



DISSERTAÇÃO
Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Racionalización del Consumo de Energía Eléctrica y
Dimensionamiento de un Sistema de Autoconsumo
Conectado a Red en la Universidad Técnica de
Manabí-Ecuador***

Intriago Cedeño María Gabriela

Leiria, agosto de 2018



DISSERTAÇÃO
Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

***Racionalización del Consumo de Energía Eléctrica y
Dimensionamiento de un Sistema de Autoconsumo
Conectado a Red en la Universidad Técnica de
Manabí-Ecuador***

Intriago Cedeño María Gabriela

Disertación de Maestría realizada sobre la orientación conjunta del Doctor Pedro José Franco Marques, profesor de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Instituto Politécnico de Leiria y la coorientación de la Doctora Yolanda Ilosas profesora de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Manabí.

Leiria, agosto de 2018

Página en blanco intencionalmente

Dedicatoria

Iniciar una carrera profesional y terminarla de manera satisfactoria es un gran logro personal. Cuando inicias la vida estudiantil tienes muchas aspiraciones que en el camino se van haciendo más sólidas, van apareciendo nuevos desafíos, nuevos retos que se van alcanzando gracias a Dios, al mérito propio, al apoyo de nuestros seres queridos y a las enseñanzas de nuestros maestros.

Por ello en esta etapa de mi vida que reconozco a los demás como parte fundamental de mi superación, quiero dedicar este trabajo y cada uno de mis logros a Dios por haberme ayudado durante estos años, el sacrificio fue grande, pero Él siempre me dio la fuerza, sabiduría, paciencia y perseverancia para continuar y lograrlo.

A mi familia: mis padres, a quienes jamás encontraré la forma de pagar todo lo que me han dado, comenzando por la vida, el ejemplo de perseverancia y por todo su amor. El que me hayan brindado su mano en mis derrotas y logros, es lo que hace que este triunfo sea más de ellos que mío.

A mis hijos por ser mi motivación, mi fortaleza y los tesoros más grandes de mi vida, gracias a ellos descubrí el milagro de la vida. A mi esposo por creer en mí, por apoyarme y por ser ese amigo que estuvo ahí cada momento brindándome su amor, comprensión y paciencia.

Página en blanco intencionalmente

Agradecimientos

En esta etapa de mi vida, lo principal e indispensable es agradecer a Dios por las bendiciones que me da día a día, por cada oportunidad que me brinda, por ser mi fuente de inspiración y motivación para alcanzar mis metas con humildad y sencillez.

A mis padres Luis y Betsy por su constante apoyo y confianza, gracias por estar siempre conmigo y reconfortarme en los momentos más difíciles, sólo espero que puedan sentirse orgullosos de esta persona que tanto los ama y que anhela compartir todos sus ideales, esfuerzos y logros con ustedes.

A mis hijos que son mi inspiración para perseverar, luchar y ver la vida como la oportunidad única de amar, de crecer y apasionarse por lo que se hace, además por ser la razón de que todo tenga sentido y de que mi mirada se torne en querer ser ejemplo de superación y responsabilidad.

A mi esposo, quien ha sacrificado muchas cosas por ayudarme a cumplir esta meta, a quien amo tanto y agradezco por tenerme tanta paciencia, estar a mi lado en todo momento y por darme su amor todos los días, has sido mi motivación para no darme por vencida.

Por último, pero no menos importantes a todos los que hicieron posible este gran logro en mi vida, a la Universidad Técnica de Manabí y el Senescyt quienes confiaron en mí y me otorgaron la oportunidad de realizar este estudio de Posgrado, al Instituto Politécnico de Leiria quien me abrió sus puertas para brindarme la formación y capacitación necesaria para alcanzar nuevos conocimientos y finalizar de forma satisfactoria mis estudios en la maestría de Ingeniería de Energía y Ambiente. A mis tutores quienes fueron mis mentores y me acompañaron en todo el periodo de la Tesis, sin sus conocimientos y apoyo no hubiese sido posible alcanzar esta meta.

Les agradezco de corazón

Página en blanco intencionalmente

Resumen

Al ser la energía eléctrica el recurso más utilizado en el mundo por ser de vital importancia para el desarrollo de la sociedad se convierte en la razón principal de propiciar el agotamiento de varias reservas de combustibles fósiles producto de su generación y producir un desequilibrio en la estabilidad del planeta por los efectos contaminantes. Hoy en día somos totalmente dependientes de los combustibles fósiles en todos los aspectos; por ello fomentar el uso y aplicación de las energías renovables y eficiencia energética son la mejor manera de reducir el daño provocado al planeta, frenando los efectos que ocurrirán en el futuro.

La energía eléctrica generada a partir de fuentes de energía renovables presenta la ventaja de brindar una autosuficiencia que no solo conduce a una mejora del medio ambiente sino también incrementa la rentabilidad de una instalación, reduciendo los costes de energía y en general aumentando su eficiencia. Siendo conscientes de estas ventajas, este trabajo investigativo se orientó al estudio energético y económico de un proyecto que a partir de fuentes renovables de energía suministre electricidad en el esquema de generación distribuida, es decir se realizó el dimensionamiento de una Unidad de Producción de Autoconsumo (UPAC) para la Universidad Técnica de Manabí (UTM).

Además, se realizó una evaluación energética para encontrar oportunidades de racionalización de consumos de energía; como caso práctico el sistema de iluminación pública del campus universitario, con la finalidad de proponer no solo la autosuficiencia por Autoconsumo sino también el uso racional de energía.

Palabras clave: Energía renovable, Eficiencia energética, Autoconsumo, Racionalización de consumo

Página en blanco intencionalmente

Abstract

Since electric power is the most widely used resource in the world because it is of vital importance for the development of society, it becomes the main reason for fostering the depletion of several fossil fuel reserves as a result of its generation and producing an imbalance in stability of the planet because of the polluting effects. Today we are totally dependent on fossil fuels in all aspects; Therefore, promoting the use and application of renewable energies and energy efficiency are the best way to reduce the damage caused to the planet, slowing down the effects that will occur in the future.

The electric power generated from renewable energy sources has the advantage of providing self-sufficiency that not only leads to an improvement of the environment but also increases the profitability of an installation, reducing energy costs and generally increasing its efficiency. Being aware of these advantages, this research work was oriented to the energy and economic study of a project that, from renewable energy sources, supplies electricity in the distributed generation scheme, that is, the sizing of a Self-Production Production Unit (UPAC) for the Technical University of Manabí (UTM).

In addition, an energy evaluation was carried out to find opportunities to rationalize energy consumption; as a practical case, the public lighting system of the university campus, with the purpose of proposing not only self-sufficiency for self-consumption but also the rational use of energy.

Keywords: Renewable energy, Energy efficiency, Self-consumption, Consumption rationalization

Página en blanco intencionalmente

Lista de figuras

FIGURA 1-CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA (MTEP) [3].	2
FIGURA 2-CONSUMO MUNDIAL 2016 DE MATERIA PRIMA Y ENERGÍA (%) POR REGIÓN [3].	2
FIGURA 3-POTENCIA NOMINAL POR TIPO DE SISTEMA [4].	4
FIGURA 4-POTENCIA EFECTIVA POR TIPO DE SISTEMA [4].	4
FIGURA 5-ESTRUCTURA TRADICIONAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO [18].	24
FIGURA 6-NUEVA ESTRUCTURA CON LA PRESENCIA DE GD [18].	24
FIGURA 7-TURBINA DE CICLO COMBINADO [18].	26
FIGURA 8-ESQUEMA DE UNA MICROTURBINA DE DOBLE EJE [19].	27
FIGURA 9-CENTRAL MINIHIDRÁULICA CON ALBUFERA [20].	28
FIGURA 10-CONSTITUCIÓN GENERAL DE UNA TURBINA EÓLICA [22].	31
FIGURA 11-PARTES DE UN MÓDULO O PANEL FOTOVOLTAICO [23].	32
FIGURA 12-TIPOS DE RADIACIÓN [24].	34
FIGURA 13-ÁNGULO SÓLIDO [25].	36
FIGURA 14-TIPO DE LÁMPARAS [26].	40
FIGURA 15-ELEMENTOS DE CONEXIÓN DE LAS LÁMPARAS DE DESCARGA [26].	42
FIGURA 16-CONSTITUCIÓN DE UNA LÁMPARA DE MERCURIO DE ALTA PRESIÓN [25].	43
FIGURA 17-CLASE DE AISLAMIENTO [26].	47
FIGURA 18-RELOJ CONVENCIONAL, INTERRUPTOR ASTRONÓMICO Y SENSOR CREPUSCULAR [16].	48
FIGURA 19-CICLO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE DOBLE NIVEL DE POTENCIA [27].	48
FIGURA 20-UBICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ (GOOGLE EARTH PRO).	51
FIGURA 21-DIAGRAMA DE CARGA UTM (HOMER).	53
FIGURA 22-RADIACIÓN SOLAR (HOMER).	54
FIGURA 23-VELOCIDAD DEL VIENTO (HOMER).	55
FIGURA 24-CONFIGURACIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO (HOMER).	57
FIGURA 25-CONFIGURACIÓN TARIFARIA (HOMER).	59
FIGURA 26-CONFIGURACIÓN DEL INVERSOR (HOMER).	60
FIGURA 27-CONFIGURACIÓN DEL AEROGENERADOR (HOMER).	61
FIGURA 28-RESULTADO 1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE VELOCIDAD DE VIENTO (HOMER).	62
FIGURA 29-RESULTADO 2 SISTEMA DE ENERGÍA CONSIDERANDO LA RED Y UN SISTEMA FV (HOMER)...	62
FIGURA 30-RESULTADO 3 COSTO DE EE VS COSTO DE TECNOLOGÍA FV (HOMER).	64
FIGURA 31-RESULTADOS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA PROPUESTO (HOMER).	66
FIGURA 32-PRODUCCIÓN FV VS EL CONSUMO DE EE EN LOS MESES MARZO-ABRIL.	67
FIGURA 33-PRODUCCIÓN FV VS EL CONSUMO DE EE EN LOS MESES MAYO-JUNIO.	68
FIGURA 34-MONTAJE DE MÓDULO FV (SUNNY DESIGN WEB).	70
FIGURA 35-DISEÑO DE LOS INVERSORES (SUNNY DESIGN WEB).	71
FIGURA 36-MONITORIZACIÓN DE LA PLANTA FV (SUNNY DESIGN WEB).	72
FIGURA 37-DURACIÓN DEL PROYECTO Y AMORTIZACIÓN CASO 1 Y CASO 2 (SUNNY DESIGN WEB).	78
FIGURA 38-COMPARACIÓN COSTO DE ENERGÍA CASO 1 Y CASO 2 (SUNNY DESIGN WEB).	79
FIGURA 39-LUMINARIA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN (ELABORACIÓN PROPIA).	83
FIGURA 40-LUMINARIA LED (ELABORACIÓN PROPIA).	83
FIGURA 41-MONTAJE DE LUMINARIAS (DIALUX).	85
FIGURA 42-ILUMINACIÓN ACTUAL SECCIÓN 1A (ELABORACIÓN PROPIA).	86
FIGURA 43-ILUMINACIÓN ACTUAL SECCIÓN 1B (ELABORACIÓN PROPIA).	86
FIGURA 44-ILUMINACIÓN ACTUAL SECCIÓN 2 (ELABORACIÓN PROPIA).	87
FIGURA 45-ILUMINACIÓN ACTUAL SECCIÓN 3 (ELABORACIÓN PROPIA).	87
FIGURA 46-ILUMINACIÓN ACTUAL SECCIÓN 4 (ELABORACIÓN PROPIA).	88
FIGURA 47-ILUMINACIÓN ACTUAL SECCIÓN 5 (ELABORACIÓN PROPIA).	88
FIGURA 48-ILUMINACIÓN ACTUAL SECCIÓN 6 (ELABORACIÓN PROPIA).	88
FIGURA 49-ILUMINACIÓN ACTUAL SECCIÓN 7 (ELABORACIÓN PROPIA).	89
FIGURA 50-ILUMINACIÓN ACTUAL SECCIÓN 8 (ELABORACIÓN PROPIA).	89
FIGURA 51-LUMINARIA PHILIPS (DIALUX).	93
FIGURA 52-LUMINARIA LED TIPO COBRA [39].	93
FIGURA 53-LUMINARIA SYLVANIA (DIALUX).	94

Página en blanco intencionalmente

Lista de tablas

TABLA 1-POTENCIA NOMINAL Y EFECTIVA POR TIPO DE FUENTE [4].	4
TABLA 2-CLASE DE ILUMINACIÓN PARA VÍAS VEHICULARES [17].	22
TABLA 3-REQUISITOS FOTOMÉTRICOS MANTENIDOS POR LA CLASE DE ILUMINACIÓN PARA TRÁFICO MOTORIZADO CON BASE EN LA LUMINANCIA DE LA CALZADA [17].	22
TABLA 4-REQUISITOS MÍNIMOS DE ILUMINACION PARA TRÁFICO PEATONAL [17].	22
TABLA 5-TECNOLOGÍAS PARA LA GD [19].	25
TABLA 6-CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES MINIHIDRÁULICAS [20].	28
TABLA 7-APARIENCIA DE COLOR [26].	38
TABLA 8-ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA [26].	39
TABLA 9-CONSUMO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ (DATOS CNEL).	52
TABLA 10-ESTIMATIVA DE EE GENERADA POR EL SISTEMA FV (ELABORACIÓN PROPIA)	66
TABLA 11-DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO (SUNNY DESIGN WEB)	72
TABLA 12-AUTOCONSUMO-DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA FV (SUNNY DESIGN WEB).	74
TABLA 13 COSTES DEL SISTEMA CON SENSIBILIDAD TARIFARIA (<i>SUNNY DESIGN WEB</i>)	75
TABLA 14-COSTES DEL SISTEMA CON SENSIBILIDAD DE COSTES DE TECNOLOGÍA FV (<i>SUNNY DESIGN WEB</i>)	77
TABLA 15-RESUMEN COMPARATIVO DE LOS DIMENSIONAMIENTOS DE LA PLANTA FV (<i>HOMER Y SUNNY DESIGN WEB</i>)	81
TABLA 16-SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACTUAL (ELABORACIÓN PROPIA).	83
TABLA 17-RESULTADOS FOTOMÉTRICOS DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO (DIALUX)	89
TABLA 18-PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO (ELABORACIÓN PROPIA)	91
TABLA 19-CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CADA LUMINARIA [38], [39], [42] Y [43].	94
TABLA 20-CARACTERÍSTICAS Y COSTOS DE CADA TECNOLOGÍA DE ILUMINACIÓN ANALIZADA (ELABORACIÓN PROPIA)	96
TABLA 21-ALTERNATIVAS DE LUMINARIAS (ELABORACIÓN PROPIA)	99
TABLA 22-AHORRO ANUAL Y PRI POR SUSTITUCIÓN DE LUMINARIAS POR TECNOLOGÍA LED (ELABORACIÓN PROPIA)	99
TABLA 23-RESULTADO FINAL AHORRO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO (ELABORACIÓN PROPIA)	103

Página en blanco intencionalmente

Lista de Siglas

AIE - Agencia Internacional de Energía

ARCONEL- Agencia de Regulación y Control de Electricidad

BT - Baja Tensión

CNEL - Corporación Nacional de Electricidad

EE - Energía Eléctrica

ER - Energía Renovable

ERD - Energía Renovable Distribuida

FER – Fuentes de Energía Renovable

FV - Fotovoltaico

GD - Generación Distribuida

HID - Alta Intensidad de Descarga

INEN – Instituto Ecuatoriano de Normalización

INER - Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables

MCI - Motores de Combustión Interna

MEER - Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

SNI - Sistema Nacional Interconectado

SIP - Sistema de Iluminación Pública

UPAC - Unidad de Producción de Autoconsumo

UTM - Universidad Técnica de Manabí

Página en blanco intencionalmente

Índice

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XIV
LISTA DE SIGLAS	XVI
ÍNDICE	XVIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 La Energía Eléctrica en el Mundo	1
1.2 La Energía Eléctrica en el Ecuador	3
1.3 Alumbrado Público en el Ecuador	7
1.4 Motivación y Ámbito	8
1.5 Estructura del documento	9
2 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE Y ALUMBRADO PÚBLICO-ESTADO DEL ARTE	11
2.1 Estudio del Marco Regulatorio de las fuentes renovables de energía en Ecuador	11
2.1 Perspectiva mundial del desarrollo de las Fuentes de Energías Renovables	15
2.2 La Energía Renovable Distribuida y la eficiencia energética	16
2.3 Reglamento técnico Ecuatoriano de Alumbrado Público	21
3 MARCO TEÓRICO	23
3.1 Generación distribuida y sus tecnologías	23
3.1.1 Definición	23
3.1.2 Tecnologías para Generación Distribuida	25
3.2 Principios fundamentales del Alumbrado Público	36
3.2.1 Conceptos básicos magnitudes y unidades de medida	36

3.1.2 Fuentes de iluminación	39
4 CARACTERIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO- DIMENSIONAMIENTO DE UNA UPAC50	
4.1 Descripción de la Universidad Técnica de Manabí	50
4.2 Dimensionamiento del proyecto en el software Homer	51
4.2.1 Diagrama de carga	51
4.2.2 Caracterización del recurso solar, eólico y temperatura ambiente	54
4.2.3 Equipos por considerar en el dimensionamiento del proyecto	56
4.2.4 Resultados obtenidos del Homer	61
4.3 Dimensionamiento del proyecto en el software <i>Sunny Design Web</i>	69
4.3.1 Configuración de la planta FV	69
4.3.2 Dimensionamiento del cableado y monitorización	71
4.3.3 Autoconsumo y Rentabilidad	73
4.4 Análisis de los resultados obtenidos	79
5 RACIONALIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	82
5.1 Caracterización del sistema de alumbrado público actual	82
5.1.1 Análisis fotométrico del Alumbrado Público actual	84
5.2 Alternativas para obtener un sistema de alumbrado público eficiente	90
5.2.1 Propuesta de remodelación para el sistema de alumbrado público	91
5.2.2 Análisis para alteración de luminarias existentes por nueva tecnología	92
5.3 Análisis de los resultados obtenido	98
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
6.1 Conclusiones	101
6.2 Recomendaciones	104
7 BIBLIOGRAFÍA	106
8 ANEXO	109

1. Introducción

1.1 La Energía Eléctrica en el Mundo

La energía eléctrica sin dudas es el recurso más utilizado en el mundo, constituye un elemento técnico que se le confiere una importancia vital para el desarrollo de la sociedad. Su uso adecuado permite el incremento de la productividad y el mejoramiento de las condiciones de vida del hombre, sin embargo, el uso intensivo de los combustibles fósiles como fuentes de generación, pudieran propiciar el agotamiento de sus reservas, a la vez que pueden acumularse efectos contaminantes que ponen en juego la estabilidad de la vida en la Tierra. Resulta importante considerar que la generación de energía con combustibles fósiles es la responsable de producir el 80 % de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera y esto a su vez genera el calentamiento global [1]. A finales del siglo XVIII, específicamente en la década de 1780 se produce un salto histórico, la Revolución Industrial provocó un fuerte incremento en la demanda de materias primas y de energía, la más empleada hasta entonces la madera, fue desplazada por los combustibles fósiles, primero por el carbón, posteriormente por el petróleo y el gas natural y en la segunda mitad del siglo XX con la energía nuclear [2].

