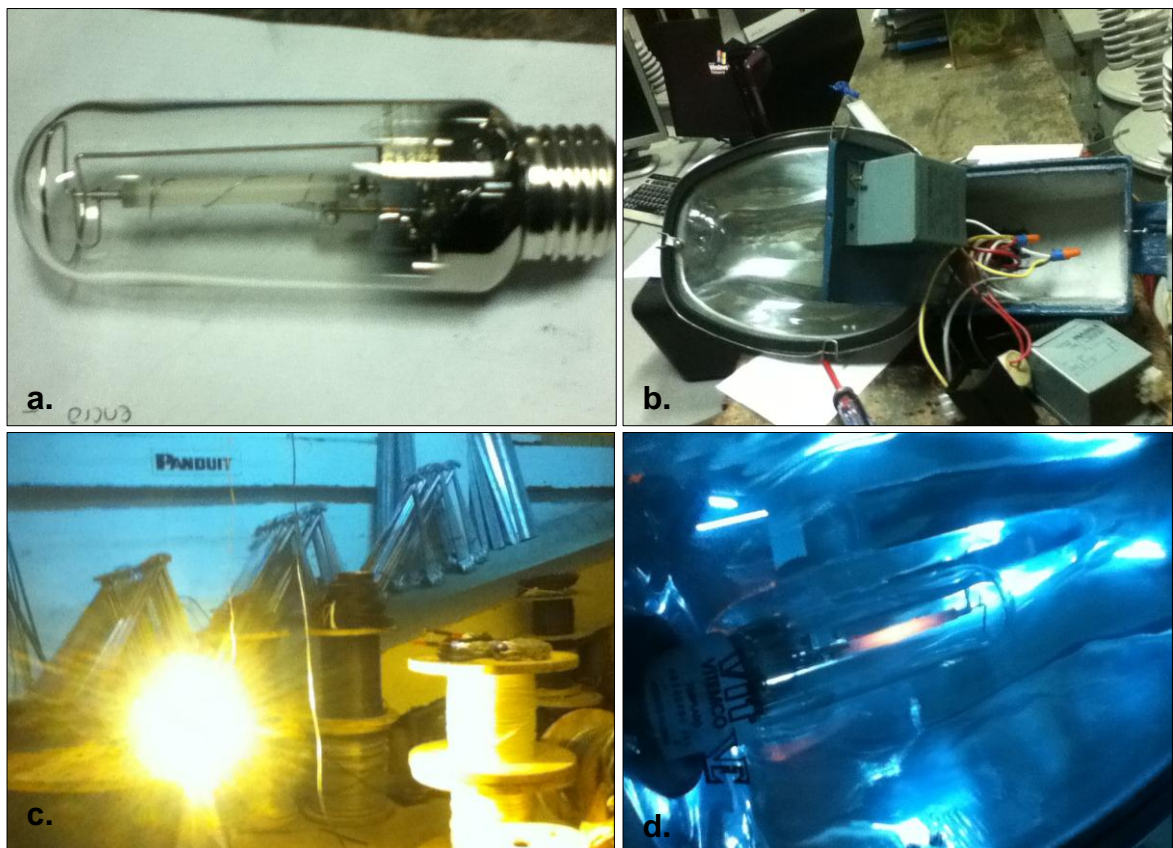


Figura 23: Lámpara convencional de Sodio de Baja presión.
a. (sup-izq) Lámpara sodio. **b.** (sup-der) Cuerpo, reflector, refractor y balasto.
c. (inf-izq) Color característico. **d.** (inf-der) Lámpara en post- apagado.

8.3.2 Metodología de la prueba

La Prueba consiste en ubicar la lámpara en prueba, horizontal o verticalmente, y tomar un patrón de medida del haz de luz que proyecta. En esta prueba, se realizó de forma horizontal. Con posterioridad, se toma el valor de iluminancia a cada distancia establecida de la fuente de luz (lámpara Sodio), siguiendo el patrón de lectura, que consiste en una lectura en el centro © y cuatro lecturas en los ejes vertical y horizontal (dh , $-dh$, dv , $-dv$). Siendo ' dh ' la desviación horizontal (positiva, hacia arriba; negativa, hacia abajo) desde el centro hasta el borde del patrón de radiación y, ' dv ' la desviación vertical (positiva, hacia la derecha; negativa, hacia la izquierda). De acuerdo como se enseña en la Figura 22

8.3.3 Resultados

Los resultados obtenidos en la prueba se presentan en la Tabla 8: Valores de Iluminancia en lámpara de prueba- Sodio Baja presión. Tabla 8. Además, se implementa un esquema con el patrón de irradiación y las lecturas de iluminancia (Ver Figura 24)

Tabla 8: Valores de Iluminancia en lámpara de prueba- Sodio Baja presión.

Registro de Iluminancias - Lámpara Convencional - Distri-eléctricos														
Dist. Fuente Luz (m)	Plano de lectura: Desviación desde el centro (m)													
		Primer traza de lectura				Segunda traza de lectura				Tercera traza de lectura				
	Cent.	$-dh_1$	$-dv_1$	dh_1	dv_1	$-dh_2$	$-dv_2$	dh_2	dv_2	$-dh_3$	$-dv_3$	dh_3	dv_3	
	0	-0.2	-0.35	0.20	0.35	-0.5	-0.7	0.5	0.7	-1.2	-1.35	1.2	1.35	
1	1510	1410	1350	1410	1350	1220	1050	1220	1050	770	653	770	653	Iluminancia
2.5	450	316	310	316	310	282	240	282	240	202	196	202	196	
4	180	140	130	140	130	160	137	160	137	95	80	95	80	
6	7	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	

Fuente: Elaboración propia con los resultados de la prueba.

Nota: Cada una de las trazas frente a la distancia de la fuente de luz, están diferenciadas por los subíndices 1, 2 y 3. Junto a la cual, está la lectura registrada con el luxómetro.

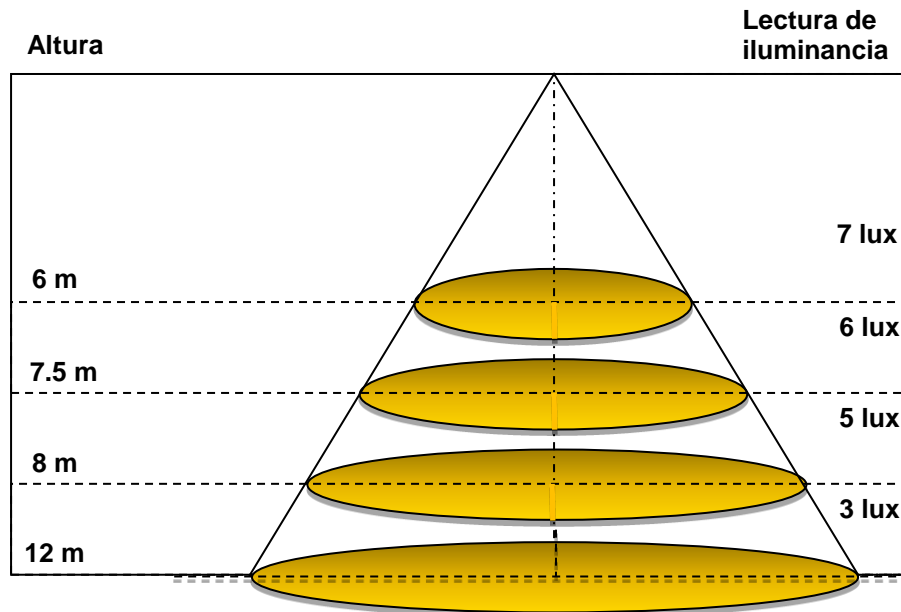


Figura 24: Gráfico de lecturas de iluminancia obtenidos en la prueba.
Fuente: Elaboración propia con los resultados de la prueba.

8.3.4 Análisis de resultados.

Al igual que en la prueba de luminaria LED, resulta de vital importancia el análisis fotométrico de las fuentes de luz convencionales. Es por esta razón que la matriz resultante de la tabla de resultados ofrece una descripción de la variación de iluminancia en el haz que proyecta la lámpara en prueba, al igual que su distribución y la resultante efectividad lumínica. El estudio de este parámetro, ofrece un índice del área efectiva que será iluminada por la lámpara, el patrón que genera y la variación de la iluminancia en función de la altura. Factor común a la prueba anterior, con objeto de realizar un posterior contraste de las variables evaluadas y, así establecer la relación de Iluminancia vs. Altura, considerando, de igual modo, el índice de factibilidad.

Para el caso en particular de la lámpara de Sodio de Baja presión se presenta un haz de luz con los mayores valores de Iluminancia a 1 m de distancia de la fuente, niveles de iluminancia que van entre 650 y 1500 lm/m^2 , en el patrón de medida que se emplea. Seguidos de estos, a 2.5 m de la fuente lumínica, se encuentran niveles de luminancia entre los 200 y los 450 lm/m^2 (cerca de la tercera parte de los valores iniciales). Los valores de iluminancia descienden sustancialmente

relación con los anteriores, cuando la distancia se incrementa a 4 m, los valores de luminancia van de 80 a 180 lm/m^2 en el patrón de medida.

En una distancia de 6 metros de la fuente de luz, la caída de los valores de iluminancia registrados es aún mayor; presentado lecturas entre 5 y 7 lm/m^2 . De lo anterior, se infiere que hay un descenso significativo de la luminancia a mayor distancia de la fuente de luz (altura de la lámpara), además de la presencia del conocido efecto de 'aureola de ángel'. La aureola de ángel es característica de aquellas fuentes de luz, de haz no homogéneo.

8.4. CONTRASTE E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Tras definidos los resultados en las pruebas de luminarias, se obtienen los datos necesarios para el contraste entre ambas luminarias. La Tabla 9, revela un resultado positivo ante el uso de luminaria LED como alternativa de gran factibilidad económica y eficiencia.

8.4.1 Cuadros comparativos: Luminarias

Tabla 9: Contraste de valores en las pruebas de luminarias.

Ítem	Lámpara de Sodio de Baja Presión	Luminaria LED-Colombia Energy
Voltaje de funcionamiento (V)	220V _{AC}	12V _{DC} /24 V _{DC}
Potencia de consumo (w)	70	20
Eficiencia lumínica (lm/w)	94	90
Iluminancia en la periferia a 6m de la fuente lumínica (lm/m^2)	5	34
Iluminancia en el centro a 6m de la fuente lumínica (lm/m^2)	7	100

Fuente: Propia

Interpretación de resultados:

La prueba de contraste toma como patrón de referencia la eficiencia lumínica de las lámparas, dejando en elección arbitraria los aspectos restantes. En el caso en particular con la lámpara de sodio de baja presión, pese a que la potencia de consumo es mucho mayor (70W), frente a la potencia de la luminaria LED (20W) los niveles de iluminancia difieren significativamente a igual altura. Siendo lo anterior, argumento base para afirmar que las luminarias LED presentan mayor eficiencia en funcionamiento y, por ende, menor costo de funcionamiento obteniendo mejores niveles de iluminancia en los espacios a iluminar.

Tabla 10: Aspectos complementarios de selección.

Item	Lámpara de Sodio de Baja Presión	Luminaria LED-ColombiaEnergy
Rendimiento fotométrico	Regular	Muy bueno
Rendimiento Radiador	Regular	Muy bueno
Rendimiento eléctrico	Descargas peligrosas (Alto Voltaje)	Seguro (Bajo Voltaje)
Vida útil	Corta (5.000 hrs.)	Muy larga (>20.000 hrs.)
Rango voltaje de trabajo	Reducido ($\pm 7\%$)	Amplio ($\pm 20\%$)
Consumo de Suministro de Poder	Demasiado alto	Bastante bajo
Velocidad Partida	Muy lenta (sobre 10 minutos)	Rápida (2 segundos)
Efecto estroboscópico	Sí (Corriente alterna)	No (Corriente continua)
Eficiencia óptica	Baja	Muy buena
Índice de Color	Malo Ra < 50 Colores falsos, aburridos y hipnóticos	Bueno Ra >75 Colores vivos, verdaderos y confortables
Temperatura Color	Bastante baja, ámbar o amarillo, incómodo	Confortable
Mal Deslumbramiento	Fulgor fuerte	Sin Fulgor
Generación de Calor	Fuerte (>60°)	Fuente de Luz fría (<60°)
Oscurecimiento de pantalla	En poco tiempo (Absorción de Polvo)	No
Amarillamiento de pantalla	Muy fuerte	Poco
Resistencia a Golpes	Malo (frágil)	Buena (sin Filamentos ni vidrio)
Contaminación ambiental	Contaminación con Hg, Pb y As	No contamina, reciclable.
Cuerpo Luminaria	Muy grande	Pequeña (unidad)
Peso Luminaria	Pesado	Liviano
Relación Costo Eficiencia	Malo	Alto

Fuente: Propia

9. ANÁLISIS COMPARATIVO Y CONTRASTE

Como se contempla dentro de los objetivos del presente estudio, es esta la etapa en la cual se confrontarán aspectos técnicos, económicos, ambientales y procedimentales que arrojarán el resultado buscado. Estableciéndose, dentro de los aspectos antes mencionados, los niveles de factibilidad que apoyen o precipiten el uso de los Sistemas Fotovoltaicos al igual que luminaria LED para aplicaciones de iluminación pública industrial.

