

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**USO DE TECNOLOGÍA LED CON ENERGÍA ALTERNATIVA
PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA
CIUDAD DE CARACAS
CASO DE ESTUDIO: CORPOELEC – ZONA CAPITAL**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Vásquez R., Aymara C.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**USO DE TECNOLOGÍA LED CON ENERGÍA ALTERNATIVA
PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA
CIUDAD DE CARACAS
CASO DE ESTUDIO: CORPOELEC – ZONA CAPITAL**

Profesor Guía: Ing. Julián Pérez
Tutor Industrial: Ing. Odelman Vivas

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Vásquez R., Aymara C.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2012

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 18 de junio de 2012

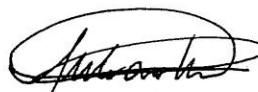
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Aymara C., Vásquez R., titulado:

“USO DE TECNOLOGÍA LED CON ENERGÍA ALTERNATIVA PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA CIUDAD DE CARACAS CASO DE ESTUDIO: CORPOELEC-ZONA CAPITAL”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención Industrial, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Nerio Ojeda
Jurado


Prof. Alexander Cepeda
Jurado


Prof. Julián Pérez
Prof. Guía

DEDICATORIA

A mis padres, las personas que más admiro en el mundo, por enseñarme a vivir la vida y luchar por lo que quiero, por abrir mi mente y mi mundo, por apoyarme y ayudarme en esta etapa de mi vida.

A mi hermano y a mi hermana, por estar siempre ahí para mí apoyándome.

A mis abuelos, que siempre han creído en mí y están ahí cuando los necesito.

A mis tíos, por ayudarme en las dificultades que he tenido a lo largo de mi carrera.

A mis amigos, por ser siempre tan incondicionales conmigo.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a mi tutor industrial, el Ing. Odelman Vivas y a mi profesor guía, el Prof. Julián Pérez, por toda su colaboración, amistad y numerosos consejos a lo largo de este trabajo.

Al Ingeniero Miguel Ereú y todo el equipo de Caracas Humana de CORPOELEC, por el apoyo que me prestaron en todo momento.

A Nataly Vicent y Geomar Rangel del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y Marihuska García del INAMEH, por toda la información proporcionada para el desarrollo de este trabajo.

A Alberto Mercado, por toda la ayuda que me ha prestado y por estar incondicionalmente para mí en todos los momentos en que lo necesité.

A Aleska Franco, a la cual considero como una hermana, por su compañía y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A todas las personas que de una u otra manera hicieron posible este trabajo.

Vásquez R., Aymara C.

**USO DE TECNOLOGÍA LED CON ENERGÍA ALTERNATIVA
PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO DE LA
CIUDAD DE CARACAS
CASO DE ESTUDIO: CORPOELEC – ZONA CAPITAL**

Profesor Guía: Prof. Julián Pérez. Tutor Industrial: Ing. Odelman Vivas. Tesis. Caracas. UCV. Facultad de Ingeniería . Escuela de Ingeniería Eléctrica . Ingeniero Electricista. Opción: Industrial. Institución: CORPOELEC. 2012. 106h + anexos.

Palabras Claves: Sistema de energía híbrido eólico - fotovoltaico; tecnología LED; uso eficiente de energía; alumbrado público.

Resumen. Se plantea un diseño de un sistema de alumbrado público utilizando lámparas con tecnología LED y alimentado por un sistema híbrido de energía alternativa (eólico - fotovoltaico) para ser utilizado en la autopista que comunica Ciudad Caribia con la autopista Caracas – La Guaira y en una plaza ubicada en la terraza C de Ciudad Caribia. Con la realización de ambos diseños se busca contrastar entre ellos las diferencias con respecto a los criterios de iluminación de cada tipo de zona y como afecta esto, el dimensionamiento de los equipos de alimentación del sistema. Por otro lado, se compara el sistema de alumbrado público alimentado de manera convencional (tomando energía de la red eléctrica) con el diseñado (utilizando energía alternativa). Con la investigación se determinó la factibilidad de la futura implementación del diseño de la plaza y lo poco ventajoso que es en estos momentos la implementación del diseño de la autopista en condiciones optimas, debido a que las altas exigencias de iluminación requiere un alto consumo de potencia, el cual incrementa los equipos a utilizar en la alimentación a través del sistema híbrido. Sin embargo, se propone un diseño para la autopista, en el cual es factible la implementación. Cabe destacar, que ambos diseños disminuyen el impacto ambiental y contribuyen con el desarrollo del país en materia energética.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	v
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
SIGLAS	xiv
ACRÓNIMOS	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1.2. Misión.....	2
1.3 Visión	3
1.4 Valores.....	3
CAPÍTULO II	5
2.1. Planteamiento del problema	5
2.2. Objetivos	7
2.3. Justificación y alcance.....	8
CAPÍTULO III	11
3.1. Fundamentos de la iluminación.....	11
3.1.1. Luz y color.....	11
3.1.2. Magnitudes y unidades luminosas.....	12
3.1.2.1. Flujo luminoso (Φ).....	12
3.1.2.2. Eficacia lumínica (η).....	12
3.1.2.3. Iluminancia (E).....	13
3.1.3. Deslumbramiento	13
3.1.4. Factor de mantenimiento	13
3.2. Energías Alternativas	14
3.2.1. Energía solar fotovoltaica.....	14

3.2.1.1. Módulos Fotovoltaicos:	18
3.2.1.2. Batería:	20
3.2.1.3. Regulador o controlador:	23
3.2.1.3.1. Regulador serie:.....	24
3.2.1.3.2. Regulador paralelo o shunt:.....	25
3.2.1.4. Inversor:.....	27
3.2.2. Energía Eólica	28
3.2.2.1. Energía obtenible del viento.....	29
3.2.2.2. Potencia obtenible del viento	30
3.2.2.3. Aerogenerador de baja potencia	31
3.3. Alumbrado Público.....	32
3.3.1. Luminarias.....	33
3.3.2. Lámparas	36
3.3.2.1. LED	36
3.3.2.1.1. Concepto.....	36
3.3.2.1.2. Evolución.....	36
3.3.2.1.3. Estructura.....	37
3.3.2.1.5. Características básicas.....	38
3.3.3. Estructuras de soporte:	39
3.3.4. Interruptores fotoeléctricos:	40
3.3.5. Equipos de control y de protección	40
3.3.6. Conductores de alimentación	40
3.4. Métodos de cálculo.....	41
3.5. Criterios de diseño en proyecto de Alumbrado Público:	42
3.6. Conceptos económicos [44]:	46
3.6.1. Tasa de inflación:	46
3.6.2. Interés real:	46
3.6.3. Anualidades:.....	47
CAPÍTULO IV	48
Marco Metodológico	48

4.1. Ubicación de la zona de estudio y recolección de los datos meteorológicos necesarios	49
4.1.1. Sistema solar.....	53
4.1.1.1. Radiación solar	54
4.1.1.2. Horas Solar Pico (HSP).....	54
4.1.1.3. Horas con luz solar	54
4.1.1.4. Días oscuros o sin Sol	55
4.1.2. Sistema eólico.....	56
4.1.2.1. Velocidad del viento.....	56
4.2. Caracterización de la carga y descripción de la demanda a suplir	57
4.2.1. Iluminación de una plaza.....	58
4.3. Análisis de los datos meteorológicos recopilados	65
4.4. Cuantificación de los recursos.....	67
4.5. Especificaciones y equipos a instalar	70
4.6. Dimensionamiento del sistema híbrido	70
4.6.1. Inversor.....	71
4.6.2. Sistema solar fotovoltaico	74
4.6.2.1. Cálculo del Número de Módulos o Paneles Solares:	74
4.6.3. Regulador	75
4.7. Elección del sistema de almacenamiento	76
4.7.1. Propuesta alternativa al diseño de la autopista	79
4.8. Estudio del impacto ambiental	81
4.9. Evaluación económica del proyecto.....	87
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
BIBLIOGRAFÍAS.....	104

LISTA DE TABLAS

Tabla # 1 : Clasificación de las vías de alumbrado público.....	42
Tabla # 2 : Niveles de iluminación en vías de tráfico automotor y peatonal	43
Tabla # 3 : Alturas de montaje recomendadas.	43
Tabla # 4 : Niveles de iluminación correspondientes a las alturas de montaje.....	44
Tabla # 5 : Relación entre la distancia inter-postal y la altura de montaje, dependiendo de los niveles de iluminación media en luxes.	44
Tabla # 6 : Arreglos recomendados según el ancho de la calzada.	45
Tabla # 7 : Recomendaciones Europeas para la disposición de las luminarias.	46
Tabla # 8 : Promedio Mensual de Radiación Solar sobre una superficie horizontal en la zona de estudio (kWh/m ² /d).....	54
Tabla # 9 : Promedio mensual de horas con luz solar en la zona de estudio (h).....	55
Tabla # 10 : Días oscuros o sin Sol anuales en la zona de estudio.	55
Tabla # 11 : Promedio mensual de la velocidad del viento en la zona de estudio (m/s) <i>Altura</i> 10 metros.....	56
Tabla # 12 : Requerimientos a cumplir para la factibilidad ambiental.	57
Tabla # 13 : Resumen de las condiciones climatológicas existentes en la zona de estudio.	57
Tabla # 14 : Tabla comparativa de varios fabricantes de luminarias tipo LED para el diseño de la plaza	59
Tabla # 15 : Comparación cuantitativa entre cada una de las opciones de luminarias.	60
Tabla # 16: Requerimientos de iluminación para el diseño de alumbrado de la plaza y de la autopista.....	65
Tabla # 17 : Arreglos de las baterías a utilizar para el diseño de la autopista según su capacidad.....	77
Tabla # 18: Cuadro resumen de las características óptimas del sistema.	78
Tabla # 19: Cantidad necesaria de cada uno de los equipos por punto de luz.	79

Tabla # 20: Cuadro resumen de las características optimizadas del sistema	80
Tabla # 21: Costo de cada uno de los equipos de energía alternativa a instalar en la plaza.	88
Tabla # 22: Costo de cada uno de los equipos de energía alternativa a instalar en la autopista.	89
Tabla # 23: Costo de cada uno de los equipos de energía alternativa a instalar en el diseño optimizado de la autopista.	89
Tabla # 24: Vida útil de cada uno de los equipos.	90
Tabla # 25: Tarifa de alumbrado público por consumo de energía.....	90
Tabla # 26: Costo anual de la energía convencional en la plaza.	91
Tabla # 27: Costo anual de la energía convencional en la autopista.	91
Tabla # 30: Relación beneficio – costo del proyecto de la plaza alimentado por energía alternativa en contraste de la energía convencional.	94
Tabla # 31: Relación beneficio – costo del proyecto de la autopista alimentado por energía alternativa en contraste de la energía convencional.	94
Tabla # 32: Relación beneficio – costo del proyecto optimizado de la autopista alimentado por energía alternativa en contraste de la energía convencional.	95

LISTA DE FIGURAS

Figura # 2: Representación gráfica de las horas solares pico.....	17
Figura # 3: Regulador serie.....	25
Figura # 4: Bucle de control.....	25
Figura # 5 : Regulador paralelo con bloque de control.....	26
Figura # 6 : Componentes de un LED.....	37
Figura # 7: Mapa solar de Venezuela.....	51
Figura # 9: Estaciones hidrometeorológicas ubicadas en Venezuela.....	53
Figura # 10 : Dimensiones del tramo recto de la autopista.....	63
Figura # 11 : Promedio Mensual de Radiación Solar sobre una superficie horizontal (kWh/m ² /d).....	66
Figura # 12 : Promedio mensual de horas con luz solar (h).....	66
Figura # 13 : Promedio mensual de la velocidad del viento para diferentes tipos de vegetación y superficies (m/s). <i>Altura</i> 10 m.....	66
Figura # 14: Ilustración del control de iluminación propuesto para ahorro de energía.....	80

SIGLAS

AC: Alternating Current.

CIE: International Commission on Illumination.

DC: Direct Current.

EDC: Electricidad de Caracas.

FV: Fotovoltaico.

HSP: Horas Solar Pico.

IEC: International Electrotechnical Commission.

ACRÓNIMOS

ANSI:	American National Standards Institute.
CORPOELEC:	Corporación Eléctrica Nacional.
COVENIN:	Comisión Venezolana de Normas Industriales.
FARE:	Fuentes Alternas Renovables de Energía.
INAMEH:	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
LED:	Light – Emitting Diode.
PDSEN:	Plan de Desarrollo del Servicio Eléctrico Nacional.
TEG:	Trabajo Especial de Grado.

INTRODUCCIÓN

El tema de este TEG es el diseño de un sistema de alumbrado público utilizando tecnología LED y alimentado por un sistema híbrido de energía alternativa (eólico - fotovoltaico) para ser utilizado en un sector del área metropolitana de Caracas.

En el capítulo I se presenta la información relevante de la compañía en la cual se realizó el TEG.

En el segundo capítulo se expone el planteamiento del problema, la justificación e importancia del proyecto, el objetivo general y los objetivos específicos del mismo.

Para la realización de los diseños se considerarán dos aspectos importantes como son los criterios de iluminación que exigen las normativas venezolanas para cada tipo de vía pública y los aspectos relacionados con el sistema de alimentación de los sistemas de alumbrado público con energía alternativa. Toda la información teórica y normativas correspondientes se encuentran detalladas en el tercer capítulo.

Teniendo los criterios de iluminación que se deben cumplir, se determinarán los datos hidrometeorológicos necesarios para dimensionar el sistema de alimentación (panel (es) y aerogenerador (es)) y teniendo esto se especificará cuál será el sistema de almacenamiento de la energía; tal como se observará tanto los cálculos como los datos necesarios en el cuarto y último capítulo. Finalmente se analizarán las ventajas y desventajas económicas y ambientales de los diseños propuestos y su posible factibilidad.

CAPÍTULO I

1.1. Reseña histórica de la empresa

El 31 de Julio de 2007 a través del Decreto de Ley N° 5.330, se ordena la creación de la Sociedad Anónima Corporación Eléctrica Nacional (S.A CORPOELEC), y a partir de este momento la EDC comienza a formar parte de esta empresa estratégica del Estado que reúne a todo el sector eléctrico a nivel nacional, con el fin de reorganizarlo para mejorar la calidad del servicio en todo el país.

En el Artículo 2° del documento se define a **CORPOELEC** como una empresa operadora estatal encargada de la realización de las actividades de Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización de potencia y energía eléctrica. Desde que se publicó el decreto de creación de CORPOELEC, todas las empresas del sector: EDELCA, La EDC, ENELVEN, ENELCO, ENELBAR, CADAFE, GENEVAPCA, ELEBOL, ELEVAL, SENECA, ENAGEN, CALEY, CALIFE Y TURBOVEN, trabajan en sinergia para atender el servicio y avanzar en el proceso de integración para garantizar y facilitar la transición armoniosa del sector.

1.2. Misión

CORPOELEC tiene como objetivo redistribuir las cargas de manera que cada empresa (CADAFE, ENELBAR, ENELVEN, CALIFE, La EDC, EDELCA, CVG, ENELCO, SENECA, ELEBOL, ELEGUA, ELEVAL, ENAGEN y CALEY) asuma el liderazgo en función de sus potencialidades y fortalezas. En la actualidad el proceso de reagrupación avanza para la conformación efectiva de equipos de gestión

bajo una gran corporación, aprovechando los valiosos recursos humanos, técnicos y administrativos existentes en cada región.

1.3 Visión

Empresa Eléctrica Socialista, adscrita al Ministerio del Poder Popular de Energía Eléctrica, es una institución que nace con la visión de reorganizar y unificar el sector eléctrico venezolano a fin de garantizar la prestación de un servicio eléctrico confiable, incluyente y con sentido social. Este proceso de integración permite fortalecer al sector eléctrico para brindar, al soberano, un servicio de calidad, confiable y eficiente; y dar respuestas, como Empresa Eléctrica Socialista, en todas las acciones de desarrollo que ejecuta e implanta el Gobierno Bolivariano.

Su visión es la de darse a conocer nacional e internacionalmente como líder innovador, proveedora de un servicio eléctrico de alta calidad.

1.4 Valores

- a) Respeto: Trato justo, digno y tolerante, valorando las ideas y acciones de las personas, en armonía con la comunidad, el ambiente y el cumplimiento de las normas, lineamientos y políticas de la Organización.
- b) Responsabilidad: Cumplir en forma oportuna, eficiente y con calidad los deberes y obligaciones, basados en las leyes, normas y procedimientos establecido, con lealtad, mística, ética y profesionalismo para el logro de los objetivos y metas planteadas.
- c) Humanismo: Valoración de la condición humana , en la convivencia solidaria, sensibilidad ante las dificultades, necesidades y carencias de los demás,

manifestada en acciones orientadas al desarrollo integral y al bienestar individual y colectivo.

- d) Compromiso: Disposición de los trabajadores y la organización para cumplir los acuerdos, metas, objetivos y lineamientos establecidos con constancia y convicción, apoyando el desarrollo integral de la Nación.

- e) Solidaridad: Actitud permanente y espontánea de apoyo y colaboración para contribuir a la solución de situaciones que afectan a los trabajadores y comunidades, para mejorar su calidad de vida.

CAPÍTULO II

2.1. Planteamiento del problema

Dentro de los diferentes objetivos que se plantean en el Proyecto Nacional Simón Bolívar 2007 - 2013, en su sección VI se proyecta a Venezuela como una potencia energética mundial, lo que parece ser una estrategia viable.

Sin embargo, se debe reflexionar y concientizar que, el petróleo es un recurso energético no renovable que no debemos malgastar, pues su disponibilidad en el tiempo no la podemos asegurar; y por más que nuestro país contenga innumerables derivados del oro negro, surge la necesidad de utilizar fuentes alternativas de energía.

Mayormente en Venezuela se explota la energía hidroeléctrica. Este tipo de energía es no contaminante. No obstante, al momento de la construcción de una central hidroeléctrica se produce cierto impacto ambiental, ya que se intervienen los bosques para el traslado de materiales y los cauces de los ríos para el desarrollo de dicha planta, lo que implica tala de árboles, destrucción de hábitats, desvío y modificaciones del curso de los ríos, migración de peces y de otras especies acuáticas, etc.

Otro de los aspectos claves se basa en propiciar el uso de fuentes de energías alternas, renovables y ambientalmente sostenibles, para incorporar estos recursos a la matriz energética nacional, como complemento a las redes principales.

Vivimos en un mundo que busca un constante desarrollo y que aunado a eso está hambriento de energía; ya que los pronósticos de consumo de electricidad señalan que este pudiera duplicarse en apenas 15 años, según el Plan de Desarrollo

del Servicio Eléctrico Nacional (PDSEN) 2005 -2024. Por ello, es importante condicionar la producción de acuerdo a los intereses nacionales.

En la actualidad, el sistema de alumbrado público de la ciudad Caracas, está alimentado por energía eléctrica proveniente de la quema de combustibles fósiles y/o de plantas hidroeléctricas; este tipo de energía ocasiona un impacto ambiental elevado, ya que la quema de combustibles fósiles produce emisiones de CO₂ que son arrojados al ambiente.

Todos los venezolanos deberíamos dar mayor importancia a todo lo relacionado con el ambiente y promover el uso racional y eficiente de la energía, así lograremos introducir en todo nuestro territorio una tecnología que permita la mayor producción de electricidad, mejorar el uso de la red de distribución y comercialización y principalmente establecer precios relativos que vayan de la mano con la oportunidad de racionalizar el consumo de la energía, tal y como se formula en el PDSEN (Ver anexo #1).