Según datos de *BP Statistical Review of World Energy 2017* [3], el crecimiento de la demanda mundial de materias primas y de energía en 10 años (2005-2015) fue del 1,8%, pero para el 2016 fue de apenas el 1,0%. Según cifras presentadas el petróleo proporcionó el mayor incremento en el consumo de energía de 77 millones de toneladas equivalentes de petróleo (mtep), seguido del gas natural con 57 mtep y las energías renovables con 53 mtep; el petróleo sigue siendo el principal combustible del mundo representando un tercio de la energía global consumida, su crecimiento global promedio de dos años consecutivos (2015-2016) fue del 1,6 % equivalentes a 1,6 millones de barriles por día, promedio que estuvo por encima de 10 años (1,2 %); el gas natural creció el 1,5 % equivalente a 63 mil millones de metros cúbicos (bcm), fue un crecimiento moderando en comparación con el crecimiento promedio de 10 años (2,3 %); por último se tiene el crecimiento de las Energías Renovable (ER) excluyendo la

hidráulica , éstas registraron hasta el 2016 un crecimiento del 14,1 %, En la Figura 1 se muestra el crecimiento del consumo mundial de energía primaria consumida en 27 años.

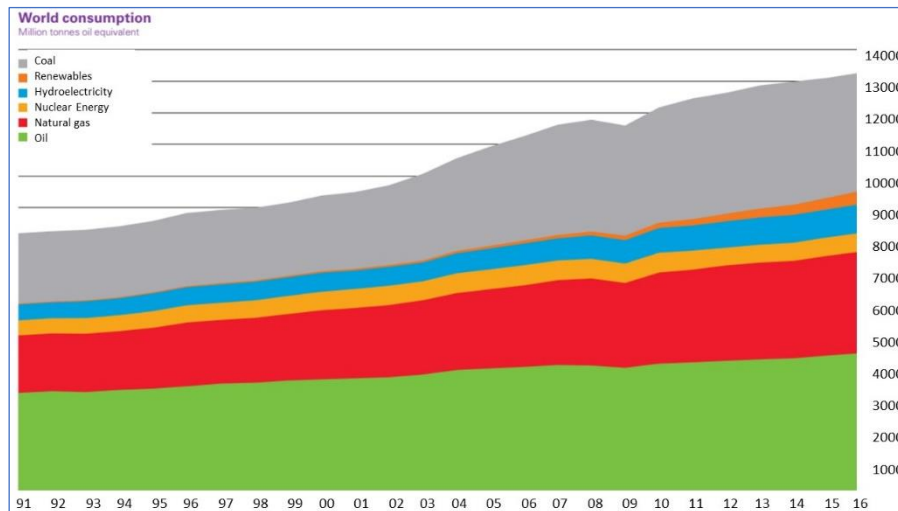


Figura 1-Consumo mundial de energía primaria (mtep) [3].

Se entiende que energía primaria es la originaria de fuentes naturales en forma directa como son petróleo, gas natural, energía hidráulica y otras; estas fuentes son consumidas (transformada) en los centros de transformación como refinerías y centrales de generación para convertirlas en energía secundaria, por ejemplo en gasolina, diésel o en su gran mayoría electricidad; a partir de esto se deduce entonces que gran parte de la energía eléctrica (EE) en el mundo es generada a partir del petróleo, gas natural y carbón que son los combustibles más consumidos; esto es una realidad que requiere una acción urgente a escala global, pues se necesita mitigar los efectos del cambio climático y conseguir aún más la diversificación de la matriz energética en el mundo.

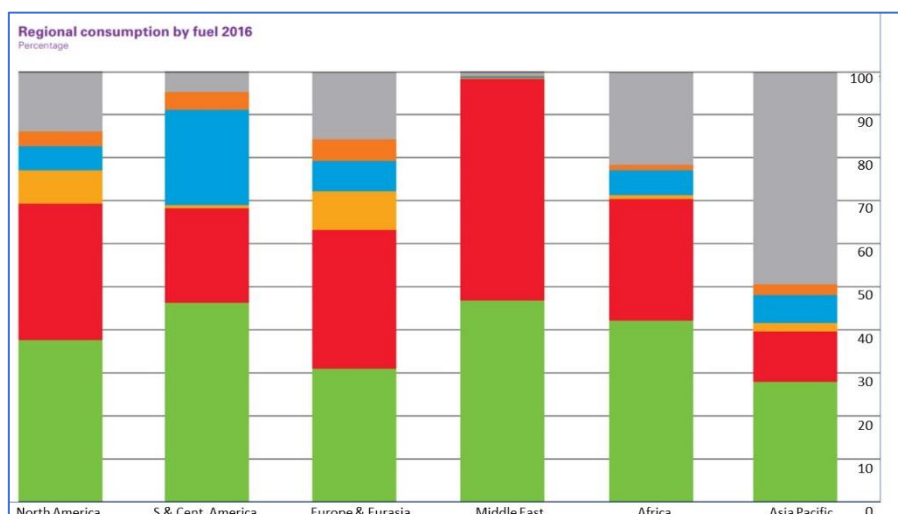


Figura 2-Consumo mundial 2016 de materia prima y energía (%) por región [3].

La Figura 2 muestra el consumo regional por materia prima y energía, según las barras porcentuales el petróleo predomina en África y América, mientras que el gas natural domina en Europa, Euroasia y Medio Oriente, en Asia el combustible dominante es el carbón y las energías renovables en cada región aún están en etapa de desarrollo; según lo descrito en el párrafo anterior a nivel global estas registraron un crecimiento del 14,1 % excluyendo la hidráulica, este dato manifiesta que estamos presenciando una transformación en el mundo, se está consiguiendo ampliar el mercado con nuevas tecnologías, con marcos políticos e instrumentos de mercados idóneos para el desarrollo de las fuentes renovables de energía.

1.2 La Energía Eléctrica en el Ecuador

Para abastecer la demanda de energía eléctrica el Ecuador dispone de varias centrales de generación, priorizando la producción de energía renovable no contaminante; es decir la energía proveniente de fuentes hidráulicas; las de fuentes solar fotovoltaica, eólica, biogás (residuos orgánicos) y biomasa (combustión de desechos orgánicos, tales como el bagazo de caña de azúcar) aún están en proceso de desarrollo. A su vez también cuenta con producción de energía térmica, tras el proceso de generación la energía se transfiere mediante el sistema de transmisión y subtransmisión a las distintas empresas distribuidoras del país quienes a su vez se encargan de suministrar esta energía a los clientes finales.

Como información relevante sobre la generación del país la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (Arconel) presenta valores registrados a nivel nacional de la potencia nominal y efectiva de las centrales de generación por tipo de sistema, es importante mencionar que los datos presentados corresponden a las capacidades instaladas por las empresas generadoras que están encargadas de la explotación económica de las centrales y de entregar la producción total en el sistema nacional de transmisión; por las autogeneradoras que producen EE y la destinan al abastecimiento de su propia demanda y a la demanda pública; por las distribuidoras con generación que son las encargadas de asumir la obligación de prestar el servicio público de EE a los clientes finales, dentro de su área de prestación de servicio [4]. En la Figura 3 y Figura 4

se muestra respectivamente el total de la capacidad instalada en el país y el valor real que las centrales de generación pueden entregar.

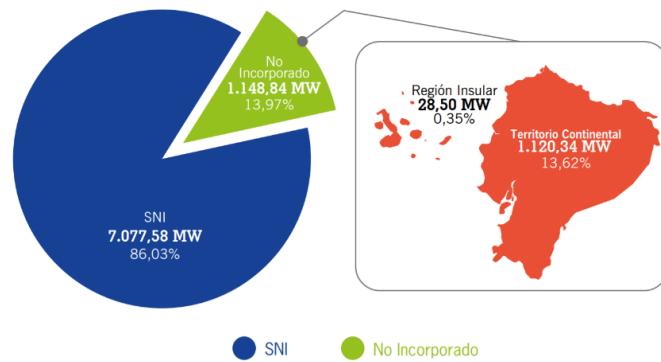


Figura 3-Potencia Nominal por tipo de Sistema [4]

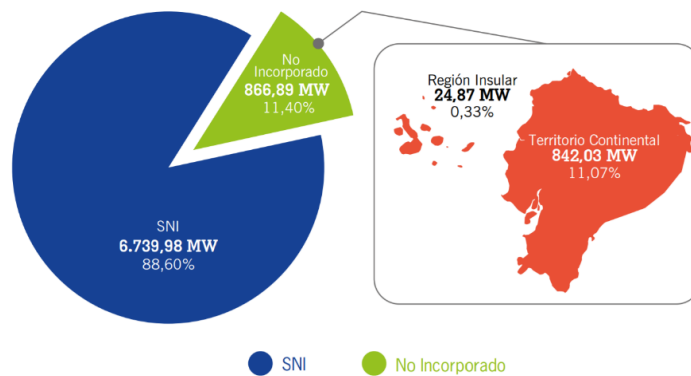


Figura 4-Potencia efectiva por tipo de Sistema [4].

Los sistemas que no están incorporados se los presenta dividido en territorio continental y Región Insular; el total de la potencia nominal y efectiva considerando el Sistema Nacional Interconectado (SNI) y el no incorporado es de 8.226,42 MW y de 7.606,88 MW respectivamente, adicional a la generación por tipo de sistema Arconel presenta también los valores de potencia nominal y efectiva por tipo de fuente, central y unidad.

Tabla 1-Potencia Nominal y Efectiva por tipo de fuente [4].

TIPO DE FUENTE	TIPO DE CENTRAL	TIPO DE UNIDAD	POTENCIA NOMINAL (MW)	POTENCIA EFECTIVA (MW)
Renovables	Hidráulica	Hidráulica	4.446,36	4.418,18
	Térmica Biomasa	Turbo vapor	144,30	136,40
	Fotovoltaica	Fotovoltaica	26,48	25,59
	Eólica	Eólica	21,15	21,15
	Térmica Biogás	Motor de Combustión Interna (MCI)	2,00	1,76
Total Renovable			4.640,29	4.603,07

No Renovables	Térmica	MCI	2.005,43	1.611,63
		Turbo gas	1.118,85	969,43
		Turbo vapor	461,87	422,74
Total No Renovable			3.586,14	3.003,80
TOTAL			8.226,42	7.606,88

Según estos datos gran parte de la generación de EE proveniente de fuentes renovables es de las hidroeléctricas, pues entrega al SNI un 96 % de energía, las centrales térmicas de biomasa aportan con un 3 % y apenas el 1 % es la aportación de las centrales eólicas y fotovoltaicas; la generación de fuentes no renovables es bastante significativa en comparación con las fuentes renovables, ésta contribuye al sistema eléctrico del país un 39 % del total de la potencia efectiva.

A raíz de este escenario el gobierno ecuatoriano propone alternativas para diversificar aún más la matriz energética, para el desarrollo de la generación eólica el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) ha presentado el primer Atlas Eólico del Ecuador, elaborado mediante un mapeo satelital que identifica las zonas aptas para desarrollar estudios de viento, verificando el potencial eólico que existe. El mapa muestra indicadores de velocidad, dirección, altura, densidad de potencia y la rugosidad del terreno, además incluye la estimación del potencial de generación eléctrica a partir del viento, esta herramienta se encuentra disponible en la biblioteca del MEER [5].

Para la generación de biomasa que no se podría quedar atrás debido a la naturaleza agrícola del país, el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), menciona que la biomasa residual cuenta con gran potencial de aprovechamiento en el país, es por eso que un grupo de personal especializado se encuentra desarrollando proyectos en el ámbito del aprovechamiento energético de la biomasa en un laboratorio para termovalorización de biomasa y residuos sólidos urbanos, presentando alternativas que consisten en proyectos para aprovechar el aceite del piñón con objetivos energéticos dentro del plan para erradicar los combustibles de origen fósil en las Islas Galápagos, otro proyecto es el diseño de tecnología para la obtención de hidrógeno a partir de los desechos del banano, aprovechando la gran producción agrícola de banano que tiene el país y por último un proyecto con algas que

pueden ser utilizadas a manera de una fuente de energía, ya sea mediante la gasificación o digestión anaerobia, se pretende obtener una planta piloto para capturar el carbono y para producir biocombustibles, todos los resultados experimentales que se puedan obtener de estos proyectos servirán para generar un modelo matemático que permita la implementación de nueva tecnología en distintas partes del país, como solución para enfrentar el uso de combustibles fósiles y para mitigar el problema de la disposición de residuos sólidos [6].

Para no dejar atrás la energía solar fotovoltaica el Gobierno lanzó incentivos desde el 2011 para la construcción de nuevos proyectos fotovoltaicos, fijando una tarifa preferencial de \$0,40/kWh, el objetivo del Gobierno con este tipo de proyectos es atraer inversiones extranjeras y desplazar la generación con combustibles, sin embargo existen cuestionamientos en torno a la tarifa ofertada ya que puede ser perjudicial para el país, debido a que es una tarifa cara en comparación con otros países, pues el costo va desde \$0,13/kWh hasta \$0,28/kWh, además señala que no es factible mantener ese costo en la tarifa debido a que cada año la energía fotovoltaica baja de precio a escala mundial por el avance tecnológico. Otro punto cuestionable es que el país deberá consumir energía 10 veces más cara, pese a tener una energía barata como lo es la energía hidráulica, pues su costo tarifario esta entre \$0,095/kWh y \$0,077/kWh según la época del año, además tiene producción excedente. Por otra parte, Arconel reconoce que aun cuando la energía es cara destaca que es un costo válido para diversificar la matriz energética ecuatoriana, descentralizar la generación y aliviar la tensión en el sistema eléctrico [7].

El descentralizar la generación y aliviar la tensión en el sistema eléctrico es un excelente punto favorable para la inserción de proyectos de generación con fuentes renovables de energía, para las provincias que por su ubicación geográfica se encuentran alejadas del punto de generación y no resulta conveniente desde el punto de vista técnico el suministro de energía procedente de las grandes centrales hidroeléctricas, un ejemplo claro de esto es el caso de la Provincia de Manabí, por datos publicados por Arconel se sabe que Manabí cuenta con seis centrales de generación, de las cuales cuatro son de fuentes no renovables y dos de fuentes renovables, la potencia nominal de estas centrales son 216,70 MW y 190,91 MW respectivamente [4]. En concordancia con estos

datos expuestos por Arconel en el Artículo Marco Regulatorio de las Energías Renovables en el Ecuador, se menciona que gran parte de la electricidad que se consume en la provincia tiene un origen térmico con base a la utilización del petróleo como combustible lo que presenta un elevado costo de generación que se incrementa aún más por quema del combustible [2].

Manabí posee buenos potenciales de energía solar y un determinado potencial eólico en algunos puntos específicos del territorio, que pudieran ser aprovechados mediante tecnologías en el modo de la generación distribuida. Esto podría dar solución a varios problemas que existen uno de ellos es que ya no se consumiría energía proveniente de fuentes no renovables y otro es que se podría brindar el servicio eléctrico a la población que aún no cuenta con este servicio por encontrarse en zonas aisladas del Sistema Nacional Interconectado [2].

1.3 Alumbrado Público en el Ecuador

Según el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), la red de alumbrado público constituye uno de los servicios fundamentales en cuanto movilidad, seguridad y ornamentación, para el año 2013 el consumo de este servicio constituyó el 5,68 % (189 MW) de la demanda máxima del Sistema Nacional Interconectado (SNI) según datos obtenidos del balance energético de ese año. Generalmente la tecnología más común utilizada en alumbrado público es el sodio de alta presión que radica en el uso de lámparas de descarga de gas, estas lámparas se activan por fotocontroles ya sea de forma individual o efectuando un control múltiple utilizando un contador. Este sistema empieza su funcionamiento en el pico de la demanda, a las 18:00 horas aproximadamente, lo que ocasiona que se desmejore el factor de carga en el sistema eléctrico [6].

Bajo este contexto el INER se encuentra desarrollando investigaciones de eficiencia energética en Alumbrado Público, creando políticas públicas que permitan distribuir de forma responsable y planificada la energía utilizada en alumbrado público. En los últimos años en nuestro país ha ido evolucionando el uso de la tecnología LED, por presentar ventajas como el bajo consumo de energía, un mayor tiempo de vida media útil, emisión

reducida de calor y no contener mercurio. Sin embargo, es necesario contar con una amplia investigación que justifique y garantice la introducción de esta tecnología en las redes de alumbrado público del país.

1.4 Motivación y Ámbito

Como ha sido referido anteriormente, es evidente que la energía eléctrica en el país proviene en su gran mayoría de fuentes renovables de energía (centrales hidráulicas) y su precio es bastante económico en comparación con otros países, sin embargo, no en todo el país es igual; en la provincia de Manabí como ya se mencionó la mayoría de la electricidad suministrada tiene origen térmico es decir proveniente de fuentes de energía no renovables y contaminantes, además pese a que su valor en la planilla de energía se registra a \$0,065/kWh, este no es el costo real debido al subsidio propuesto por el gobierno; es importante tener en consideración que con los cambios de gobierno futuros pueden ser modificados varios costos tarifarios de los diferentes servicios básicos, entre ellos el de electricidad. Además del costo de energía se presenta otra situación desfavorable en la provincia, pues desde el punto de vista técnico no resulta conveniente el suministro de energía procedente de las grandes centrales hidroeléctricas por la distancia de transporte y pérdidas en el sistema.

La temática de la generación distribuida y las Fuentes de Energía Renovables (FER) pueden ser la respuesta a los problemas suscitados en la provincia; ayudarían a la necesidad de diversificar la matriz energética, reducirían las emisiones de CO₂, producto de la generación térmica y serían aporte técnico-económico. Contar con sistemas descentralizados de generación con energía limpia sería algo revolucionario y emblemático para el pueblo manabita.

Partiendo de esta visión este proyecto de investigación escoge a la Universidad Técnica de Manabí como objeto de estudio por ser una de las entidades con mayor consumo de EE en el territorio y por ende registrar una facturación de electricidad elevada, además por ser un campo de estudio que presenta las facilidades para realizar mediciones y estudios respectivos para el desarrollo de la investigación. El **objetivo** es realizar el estudio técnico-económico del dimensionando de un sistema de energía conectado a

red como solución de autoconsumo y eficiencia energética y proponer soluciones energéticas a partir de la caracterización e identificación de oportunidades de racionalización del consumo de energía eléctrica.