9.1 VENTAJAS Y LIMITANTES.

9.1.1 Ventajas del uso de luminaria LED

Los LED, presentan significativas ventajas sobre las fuentes de luz incandescente, fluorescente, sodio de baja presión y de mercurio; principalmente por el bajo consumo de energía, mayor tiempo de vida, tamaño reducido, durabilidad, resistencia a las vibraciones, reducen la emisión de calor, no contienen mercurio, en comparación con la tecnología fluorescente, no crean campos magnéticos altos como la tecnología de inducción magnética, con los cuales se crea mayor radiación residual hacia el ser humano; cuentan con mejor índice de producción cromática que otros tipos de luminarias, reducen ruidos en las líneas eléctricas, son especiales para utilizarse con sistemas fotovoltaicos (paneles solares) en comparación con cualquier otra tecnología actual; no les afecta el encendido intermitente (es decir pueden funcionar como luces estroboscópicas) y esto no reduce su vida promedio, son especiales para sistemas antiexplosión ya que cuentan con un material resistente, y en la mayoría de los colores (a excepción de los LED azules), cuentan con un alto nivel de fiabilidad y duración.

9.1.2 Limitantes del uso de luminaria LED

Son muchas las ventajas que están inmersas en la luminaria LED, desde los bajos niveles de consumo hasta los excelente niveles de integración en arreglos de lámparas, sin embargo, no se descartarán las limitantes que pueden presentar los LED's eventualmente.

Defectos y fallas de la luminaria LED:

A continuación se listan algunos de los defectos y fallos establecidos durante el estudio, que pueden presentarse en las luminarias LED:

- **LED's de alta potencia requieren de disipadores de calor robustos.** Aunque la amplia mayoría de LED's no requiere de disipador de calor, para aplicaciones de niveles elevados de potencia, requiere de disipador. La

ausencia del mismo, acorta el tiempo de vida de los LED. El uso de los mismos, implica un incremento de la dimensión de la luminaria, al igual que su peso. Sin embargo, este no es un factor que termine por restar desempeño o factibilidad del producto.

- **No resulta posible reemplazar una unidad de LED.** En su mayoría, las luminarias cuentan con arreglos de LED's de mediana o mayor potencia. Sin embargo, eventualmente, no se descarta el daño de uno o varios de los LED's que componen el arreglo. En estos casos resulta necesario, reemplazar todo el arreglo (lámpara). Resulta poco práctico, además de ser complicado y dispendioso reemplazar algunos de ellos.
- **Controladores defectuosos afectan significativamente el tiempo de vida de los LED's.** En una buena medida, las luminarias LED, cuentan con un controlador integrado que permite conservar las condiciones de suministro adecuadas a la misma. Sin embargo, por efectos de envejecimiento u otros factores, el daño del mismo afecta la calidad de vida de los LED e igualmente la calidad de la luz emitida. Surgiendo, incluso, leves variaciones de la intensidad lumínica, como en una lámpara fluorescente. Más esta condición sólo se presenta en condiciones de fatiga elevada.
- **Eventual envejecimiento.** De manera similar a las luminarias convencionales, con el transcurso de los años, la luminaria LED presenta un leve envejecimiento de la luz emitida. Lo anterior, a causa de factores como la temperatura.

Tabla 11: Cuadro comparativo de luminaria convencional a LED.

Características	Vapor de Sodio	MicroLED
Distorsión de color	El color del objeto es tenue y soso.	El color del objeto es fresco y comfortable
Seguridad eléctrica	Posibilidad de shock eléctrico (trabaja con altas tensiones)	Muy seguro, opera en baja tensión
Vida útil	5.000/10.000 horas	50.000/100.000 horas
Variación de tensión	Trabajan en un rango muy estrecho de tensión ($\pm 7\%$)	Trabaja en un rango de tensiones muy alto ($\pm 20\%$)
Consumo de potencia	Muy Alto	Muy bajo
Tiempo de encendido	10 minutos	2 segundos

Efecto estroboscópico	Sí (trabajan con corriente alterna)	No (trabajan con corriente continua)
Precio	Bajo	Medio alto
Eficiencia óptica	Baja	Alta
Rendimiento fotométrico	Malo	Excelente
Temperatura de color	Baja (tonos amarillos o naranjas, no confortables)	Gran cantidad de rangos posibles (tonos claros parecidos a la luz solar, comfortable)
Deslumbramiento	Fuerte deslumbramiento (resplandor)	Deslumbramiento suave
Contaminación luminosa	Fuerte	No
Temperatura calentamiento	Muy alto (>300°C)	Bajo (<60°)
Ensuciado pantalla	Muy fácil (alta tensión atrae polvo)	No (a prueba de corriente estática)
La lámpara se vuelve amarilla	En un plazo corto de tiempo	No se vuelve amarilla
Anti golpes	Muy malo (frágil)	Muy bueno (no utiliza filamento de cristal)
Coste de mantenimiento	Alto	Bastante bajo
Dimensiones lámpara	Gran volumen	Pequeño volumen (esbelto)
Peso de la lámpara	Pesada	Ligera
Contaminación eléctrica	Factor de potencia bajo y distorsión armónica total elevada. Pérdidas en las líneas de transmisión	Factor de potencia >0,9, THD <20%. No se introducen componenetes de alta potencia en la red eléctrica
Comportamiento combinado	Malo	Excelente

Fuente: Elaborado con datos del sitio web <http://www.peatom.info/municipios/123768/las-tecnologias-led-revolucionan-el-alumbrado-publico/>

9.1.3 Ventajas del uso Sistemas de Iluminación con Fuentes de Alimentación Fotovoltaica

Tras comprobar la buena eficiencia de las luminarias LED en el capítulo previo, surgen fuertes razones para considerar que la combinación Luminaria LED y Sistemas fotovoltaicos juegan un papel excelente. El alcance de los mismos tiene un amplio ramo que no descarta acogida y amplia factibilidad económica.

- ✓ **En las diferentes industrias**, como sistemas de iluminación en cascada, ofreciendo muy buenos niveles de iluminancia, condiciones idóneas en trabajo de campo abierto. Especialmente en aquellos sectores de la industria en los que no existe conexión a la red de distribución eléctrica. Siendo este, el campo de enfoque del presente estudio.
- ✓ **En las regiones rurales de las ZNI** ²¹, donde dada la carencia de interconexión a la red nacional, no funcionan los sistemas de alumbrado público.
- ✓ **En las zonas rurales**, como una alternativa de carácter ambiental y de muy fuerte ventajas en factibilidad económica.

9.1.4 Limitantes del uso de Sistemas de Iluminación con Fuentes de Alimentación Fotovoltaica.

Dentro de la composición fundamental de los sistemas fotovoltaicos, se establecen cuatro etapas esenciales: generación fotovoltaica, regulación y control, almacenamiento y carga. Siendo la etapa de almacenamiento, la que establece el mayor reto de innovación, mejoramiento y perfeccionamiento.

9.1.4.1 En baterías o acumuladores

Actualmente, aún a pesar de los significativos avances en desarrollo de acumuladores, son estos los elementos que aún requieren de múltiples mejoras sin representar una afectación al ambiente. Las relaciones de conversión de energía en paneles fotovoltaicos presentan muy buenos niveles y los niveles de irradiación en el sector en que se localiza Colombia, ofrecen tasas elevadas de generación por área. Sin embargo, durante el estudio, implementación del prototipo y trabajo con otras de las soluciones en iluminación que ofrece Colombia Energy, fueron las baterías el factor que limitaba los alcances en la medida de las capacidades y costo por capacidad en A-h.

9.1.4.2 Otros aspectos limitantes

Aunque el objeto que contempla el inciso anterior determina aspectos de diseño, se ha incluido un aspecto que, aunque económico, se cataloga como una limitante que afecta la factibilidad del uso de Sistemas de Iluminación con Fuentes de Alimentación Fotovoltaica.

²¹ Zonas no interconectadas.

Importaciones y costes fronterizos.

Dentro del desarrollo de la industria local, regional e incluso, la nacional y, ante la apertura global de los mercados con métodos de intercambio de servicios y suministros más accesibles, ha surgido la producción segmentada. Es en este orden de ideas que el investigador mexicano Isaac Minian, refiere

En la actualidad Taiwán, Corea del Sur, Singapur y Hong Kong realizan inversiones o subcontratan actividades en países con menores costos de producción. (...)En la actualidad uno de los mayores receptores de estas actividades es China. Este país sigue un modelo económico que implica enormes importaciones de productos intermedios destinados a su reelaboración o ensamble. Así, para el año 2007, 73% de sus importaciones manufactureras estuvieron constituidas por bienes intermedios. (Minian, 2010)

De acuerdo con lo señalado por Minian, China corresponde a una de las naciones con mayor intercambio comercial con naciones emergentes. Y es bien cierto que una aminoración de los costos de producción hacen del costo final de elaboración de un producto específico algo más económico y, por ende, rentable y competitivo. En especial, si la elaboración del producto o parte del mismo, permite la culminación de un producto final que no se podría ensamblar localmente con tecnología propia o de empresas afines.

Teniendo en cuenta que la tecnificación de una industria específica representa un costo muy elevado, la producción segmentada ofrece una salida que, para pequeñas empresas, resulta como una opción rentable ante los grandes costos de inversión que significan una implementación total de la factoría de ensamble.

Sin embargo, en el entorno local, las políticas aduaneras y de importación de productos aún conservan diferencias con las políticas de apertura económica que sustentan la ya mencionada producción segmentada. Una de las razones que causan dichas diferencias, buscan blindar la economía nacional y establecen aranceles de importación y diferentes retenciones que afectan la factibilidad económica del producto y desfavorecen el crecimiento de economías emergentes y empresas en proceso de crecimiento.

Aun así, pese a los defectos que representan las importaciones en producción segmentada, para pequeñas y medianas empresas, parece ser la mejor alternativa para producir y obtener los elementos que nacionalmente no se producen por efectos de tecnificación

9.2 DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA

9.2.1 Relación de costes ante otras fuentes energéticas.

En el inciso actual se establecen las relaciones de factibilidad económica en contraste de los sistemas de iluminación con alimentación a través de sistemas fotovoltaicos y otros métodos empleados en la industria.

Inicialmente se establecen los costes por adquisición, bien sea por alquiler o compra. Luego se realiza la proyección en tiempo. Finalmente, los resultados nos enseñaran la viabilidad económica del empleo de uno u otro método de alimentación, la recuperación de la inversión en tiempo y los costes adicionales.

9.2.1.1 Fuentes convencionales: Hidrocarburos Vs. Fotovoltaicos

Si de industrias locales se trata, la industria de los hidrocarburos es la que mayores requerimientos presenta en regiones apartadas y amplios complejos de tratamiento y transporte. El método de generación y suministro energético corresponde a los generadores Diesel, los cuales presentan significativos costes en adquisición o renta y funcionamiento.

9.2.1.2 Fuentes convencionales: Hidrogeneración Vs. Fotovoltaicos

Frente a lo que parece un ramo menor del consumo de energía resultante por hidrogeneración, el alumbrado público no deja de representar un consumo significativo. En la Figura 25, se observa el consumo de energía eléctrica en Colombia, como se refiere en (DIEE, 2007).

Se observa que el 3% del consumo total de energía eléctrica en Colombia para el año 2005 fue por funcionamiento del alumbrado público. Aunque este porcentaje de energía es bajo, se puede distinguir al alumbrado público como un importante foco para el ahorro de energía y la aplicación del uso racional de la energía o URE, ya que la demanda que se estimaba de energía para el año 2007 estaba alrededor de 52.850 GWh. Este 3% se traduce en 1600 GWh que en costos, con la tarifa promedio de 228 \$/kWh, representaba la no despreciable suma de \$364.800 millones de pesos al año.