En otro orden de ideas, se plantea utilizar la nueva tecnología de luminarias con lámparas tipo LED (Diodo Emisor de Luz), debido a que consumen menos energía que los incandescentes, por generar luz a partir de un proceso más eficiente. Por ejemplo, la incandescencia se basa en calentar un filamento de tungsteno hasta que emita radiaciones visibles. Este proceso emite radiaciones infrarrojas (calor) que no resulta útil. El LED está basado en la electroluminiscencia, un fenómeno que no emite infrarrojos y por esto es más eficiente. Utilizando esta nueva tecnología se impulsa el uso racional y eficiente de energía, tal como plantea en la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (LOSE).

Además se tiene que las lámparas con tecnología LED presentan mayor vida útil en comparación con las de descargas utilizadas actualmente [25], por esta razón el departamento de normas de CORPOELEC en conjunto con el laboratorio de

luminotecnia de la empresa, se encuentran realizando los estudios necesarios a este tipo de lámparas, para su homologación e inclusión en actuales y futuros proyectos, con la finalidad de ahorrar energía y contribuir con el desarrollo energético del país, según afirma el ingeniero Juan Pinto el cual labora en dicho departamento.

Bajo este escenario, para reducir el consumo energético de la red de alumbrado público actual, es necesario redefinir su aplicación de una forma más racional y eficiente, ya que no satisface suficientemente bien la exigencia de aportar de menos contaminantes al mundo, de acuerdo a lo establecido en tratados internacionales.

Por lo antes expuesto se propone un modelo de redes eléctricas de Alumbrado Público con la aplicación de sistemas de energía alternativa aprovechando las oportunidades que ofrece el territorio nacional.

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de alumbrado público aplicando tecnología LED mediante el uso de energía alternativa (solar/eólica) para su futura implementación en una zona piloto de la Ciudad de la Gran Caracas.

2.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros operacionales del sistema de energía solar y eólica para el funcionamiento con luminarias tipo LED.

- Estimar la(s) zona(s) geográfica(s) más factible(s) para la futura implementación de este sistema híbrido de alumbrado público.
- Realizar un análisis comparativo del rendimiento de los sistemas tradicionales en contraste con los sistemas de energía alternativa.
- Diseñar el sistema de alumbrado público basado en tecnología LED alimentado por energía solar y eólica para una zona geográfica piloto.
- Analizar las ventajas y desventajas del uso de energía alternativa bajo el enfoque de la responsabilidad social empresarial y mediante análisis económicos del tipo beneficio – costo.

2.3. Justificación y alcance

El acervo energético que posee nuestro país facilita el logro de una estrategia nacional que combine el uso de los recursos naturales con la integración energética alternativa, convirtiéndonos en mediano plazo en un país potencia en materia de energía.

Si profundizamos un poco en el tema de la energía, nos daremos cuenta que sí existen opciones que nos ayuden a no deteriorar el medioambiente, como son las denominadas por el PDSEN fuentes alternas renovables de energía (FARE), disminuyendo el impacto ambiental por mitigación de emisiones de gases y en particular CO₂, debido a los efectos tangibles en la producción de generación termoeléctrica, por lo que si queremos hacer un buen uso de las FARE, es necesario incrementar su producción, así como también expandir y adaptar el sistema de transmisión y distribución. Y por último, no menos importante, sanear las empresas públicas del sector eléctrico y mejorar la calidad y eficiencia de su servicio.

Por estas razones se propone un diseño de sistema de alumbrado público cuya alimentación sea a través de energía solar y eólica, trabajando en conjunto como un sistema de energía mixto (sistema híbrido); contribuyendo así con los propósitos planteados en el PDSEN para el desarrollo social y económico del país durante los próximos años; en el cual se plantea que diseñar una estrategia que permita la explotación de las FARE disponibles en el país.

Por otro lado, cuando se refiere a la producción de electricidad, consiste en introducir los elementos necesarios que permitan la mayor producción de electricidad por unidad de energía primaria utilizada. Por esto, se plantea el uso de tecnología LED la cual consume menos energía que las lámparas utilizadas tradicionalmente para la producción de electricidad.

Cabe destacar que la eficiencia eléctrica no afecta negativamente el confort, ni la calidad de vida de los usuarios, pues la disponibilidad de electricidad no está comprometida. Se trata de utilizarla eficientemente y que sólo esté limitada por las condiciones técnicas del equipamiento y modo de uso de electricidad.

También es importante resaltar que, al contrario que otras lámparas convencionales como gran parte de los fluorescentes y lámparas de descarga, los LED no contienen mercurio ni gases tóxicos y están libres de plomo, contribuyendo a la preservación del medioambiente. Por lo que, esta propuesta disminuiría el impacto ambiental, siendo un aporte ecológico de parte de CORPOELEC para el país, muy especialmente en la zona de la Gran Caracas.

La luminaria con tecnología LED es alimentada a través de bancos de baterías que a su vez son cargadas por el sistema híbrido solar/eólico, ocasionando así una total independencia de plantas eléctricas y en consecuencia puede disminuir el consumo de energía de la ciudad de Caracas. Además, cabe destacar que el uso del sistema híbrido solar/eólico tiene como bondad que, cuando no hay incidencia solar

se podría contar con un poco de viento, que mantenga la producción de energía hacia las baterías. Es muy adecuada la utilización de luminarias tipo LED en unión con las FARE, a través de equipos que nos permiten transformar este tipo de energía en electricidad, como son las placas solares y/o generadores eólicos, debido a que generan energía eléctrica a bajo voltaje, con lo que la alimentación de los LED es posible sin necesidad de desperdiciar energía con transformadores eléctricos.

La potencialidad de ahorro, la presencia de barreras que han limitado el uso eficiente y racional de la electricidad, los fuertes requerimientos de inversiones en infraestructura de la industria eléctrica y el elevado consumo de combustible para la producción de electricidad, justifican la implantación efectiva de un proyecto de eficiencia eléctrica como el que se plantea.

CAPÍTULO III

3.1. Fundamentos de la iluminación.

3.1.1. Luz y color

La luz es aquella porción del espectro electromagnético a la cual el ojo responde. Esta energía visible es una pequeña parte excedente del espectro total, la cual incluye los rayos cósmicos, los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta UV, la infrarroja, las microondas y las ondas de radio. [1]

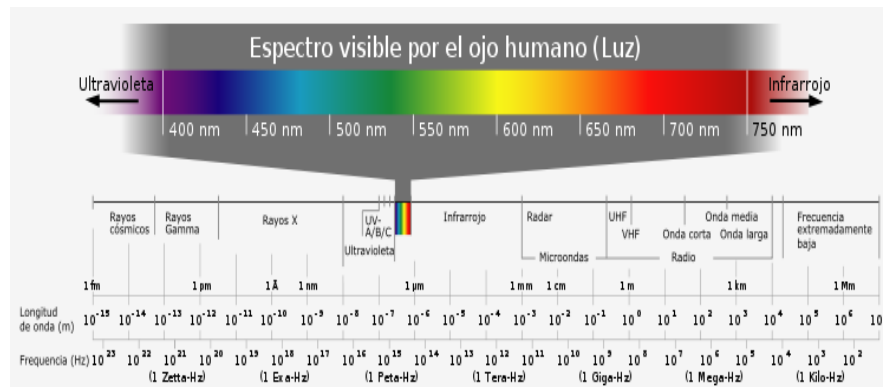


Figura # 1: Espectro electromagnético.

“La manera en la que percibimos la apariencia de los objetos depende de cómo éstos reflejan la luz y de cómo están iluminados.” [2]

Por lo cual se hace importante que exista una buena iluminación en las áreas publica que permita la definición de los objetos de forma apropiada permitiendo la circulación de forma segura tanto de transeúntes como de vehículos automotor.

“El color de la luz está determinado por su longitud de onda, la energía visible con la longitud de onda más corta (380 a 450 nm) produce la sensación de violeta, y aquellas con la más larga longitud de onda (630 a 770 nm) produce la sensación de rojo, en medio está el azul (450 a 490 nm), el verde (490 a 560 nm), el amarillo (560 a 590 nm) y el naranja (590 a 630 nm).” [3]

3.1.2. Magnitudes y unidades luminosas

3.1.2.1. Flujo luminoso (Φ)

Es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo. La unidad de medida de flujo luminoso es el lumen (lm) y su símbolo es Φ .

El flujo luminoso no se distribuye en forma uniforme en todas direcciones y disminuye si sobre la fuente luminosa se depositan polvo y otras sustancias. [4]

En el desarrollo del diseño, se debe tener en cuenta el flujo luminoso según lo indicado en las normativas venezolanas referentes a alumbrado público expuestas en [2] para diferentes tipos de vías, las cuales para el caso particular de estudio se necesitará conocer el flujo luminoso correspondiente a una autopista y una plaza. Según estas normativas las luminarias a escoger en el diseño deberá cumplir una emisión de 3.000 a 10.000 lm y para la autopista de 20.000 a 40.000 lm, según se explicará más adelante.

3.1.2.2. Eficacia lumínica (η)

Flujo que emite la fuente de luz (η) por cada unidad de potencia eléctrica (W) consumida para su obtención [5].

3.1.2.3. Iluminancia (E)

Es el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad el Lux (lx) que es un lm/m^2 . La iluminancia constituye un dato muy importante para valorar el nivel de iluminación que existe en un puesto de trabajo, en la superficie de un recinto, en una calle, etc. [6]

Para el caso del diseño de iluminación de la plaza se necesitará de 15 a 25 lux y para la autopista de 25 a 30 lux, según se explicará más adelante en la sección 3.5 en la tabla # 2.

3.1.3. Deslumbramiento

El incremento umbral, es una medida de pérdida de visibilidad causada por el deslumbramiento molesto de las luminarias de la vía. Con deslumbramiento se indica el hecho de que un rayo de luz incida directamente sobre el ojo y de este modo quede disminuida la facultad de la visión (deslumbramiento fisiológico (TI)) y la comodidad de la visión (deslumbramiento psicológico (G)). El índice de deslumbramiento G, según la inicial del nombre “Glare”, es una escala del 1 al 9 indicativa de la impresión subjetiva de la limitación del deslumbramiento molesto experimentado por un arreglo de las luminarias. [7] – [8]

Al instalar las luminarias en la autopista, se debe tener en cuenta que el deslumbramiento fisiológico sea menor o igual a 10 y el deslumbramiento psicológico sea mayor o igual a 6; para el caso de la plaza, la norma no establece ningún valor específico, tal como se indica en la sección 3.5 tabla # 2.

3.1.4. Factor de mantenimiento

Es un factor que hace referencia a la depreciación luminosa, a causa del envejecimiento de la lámpara y de la luminaria, así como la pérdida de la luz por suciedad que se va depositando sobre ambos elementos. El factor de mantenimiento o de conservación puede considerarse como el producto de dos factores: uno debido a la reducción del flujo luminoso de la lámpara (FDF) y otro debido a la acumulación de suciedad sobre la luminaria (FDS). Estos valores son dados por los fabricantes de los equipos. La ecuación a utilizar para su cálculo, es la siguiente:

$$F_m = F.D.F. \cdot F.D.S. \quad (1)$$

Donde:

F_m: Factor de mantenimiento.

F.D.F.: Factor de depreciación del flujo.

F.D.S.: Factor de depreciación por suciedad.

En ausencia de datos se podrá asumir un factor de mantenimiento entre 0,7 y 0,75. [9]

3.2. Energías Alternativas

3.2.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar es la energía obtenida directamente del Sol. La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras.

La energía solar se puede transformar de dos maneras:

La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos.

La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica, según expresa [17]. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

“La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. La radiación se presenta en diferentes componentes:

Directa: es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias.

Difusa: es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos terrestres y atmosféricos.” [10]

Albedo: es la radiación reflejada por el suelo o por los objetos cercanos.

La energía solar fotovoltaica es aprovechable en sus componentes directa, difusa o la suma de ambas (radiación global). La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones.

Para el caso de estudio, se utilizará la energía solar fotovoltaica, para generar la energía eléctrica necesaria en el suministro de una luminaria tipo LED.

El dato normalmente disponible es el valor medio mensual de la radiación diaria sobre una superficie horizontal. Este dato permite calcular el número de

módulos fotovoltaicos necesarios para que la energía generada durante un mes, iguale a la energía que se pretende consumir en la carga.

La energía útil entregada por el sistema, medida en kWh/día puede calcularse mediante la ecuación:

$$E_T = Gd \cdot S \cdot \eta \quad (2)$$

Donde:

E_T : energía útil entregada por el sistema (kWh/día)

Gd : radiación solar incidente sobre los colectores (kWh/m²/día).

S : superficie del módulo fotovoltaico (m²).

η : eficiencia del sistema.

Y la potencia aprovechable viene dada por:

$$P_s = \frac{E_T \cdot h}{24} \quad (3)$$

Donde:

P_s : potencia solar aprovechable.

h : número de horas de sol diaria.

Los datos solares que se necesitarán para el dimensionamiento del sistema serán los siguientes:

Hora Solar Pico (HSP): son las horas de suficiente irradiación solar [11]. Estas horas son aquellas en las que el panel recibe mayor radiación de entre todas las horas del día. En la figura # 2 se explica mejor el concepto.

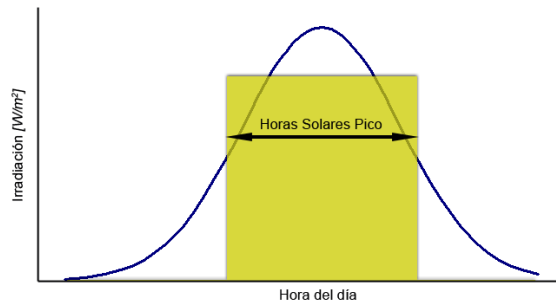


Figura # 2: Representación gráfica de las horas solares pico.

Este concepto sirve para determinar en qué momento y cuánto dura el mayor nivel de irradiación solar. En Venezuela se presentan 5,5 HSP, lo cual nos indica que aproximadamente desde las 09:15am hasta las 02:45pm es donde se presenta la mayor irradiación solar.

Radiación solar: es la radiación electromagnética proveniente del Sol [12]. Es la radiación que el panel fotovoltaico recibirá, para transformarla en energía eléctrica y alimentar así la carga.

Días de autonomía: es la cantidad de día con baja o nula irradiación durante la cual funcionará la instalación, es decir, que la instalación funcione sin necesidad de que se le suministre energía. [13]

Si se considera sólo la parte fotovoltaica del sistema, sin tomar en cuenta el mini-aerogenerador, nos queda que el sistema está compuesto por:

- a) Módulo fotovoltaico o panel solar
- b) Batería (s)
- c) Regulador
- d) Inversor
- e) Carga

Cada uno de estos elementos tiene una función específica en el sistema y en algunos varía su funcionamiento según el material por el cual están compuesto. A continuación se detallará cada uno de estos elementos:

3.2.1.1. Módulos Fotovoltaicos:

Su principal función es la de proporcionar energía a la luminaria a partir de la irradiación solar, aprovechando el efecto fotoeléctrico. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión y otra parte por transmisión (atraviesa la célula).

Un módulo fotovoltaico está conformado por la interconexión de varias células solares en serie y/o paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente.

Las células fotovoltaicas, más utilizadas son las formadas por las uniones P-N y construidas con silicio monocristalino. Las células se fabrican mediante la cristalización del silicio, por lo que se encuentran tres tipos principales:

- a) **Monocristalino:** presenta una estructura cristalina completamente ordenada. Se obtiene de silicio puro fundido dopado con boro. Se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica.

- b) **Policristalino:** presenta una estructura ordenada por regiones separadas. Las zonas irregulares se traducen en una disminución del rendimiento. Se obtiene de la misma forma que el monocristalino pero con menos fases de cristalización (combinación de átomos). Se reconoce porque en su superficie se distinguen distintos tonos de azules y grises metálicos.

- c) **Amorfo:** presenta un alto grado de desorden y un gran número de defectos estructurales en su combinación química. Su proceso de fabricación es menos costoso

que los anteriores (se deposita en forma delgada sobre vidrio o plástico). Tiene un color homogéneo.

Se investigará cuál es el tipo de panel que más se encuentra en el mercado, y se orientará el estudio a ese tipo de panel.

Para calcular la cantidad y disposición de los paneles a utilizar se debe conocer:

- a) La potencia máxima (Pmax)
- b) Tensión del punto de máxima potencia (Vpmax)
- c) La intensidad del punto de máxima potencia del tipo de panel a elegir. (Ipmax).
- d) Con estos datos, se determina la corriente máxima (Imax) que produce el panel en las horas de radiación solar efectiva, es decir, las hora solar pico.

La cantidad de paneles que se necesitarán conectar en paralelo o en serie dependerá de la necesidad. Al conectar en paralelo, se obtendrá mayor corriente, y al conectar en serie, se obtendrá mayor tensión. [14]

Se calculará mediante las siguientes ecuaciones:

Paralelo:

$$N_{pp} = \frac{CC[Ah]}{I_{p\acute{a}x}[A] * HSP[h]} \quad (4)$$

Donde:

N_{pp} : Número de paneles conectados en paralelo.

CC : consumo de la carga en corriente continua durante un día [Ah].

Serie:

$$N_{ps} = \frac{V_B}{V_p \max} \quad (5)$$

Donde:

N_{ps} : Número de paneles conectados en serie.

V_B : Voltaje de la batería [V].

El número total de paneles será (N_{TP}):

$$N_{TP} = N_{pp} * N_{ps} \quad (6)$$

Por lo que dependiendo de los niveles de tensión y corriente requeridos y los que presenta el panel escogido, se determina cuál es la mejor configuración de los mismos, si se instalarán en serie y/o paralelo, con el propósito de satisfacer la demanda del sistema óptimamente.

3.2.1.2. Batería:

Las baterías más adecuadas para sistemas fotovoltaicos son las de plomo ácido, las cuales se pueden simplificar en los tres tipos siguientes:

- a) **Estacionarias monobloc:** está formada en un solo bloque; es decir, no es necesario asociarlas para obtener los 12 Volt y son de menor capacidad que las traslúcidas o herméticas de un vaso o célula. Se utilizan en pequeñas instalaciones de poca potencia. Suelen tener un tamaño mayor que las utilizadas en vehículos, pero eso dependerá de la capacidad de la batería. [15]
- b) **Estacionarias traslúcidas o transparentes:** Son baterías que se encuentran separadas en células pero el material que lo cubre permite ver el interior de la batería

(transparente) o no (traslúcidas). Como son baterías de un vaso o célula su tensión es del orden de 2,2 Volt, razón por la cual es necesario conectarlas en serie para obtener tensiones mayores. Así pues, se necesitan 6 baterías para obtener los 12 Volt. La diferencia entre transparentes y traslúcidas es que el recipiente deja ver su interior y el paso de la luz a su interior. Este tipo de baterías son de mayor tamaño que las monobloc y de mayor peso y suelen ser distribuidas sin el electrolítico (ácido) para facilitar su instalación y deben ser rellenadas después de su colocación.

c) **Estacionarias herméticas:** Son las denominadas también como sin mantenimiento; no se tiene acceso a su interior aunque sus características son las mismas, en relación con los materiales activos y las reacciones de carga y descarga. Este tipo de baterías pueden ser selladas gelificadas, por lo que no se derraman y pueden montarse en cualquier posición. Para conseguir esta densidad debe añadirse dióxido de silicio. Este tipo de baterías no requiere mantenimiento de recarga del líquido de su interior, pero no tienen un buen comportamiento ante descargas profundas. Que se denominen sin mantenimiento no indica que no requieran ningún tipo de mantenimiento, sino que deben ser sometidas a tareas de limpieza, control y recargas adicionales.

Otro tipo de batería que se utiliza en algunas instalaciones fotovoltaicas son las de níquel cadmio. Reciben esta denominación debido al material del cátodo, que es de níquel hidratado y del ánodo, que es cadmio. Se trata de baterías recargables de tipo alcalino, ya que usan hidróxido potásico de electrolito. La tensión nominal de las baterías níquel cadmio es de 1,2 Volt.