Las tareas específicas para desarrollar este objetivo son las siguientes:

- I. Recopilación de información (diagrama de carga anual, disponibilidad de recursos naturales [8], costos de equipos a considerar para el proyecto.
- II. Caracterización del sistema energético de la UTM, analizando el costo tarifario y consumo de energía eléctrica, además del contrato vigente que tiene con la Corporación Nacional de Electricidad CNEL.
 - ❖ Elaboración de un artículo que aborde el tema de la producción de energía fotovoltaica distribuida en la provincia de Manabí y en el mundo.
- III. Revisión y análisis bibliográfico para la elaboración del estado del arte de la investigación.
- IV. Simulación del sistema de energía mediante el software *Homer* para de conocer las posibles soluciones del sistema en base a los equipos considerados por disponibilidad de recursos y según su costo neto presente.
- V. El dimensionamiento del sistema de energía mediante el software *Sunny Design Web* a partir de la potencia otorgada por el *Homer*.
- VI. Análisis de viabilidad económica del proyecto mediante los resultados obtenidos del *Homer* y *Sunny Design Web*, para verificar el Periodo de Retorno de la Inversión (PRI).
- VII. Análisis de oportunidad de racionalización de consumos de energía eléctrica, realizando una evaluación y proponiendo la sustitución del sistema de iluminación pública utilizando el software *DIALux*.
- VIII. Conclusión y presentación del trabajo final.
 - ❖ Elaboración de un artículo presentando los resultados obtenidos en el proyecto.

1.5 Estructura del documento

Este documento está compuesto por seis capítulos que abordan los temas necesarios para el desarrollo de la investigación.

El presente capítulo como parte introductoria aborda de forma general la generación de electricidad en el mundo y en el Ecuador, además presenta de forma breve las características del alumbrado público que tiene el país; la motivación y ámbito que describen el por qué y para que se realizará la investigación, y finalmente la estructura que tendrá el trabajo investigativo.

El segundo capítulo asignado al estado del arte presenta la interpretación bibliográfica de temas relevantes para la investigación dirigidos al estudio de políticas energéticas, datos estadísticos y proyectos realizados que amparen y sustenten el crecimiento de las fuentes renovables de energía. Además, integra normas técnicas para sistemas de alumbrado público.

El tercer capítulo presenta la teoría relevante y necesaria para la comprensión del trabajo de investigación.

El capítulo cuarto aborda la caracterización del objeto de estudio y muestra el dimensionamiento del sistema de Autoconsumo realizado con herramientas informáticas como el *Homer* y *el Sunny Design Web*.

El quinto capítulo presenta el análisis para la racionalización del consumo de energía mediante la remodelación y sustitución de tecnología en el sistema de alumbrado público.

El sexto capítulo presenta el análisis de los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones del trabajo investigativo.

2 Fuentes de Energía Renovable y Alumbrado Público-Estado del arte

El desarrollo y la aplicación de las tecnologías utilizadas para la generación de electricidad a partir del aprovechamiento de los recursos naturales presentes de forma infinita en el mundo y la eficiencia energética en los sistemas eléctricos, requiere del conocimiento previo del marco regulatorio nacional que ampare las fuentes renovables de energía, de datos estadísticos que sustenten su crecimiento en el mercado, además del análisis de trabajos investigativos que sirvan como guía para los futuros proyectos que se vayan a ejecutar. Además de analizar las normas para el diseño de los sistemas de alumbrado público.

A continuación, serán abordados de manera general todos estos temas contenidos en este trabajo de investigación sabiendo que es imprescindible su explicación para la comprensión de los siguientes capítulos.

2.1 Estudio del Marco Regulatorio de las fuentes renovables de energía en Ecuador

Según lo expuesto en [9], el servicio eléctrico como servicio público se encuentra refrendado en la Constitución de la República del Ecuador y según lo establecido en el artículo 314, señala que el Estado será responsable de abastecer al pueblo ecuatoriano con EE. Además, especifica que administrará todo en cuanto a su generación, transmisión, distribución y suministro, a partir de fuentes convencionales. Sin embargo, es claro palpar que el aprovechamiento de fuentes de energía no convencionales queda fuera, es decir no se considera ninguna política energética que permita establecer soluciones sostenibles para la sociedad mediante el aprovechamiento de los recursos naturales. A raíz de esta falta de política energética en el país, [2] ofrece un análisis crítico sobre la evolución del marco regulatorio de las FER a nivel internacional, resaltando las ventajas obtenidas en varios países al desarrollar y emprender proyectos amparados en la reforma del marco regulatorio. Estos fundamentos permitirán la

elaboración de un cuerpo legal aplicable para el Ecuador con el fin de proteger el aprovechamiento adecuado de las energías renovables.

A pesar de la falta de políticas energéticas que incluya el aprovechamiento integrado de las fuentes de energías renovables y por consiguiente su uso descentralizado, el Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 (SENPLADES, 2013) en el capítulo 5.1.4. Matriz productiva y Sectores Estratégicos expresa como solución que: “Paralelamente a la ejecución de grandes proyectos hidroeléctricos, en el 2030 la oferta de electricidad se complementará con la implementación de pequeños proyectos de generación de energía con fuentes renovables tales como: la fotovoltaica, la eólica, la biomasa y la hidroelectricidad en zonas cercanas a los consumidores, y con esquemas de gestión participativa de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, las organizaciones comunitarias y el sector privado. De ser posible la ejecución de estos proyectos en el país se obtendrían grandes beneficios, no solo en la matriz energética, sino que generaría beneficios sociales, económicos y ambientales a las comunidades, así como también presentaría ventajas al optimizar el uso de recursos naturales y presentar una disminución de pérdidas en los sistemas eléctricos de transmisión.

Las barreras que podrían frenar la puesta en marcha de estos proyectos serían las mismas con las que se han enfrentado algunos países de Latinoamérica según el autor [10], quien plantea que, a pesar de contar con los recursos naturales necesarios para sacar adelante la generación distribuida no se ha logrado incrementar lo suficiente la contribución de las energías renovables en la matriz energética a causa de una serie de variables como son las barreras políticas, legales, administrativas, económicas, financieras y técnicas. Según el análisis que presenta [2], en varios países la planificación de las energías renovables en la matriz energética es pobre, en el caso de Ecuador la fuente renovable convencional mediante el aprovechamiento hidráulico se ha desarrollado en gran magnitud, sin embargo, la participación de las demás fuentes es menesterosa y en el caso de la no convencional es nula. A demás al no existir un adecuado marco jurídico que regule el aprovechamiento de las energías renovables, las empresas de servicios públicos poseen el control prácticamente absoluto sobre la producción y distribución de electricidad, lo que conlleva a que los productores

independientes no realicen inversiones en proyectos de energías renovables, además que el vender esta energía bajo acuerdos de compra de electricidad no sea rentable.

Muchas otras barreras que expone [2] tienen que ver con las normativas que privilegian más al sistema centralizado que a la generación distribuida. Los subsidios que se les da a la electricidad generada a partir de energía fósil es también un factor que no permite impulsar el desarrollo de las ER, en la actualidad en Ecuador se establece el pago de la tarifa eléctrica fijando el precio del kWh para el sector residencial entre \$ 0,10 y \$ 0,11 y para el sector institucional en \$ 0,065 por el subsidio del gobierno. Sin embargo, el costo real del kWh para la provincia de Manabí donde la generación de electricidad es básicamente térmica, oscila entre \$ 0,40 y \$ 0,50. Con esto se tiene como conclusión que, para las provincias cercanas a los puntos de generación, que en gran mayoría es hidráulica se puede considerar que el costo de la energía es económico, pero no ocurre lo mismo para las provincias situadas a gran distancia de las hidroeléctricas, pues además de tener el costo por generación se tiene también el costo de transporte.

Varios países europeos que encabezan la puesta en vigor de normas que a manera de marco regulatorio favorecen y promueven la introducción de las ER en la diversificación de la matriz energética, [2] menciona a Alemania como líder en el desarrollo fotovoltaico, a Noruega y Suecia como promotores de certificados verdes en el comercio. Los países Latinoamericanos como ya se mencionó anteriormente, presentan mayor dificultad en el desarrollo de las fuentes de ER, sin embargo según [11], Argentina, Uruguay, República Dominicana, El Salvador, México, Colombia, Cuba y otros han decidido allanar estos obstáculos promulgando un marco regulatorio específico estableciendo decretos e incentivos que favorezcan el crecimiento de un sistema sostenible y sustentable que optimice los recursos naturales mediante la generación de EE utilizando los recursos inagotables presentes en la biosfera. Para continuar con el apoyo y fortalecer cada vez más la implementación de proyectos de generación con FER, la Agencia Internacional de Energía (AIE), estableció mecanismos que estarán encaminados a retirar progresivamente los subsidios a los combustibles fósiles, a establecer objetivos de cumplimiento obligatorio para las FER, proporcionar beneficios y estabilidad para los inversionistas en estas fuentes, garantizar y priorizar el acceso a la

red a los generadores que usen fuentes renovables y por último elaborar normativas estrictas de eficiencia energética en las diferentes cargas conectadas a la red.

El autor del Marco Regulatorio de las Energías Renovables en el Ecuador [2] cita a Países de Latinoamérica que adoptaron medidas en función a incentivar las FER, por ejemplo: Argentina promueve la remuneración en hasta (\$0,15/kWh) generado por sistemas eólicos instalados; a Brasil que ha implementado desde el 2002 el Programa PROINFA, que prevé incentivos a las FER; a Chile que desde el 2004 posee la Ley Eléctrica, que está dirigida a incluir incentivos que impulsen la introducción de proyectos con FER; a Costa Rica quien desde 1994 se promulgó una ley que incentiva la inversión en las FER y por último Perú que en el año 2008 estableció incentivos para el desarrollo de las FER.

A raíz del análisis que hace el autor [2] a las barreras, a los incentivos y a las políticas de países europeos y Latinoamericanos, menciona que sin un marco regulatorio específico para las ER resulta muy difícil lograr transformar la matriz energética ecuatoriana por ello se deberían adoptar mecanismos de apoyo vigentes hasta el año 2020 y deben estar encaminados a: reducir la participación de la electricidad generada con base al petróleo, hasta un máximo del 40% del aporte total de energía, ampliar hasta un 60% la participación de las energías renovables en el aporte total de EE, asegurar el incremento gradual de la participación de la energía solar fotovoltaica conectada a la red de Baja Tensión (BT) en el modo de la generación distribuida, en el aporte total de electricidad, de forma tal que se logre reducir las pérdidas, elevar la eficiencia, mejorar el perfil de tensión en las líneas donde se conecte la tecnología, ahorrar petróleo y disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, garantizar la participación de la energía eólica de pequeña potencia, en los sitios identificados con potencial de viento aprovechable con dichas tecnologías, dar paso al reconocimiento jurídico de los productores independientes privados de energía a costa de la utilización de las fuentes renovables no convencionales, dar acceso a la red garantizado y prioritario, para los suministradores independientes de energía que usen fuentes renovables, disponer una tarifa especial para el pago de la energía a los suministradores independientes, que constituya un estímulo a la inversión en fuentes renovables, impulsar y priorizar el financiamiento de proyectos enfocados al estudio y la investigación de los potenciales de FER, especialmente la geotérmica, mareomotriz y biomasa. Especialmente estimular el

desarrollo de las investigaciones en las universidades del país, de manera que en cada lugar se investigue el aprovechamiento del recurso energético de que se disponga y se propicie el desarrollo equilibrado de las diferentes regiones del territorio nacional, impulsar y priorizar el financiamiento de proyectos dirigidos a la asistencia tecnológica, para el aprovechamiento de la energía primaria contenida en las fuentes renovables, para el calentamiento de fluidos, bombeo de agua, secado de productos y otras necesidades energéticas, elaborar y poner en práctica en el territorio de la provincia, una normativa estricta de eficiencia para el consumo energético de todos los equipos electrodomésticos, edificios y vehículos, paralelamente propiciar la creación de estrategias de transporte sustentable.

2.1 Perspectiva mundial del desarrollo de las Fuentes de Energías Renovables

Para el año 2001 según la cita [12], el consumo mundial era aproximadamente del 80% de energía fósil, lo que equivale a 10,2 billones de toneladas de petróleo, el petróleo estaba presente con el 35 %, el carbón con el 23 % y el gas natural con el 22%, la energía nuclear también presente en un pequeño porcentaje en la contribución de energía no renovable estaba presente con un 7 %. Para ese año las FER contribuían con apenas el restante 13 %, donde el 5 % lo cubría la biomasa, el 4 % la hidroeléctrica y el restante 4 % entre la solar y eólica.

Con el pasar del tiempo la realidad que se presentaba años atrás se tornó hacer historia, pues para el 2015 según los datos presentado por la referencia [13], las FER tuvieron un notable crecimiento, pues contó con las mayores incorporaciones de capacidad mundial instalada para el sector eléctrico, calefacción y enfriamiento, transporte y otros. Su crecimiento fue impulsado por el aumento de rentabilidad de tecnologías renovables, iniciativas políticas, financiamientos, seguridad energética y políticas ambientales. A raíz del evento realizado en París, la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, la gran mayoría de países se comprometieron a incrementar el uso de las ER y la eficiencia energética, 189 países presentaron sus propuestas, 147 mencionaron las ER y 167 señalaron la eficiencia energética.

La inversión mundial alcanzó récord pese a la caída del precio de los combustibles fósiles se pudo observar el aumento en el número de bancos activos dentro del sector de las ER, los inversionistas buscaron créditos más altos incluso a costa de correr un riesgo mayor. La bibliografía [13] presenta como datos estadísticos que para el año 2015 las inversiones en electricidad y combustibles fue de 285,9 mil millones de dólares, que en cuanto a electricidad la capacidad total instalada de ER fue 1849 GW, incluyendo hidráulica con 1064 GW, eólica 433 GW, solar fotovoltaica 227 GW, solar térmica 4,8 GW, bioenergía 106 GW y geotérmica 13,2 GW, según el análisis que se presenta en este artículo en el mundo entero suma más la capacidad de electricidad renovable al año que la capacidad de todos los combustibles fósiles combinados. Gracias al aumento de generación con FER aumentó también el empleo registrándose un estimado del 5%, es decir se abrieron 8,1 millones de puestos de trabajos directos e indirectos.

2.2 La Energía Renovable Distribuida y la eficiencia energética

Según la cita [13], el 17 % de la población mundial vive sin electricidad, la gran mayoría se encuentra en la región de Asia-Pacífico y en el África subsahariana. Gracias a los avances tecnológicos y al apoyo gubernamental los sistemas de Energía Renovable Distribuida (ERD) han aumentado progresivamente, ocasionando que el porcentaje de la población sin electricidad disminuya considerablemente, para mediados del 2015 se habían vendido cerca de 44 millones de productos pico-solar fuera de la red en todo el mundo, a términos del año eran 70 países los que contaban con cierta capacidad instalada de generación de energía solar fotovoltaica distribuida, además varias mini redes estaban en funcionamiento en Camboya, China, India, Marruecos y Mali. La implementación de los sistemas de ERD fue respaldada por incentivos fiscales, subastas, metas de electrificación, esfuerzos específicos como de exención al IVA y derechos de importación.

La importancia de hacer énfasis en las actividades de eficiencia energética no se ha quedado atrás, pues dentro de las políticas energéticas juega un papel importante ya que su integración reducirá emisiones relacionadas con energía, tendrá beneficios

económicos, mejorará la seguridad energética y reducirá la pobreza en los combustibles. Según la bibliografía revisada, menciona que en las últimas décadas la intensidad de energía mundial ha decrecido en algunos sectores como el transporte y la industria, además señala que en el sector de construcción los revestimientos de los edificios se están construyendo con materiales cada vez más eficientes lo que se traduce en mejor rendimiento energético, estos avances reflejan el incremento de las inversiones. Cada vez es mayor el número de países que establecen objetivos de eficiencia energética.

Adoptando las nuevas políticas y legislaciones, cada vez son más los proyectos de mini-redes y micro-redes en forma de generación distribuida que se implementan en todo el mundo como solución ambiental, económica y energética. Señalando el factor energético, se puede mencionar que existen muchas personas que aún no tienen acceso al servicio eléctrico, la referencia [14] titulada electrificación rural en África Subsahariana, analiza esta problemática y presenta cuatro métodos para permitir el acceso de electricidad a zonas rurales, el primero se enfoca en la expansión de la red eléctrica nacional, segundo las linternas portátiles y sistemas pico-solar, luego los sistemas solares domésticos y por último las mini-redes. El expandir la red eléctrica no es una buena opción en lugares donde los sistemas eléctricos de potencia no cuentan con la capacidad instalada necesaria para satisfacer la demanda, ya que al extender las redes simplemente se empeoraría la situación, pues se debería aumentar la producción de electricidad. Considerando las condiciones del terreno la expansión de las redes eléctricas solo amerita siempre y cuando la demanda sea elevada, lo que no sucede comúnmente en las zonas rurales, por ello este método no es la mejor solución. El segundo método son las linternas solares portátiles y los sistemas pico solar, las linternas son utilizadas para iluminación y cuentan con tres componentes: módulo FV, batería y una lámpara LED, estos sistemas varían de 2 a 10 W, los sistemas pico-solares son idénticos a las lámparas solares excepto por el módulo FV que está separado de los otros componentes restantes, su vida útil es de 2 a 5 años y su potencia nominal varía de 10 a 20 W, lo que permite que se pueda utilizar para iluminación y para cargar los celulares, estos sistemas son considerados el primer paso a la electrificación rural, sin embargo no son considerados como solución para la electrificación rural por ser dispositivos limitados de energía y su tiempo de vida útil es reducido.

El autor [14] señala que los sistemas solares domésticos son la elección electa por los habitantes, quizás por contener dimensiones superiores y una potencia nominal mayor a la de los sistemas ya mencionados, pues varía de 20 a 100 W, básicamente un sistema solar doméstico de 100 W es capaz de abastecer de energía a 6 lámparas, un televisor LED y un DVD. Sin embargo, tampoco son la mejor solución, pues requieren mayor inversión, requieren de infraestructura para su fijación, de mano de obra para la instalación y mantenimiento, además todos los electrodomésticos conectados al sistema deben ser de corriente continua, lo que encarece la situación ya que estos aparatos tienen costos más elevados que los de corriente alterna. Por último realizó el análisis de las mini-redes, éstas son caracterizadas por uno o varios sistemas de generación de electricidad interconectados a una red de distribución que suministran electricidad a un conjunto de edificios, pueden contar con un sistema de almacenamiento de EE, sus potencias nominales varían de 10 kW A 10 MW, en comparación con la expansión de las redes eléctricas, éstas permiten aumentar la producción más rápidamente y con menor costo, además encuadran perfectamente en las zonas rurales, las mini-redes son mucho más eficientes que los sistemas analizados anteriormente. El correcto dimensionamiento de las mini-redes permite resolver los desafíos más críticos, proporcionar un sistema con alto coeficiente de ER y una elevada calidad en el servicio. Según la bibliografía revisada para el 2040 las mini-redes serán la solución para brindar EE a más de 140 mil millones de habitantes de comunidades rurales en África.