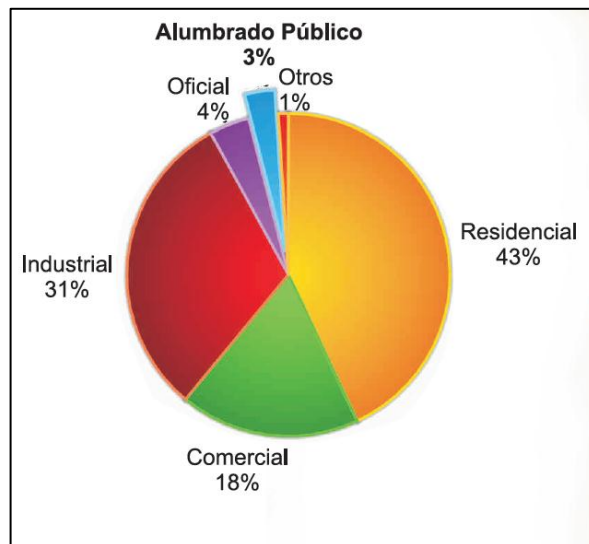


Figura 25: Distribución del consumo de energía eléctrica en Colombia (2005).
Fuente: Alumbrado público exterior. Guía didáctica para el ahorro de energía (DIEE, 2007). p.5.

9.2.2 Factibilidad de costes en tiempo:

Recuperación de la Inversión y Ganancias.

En este apartado del contraste, se definirán los costes de entrada y los costes que puede representar un sistema convencional frente a los sistemas de iluminación fotovoltaica. Para tal fin, se han definido dos categorías de contraste y análisis. La primera, hidrocarburos, categoría en la que se establecerán los costes en funcionamiento, mantenimiento periódico e infraestructurales.

La segunda, corresponde a la categoría de los sistemas de generación convencionales. Realizando un procedimiento similar de análisis de costes.

9.2.2.1 Fuentes convencionales: Hidrocarburos

Pese a que resulta aparentemente complejo hacer un estimativo en tiempo de los costes finales de la generación de energía con combustible DIESEL (ACPM), basta con dar un vistazo a las estadísticas que ofrecen las organizaciones que llevan dicho consecutivo de alzas y bajas, para adquirir una referencia de coste de generación por kilovatio en tiempo.

En la Figura 26, se puede observar el evolutivo que presentó el precio del ACPM entre 2010 y 2011 de acuerdo con La Federación Nacional de Distribuidores de Combustibles y Energéticos -Fendipetróleo; gráfico en el que resulta evidente el incremento que surte bimensualmente o trimestralmente en dicho combustible. Presentando un incremento total dentro del período igual a CO\$1714,29. Lo

anterior, sin considerar las variaciones que hay entre uno u otro distribuidor. Indudablemente esto marca una referencia de coste a largo plazo que se definirá en el presente inciso.

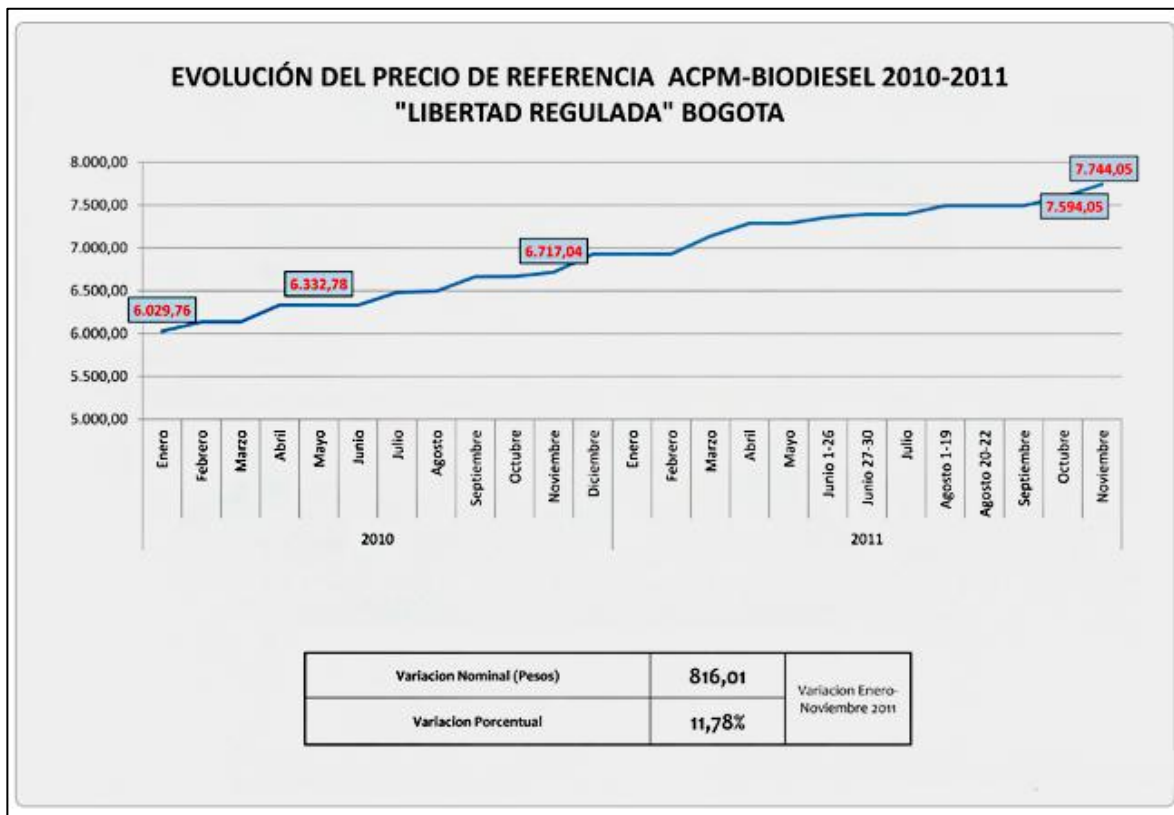


Figura 26: Evolutivo de costes ACPM, entre 2010 y 2011²².

En la Figura 27, se presenta un estadístico del evolutivo del costo del ACPM, salvo que el periodo de observación es igual a una década. La información proveniente de un estamento de carácter gubernamental, la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME, que realiza un seguimiento al precio del combustible en la ciudad de Bogotá.

²² Fuente: Imagen extraída del website Fendipetroleo:
http://www.fendipetroleo.com/newweb/index.php?option=com_content&view=article&id=141&Itemid=71.

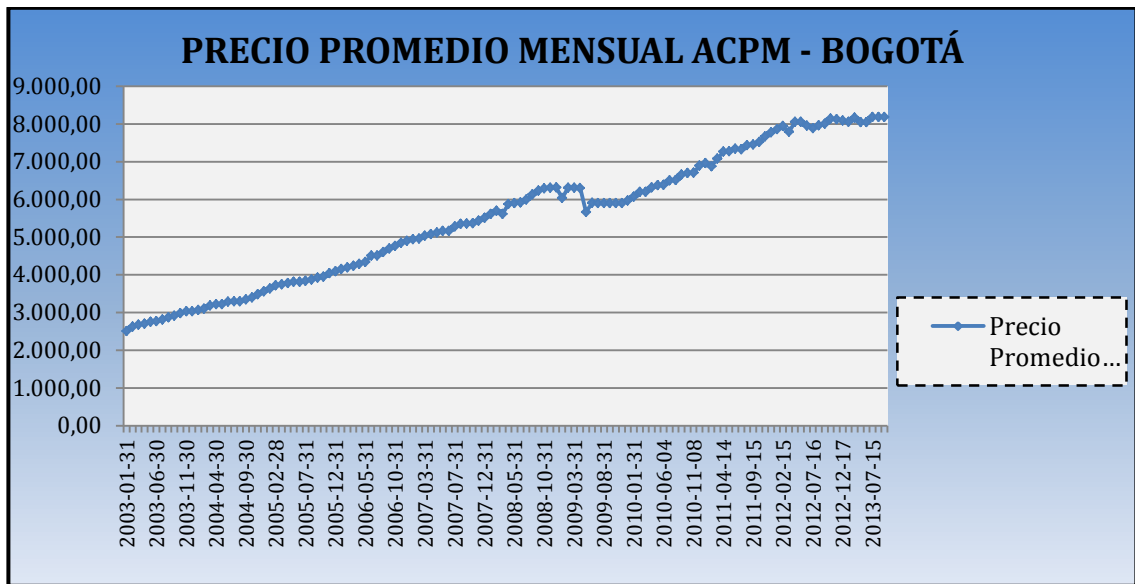


Figura 27: Evolutivo de costes –ACPM-, entre 2003 y 2013, en la capital del país-UPME²³.

La tabla con la que se generó el gráfico de la Figura 27, presenta un precio del ACPM en Enero de 2003 igual a CO\$ 2504,95 alcanzando un precio igual a CO\$8148,18 en Octubre de 2013. Siendo, de esta manera, el incremento igual a CO\$ 5643,23 en un período igual a diez años. Al igual que en el caso antes mencionado, este incremento puede variar entre una u otra región, de acuerdo al distribuidor.

9.2.2.1.1 Coste incremental de funcionamiento.

El uso de moto-generadores diesel define un consumo promedio diario. De acuerdo al nivel de carga el consumo se reflejará en el coste de funcionamiento, sabiendo que sólo se tendrá en cuenta la carga que representa la luminaria. Es de esta manera que el inciso actual define los costos de funcionamiento que, en tiempo, representará un generador. Incluyendo los deltas de incremento que, por políticas gubernamentales, generen una variación del coste por unidad de galón.

Contraste ante Sistemas Fotovoltaicos: Las diferencias entre el sistema convencional y los Sistemas Fotovoltaicos se enmarca en los costes de funcionamiento y los de mantenimiento. Un sistema convencional presenta un coste de funcionamiento que supera, en buena medida, los costes de funcionamiento de los Sistemas Fotovoltaicos. Teniendo, estos últimos, costes de funcionamiento nulos y costes de mantenimiento muy mínimos.

²³ Fuente: Gráfico elaborado con información extraída del website UPME; http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=3&ind=9

Tabla 12: Precio promedio entre los años 2011 y 2013.

Fecha	Precio Promedio Mensual ACPM - Bogotá	Incremento con respecto al mes previo	Incremento Trimestral
2011-01-11	6.959,97	67,43	304,50
2011-02-14	6.878,39	-81,58	
2011-03-14	7.081,49	203,10	
2011-04-14	7.264,47	182,98	62,74
2011-05-16	7.271,27	6,80	
2011-06-15	7.338,62	67,35	
2011-07-15	7.327,21	-11,41	188,53
2011-08-16	7.436,49	109,28	
2011-09-15	7.455,48	18,99	
2011-10-18	7.515,74	60,26	347,82
2011-11-15	7.661,52	145,78	
2011-12-15	7.774,32	112,80	
2012-01-16	7.863,56	89,24	190,91
2012-02-15	7.942,21	78,65	
2012-03-15	7.790,66	-151,55	
2012-04-16	8.054,47	263,81	-173,38
2012-05-15	8.055,74	1,27	
2012-06-15	7.956,80	-98,94	
2012-07-16	7.881,09	-75,71	255,09
2012-08-15	7.962,36	81,27	
2012-09-17	8.006,76	44,40	
2012-10-16	8.136,18	129,42	-79,50
2012-11-15	8.118,54	-17,64	
2012-12-17	8.085,85	-32,69	
2013-01-15	8.056,68	-29,17	-7,47
2013-04-15	8.167,41	110,73	
2013-05-15	8.042,53	-124,88	
2013-06-17	8.049,21	6,68	134,97
2013-07-15	8.181,29	132,08	
2013-08-15	8.184,26	2,97	
2013-09-16	8.184,18	-0,08	

Fuente. Elaboración propia con información de las bases de datos del UPME.

Siendo, en ese orden de ideas, los sistemas convencionales un método de generación que requiere de periódicas revisiones (cambios de aceite, filtros, otros) y alimentación diaria con combustibles.

Las diferentes empresas del sector industrial ofrecen servicios de alquiler de generadores con combustible Diesel. Dentro de información que ofrece Colombia Energy se ha definido que, en promedio, dichos generadores requieren de doce galones diarios de consumo para generación eléctrica de iluminación (12gal/día).

Tabla 13: Estadístico descriptivo del incremento trimestral ACPM 2011-2013.

Estadístico descriptivo Incremento Trimestral Coste ACPM 2011-2013	
Media	129,172
Error típico	34,7792769
Mediana	129,295
Moda	#N/A
Desviación estándar	109,98173
Varianza de la muestra	12095,981
Curtosis	-0,35660364
Coefficiente de asimetría	0,20787316
Rango	362,16
Mínimo	-43,32
Máximo	318,84
Suma	1291,72
Cuenta	10
Nivel de confianza (95,0%)	78,6761903

Fuente: Elaboración propia con los datos de la Tabla 12.