La energía eléctrica generada por el panel y el aerogenerador, puede ser consumida al momento o acumularse, y como se quiere acumular, para que funcione en horas en las cuales no se dispone de radiación solar y/o de viento, se deben utilizar baterías. Para esto, se debe determinar las siguientes características de las mismas:

Capacidad de la batería:

Es la cantidad de electricidad que puede suministrar y se mide en amperios por hora (Ah). Los parámetros que definen la capacidad de la batería son: duración de descarga, intensidad de descarga, temperatura y tensión final.

La capacidad de una batería se determina en función de la duración de descarga y dicho valor es proporcionado por el fabricante para cierta duración; a dicho valor se lo denomina capacidad nominal (C_N).

La capacidad está influenciada por la temperatura, aumenta si está aumenta y disminuye en el caso contrario. Los fabricantes indican la capacidad de la batería por un régimen de descarga determinado.

Profundidad de la descarga

Es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga o descarga. Dependiendo de este valor se pueden clasificar las baterías en:

- a) **Descargas superficiales:** aceptan descargas del 20% de la capacidad nominal, sin que se produzca un descenso en la vida útil de la batería.

- b) **Descargas profundas:** aceptan descargas del 80% de la capacidad nominal, sin que se produzca un descenso en la vida útil de la batería.

Para aplicaciones fotovoltaicas se emplean baterías de descarga profunda.

Este valor será facilitado por el fabricante. Si no lo proporciona, se suele escoger un valor intermedio del 60% ó 70% para realizar los cálculos.

Conociendo la capacidad y la profundidad de descarga de la batería, se procede a determinar qué tipo de batería se utilizará y cuántas serán necesarias para la alimentación del sistema.

Por lo expuesto en el concepto, se determina que es más conveniente utilizar baterías de descarga profunda para este tipo de sistema que se quiere diseñar.

Se deberá determinar la capacidad de la batería, y se utilizará la siguiente ecuación:

$$C_B = C_T * \frac{N}{\eta_B * PDD} \quad (7)$$

Donde:

C_B : capacidad de la batería.

C_T : consumo total de la carga.

N : número de días de autonomía del sistema elegido.

Factor de rendimiento de las baterías en el ciclo de carga – descarga (η_B) = 0,95

PDD : profundidad de descarga diaria permitida al banco de baterías electroquímicas

3.2.1.3. Regulador o controlador:

Es el encargado de controlar los procesos de carga y descarga de la batería. Las principales tareas que realiza son:

- a) Evita sobrecargas en la batería: que una vez cargada la batería no continúe cargando. Así se evita la generación de gases y la disminución del líquido en el interior de la batería; en consecuencia aumenta la vida de la misma.

- b) Impide la sobredescarga de la batería en los periodos de luz solar insuficiente: cuando una vez la batería esté descargando continúe suministrando corriente a la instalación; en consecuencia aumenta la vida de la batería.
- c) Asegura el funcionamiento del sistema en el punto de máxima eficacia [16].

Para el caso de estudio, en el que se utilizará la energía proveniente del sol y del viento, el regulador determinará la necesidad de una intensidad de carga específica, resultando en un nivel de penetración parcial o total de cada fuente de acuerdo con su energía disponible y al régimen de carga requerido por el sistema.

Existen dos tipos de reguladores: paralelo o shunt y serie. En instalaciones de baja potencia se utilizan los reguladores paralelo o shunt, y para potencias mayores los reguladores serie. Esto es así porque para tensiones mayores se necesita unos disipadores de potencia para los dispositivos de control de potencia de mayor tamaño, ya que deben soportar mayores niveles de intensidad.

3.2.1.3.1. Regulador serie:

El funcionamiento de este regulador es el de cortar el suministro de energía del generador antes de que alcance la tensión máxima de la batería; es decir, cortar antes de que se llegue al nivel de sobrecarga.

En la figura #3 se puede ver el circuito básico de control serie con interruptores, los cuales se encargarán de que se esté cargando la batería o no (interruptor sobrecarga) y otro de que la batería entregue energía o no (interruptor sobredescarga).

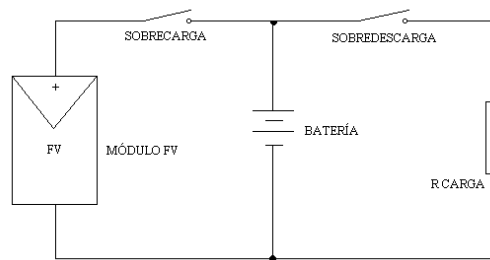


Figura # 3: Regulador serie.

En la figura # 4 se muestra el bucle de control de cada interruptor, en donde V_{sc} es el valor máximo de tensión que el regulador permite que alcance la batería, V_{rc} es la denominada tensión de histéresis que reinicia el proceso de recarga de la batería, V_{sd} es el valor mínimo de tensión a partir del cual corta el consumo (corta la corriente a la carga) y V_{rd} es el valor de tensión a partir del cual reconecta el consumo (reconecta la corriente hacia la carga).

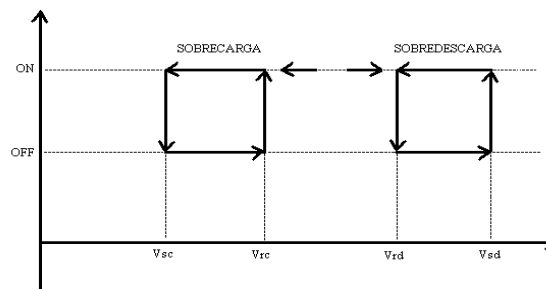


Figura # 4: Bucle de control.

3.2.1.3.2. Regulador paralelo o shunt:

El funcionamiento de este regulador es disipar potencia, con el fin de eliminar el exceso de energía generada. Consiste en un transistor situado en paralelo con el generador fotovoltaico, tal y como se observa en la figura # 5.

Se debe disponer de un circuito de control, el cual se encargará de la conducción del transistor en función de la tensión de la batería; es decir, cuando la

tensión sea superior a un umbral (V_{SC}) que conduzca y que cuando sea inferior que no conduzca.

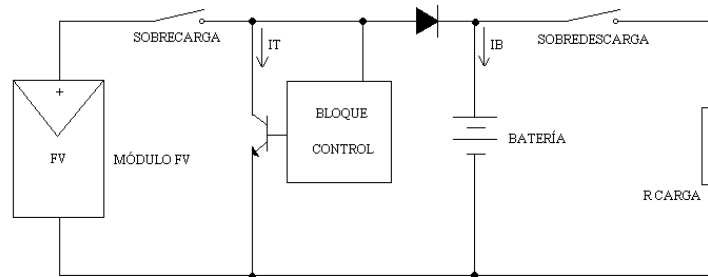


Figura # 5 : Regulador paralelo con bloque de control.

Para la selección de este equipo electrónico se debe determinar:

- Tensión nominal: igual a la del sistema: usualmente 12, 24 o 48 V.
- Intensidad máxima que permite que circule a través de él: debe ser al menos un 30% mayor a la máxima corriente del generador fotovoltaico.
- Valores de tensión de corte por alta (sobrecarga).
- Valores de tensión de corte por baja (sobre descarga).

El regulador que se utilizará tendrá una corriente máxima de operación un 10% superior a la máxima corriente nominal del sistema.

$$I_R = 1,1 * (I_{SC} \cdot N_R + I_A) \quad (8)$$

Donde:

I_R : Corriente máxima de operación del regulador [A].

I_{SC} : Corriente de cortocircuito del panel o módulo fotovoltaico [A].

N_R : número de ramas de paneles.

I_A : Corriente del aerogenerador.

3.2.1.4. Inversor:

Están contruidos a base de circuitos electrónicos alimentados a tensión continua y generan una señal de tensión frecuencia determinada. Disponen de diversas protecciones: sobrecarga o sobredescarga de la batería, posibles cortocircuitos a la entrada o la detección de ausencia de consumo (quedándose en modo reposo).

Se pueden encontrar los de onda modificada u onda pura. Los inversores de onda sinusoidal modificada (MSW), pueden alimentar a la mayoría de electrodomésticos. Sin embargo, esta forma de onda puede presentar algunos problemas de rendimiento con cargas inductivas (por ejemplo con los motores). A pesar de estas limitaciones, son muy utilizados debido a su reducido precio. Los inversores de onda sinusoidal pura (PSW) son los más sofisticados del mercado actual. La onda sinusoidal es la mejor forma de onda eléctrica para alimentar equipos electrónicos más sofisticados, además eliminan los problemas de rendimiento e incompatibilidad. Por el contrario son más caros que los inversores de onda modificada.

Para el cálculo se tomará el valor de la potencia de la instalación eligiendo el convertidor cuya potencia nominal sea inmediatamente superior al de todo el consumo de corriente alterna de la instalación. También habrá que tener en cuenta el valor de la tensión de corriente continua. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$P_I \geq \sum P_E \cdot \#equipos \quad (9)$$

Donde:

P_I : potencia del inversor [W].

P_E : potencia del equipo [W].

Los parámetros a considerar para la selección del inversor son:

- a) Tensiones nominales de entrada y salida
- b) Potencia máxima que puede proporcionar.

Los inversores se utilizan en caso de querer conectar una carga AC al sistema cuya alimentación viene dada por baterías, ya que la función principal de este equipo es la de convertir energía DC en AC.

En el caso de estudio, se utilizará este equipo, ya que las luminarias LED a pesar de trabajar con corriente continua, vienen con un rectificador incorporado (el cual convierte energía DC en AC) y cambiar la configuración que estas luminarias traen de fábrica, incrementaría los costos del proyecto.

3.2.2. Energía Eólica

Es la energía cuyo origen proviene del movimiento de masa de aire, es decir, del viento. Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía del viento, se toman en cuenta los llamados vientos locales, entre estos están las brisas marinas que son debida a la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra; los vientos de montaña, que se producen por el calentamiento de las montañas y esto afecta en la densidad del aire y hace que el viento suba por la ladera de la montaña o baje por esta dependiendo si es de noche o de día. [17]

La energía eólica es aprovechada básicamente por un sistema de un rotor que gira a medida que pasa viento por este.

La potencia del viento depende principalmente de tres factores [18] – [19]:

- a) Área por donde pasa el viento (rotor): la potencia extraíble por el viento a través de un aerogenerador crece al aumentar el área cubierta por las palas (por lo tanto al aumentar su longitud).

b) Densidad del aire (ρ): temperaturas bajas producen una densidad de aire más alta. Mayor densidad significa mayor fluidez de las moléculas en un volumen de aire dado y mayor fluidez de las moléculas encima de una pala de la turbina produce un rendimiento más alto de la potencia para una velocidad del viento dada. La densidad de aire seco a presión atmosférica normal a nivel del mar a los 15°C se usa como una norma en la industria del viento ($\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$).

c) Velocidad del viento: con el aumento de la velocidad del viento, la generación eólica disponible aumenta exponencialmente. La potencia disponible es proporcional al cubo de la velocidad. Puesto que la alta velocidad del viento es deseable por cualquier sitio dado, la meta para evaluar el sitio es cuantificar la velocidad del viento para estimar el rendimiento de un generador eólico en dicho lugar.

3.2.2.1. Energía obtenible del viento

La energía máxima teórica que puede ser extraída de una masa de aire en movimiento está dada por la expresión:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \quad (10)$$

Donde:

E_c : energía cinética [joule/s].

m = flujo de aire [kg/s].

V = velocidad del viento [m/s].

Si se supone un área de captación A (o área barrida por las palas) perpendicular a la dirección del viento, el flujo de aire circulante que la atraviesa será:

$$m = \rho \cdot A \cdot V \quad (11)$$

Donde:

ρ : densidad del aire [kg/m^3].

A: área de captación [m^2].

La energía teórica máxima por unidad de tiempo y de área ($A=1$) que podemos extraer de una masa de aire en movimiento, será entonces:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \quad (12)$$

A esta energía se le denomina potencia meteorológica y se expresa en W/m^2 . [20]

3.2.2.2. Potencia obtenible del viento

Como la velocidad del viento, luego de atravesar la superficie de captación, no es nula, la potencia dada por la expresión anterior no será totalmente aprovechable, Betz demostró que la máxima energía recuperable, con un aerogenerador ideal, es igual a 59,3% de la energía total. Tomando en cuenta que ningún rotor es ideal, para caracterizarlo es necesario conocer su eficiencia o rendimiento η . La potencia obtenible por unidad de área de rotor, medida en W/m^2 , puede expresarse entonces como [21]:

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot \eta \cdot \rho \cdot V^3 \quad (13)$$

Y la potencia eólica total (P_e) para el área descrita por las palas al girar, $A=\pi D^2/4$, en W/m^2 , queda como:

$$P_e = \frac{1}{2} \cdot \eta \cdot \rho \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \cdot V^3 \quad (14)$$

Donde:

D: diámetro del rotor [m].

3.2.2.3. Aerogenerador de baja potencia

La mayoría de los micro – generadores son de eje horizontal con rotor a barlovento respecto a la torre (el viento encuentra primero las palas y luego el soporte) y conicidad nula (el plano de rotación de las palas forma una línea paralela ideal con la horizontal).

Existen diferentes configuraciones de turbinas eólicas: monopala, bipala, tripala, multipala. El aumento del número de palas disminuye la velocidad de rotación, aumenta el rendimiento y encarece el precio de estas turbinas.

Excluyendo la monopala y la multipala que tienen aplicaciones especiales, el mercado se ha concentrado en la bipala y en la tripala, orientándose sobre todo hacia esta última configuración, ya que está caracterizada por un motor más uniforme (y por lo tanto de mayor duración), la energía producida es ligeramente superior (es decir, en general con un rendimiento mayor), y además, son visualmente menos agresivos, gracias a que tienen una configuración más simétrica y una velocidad de rotación más baja, más relajante para los ojos de quien la observa.

El aerogenerador se desconecta mediante el regulador una vez alcanzada la carga idónea, al desconectarse queda en cortocircuito, situación en que es autofrenado, para regular el número de vueltas del rotor a un paso lento y silencioso y de esta forma evitar una sobre velocidad que pudiera provocar daños al equipo en caso de vientos fuertes. El regulador queda comprobando la caída de voltaje de la línea y el nivel de carga de las baterías a la espera de reiniciar el proceso de recarga.

Para escoger el aerogenerador se deben considerar los siguientes criterios:

- a) Velocidad mínima a la cual el aerogenerador genera potencia.
- b) Conocer el sistema de orientación, ya que éste ejerce el papel de sistema primario de protección ante velocidades elevadas de viento. [22]

3.3. Alumbrado Público

En primer lugar, se estudiará la parte correspondiente a la distribución de la energía eléctrica que suministra CORPOELEC a los sistemas de alumbrado público. Según la norma COVENIN 3290-97 sección 10.3, se tiene la alimentación de las luminarias para iluminación pública podrá ser: directamente de la red de distribución del servicio eléctrico o por un sistema de distribución propio de la iluminación pública (sistema de conexión en paralelo).

Para el caso de iluminación con sistema eléctrico propio, conexión en paralelo se tiene que las luminarias se alimentan conectadas a circuitos:

Monofásicos: 2 hilos y 3 hilos.

Trifásicos: 3 hilos y 4 hilos.

Las partes del circuito eléctrico generalmente son las siguientes [23]:

- a) Alimentación de alta tensión.
- b) Transformación.
- c) Cables de salida de baja tensión.
- d) Circuito alimentador.
- e) Circuitos ramales.

Para el caso de este trabajo de grado, la alimentación del sistema de alumbrado público será a través de un sistema híbrido de energía alternativa. En el

estudio se determinará si éste sistema es capaz de alimentar la carga sin necesidad de complementar con el sistema eléctrico de la ciudad.

Luego de haber definido la parte de distribución del sistema de alumbrado público, tenemos los componentes de este sistema, los cuales dependiendo del tipo de redes de distribución eléctrica que se utilice en la zona a considerar en un proyecto son [24]:

- a) Luminarias (equipos auxiliares).
- b) Lámparas.
- c) Tipo de soporte y alimentación.
- d) Interruptores fotoeléctricos.
- e) Equipos de control y de protección.
- f) Conductores de alimentación.

3.3.1. Luminarias

Las luminarias son aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares, además de permitir la conexión a la red eléctrica a las lámparas. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante, pues, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios. Otros requisitos que deben cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la

lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.

Las luminarias para alumbrado público se pueden clasificar de varias maneras, éstas pueden ser:

- a) **Herméticas:** protegidas contra agua o humedad, polvo o insectos.
- b) **Ventiladas:** igual que las herméticas, pero con ciertas restricciones.
- c) **Abiertas:** el bombillo está protegido contra el agua para goteo vertical, pero a partir de los 20° (ángulo de incidencia del agua), con la vertical el agua incidirá sobre el bombillo como en caso de lluvia con viento. Se recomienda utilizar luz incandescente, ya que las lámparas de descarga estallan con los cambios bruscos de temperatura.

Al determinarse la zona de estudio y las condiciones climatológicas de la misma, se determinará qué tipo de luminaria se ajusta mejor al proyecto.

Y desde el punto de vista óptico pueden ser:

- a) **Simétricas:** en estas el flujo luminoso se reparte uniformemente en todas las direcciones, además se obtiene gran iluminación al pie de las luminarias y zonas oscuras en los puntos intermedios de dos luminarias consecutivas. Esto produce poca uniformidad y efectos de deslumbramiento. Se utilizan en áreas abiertas, parques, plazas, estacionamiento, etc. Por lo cual es conveniente utilizar este tipo de luminaria en el diseño de alumbrado de la plaza.
- b) **Asimétricas:** en alumbrado público predominan las luminarias de flujo asimétrico, con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada.

El reparto de flujo luminoso no se hace de forma simétrica respecto a un eje. Este tipo de luminaria parece ser más beneficioso para el diseño de alumbrado de la autopista.

Antiguamente se clasificaban de acuerdo con la Comisión Internacional de Iluminación (C.I.E.) del año 1965:

- a) **Cut-off:** (haz recortado) con ángulo de dispersión de 75° , se utilizan en autopistas y avenidas de circulación rápida y abundante, los postes se colocan cercanos para buena uniformidad.
- b) **Semi cut-off:** (haz semi-recortado) cable y avenidas de menor importancia, tránsito mediano y velocidad mediana, producen cierto deslumbramiento y se pueden distanciar más.
- c) **Non cut-off:** (haz no recortado) calles secundarias en urbanizaciones y barrios, con poca circulación y baja velocidad.

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

Los equipos auxiliares de las luminarias son los dispositivos que conforman el equipo de una lámpara de descarga de alta densidad (H.I.D.), y son los siguientes:

- a) Balastos.
- b) Arrancadores o ignitores.
- c) Condensadores.

En el caso de estudio se utiliza tecnología LED, la cual a diferencia de las lámparas tradicionales, no utiliza ninguno de estos equipos auxiliares para su funcionamiento.

3.3.2. Lámparas

Las lámparas son los aparatos encargados de generar la luz. En alumbrado público, se da mayor uso a las lámparas de descarga, frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico. En la actualidad se está incorporando la iluminación con tecnología LED a los sistemas de alumbrado público.

3.3.2.1. LED [25]

3.3.2.1.1. Concepto

Un LED (Diodo Emisor de Luz) es un componente electrónico de estado sólido, básicamente es un pequeño diodo que emite luz cuando una corriente eléctrica pasa a través del material semiconductor del que está hecho, a diferencia de un bombillo convencional, éstos no tienen un filamento que pueda romperse o quemarse, lo cual los hace más duraderos y confiables. Este tipo de semiconductores pertenece a la familia de los diodos. Los diodos tienen la particularidad de conducir corriente eléctrica más fácilmente en un sentido que en otro.

3.3.2.1.2. Evolución

Antiguamente los LED tenían una eficiencia muy limitada (0,1 lm/W) y no servían para iluminación, sino que se los utilizaba para indicación y de manera decorativa. A medida que fueron evolucionando los conocimientos de aplicación de diversas tecnologías, se han obtenido LED de alto rendimiento. Con los nuevos

materiales, los LED han alcanzado una mayor eficacia luminosa. En el futuro se irá aumentando la eficacia de los LED.