En Portugal según una investigación realizada en la ciudad de Leiria, los autores [15], expresan que la eficiencia energética o conseguir la autosuficiencia mediante ER, no solo conduce a una mejora en el medio ambiente sino también incrementa la rentabilidad de una empresa, reduciendo los costos de energía y aumentando la eficiencia en los procesos. Al ser Portugal uno de los países que cuenta con las mejores condiciones climáticas para la producción de energía FV con un promedio anual de 2200 a 3000 horas de sol, las investigaciones se dirigen bastante al dimensionamiento e implementación de Unidades de Producción de Autoconsumo (UPAC), estas unidades están basadas en los decretos del marco regulatorio del país, las mismas que indican que a la falta o al exceso de electricidad, ésta puede ser comprada o vendida a la red eléctrica de servicio

público. Para el dimensionamiento de la UPAC los autores utilizaron herramientas informáticas como *Homer*, *Sunny Design Web*, *AutoCAD* y *SketchUp*, con estas herramientas fue más sencillo desarrollar la investigación pues ingresando datos como el consumo de la instalación, los valores de los parámetros de los recursos disponibles, el costo de los equipos y el costo real de energía ingresados en el *Homer* les permitió obtener soluciones óptimas, una de ellas fue la implementación de un sistema FV de 80 kW que sería capaz de alimentar el 23% de la carga. Con el *Sunny Design Web* se llevó a cabo el dimensionamiento del sistema FV obteniendo como resultados el rendimiento energético anual equivalente a 137 MWh, de los cuales 129MWh serán destinados a autoconsumo y 8.027MWh serán inyectados a la red, en cuanto a lo económico, el sistema UPAC dimensionado permitirá conseguir un ahorro en costos de consumo eléctrico de 13.104 € en el primer año, y de 336.472 € al cabo de 20 años, su tiempo de amortización serán 12 años con una rentabilidad anual aproximada del 3,86%. Los autores mencionan que es fundamental el dimensionamiento correcto del sistema, ajustando la producción de energía con el consumo requerido con el fin de tener un valor mínimo de energía excedente, para no incurrir en elevados costos de inversión por un sobredimensionamiento que no produciría ganancias significativas, es decir al no ser tan alta la remuneración del excedente de electricidad que se inyecta en la red no sería justificable tener EE demás, sin embargo una posible solución para estas fluctuaciones de energía, podría ser la instalación de un sistema de almacenamiento de energía, pero por motivos económicos resulta ser una medida poco viable, ya que las baterías mantienen en el mercado costos elevados y en el caso de estudio el excedente es mínimo y no justifica este tipo de inversión.

Para tratar el tema de la eficiencia energética se analizará un proyecto enfocado en las redes de iluminación pública, según [16] la iluminación pública asume un papel predominante en el desarrollo social y económico de las poblaciones, por la seguridad que brinda a las personas en los espacios públicos en horario nocturno, además la orientación de trayectos para favorecer el transporte. A raíz de la importancia que tiene este servicio público los datos estadísticos del lugar de estudio revelan que la tasa de crecimiento del Sistema de Iluminación Pública (SIP) está entre el 4% y 5%, lo que representa un costo de inversión en SIP de 220 M€ al año. Esta problemática ha

ocasionado preocupación en los municipios, por ello pretenden reducir el costo de factura energética concentrándose en tornar los SIP más eficientes, para ello es necesario que se desarrollen estos tres factores el planeamiento, la opinión pública y la implementación de tecnología. A nivel de planeamiento es necesario adecuar la documentación normativa con las exigencias del mercado actual, de modo a proveer a los agentes la capacidad de tornar los SIP más eficiente, la opinión pública se torna factor clave para la eficiencia energética a través del desarrollo de los ciudadanos que se asocia a la implementación de alteraciones de gestión de los SIP, en cuanto a la tecnología se puede obtener mayor eficiencia energética si se utilizan equipos eficientes que posibiliten maximizar el flujo luminoso de las lámparas, además que incrementen su tiempo de vida útil y garanticen costos bajos de mantenimiento. Conjuntamente al desarrollo de los tres factores ya mencionados el autor plantea y analiza las siguientes propuestas: La sustitución de células fotoeléctricas por interruptores horarios astronómicos, la sustitución de luminarias con lámparas tradicionales por LEDs, la sustitución de luminarias con lámparas de vapor de mercurio por vapor de sodio, la instalación de sistemas tele-gestión y por último la desconexión selectiva de los focos de luz. Como conclusión el autor señala que existe elevado potencial de reducción del consumo energético en los SIP a través de la alteración de elementos que además de disminuir el consumo de energía por la reducción de potencia instalada, permiten la mejora de las condiciones luminotécnicas en los espacios que iluminan, de los programas de promoción de eficiencia energética presentados, se sitúa mayor énfasis en la sustitución de luminarias convencionales por iluminación LED, ésta debe ser abordada y analizada cuidadosamente, pues según los resultados obtenidos no se registró una disminución significativa de la potencia instalada, y consecuentemente del nivel de iluminación, por ello las inversiones pueden revelar verdaderos desastres económicos. Por su parte, el cambio de luminarias con tecnología de las luminarias de mercurio de alta presión por luminarias de sodio de alta presión reviste una medida de gran impacto ambiental con la reducción de mercurio, además con el cambio de estos equipos se consigue obtener resultados luminotécnicos que incrementan significativamente el nivel de iluminación sin alteración de la potencia instalada.

2.3 Reglamento técnico Ecuatoriano de Alumbrado Público

La constitución de la república del Ecuador mediante el Acuerdo Ministerial No. 147 del 17 de febrero de 1987, publicado en el Registro Oficial No. 641 del 11 de marzo de 1987, se oficializó con carácter de Obligatorio las 2 Partes del Código de Práctica para Alumbrado Público **CPE INEN 14 ALUMBRADO PÚBLICO**; que el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), siguiendo el trámite reglamentario establecido en el Artículo 15 literal b) de la Ley 2007-76 del Sistema Ecuatoriano de la Calidad, ha formulado el Proyecto de **Reglamento Técnico Ecuatoriano. “Alumbrado Público”** [17]; el mismo que establece los requisitos y medidas que se deben cumplir en la red de alumbrado público, garantizando niveles lumínicos óptimos para la actividad visual, la protección de las personas y la preservación del ambiente, incluyendo criterios de eficiencia energética. Dentro de los requisitos presentes en este reglamento están los requisitos generales que mencionan parámetros como: el reconocimiento del sitio del proyecto, los criterios de selección de las fuentes luminosas, diagramas de niveles lumínicos y todo en cuanto al proceso de diseño de iluminación; otro requisito expuesto es el de los productos de iluminación y alumbrado público, éste muestra la disposición de información de los productos, sus condiciones ambientales de servicio y las fuentes luminosas existentes con sus características correspondientes; por último presenta los requisitos generales de diseño de alumbrado público.

Dentro de estos requisitos se analiza la iluminación de un sistema de alumbrado público, lo que es parte fundamental del diseño por ello es necesario mostrar mediante tablas la iluminación adecuada para el desarrollo de las actividades vehiculares y peatonales. En la Tabla 2 están asignados los criterios que se deben tener en cuenta en la iluminación de vías vehiculares, según la velocidad de circulación y el número de vehículos, Además, una vez conocidas las características según el tipo de vía se establecen los parámetros fotométricos mínimos que se deben mantener tanto en el tráfico motorizado como en el peatonal, en la

Tabla 3 y

Tabla 4 se muestran estos valores.

Tabla 2-Clase de iluminación para vías vehiculares [17].

CLASE DE ILUMINACIÓN	DESCRIPCION DE VÍA	VELOCIDAD DE CIRCULACION (KM/H)		TRANSITO DE VEHICULOS T (VEH/H)	
M1	Autopistas y carreteras	Extra Alta	V>80	Muy Importante	T>1000
M2	Vías acceso controlado y rápido	Alta	60<V<80	Importante	500<T<1000
M3	Vías principales y ejes viales	Media	30<V<60	Media	250<T<500
M4	Vías primarias o colectoras	Reducida	V<30	Reducida	100<T<250
M5	Vías secundarias	Muy Reducida	Al Paso	Muy Reducida	T<100

Tabla 3-Requisitos fotométricos mantenidos por la clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada [17].

Clase de Iluminación	Luminancia promedio (cd/m ²) Mínimo mantenido	Factor de uniformidad U ₀ Mínimo	Incremento de umbral Ti % Maximo inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U _l Mínimo	Relación de alrededores SR Mínimo
M1	2	0,4	10	0,5	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,5	0,5
M3	1,2	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,8	0,4	15	N.R	N.R
M5	0,6	0,4	15	N.R	N.R

Tabla 4-Requisitos mínimos de iluminación para tráfico peatonal [17].

Clase de Iluminación	Iluminancia Horizontal (luxes)	
	Valor promedio	Valor mínimo
P1	20	7,5
P2	10	3
P3	7,5	1,5
P4	5	1
P5	3	0,6
P6	1,5	0,2
P7	No aplica	No aplica

3 Marco Teórico

El objetivo de este capítulo es ofrecer una visión relativa a las variables que conforman este trabajo de investigación, exponiendo algunos principios fundamentales, así como analizar determinados elementos técnicos de construcción. El capítulo consta de dos apartados que a su vez estarán divididos en subcapítulos; en el primero se presentan las características de los sistemas de generación distribuida, conceptos básicos de las tecnologías utilizadas de fuentes de generación renovable y no renovables.

En el segundo apartado se exponen conceptos básicos, magnitudes y unidades de medida de las grandezas luminotécnicas, tipos de fuentes de iluminación y consideraciones generales del índice de protección y aislamiento.

3.1 Generación distribuida y sus tecnologías

3.1.1 Definición

No existe una definición exacta para la Generación Distribuida (GD), sin embargo, algunos autores emplean algunas definiciones similares que difieren en algunos aspectos, varias definiciones que se pueden citar de acuerdo con la fuente tesis de máster La Generación Distribuida en España son las siguientes [18]:

1. El autor *Ackermann* define la GD como: “La fuente de potencia eléctrica conectada directamente a la red de distribución o en instalaciones de consumidores, propone esta definición en base algunos aspectos como la ubicación, capacidad de la instalación, tecnología, modo de operación, impacto ambiental y penetración de la GD”. Este autor además propone una clasificación para la GD según su capacidad de instalación siendo estas: Micro GD ($1\text{ W} < \text{potencia} < 5\text{ kW}$) y Pequeñas GD ($5\text{ kW} \leq \text{potencia} < 5\text{ MW}$).
2. La Agencia Internacional de Energía la define como: “La producción de energía en las instalaciones de los consumidores, suministrando energía directamente a la red de distribución”.

3. Tesis de maestría Impacto de la Generación Distribuida en la Confiabilidad de Redes de distribución [21], según las fuentes documentales del *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)* y *Electric Power Research Institute (EPRI)* coinciden en definir a la GD como: “La generación de electricidad por instalaciones más pequeñas en comparación con las generadoras convencionales con la finalidad de permitir una conexión en cualquier punto del sistema eléctrico”. Además, presenta la definición de la *Internacional Council on Large Electricity Systems (CIGRE)*: “Generación distribuida son todas las unidades de generación con capacidad máxima de 50 MW a 100 MW, que usualmente están conectadas a la red de distribución”.

Como es evidente los autores coinciden en una característica fundamental de la GD que es la de estar conectada a la red de distribución, es decir se integra a redes de tensiones inferiores a las de transporte. Con la generación convencional no ocurre lo mismo como sabemos esta presenta un esquema jerárquico que tradicionalmente va desde la red de transporte recorriendo grandes distancias hasta llegar a los centros de consumo [18], en la Figura 5 y Figura 6 se muestran los esquemas .

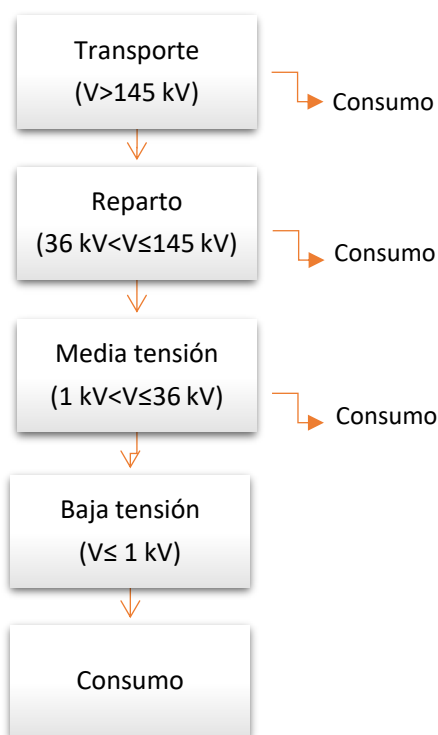


Figura 5-Estructura tradicional del sistema eléctrico [18]

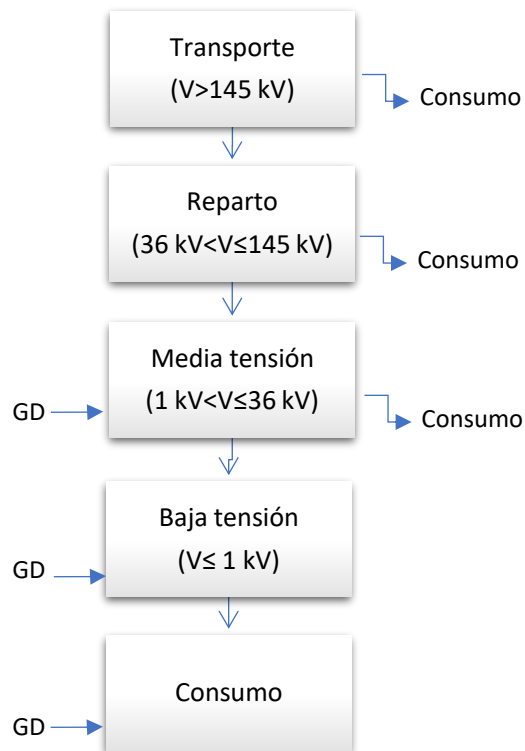


Figura 6-Nueva estructura con la presencia de GD [18]

Inicialmente los sistemas de GD solo se instalaban en centros de alta repercusión social como hospitales, aeropuertos entre otros, pero gracias a ciertas políticas e incentivos económicos esta realidad cambió, en la actualidad se encuentra con un importante crecimiento. Su generación está relacionada con tecnologías convencionales (usan combustibles fósiles) y con tecnologías de energías renovables, en la se mencionarán algunas tecnologías de GD con su respectiva capacidad típica [19]. Es muy importante indicar que las tecnologías convencionales serán descritas brevemente, pues el mayor interés se enfocará en las tecnologías de fuentes renovables.

Tabla 5-Tecnologías para la GD [19].

<i>Tecnología</i>	Capacidad típica disponible por modulo
Convencionales	
Turbina de ciclo combinado	35-400 MW
Motores de combustión interna	5 kW-10 MW
Microturbinas	35 kW-1 MW
Renovables	
Pequeñas Hidro	1-10 MW
Micro-Hidro	25 kW-1MW
Turbinas Eólicas	200 W-3 MW
Generador fotovoltaico	20 W-100 kW

3.1.2 Tecnologías para Generación Distribuida

Turbina de ciclo combinado

En la actualidad esta tecnología se utiliza únicamente en GD para aplicaciones de cogeneración de dimensión grande por su alta eficiencia y bajo costo de adquisición y generación. Toma el nombre de ciclo combinado por el acoplamiento de dos ciclos termodinámicos distintos que operan a alta y baja temperatura respectivamente, su ciclo de baja temperatura utiliza el calor residual como aportación de calor del ciclo de alta temperatura; sus ciclos más frecuentes son gas-vapor, donde funciona la turbina de gas como ciclo de alta temperatura y la turbina de vapor como ciclo de baja temperatura, su principal combustible es el gas natural [18].

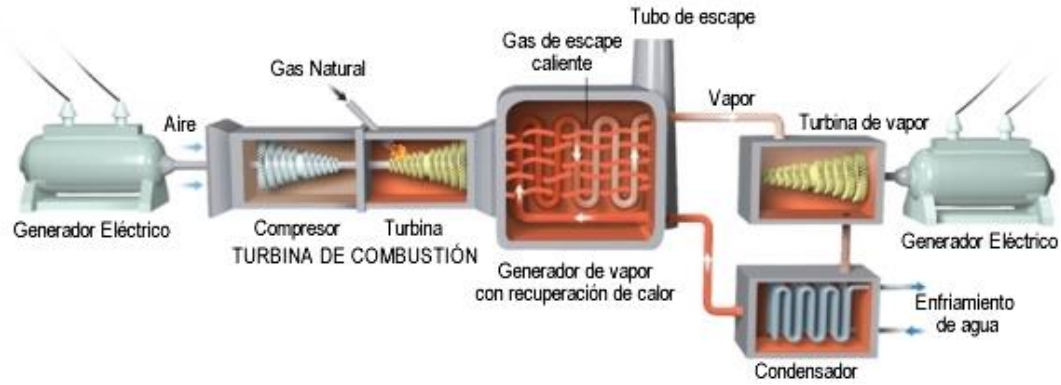


Figura 7-Turbina de ciclo combinado [18]

Motores de Combustión Interna

Existen dos tipos de motores, el uno es motor de gas natural y el otro es motor diésel, su eficiencia energética se sitúa en el rango del 30 % al 45 %, su principal uso es como reserva para cuando exista el caso de un cero de tensión. Su función consiste en obtener la energía mecánica directamente de la energía química del combustible que arde dentro de su cámara de combustión [18]. Sus ventajas son el bajo costo que tienen con respecto a las demás tecnologías de GD y su capacidad de generación que va desde 5 kW-10 MW, las desventajas son el alto costo de mantenimiento, su gran número de partes móviles y sus emisiones contaminantes, pues estas son significativamente elevadas en comparación con las demás tecnologías [19].