Acerca del Estadístico descriptivo del incremento trimestral ACPM 2011-2013: El estadístico presentado en la Tabla 13, establece el comportamiento de la variación del precio del coste del ACPM, observado en la Figura 27, siendo el período observado la última década. El estadístico descriptivo determina el comportamiento frente a una distribución gaussiana de los datos ingresados. La media, indica el incremento o descenso del precio. Siendo, en este caso puntual, positivo.

La desviación estándar revela un incremento periódico, conjunto al valor de la media. Frente a este peculiar valor, se sustrae que los incrementos en los períodos son normalizados frente al valor de la media, sin que se presenten incrementos significativos. Siendo la tendencia incremental predominantemente.

El coeficiente de Asimetría, así como el de Curtosis, corresponden a los parámetros que permiten determinar un comportamiento lineal de los datos analizados (Incremento trimestral ACPM 2011-2013). El parámetro de aceptación del estadístico descriptivo frente a estos coeficientes, es que los mismos deben

estar en el rango [-2:2]. De no ser así, deben depurarse los datos, específicamente los valores máximos y mínimos extremos.

Ejemplo.

Así por ejemplo, el coste de funcionamiento de un generador Diesel en un periodo de cinco años se define de acuerdo a la siguiente aproximación:

⇒ Se cuenta con un generador diesel estándar, el cual, para consumo energético en iluminación presenta un consumo igual a 12gal/día. Determínese el consumo y coste anual que refleja la generación para iluminación. Considerar un funcionamiento continuo del generador.

Solución: Dada la continuidad de funcionamiento el generador mensualmente consumiría:

$$\text{Consumo mensual} = 12 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \times 30 \text{ días} = 360 \text{ gal/mes}$$

$$\text{Consumo anual} = 12 \times 360 = \frac{4320 \text{ gal}}{\text{año}}$$

Luego, el coste de funcionamiento estimado es igual a:

$$\text{Coste anual} = (\text{Costo ACPM} + \text{Incr. anual estimado}) \times \text{Consumo anual promedio}$$

$$\text{Coste anual} = [\$8148,18 + (\$129,17 \times 4)] \times 4320 \text{ gal/mes}$$

$$\text{Coste anual} = \$ 37'432.195,2^*$$

* El coste estimado, no incluye los costos de transporte, mantenimiento periódico del generador diesel (cambios de filtros, aceite, otros), ni el coste de la luminaria con poste.

Tabla 14: Resumen proyección coste de funcionamiento 1 y 10 años.

Combustible	Consumo/día (gal)	Incremento trimestral ²⁴	Coste anual (\$)	Coste en diez años (\$)
ACPM	12	\$129,17	37' 432.195,2	370' 432.195,2

Fuente: Elaboración propia.

A manera de conclusión: Dentro de los parámetros que resultan necesarios en un estudio de factibilidad de un producto es, sin lugar a dudas, la proyección en tiempo. Contemplando en forma pormenorizada aspectos funcionales y adyacentes que impliquen un coste de funcionamiento y, eventualmente, prevengan fallos de dicha naturaleza.

²⁴ El incremento trimestral contemplado se extrae de la Tabla 13.

Es en este orden de ideas que, pese a que resulte evidente, un sistema convencional de generación con ACPM rebasa los aspectos defectivos dentro de un contraste de factibilidad económica y la industria suele desconocer tan importante factor. Esto, referido en otras palabras significa, que además de tener un costo por alquiler o adquisición elevado, el coste de funcionamiento de un generador diesel para iluminación, en tiempo presenta:

- ↓ Altos costes de funcionamiento,
- ↓ Costes por mantenimientos periódicos con cambio de partes o insumos.
- ↓ Costes por transporte del combustible de funcionamiento.
- ↓ Costes por tendido de cableado.

Enmarcando el funcionamiento de un generador diesel en una alternativa nada factible económicamente, ante los factores antes expuestos.

9.2.2.2 Fuentes convencionales: Hidrogeneración

Dentro de la definición de sector industrial se han definido subsectores o clasificaciones de la industria. Siendo ejemplo de subsectores, la industria de alimentos, la industria petrolera, la industria minera, etc. De manera adjunta, dichas industrias suelen localizarse, geográficamente, en sectores definidos que les permite estar, o no, conectados a la red de transmisión eléctrica convencional. Luego, definiremos dos clases de sectores para las industrias:

- **Sectores Industriales con conexión a la red:** Correspondientes a las áreas localizadas en regiones cercanas a sectores industriales, urbanos o con acceso a la red de distribución.
- **Sectores Industriales sin conexión a la red:** Correspondientes a las áreas localizadas en regiones distantes de sectores urbanos, industriales o rurales que carecen de conexión a la red y las que, dada la distancia, no dispondrían de red de media o baja tensión para adquirir el suministro de energía eléctrica.

De este modo, en este inciso se definirán los costes en tiempo de funcionamiento de luminaria en sectores industriales con conexión a la red.

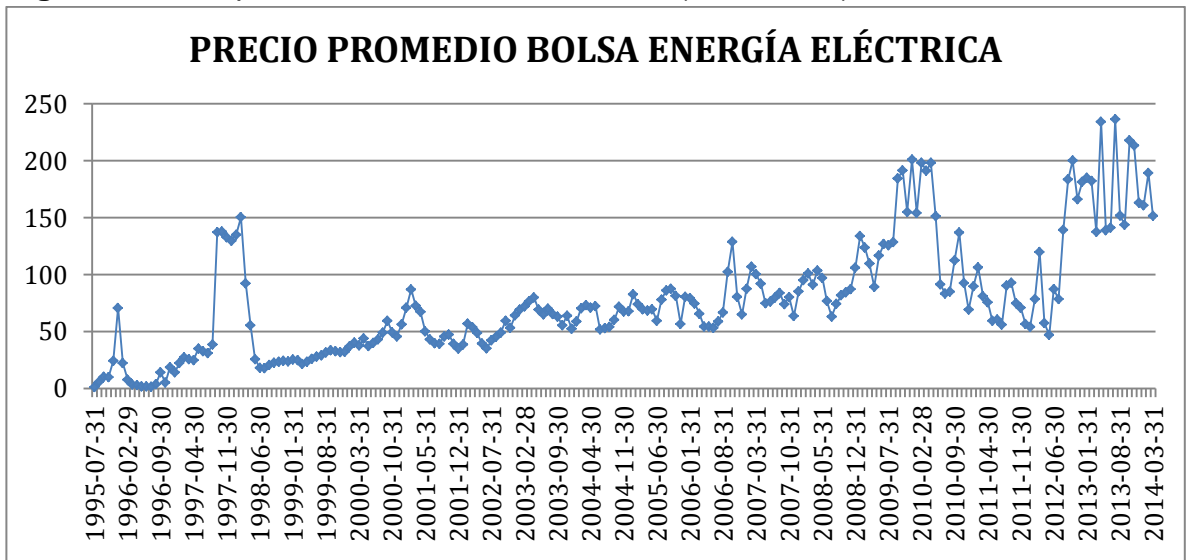
9.2.2.2.1 Coste incremental de funcionamiento.

El funcionamiento de la luminaria dentro de la ubicación geo-astronómica de Colombia establece, en promedio, un funcionamiento de doce horas (12h). Por ende, un consumo promedio diario expresado en términos de este período de funcionamiento así: $Consumo\ diario = P * 12h = 12.P[Wh]$, siendo P la potencia de consumo de la luminaria.

Para observar, en tiempo, el coste incremental que presenta una luminaria que funciona con energía de la red eléctrica convencional, se tendrá en cuenta las horas de funcionamiento promedio y el coste por vatio-hora (Wh). Así por ejemplo, para una luminaria de 70W, se tendría un consumo diario de 840Wh. Equivalente a 25,2kWh en el mes, aproximadamente.

Teniendo en cuenta el más reciente valor reportado en la base de datos del sitio web del UPME. (Ver ANEXO B) y de acuerdo con la media extraída del estadístico descriptivo, el costo mensual que representa dicho consumo es igual a \$ 3'819.816,81. Lo anterior, sin contemplar incremento o proyección en tiempo.

Figura 28: Comportamiento del costo del kWh-(1995-2014).



Fuente: Elaboración propia con información Bases de datos Sistema de Información minero energético colombiano, (UPME, 2014). Ver ANEXO B

Tabla 15: Estadístico descriptivo de la variación trimestral del precio promedio bolsa energía- Última década.

Estadístico descriptivo de la variación trimestral del valor promedio	
Media	-4,66311111
Error típico	6,08710735
Mediana	-4,19
Moda	#N/A
Desviación estándar	40,8335574
Varianza de la muestra	1667,37941
Curtosis	1,19592366
Coefficiente de asimetría	-0,2583128
Rango	211,73
Mínimo	-106,7
Máximo	105,03
Suma	-209,84
Cuenta	45

Fuente: Propia, elaborado con datos bases datos del UPME

Acerca del Estadístico descriptivo de la bolsa de energía: El estadístico presentado en la Tabla 15, establece el comportamiento de la variación del precio de la bolsa de energía eléctrica observado en la Figura 28. Siendo el período observado, la última década. El estadístico descriptivo determina el comportamiento frente a una distribución gaussiana de los datos ingresados. La media, indica el incremento o descenso del precio. Siendo, en este caso puntual, negativo.

La desviación estándar revela significativas variaciones, pese al valor de la media. Frente a este peculiar valor, se sustrae que hay períodos en los que se han presentado incrementos significativos y repetitivos.

El coeficiente de Asimetría, así como el de Curtosis, corresponden a los parámetros que permiten determinar un comportamiento lineal de los datos analizados (variación trimestral del precio de la energía en la bolsa- última década). El parámetro de aceptación del estadístico descriptivo frente a estos coeficientes, es que los mismos deben estar en el rango $[-2:2]$. De no ser así, deben depurarse los datos, específicamente los valores máximos.

9.3 DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD AMBIENTAL

Tras definir los aspectos prácticos, técnicos, y económicos de la factibilidad, sólo resta definir el aspecto ambiental. Componente de significativa importancia, específicamente por las afectaciones ambientales y de salud que puedan generar los desechos de los sistemas de iluminación en estudio. Siendo un ejemplo actual, los desechos producidos por las bombillas ahorradoras, en especial las de tipo compacta, que representan una fuente de contaminantes por mercurio. Sin embargo, el enfoque está orientado a las bombillas de uso exterior y los desechos que anualmente son arrojados o reciclados.

Dentro del presente inciso, se contemplarán los componentes de afectación ambiental que surtan de las luminarias en estudio, bloque a bloque, y se presentarán las falencias o soluciones que frente a las mismas se presentan actualmente y que, definen las posibles consecuencias a obtener en un futuro cercano.

9.3.1 Factores de factibilidad ambiental.

9.3.1.1 Reciclaje

Luminarias convencionales frente a LED.

Frente a la composición material de los sistemas de iluminación fotovoltaica y la capacidad de re-uso o reciclado de los componentes, materiales y metales que componen los mismos se encuentra un horizonte promisorio. Así por ejemplo para las luminarias LED se ha definido que resulta rentable la extracción y re-uso de los componentes inmersos en las mismas.

De acuerdo con (Gupta, 2007), artículo citado en (Greenpeace, 2008) se afirma que el Galio (uno de los principales componentes de los semiconductores LED) suele estar presente en concentraciones similares tanto en desechos electrónicos y cenizas (de industrias de carbón y fosfatos) como en fuentes naturales. Por ello el reciclado puede resultar comercialmente atractivo.

Sin embargo, frente a las luminarias de vapor de mercurio (Hg), sodio de alta (HPS) ²⁵ y baja presión (LPS) ²⁶ las condiciones no son nada favorables ambientalmente. La Tabla 16 presenta algunos de los metales en estado gaseoso

²⁵ Abreviatura de la sigla en inglés (High Presion Sodio).

²⁶ Abreviatura de la sigla en inglés (Low Presion Sodio).

que suelen contener las luminarias de vapor de mercurio, que circulan en el mercado en grandes cantidades y sin los controles necesarios para la correcta disposición, tras su periodo de funcionamiento útil.

Tabla 16: Principales constituyentes inorgánicos, de lámparas de vapor de mercurio.

Constituyentes inorgánicos principales	Resultados (mg/MTRA)	Resultados (mg/kg)	Concentraciones Máximas Permisibles (mg/kg)
Arsénico	2.627	5.027	5.0
Cadmio	0.627	1.20	1.0
Mercurio	39.58	75.74	0.2
Plomo	16.819	32.183	5.0

Fuente: Citado en (SEDEMA, 2002), análisis CRETIB de una lámpara de vapor de mercurio, realizado por Desarrollo Ecológico Industrial para Ericsson Telecom.