3.3.2.1.3. Estructura

Una lente clara o difusa, hecha con una resina epoxi, cubre el chip semiconductor y sella al LED en forma de cápsula. La misma provee también un control óptico a la luz emitida, ya que incrementa el flujo luminoso y reduce las reflexiones en la superficie del semiconductor, logrando de este modo una variedad de distribuciones angulares. Los componentes que conforman un LED se pueden observar en la figura # 6.

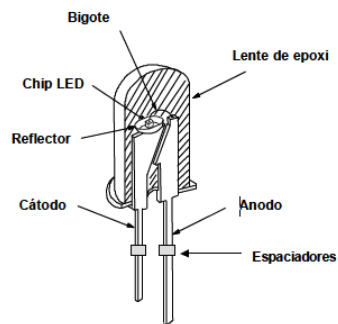


Figura # 6 : Componentes de un LED.

Por otra parte, las lámparas incandescentes desperdician el 95% del consumo en generación de temperatura, y 5% en la emisión de luz, mientras que el led no genera calor, ya que está compuesto por emisores de estado sólido y no por incandescencia de un filamento.

3.3.2.1.4. Tipos

Los LED se pueden clasificar a grosso modo en: discretos (individuales) y agrupados (pantallas o matrices).

Entre los discretos podemos encontrar varios tipos:

Estándar: son los LED clásicos, de forma cilíndrica, abovedada y que se presentan en tamaños de 3 y 5 mm de diámetro. Se caracterizan por tener el encapsulado del mismo color que la luz que emiten.

Ultralumínicos o de alta luminosidad: similares en tamaño y forma a los estándar, se caracterizan porque su encapsulado es transparente. Además emiten mucha más luz que los anteriores.

En cuanto a los agrupados, son aquellos LED colocados juntos dentro del mismo encapsulado. Uno de los terminales es común para todos los LED que componen el grupo, mientras que habrá otro terminal para cada uno de los LED.

3.3.2.1.5. Características básicas

- a) **Bajo consumo:** una lámpara LED requiere menor potencia para producir la misma cantidad de luz, ya que genera luz a partir de un proceso más eficiente como la electroluminiscencia, un fenómeno que no emite infrarrojos (calor) y por esto es más eficiente.
- b) **Baja tensión:** generalmente se alimentan a 24V de corriente continua, adaptándose perfectamente a la mayoría de las fuentes de alimentación de los equipos, y reduciendo al mínimo los posibles riesgos de electrocución.
- c) **Baja temperatura:** por su alto rendimiento, el LED emite poco calor.
- d) **Mayor rapidez de respuesta:** el LED tiene una respuesta de funcionamiento más rápida que el halógeno y el fluorescente.

e) Sin fallos de iluminación: absorbe las posibles vibraciones a las que pueda estar sometido el equipo sin producir fallos ni variaciones de iluminación. Esto es debido a que el LED carece de filamento luminiscente evitando de esta manera las variaciones de luminosidad del mismo y su posible rotura.

f) Mayor duración: la vida del LED es larga en comparación con los demás sistemas de iluminación.

3.3.3. Estructuras de soporte:

Son los denominados postes, estos son fabricados exclusivamente de chapa de acero convenientemente doblada y son ajustadas a lo indicado en la norma estructural ASTM-36 o en la norma Venezolana SIDOR A36/COVENIN 3323-97 (espesor de 3,0 mm). Los postes en su base tendrán un refuerzo de protección contra la corrosión formado por un mango de acero dispuesto concéntricamente. Además el poste deberá tener un terminal interno para la conexión de tierra. La conexión deberá permitir la compatibilidad entre diferentes metales de tal forma que se evite la corrosión electrolítica. Con respecto a las especificaciones de la pintura de los postes existen varios criterios el cual en su mayoría la pintura del color verde oscuro es aplicado en los postes ubicados en zonas con vegetación (urbanizaciones, avenidas, plazas, parques) y el de color aluminio difuso para las áreas que no se requiera su visibilidad (que no exista contraste) tales como las autopistas, distribuidores y algunas avenidas no urbanas. [26]

Entre los postes normalizados se dispondrá de las siguientes alturas:

a) Hexagonales: 4, 7, 9.6, 11 y 12 m.

b) Tubulares: 11 y 12 m.

En caso de utilizarse postes que no estén normalizados, se realizarán los cálculos que se indican en la sección 19.1 de la norma COVENIN 3290-1997.

3.3.4. Interruptores fotoeléctricos:

“Es el equipo electromecánico o electrónico que permite la conexión o desconexión automática de una carga específica dependiendo del nivel de iluminación existente.” [27]

Los sistemas tradicionales de alumbrado público utilizan este tipo de interruptores para que las luminarias se enciendan en cuanto el nivel de iluminación del ambiente disminuya (no haya suficiente luz solar), pero en el caso de este proyecto en particular, el panel o módulo fotovoltaico ubicado en cada poste servirá como interruptor fotoeléctrico para cada una de las luminarias, de manera independiente.

3.3.5. Equipos de control y de protección

En el equipo de control de alumbrado público para las redes subterráneas y aéreas se encuentran todos los dispositivos de protección y control del sistema. Los componentes que lo conforman son los siguientes: interruptor, contactor y switch (conmutador), fusibles y porta fusibles, conductores. Debido a que el sistema estará alimentado con energía eólica y fotovoltaica sin apoyo de la red, los equipos a utilizar son los descritos en la sección 3.2. [28]

3.3.6. Conductores de alimentación

En los sistemas tradicionales de alumbrado público los cálculos eléctricos que deben ser realizados en un proyecto de iluminación vial, son los relativos a los circuitos de alimentación, fundamentalmente la parte de baja tensión, así como las

capacidades de los transformadores, tableros de protección y control, caídas de tensión en los circuitos, calibres de conductores y corrientes de carga. Pero, para el caso de estudio no se necesitarán tales cálculos, ya que la alimentación de las luminarias se harán utilizando energía alternativa.

3.4. Métodos de cálculo

Existen algunos métodos de cálculos, entre los cuales están:

- a) Método del flujo luminoso: Mediante este método se calcula el flujo luminoso para un tramo de la vía. Si el flujo luminoso es igual o inferior al dado por las lámparas elegidas al inicio, la solución puede considerarse como válida.
- b) Método del punto a punto: Mediante este método se calcula las iluminancias de varios puntos de la calzada. Conocidas las iluminaciones de varios puntos, se obtiene la iluminancia media, que afectada por el factor de mantenimiento “Fm” debe ser igual o superior a la fijada al inicio.
- c) Método de los nueve puntos: Este método nos permite determinar los niveles de iluminación promedio de la calzada de un tramo de la vía. Se recurre al empleo de las curvas Isolux para el montaje fijado, las cuales son facilitadas por los fabricantes de luminarias. Una curva Isolux es aquella que une todos los puntos que en una iluminación tienen el mismo valor de lux.

El trabajo en cuestión no va a desarrollar ninguno de dichos métodos, ya que no está en el alcance del mismo determinar la veracidad de los valores que indican los fabricantes de las luminarias. La misma queda a potestad del laboratorio de luminotecnia de CORPOELEC determinar si las luminarias cumplen con los valores que los fabricantes ofertan.

3.5. Criterios de diseño en proyecto de Alumbrado Público:

A continuación se describirá el proceso a seguir para el diseño de un proyecto de alumbrado público. En base a lo recomendado por el Ing. Miguel Ereú en su manual de alumbrado público, se decide que los criterios más apropiados para el diseño que se van a establecer son los siguientes:

- a) Dimensiones; longitud total de la vía y ancho de la calzada. Para el caso particular de una plaza, se deben conocer las dimensiones y la forma de la misma.
- b) Características de la zona, obstáculos, aceras, vegetación alrededor, etc.
- c) Nivel medio de iluminación; la norma nos indica el valor requerido según el tipo de vía, y la luminaria a escoger debe cumplir con estas normas.
- d) Tipo de lámpara; para el caso de este estudio será LED, y se debe conocer el flujo luminoso de la misma.
- e) Tipo de luminaria.
- f) Estructura de soporte; el tipo de poste a utilizar y la altura del montaje.
- g) Factor de utilización.
- h) Factor de mantenimiento.

Las vías públicas están clasificadas según la siguiente tabla:

Tabla # 1 : Clasificación de las vías de alumbrado público. [29]

Tipo de vía	Descripción
A	Autopistas, avenidas principales (expresas).
B	Avenidas principales residenciales e industriales, calles principales y distribuidores.
C	Avenidas y calles residenciales e industriales, secundarias, carreteras urbanas.
D	Calles rurales, sub-urbanas y de acceso a barriadas. Accesos a peajes, terminales de pasajeros, alcabalas.
E	Áreas públicas de circulación de peatones: Plazas, parques, bulevares, caminerías, veredas, puentes y pasarelas.

Luego de haber clasificado la vía en estudio, en la cual se desea realizar el diseño, se debe determinar los niveles de iluminación en dicha vía, según la siguiente tabla:

Tabla # 2 : Niveles de iluminación en vías de tráfico automotor y peatonal [30].

Clasi- fica- ción	Luminancia				Iluminancia			Deslum- bramien- -to		Alrede- dores
	Tipo de vía	Lm (cd/m ²) ≥	Um ≥	U0 ≥	U1 ≥	Em (Lux) ≥	U1 ≥	U2 ≥	G ≥	
A	2,00	0,40	0,30	0,70	25-30	0,40	0,30	6	10	0,5
B	2,00	0,40	0,30	0,70	20-25	0,33	0,25	5	10	0,5
C	1,50	0,33	0,25	0,60	15-20	0,33	0,20	5	20	0,5
D	1,50	0,33	0,25	0,60	15-20	0,33	0,20	4	20	N.R.
E	-	-	-	-	15-25	0,20	0,10	-	-	N.R.

Una vez conocidas las exigencias en cuanto a iluminación se refieren, se determina la altura de montaje a la que se recomienda colocar la luminaria, según el tipo de vía. Esta altura equivale a la altura del poste más la agregada por el brazo, es decir, la de ubicación de la luminaria. En la tabla # 3 se observan las alturas recomendadas según normativa.

Tabla # 3 : Alturas de montaje recomendadas [31].

Tipo de vías públicas	Alturas recomendables (metros)
Plazas, parques, etc.	2.5 a 5
Calles secundarias	5 a 7
Avenidas y calles importantes	7 a 11
Autopistas y vías rápidas	9 a 15
Distribuidores de tránsito o áreas grandes	15 a 60

Sabiendo la altura correspondiente al tipo de vía, se puede determinar la emisión de lúmenes correspondientes según la siguiente tabla, y se busca una

luminaria que cumpla con esa cantidad de lúmenes, o sabiendo la emisión de lúmenes de la lámpara (dato proporcionado por el fabricante), se determina la altura de la luminaria y se verifica si corresponde con el tipo de vía que se desea iluminar (tabla # 3).

Tabla # 4 : Niveles de iluminación correspondientes a las alturas de montaje [32].

LÚMENES DE LA LÁMPARA	ALTURA DE LA LUMINARIA (m)
3000 a 10000	6 a 7,5
10000 a 20000	7,5 a 9
20000 a 40000	9 a 12
40000 a 50000	12 a 15
Mayor a 50000	>15

Habiendo determinado la altura correspondiente de la luminaria, se procede a determinar la distancia inter-postal. Según la iluminación media en luxes se obtiene una relación entre la distancia inter-postal y la altura del montaje. Hasta ahora conocemos la iluminación media en luxes según la tabla # 2 y la altura del montaje que se acaba de determinar. Por lo tanto, de la tabla siguiente, se determinará la distancia inter-postal sabiendo la relación que mantiene con la altura del montaje para diferentes rangos de iluminación media en luxes.

Tabla # 5 : Relación entre la distancia inter-postal y la altura de montaje, dependiendo de los niveles de iluminación media en luxes [33].

ILUMINACIÓN MEDIA EN LUXES	RELACIÓN $\frac{\text{Distancia Interpostal}}{\text{Altura de Montaje}}$
2 a 7	4 a 5
7 a 15	3,5 a 4
15 a 30	2 a 3,5

También se puede considerar las recomendaciones de la norma IIB-5-2007 de la EDC, según la cual se utiliza 3 veces la altura del montaje para las disposiciones unilateral, bilateral opuesta y central, y de 4 veces la altura del montaje para la bilateral tresbolillo. La ubicación de luminarias en curvas con grandes radio de

curvatura (mayores a 300m) serán tratadas como las rutas rectas, colocando las luminarias según los esquemas convencionales. Las curvas de radio más reducido, así como las que se encuentran en zonas con gran pendiente (cerros y colinas) deben iluminarse colocando las luminarias más cerca una de otra de manera de suministrar una mayor uniformidad tanto de iluminancia como de luminancia en la vía y una eficiente orientación visual al conductor. En todas las curvas la separación de las luminarias depende del radio de la curva; mientras menor sea este, menor será la separación. Como regla general la distancia entre luminarias en las curvas debe reducirse entre 0,5 y 0,75 en relación a la distancia inter-postal correspondiente a una vía recta.

Teniendo de la tabla #3 la altura de montaje recomendada según el tipo de vía, se puede determinar la disposición de las luminarias. Existen cuatro disposiciones básicas del alumbrado público para caminos de tramos rectos y para determinar cuál es el adecuado para el diseño que se quiere realizar, se utilizará la tabla # 6 y se necesitará como dato, el ancho de la calzada en la cual se realizará el diseño. Además, se deberá considerar otros aspectos propios de la vía que puedan sugerir alguna de las disposiciones o no permitir otra, y el acceso para el mantenimiento.

Tabla # 6 : Arreglos recomendados según el ancho de la calzada. [34]

Ancho de la calzada (A) en múltiplos de la altura de montaje (H)	Arreglo recomendado
$A < H$	Central
$A \leq H$	Unilateral
$H < A \leq 1,5H$	Tresbolillo
$A > 1,5H$	Bilateral opuesta

La disposición central de brazos dobles, así como la pareada, son muy utilizadas para autopistas y grandes avenidas, de 2 o más carriles a cada lado. La disposición central se puede considerar como un arreglo unilateral para cada lado.

Según el tipo de disposición de las luminarias, se cumple una relación entre la altura de montaje de la luminaria y el ancho de la vía, la cual se observa en la siguiente tabla:

Tabla # 7 : Recomendaciones Europeas para la disposición de las luminarias. [35]

Tipo de disposición	$Relación = \frac{Altura.de.montaje}{Ancho.de.la.vía}$	
	Valor mínimo	Valor recomendado
Unilateral	0,85	1
Bilateral tresbolillo	0,5	0,66
Bilateral opuesta	0,33	0,5

Otra característica a tomar en cuenta al momento del diseño, es el factor de mantenimiento, el cual se determinará según la ecuación # 1.

Finalmente, se calcula el flujo luminoso total necesario para la iluminación de la vía, utilizando alguno de los métodos explicados en este capítulo y se determina el número de luminarias necesarias.

3.6. Conceptos económicos [44]:

3.6.1. Tasa de inflación:

Tasa porcentual a la que crece el nivel de precios en una economía durante un período específico.

3.6.2. Interés real:

Tipo de interés al que se ha descontado la tasa de inflación. Se determina según la siguiente ecuación:

$$i_R = \frac{i_F - \alpha}{1 + \alpha} \quad (35)$$

Donde:

i_R : interés real.

i_F : interés financiero.

α : inflación.

3.6.3. Anualidades:

Flujo de fondos regulares y de un mismo monto durante un determinado número de períodos.

$$a = Co \cdot \frac{(1 + i_R)^n \cdot i_R}{(1 + i_R)^n - 1} \quad (36)$$

Donde:

a : anualidades o pagos anuales [Bs].

Co : capital inicial [Bs].

n : años de vida útil del equipo [años].

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo de estudio está enmarcado en la modalidad de investigación, denominada investigación proyectiva, la cual consiste en la elaboración de una propuesta, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, en un área particular del conocimiento, con base en los resultados de un proceso investigativo.

La propuesta de esta investigación está fundamentada en un proceso sistemático de búsqueda e indagación. En función de esta información, se diseña y se crea una propuesta capaz de satisfacer las necesidades actuales, como lo es la disminución del consumo de energía.

Esta investigación proyectiva se realiza porque hay potencialidades que no se están aprovechando, como lo son los recursos naturales que se encuentran en gran abundancia y disponibles en nuestro país.

El sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) utiliza naturalmente el viento y la luz del sol como fuente de energía. El generador eólico y la célula solar, respectivamente, convierten la energía eólica y la solar en energía eléctrica, a fin de proveer electricidad al sistema de alumbrado.

El generador eólico y la célula solar pueden generar energía en forma independiente o conjunta. Pueden utilizar la energía eólica en días nublados y lluviosos o durante la noche, o la energía solar en días sin viento, de modo de generar en forma complementaria tanto con energía eólica como solar. Al mismo tiempo, el sistema está equipado con un acumulador que asegura el funcionamiento normal del sistema de alumbrado bajo condiciones de falta de viento y luz solar.

Las energías eólica y solar requeridas son fuentes de energía natural y ecológica, por lo que no causan contaminación ambiental.

El proyecto se realizará en varias etapas, que van desde la exploración, al diseño y las implicaciones ambientales y económicas que conlleva. Las etapas del mismo serán las siguientes:

- a) Ubicación de la zona de estudio y recolección de los datos meteorológicos necesarios.
- b) Caracterización de la carga y descripción de la demanda a suplir.
- c) Análisis de los datos recopilados.
- d) Cuantificación de los recursos.
- e) Especificaciones y equipos a instalar.
- f) Dimensionamiento del sistema híbrido.
- g) Elección del sistema de almacenamiento.
- h) Estudio del impacto ambiental.
- i) Evaluación económica del proyecto.

A continuación se desarrollarán cada una de las etapas:

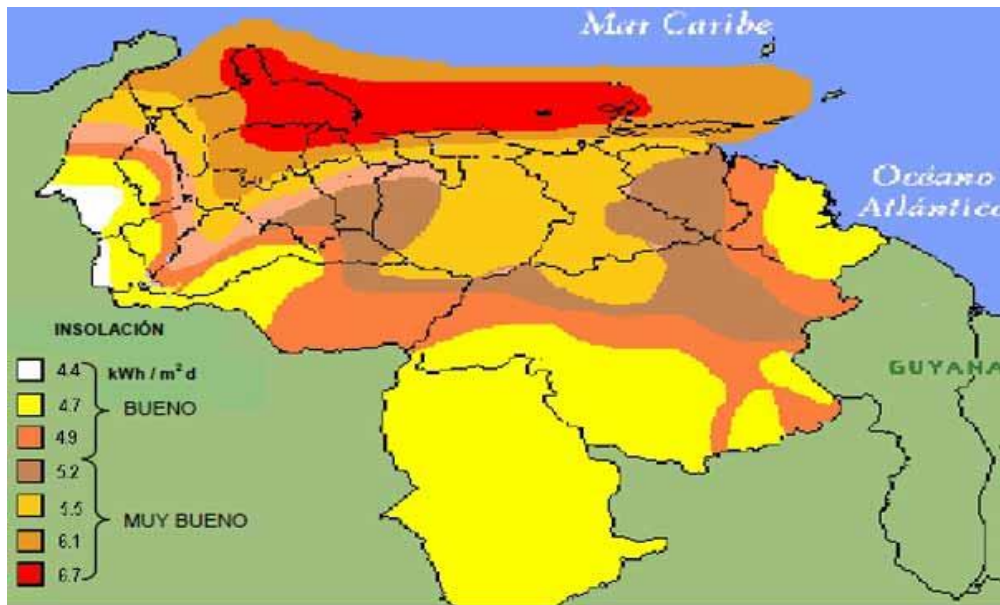
4.1. Ubicación de la zona de estudio y recolección de los datos meteorológicos necesarios

Venezuela se encuentra entre las latitudes 0.5° N y 12° ; entre las longitudes 60° y 73° O, y con alturas que van desde el nivel del mar hasta los 5.000 metros. Esto significa que el territorio nacional está totalmente dentro del Hemisferio Norte, y que el relieve geográfico produce una notable variedad de pisos térmicos dentro de la zona ecuatorial. [36]

La posición de Venezuela entre el ecuador (0°) y el trópico de Cáncer ($23^{\circ} 27' 30''$), corresponde a las llamadas Bajas Latitudes o Zona Intertropical. Esta posición ejerce una influencia en el comportamiento de los distintos elementos climáticos, es decir, que la principal consecuencia de la latitud para Venezuela se siente en su clima, puesto que los elementos más importantes de éste, (radiación solar, temperatura, precipitación, evaporación, vientos y otros) están determinados por la latitud. [36]

Por encontrarse Venezuela en las bajas latitudes, todos los puntos de su territorio reciben los rayos solares, durante todo el año, con muy poca inclinación. Como la temperatura de cada región depende de la mayor o menor verticalidad con que la alcancen los rayos solares, nuestro territorio se encuentra entre los países que reciben mayor cantidad de radiación solar. [36]

Observando el mapa solar de Venezuela (figura # 7) se determina que en la zona Capital considerada por la empresa CORPOELEC presenta un nivel de radiación solar “Muy Bueno”, lo cual da a entender que en cualquier lugar de ésta región es posible la implementación de un sistema solar fotovoltaico. Por otra parte, en el mapa solar y eólico de Venezuela, se visualiza que las regiones más óptimas, es decir, con mayor radiación solar y mayor velocidad del viento son las regiones costeras e insulares.