Microturbinas

Una microturbina es un pequeño generador acoplado a una turbina de gas que para hacer rotar su generador eléctrico y generar electricidad emplea aire y la combustión de gas natural para producir un torque en el eje. Los tipos de turbinas que existen son las de un solo eje y las de dos ejes o ejes partidos; las de un solo eje poseen la turbina y el compresor montados sobre el mismo eje del generador y son unidades de alta velocidad; las de dos ejes emplean una turbina que gira a 3600 rpm y un generador convencional, en la se presenta los componentes de este tipo de turbina [19].

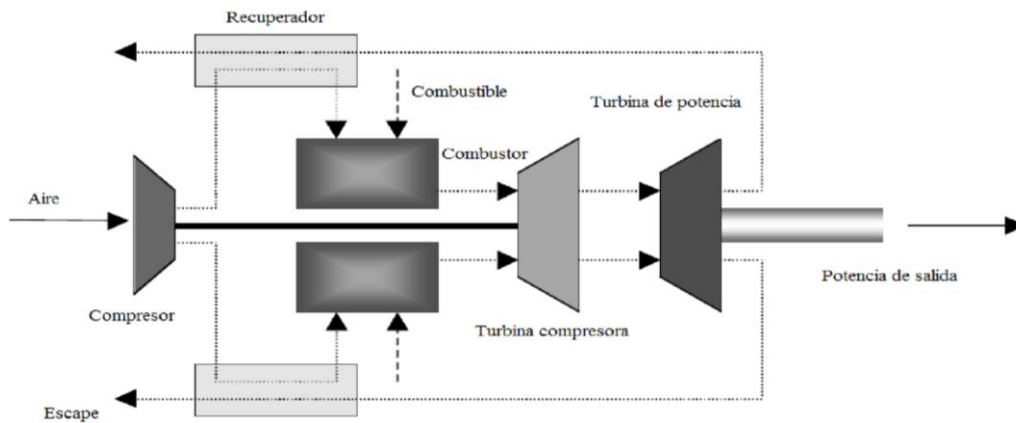


Figura 8-Esquema de una microturbina de doble eje [19].

Las principales ventajas de estas microturbinas son el escaso número de partes móviles, su tamaño compacto y la menor emisión de ruido en comparación con otras turbinas; la desventaja es su alto costo de adquisición. Estas son empleadas como energía de respaldo, como energía para satisfacer picos de demanda, en sistemas híbridos con celda de combustible y en vehículos eléctricos híbridos [18].

Minihidráulica

Una estación generadora minihidráulica consiste en la conexión de una turbina a un generador eléctrico y demás estructuras necesarias como los canales y presa que regulan el caudal del río con la finalidad de aprovechar la energía hidráulica. Su principio de funcionamiento consiste en transformar la energía potencial y cinética de una cascada en energía mecánica a través de una turbina y luego en EE mediante un generador. La energía cinética va a depender mucho del caudal y la diferencia de cota entre el nivel superior del agua en la presa y el nivel de la turbina; para cotas con poca diferencia y mucho caudal se utilizan las turbinas Franklin, su tecnología de generación se denomina Fluyentes y para las cotas con mucha diferencia y poco caudal se utilizan las turbinas Pelton, la tecnología de generación es Alta Cota, estos dos tipos de tecnología tienen como diferencia la regulación de potencia de salida, los fluyentes tienen poca posibilidad de regularla mientras que el de alta cota la regula con facilidad [18].

Debido al mínimo impacto al ambiente son consideradas centrales renovables, sin embargo producen cierto efecto significativo al ambiente que cuestiona esta afirmación [20], posiblemente por los efectos que causa estas minicentrales tienen esquemas

multipropósito consideradas medidas de mitigación que permiten la realización de diferentes actividades dentro del lugar donde se sitúan, tales como irrigación, acueductos, mejoras en la navegación, prevención de inundaciones y aspectos recreacionales.

La clasificación de las minihidráulicas se realiza en función de la potencia instalada, la altura de caída y la capacidad de almacenamiento. En la Tabla 6 se indica la clasificación recomendada por la unión internacional de productores de energía en función de la potencia instalada, además se presenta la clasificación habitual según la altura; con respecto al almacenamiento hay centrales a filo de agua que no tienen capacidad de regular el caudal, por lo que se utiliza el caudal instantáneo del río, no ocurre lo mismo con las centrales que poseen albufera, pues estas regulan y adaptan su caudal afluente, en la Figura 9 se muestra el esquema de este tipo de minicentral [20].

Tabla 6-Clasificación de las centrales Minihidráulicas [20].

Clasificación de las Centrales Minihidráulicas			
Potencia Instalada		Altura de Caída	
Designacion	Pi (MW)	Designacion	Hb (m)
Pequeña hidroeléctrica	<10	Caída baja	2-20
Mini hidroeléctrica	<2	Caída media	20-150
Micro hidroeléctrica	<0,5	Caída alta	>150

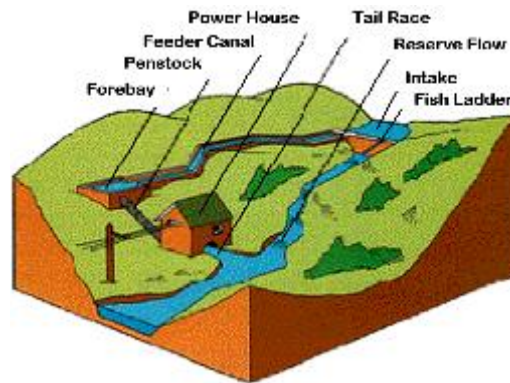


Figura 9-Central minihidráulica con albufera [20].

Además de las clasificaciones ya mencionadas, las minihidráulicas presentan otro tipo de clasificación en cuanto al caudal medio y al tipo de generador utilizado; según el caudal medio estas pueden ser: gran caudal ($Q \geq 100 \text{ m}^3/\text{s}$), medio caudal ($10 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q < 100 \text{ m}^3/\text{s}$) y pequeño caudal ($Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$); con respecto al generador pueden ser: Síncronas y Asíncronas.

Para dimensionar una minihidráulica hay que tomar en consideración la potencia a instalar que va a depender del valor de la caída o el desnivel topográfico que consiga la obra y el caudal que va a variar según el tiempo (invierno o verano) en cada región o país, estas dos variables son fundamentales en el estudio debido a la potencia útil del proyecto que garantice económicamente su construcción.

Para la realización de los cálculos pertinentes inicialmente se debe calcular la energía potencial (E_p) de una masa de agua con centro de gravedad a cierta altura (expresión 1), luego determinar la potencia a instalar (P) considerando que en un instante de tiempo la energía potencial se convierte en EE (expresión 2) [21].

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Donde m es la masa de agua (Kg), g es la gravedad ($g=9,8 \text{ m/s}^2$) y h la altura de caída bruta del agua (m).

$$P = \frac{d(E_p)}{dt} = \frac{d(m \cdot g \cdot h)}{dt} = \frac{d(\rho \cdot V \cdot g \cdot h)}{dt} = \rho \cdot g \cdot h \frac{dV}{dt} = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q \quad (2)$$

En donde V es el volumen de agua (m^3), ρ la masa volúmica del agua (Kg/m^3) y $dV/dt=Q$ es el caudal (m^3/s).

Turbinas Eólicas

Son las máquinas encargadas del aprovechamiento de la energía cinética asociada al movimiento de una masa de aire o viento. El viento es originado por la diferencia de temperatura entre la atmosfera y la superficie de la tierra y océanos; su intensidad depende tanto de la orografía del lugar, así como de la rugosidad del suelo, sin embargo, a lo largo de su trayecto pueden existir ciertas obstrucciones como turbulencias y disminución del viento que pueden afectar esta intensidad, es importante mencionar que cerca de los 2000 m de altitud la intensidad del viento ya no es influenciada por las obstrucciones de la superficie [22].

El principio de funcionamiento de estas turbinas eólicas se basa en la captación de la energía cinética obtenida del viento mediante sus hélices para a su vez hacer girar la flecha o eje de baja velocidad que está conectado a la caja multiplicadora; esta caja

multiplicadora es la encargada de incrementar la velocidad de la flecha de tal forma que sea la adecuada para el generador eléctrico [19]. Su constitución se basa en una serie de componentes como la torre, aspas, centro de la turbina, cobertura de turbina, cabina y sus elementos que la conforman. La cabina es donde se encuentra el eje principal que transfiere el par del rotor resultante de la incidencia del viento a la unidad multiplicadora; las tuberías de control hidráulico de los frenos aerodinámicos y los frenos de disco que se utilizan en situaciones de emergencia o para efectuar el mantenimiento correspondiente, es importante mencionar que, si se efectúa un frenado forzado con el viento a alta velocidad, se pueden dañar ciertos componentes del sistema. Además, posee en su parte superior un sensor para medir la velocidad y dirección del viento “un anemómetro”, este dispositivo es el encargado de comunicar cualquier variación excesiva de velocidad y dirección de viento a los sistemas aerodinámico del aerogenerador (los de actuación directa sobre aspas y actuación directa sobre cabina), la función de estos sistemas consiste en garantizar la estabilidad de operación de la máquina y optimizar la velocidad del rotor. En cuanto a los componentes del sistema de transmisión mecánica en la cabina están: el centro de la turbina (cubo), eje de transmisión de baja o alta velocidad, freno, unión elástica, unidad multiplicadora (caja de velocidades) [22].

Otro componente muy importante dentro de la cabina es el generador, éste puede ser síncrono o asíncrono; en el caso de querer garantizar que el eje de accionamiento del generador opere a velocidad constante es más común la utilización del generador asíncrono, ya que es más simple y su precio es más reducido en comparación con los síncronos, además cuando éste opera por debajo de la velocidad nominal posibilita el manejo de la turbulencia, es decir, permite un funcionamiento suave. Finalmente está el transformador elevador, normalmente los generadores suministran una potencia a tensiones por debajo de los 1 kV lo que no permite la conexión a la red de media tensión del parque eólico, esto hace necesario que se instale el transformador, además considerando que con la elevación de tensión se reduce la intensidad de corriente en tránsito en la red y por ende las pérdidas y la sección de los conductores resulta ser aún mayor la necesidad de incorporarlo en el sistema [22]. En la Figura 10 se presenta detalladamente la constitución general de las turbinas eólicas o aerogeneradores.

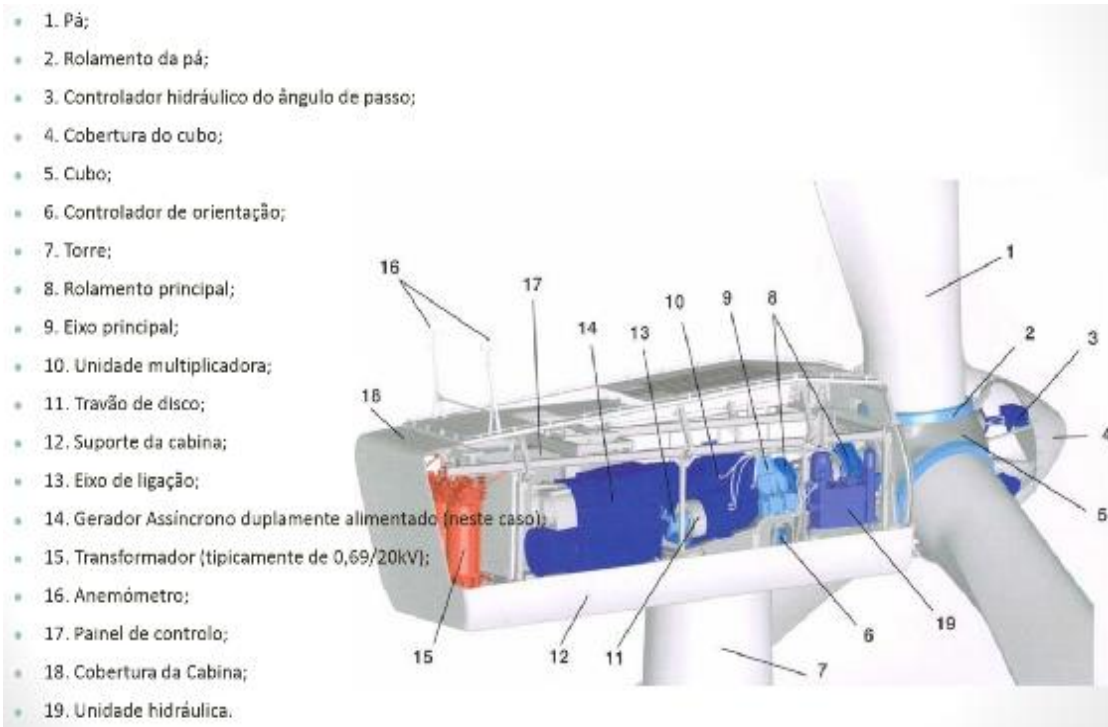


Figura 10-Constitución general de una turbina eólica [22].

La potencia por instalar va a depender mucho de los valores registrados de la velocidad del viento, del área de barrido de las aspas y del tipo de la máquina eléctrica que se vaya a instalar, el estudio de estas tres variables va a garantizar los valores de potencia útiles que justifiquen la construcción del parque. Es necesario saber además que la potencia mecánica del aerogenerador está asociada a una determinada masa de aire, la misma que no es posible convertirla en EE en su totalidad debido al rendimiento mecánico y eléctrico del proceso y al límite teórico (Limite de *Betz*) derivado de la propia turbina eólica. Según conceptos relativos de mecánica de fluidos la existencia de un máximo limite teórico de rendimiento de conversión de la energía cinética de traslación en energía cinética de rotación toma el valor próximo de 59 % [22].

Todo lo ya referido es de gran interés para el dimensionamiento del aprovechamiento eólico, sin embargo, es necesario saber que existen aún varios factores que se deben tener en consideración para el cálculo de la potencia eléctrica, a continuación, serán expuestos todos estos factores (expresión 3):

$$P_{out} = \frac{1}{2} \rho \cdot C_p \cdot n_{st} \cdot n_g \cdot A \cdot u^3 \quad (3)$$

Donde:

P_{out} -potencia eléctrica (W)

ρ - peso específico o masa volumica (1,025 kg/m³)

A- Área de masa de aire

u-Velocidad del viento (m/s)

C_p -Coeficiente de potencia (adimensional)

n_{st} -Rendimiento del sistema de transmisión (%)

n_g -Rendimiento del generador

En la actualidad esta tecnología presenta ventajas en cuanto a sus rangos de potencia que van desde 30 kW hasta más de 2 MW, en su proceso de generación pues alcanza índices de fiabilidad en sus máquinas cerca al 97 % y su mantenimiento es prácticamente insignificante; es una tecnología bastante eficiente y amigable con el ambiente que no registra consumo de combustible y por ende se consideran cero emisiones de CO₂, la principal desventaja es la dificultad de predecir la potencia debido a las variaciones impredecibles del viento [18].

Generador fotovoltaico

Un generador fotovoltaico (FV) es el conjunto de módulos conectados en serie o paralelo, cumplen la función de transformar la energía solar en EE mediante los paneles o módulos fotovoltaicos, los mismos que están conformados de un determinado número de células en serie o en paralelo encapsuladas y montadas en una estructura de aluminio y protegidas por un marco de vidrio(Figura 11); cada célula es una unión básica PN con contacto eléctrico en la región P y otro en la región N que permiten la formación de un circuito eléctrico. Normalmente la distribución de estas células depende de los niveles de tensión y corriente que se pretenden obtener [23].

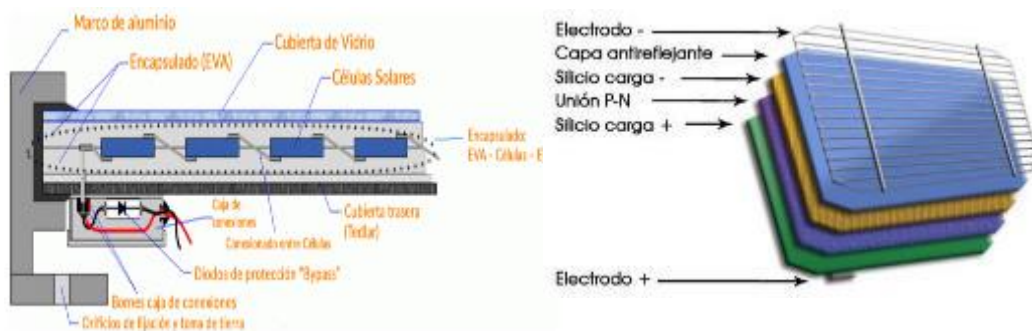


Figura 11-Partes de un módulo o panel fotovoltaico [23]

En esta tecnología la generación de electricidad se produce gracias al efecto fotovoltaico, pues la transformación de la radiación solar se da por medio de las células fotovoltaicas gracias a que estas están formadas por un material semiconductor generalmente de silicio. El efecto fotovoltaico empieza cuando la luz solar incide sobre la superficie del panel en forma de fotones y la capa superior de carga negativa los absorbe, este fotón absorbido libera a un electrón que se encuentra en el interior de la celda haciendo que pase hacia la capa inferior de carga positiva; al estar ambos lados de la celda conectados por un cable se genera una corriente eléctrica [19]. En todo su proceso generación de electricidad para poner en funcionamiento varios aparatos eléctricos esta tecnología no registra consumo de combustible, por lo tanto, se considera cero emisiones de CO₂ a la atmosfera lo que la hace que sea una fuente limpia y renovable más atractiva que otras fuentes.

La producción fotovoltaica se puede obtener conociendo la radiación global sobre la superficie presentada en los atlas solares o bien utilizando registros históricos de estaciones meteorológicas más próximas del lugar de instalación que contengan valores medios de radiación global, número de horas de sol y la temperatura media. Entre la radiación solar incidente en la superficie se pueden diferenciar tres componentes: radiación directa, difusa y reflejada. La radiación difusa llega directamente del sol sin sufrir cambio alguno en su dirección, se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan; la radiación difusa se denomina así porque va en todas las direcciones debido a las reflexiones y absorciones no solo de las nubes sino de partículas de polvo atmosférico, se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos; y por último la radiación reflejada ésta depende del coeficiente de reflexión de la superficie, por lo general las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben (Figura 12) [24].