En México, durante el año 2002, la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), inició un estudio para determinar la escala de afectación ambiental, producto del desecho de lámparas de uso interior, con reveladores resultados que ofrecen un panorama preocupante al respecto.

Cuando los tubos de lámparas fluorescentes se rompen, liberan de su interior vapores de mercurio mezclados con argón, altamente tóxicos que afectan peligrosamente a la salud humana y al ambiente; con la posibilidad de contaminación de los cuerpos de agua, superficial y subterránea (infiltración de lixiviados), del suelo, aire y seres vivos. Los elementos más frecuentes de contaminación de suelos provocados por la mala disposición final de los residuos de lámparas fluorescentes, son los metales como el mercurio, zinc, níquel, cadmio, plomo y manganeso. (SEDEMA, 2002)

Las concentraciones enseñadas en la Tabla 16 según lo citado en (SEDEMA, 2002), rebasan hasta en 350% los límites permisibles conforme a la NOM-052-ECOL-1993, normativa local que regula las concentraciones a emplear en los dispositivos.

Localmente, frente a las medidas sanitarias y ambientales de reciclaje de este tipo de luminarias, parece haber desconocimiento y enajenamiento o, en el mejor de los casos, se encuentran en la etapa de estudio. Lo anterior, aún a pesar de las serias advertencias de estudios realizados en diferentes organizaciones y naciones. Según (UN, 2008), la tasa de importaciones realizadas en el país en luminarias de diferentes usos, para el período comprendido entre junio de 2006 y

junio de 2007, representó un total de 11'532.502 unidades. Siendo, el 5,8% de uso exterior. Como se puede observar en la Tabla 17.

Tabla 17: Cantidad de bombillas importadas por tecnología [Junio 2006-2007].

Tecnología	Cantidad	Valor en dólares (US\$)
Incandescente	2'216.252	250.000
Fluorescente	8'644.586	10'128.932
Exterior	671.674	3'350.000
Total	11'532.502	13'728.932

Fuente: Tabla elaborada con datos extraídos de (UN, 2008) p3.

Considerando la concentración máxima permitida de cada componente inorgánico por lámpara (indicados en la Tabla 16), junto a la cantidad de lámparas importadas durante junio de 2006 y 2007, se obtendrían en promedio las siguientes cantidades vertidas al medio ambiente posterior a un período no mayor a 3 años condensados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Estimativo de los componentes orgánicos que liberaron al medio ambiente las lámparas importadas durante junio de 2006 y 2007.

Constituyentes inorgánicos principales	Cantidad de unidades lumínicas (Fluorescente+Exterior) ²⁷	Concentraciones Máximas Permisibles (mg/kg)	Cantidades vertidas al ambiente (kg/año)
Arsénico	9'316.260	5.0	46.58
Cadmio	9'316.260	1.0	9.32
Mercurio	9'316.260	4.5 ²⁸	41.92 ²⁹
Plomo	9'316.260	5.0	46.58

Fuente: Propia.

Pese a tratarse de un estimativo, por causa de la inexistencia de estudios profundos y controles estrictos a nivel nacional, la cantidad de componentes inorgánicos tóxicos que se liberan al medio ambiente en botaderos y lugares a cielo abierto, deja mucho que desear. Sin lugar a dudas, se requiere de políticas estatales que realicen un control y vigilancia.

²⁷ El acumulado discrimina entre las lámparas con contenido de mercurio y las que emplean otro componente inorgánico.

²⁸ Valor determinado de acuerdo con la Comisión europea (SCHER, 2010).p.15

²⁹ El estimado de vertimiento presentado, asume un contenido igual de Hg entre CFL lámparas de uso exterior. 2

Sistemas de generación AC frente a Baterías

En contraste entre ambos sistemas, indudablemente las baterías (o acumuladores) son el elemento de interés por su contenido. El plomo (Pb) es uno de los elementos predominantes en la fabricación de acumuladores, este a su vez es considerado tóxico, sin embargo no representa el mismo riesgo en todas las presentaciones que se encuentran en el mercado.

Al respecto el Ministerio de Medio Ambiente, durante el 2000 en un estudio presentado al International Lead Zinc Research Organization (ILZRO) (MMA, 2000) establece el ingreso estimado al país de acumuladores y el tratamiento con que se contaba, posterior a su uso.

“El mercado actual de baterías en Colombia presenta una oferta doméstica compuesta de 96.000 unidades nuevas y alrededor de 10.000 unidades reconstruidas por mes, para un total por año de 1.272.000 unidades. A este saldo pueden sumarse las importaciones netas de baterías nuevas que ascienden a 36.058 en el año 2000, para un total de 1.308.058 unidades ofertadas.” (MMA, 2000).

Frente al mismo reporte, se define el carácter de los desechos de acumuladores, acotando que las baterías usadas ácidas de plomo (o sus componentes) son consideradas un residuo peligroso en Colombia.

Alrededor del tratamiento post-funcionamiento o reacondicionamiento las condiciones son básicas y a nivel gubernamental no existen entidades que recauden y realicen el tratamiento idóneo.

“En Colombia no es usual que el reacondicionamiento de baterías como tal. Se presenta un aprovechamiento de baterías usadas en la reconstrucción a través de una gran cantidad de pequeños talleres, los cuales en términos generales funcionan de manera muy informal.” (MMA, 2000).

Sin embargo, la normativa del Ministerio del Medio Ambiente define responsabilidades frente a las empresas que distribuyen y las que compran. Siendo, ambas partes, responsables de la correcta disposición final y reaprovechamiento.

9.4 CONCLUSIONES ALREDEDOR DE LA FACTIBILIDAD AMBIENTAL

Ante lo que resulta una necesidad imperativa, el cuidado del medio ambiente, es sin lugar a dudas una política ambiental de carácter global que debe acatarse y, por ende, ejecutarse en torno a decisiones gubernamentales y de organizaciones privadas.

El presente estudio delimita los factores que, ante el ambiente, podrían resultar nocivos. Es en este orden de ideas, el empleo masivo de luminarias con contenidos inorgánicos tóxicos una fuerte amenaza en la salud humana y el ambiente. Localmente, las políticas y controles no ofrecen un seguimiento riguroso al ingreso de dicha clase de luminarias al país y el tratamiento de los desechos resultantes.

Por su parte, el uso masivo de acumuladores requiere de la coordinación empresa distribuidora y empresa que adquiere; para garantizar la correcta disposición de las baterías que frente a grandes bancos de baterías resulten.

En contraste, las condiciones de factibilidad de reciclaje y reacondicionamiento que ofrecen las baterías es mayor frente a las condiciones de factibilidad y comercialización que ofrecen los desechos de la luminaria con contenido de mercurio. Las instalaciones para el complejo proceso de recuperación del mercurio y otros componentes, es ampliamente costoso.

10. PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño comprende: Inicialmente, determinar los requerimientos de iluminación, de acuerdo con el estándar de iluminación y, por ende, certificar niveles de iluminancia, IRC entre otros.

Tras definir el nivel Iluminancias a garantizar, se establece la carga en potencia lumínica que viene asociada a dicho requerimiento. Posteriormente, se analizan las condiciones ambientales, contrastando con el Mapa de Radiación Solar de Colombia. El seguimiento estadístico multianual permitirá conocer las épocas de baja Irradiancia, valores que influirán en la capacidad de almacenamiento de las baterías.

A continuación, los dos resultados anteriores se computan con el número de horas de funcionamiento del Sistema de Iluminación en diseño. Al igual que el parámetro de irradiancia local, el número de horas influye linealmente en el número baterías o, específicamente, la capacidad en Amp/horas del banco de baterías.

Resulta indispensable definir un porcentaje de tolerancia para las condiciones ambientales no esperadas, razón por la cual la proyección se hace en exceso más no por defecto.

Hasta ahora, hay cuatro parámetros de requerimiento que influyen en el diseño y, por ende, resultan determinantes:

- ✓ Iluminancia a garantizar,
- ✓ Potencia del sistema de iluminación,
- ✓ Número de horas funcionamiento,
- ✓ Capacidad en Amperios-hora (Ah) de los módulos de almacenamiento.

Lo que sigue, es definir las características de los Módulos solares que alimentaran los módulos de almacenamiento, el banco de baterías. Aunque con similar ponderación a las etapas previas, esta resulta menos crítica. Aun así, es menester ofrecer todas las condiciones para el funcionamiento continuo del Sistema de Iluminación en el periodo de funcionamiento.

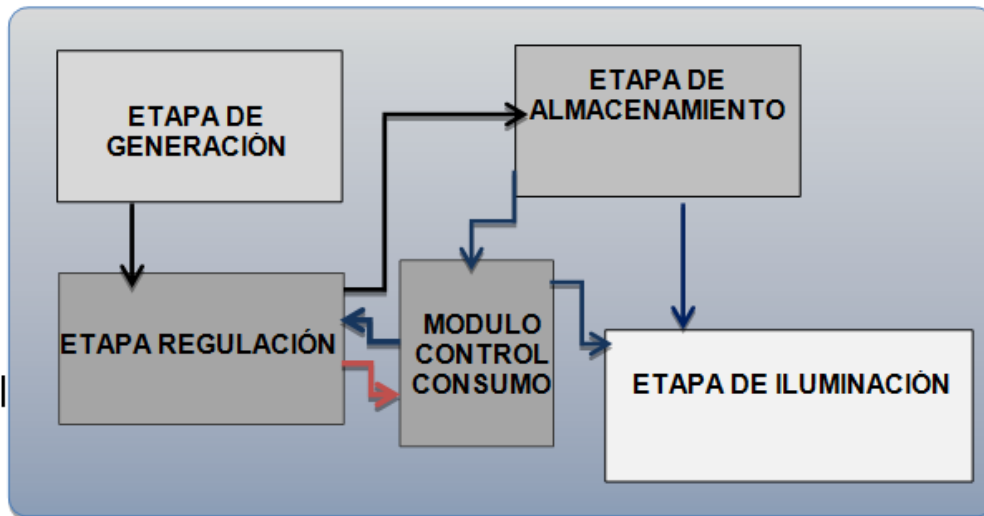


Figura 29: Esquema de caja blanca con el que se define el modelo de diseño.³⁰

El proceso, aún no termina. Las etapas posteriores corresponden a la regulación, método de supresión de gradientes por irradiación no uniforme sobre los módulos solares, circuito de interconexión en cascada, control de carga en conexión en cascada, control de profundidad de descarga en baterías, configuración del período de funcionamiento y la función de desconexión forzada para protección de las baterías.

Finalmente, se evalúa el producto final. Un sistema de iluminación autónomo, que ofrece una iluminación acorde a los requerimientos establecidos.

10.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO POR ETAPAS.

Los requerimientos de Iluminación para el prototipo a diseñar serán determinados de acuerdo a lo establecido en el REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO “RETIAP” contemplado en la Resolución 180540 de Marzo 30 del 2010 (MME, 2009), donde se establecen los objetos y aspectos técnicos y excepciones de aplicación de dicha norma para la iluminación y el alumbrado público.

Dado que las potencias de consumo en la luminaria proyectada a usar, superan el umbral de 10W establecido como parámetro de excepción, el diseño estará enmarcado dentro de dicho reglamento, considerando que los LED y los arreglos de LED a emplear son de potencias superiores.

³⁰ Esquemático de elaboración propia, tipo caja blanca. Elaborado con objeto ilustrativo.

10.1.1 Reconocimiento del sitio y objetos a iluminar.

El entorno de aplicación del prototipo a implementar, de acuerdo al objetivo del presente proyecto, se enmarca dentro de zona industrial.

Los sitios a iluminar corresponden a caminos de acceso peatonal, circulación de vehículos de mayor y menor carga, espacios de trabajo en campo abierto, áreas no clasificadas y áreas de trabajo con herramienta mecánica y equipos electromecánicos. Vías pavimentadas y sin pavimentar.