Fuente: Plan de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional 2005 – 2024 (PDSEN)

Figura # 7: Mapa solar de Venezuela.

Luego en el mapa que representa el potencial eólico de Venezuela (figura # 8), se puede ver que el viento presenta una velocidad entre 4 y 5 m/s medida a 10m de altura.



Fuente: Plan de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional 2005 – 2024 (PDSEN).

Figura # 8: Mapa eólico de Venezuela.

Después de tener un panorama macro de las condiciones meteorológicas y observar que a lo largo de todo el territorio nacional es factible la proyección de un proyecto que involucre tanto energía solar como eólica, entonces se procede a determinar la información meteorológica más específica.

La elección preliminar del lugar se puede basar en elementos subjetivos como las experiencias de los residentes, la evaluación de elementos naturales (la tipología y el porte de las especies arbóreas – Ver anexo N° 2) o en elementos objetivos, pero siempre aproximados, como la extrapolación de datos anemométricos disponibles en áreas contiguas y la utilización de mapas de vientos en el territorio nacional.

En el caso específico de este proyecto, la zona de estudio será la Ciudad Socialista Ciudad Caribia, ubicada en el sector Camino de los Indios en el estado Vargas. Se escoge esta zona debido a varios factores, en primer lugar, se realizó una investigación sobre los datos hidrometeorológicos obtenidos en cada una de las estaciones climatológicas existentes en La Gran Caracas, de dichas estaciones se descartaron aquellas que no toman mediciones de los parámetros involucrados con la radiación solar y la velocidad del viento. Observando dichos datos (Anexo N° 3) tenemos que las estaciones más cercanas a Ciudad Caribia indican que hay gran potencial solar y eólica en esa zona.

En la figura # 9 se determina que las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio son: Los Castillitos, El Junko, Los Venados, Observatorio Cajigal, Altos de Pipe, Edificio La Paz, Macarao – Dique, San Bernardino, El Ávila, Ojo de Agua, Bajo Seco, Maiquetía – Aeropuerto, El Carite, Los Caracas, La Sabana, San Julián, Mamo – Escuela Naval, Carayaca, Petaquire - Dique .

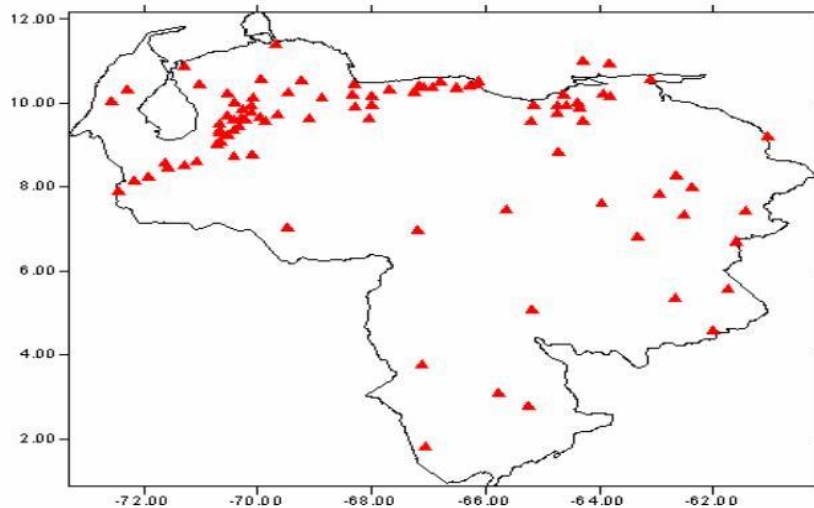


Figura # 9: Estaciones hidrometeorológicas ubicadas en Venezuela.

Debido a que la empresa CORPOELEC tiene como objetivo atender las necesidades energéticas de la nación, se decidió realizar el estudio precisamente en esta zona, puesto que esta ciudad se está construyendo bajo la Misión Vivienda y busca cumplir lo planteado en el Plan de Desarrollo del Servicio Eléctrico Nacional 2005 -2024, el cual sugiere un uso eficiente de la energía e incentiva el aprovechamiento de los recursos naturales para la producción de ésta. Por lo tanto, la corporación recomendó la posibilidad de que este estudio se realizara en dicha zona.

Una vez que se ubican las estaciones más cercanas al área de estudio, se procede a buscar los datos meteorológicos necesarios para un sistema híbrido eólico – fotovoltaico. Tomando en cuenta su latitud y longitud se obtuvo la siguiente información medida satelitalmente por la NASA, la cual es un promedio de los datos registrados durante un periodo de 22 años (desde julio de 1983 a junio de 2005). [37]

4.1.1. Sistema solar

Es necesario determinar los datos meteorológicos referentes al comportamiento del sol, para dimensionar así los paneles fotovoltaicos necesarios para satisfacer el sistema a diseñar, como lo son:

4.1.1.1. Radiación solar

En la tabla # 8 se observa la radiación solar disponible en la zona de estudio para su aprovechamiento a través de los paneles solares a instalar. [37]

Tabla # 8 : Promedio Mensual de Radiación Solar sobre una superficie horizontal en la zona de estudio (kWh/m²/d).

Promedio Mensual de Radiación Solar incidente sobre una superficie horizontal (kWh/m²/d)													
Lat 10,533 Lon 67,033	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro- me- dio A- nual
22-años Promedio	5,72	6,54	7,11	7,34	6,43	5,37	5,99	6,38	6,37	5,99	5,49	5,31	6,17

4.1.1.2. Horas Solar Pico (HSP)

Tomando en cuenta la radiación solar de la zona geográfica se puede determinar que las HSP serán equivalentes 6,17 horas, considerando que la radiación solar constante a la cual se mide la potencia de los paneles solares es de 1000 kWh/m²/día. [38]

4.1.1.3. Horas con luz solar

En tabla # 9 [38] se observa el promedio de horas en las cuales hay radiación solar presente, para determinar luego por cuánto tiempo estarán los paneles recibiendo diariamente radiación solar.

Tabla # 9 : Promedio mensual de horas con luz solar en la zona de estudio (h).

Promedio mensual de horas con luz solar (h)													
Lat 10,533 Lon 67,033	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro- me- dio A- nual
Prome- dio	11,5	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,9	11,6	11,5	12,08

4.1.1.4. Días oscuros o sin Sol

En la tabla # 10 [39] se observa el promedio de días en los cuales no hay radiación solar presente, para determinar luego por cuánto tiempo deberán trabajar las baterías de manera autónoma.

Tabla # 10 : Días oscuros o sin Sol anuales en la zona de estudio.

Número de días oscuros o sin Sol equivalentes (d)													
Lat 10,533 Lon 67,033	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pro- me- dio Anual
Men- sual	3,36	3,12	1,61	1,67	4,86	6,03	2,38	2,42	2,68	3,88	4,91	4,61	3,46 ≈ 4

4.1.2. Sistema eólico

A continuación se muestran los parámetros que describen el comportamiento del viento, necesarios para dimensionar el aerogenerador del sistema, como son:

4.1.2.1. Velocidad del viento

En la tabla# 11 [40] se observa la velocidad del viento presente en la zona de estudio, para luego dimensionar el aerogenerador más adecuado a utilizar en el sistema híbrido que se propone.

Tabla # 11 : Promedio mensual de la velocidad del viento en la zona de estudio (m/s)
Altura 10 metros.

Promedio mensual de la velocidad del viento para diferentes tipos de vegetación y superficies (m/s) <i>Altura 10 metros</i>													
Lat 10,533 Lon 67,033	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prome -dio Anual
0.5-m arbustos de hoja ancha (10%) con suelo descubier -to	3,71	3,43	2,74	2,33	2,92	6,61	5,79	5,13	3,53	2,59	2,98	3,58	3,78

Para el caso de la velocidad del viento, se tomó para una vegetación de 0.5-m arbustos de hoja ancha (10%) con suelo descubierto, debido a que la zona de estudio presenta características de vegetación y superficie similares, lo cual nos da un promedio anual de la velocidad del viento de 3,78 m/s. (Anexo N° 4)

Las condiciones climatológicas mínimas que debe presentar la zona de estudio para que sea viable la implementación de un sistema híbrido, (eólico-fotovoltaico) son las que se presentan en la tabla # 12.

Tabla # 12 : Requerimientos a cumplir para la factibilidad ambiental. [41]

Fuente Renovable de Energía	Requerimientos para la factibilidad ambiental
Energía Solar	Velocidad promedio anual mayor de 3,50 m/s. Velocidad promedio en el mes de menos viento mayor a 2,50 m/s
Energía Eólica	Irradiación promedio anual de por lo menos 4,00 kWh / m ² día. Irradiación solar del mes de mínima insolación mayor de 3,50 kWh / m²día.

Como resumen de los datos meteorológicos obtenidos de [37] en el lugar de estudio se cuenta con las siguientes condiciones climatológicas:

Tabla # 13 : Resumen de las condiciones climatológicas existentes en la zona de estudio.

Parámetro	Valor promedio anual	Valor mínimo de funcionamiento del equipo	Evaluación
Radiación solar (kWh/d/m ²)	6,16	0	Cumple
Velocidad del viento (m/s)	3,78	2	Cumple
Horas de Sol durante el día (h/d)	12,08	N.A.	N.A.
Días oscuros equivalentes (d)	4,00	N.A.	N.A.

4.2. Caracterización de la carga y descripción de la demanda a suplir

En primer lugar se caracterizará la carga para determinar la demanda que se desea suplir, que para el caso de este trabajo será una luminaria de alumbrado público con iluminación tipo LED. Con las especificaciones técnicas del fabricante, debemos obtener tanto los parámetros eléctricos de la luminaria, como los parámetros de iluminación. Los cuales son:

4.2.1. Iluminación de una plaza.

Una vez descrito el procedimiento, se utilizará para diseñar la iluminación de una plaza ubicada en la terraza C, de Ciudad Caribia.

Las plazas están consideradas como una zona tipo E, para la cual se recomienda una altura de montaje de 2,5 a 5m. Y le corresponde una iluminación media en luxes (E_m) de:

- a) $E_m = 10$ luxes en zona verde.
- b) $E_m = 15$ luxes en áreas de circulación.

Sabiendo que la altura recomendada para este tipo de zona es de 2,5m a 5m, se toma como referencia la iluminancia media correspondiente a las luminarias de alturas de 6m a 7,5m (3.000lm a 10.000lm según la tabla # 4). Por lo tanto, se buscará que se cumpla con esos niveles de iluminación.

Se estudiaron varias luminarias de diferentes fabricantes, y tomando en cuenta algunas de sus características, se escogieron tres que cumplieran con las exigencias de iluminación según las normativas que se han definido hasta ahora. Luego se compararon los parámetros eléctricos de las mismas, para determinar así cual es la luminaria más adecuada para el sistema.

Las luminarias y criterios que se tomaron en cuenta para el proceso de selección, se observan en la siguiente tabla:

Tabla # 14 : Tabla comparativa de varios fabricantes de luminarias tipo LED para el diseño de la plaza

OPCIÓN		1	2	3
FABRICANTE		Midway Construccion Group	ENERSOLAR	VENELED
MODELO		SFT ZD901- 4B-DM7	BBE LU4	IK910SL
EFICACIA LUMÍNICA		≥ 75 lm/W	≥ 80 lm/W	100 lm/W
EFICIENCIA DE LA LUMINARIA		$> 0,8$	$> 0,85$	$> 0,9$
FLUJO LUMINOSO		9.000 lm	8.000 lm	10.000 lm
POTENCIA		120 W	100 W	100 W
TENSIÓN		100 – 240 VAC	100 – 250 VAC	120 – 240 VAC 12 – 24 VDC
FACTOR DE POTENCIA		$> 0,95$	$\geq 0,93$	$\geq 0,95$
VIDA ÚTIL		50.000 h	≥ 50.000 h	≥ 50.000 h
PESO		≤ 16 kg	10 kg	14,5 kg
DIMENSIONES	LARGO	821 mm	715 mm	910 mm
	ANCHO	395 mm	315 mm	390 mm
	ALTO	130 mm	90 mm	190 mm

Realizando una ponderación del 1 al 3 de las características más relevantes de cada una de las opciones de luminaria, donde la puntuación será: 1 malo, 2 regular y 3 bueno, nos queda la tabla # 15:

Tabla # 15 : Comparación cuantitativa entre cada una de las opciones de luminarias.

OPCIÓN	1	2	3
FABRICANTE	Midway Construccion Group	ENERSOLAR	VENELED
MODELO	SFT ZD901-4B- DM7	BBE LU4	IK910SL
FLUJO LUMINOSO	2	1	3
ICR	2	2	3
EFICIENCIA REAL DEL LED	1	2	3
EFICIENCIA DE LA LUMINARIA	3	3	3
POTENCIA	3	2	2
FACTOR DE POTENCIA	3	2	3
VIDA ÚTIL	3	3	3
PESO	1	3	2
DIMENSIONES	2	3	1
TOTAL	20	21	23

De la tabla # 14 tenemos que la luminaria óptima, luego de haber estudiado diferentes criterios en cada una, fue la IK910SL ofrecida por la empresa VENELED, cuyos parámetros de iluminación y eléctricos cumplen con los establecidos por normativas venezolanas (sección 3.5).

Una vez escogida la luminaria IK910SL cuyos parámetros de iluminación se observan en la tabla # 13, se procede a realizar los cálculos necesarios para el diseño de iluminación de una plaza:

Cálculo de la distancia inter-postal:

$$R = \frac{DI}{Hm} \quad (15)$$

Donde:

R: relación entre la distancia interpostal y la altura de montaje.

DI: distancia interpostal [m].

Hm: altura de montaje [m].

De acuerdo al nivel de iluminación de la luminaria, corresponde una relación de 2 a 3,5, por lo cual si se despeja la distancia inter-postal de la ecuación # 26 de la tabla # 10, nos queda:

$$DI = R \cdot Hm$$

$$DI_{MIN} = 2 \cdot 2,5m = 5m$$

$$DI_{MAX} = 3,5 \cdot 5m = 17,5m$$

Concluyendo que la distancia inter-postal, deberá estar entre 5m y 17,5m.

Cálculo de la cantidad de postes a utilizar:

Observando la forma (Anexo # 6) y las longitudes de la plaza, donde cada cuadro mide 3x3m y la separación entre ellos es de 0,60m, tenemos los puntos de luz necesarios:

$$\# postes = \frac{L_p}{DI} \quad (16)$$

$$\# poste_{MAX} = \frac{96m}{5m} = 19,2 \approx 20 postes$$

$$\# postes_{MIN} = \frac{96m}{17,5m} = 5,48 \approx 6 postes$$

Donde:

L_p : longitud de la plaza [m].

4.2.2. Iluminación de la Autopista

Aparte del estudio de iluminación de la plaza, se quiere realizar el estudio para una vía rápida, tal como la autopista que comunica a Ciudad Caribia con la autopista Caracas – La Guaira.

Hasta ahora, CORPOELEC no ha homologado ninguna luminaria tipo LED para este tipo de vía, sin embargo, investigando entre algunos fabricantes, se encontró una luminaria que cumple con las exigencias de iluminación venezolanas. No obstante, esta luminaria aún no ha sido sometida a pruebas en los laboratorios de luminotecnia de la empresa, para verificar la veracidad de los valores proporcionados por el fabricante y de cumplir con todos los requisitos de la compañía para optar por la posible aprobación. Por ahora, para efectos del diseño se considerarán los valores proporcionados por el fabricante (Anexo N° 7).

Cálculo de la disposición de las luminarias

Tenemos que el ancho de la autopista que se quiere iluminar es de 21,58m en el tramo recto y de 18m en las curvas, con una isla central de 0,85m de ancho. Como se observa en la figura siguiente:

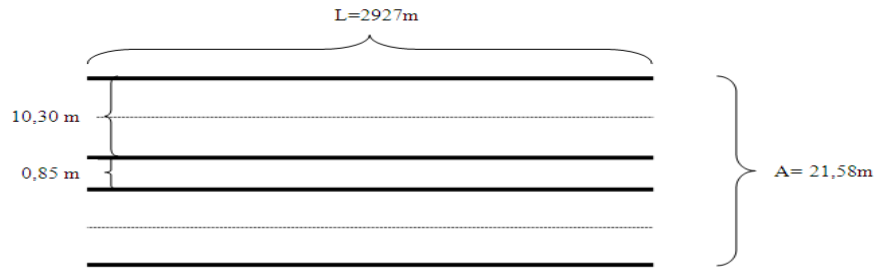


Figura # 10 : Dimensiones del tramo recto de la autopista.

Conociendo el ancho de la calzada, se determina la disposición de las luminarias según la tabla #6, y nos queda que debe ser bilateral opuesta o en la isla central.

De la tabla #7, se tiene que para una disposición bilateral opuesta se tiene la siguiente relación:

- a) Valor mínimo=0,33
- b) Valor recomendado=0,5

Despejando la altura de montaje, se determina un rango de alturas para la cual se puede realizar el montaje:

$$R = \frac{Hm}{A} \Rightarrow Hm = R \cdot A \quad (31)$$

$$Hm_{MÍN} = 7,095m$$

$$Hm_{REC} = 10,75m$$

Donde:

A: ancho de la calzada [m].

Hm_{MÍN}: altura de montaje mínima [m].

Hm_{REC}: altura de montaje recomendada [m].

Cálculo de la distancia inter-postal

De acuerdo al nivel de iluminación de la luminaria, corresponde una relación de 2 a 3,5 (tabla #5); por lo cual si se despeja la distancia inter-postal de la ecuación # 15, nos queda:

$$DI_{MIN} = 2 \cdot 7,095m = 14,19m$$

$$DI_{REC} = 3,5 \cdot 10,75m = 37,62m$$

Nos queda que la distancia inter-postal, deberá estar entre 14 y 38 m. Aunque según la norma IIB-5 de la Electricidad de Caracas, para disposición bilateral opuesta o isla central se utiliza 3 veces la altura de montaje, por lo que si se utiliza el valor recomendado, nos queda que la distancia inter-postal será:

$$DI = 3 \cdot 10,75m = 30,75m \approx 30m$$

Cálculo de la cantidad de postes a utilizar:

$$\# \text{ postes} = \frac{L_A}{DI} \quad (17)$$

$$\# \text{ postes} = \frac{2927m}{30m} = 97,566 \approx 98 \text{ postes}$$

Donde:

L_A : longitud de la autopista [m].