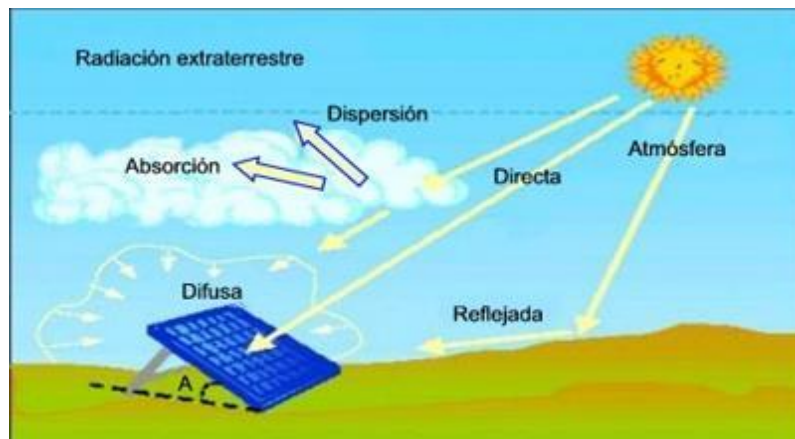


Figura 12-Tipos de Radiación [24]

El diseño es determinado por la demanda del sistema, requerimientos energéticos, las condiciones y características de uso, su clasificación divide a estos sistemas en tres tipos de acuerdo con su configuración [18]:

1. **Sistema FV aislado:** Se usan en localizaciones que no tienen acceso a la red de distribución, estos sistemas necesitan del uso de baterías y de un regulador de carga.
2. **Sistemas FV conectados a la Red:** En estos sistemas la carga va a estar alimentada tanto de los paneles fotovoltaicos como de la red, por ello necesitan de un inversor. La ventaja que presenta este sistema es que no necesita de baterías ni regulador de carga lo que reduce las pérdidas y la inversión.
3. **Sistema Híbrido:** El sistema FV se conecta con otra fuente de generación, ya sea un motor diésel o un aerogenerador.

Los componentes que conforman a cada uno de estos sistemas varían según la configuración descrita anteriormente, sin embargo, cada uno realiza la transformación de la radiación solar a EE mediante los **paneles fotovoltaicos** y utilizan un **inversor** para transformar la Corriente Directa (CD) de los paneles fotovoltaicos y del aerogenerador en el caso de los híbridos en Corriente Alterna (CA) para alimentar la carga, además de esto este dispositivo tiene como función aumentar el rendimiento del sistema, realizar el acoplamiento a la red y sobre todo de protegerla contra corto-circuitos, tensiones y frecuencia de red fuera de nivel. Como diferencia de los demás sistemas los sistemas aislados necesitan también del uso de **baterías** para almacenar la energía y poder utilizarla en cualquier momento, no solo cuando esté disponible la radiación solar, pues la acumulación de energía debe encontrarse regulada para que el sistema siga

funcionado incluso en periodos largos de tiempo donde hay presencia de radiación difusa (días nublados); otro componente importante en este sistema es el **regulador de carga**, este dispositivo tiene como función regular e informar de posibles fallas ya sea de forma sonora o visual, también debe evitar la sobre carga y debe descargar las baterías [23]. Cabe recalcar que en ciertos casos los sistemas conectados a red también instalan baterías como fuente de almacenamiento, siempre y cuando el proyecto lo amerite y se justifique la inversión; todos los componentes descritos en este párrafo son considerados de gran importancia en los sistemas fotovoltaicos, sin embargo, existen varios elementos que cumplen funciones relevantes como la protección de equipos y mediciones de parámetros eléctricos.

La energía solar fotovoltaica al igual que otras energías renovables, constituye frente a los combustibles fósiles una fuente inagotable de preservación ambiental, evitando efectos de uso directo como contaminación atmosférica, residuos, y otros, además de efectos derivados de su generación como excavaciones, minas y canteras. Esta energía tiene también efectos sobre ciertos factores ambientales como [24]:

1. **Clima:** Debido a que la generación de energía eléctrica no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂.
2. **Geología:** Al estar fabricadas las células fotovoltaicas de silicio, elemento obtenido de la arena muy abundante en la naturaleza y al no requerir cantidades significativas no se producen alteraciones en las características topográficas o estructurales del terreno.
3. **Suelo:** Como no se producen contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad es mínimo el efecto negativo.
4. **Flora y fauna:** La repercusión sobre la vegetación es nula y cuando se logran reducir los tendidos eléctricos y se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves.
5. **Paisaje:** Los módulos solares tienen distintas posibilidades de integración en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.
6. **Ruidos:** El sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas.

3.2 Principios fundamentales del Alumbrado Público

3.2.1 Conceptos básicos magnitudes y unidades de medida

En esta sección se presentarán las magnitudes, unidades de medida y parámetros que permiten evaluar la iluminación general, inicialmente serán presentados: la intensidad luminosa, flujo luminoso, iluminancia y la luminancia. Seguidamente serán definidos algunos parámetros luminotécnicos que caracterizan las diversas fuentes de iluminación como la apariencia del color, su índice de restitución de color, su eficiencia luminosa y su tiempo de vida útil. A continuación, se definen las siguientes magnitudes.

Intensidad Luminosa (I)

Se conoce como intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por una fuente de luz en una dirección concreta por unidad de ángulo sólido, es decir que corresponde a la intensidad de radiación luminosa emitida por segundo en una determinada dirección. Su símbolo es (I) y su unidad es la candela (cd).

Un ángulo sólido está formado por un cono, cuya base ocupa una superficie de $1 m^2$ sobre una esfera de $1m$ de radio y con vértice sobre el centro, su unidad es el estereorradián [25].

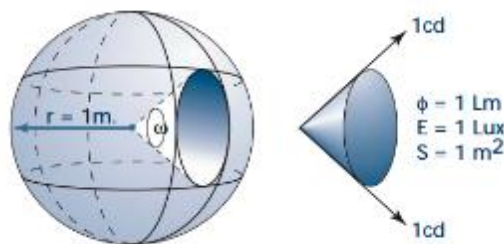


Figura 13-Ángulo sólido [25]

Flujo luminoso (ϕ)

Es la cantidad total de luz emitida por una fuente luminosa por segundo, su símbolo es Φ (ϕ) y su unidad es el lumen (lm). A su vez también se lo define como una energía

radiada por segundo que produce una sensación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Esta radiación de 1 W con longitud de onda de 555 nanómetro equivale a un flujo luminoso de 683 lúmenes, que equivale por consiguiente a la máxima eficacia luminosa perceptible por el ojo humano [25].

Illuminancia (E)

Indica la intensidad del flujo luminoso (ϕ) que incide en una determinada superficie (S), su símbolo es (E) y su unidad es el lux (lx) que es un lm/m^2 . Normalmente esta grandezza luminotécnica es utilizada para hacer referencia al nivel de iluminación de algunas aplicaciones, varios valores típicos son los siguientes [25]:

- 1 100000 lux, para um dia limpo de sol.
- 2 1000 lux, para um escritório de trabalho.
- 3 30 lux, para iluminação artificial de via pública.

Luminancia (L)

Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por el observador en una dirección específica, su símbolo es L y su unidad es candela sobre metro cuadrado cd/m^2 . La luminancia es de gran importancia porque se relaciona directamente con aquello que el ojo humano es capaz de captar de un objeto iluminado [25].

Los conceptos presentados de intensidad luminosa, flujo luminoso, luminancia e iluminancia constituyen una parte fundamental de la luminotecnica, pues a partir de estas grandezas son proyectados los diferentes sistemas de iluminación. Asimismo, en los siguientes párrafos se presentarán los parámetros que ayudarán en la evaluación de las características de las fuentes de iluminación.

Eficiencia Luminosa

Corresponde al cociente entre el flujo luminoso y a la potencia eléctrica absorbida por la lámpara, esta expresado en lumen por vatio (lm/W). Este parámetro evalúa la proporción de energía que efectivamente es convertida en luz, pues en el proceso de transformación de energía existen perdidas debido a la radiación ultravioleta o de calor por conducción o convección [25]. Finalmente se puede mencionar que la eficiencia o

rendimiento luminoso puede ser referido tanto a la lámpara como a la luminaria y a todo el sistema de iluminación.

$$\eta = \frac{\varphi (lm)}{p (W)}$$

Temperatura del color

Expresa la apariencia del color de la luz, su unidad viene dada en grados Kelvin, está determinada a través de la escala de temperatura de colores del triángulo de colores de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), que es un sistema de clasificación de colores. La escala resulta de la comparación del color dentro del espectro luminoso con el de la luz que se obtendría de un cuerpo negro calentado a una determinada temperatura.

Es muy importante mencionar que las lámparas incandescentes poseen una distribución espectral semejante a la de un cuerpo negro, por lo que su localización en el triángulo de colores es en la curva del cuerpo negro o muy próxima de esta, por otro lado las lámparas fluorescentes tienen una distribución espectral diferente, pues sus líneas isotérmicas que permiten calcular su temperatura están apartadas de las líneas del cuerpo negro [25]. Las temperaturas de color y su apariencia emitidas según el nivel iluminación serán detalladas en la Tabla 7.

Tabla 7-Apariencia de color [26].

Iluminancia (lx)	Temperatura de color (K)		
	Caliente (<3300)	Intermedia	Fría (>5000)
Hasta 1000	Agradable	Neutra	Fría
1000 a 3000	Estimulante	Agradable	Neutra
Mas de 3000	Artificial	Estimulante	Agradable

Índice de reproducción cromática (CRI)

Es el efecto de la radiación emitida por una fuente de luz sobre el aspecto cromático de los objetos que ésta ilumina, en comparación con el que se presenta bajo una luz de referencia; la referencia se toma la radiación del cuerpo negro y como la ideal la radiación emitida por la luz del día [27]. Es medida en una escala de 0 a 100 pero no debe entenderse como un porcentaje de fiabilidad de reproducción de cada uno de los

colores, ya que se obtiene como promedio de las reproducciones efectuadas en los colores de una muestra. En la Tabla 8 se presenta la calidad de color deseada para ciertas aplicaciones según algunas escalas del CRI [26].

Tabla 8-Índice de reproducción cromática [26].

Calidad deseada	CRI	Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apreciación más exacta de los colores. ▪ Excelente rendimiento de color 	> 90	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Control y selección ▪ Laboratorios ▪ Sala de impresión
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rendimiento de color aceptable 	> 70	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escritorios, escuelas y tiendas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rendimiento de color mediocre 	$60 < \text{CRI} < 70$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Industrias: oficinas mecánicas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sin exigencia de rendimiento de color 	> 60	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Industrias: almacenes, salas de fundición y producción en general

Tiempo de vida útil

Este parámetro se refiere al tiempo de vida en el que una lámpara va a dejar de operar en sus condiciones normales, el prever este tiempo es imposible porque depende de muchos factores como la tensión (V), la corriente (A), la temperatura ambiente y otras condiciones de operación, sin embargo, se puede estimar el tiempo medio de vida mediante ensayos y mediciones en determinadas condiciones que los distintos fabricantes pueden realizar a sus lámparas [25]. El indicador más usual para determinar este parámetro es el tiempo en el cual el 50 % de un número significativo de luminarias deja de emitir flujo luminoso.

3.1.2 Fuentes de iluminación

Las fuentes de iluminación son caracterizadas por cuatro factores: la apariencia del color, su índice de restitución de color, su eficiencia luminosa y su tiempo de vida útil [26], todos estos factores ya fueron presentados en el subcapítulo anterior, en el actual se explicaran los conceptos de las principales tecnologías usadas en los sistemas de iluminación, los aparatos de soporte y los dispositivos de control, además se presentaran los tipos de fuentes de iluminación de alumbrado público.

Lámparas

Son dispositivos encargados de generar luz, los tipos que existen son los presentados en la Figura 14:

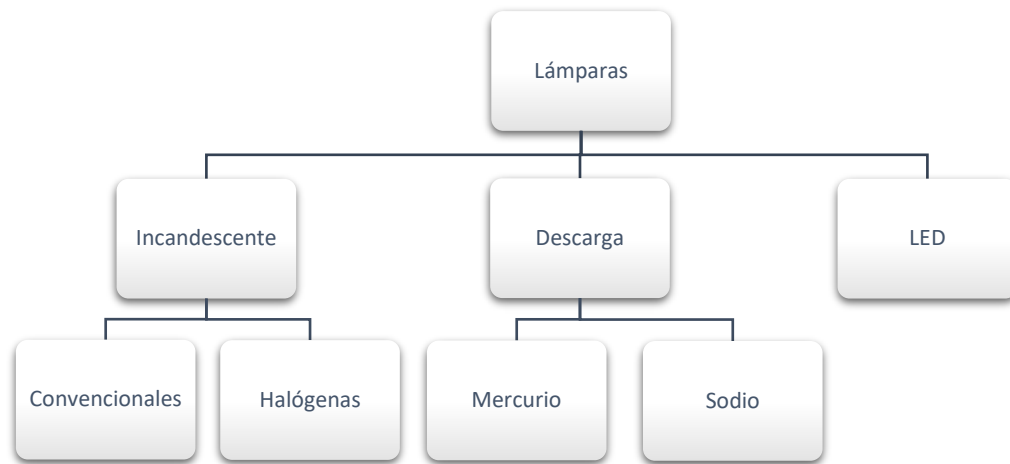


Figura 14-Tipo de lámparas [26].

Lámpara incandescente convencionales

Estas lámparas están constituidas por un filamento de tungsteno (wolframio), el punto de fusión del wolframio es de 3378°C . Producen luz a partir del efecto Joule, pues al pasar una corriente eléctrica por el filamento, éste se calienta y se torna incandescente [26]. Está constituida por un filamento, gas de relleno, ampolla, hilos conductores y casquillos; el filamento es el responsable de producir luz, éste deberá ser capaz de aguantar temperaturas muy altas, por lo tanto su punto de fusión debe ser elevado; por otra parte el gas de relleno tiene la función de reducir la vaporización de este derivado, los gases inertes más utilizados son el nitrógeno y argón debido a sus altos rendimientos luminosos; la ampolla de vidrio que es la encargada de envolver el filamento con la finalidad de protegerlo y distribuir el flujo luminoso, por último los hilos de conducción de corriente eléctrica y el casquillo normalizado que sirve para conectar la lámpara a la luminaria [25].

Estas lámparas incandescentes son muy ineficientes pues según su distribución energética correspondiente a su funcionamiento, el 70 % de radiación es infrarroja, el 20 % de pérdidas por conducción y convección y apenas el 10 % de radiación incandescente es visible para el ojo humano [25].

Lámparas halógenas

El principio de funcionamiento es similar al de las lámparas incandescentes convencionales, con la diferencia que su gas de relleno incorpora compuestos halógenos como el flúor, bromo o yodo, esto con el objetivo de evitar el ennegrecimiento de las ampollas y por ende la disminución del flujo útil. Su ciclo de funcionamiento consiste en la combinación del halógeno con el tungsteno vaporizado formando un gas (halogenuro de tungsteno) que por medio de convección se acerca al filamento, donde la alta temperatura que este presenta lo convierte nuevamente en metal tungsteno [25]. Las etapas de este ciclo corresponden: (a) filamento de tungsteno apagado, (b) filamento de tungsteno encendido, es decir en forma de vapor, (c) combinación del tungsteno vaporizado con el gas halógeno y (d) resultado de la combinación el halogenuro de tungsteno; es muy importante mencionar que este resultado le permite al filamento regenerarse liberando gas halógeno durante el proceso, efectuando así el llamado ciclo del halógeno.

Lámparas de descarga

Su principio de funcionamiento es distinto al de las lámparas incandescentes, pues la generación de luz se debe a una descarga eléctrica continua en un gas ionizado que generalmente son vapores metálicos. Debido al proceso de descarga estas lámparas necesitan de otros dispositivos como el arrancador y balastro magnético o simplemente de un balastro electrónico que reemplace la existencia de un arrancador, para cumplir con su principio de funcionamiento.

El arrancador cumple la función de suministrar un breve pico de tensión entre los electrodos del tubo necesario para iniciar la descarga y vencer la resistencia inicial del gas hacia la corriente eléctrica mientras que el balastro controla el flujo de corriente responsable de la emisión de luz; al suplir estos dos elementos por un balastro electrónico se obtiene el mismo proceso de funcionamiento, es decir va a proveer la tensión adecuada para establecer la conexión entre los electrodos que encienden la lámpara y va a regular la corriente eléctrica que fluye a través de la lámpara, además va a proporcionar el voltaje de operación correcto para suministrar también una corriente

especifica [26]. En la Figura 15 se muestra la diferencia de los elementos de conexión de estas lámparas.

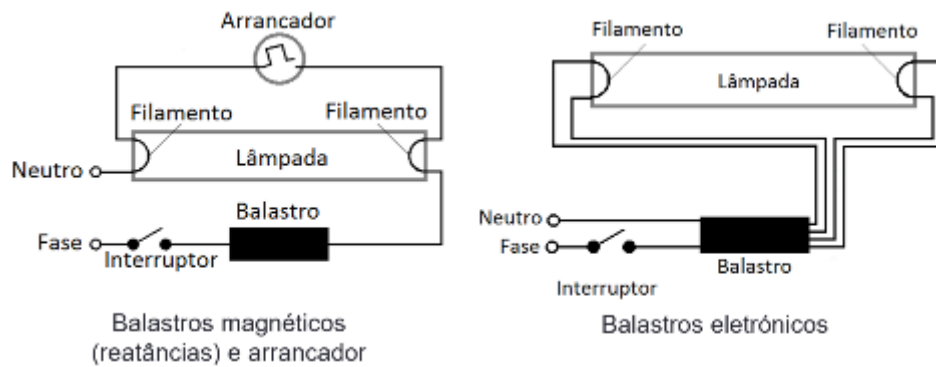


Figura 15-Elementos de conexión de las lámparas de descarga [26].

La revolución electrónica ha dado paso a obtener balastos cada vez más eficientes, pues a diferencia del balastro electromagnético el electrónico es capaz de regular el encendido de las lámparas y al mismo tiempo regular altas frecuencias mayores a 20 KHz. Otro aspecto muy importante de estos balastos es que eliminan el parpadeo de encendido de la lámpara y el ruido audible, además ajusta la salida de luz usando un control de intensidad luminosa y aumenta la durabilidad de la lámpara.

Lámpara de vapor de Mercurio

Las lámparas de vapor de mercurio utilizan la luminiscencia producida por la descarga eléctrica en una atmosfera gaseosa, en estos tipos de lámparas la producción de luz es realizada en la región de descarga, es decir que es un a lámpara de cátodo caliente [25]. La descarga depende tanto de la intensidad de corriente como de la presión de mercurio, el rendimiento luminoso resultado de la descarga eléctrica es reducido para pequeñas presiones y aumentado considerablemente para presiones elevadas, esto explica que dentro de este tipo de lámparas existan las de baja presión y alta presión. Debido a su utilización en este capítulo estudiaremos las lámparas de descarga de alta presión, pues estas sirven para iluminación industrial y pública.

Lámparas de mercurio de alta presión

Tienen un tubo de cristal de cuarzo donde existe una cantidad de mercurio vaporizado a alta presión y un gas inerte, normalmente argón por ser un gas que tiene mayor facilidad de vaporización con la función de ayudar al arranque de la lámpara. Los

electrodos constituidos normalmente de tungsteno están colocados sobre las extremidades del tubo, también existe un electrodo auxiliar situado cerca al electrodo principal opuesto a través de una resistencia (25000 ohm). Entre el tubo de cuarzo y la ampolla de la lámpara existe un gas como el nitrógeno con la función de evitar un arco eléctrico entre las partes metálicas internas, finalmente se encuentra el casquillo adecuado a la potencia de la lámpara (Figura 16).