10.1.2 Requerimientos de iluminación generales

Dentro de los elementos contemplados por el RETILAP como objeto previo de diseño se contemplan las variables siguientes:

a) Demandas visuales. Están sujetas al entorno y cómo se contempla en el RETILAP, son una consecuencia de la realización de actividades y para determinarlas se debe evaluar la dificultad de las tareas en función de sus características y condiciones de realización incluso en condiciones difíciles y tiempos prolongados (MME, 2009). Son de especial importancia en iluminación interna y en autopistas (vías de alta velocidad). Sin embargo, el entorno contemplado en el diseño, son los sectores de infraestructura y vías industriales, motivo por el cual las vías de alta velocidad no están incluidas.

b) Demandas emocionales. Surgen por la influencia que la luz ejerce sobre el estado de ánimo, motivación, sensación de bienestar y seguridad de las personas (MME, 2009). Estrechamente relacionadas con el color y temperatura de la luz incidente, al igual que con el IRC.

c) Demandas estéticas. Se refieren a la posibilidad de crear ambientación visual, destacar la arquitectura, ornamentación, obras de arte, etc. Para esto hay que considerar las características físicas y arquitectónicas del ambiente así como del mobiliario y del entorno, la importancia y significado del espacio, etc (MME, 2009). Sin embargo, dentro de los objetivos contemplados, esta variable no determina un derrotero de importancia imperativa.

d) Demandas de seguridad. Se determina por una parte, en función de los dispositivos de iluminación para circulación de las personas en condiciones normales y de emergencia; y por otra como las características de las fuentes luminosas (MME, 2009).

En el apartado de diseño de iluminación exterior el (MME M. , 2009) refiere:

La seguridad se logra si el alumbrado permite a los usuarios que circulan a velocidad normal evitar un obstáculo cualquiera. La iluminación debe permitir, en particular, ver a tiempo los bordes, las aceras, separadores, encrucijadas, señalización visual y en general toda la geometría de la vía. Para este efecto, está establecido que el criterio de seguridad consiste en la visibilidad de un obstáculo fijo o móvil constituido por una superficie de 0,20 m x 0,20 m, con un factor de reflexión de 0,15 (p.118)

Convirtiéndose, una correcta iluminación, en un aspecto determinante dentro de la seguridad industrial.

e) Condiciones del espacio, están relacionadas con las características físicas tanto de las áreas a iluminar como su entorno. Aspectos tales como la existencia de pavimentación en vías, nivel de partículas en el aire circundante

f) Intereses En el diseño de iluminación se deben conocer los intereses de los posibles usuarios y diseñadores de interiores o mobiliario, por lo que se debe aprovechar la oportunidad de conocer e integrar sus opiniones, necesidades y preferencias respecto de las condiciones de iluminación (MME, 2009). De especial importancia en iluminación interna.

g) Variables económicas y energéticas, El análisis debe, no solo tener en cuenta los costos de instalación inicial sino también los de funcionamiento durante la vida útil del proyecto (MME, 2009). Motivo por el cual resulta necesario contemplar la implementación de un programa de mantenimiento periódico.

h) Restricciones. En el diseño se deben tener en cuenta las restricciones normativas o reglamentarias, por razones de seguridad, disposición de la infraestructura y ocupación del espacio, aspectos tales como la existencia de elementos estructurales, arquitectónicos, mobiliario, canalizaciones o equipos de otros servicios son restricciones que se deben tener en cuenta en el sistema de iluminación (MME, 2009).

10.1.2.1 Requisitos fotométricos de iluminación.

Dada las disposiciones específicas de luminancia para sitios con circulación de peatones o automotores, la normativa establece una serie de relaciones de proporcionalidad y tablas de clasificación de los sectores a iluminar, para acondicionamiento de iluminación de acuerdo a las condiciones y tipo de calzada, velocidad de circulación, paso de peatones, usos, altura de la luminaria, distancia

entre postes, ubicación, propósitos sencillo o doble, niveles de luminancia percibida y reflejada, entre otros aspectos determinantes.

Es de esta manera que para el diseño actual emplearemos los requerimientos establecidos en el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (MME M. , 2009), el cual refiere los requerimientos para zonas de circulación peatonal, automotores a menores o mayores velocidades. En la Tabla 18 se presentan los valores de aplicación general.

Tabla 18: Requisitos fotométricos mantenidos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada

Clase de iluminación	Zona de aplicación				
	Zona de aplicación			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia promedio Lprom (cd/m ²) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad U _o Mínimo	Incremento de umbral TI % Máximo inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U _l Mínimo	Relación de alrededores SR Mínimo
M1	2	0,4	10	0,5	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,5	0,5
M3	1,2	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,8	0,4	15	N.R	N.R
M5	0,6	0,4	15	N.R	N.R

Fuente: (MME M. , 2009)p.123

10.1.2.2 Iluminancia en un punto

De acuerdo con los parámetros de diseño antes mencionados, en este apartado se indicará el método para determinar la iluminancia en un punto y, por ende, el valor de iluminancia del diseño en curso para un punto dado.

Para determinar la iluminancia se han establecido diferentes métodos tales como el método europeo de los nueve puntos y el método del coeficiente de utilización. Para el diseño actual, se empleará la metodología establecida en el RETILAP.

La metodología parte de la fórmula dada para la Ley del coseno que aplicada a la geometría del sistema dada en la Figura 30 permite obtener un valor para la iluminancia horizontal en el punto. Donde hm es la altura de montaje de la luminaria, y es el ángulo de incidencia del haz de luz o candelas representado por

I_a en la dirección al punto P. El diseñador deberá obtener el valor de I_a a partir de la matriz de intensidades y la geometría del sistema.

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

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

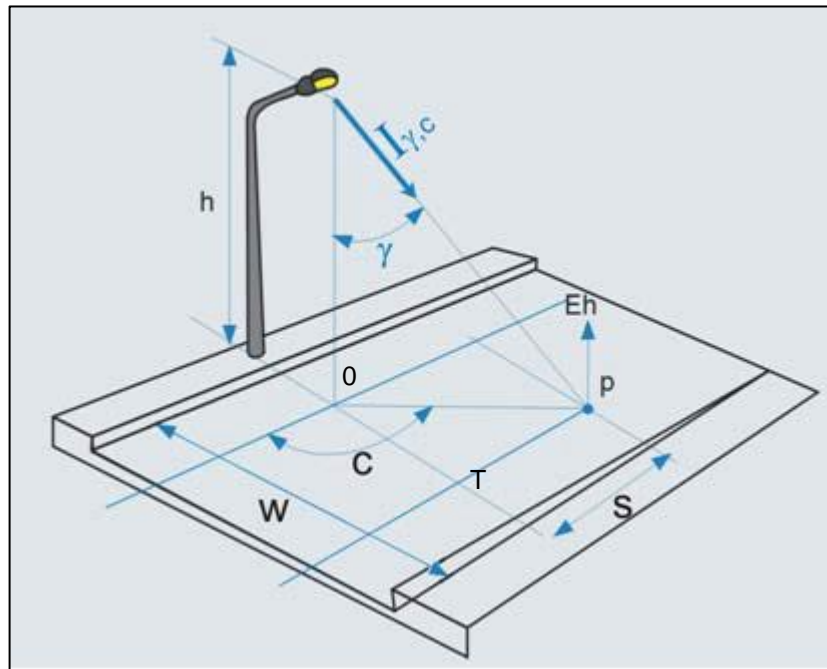


Figura 30: Iluminancia en un punto - Método del coseno
Fuente: (MME M. , 2009)p.137.

Para determinar la iluminancia en un punto p , se emplea la siguiente sumatoria:

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

Siendo $I_{\gamma,c}$ la Intensidad luminosa en dirección del punto P, determinada por los ángulos γ y C. γ , el ángulo vertical sobre el plano C, considerado. h_m , la altura del montaje de la luminaria y n el número de luminarias.

Sin embargo, como objeto ilustrativo del diseño actual, se contempla los siguientes parámetros:

Tabla 19: Parámetros fotométricos de diseño.

Iluminancia E_p	Altura h	Número de postes n
$20lm/m^2$	$7m$	1

Los valores de la Tabla 19, son elegidos de acuerdo con los requerimientos promedio indicados previamente y con objeto ilustrativo dentro del prototipo en curso.

Para determinar el ángulo γ , se empleará los datos de la Tabla 6 en la que se tabularon las iluminancias obtenidas de la lámpara LED puesta a prueba. Empleando las lecturas de iluminancia a una distancia igual a seis (6) metros, se observa que los valores registrados en las tres trazas de lectura son superiores al establecido en la Tabla 19. Luego, se elige los valores de desviación horizontal y vertical en la tercera traza, para determinar el ángulo buscado, pese a que la altura es menor. El ángulo se determina de acuerdo con la Figura 30 de la siguiente manera: $W = 1.2m$ $s = 1.35m$

Y considerando un triángulo rectángulo entre los puntos O-T-P, se determina la distancia entre O y el punto P.

$$D_{0-p} = \sqrt{(1.2)^2 + (1.35)^2} = 1.81m$$

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{D_{0-p}}{h_m}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1.81}{6}\right) = 16.75$$

De esta manera se determina la Intensidad luminosa en el punto P, para la lámpara del prototipo.

$$I_{\gamma,c} = \frac{E_p h_m^2}{\cos^3 \gamma} = \frac{(20lm/m^2)(7m)^2}{\cos^3(16.75)} = 1116.12 \frac{cd}{lm}$$

Sin embargo, cabe señalar que la luminaria final estará compuesta por un arreglo de lámparas, compuesto por un número determinado de unidades lumínicas (lámparas) como la empleada en la prueba (Ver Figura 20, Sección 8.2). De manera tal que se escalará el nivel de luminancia en un punto dado. Obteniéndose una mayor área efectiva.

10.1.3 Carga en potencia lumínica.

En esta fase, se establece la carga a alimentar. Para este caso en particular se dispone de un tipo específico de carga: Lámpara LED Matriz de 18 LEDs 20W. Luminaria que contempla los requerimientos del inciso anterior. Además, como parte del diseño, Colombia Energy ha establecido una matriz de 6 lámparas de 20W. Indudablemente, tratándose de prototipos se contemplan mejoras posteriores en la matriz y el tipo de lámparas. La tabla inferior, muestras las características de cada unidad de la matriz o arreglo.

Tabla 20: Características carga lumínica.

Tipo carga	Voltaje funcionamiento (V)	Potencia consumo	Eficiencia lumínica (lm/W)
LED (Array)	12	20W	90

Fuente: Elaborada con los datos técnicos ofrecidos por Colombia Energy

De acuerdo con el número de unidades de lámparas en la matriz establecidas en este caso, se tendría una Potencia nominal de carga igual a 120W.



Figura 31: (Izq.) Matriz de LED's de la lámpara a emplear. (Der.) Módulo de luminaria de 12V@ 20W (90 Lumen/W) ³¹

10.1.4 Condiciones ambientales y Niveles de Irradiancia.

Colombia Energy, como empresa promotora del presente estudio y proyecto determinaría el área geográfica de afectación del mismo dentro de los departamentos en que presta sus servicios. Regiones dentro de las cuales se acogerían ampliamente proyectos como el presente.

³¹ Luminaria LED desarrollada por Colombia Energy.

La región de afectación está compuesta por los departamentos de Huila, Meta, Casanare, Arauca y cercanos. De acuerdo con dicha área y el Mapa de Radiación Solar-Promedio Multianual se obtendría los niveles

Tabla 21: Niveles promedio multianual de radiación de las regiones en aplicación.

Departamento	Huila	Meta	Casanare	Arauca
Radiación Solar KWh/m²	4,0-5,5	4,0-5,5	4,0-5,5	4,0-6,0

Fuente: Elaboración propia con valores extraídos del Mapa de Radiación Solar Multianual IDEAM.

De acuerdo con los datos de la Tabla 11 y, para aspectos de diseño, se tomará el valor inferior de la Radiación solar encontrada en cada uno de los departamentos de interés. Siendo de esta manera 4kWh/m².

Este valor, en términos prácticos, significaría que con un panel de 12V y área efectiva igual a 1m², en condiciones ambientales promedio favorables, podría cargarse un sistema de almacenamiento de 333Ah.

10.1.5 Horas de funcionamiento

La aplicación específica que tendrá el Sistema fotovoltaico determinará el número de horas funcionamiento y, por ende, ello se correlaciona con el número de horas de irradiación solar en el día. Siendo esta última variable, independiente y resultante de la posición geo-astronómica del lugar.

Del número de horas luz día con radiación solar efectiva, dependerá la capacidad del módulo de almacenamiento. Así como del número de baterías que lo conforman.

De acuerdo con la posición astronómica de las regiones contempladas, ubicadas junto a la línea del ecuador, lo que en términos de luz día representaría un número de horas con radiación solar igual a doce, sin presentar variaciones significativas.

10.1.6 Capacidad nominal de los módulos de almacenamiento

Tras definidas las variables anteriores, resulta posible definir la capacidad nominal de los módulos. De acuerdo a esto, se tienen los siguientes parámetros:

- ✓ Doce horas (12h) luz día con una Irradiancia igual o superior a 4kWh/m²,³²
- ✓ Una carga lumínica de 120W, con una eficiencia lumínica de 90 lumen/W.
- ✓ Un tiempo de funcionamiento igual a 12 horas.