Finalmente, nos quedan los siguientes requerimientos para el diseño del sistema de alumbrado público.

Tabla # 16: Requerimientos de iluminación para el diseño de alumbrado de la plaza y de la autopista.

Requerimientos de iluminación	PLAZA	AUTOPISTA
Iluminación media (lux)	10 – 15	25 – 30
Flujo luminoso (lm)	3.000 – 10.000	20.000 – 50.000
Altura de montaje (m)	2,5 – 5	7 – 11
Distancia interpostal (m)	5 – 17,5	14 – 38
Cantidad de puntos de luz	6 - 20	98

En el anexo N° 8 se observa la simulación de la iluminación para cada uno de los diseños.

4.3. Análisis de los datos meteorológicos recopilados

Los datos recopilados de las estaciones meteorológicas (Anexo N° 3) se estudiarán y se realizarán los gráficos necesarios para observar anualmente el comportamiento de cada uno de los parámetros operacionales del sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) como son: la radiación solar (figura # 11), las horas de suficiente radiación solar (figura # 12) y la velocidad del viento en la zona de estudio (figura # 13).

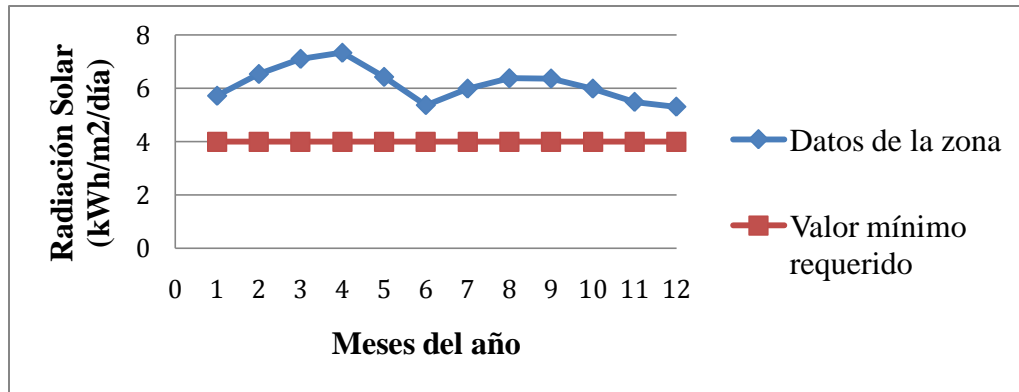


Figura # 11 : Promedio Mensual de Radiación Solar sobre una superficie horizontal (kWh/m²/d). [37]

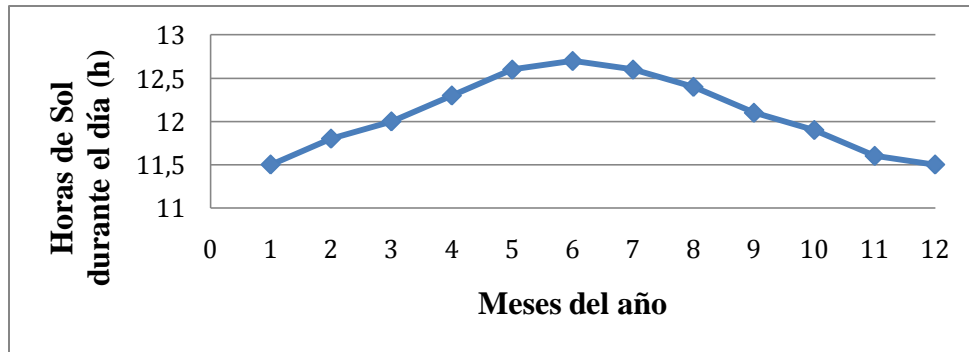


Figura # 12 : Promedio mensual de horas con luz solar (h). [37]

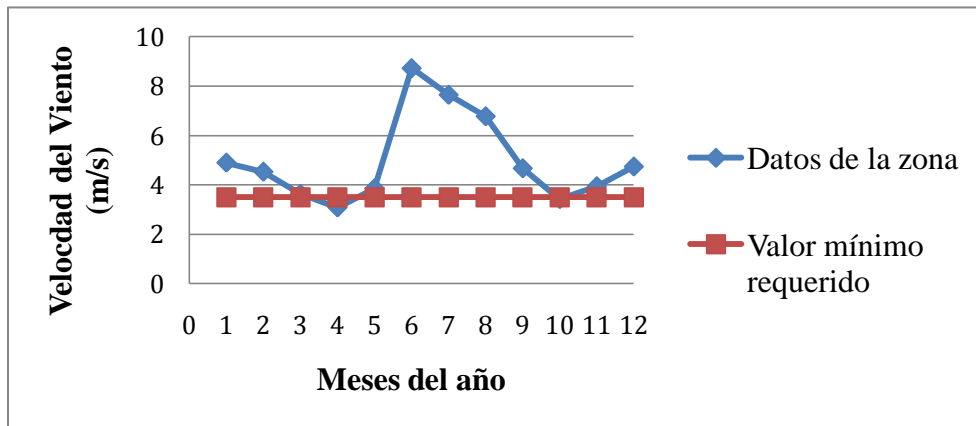


Figura # 13 : Promedio mensual de la velocidad del viento para diferentes tipos de vegetación y superficies (m/s). *Altura* 10 m [37]

En las figuras anteriores, se observa que el comportamiento climatológico en la zona de estudio, es relativamente constante. En el caso de la radiación solar (figura # 11), se observa una disminución de la misma en el mes de junio, sin embargo, cumple con los requerimientos mínimos necesarios presentados en la tabla # 12. Las horas de luz solar se mantiene constante durante todo el año. Finalmente, la velocidad del viento es constante durante casi todo el año, presentando un aumento de la misma en los meses de mayo a septiembre.

Sabiendo que se cumple con los requerimientos climatológicos mínimos necesarios, quedan definidos los parámetros operacionales que permitirán dimensionar el sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) que alimentará al sistema de alumbrado público.

4.4. Cuantificación de los recursos

Una vez analizados los datos meteorológicos obtenidos, se evalúa cuanta potencia se puede extraer de cada uno de estos recursos naturales, para así determinar si éstos pueden suplir la demanda estimada para el proyecto.

Recurso solar:

Entre los diferentes tipos de paneles explicados en el capítulo III, los paneles cristalinos tienen una eficiencia superior a los amorfos, pero para la misma potencia, los paneles amorfos ocupan más superficie.

A todos los paneles fotovoltaicos les afecta mucho la temperatura en su funcionamiento, ya que, cuanto más caliente está el panel menos produce. La potencia pico que caracteriza un panel está medida a 25°C de temperatura ambiente y un punto a favor de los paneles amorfos es que les afecta menos la temperatura y son un poco más económicos que los cristalinos.

Sin embargo, dentro de los cristalinos en general, los monocristalinos tienen un poco más de eficiencia, pero depende mucho de qué modelos y fabricantes, hay paneles policristalinos de algunos fabricantes más eficiente que otros monocristalinos de otros fabricantes.

Por lo antes expuesto se escogerá los paneles cristalinos por ser más eficientes y por ocupar menos superficie que los amorfos para la misma potencia; en particular el policristalino que es más económico que el monocristalino.

Si se supone que se va a utilizar paneles como los mostrados en el anexo N° 9 para la plaza y N° 10 para la autopista, los cuales poseen:

- a) Tensión nominal: 24 V_{DC}.
- b) Dimensiones=1952*992*50mm

Y conociendo que Ciudad Caribia se localiza entre las coordenadas 10°53'33" de latitud y 67°03'30" de longitud. Se puede determinar la inclinación de los mismos y la potencia aprovechable por ellos.

En base a los datos anteriores se tiene lo siguiente:

- Latitud: 10, 5333°
- Inclinación del panel: latitud + 15° = 10,5333°+15° = 25,5333°

Según la ecuación # 2, tenemos la energía aprovechable:

$$E_T = 6,170 \frac{kWh}{m^2 \cdot día} \cdot (1,956m \cdot 0,992m) \cdot 14,4 = 172,396 \frac{kWh}{día}$$

Y la potencia aprovechable según la ecuación # 3:

$$P_s = \frac{172,396 \frac{kWh}{día} \cdot 5,5}{24} = 39,507 kW$$

Recurso eólico:

A pesar de que se tiene un viento considerado “Marginal”, es posible construir un proyecto con energía eólica como el que se desea proyectar, ya que es de baja potencia y la velocidad del viento que exige el mini aerogenerador que forma parte de la luminaria es menor a la que se da en esa zona.

Si la densidad de la masa de aire es $1,225 \frac{kg}{m^3}$ y utilizando un aerogenerador de baja potencia como el mostrado en el anexo # 14:

- a) Tripala.
- b) Diámetro del rotor: 1,8 m.
- c) Velocidad del viento necesaria para arrancar: 2,5 m/s.

Según la ecuación # 12, tenemos la energía aprovechable:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(3,78 \frac{m}{s}\right)^3 = 33,081 \frac{W}{m^2}$$

La potencia aprovechable según la ecuación # 14 será:

$$P_e = \frac{1}{2} \cdot 0,507 \cdot 1,225 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (3,6m)^2}{4}\right) \cdot \left(3,78 \frac{m}{s}\right)^3 = 170,719 W$$

Debido a la falta de información del comportamiento diario del viento, se considerará que hay momentos en los cuales la velocidad del viento será tan mínima que no supere la velocidad de arranque del aerogenerador y no aportará energía al sistema, por lo cual, en vez de considerar que el aerogenerador trabajará las 24 horas (caso en el que el sitio de estudio presente siempre una velocidad de viento mayor a la de arranque que es 2,5 m/s) se asumirá que aportará energía por 12 horas según criterios de la empresa y según [38]. Entonces queda que el aerogenerador aporta una potencia de:

$$Pe = 170,719W \cdot 12h = 2048,628Wh$$

4.5. Especificaciones y equipos a instalar

Luego de determinar con cuanta potencia de cada recurso se cuenta, se procede a determinar cuáles serían los equipos más adecuados a utilizar en el proyecto. Se estudian las especificaciones técnicas de cada uno (de anexo N° 9 al 15) y se realiza el diseño del sistema completo. Para este sistema en particular, los equipos a instalar serán los siguientes:

- a) Carga
- b) Panel (es) solar (es)
- c) Aerogenerador de baja potencia
- d) Regulador
- e) Inversor
- f) Batería (s)

4.6. Dimensionamiento del sistema híbrido

4.6.1. Inversor

Se seleccionará un inversor en función de la potencia de consumo de la luminaria. Por lo que, en caso de necesitarse un inversor (que la luminaria tipo LED a instalar funcione en corriente alterna), se utilizará uno de potencia mayor a la que consume la carga. Quedando que, para la plaza se necesitará un inversor de potencia mayor a 100W y para la autopista mayor a 480W.

En el anexo # 15 se observan las especificaciones de un inversor que cumple las condiciones, para la plaza se utilizará el de 175 W, el cual consume 180 W y para la autopista el de 700 W, el cual consume 750 W.

Cálculo de consumo de la carga:

Plaza

Partiendo de la premisa de que la luminaria escogida cumple con las exigencias de iluminación de plazas según normativa, se procede a calcular la alimentación del sistema:

$$P=100 \text{ W}$$

$$V= 24 \text{ V}_{\text{DC}}$$

La potencia de salida del inversor es menor que la de entrada, debido a pérdidas que se producen en la transformación de energía DC en AC, para la alimentación de la luminaria. Por lo que si tenemos que para producir 175 W en el caso de la plaza, consume 180 W; entonces para que a la salida produzca 100 W, que es lo que consume la luminaria, entonces se determinará cuál deberá ser el consumo para producirlos:

$$\text{Consumo}_{\text{plaza}} = \frac{100W \cdot 180W}{175W} = 102,857W$$

Se calcula el consumo diario de la carga:

$$E = P_c \cdot h \quad (18)$$

$$E = 102,857W \cdot 12,08 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 1.242,514 \frac{Wh}{\text{día}}$$

Donde:

E: consumo diario de la carga [Wh].

P_c: potencia de la carga [W].

h: número de horas de consumo de la carga durante 1 día [h].

Cálculo de la energía de consumo del sistema

$$\text{Consumo.en.Ah} = \frac{1.242,514Wh}{24V} = 51,777Ah.en.CC$$

Factor de Seguridad: se tomará un factor de 20 % de seguridad en el dimensionamiento de los paneles, según lo recomendado por el Ing. Cristian Murati.

$$C_T' = (C_T * 1.20) \quad (19)$$

Donde:

C_T' : consumo total de la carga con un factor de seguridad de 20% [Ah].

$$C_T' = 51,771Ah * 1.20 = 62,125Ah$$

Autopista

Considerando que la luminaria escogida cumple con las exigencias de iluminación para vías rápidas según normativa, se procede a calcular la alimentación del sistema:

$$P=480 \text{ W} \quad V= 24 \text{ V}_{\text{DC}}$$

Para el caso de la autopista, la carga consume 480 W, y el inversor escogido consume 750 W para producir 700 W, a continuación se determina el consumo real del inversor para satisfacer la carga de 480 W:

$$\text{Consumo}_{\text{ autopista}} = \frac{480\text{W} \cdot 750\text{W}}{700\text{W}} = 514,285\text{W}$$

Se calcula el consumo diario de la carga según la ecuación # 18:

$$E = 514,285\text{W} \cdot 12,08 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 6.212,571 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

Cálculo de la energía de consumo del sistema

$$\text{Consumo.en.Ah} = \frac{6.212,571\text{Wh}}{24\text{V}} = 258,857 \text{Ah.en.CC}$$

Factor de Seguridad: se tomará un factor de 20 % de seguridad en el dimensionamiento de los paneles, según la ecuación # 19.

$$C_T' = 258,857 \text{Ah} * 1.20 = 310,628 \text{Ah}$$

4.6.2. Sistema solar fotovoltaico

4.6.2.1. Cálculo del Número de Módulos o Paneles Solares:

Plaza:

En Paralelo [ecuación # 4]:

$$N_{pp} = \frac{62,125Ah}{7,95A * 5,5horas} = 1,420módulos \approx 2módulos$$

En Serie [ecuación # 5]:

$$N_{ps} = \frac{24V}{24V} = 1módulo$$

Cálculo del Número Total de Módulos o Paneles Solares [ecuación # 6]

$$N_{TP} = 2 \cdot 1 = 2.módulos$$

Autopista:

En Paralelo [ecuación # 4]:

$$N_{pp} = \frac{310,628Ah}{8,15A * 5,5horas} = 6,929módulos \approx 7módulos$$

En Serie [ecuación # 5]:

$$N_{ps} = \frac{24V}{24V} = 1módulo$$

Cálculo del Número Total de Módulos o Paneles Solares [ecuación # 6]

$$N_{TP} = 7 \cdot 1 = 7 \text{módulos}$$

4.6.3. Regulador

Para realizar el cálculo según la ecuación # 8, se deberá estimar una corriente de funcionamiento del aerogenerador; si se observa su curva característica de la potencia (anexo # 14) y el comportamiento del viento para la zona de estudio (figura # 8), se tiene que el valor más alto de la velocidad del viento es para el mes de junio de aproximadamente 7 m/s, y que para 8 m/s se genera una potencia de aproximadamente 300 W, lo cual tomaremos como referencia, ya que se sabe que por el comportamiento del viento en esa zona, nunca superará ese valor. Para 300 W corresponderá una corriente de:

$$I_A = \frac{300W}{24V} = 12,5A$$

Plaza:

$$I_R = 1.1 * (2 \cdot 7,95A + 12,5A) = 31,240A.$$

Para este proyecto se utilizará un regulador de tensión 24V y corriente mayor de 31,240 A.

Autopista:

El regulador que se utilizará tendrá una corriente máxima de operación un 10% superior a la máxima corriente nominal del sistema. Según la ecuación # 9 se tiene:

$$I_R = 1.1 \cdot (7 \cdot 8,15 + 12,5) = 76,505 A.$$

Para este proyecto se utilizará un regulador de tensión 24V y corriente mayor de 76,505 A.

Se podría utilizar un regulador con características similares a los mostrados en el anexo # 12, para cada caso.

4.6.4 Batería o acumulador

Teniendo las especificaciones técnicas de los equipos necesarios para la alimentación del sistema y las características eléctricas de la carga, se puede realizar el diseño de la parte de alimentación del proyecto.

4.7. Elección del sistema de almacenamiento

Plaza:

Cálculo de la capacidad del banco de baterías necesario en Ah: (según ecuación # 7)

$$C_B = 62,125 Ah * \frac{4 \text{ días}}{0,95 * 0,8} = 326,973 Ah$$

Para este proyecto se utilizarán baterías solares, las cuales poseen una tensión nominal de 24V y una capacidad en Ah de 200. Esta batería es de ciclo profundo con una profundidad de 80% (0.8). (Ver hoja de especificaciones en el anexo # 11).

Cálculo del número total de baterías:

$$N_{TB} = \frac{C}{C_B} \quad (20)$$

Donde:

N_{TB} : número total de las baterías a utilizar.

C: capacidad en Ah necesarios para satisfacer el sistema.

C_B : capacidad de la batería [Ah].

$$N_{TB} = \frac{326,973Ah}{200Ah} = 1,634.baterías \approx 2baterías$$

Autopista:

$$C_B = 310,628Ah * \frac{4días}{0,95 * 0,8} = 1.634,884Ah$$

Cálculo del número total de baterías:

Para satisfacer la demanda en Ah necesaria, tenemos varios escenarios posibles, se pueden conseguir baterías comerciales de 4V, 6V, 12V, 24V. Debido a que el sistema funciona con una tensión de 24 V y necesita una capacidad mínima de 1.634,884 Ah, se pueden hacer arreglos en serie y/o paralelo para satisfacer el sistema. A continuación se presentan las características de algunas baterías que pudieran ser utilizadas en el proyecto, para luego determinar cuál sería el arreglo más apropiado.

Tabla # 17 : Arreglos de las baterías a utilizar para el diseño de la autopista según su capacidad.

Tensión (V)	Capacidad (Ah) C_{120}	Arreglo
6V	300	24 baterías (6 ramas de 4 baterías en serie)

Continuación de la tabla # 17:

12V	250	14 baterías (7 ramas de 2 baterías en serie)
24V	200	8 baterías en paralelo

Para este proyecto se podrían utilizar baterías solares, igual que para el caso de la plaza, las cuales poseen una tensión nominal de 24V y una capacidad en Ah de 200. Esta batería es de ciclo profundo con una profundidad de 80% (0.8).

Se utilizó ésta porque requiere menos unidades a colocar en el poste. (Ver hoja de especificaciones en el anexo # 11).

Finalmente se muestra en la siguiente tabla cuantos equipos se necesitan por cada punto de luz, tanto para el caso de la plaza como de la autopista:

Tabla # 18: Cuadro resumen de las características óptimas del sistema.

Parámetro	PLAZA	AUTOPISTA	
Consumo de la carga [W]	102,857 W	514,285 W	
Horas de consumo	12,08 h		
Consumo total en función del tiempo	1.242,514 Wh	6.212,571 Wh	
Consumo total en Ah	62,125 Ah	310,628 Ah	
Corriente necesaria en el regulador	>31, 240 A	>76,505 A	
Días de autonomía	4 días		
Capacidad de la batería	326,973 Ah	1.634,884 Ah	
Dimensiones	Forma: irregular Área≈ 50,4 m ²	Longitud	2.927,000 m
		Ancho de la calzada	21,580 m
		Isla central	0,850 m

Tabla # 19: Cantidad necesaria de cada uno de los equipos por punto de luz.