El rendimiento luminoso obtenido en este tipo de lámparas es bastante bueno varía aproximadamente entre los 30 y 60 lm/W, además de la energía de entrada de la lámpara del 15 al 20 % es convertida en iluminación, cerca del 20 % es radiación ultravioleta, el 15 % es infrarroja y el porcentaje restante es perdida por conducción o convección; su tiempo de vida media útil está cerca de 12000 y su tiempo de arranque varía de 5 a 7 minutos, y de 3 a 6 minutos [25].

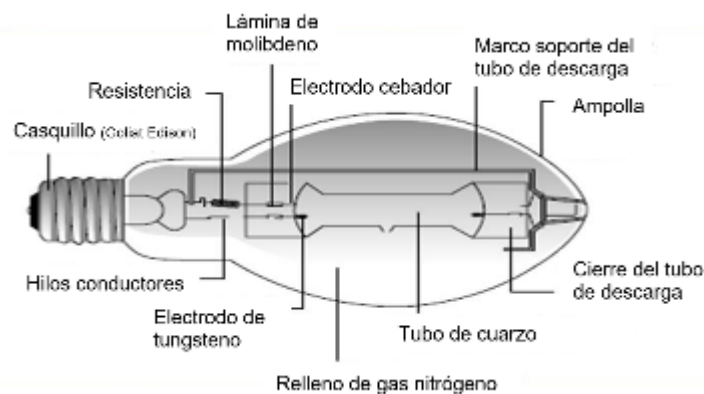


Figura 16-Constitución de una lámpara de Mercurio de alta presión [25].

Lámparas de vapor de sodio

Se asemejan en aspectos constructivos al funcionamiento de las lámparas de vapor de mercurio, es decir también son lámparas de cátodo caliente. Sustituyen al mercurio por el sodio a fin de conseguir mayor proporción de radiación visible y por ende obtener un mayor rendimiento luminoso, otra similitud que tienen estas dos lámparas es que el valor de la presión a la que es sumergido el gas dentro del tubo de descarga tiene una gran importancia en términos de eficiencia energética.

En cuanto a su constitución su tubo de descarga está hecho en oxido de aluminio capaz de aguantar las altas presiones, la ampolla es hecha en vidrio duro y los demás elementos auxiliares están integrados tal como en las lámparas de mercurio [25].

El rendimiento luminoso obtenido en este tipo de lámparas es bastante bueno, aproximadamente el 30 % de la energía de entrada de la lámpara es convertida en iluminación, del 15 al 20 % es radiación infrarroja y el porcentaje restante es pérdida por conducción o convección; su índice típico de restitución cromática está entre 25 a 60, es decir transmite una mejor sensación visual en comparación con una lámpara de vapor de sodio de baja presión; dependiendo de la potencia que tenga la lámpara varía su rendimiento luminoso, éste generalmente está entre 60 y 130 lm/W y la temperatura de color varía entre 2000 y 2500 °K. En cuanto al tiempo de vida media útil tiene una duración de 20000 a 30000 horas aproximadamente y su tiempo de arranque típicamente es de 5 minutos.

Tecnología LED

Estas son fuentes de iluminación de estado sólido que constituyen una forma más reciente y con mayor desarrollo de iluminación artificial, se basa en la emisión de luz en semiconductores, específicamente los diodos, el proceso de generación de luz se da por el paso de la corriente eléctrica en respuesta a un campo eléctrico causando así el fenómeno designado por electroluminiscencia.

La constitución básica es de un conjunto de regiones realizadas en material semiconductor, el material es obtenido del proceso de dopaje, que consiste en la introducción de materia o impurezas. El material que constituye el cristal del semiconductor está compuesto típicamente de tres electrones en una camada exterior o de valencia como aluminio, galio o indio, la región de tipo n será la fuente de cargas negativas obtenida por la sustitución de una pequeña cantidad de átomos del material principal por átomos de otro elemento con mayor valencia, en este caso cuatro de tal forma que la región tenga exceso de cargas negativas.

La región tipo p va a ser la fuente de cargas positivas obtenida introduciendo elementos con menor valencia provocando así un déficit de cargas negativas, los elementos usualmente utilizados como el zinc o magnesio [25].

El efecto de producir luz ocurre cuando le aplicamos una corriente eléctrica procedente de una fuente de corriente directa, los electrones comienzan a fluir desde la región "N"

hacia la región “P”, pues cada vez que un electrón atraviesa la barrera de potencial o región activa que se forma en el punto de unión entre ambas regiones del diodo para unirse a un hueco emite un fotón de luz, de esa forma el electrón libera el exceso de energía que adquirió para poder ingresar en la órbita de un átomo que posea un hueco libre.

El flujo luminoso en esta fuente de luz también depende mucho de la potencia, puede ser del orden de 10 a 2 lúmenes para LED para bajo consumo o superior de 100 lumen, sin embargo, esta tecnología según va desarrollando posibles mejoras para obtener un mejor rendimiento por encima de 100 lm/W. los LED que emiten luz blanca permiten varias gamas de temperaturas de color, típicamente entre los 2500 K y 5000 K, la restitución de color es una limitante que tiene esta tecnología que vienen siendo mejoradas, siendo actualmente el valor del CRI de 75 y ciertas veces > 90. Una de las grandes ventajas de la iluminación LED es que su tiempo de vida media útil es superior a 50000 horas, según análisis realizados este tiempo de vida en este tipo de tecnología a diferencia de las demás ya presentadas es que se da la disminución del flujo luminoso, por ejemplo, en las lámparas incandescentes la duración de la lámpara se puede ver afectada por la ruptura del filamento de tungsteno y en las de descarga por el desgaste de los electrodos.

La gran desventaja que presentan los LED es que no son los ideales para aplicaciones de iluminación ya que se requieren flujos luminosos elevados lo que implicaría que para conseguir el flujo requerido se deba utilizar mayor número de LED; una alternativa para este escenario es utilizar una corriente de iluminación elevada para incrementar el flujo luminoso, sin embargo, con esto se reduciría considerablemente la eficiencia de los LED causando un efecto conocido como droop [25].

Luminarias

Son dispositivos que contienen una o más fuentes luminosas con su correspondiente sistema de alimentación eléctrica, de protección y demás elementos auxiliares diseñados para dirigir el flujo luminoso hacia una determinada superficie [27].

Se pueden clasificar según diversos criterios: ópticos, mecánicos, eléctricos, energéticos, estéticos y económicos. En cuanto a su criterio óptico se requiere que la luminaria sea capaz de controlar y distribuir la luz, y además pueda reducir la luminancia en determinadas direcciones para evitar el encandilamiento, para sus criterios mecánicos y eléctricos se debe cumplir con la robustez de sus materiales de construcción, es decir que sean adecuados al ambiente de utilización, sean resistentes a la humedad, polvo y temperatura, además debe presentar facilidad de instalación y mantenimiento. Para sus dos últimos criterios se requiere que la luminaria tenga aspecto agradable al entorno y al mismo tiempo su costo de adquisición, mantenimiento y de energía sean económicos.

El rendimiento es otro aspecto importante que se debe tener en cuenta en una luminaria, pues es la capacidad que tiene ésta para reemitir el flujo luminoso insertado en ella, por ello para determinarlo se aplica la siguiente expresión [26]:

$$\eta(\%) = \frac{F_T}{F_{Lamps}} \times 100$$

Donde F_T es el flujo luminoso emitido por la luminaria y F_{Lamps} el flujo luminoso emitido por todas las lámparas integradas en la luminaria. Es importante que no se confunda el rendimiento o eficiencia con la eficacia, ya que la eficiencia de la luminaria es un porcentaje de aprovechamiento, mientras que la eficacia es el cociente entre el flujo luminoso emitido por una fuente y la potencia absorbida por dicha fuente y se mide en (lm/W), en otras palabras, la eficacia es la capacidad que tiene la fuente de luz para aprovechar la energía que consume y convertirla en energía visible [26].

$$\eta = \frac{\varphi}{P}$$

Índice de protección de las luminarias IP/IK

Este indica la forma en que una luminaria está protegida contra los agentes externos como el polvo, el agua y el polvo, según el sistema IP está constituido por dos cifras; la primera indica el grado de protección contra agentes sólidos y el segundo contra agentes líquidos, además según la norma EN50102 deberá existir también una tercera cifra relativa a la protección contra impactos mecánicos IK [26].

Clases de aislamiento

La luminaria debe estar diseñada para que cumpla el nivel de aislamiento especificado en normas internacionales, o de reconocimiento internacional equivalente a protección contra voltaje de contacto, entre ellas la **clase I** que permite la protección contra choques eléctricos mediante la conexión a tierra de sus partes metálicas accesibles que puedan resultar peligrosas en caso de falla del aislamiento básico; la **clase II** garantiza su protección mediante un aislamiento duplo o reforzado, en la mayoría de los casos las luminarias integran materiales aislantes en su constitución por esta razón ya no es necesaria la conexión a tierra; la **clase III** las luminarias como forma de protección utilizan apenas una tensión muy baja de seguridad designada por SELV en la terminología anglosajona (*safety extra-low voltage*) [26]

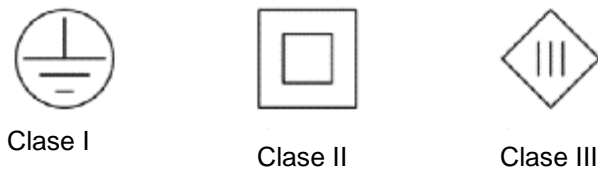


Figura 17-Clase de aislamiento [26].

Sistemas de control en sistemas de iluminación vial

Estos sistemas pueden ser clasificados en sistemas autónomos sin inteligencia e inteligentes, los considerados sin inteligencia son los relojes convencionales, los interruptores horario astronómico y el sensor crepuscular; todos estos permiten la conexión y desconexión de una o un grupo de luminarias con características particulares descritas a continuación [16]:

1. **Reloj convencional:** Actúa en instantes de tiempo predeterminados sin controlar cualquier variable.
2. **Interruptor horario astronómico:** Controla el horario de encendido y apagado de los circuitos de alumbrado según el horario solar de la zona donde se encuentra instalado, es decir de acuerdo con la hora que nace y se oculta el sol.
3. **Sensor crepuscular:** Es también conocido por fotocélula o célula fotoeléctrica, este sensor de luz ambiente controla el encendido y apagado en función del nivel luminoso.



Figura 18-Reloj convencional, interruptor astronómico y sensor crepuscular [16].

Estos dispositivos de control en términos de consumo de energía no son los más eficientes, principalmente el reloj convencional y el sensor crepuscular, pues ambos no se ajustan a las necesidades de luminosidad y de control de consumo [16]; en el caso del interruptor astronómico es un control automático que va ganando más mercado en la iluminación pública por sus avances, cada dispositivo puede controlar 250 puntos de luz, consiguiendo con esto la reducción del 10 % del consumo por iluminación [26].

Además de estos dispositivos ya mencionados existen otros equipos que están destinados a reducir el nivel de iluminación sin disminuir notoriamente la visibilidad, pero con un ahorro de energía, entre ellos los equipos de doble potencia:

Equipos de doble nivel de potencia para lámparas de vapor de sodio de alta presión:

Este control dentro de su circuito de mando tiene conectada una reactancia electromagnética con dos bobinados en serie, uno de ellos que es el principal proporciona la corriente y la potencia nominal de la lámpara y el otro cumple la función de aumentar la impedancia cuando se desea obtener una reducción de iluminación, de esta manera se obtendrá menor intensidad de corriente y de potencia, y por ende menor flujo luminoso. En nuestro país este equipo se encuentra en el mercado desde el 2002 y ha tenido mucha acogida pues disminuye el consumo de energía de entre el 30 % al 34 % a partir del horario de media noche [27]. En la Figura 19 se presenta el ciclo de funcionamiento de estos equipos.

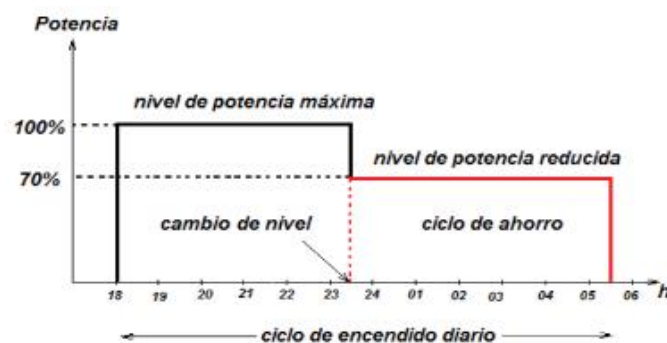


Figura 19-Ciclo de funcionamiento de los equipos de doble nivel de potencia [27].

En el ámbito de los sistemas de iluminación, así como en los demás sistemas es muy importante integrar sistemas de control y monitoreo inteligente, pues de esta forma se puede maximizar la eficiencia de estos mediante una comunicación efectuada a través de protocolos. Esta eficiencia se logra mediante la comunicación de los sensores del sistema con la unidad de control realizada mediante PLC (*Power Line Communication*) o a través de radiofrecuencia (RF) que incluye la tecnología *Wireless, ZigBee, Mesh Network*.

Los sensores encargados de monitorear los parámetros en el sistema están clasificados en cuatro grupos descritos a continuación [25]:

1. **Sensores operativos:** Estos sensores son los encargados de auxiliar el control directo del flujo luminoso. Para esta función es necesario hacer mediciones de dos variables fundamentales, una de ellas es la luminosidad ambiente y la otra es la existencia de movimiento.
2. **Sensores de mantenimiento:** Tienen la función de garantizar el buen funcionamiento del sistema mediante las mediciones continuas de los parámetros eléctricos como son la intensidad de corriente y tensiones, además de la temperatura en la instalación.
3. **Sensores climatéricos:** Regulan la luminosidad según las condiciones climáticas del lugar como pueden ser lluvias, nieve, entre otros.
4. **Sensores de integridad del sistema:** Verifican e informan las fallas o anomalías dentro del sistema, por ejemplo, el desperfecto de alguna luminaria u apoyo.

Un ejemplo de estos sistemas de control inteligentes es el gestor para control en ciudades (*Smart Cities*), este dispositivo realiza una gestión a distancia de grandes instalaciones de alumbrado como autopistas y grandes fábricas, integra una plataforma *Web* de gestión en tiempo real, actuación remota, informes y alarmas emitidas vía SMS o email. Se puede adaptar a cualquier centro de mando ya sea convencional o en aquellos que incorporan un sistema de ahorro, tiene puertos de entrada digitales y analógicas para monitorear la temperatura o cualquier otro elemento de control; estas entradas analógicas son muy útiles para la conexión de interruptores crepusculares [28].

4 Caracterización del Objeto de Estudio- Dimensionamiento de una UPAC

El capítulo cuenta con tres apartados: en el primero se realiza una breve descripción de la Universidad Técnica de Manabí; en el segundo se realiza su respectiva caracterización incluyendo su diagrama de carga, recursos naturales disponibles y componentes a utilizar en el dimensionamiento del sistema de abastecimiento de energía ligado a red empleando el *Homer*, en el tercero y último se realizará el dimensionamiento del proyecto mediante el software *Sunny Design Web*. Todo esto con el objetivo de presentar una solución de autoconsumo y eficiencia energética.

4.1 Descripción de la Universidad Técnica de Manabí

La Universidad Técnica de Manabí (UTM) fue creada por Decreto Legislativo el 29 de octubre de 1952 y empezó a funcionar el 25 de junio de 1954, hace 58 años, con las escuelas de Ingeniería Agrícola y Medicina Veterinaria. Desde su creación funcionó tradicionalmente rigiéndose a las exigencias de la comunidad estudiantil y al servicio del pueblo manabita, comprometiéndose a formar profesionales acreditados con conocimientos técnicos, científicos y adecuadas tecnologías; ético, humanista, responsable, investigador y emprendedor de proyectos, con suficientes habilidades y destrezas, capaces de aportar al desarrollo de los diferentes sectores de la sociedad ecuatoriana.

Actualmente el Alma Máter cuenta con 10 facultades: Ciencias Administrativas y Económicas, Ciencias de la Salud, Ciencias Humanísticas, Ciencias Informáticas, Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Ciencias Veterinarias, Ciencias Zootécnicas, Filosofía Letras y Ciencias de la Educación, Ingeniería Agrícola e Ingeniería Agronómica y 37 carreras. Desde su año de creación hasta la actualidad ha vivido muchos cambios, más aun desde el 2016, pues a causa del terremoto que provocó algunos daños infraestructurales, la UTM se vio obligada a construir nuevos edificios, además se han implementado nuevos laboratorios y talleres con el fin de motivar a los estudiantes y

docentes de seguir avanzando en el progreso y modernismo tecnológico e intelectual, estructuralmente cuenta con 31 edificios distribuidos para las diferentes áreas de desenvolvimiento del campus.

Su ubicación geográfica se sitúa en la provincia del mismo nombre; en el cantón Portoviejo, parroquia "12 de marzo", las coordenadas de su localización son $1^{\circ} 2'49.73''S$ y $80^{\circ}27'16.96''O$ [24].

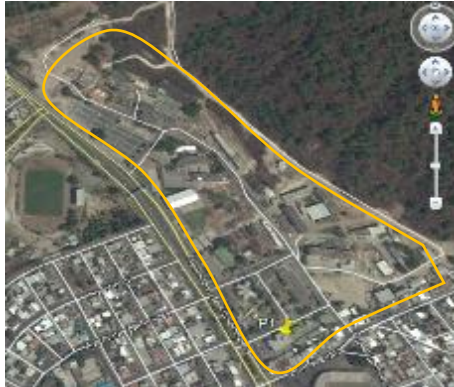


Figura 20-Ubicación de la Universidad Técnica de Manabí (Google Earth Pro).