Luego,

$$\text{Consumo en funcionamiento} = (120W) * (12h) = 1440Wh = 1.44kWh^{33}$$

$$\checkmark \text{ Capacidad Mód. Almacenamiento} = \frac{1.44kWh}{12V} = \mathbf{120Ah}$$

Comercialmente, se encuentran diferentes marcas disponibles. Dentro de los cuales se destacan Poweer Safe y GNB Absolyte GP. Durante las pruebas se han empleado Power Safe, sin embargo, en este caso se empleara la marca GNB Absolyte GP, para el diseño del prototipo. El diseño contempla el uso de la referencia 6 50G05 Absolyte GP [Ver anexo], sin embargo, dada la disponibilidad de dos bancos de baterías 3 100G15 Absolyte GP [Ver anexo] se empleará este último en la implementación del prototipo.

Características Módulo de almacenamiento 6 50G05 GNB Adsolyte GP

Ref.	Voltaje nominal (V)	Capacidad Nominal C8 1.75 Vpc 25°C Ah	Long. (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso aprox. (Kg)
6 50G05	12	140	437	217	412	71.0

Fuente: Elaboración propia con valores de Absolyte – 6 50G05 datasheet, Exide Technologies.

Tabla 22: Características Módulo de almacenamiento 3 100G15 GNB Adsolyte GP

Ref.	Voltaje nominal (V)	Capacidad Nominal C8 1.75 Vpc 25°C Ah	Long. (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso aprox. (Kg)
3 100G15	6	696	563	218	670	170.0

Fuente: Elaboración propia con valores de Absolyte 3 100G15 datasheet, Exide Technologies

La referencia 6 50G05, ofrece una capacidad nominal superior a la calculada. La selección no obedece a una decisión arbitraria, se determina el uso de este módulo dado que posee una capacidad extra, en relación a la calculada. Además, es lo que se encuentra disponible en el mercado.

Es menester aclarar que en el diseño, resulta necesario tomar valores por exceso, con objeto de ofrecer un garante de funcionamiento ante condiciones adversas, tales como días nublados continuos.

³² Valor promedio por defecto extraído de la Tabla 21.

³³ Corresponde al consumo global del arreglo de unidades lumínicas.



Figura 32: (Izq.) Módulo Absolyte 6 50G05 **(Der.)** Dos Módulos Absolyte 3 100G15
 Fuente: Absolyte – 350G05 datasheet, Exide Technologies.

10.1.7 Determinación de la potencia de módulos solares

Al igual que la determinación de los Módulos de almacenamiento, la determinación y selección de los Módulos Solares, resultan de vital importancia. Una correcta determinación garantiza full carga de los módulos de almacenamiento, un período menor de carga de los mismos y, en las peores de las condiciones, lograr brindar la carga mínima requerida para garantizar una continuidad de funcionamiento y evitar profundidades de descarga significativas en los módulos de almacenamiento.

Tabla 23: Factores determinantes en la selección del Módulo Fotovoltaico.

Factores	Ventajas	Garantiza
✓ Área y potencia de generación del panel fotovoltaico.	Máximo aprovechamiento del nivel de irradiación con mayor generación de corriente de carga.	Full carga
	Generación eficiente.	Reducción del tiempo de carga.
	Niveles de carga superiores.	Funcionamiento continuo sin cortes.
	Evitar profundidades de descarga en los módulos de almacenamiento.	Máximo aprovechamiento del tiempo de vida de los módulos de almacenamiento.
	Máximo aprovechamiento del nivel de irradiación	Carga suficiente ante condiciones adversas del clima.

Fuente: Elaboración propia

10.2 DISEÑO DEL POSTE.

Esta etapa, aunque necesaria para la implementación, no es un objetivo contemplado dentro del alcance del presente diseño. Sin embargo, se incluirán aspectos que, dentro de la norma, se suelen emplear para los postes usados en este tipo de luminaria.

10.2.1 Parámetros de diseño de postes metálicos para alumbrado público

Nacionalmente la normativa que regula los parámetros de diseño e instalación de postes (de todos los materiales) corresponde al RETILAP.

La misma data dentro de los aspectos a tener en cuenta dentro del diseño:

- Los postes deberán permitir el montaje de luminarias doble y sencillo, y ser de doble propósito, especialmente diseñados para alumbrado público peatonal, plazuelas y parques. (MME, 2009)
- Las láminas, platinas y elementos roscados se deben galvanizar en caliente, deben cumplir con normas NTC, normas internacionales o de reconocimiento internacional, siendo clase B-2 para láminas y platinas, y clase C para elementos roscados según Norma NTC 2076. (MME, 2009)

Parámetros de diseño en Postes y brazos metálicos.

ELEMENTO	PROMEDIO		MÍNIMO	
	gr/m ²	µm	gr/m ²	µm
Platinas y láminas	458	65,4	381	54,4
Elementos roscados	397	56,6	336	48

Fuente: (MME, 2009), Requisitos de galvanizado para láminas, platinas y elementos roscados, (p.75)

Características mecánicas mínimas para láminas, tubos y platinas de acero

ITEM	VALOR
Presión del viento	60 km/m ²
Carga de rotura	150Kg
Límite mínimo de fluencia del acero	18,4 kg/mm ² (180 MN/m ²)
Resistencia a la tracción	34,7 kg/mm ² (340 MN/m ²)
Elongación	30% en 50 mm (2 pulgadas)

Fuente: (MME, 2009), Requisitos de galvanizado para láminas, platinas y elementos roscados, (p.75)

10.2.1.1 Modelo Estructural

El modelo estructural propuesto, consiste en un poste metálico estándar con un apoyo longitudinal en la parte superior, en el que se apoya el arreglo de luminarias. En la parte superior, un marco con una leve inclinación en la orientación que permite la instalación del panel solar. En la base se realiza la adecuación, fundición de concreto con cajilla para instalación de caja de cableado. De igual manera en la parte superior cuenta con una cajilla de cableado para conexión de cableado.



Figura 33: Arreglo de unidades lumínicas para el sistema de alumbrado diseñado.
(Fuente: Propia.)

CONCLUSIONES

- ✓ Dentro de las pruebas realizadas, es menester contemplar la ventaja que representa la posición geo-astronómica de Colombia, contando con rayos incidentes perpendiculares y cantidad de horas luz solar no variables durante todo el año. Indudablemente, ello permite establecer un modelo práctico de montaje. Además del desarrollo de diseños en los que los módulos de almacenamiento cuenten con una profundidad de descarga menor, y ciclos de carga-descarga regulares. Lo que en términos de factibilidad se manifiestan en un mayor aprovechamiento del ciclo de vida útil de las baterías y, por ende, un coste menor a largo plazo. Incrementando la factibilidad económica del proyecto.
- ✓ Las pruebas de contraste de luminarias realizadas, teniendo como patrón de referencia la eficiencia lumínica de las lámparas, permitieron establecer que ante niveles de potencia menores en luminaria LED, se puede obtener rendimientos similares a los obtenidos en luminarias convencionales de mayor potencia. Siendo lo anterior, argumento base para afirmar que las luminarias LED presentan mayor eficiencia en funcionamiento y, por ende, menor costo de funcionamiento obteniendo mejores o equivalentes niveles de iluminancia en los espacios a iluminar. Además de que posibilitan su empleo con sistemas fotovoltaicos, dada la alta eficiencia y rendimiento energético que ello representa.
- ✓ Ante las relaciones de coste económico definidas en el contraste de ambos sistemas, se definieron costos de inicio en la luminaria en estudio que superan en menor medida las convencionales. Sin embargo, en el coste en tiempo, de funcionamiento y mantenimiento de las convencionales, el costo global en tiempo supera la luminaria LED en estudio. Haciendo de esta alternativa, una salida de amplia factibilidad económica.
- ✓ Frente a lo que parece un parámetro infranqueable, la variable ambiental se convierte en un parámetro de diseño no despreciable y se define como un requisito de carácter gubernamental y técnico reglamentario. Hecho que ante el presente estudio se comprueba, sin embargo, es aún temprano para esperar resultados de aplicación efectiva de toda la normativa. Siendo el caso de las luminarias convencionales de alumbrado público, un ejemplo que la carencia de controles. En este orden de ideas, lo anterior es un fuerte argumento para referir que dicha clase de lámparas son dispositivos con componentes tóxicos y de alta afectación medioambiental y humana.

RECOMENDACIONES

Aunque la finalidad del presente estudio-diseño buscaba determinar una relación de eficiencia y factibilidad entre los sistemas convencionales de iluminación, frente a la luminaria LED con sistemas fotovoltaicos para la empresa Colombia Energy, este determina las pautas a seguir dentro de un estudio de mayor profundidad que resultaría de gran utilidad continuar. Ante la continuación del mismo, se establecen las siguientes recomendaciones para la determinación de valores porcentuales o específicos que ofrezcan un panorama más claro de las ventajas del empleo de iluminación LED con sistemas fotovoltaicos:

- Frente al contraste de luminarias, proponer o determinar un patrón de lectura con el cual se efectúen contrastes frente a las lámparas de sodio de alta presión y vapor de mercurio. Definir las diferencias de patrones de irradiación, el efecto de deslumbramiento, el índice de reproducción cromática y temperatura de luz.
- Realizar pruebas específicas de los módulos de almacenamiento para determinar los efectos de continuas y profundas descargas. Determinar la relación del porcentaje de descarga frente al tiempo de vida del módulo de almacenamiento. Valores de umbral para garantizar un extenso tiempo de vida. Profundizar ante las nuevas tecnologías de almacenadores y establecer los efectos ambientales.
- En el eje ambiental, determinar las cantidades netas de desechos de mercurio y arsénico provenientes de las luminarias convencionales. Establecer los sitios de disposición y la existencia de afectaciones a la salud humana o animal, por efecto de los desechos resultantes.
- Efectuar un estudio que enmarque todos los sectores, enfatizando en un contraste entre la red de distribución AC y una red en cascada de postes con luminaria LED con sistemas fotovoltaicos. Con objeto de determinar todos los factores de factibilidad, desde la económica hasta la ambiental.

REFERENCIAS

1. America, S. (1873). *Curious Effect of Light on Selenium*.
2. CIE, C. I. (200). <http://www.cie.co.at>. Recuperado el 02 de Abril de 2014, de <http://www.cie.co.at/index.php/Technical+Committees>
3. COI, C. O. (2004). www.coit.es. Recuperado el 02 de 04 de 2014, de http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/libros03._parte_i._evolucion_tecnologica_de_la_television_498845aa.pdf
4. Current, M. (5 de Mayo de 2010). <http://www.avsgroups.org/>. Recuperado el 27 de Marzo de 2014, de http://www.avsgroups.org/jtg_pdfs/jtg2010_5current.pdf
5. D. M. Chapin, C. S. (Mayo de 1954). scitation.aip.org. Recuperado el Abril de 2014, de A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power: <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap/25/5/10.1063/1.1721711>
6. DICE, D. d. (2007). *Unidad de planeación minero energética*. Recuperado el Marzo de 2014, de http://www.upme.gov.co/Docs/Alumbrado_Publico.pdf
7. Einstein, A. (1905). *Sobre un punto de vista heurístico concerniente a la producción y transformación de la luz*. . Berna.
8. Greenpeace. (04 de 2008). <http://www.greenpeace.org/argentina/es>. Obtenido de <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2008/4/leds.pdf>
9. Gupta, B. M. (2007). *Extraction and recovery of Ga(III) from waste material using*. Recuperado el 04 de 2014, de <http://www.researchgate.net>: [http://www.researchgate.net/publication/233415548_Extraction_of_gallium\(III\)_from_hydrochloric_acid_by_Cyanex_923_and_Cyanex_925/file/9fcfd50a66935dee73.pdf](http://www.researchgate.net/publication/233415548_Extraction_of_gallium(III)_from_hydrochloric_acid_by_Cyanex_923_and_Cyanex_925/file/9fcfd50a66935dee73.pdf)
10. Hybrytec. (2013). www.hybrytec.com. Recuperado el Septiembre de 2013 , de <http://hybrytec.com/cmanager/uploads/Lamparas%20Solares%208%20metro.pdf>
11. ICNT, I. C. (1996). *Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación, Segunda actualización NTC 1307*. Bogota: Imprenta Nacional.
12. IDEAM, I. d. (2004). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogota: Imprenta Nacional.