Equipo	Plaza	Autopista
Equipo LED	1	1
Panel policristalino	2	7
Aerogenerador (1kWh)	1	1
Batería (200 Ah)	2	8
Regulador	1	1
Inversor	1	1
Postes	1	1

4.7.1. Propuesta alternativa al diseño de la autopista

Los cálculos realizados hasta ahora determinan los equipos necesarios para que la carga pueda ser satisfecha por el sistema solar fotovoltaico solo y teniendo el sistema eólico como refuerzo.

De manera de hacer factible el sistema, se realizará el mismo procedimiento de cálculo del punto 4.5, pero considerando que para satisfacer la demanda a suplir, los paneles fotovoltaicos deberán trabajar necesariamente en conjunto con el aerogenerador. Al consumo total de la carga se le restará el aporte del aerogenerador, quedando sólo lo que debe aportar los paneles, esto con el fin de disminuir el número de paneles para abaratar los costos. Si el consumo total de la carga en Wh es:

Plaza	1.242,514 Wh
Autopista	6.212,571 Wh

Y la potencia que aporta el aerogenerador a una velocidad del viento de 3,78 m/s durante 12,08 horas de generación es de 2.048,628 W. Por lo que nos queda que para el caso de la plaza, el sistema eólico puede satisfacer completamente la demanda, pero debido a que el viento es un parámetro muy fluctuante, se seguirán considerando los dos paneles determinados en el punto 4.5.

Siguiendo el mismo procedimiento de cálculo del punto 4.5, pero considerando una autonomía de 1,5 días, ya que en caso de no haber suficiente iluminación para que los paneles generen energía, se considerará el aporte del viento, por lo cual se reducirán los días de autonomía. Por otra parte, se incorporará un reloj temporizador por cada luminaria, es decir, dos por cada punto de luz (como el observado en el anexo N° 13), de manera de ahorrar energía, para que una de las dos luminarias no funcionen en ciertas horas de la madrugada.

Se propone que de 1:00 am a 3:00 am se apague una luminaria de cada uno de los puntos de luz, luego a las 3:00 am se enciendan las luminarias que estaban apagadas y de 3:00 am a 5:00 am se apaguen las que estaban funcionando, esto nos da un ahorro de 2 horas de consumo de las luminarias, y crea un efecto de disposición de las mismas en tresbolillo, como se muestra en la figura # 14:

Figura # 14: Ilustración del control de iluminación propuesto para ahorro de energía.

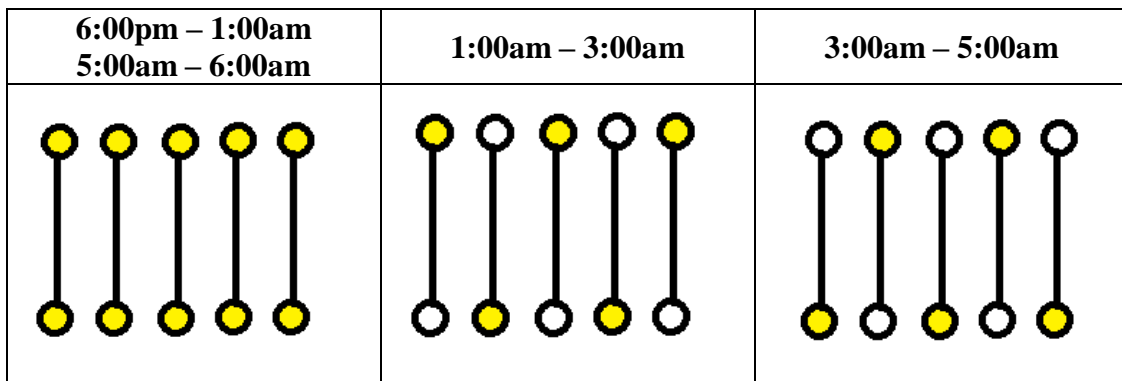


Tabla # 20: Cuadro resumen de las características optimizadas del sistema

Parámetro	AUTOPISTA
Consumo de la carga [W]	514,285 W
Horas de consumo	10,08 h
Consumo total en función del tiempo	5.183,992 Wh

Continuación de la tabla # 20:

Consumo total considerando aporte eólico	3.135,364 Wh	
Consumo total en Ah	156,768 Ah	
Cantidad de paneles necesarios	3,497 \approx 4	
Corriente necesaria en el regulador	>49,610 A	
Días de autonomía	1,5	
Capacidad de la batería	309,409 Ah	
Cantidad de baterías necesarias	2	
Dimensiones	Longitud	2.927,000 m
	Ancho de la calzada	21,580 m
	Isla central	0,850 m

4.8. Estudio del impacto ambiental

Para determinar los tipos de impactos a corto y largo plazo, se requiere realizar una investigación de las leyes y normativas vigentes en Venezuela con respecto al ambiente. En principio, se tienen aquellos impactos que se pudieran producir antes y durante el desarrollo y funcionamiento del sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) y los que se producen después, es decir, la disposición final de algunos de los equipos.

La generación de energía eléctrica a partir de la luz solar y del viento no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el efecto invernadero. A continuación se determina la cantidad de emisiones de CO₂ que se produciría si el proyecto de alumbrado público estuviera alimentado por las plantas de generación del país, en vez de un sistema híbrido de energía alternativa.

Sabiendo que la instalación del sistema híbrido consume para cada caso:

Plaza:

$$\text{Consumo.anual} = 1,242 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 365 \text{días} = 453,330 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Autopista:

$$\text{Consumo.anual} = 6,212 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 365 \text{días} = 2.267,380 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Autopista optimizada (sección 4.7.1.):

$$\text{Consumo.anual} = 3,135 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 365 \text{días} = 1.144,275 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Y que se emiten 0,495 kg CO₂ por cada kWh, nos quedará que la cantidad de CO₂ que se dejará de arrojar al ambiente será:

Plaza:

$$\text{CO}_2 = 453,330 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,495 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 224,398 \text{kg.CO}_2$$

Autopista:

$$\text{CO}_2 = 2.267,380 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,495 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 1.122,353 \text{kg.CO}_2$$

Autopista optimizada (sección 4.7.1.):

$$\text{CO}_2 = 1.144,275 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,495 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 566,416 \text{kg.CO}_2$$

Finalmente se obtuvieron los valores de emisiones de CO₂ que se dejaría de arrojar al ambiente si se llegara a implementar el proyecto diseñado con energía alternativa.

Otros aspectos a tener en cuenta en el impacto ambiental son los siguientes:

En el caso de las baterías ácido - plomo, las cuales son las más utilizadas en el mercado, se debe tener en cuenta lo siguiente:

Daños: algunos de los riesgos asociados a las baterías, son los siguientes:

- a) Inhalación de gases o vapores tóxicos.
- b) Explosión
- c) Corrosión.
- d) Puede ser tóxico al entrar en contacto con sustancias nocivas.

En caso de derramamiento pudiera presentarse:

- a) Contaminación de los suelos.
- b) Contaminación de las aguas.
- c) Contaminación del aire.

Y en cuanto a la salud, puede producir quemaduras.

Manejo del equipo: se debe tener mucho cuidado con el manejo de las baterías, las personas encargadas de su manipulación, deberán recibir la capacitación necesaria por parte de la empresa para su manejo, traslado y solventar accidentes o incidentes según las disposiciones de la norma COVENIN 2670 Materiales peligrosos. Guía de respuestas de emergencias e incidentes o accidentes.

Entre las normas de seguridad que se tienen en CORPOELEC para el manejo de las baterías son las siguientes:

- a) Se debe utilizar: guantes de neopreno, lentes de seguridad, calzado de seguridad, casco y ropa protectora.
- b) Tener cuidado de no voltear las baterías durante su manipulación.
- c) Se debe evitar la rotura de las baterías, se debe recoger el ácido derramado con material absorbente adecuado, el cual está disponible en el área de almacenamiento de las mismas.

Almacenamiento y transporte: el almacenamiento de las mismas se regirá según el decreto 2635, capítulo II, en el cual se indica cuáles son las condiciones del sitio en el cual se almacenarán y cómo deberá ser el transporte de las mismas. Algunas condiciones son:

- a) No almacenar con desechos domésticos.
- b) Debe estar a salvo de inundaciones.
- c) Deberá estar lejos de áreas de oficinas y operativas.
- d) El almacenamiento debe ser por cortos periodos.
- e) El piso del lugar de almacenamiento debe ser impermeable, liso y con una leve inclinación (1%).
- f) Se deberá disponer de salidas de emergencia bien señalizadas.
- g) No se deberán colocar en cajas de cartón o bolsas.
- h) No se deberán apilar de manera inadecuada.

En cuanto al transporte, se deberá cumplir con la resolución 40 de la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela (Caracas jueves 29 de Mayo de 2003), la cual establece los requisitos que deben cumplir las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas para la inscripción ante el Registro de Actividades

Susceptibles de Degradar el Ambiente llevado por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, y para obtener la autorización de manejadores de sustancias, materiales y desechos peligrosos, de conformidad con los artículos 65 y 66 de la Ley sobre Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos.

Dentro de la empresa se utilizarán montacargas y fuera de la misma se deberá poseer las autorizaciones necesarias para el traslado específico de este material peligroso recuperable y se debe poseer dentro del vehículo el material necesario para recoger en caso de derramamiento.

Disposición final: las baterías son consideradas como material peligroso recuperable; en Venezuela, la disposición final se rige por el decreto 2635 y la Ley de sustancias, materiales y desechos peligrosos. En caso de que en el país no se cuente con la tecnología necesaria para la recuperación de estos desechos, se exportarán al país de origen para su recuperación, según el Convenio de Basilea, el cual trata sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, según indica la Licenciada Nataly Vincent en una entrevista que se realizó.

Al finalizar la vida útil de las baterías, se retiran del sistema, se envían al almacén y de ahí deberán ser devueltas a los proveedores de las mismas para ser recicladas o recuperadas. Este tipo de material debe ser atendido según lo establecido en el artículo 13 numeral tres de la Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, el cual expresa:

“Aprovechar los materiales peligrosos recuperables permitiendo su venta a terceros, previa aprobación por parte del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, por medio de reutilización, reciclaje, recuperación o cualquier otra acción dirigida a obtener materiales reutilizables o energía”.

En Venezuela, la empresa Duncan es la única que posee una planta regeneradora, capaz de realizar la disposición final de las baterías. De hecho, en el primer cambio de baterías realizado al sistema de alumbrado público de la Av. Bolívar, dicha empresa recibió las baterías para la disposición final de las mismas aún cuando ellos no eran los proveedores de dichas baterías, según indica la Licenciada Nataly Vincent en una entrevista que se realizó.

En el caso de las baterías estacionarias cuyo electrolito es de gel, nunca despararrarán el electrolito (aún si se rompe la caja). Aparte no dejan escapar grandes cantidades de gases al ser cargadas (menos del 4% del total) siendo ideales en instalaciones fotovoltaicas donde el banco de baterías debe ubicarse en un lugar habitable. Como no requieren mantenimiento (agregado de agua), se las usa en instalaciones donde la supervisión es infrecuente o nula. Esta característica puede ser útil cuando el usuario de un sistema FV no quiere o puede mantener el banco de batería. El problema con estas baterías es que son más costosas que las de plomo – ácido.

Los paneles se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los módulos fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno. Sn embargo, su disposición final se regirá según el Convenio de Basilea: exportación y manejo de desechos sólidos.

En el caso de las luminarias tipo LED, a diferencia de las lámparas de descarga, éstas no contienen gases tóxicos como el mercurio que pudieran causar daños al ambiente y a los seres vivos, en caso de estar expuestos.

4.9. Evaluación económica del proyecto

En primer lugar se determinará el beneficio que presenta la instalación de energía alternativa, ya que se dejará de consumir barriles de petróleo al no ser necesaria la quema de combustibles fósiles para la alimentación del sistema, y esto se transforma en barriles que pueden ser exportados y generar un ingreso para la nación. Por otra parte, se debe considerar que al reducir las emisiones de CO₂ se mejora la calidad de vida en materia de salud de los venezolanos y la vida es algo que no tiene precio; esto sería un aporte de la empresa CORPOELEC para el país bajo el enfoque de la responsabilidad social empresarial.

Conociendo las siguientes equivalencias [42] y el consumo anual determinado en la sección anterior:

$$\Rightarrow 1 \text{ kWh} = 860 \text{ gr de petróleo}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ barril} = 159 \text{ litros} = 138.330,000 \text{ gramos de petróleo ligero} = 147\$$$

$$\Rightarrow 1\$ = 4,3\text{BsF}$$

A continuación se determinará para cada uno de los diseños la cantidad de barriles de petróleo equivalentes al ahorro de energía anual, llevados a BsF:

Plaza:

$$\text{Petróleo.ahorrado} = 453,330 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot \frac{860\text{gr}}{1\text{kWh}} \cdot \frac{1\text{barril}}{138.330,000\text{gr}} \cdot \frac{147\$}{1\text{barril}} \cdot \frac{4,3\text{BsF}}{1\$}$$

$$\text{Petróleo.ahorrado} = 1.781,485 \frac{\text{BsF}}{\text{año}}$$

Autopista:

$$\text{Petróleo.ahorrado} = 2.267,380 \frac{kWh}{\text{año}} \cdot \frac{860gr}{1kWh} \cdot \frac{1barril}{138.330,000gr} \cdot \frac{147\$}{1barril} \cdot \frac{4,3BsF}{1\$}$$

$$\text{Petróleo.ahorrado} = 8.910,296 \frac{BsF}{\text{año}}$$

Autopista optimizada (sección 4.7.1.):

$$\text{Petróleo.ahorrado} = 1.144,275 \frac{kWh}{\text{año}} \cdot \frac{860gr}{1kWh} \cdot \frac{1barril}{138.330,000gr} \cdot \frac{147\$}{1barril} \cdot \frac{4,3BsF}{1\$}$$

$$\text{Petróleo.ahorrado} = 4.496,745 \frac{BsF}{\text{año}}$$

Se tiene la cantidad de dinero equivalente a barriles de petróleo que se ahorraría anualmente. Ahora se determinará la inversión inicial del proyecto:

Costos de iluminación con energía alternativa

Tabla # 21: Costo de cada uno de los equipos de energía alternativa a instalar en la plaza.

Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo General
LED	20	5.501,979 Bs	110.039,580 Bs
Panel	40	9.675,000 Bs	387.000,000 Bs
Aerogenerador	20	1.714,066 Bs	34.281,320 Bs
Batería	40	8.256,000 Bs	330.240,000 Bs
Regulador	20	430,000 Bs	8.600,000 Bs
Inversor	20	610,100 Bs	12.202,000 Bs
Inversión inicial			882.362,900Bs

Tabla # 22: Costo de cada uno de los equipos de energía alternativa a instalar en la autopista.

Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo General
LED	196	3.674,373 Bs	720.177,108 Bs
Panel	686	10.105,000 Bs	6.932.030,000Bs
Aerogenerador	98	1.714,066 Bs	167.978,468 Bs
Batería	784	8.256,000 Bs	6.472.704,000Bs
Regulador	98	387,000 Bs	37.926,000 Bs
Inversor	98	2.034,230 Bs	199.354,540 Bs
Inversión inicial			14.530.170,120 Bs

Tabla # 23: Costo de cada uno de los equipos de energía alternativa a instalar en el diseño optimizado de la autopista.

Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo General
LED	196	3.674,373 Bs	720.177,108 Bs
Panel	392	10.105,000 Bs	3.961.160,000Bs
Aerogenerador	98	1.714,066 Bs	167.978,468 Bs
Batería	196	8.256,000 Bs	1.618.176,000Bs
Regulador	98	387,000 Bs	37.926,000 Bs
Inversor	98	2.034,230 Bs	199.354,540 Bs
Reloj temporizador [43]	196	270,091 Bs	52.937,836 Bs
Inversión inicial			6.757.709,952 Bs

Con el diseño optimizado el ahorro económico se da con la siguiente relación:

$$Relación = \frac{14.530.170,120Bs}{6.757.709,952Bs} = 2,150$$

Como se observa, la inversión inicial se redujo a más de la mitad.

Reposiciones:

Tabla # 24: Vida útil de cada uno de los equipos.

Equipo	Vida útil en años
LED	11 - 13
Panel	25
Aerogenerador	25
Batería	5
Regulador	25
Inversor	20
Reloj Temporizador	10

Según de tarifas y facturación de CORPOELEC, se tiene que la tarifa de alumbrado público únicamente posee cargo por energía (a diferencia de las tarifas residenciales no posee monto fijo en Bs.). Es exclusiva para el servicio de alumbrado público de las calles, autopistas, avenidas, carreteras, etc. El precio de la tarifa se muestra en la siguiente tabla:

Tabla # 25: Tarifa de alumbrado público por consumo de energía.

PRECIO	UNIDAD	DETALLE DE APLICACIÓN
134,5269	Bs./kWh	Cargo por Energía

Por lo que nos queda que el ahorro en Bs. por kWh consumido anualmente será de:

Plaza:

$$\text{Ahorro[Bs.]} = 453,330kWh \cdot 134,526 = 60.984,671Bs.$$

Autopista:

$$\text{Ahorro[Bs.]} = 2.267,380\text{kWh} \cdot 134,526 = 305.021,561\text{Bs.}$$

Autopista optimizada (sección 4.7.1.):

$$\text{Ahorro[Bs.]} = 1.144,275\text{kWh} \cdot 134,526 = 153.934,738\text{Bs.}$$

Este dinero, es el que se ahorrarían los entes encargados de costear el consumo de energía por carácter de alumbrado público, en municipios y alcaldías. También se puede considerar desde el punto de vista de CORPOELEC como empresa energética, como su finalidad es abastecer de energía al país, pudiera tomarse este ahorro como un aprovechamiento de energía, ya que en vez de disponerla para este proyecto, se puede destinar para otro uso.

Costos de iluminación con energía convencional

Tabla # 26: Costo anual de la energía convencional en la plaza.

Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo General
LED	20	5.501,979 Bs	110.039,580 Bs
Consumo anual			60.984,671Bs
Inversión inicial			171.024,251 Bs

Tabla # 27: Costo anual de la energía convencional en la autopista.

Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo General
LED	196	3.674,373 Bs	720.177,108 Bs
Consumo anual			305.021,561 Bs
Inversión inicial			1.025.198,669 Bs

Tabla # 28: Costo anual de la energía convencional en la autopista optimizada.

Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo General
LED	196	3.674,373 Bs	720.177,108 Bs
Consumo anual			153.934,738 Bs
Inversión inicial			874.111,846 Bs

Desarrollo del cálculo

En primer lugar se determinará el gasto anual del proyecto, tomando en cuenta el tiempo de vida de cada uno de los equipos y la tasa activa de interés que se usará será el promedio de las ofrecidas por los tres siguientes bancos:

Banco del Tesoro	17,13 %
Banco Mercantil	19,51 %
Banco de Venezuela	17,25 %

El interés promedio de los tres bancos presentados, nos indicará el interés financiero ($i_F=0,18$), el cual se deberá llevar a interés real según la ecuación 35 para realizar los cálculos en dinero verdadero.

Tomando en cuenta que la inflación los valores del IPC de los últimos 4 años que ha publicado el Banco Central de Venezuela y con el 2007 como año base, se calculó una inflación promedio de 24,6%. Nos queda que el interés real será:

$$i_R: -0,052$$

Luego, con la ecuación 36 se determinarán las anualidades o pagos anuales (a) de cada uno de los equipos a instalar para cada caso.

Tabla # 29: Anualidades de cada uno de los equipos a utilizar en el diseño de energía alternativa.

ENERGÍA ALTERNATIVA	CASO	EQUIPO	n	Co [Bs]	a [Bs]	
	ENERGÍA ALTERNATIVA	PLAZA	LED	11	110.039,580	7.110,000
Panel			25	387.000,000	7.070,000	
Aerogenerador			25	34.281,320	626,480	
Batería			5	330.240,000	55.930,000	
Regulador			25	8.600,000	157,160	
Inversor			20	12.202,000	328,130	
Anualidad total				71.230,000		
ENERGÍA ALTERNATIVA	AUTOPISTA	LED	11	720.177,110	46.851,364	
		Panel	25	6.932.030,000	128.734,494	
		Aerogenerador	25	167.978,470	3.119,522	
		Batería	5	6.472.704,000	1.099.773,030	
		Regulador	25	37.926,000	704,322	
		Inversor	20	199.354,540	5.428,590	
		Anualidad total				1.284.611,330
	AUTOPISTA OPTIMIZADA	LED	13	720.177,108	37.369,725	
		Panel	25	3.961.160,000	73.562,567	
		Aerogenerador	25	167.978,468	3.119,522	
		Batería	5	1.618.176,000	274.943,258	
		Regulador	25	37.926,000	704,322	
		Inversor	20	199.354,540	5.428,590	
		Reloj Temporizador	10	52.937,836	3.900,458	
Anualidad total				399.028,446		

Para el caso de la energía convencional se tiene las luminarias LED y el consumo anual de energía, pero considerando que el precio indicado del kWh es referente al año 2006, se trasladará en el tiempo según la ecuación 37, considerando que ha sido afectado por la inflación.

$$Consumo.anual(2012) = consumo.anual * (1 + \alpha)^n \quad (37)$$

Donde “n” es 6 años, ya que es el tiempo que ha transcurrido desde el 2006 al año actual. Por lo tanto, queda que el consumo anual será:

PLAZA	228.206,988 Bs.
AUTOPISTA	1.141.402,431 Bs.
AUTOPISTA OPTIMIZADA	576.029,719 Bs.

Ahora se determinará la relación beneficio – costo de cada alternativa, donde el costo será la anualidad total que involucra todos los equipos necesarios para la alimentación con energía alternativa y el beneficio será el ahorro económico por dejar de producir esa energía. Para el caso de la energía convencional, el costo será anualidad total de las luminarias más el consumo de energía anual y el beneficio será el dinero que se ahorra anualmente por reposiciones de equipos. En la siguiente tabla se observan los beneficios, costos y la relación entre ambos. La solución que presente una mayor relación beneficio – costo, será la más adecuada a implementar.

Tabla # 30: Relación beneficio – costo del proyecto de la plaza alimentado por energía alternativa en contraste de la energía convencional.

	PLAZA	
	Energía Alternativa	Energía Convencional
Beneficio (B)	228.206,988 Bs	71.230,000 Bs
Costo (C)	71.230,000	235.316,988 Bs
Relación (B/C)	3,203	0,302

Tabla # 31: Relación beneficio – costo del proyecto de la autopista alimentado por energía alternativa en contraste de la energía convencional.

	AUTOPISTA	
	Energía Alternativa	Energía Convencional
Beneficio (B)	1.141.402,431 Bs	1.284.611,330
Costo (C)	1.284.611,330	1.188.253,795 Bs
Relación (B/C)	0,888	1,081

Tabla # 32: Relación beneficio – costo del proyecto optimizado de la autopista alimentado por energía alternativa en contraste de la energía convencional.

	AUTOPISTA OPTIMIZADA	
	Energía Alternativa	Energía Convencional
Beneficio (B)	576.029,719 Bs.	399.028,446
Costo (C)	399.028,446	613.399,444 Bs
Relación (B/C)	1,443	0,650

Se observa en las tabla # 29 que según la relación beneficio – costo del proyecto con energía alternativa es de 3,203, lo cual nos indica que es muy viable la implementación del diseño de la plaza en comparación con el proyecto alimentado por energía convencional. Y para el caso de la autopista, en las tablas # 30 y 31 se observa que es viable el proyecto optimizado de la misma, ya que la relación beneficio – costo de la opción con energía alternativa es mayor en este caso, que en el caso de la autopista sin optimizar.

CONCLUSIONES

Se determinaron los parámetros operacionales del sistema híbrido eólico – fotovoltaico para el funcionamiento con luminarias tipo LED, como el promedio mensual y anual de la radiación solar, las horas con suficiente luz solar, los días de oscuridad y la velocidad del viento, los cuales permitieron dimensionar el sistema híbrido (eólico-fotovoltaico) para la alimentación de un sistema de alumbrado público de una zona tipo E (plaza) y una zona tipo A (autopista).

Del INAMEH se obtuvieron los datos meteorológicos de todas las estaciones climatológicas que miden los parámetros operacionales antes mencionados, ubicadas en la Gran Caracas, las cuales se encuentran en Los Castillitos, Observatorio Cajigal, El Ávila, el Aeropuerto de Maiquetía y la Escuela Naval de Mamo. Estos datos se obtuvieron directamente desde la sede del instituto, aunque pueden obtenerse a través de la página web del mismo. Analizando dichos datos se tiene que el nivel de radiación solar y de velocidad del viento superan los valores mínimos necesarios para la implementación de un sistema de alimentación como el propuesto.

La zona de estudio escogida será la Ciudad Socialista Ciudad Caribia, ubicada en el sector Camino de los Indios. Se escoge esta zona debido a que esta ciudad se está construyendo bajo la misión vivienda y busca en la parte energética, seguir con lo planteado en el Plan de Desarrollo del Servicio Eléctrico Nacional 2005 -2024, el cual plantea un uso eficiente de la energía e incentiva el aprovechamiento de los recursos naturales para la producción de energía. Por lo tanto CORPOELEC que tiene como misión atender las necesidades energéticas de la nación, consideró la posibilidad de que este estudio se realizara en dicha zona. Y gracias a los datos meteorológicos obtenidos de las estaciones aledañas, las cuales son la de Maiquetía y la Escuela Naval de Mamo, y los datos específicos obtenidos satelitalmente del portal

web de la NASA, se determina que la zona escogida cumple los requerimientos mínimos necesarios especificados en el capítulo IV, para la implementación de un sistema de alimentación híbrido (eólico-fotovoltaico).

Teniendo la zona de estudio, se realizó el diseño de un sistema de alumbrado público para una plaza y para una autopista, basado en tecnología LED y alimentado por un sistema híbrido eólico – fotovoltaico. Y se puede concluir que para satisfacer los niveles de iluminación venezolanos para una zona tipo A (20.000 a 40.000 lumen, según se indica en el capítulo III); como es el caso de la vía que comunica Ciudad Caribia con la autopista Caracas – La Guaira, se requiere una lámpara tipo LED que consumirá 240 W y debido a que la disposición de las mismas será en isla central, queda que por cada punto de luz habrían dos luminarias, lo que nos da una carga a satisfacer de 480 W y para satisfacer esta carga durante 12 horas en condiciones óptimas, se necesitarán 7 paneles y 8 baterías, además de los otros equipos necesarios para el funcionamiento del sistema.

Por esta razón se realizaron ciertos ajustes en el diseño de la autopista, integrando un reloj temporizador a cada luminaria, para que estas funcionen menos horas; programando que en las horas de la madrugada, en la cual no hay mucho tránsito, una de las luminarias de cada uno de los puntos de luz se apague, dando la impresión al observador de una disposición de alumbrado tresbolillo, tal y como se propone en la sección 4.7.1., disminuyendo así la cantidad de horas de consumo y como consecuencia la carga a satisfacer, también se disminuyen los días de autonomía de 4 a 1,5 días y se da mayor importancia al aporte del aerogenerador, en consecuencia se reduce la cantidad de equipos a instalar a 4 paneles y 2 baterías. Este ajuste hace que el proyecto en la autopista sea viable, ya que en condiciones óptimas no lo es.

En cambio en el caso de la plaza, los criterios de iluminación son menores y en el mercado se encuentran lámparas LED que cumplen las exigencias de

iluminación venezolanas (3.000 a 10.000 lumen, según se indica en el capítulo III) y la potencia que consumen es bastante baja en comparación con las lámparas de descarga utilizadas tradicionalmente, por lo que es posible considerar la alimentación a través del sistema híbrido eólico – fotovoltaico.

Los criterios y normativas de iluminación utilizados, no dependen de la tecnología de la luminaria, ya que, son las luminarias las que deben adaptarse a las normativas. Esto se debe a que en las normativas se contemplan los criterios de iluminación para sistemas de alumbrado público, no para luminarias. Por lo que el fabricante de luminarias tipo LED, debe adaptarla de manera que cumpla con dichos criterios.

Para los diseños de este sistema, se consideró que las luminarias funcionan en corriente alterna (debido a que traen un rectificador incorporado de fábrica) y por lo tanto se necesitó dimensionar un inversor que convierta la corriente continua que viene de las baterías a corriente alterna para alimentar la carga. Sin embargo, existe la posibilidad de solicitar al fabricante que no incorpore dicho rectificador en las luminarias, de manera que éstas funcionen en corriente continua y no se necesite el inversor, lo que permitiría un ahorro económico en el proyecto. Para el caso de estudio en esta investigación, se dimensionó el inversor debido a criterios de la empresa, con respecto a condiciones operacionales de la misma, almacenamiento y compra masiva.

En el estudio no se tomó en cuenta el peso muerto en la estructura, ya que el diseño se basó en el dimensionamiento de cada uno de los equipos necesarios para el funcionamiento de un sistema híbrido eólico - solar. Cabe destacar, que el peso muerto en la estructura definirá las dimensiones de la base de cada uno de los postes y la robustez de los mismos.

Es importante destacar que, la altura que se determina en el desarrollo del diseño, será la altura a la cual se encuentra la luminaria, y por encima de ésta se encontrarán los paneles y luego el aerogenerador, considerando que la distancia entre los paneles y el aerogenerador deberá ser mayor a la longitud de la pala del rotor del mismo, de manera que los paneles no obstaculicen el funcionamiento del aerogenerador.

Se comparó el rendimiento de los sistemas tradicionales en contraste con los de energía alternativa y se concluye que al tener un sistema de alumbrado público alimentado por energía alternativa, se tiene mayor control sobre la iluminación, ya que al no haber canalizaciones entre las luminarias, se evita la dependencia entre las mismas, por lo que si se presenta alguna falla en el sistema, sólo se ve afectado un solo punto de luz. Por otra parte, se disminuye el mantenimiento de la instalación, ya que los equipos a instalar requieren de poco o nada de mantenimiento y esto es beneficioso especialmente en las zonas tipo A, en las cuales se complica el mantenimiento frecuente de la instalación.

La responsabilidad social empresarial implica una contribución económica, social y ambiental por parte de la empresa; por lo cual, el aporte de este proyecto bajo este enfoque será, en el aspecto social, la incorporación de tecnología nueva, capacitación del personal de la empresa en dicha tecnología y concientización con respecto al ahorro energético. En el aspecto económico no se aplica, debido a que la empresa no cobra esta energía.

Adicionalmente, con respecto a la gestión ambiental se tiene que el impacto ambiental se ve disminuido al utilizar este tipo de sistemas de energía alternativa, disminuyendo la quema de combustibles fósiles y por ende las emisiones de CO₂ al ambiente. Considerando que al reducir las emisiones de CO₂ se mejora la calidad de vida en materia de salud de los venezolanos, esto sería un aporte ecológico de la empresa CORPOELEC para el país. Otro aspecto positivo es que, al disminuir la

quema de combustibles fósiles, son menos los barriles de petróleo que se destinarían para el sector eléctrico pudiéndose disponer de los mismos para la venta colaborando así con el fortalecimiento económico del país y con el Plan Simón Bolívar que busca convertir a Venezuela en una potencia energética.

En el país la principal fuente de generación de energía es el recurso hídrico, seguido por el gas, según su disponibilidad, y luego por la quema de combustibles. A nivel nacional se tiene el consumo de combustible para el período del 2000 al 2004 fue del 28,36% según se indica en el Plan de Desarrollo del Sector Eléctrico Nacional 2005 - 2024. Cabe destacar que, se consideró que la energía que se deja de consumir, proviene netamente de la quema de combustible fósil, sin embargo, la energía que se consume en la zona capital no proviene sólo de la quema de combustible fósil, ya que también incluye energía proveniente de las centrales hidroeléctricas del país; por lo tanto, los cálculos realizados, indican el valor máximo de emisión de CO₂. A este valor se le resta el porcentaje de contribución de las centrales hidroeléctricas y arrojaría la emisión real de CO₂ al ambiente.

En el análisis económico se observa que la relación beneficio – costo de los diseños, indican que es viable la implementación de los mismos, a pesar de tener una elevada inversión inicial. Por su durabilidad tendrá alta rentabilidad a largo plazo.

Es beneficioso este tipo de investigación, ya que es un aporte a futuros proyectos que promuevan el uso de energía alternativa en el país, contribuyendo con los planes energéticos, sociales, económicos y políticos del Estado.

RECOMENDACIONES

Concluido el presente trabajo, se realizan las siguientes recomendaciones:

- a) Realizar la implementación de un punto de luz con todos los equipos necesarios para la alimentación con energía alternativa, para estudiar el comportamiento de este tipo de sistema híbrido propuesto y solventar las posibles debilidades que tenga el mismo para optimizarlo, tomando en cuenta los distintos criterios de carácter empíricos que no se han tomado en cuenta para este diseño.
- b) Evaluar periódicamente los avances en tecnología LED, ya que la misma es reciente y se encuentra en constante evolución, por lo que es probable que en poco tiempo se desarrollen nuevas luminarias que permitan optimizar de manera significativa, los diseños aquí propuestos.
- c) Solicitar al fabricante de la luminaria, que no incorpore el rectificador en las mismas, de manera que éstas puedan funcionar en corriente continua sin la necesidad de instalar un inversor.
- d) Tomar en cuenta el peso muerto de cada uno de los equipos a instalar en el poste, para determinar así las dimensiones correctas de la base del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Enríquez Harper, Gilberto. Manual práctico del alumbrado. México: LIMUSA, 2010, p.4.
- [2] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p.3.
- [3] Enríquez Harper, Gilberto. Manual práctico del alumbrado. México: LIMUSA, 2010, p.5.
- [4] OBRALUX. Manual de luminotecnia. p.150. [en línea] <http://www.obralux.com/pdf/luminotecnia.pdf> [Consulta 07/2011]
- [5] Enríquez Harper, Gilberto. Manual práctico del alumbrado. México: LIMUSA, 2010, p.p. 17 - 18.
- [6] OBRALUX. Manual de luminotecnia. p.151.
- [7] ídem [6]
- [8] ídem [6]
- [9] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p.12.
- [10] EGLO. Glosario [en línea]. < <http://www.eglo.com/index.php/spain/Spain/Guia/Glosario/Deslumbramiento> > [Consulta 27/11/11].
- [11] EDC Norma IIB-10-2007. “Niveles de iluminación para alumbrado público”, p.p. 11-13
- [12] El prisma. Apuntes [en línea]. < http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_electrica_y_electronica/luminotecniaailuminacion/default7.asp > [Consulta 27/11/11].
- [13] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p.90.
- [14] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p.89.
- [15] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p.16.
- [16] Gedler Rivero, Ionervy. Metodología para evaluar la factibilidad de una planta de generación híbrida con energías renovables. Ionervy Gedler Rivero (Tesis).- Sartenejas: Universidad Simón Bolívar, 2007.
- [17] Pareja Aparicio, Miguel. Energía solar fotovoltaica. España, 2010, p. 22.
- [18] Atlas de radiación solar del país vasco.
- [19] ídem [18].
- [20] Moragues, Jaime. Rapallini, Alfredo. Energía Eólica. Argentina, 2003. p. 6.
- [21] ídem [22]
- [22] ídem [21]
- [23] COVENIN 3290-1997. Alumbrado público: Diseño. p.7.
- [24] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p.p. 115 – 123.
- [25] O’Donell, Beatriz. Sandoval, José. Paukste, Fernando. Fuentes Luminosas.

- [26] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p.118.
- [27] COVENIN 2641-1989. Interruptores fotoeléctricos para alumbrado público. p.1.
- [28] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p.p. 124 – 126.
- [29] Norma de Diseño IIB-10 - 2007 EDC. Niveles de Iluminación para Alumbrado Público: Definiciones y métodos de medición. Tabla N° 2. p. 16.
- [30] Norma de Diseño IIB-10 - 2007 EDC. Niveles de Iluminación para Alumbrado Público: Definiciones y métodos de medición. Tabla N° 3. p. 16.
- [31] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p. 88.
- [32] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p. 87.
- [33] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p. 89.
- [34] Norma de Diseño IIB-5 - 2007 EDC. Criterios para proyectos de instalaciones de Alumbrado Público. Tabla N° 6. p. 15.
- [35] Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008, p. 74.
- [36] [en línea].< http://www.unesur.edu.ve/download/UNIDAD_IV_climatologia.pdf> [Consulta 27/04/12].
- [37] [en línea] < <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi>> [Consulta 30/09/2011].
- [38] [en línea] < http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/438/tesis_t646ec.pdf?sequence=1> [Consulta 01/06/2012].
- [39] ídem [37]
- [40] ídem [37]
- [41] [en línea] < http://postgrado.unet.edu.ve/aniversario/ambiente/v_duran.pdf> [Consulta 01/05/2012].
- [42] [en línea] < http://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CFsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fportaleducativo.educantabria.es%2Fcms_tools%2Ffiles%2Ff01ae594-0a35-4d92-9c9c-9fbf2727dbb6%2FAnexoVI.doc&ei=-N2zT8n9LKqz6gG2rYm9CQ&usq=AFQjCNEgYoN08QE-NbUYn560dbcIg55oTA&sig2=UZOTDgnd0RuheOfNbe4Nww> [Consulta 05/2012]
- [43] [en línea] < <http://www.soltronik.de/reloj-temporizador-12v-24-v/reloj-temporizador-12v-24v-24v-48-v-para-solarpanel-solarmod.html>> [Consulta 05/2012]
- [44] [en línea] < <http://www.economia48.com/spa/d/interes-real/interes-real.htm>> [Consulta 18/06/2012].

BIBLIOGRAFÍAS

Tesis.

Gedler Rivero, Ionervy. Metodología para evaluar la factibilidad de una planta de generación híbrida con energías renovables. Ionervy Gedler Rivero (Tesis).- Sartenejas: Universidad Simón Bolívar, 2007.

Francisco M. Gonzalez-Longatt*, Rubén Teran, Juan Méndez, Arturo Hernández, Frednides Guillen; Evaluación del Recurso Eólico en Venezuela: Parte I
Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, Dep. Ing. Eléctrica, Maracay, 2006.

Normas.

COVENIN 3290-1997 “Alumbrado público: Diseño”

COVENIN 3126-1994 “Alumbrado Público: Definiciones”

COVENIN 3625-2000 “Alumbrado Público: Construcción”

COVENIN 3626-2000 “Alumbrado Público: Mantenimiento”

COVENIN 2641-1989 “Interruptores fotoeléctricos para alumbrado público”

Norma de diseño (IIB - 5) – 2007 “Criterios para proyectos de instalaciones de alumbrado público”.

Norma de diseño (IIB - 10) – 2007 “Niveles de iluminación para alumbrado público: definiciones y métodos de medición”.

Libros.

Enríquez Harper, Gilberto. Manual práctico del alumbrado. México: LIMUSA, 2010.

Ereú, Miguel. Alumbrado público: Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, 2008.

Pareja Aparicio, Miguel. Energía solar fotovoltaica. España, 2010.

Entrevista

Entrevista realizada a la Lic. Nataly Vincent, Asesora de la división de manejo de residuos y desechos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, octubre 2011.

Entrevista realizada a la Lic. Geomar Rangel, Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, octubre 2011.

Entrevista realizada a la Lic. Marihuska García, INAMEH, septiembre 2011.

Internet.

NASA < <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi> > [Consulta: 2011]

Página oficial del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMEH
www.inameh.gob.ve [Consulta: 2011]

Página oficial de la empresa Cubasolar <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia18/HTML/articulo03.htm>> [Consulta: 2012].

ANEXOS