13. Lay Portuondo , T., & Herrera Acosta, B. (2012). *Análisis técnico-económico de un sistema de iluminación para exteriores alimentado con energía fotovoltaica*. Recuperado el Septiembre de 2013, de Ecosolar, Revista Ecosolar:
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar35/HTML/articulo05N.htm>
14. Minian, I. (2010). *Portal de revistas científicas y arbitradas de la UNAM*. Recuperado el 2014, de
<http://www.ejournal.unam.mx/ecu/ecunam17/ECU001700603.pdf>
15. MMA, M. d.-C. (2000). <http://www.ilmc.org/about.html>. Recuperado el 10 de 04 de 2014, de
<http://www.ilmc.org/Basel%20Project/Colombia/Reports/Spanish/T%F3picos%20Macroecon%F3micos%20Colombia%20-%20Revisado%20MMA.doc>
16. MME, M. (2009). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público, Resolución No. 18 1331*. Bogota: Imprenta Nacional.
17. MME, M. d. (2001). *Ley 697* . Bogota: Imprenta nacional.
18. Perpiñan Lamigueiro, O. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Creative Commons.
19. RAE, R. A. (2001). *Real Academia Española, 22a Versión*. Recuperado el 02 de 04 de 2014, de <http://lema.rae.es/drae/?val=fotovoltaico>
20. SCHER, S. C. (2010). *Opinion on Mercury in Certain* . Brussels.
21. SEDEMA, S. d. (2002). <http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/>. Recuperado el 04 de 2014, de <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/06/lamparas.pdf>
22. UN, U. N. (2008). *Caracterización técnica de las bombillas para uso exterior comercializadas en Colombia*. Bogota: UPME.
23. UPME, U. d. (2014). *Sistema de información minero energético*. Recuperado el Marzo de 2014, de
http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=1&ind=4
24. Wikipedia. (3 de Marzo de 2014). <http://es.wikipedia.org>. Recuperado el 27 de Marzo de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico

Nota: Todos los enlaces han sido comprobados en [mayo](#) de 2014.

ANEXO A: Variación precio del ACPM (última década).

Precio Promedio Mensual ACPM - Bogotá		
Fecha	Unidad de Medida: Pesos	Variación triembral
2003-01-31	2.504,95	
2003-02-28	2.619,65	114,70
2003-03-31	2.677,38	57,73
2003-04-30	2.704,00	26,62
2003-05-31	2.750,76	46,76
2003-06-30	2.771,45	20,69
2003-07-31	2.809,40	37,95
2003-08-31	2.867,67	58,27
2003-09-30	2.914,36	46,69
2003-10-31	2.982,14	67,78
2003-11-30	3.033,62	51,48
2003-12-31	3.034,43	0,81
2004-01-31	3.065,00	30,57
2004-02-29	3.103,00	38,00
2004-03-31	3.184,00	81,00
2004-04-30	3.219,00	35,00
2004-05-31	3.219,00	0,00
2004-06-30	3.285,00	66,00
2004-07-31	3.291,00	6,00
2004-08-31	3.296,00	5,00
2004-09-30	3.348,00	52,00
2004-10-31	3.398,00	50,00
2004-11-30	3.477,00	79,00
2004-12-31	3.553,00	76,00
2005-01-31	3.635,00	82,00
2005-02-28	3.719,00	84,00
2005-03-31	3.745,00	26,00
2005-04-30	3.780,00	35,00
2005-05-31	3.813,00	33,00
2005-06-30	3.811,44	-1,56
2005-07-31	3.840,08	28,64
2005-08-31	3.871,95	31,87
2005-09-30	3.920,76	48,81
2005-10-31	3.944,82	24,06
2005-11-30	4.039,08	94,26
2005-12-31	4.091,08	52,00
2006-01-31	4.152,41	61,33
2006-02-28	4.192,41	40,00
2006-03-31	4.238,81	46,40
2006-04-30	4.288,03	49,22
2006-05-31	4.340,95	52,92
2006-06-30	4.507,32	166,37

2006-07-31	4.507,32	0,00
2006-08-31	4.604,54	97,22
2006-09-30	4.694,62	90,08
2006-10-31	4.761,33	66,71
2006-11-30	4.843,44	82,11
2006-12-31	4.895,69	52,25
2007-01-31	4.937,00	41,31
2007-02-28	4.958,47	21,47
2007-03-31	5.036,34	77,87
2007-04-30	5.079,15	42,81
2007-05-01	5.121,98	42,83
2007-05-31	5.156,95	34,97
2007-06-30	5.156,95	0,00
2007-07-31	5.279,83	122,88
2007-08-31	5.344,08	64,25
2007-09-30	5.355,44	11,36
2007-10-31	5.361,28	5,84
2007-11-30	5.430,02	68,74
2007-12-31	5.509,91	79,89
2008-01-31	5.610,85	100,94
2008-02-28	5.697,73	86,88
2008-03-31	5.610,85	-86,88
2008-04-30	5.874,20	263,35
2008-05-31	5.900,29	26,09
2008-06-30	5.913,20	12,91
2008-07-31	5.993,20	80,00
2008-08-31	6.124,15	130,95
2008-09-30	6.228,67	104,52
2008-10-31	6.290,57	61,90
2008-11-30	6.307,45	16,88
2008-12-31	6.311,11	3,66
2009-01-31	6.036,93	-274,18
2009-02-28	6.308,20	271,27
2009-03-31	6.310,15	1,95
2009-04-30	6.301,52	-8,63
2009-05-31	5.665,00	-636,52
2009-06-30	5.905,86	240,86
2009-07-31	5.899,93	-5,93
2009-08-31	5.898,91	-1,02
2009-09-30	5.899,39	0,48
2009-10-31	5.895,98	-3,41
2009-11-30	5.896,81	0,83
2009-12-31	5.968,05	71,24
2010-01-31	6.064,89	96,84
2010-02-28	6.196,46	131,57
2010-03-05	6.195,18	-1,28
2010-04-05	6.312,22	117,04
2010-05-05	6.374,05	61,83

2010-06-04	6.381,28	7,23
2010-07-06	6.499,86	118,58
2010-08-05	6.512,95	13,09
2010-09-06	6.652,98	140,03
2010-10-07	6.693,03	40,05
2010-11-08	6.708,14	15,11
2010-12-09	6.892,54	184,40
2011-01-11	6.959,97	67,43
2011-02-14	6.878,39	-81,58
2011-03-14	7.081,49	203,10
2011-04-14	7.264,47	182,98
2011-05-16	7.271,27	6,80
2011-06-15	7.338,62	67,35
2011-07-15	7.327,21	-11,41
2011-08-16	7.436,49	109,28
2011-09-15	7.455,48	18,99
2011-10-18	7.515,74	60,26
2011-11-15	7.661,52	145,78
2011-12-15	7.774,32	112,80
2012-01-16	7.863,56	89,24
2012-02-15	7.942,21	78,65
2012-03-15	7.790,66	-151,55
2012-04-16	8.054,47	263,81
2012-05-15	8.055,74	1,27
2012-06-15	7.956,80	-98,94
2012-07-16	7.881,09	-75,71
2012-08-15	7.962,36	81,27
2012-09-17	8.006,76	44,40
2012-10-16	8.136,18	129,42
2012-11-15	8.118,54	-17,64
2012-12-17	8.085,85	-32,69
2013-01-15	8.056,68	-29,17
2013-04-15	8.167,41	110,73
2013-05-15	8.042,53	-124,88
2013-06-17	8.049,21	6,68
2013-07-15	8.181,29	132,08
2013-08-15	8.184,26	2,97
2013-09-16	8.184,18	-0,08

Fuente: Base de datos UPME. ³⁴

³⁴ Disponible en http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=1&ind=4

ANEXO B: Variación precio de la bolsa energía eléctrica.

Precio Promedio Bolsa Energía Eléctrica		
Mes	Valor (\$/kWh)	Variación trimestre
2003-01-31	69,22	
2003-02-28	72,01	
2003-03-31	76,59	7,37
2003-04-30	79,98	
2003-05-31	69,46	
2003-06-30	65,03	-14,95
2003-07-31	70,07	
2003-08-31	65,33	
2003-09-30	63,03	-7,04
2003-10-31	55,66	
2003-11-30	63,94	
2003-12-31	52,39	-3,27
2004-01-31	58,97	
2004-02-29	70,5	
2004-03-31	73,16	14,19
2004-04-30	70,97	
2004-05-31	72,53	
2004-06-30	51,94	-19,03
2004-07-31	53,07	
2004-08-31	54,23	
2004-09-30	60,34	7,27
2004-10-31	71,97	
2004-11-30	67,76	
2004-12-31	68,07	-3,9
2005-01-31	82,9	
2005-02-28	74,06	
2005-03-31	69,61	-13,29
2005-04-30	68,6	
2005-05-31	69,56	
2005-06-30	59,51	-9,09
2005-07-31	77,92	
2005-08-31	86,22	
2005-09-30	87,67	9,75
2005-10-31	81,47	
2005-11-30	56,82	
2005-12-31	80,56	-0,91
2006-01-31	79,32	
2006-02-28	74,71	
2006-03-31	65,59	-13,73
2006-04-30	54,51	
2006-05-31	54,33	
2006-06-30	53,41	-1,1
2006-07-31	59,02	
2006-08-31	66,84	
2006-09-30	102,46	43,44
2006-10-31	128,8	
2006-11-30	80,58	

2006-12-31	64,99	-63,81
2007-01-31	87,71	
2007-02-28	107,05	
2007-03-31	100,47	12,76
2007-04-30	92,09	
2007-05-31	74,98	
2007-06-30	76,44	-15,65
2007-07-31	79,8	
2007-08-31	84,07	
2007-09-30	74	-5,8
2007-10-31	80,32	
2007-11-30	63,61	
2007-12-31	85,41	5,09
2008-01-31	95,32	
2008-02-29	101,22	
2008-03-31	91,13	-4,19
2008-04-30	103,75	
2008-05-31	97,27	
2008-06-30	76,88	-26,87
2008-07-31	63,23	
2008-08-31	74,34	
2008-09-30	81,88	18,65
2008-10-31	84,48	
2008-11-30	87,2	
2008-12-31	106,07	21,59
2009-01-31	133,97	
2009-02-28	123,76	
2009-03-31	109,71	-24,26
2009-04-30	89,42	
2009-05-31	116,79	
2009-06-30	126,8	37,38
2009-07-31	125,84	
2009-08-31	128,54	
2009-09-30	184,6	58,76
2009-10-31	191,53	
2009-11-30	155,03	
2009-12-31	201,09	9,56
2010-01-31	154,13	
2010-02-28	198,43	
2010-03-31	191,22	37,09
2010-04-30	198,16	
2010-05-31	151,34	
2010-06-30	91,46	-106,7
2010-07-31	83,37	
2010-08-31	85,13	
2010-09-30	112,5	29,13
2010-10-31	137,03	
2010-11-30	92,57	
2010-12-31	69,26	-67,77
2011-01-31	89,76	
2011-02-28	106,3	
2011-03-31	81,26	-8,5

2011-04-30	75,85	
2011-05-31	59,6	
2011-06-30	60,69	-15,16
2011-07-31	56,15	
2011-08-31	90,36	
2011-09-30	92,96	36,81
2011-10-31	74,91	
2011-11-30	70,94	
2011-12-31	56,59	-18,32
2012-01-31	54,22	
2012-02-29	78,48	
2012-03-31	119,82	65,6
2012-04-30	57,5	
2012-05-31	47,02	
2012-06-30	87,4	29,9
2012-07-31	78,6	
2012-08-31	139,31	
2012-09-30	183,63	105,03
2012-10-31	200,21	
2012-11-30	166,34	
2012-12-31	181,39	-18,82
2013-01-31	185,01	
2013-02-28	182,18	
2013-03-31	137,72	-47,29
2013-04-30	234,25	
2013-05-31	139,08	
2013-06-30	141,3	-92,95
2013-07-31	236,47	
2013-08-31	151,87	
2013-09-30	143,89	-92,58
2013-10-31	217,96	
2013-11-30	213,5	
2013-12-31	163,13	-54,83
2014-01-31	160,98	
2014-02-28	189,38	
2014-03-31	151,58	-9,4

Fuente: Base de datos UPME. ³⁵

³⁵ Disponible en
http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=1&ind=4

ANEXO C: Imágenes de la implementación



Arreglo de luminarias para el prototipo de prueba



Algunas de las lecturas realizadas (durante tarde nublada).



Poste y luminaria, instalado en la sede de Colombia Energy con objeto de prueba (previo al izado).



Poste izado y sujetado, para la elaboración del dado y cajilla de la base.



Poste en funcionamiento, (finales de la tarde)