4.2 Dimensionamiento del proyecto en el software Homer

4.2.1 Diagrama de carga

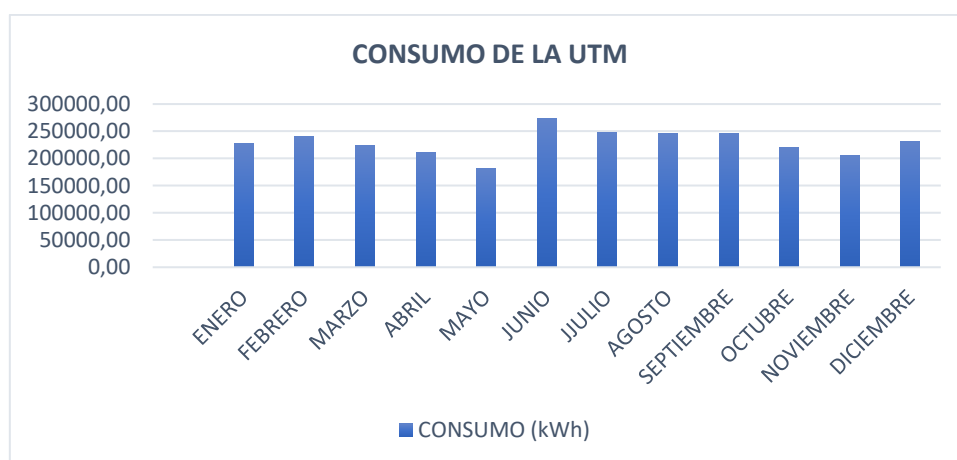
El objetivo principal de realizar la caracterización de la UTM a nivel de su sistema eléctrico es recopilar información que permita la determinación de economías de energía, que induzcan no solo a la reducción de consumos energéticos y respectiva factura eléctrica, sino también a la reducción de emisiones de CO_2 mediante el dimensionamiento de una UPAC y el estudio de factibilidad para la alteración de su sistema de alumbrado público.

La potencia instalada de la UTM es de 3.192,5 KVA según la información proporcionada por el departamento de infraestructura de la universidad, su sistema de distribución consta de una red primaria trifásica con ciertas derivaciones monofásica; y de su red secundaria donde se conectan los diferentes transformadores de distribución y se derivan las respectivas acometidas a los edificios del campus. Su punto de entrada tiene origen cerca de la puerta de ingreso #2, en este punto se conecta con la red primaria

pública P221 proveniente de la sub-estación Portoviejo 2 a un nivel de tensión de 13,8 kV, para su conexión y desconexión en el punto de enlace se encuentran instalados seccionadores 3F fusible unipolar tipo abierto con dispositivo rompearco de 200 amperios (STP-3E200), además está instalado un medidor tipo especial electrónico de energía activa, reactiva, demanda horaria, multitarifa-capacidad máxima de corriente de 200 amperios (MED-3R200_16S), para medición de sus parámetros eléctricos .

Estos parámetros obtenidos del medidor son monitoreados por la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), quien es la entidad encargada de la distribución y recaudación de electricidad, mediante esta entidad se adquirió el consumo del campus universitario en el periodo de referencia del 01 de enero al 31 de diciembre del 2017, siendo éste de 2,75 GWh, correspondiente a 591,68 Tep, que en términos de emisiones de CO₂ para la atmósfera corresponde a 835,82 TCO₂e al año. En la Tabla 9 mediante un diagrama de barras se presentan los valores correspondientes al consumo que tiene mes a mes la UTM para el periodo 2017.

Tabla 9-Consumo de la Universidad Técnica de Manabí (datos CNEL).



El mayor consumo se registra en el mes de junio con 273.779 kWh, mes donde la UTM celebra un año más de su creación, el menor consumo fue en el mes de mayo con 181.333 kWh, el consumo promedio anual es de 229.372 kWh; toda esta información otorgada por la CNEL es muy valiosa, sin embargo, no es la idónea para el dimensionamiento de la UPAC, debido a que se deben ingresar en la herramienta informática utilizada para el dimensionamiento (*Homer*) los datos de la potencia activa consumida hora a hora por la instalación durante un año, es decir, 8.760 horas.

Para crear un perfil de carga adecuado para el *Homer* se empleó como solución la interpolación; utilizando las mediciones de un analizador de red instalado en uno de los edificios de la UTM, se escogió una semana como referencia para obtener los porcentajes de la potencia consumida hora a hora. Una vez obtenidos estos porcentajes se utilizaron para llevar los consumos mensuales de la UTM a consumos semanales, diarios y finalmente horarios; conseguidos estos datos de entrada se reorganizaron en un archivo de Excel con valores separados por coma para luego importarlos al *Homer*.

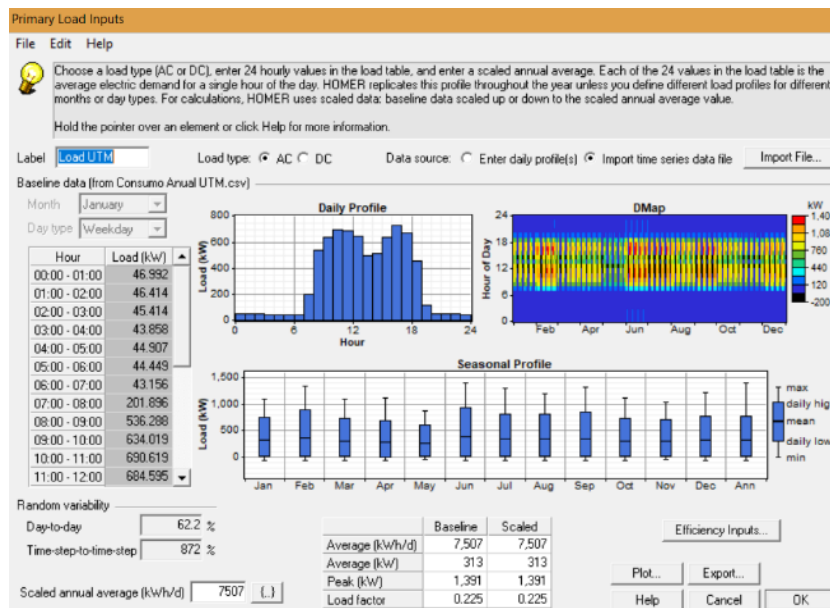


Figura 21-Diagrama de carga UTM (Homer)

Como muestra la Figura 21, una vez ingresados los datos del consumo anual de la UTM el *Homer* los organiza y presenta el perfil de carga diario, presentando que el mayor consumo se registra desde las 8h00 am hasta las 18h00 pm que es el horario principal del campus; es muy importante mencionar que normalmente las actividades en la universidad se desarrollan en el horario del día, en las noches solo existe el consumo de iluminación, sistema de climatización para laboratorios y el edificio de la carrera de Administración; muy pronto el consumo aumentará debido a la apertura de estudios de post grado en el campus.

El software presenta también el promedio de energía utilizada de 7.507 kWh/d, se verifica un pico de potencia activa de 1.391 kW y un factor de carga de 0,225 (22,5 %), el promedio mensual de potencia activa es de 313 kW.

4.2.2 Caracterización del recurso solar, eólico y temperatura ambiente

Para el dimensionamiento del sistema de energía en la instalación solamente se analizarán la energía solar y la energía eólica, por ser las fuentes de energía o recursos disponibles en la zona, además de la red eléctrica de distribución, que en la actualidad es el único sistema de energía al que está conectada la universidad. La temperatura también será analizada por ser un factor que influye directamente en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

Recurso Solar

Para la caracterización del recurso solar se obtuvieron los datos de radiación solar y temperatura del aire de la zona, del portal de la Nasa [8] mediante las coordenadas de la Universidad Técnica de Manabí y fueron importados al *Homer* en kWh/m²/día. A partir de estos datos de radiación mensual y las coordenadas geográficas de la instalación, el *Homer* proporciona el índice de claridad para cada mes y presenta un gráfico de radiación que nos permite observar los valores máximos, mínimos y la variación de este recurso durante el año como muestra la Figura 22.

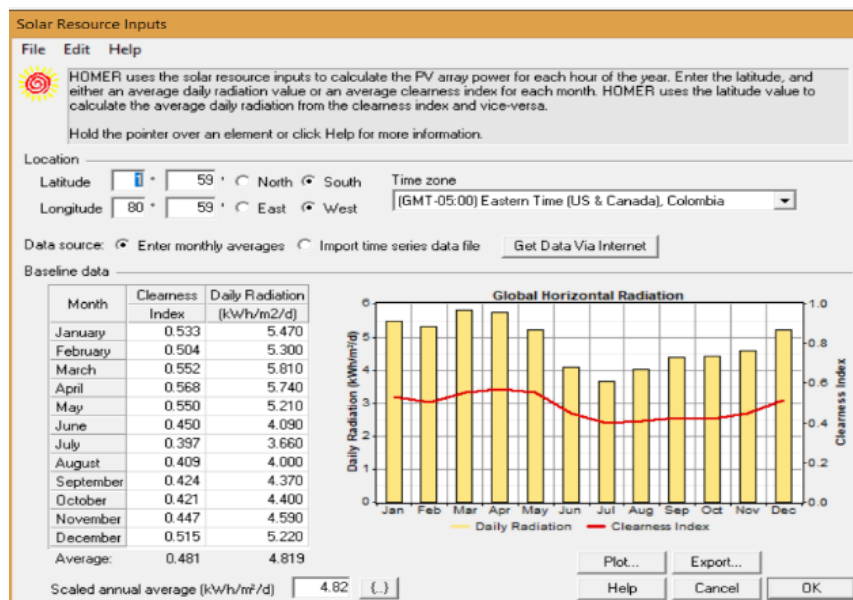


Figura 22-Radiación Solar (Homer)

A diferencia de los países de Europa en el Ecuador el leve aumento de radiación solar se registra durante el periodo de invierno, llegando a tener valores pico de 5,81

kWh/m²/día; a partir de julio que es el mes donde empieza el verano decae la radiación siendo poco significativa su pérdida de valor. El software calcula automáticamente el promedio anual de radiación siendo este 4,82 kWh/m²/día.

Recurso Eólico

Al igual que los datos de radiación solar los datos de la velocidad del viento también fueron obtenidos del portal de la Nasa [8] para ingresarlos en el *Homer* y de esa manera obtener un diagrama de barras que permita observar el comportamiento de la velocidad del viento en la zona de estudio. En nuestro país los meses donde se registra mayor velocidad de viento es en el periodo de verano, siendo junio, julio y agosto los que presentan la mayor velocidad de viento; el promedio anual de la velocidad de viento obtenido en el *Homer* es de 2,19 m/s (Figura 23).

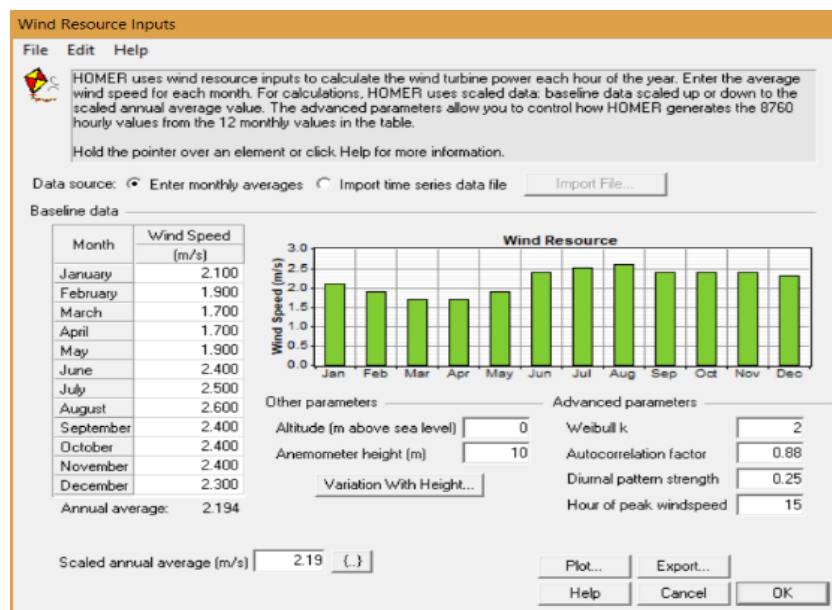


Figura 23-Velocidad del viento (Homer)

De forma general la velocidad del viento mínima para el funcionamiento de un aerogenerador debe ser de 3 a 4 m/s [15], los valores de velocidad del viento en la zona no son significativos para obtener valores de potencia que justifiquen desde el punto de vista económico la construcción de un sistema de aprovechamiento eólico; sin embargo, se realizará el dimensionamiento en el *Homer* pues será el software el que nos diga si es factible o no la instalación de aerogeneradores para este sistema de generación de energía.

Temperatura Ambiente

La producción energética de una instalación fotovoltaica depende directamente de la radiación solar y la temperatura del aire. Un mayor número de horas de radiación solar incrementa la producción de energía, sin embargo, a mayores temperaturas la eficiencia del sistema disminuye. Se ha calculado que por cada grado Celsius (°C) que incrementa la temperatura, la eficiencia del sistema fotovoltaico disminuye entre 0,4 % y 0,5% en células de silicio [15]; por ello, se investigó la temperatura de la zona [8], teniendo esta un promedio anual de 24,94 °C.

4.2.3 Equipos por considerar en el dimensionamiento del proyecto

Las entradas de los componentes van a describir las opciones tecnológicas utilizadas según los recursos disponibles para la generación de energía en el lugar de estudio, su costo y tamaño o número de cada componente que el *Homer* considerará para las simulaciones.

Para la generación de energía a partir de la energía solar fotovoltaica se utilizarán paneles o módulos fotovoltaicos; para la generación a partir del recurso eólico se utilizarán aerogeneradores y finalmente se considerará el dimensionamiento de un inversor. Además del análisis de estos equipos también se estudiará el comportamiento y características de la red eléctrica debido a que el sistema de autoconsumo no es aislado, sino que estará ligado a red; además por esta razón en el análisis no se considera un generador como equipo de generación, pues al existir un déficit de energía la red puede suministrar lo requerido por la carga.

Dimensionamiento del panel fotovoltaico

Como se mencionó en el capítulo dos, en el estudio del marco regulatorio del país; en la Constitución de la República ecuatoriana solo se especifica la administración de la generación, transmisión, distribución y suministro de EE a partir de fuentes convencionales, aun no se considera ninguna política energética que permita establecer soluciones sostenibles para la sociedad mediante la generación distribuida y el aprovechamiento de recursos naturales (excluyendo las hidroeléctricas). Por ello debido

a la carencia de políticas energéticas en el país, el dimensionamiento de la UPAC no estará sujeto a ningún Decreto, sin embargo, se tendrá en cuenta que su generación sea para satisfacer las necesidades de consumo local y que se produzca un excedente de energía insignificante debido a que no puede ser inyectado a la red pública por no existir una remuneración y por motivos de seguridad eléctrica.

Para el dimensionamiento del sistema se optó por utilizar módulos del tipo SP250-60, policristalino con una potencia nominal de 250 Wp/30 V, sus características técnicas se presentan en la referencia [29]. De acuerdo con la página web del distribuidor el costo de cada módulo es de \$280,00, considerando la estructura de montaje la inversión inicial por modulo (capital) será de \$330,00; el costo de operación y mantenimiento establecido como el 1 % del costo fijado para cada módulo es de \$3 y por último el precio de sustitución o reemplazo será el costo unitario del módulo.

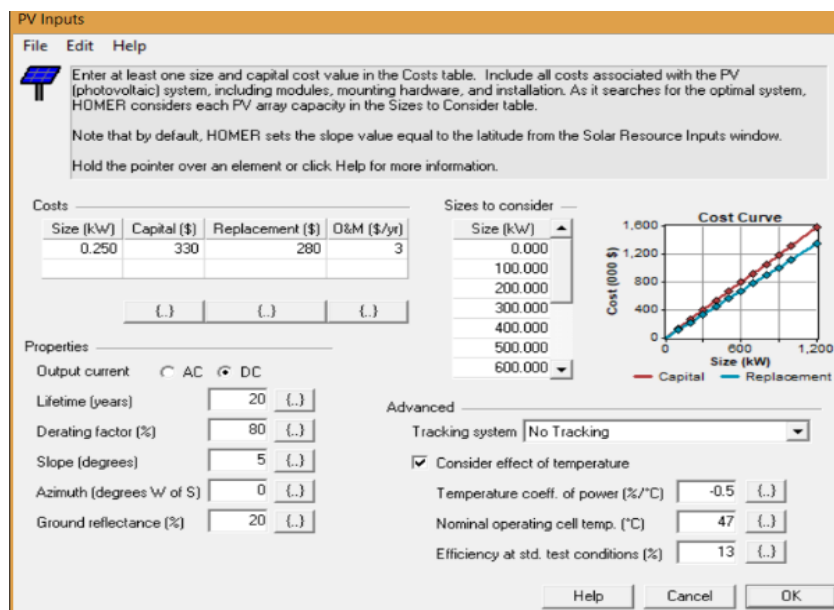


Figura 24-Configuración del panel fotovoltaico (Homer)

La gama de potencias de prueba consideradas para la simulación fueron desde 0 kW hasta 1200 kW, en intervalos de 100 de kW, las demás propiedades ajustadas fueron el tipo de carga, el ángulo de orientación (azimut) y el ángulo de inclinación, la carga alimentada se la ajusto como corriente continua o directa; para ajustar la orientación e inclinación se tomó como recomendación general que si se está en el Hemisferio Sur, la orientación deberá ir hacia el Norte y la inclinación deberá ser igual a la latitud en la que se ubique la instalación, de acuerdo con esto se tiene que el ángulo de orientación es 0°

correspondiente al Norte y el ángulo de inclinación de 10°. Según la latitud donde está ubicado el proyecto, el ángulo de inclinación podría ser de 2°, sin embargo, se consideran los 10° para el montaje para favorecer la limpieza de los módulos y con ello evitar que se obstaculice la captación de la radiación solar.

Conexión a red

Para definir cómo se conectará la instalación a la red eléctrica, es necesario analizar la estructura tarifaria de EE de la entidad consumidora, es importante mencionar que en nuestro país se consideran dos categorías tarifarias que dependen del consumidor una es residencial y la otra es general; también establece otra categoría según los puntos de entrega, es decir los niveles de tensión: baja, media y alta [30], la UTM se encuentra en la categoría general como institución de beneficio público, con punto de entrega registrado en media tensión, su categoría tarifaria es con demanda horaria, que presenta los siguientes recargos según el pliego tarifario de las empresas eléctricas de distribución [30]:

- Un cargo por comercialización en \$/consumidor-mes, independiente del consumo de energía.
- Un cargo por potencia en \$/kW-mes, por cada kW de demanda mensual facturable¹; como mínimo de pago, independiente del consumo de energía.
- Un cargo por energía en \$/kWh, en función de la energía consumida en el período de 07h00 hasta las 22h00.
- Un cargo por energía en \$/kWh, en función de la energía consumida en el período de 22h00 hasta las 07h00.

De acuerdo con esto los cargos tarifarios únicos correspondientes a demanda, energía y comercialización son los siguientes:

$$\text{Comercialización} = 1,414 \text{ \$/consumidor} - \text{mes}$$

$$\text{Demanda} = 4,576 \text{ \$/kW} - \text{mes}$$

$$\text{Energía} = 0,095 \text{ \$/kWh}(07h00 \text{ hasta } 22h00)$$

$$\text{Energía} = 0,077 \text{ \$/kWh}(22h00 \text{ hasta } 07h00)$$

¹ La demanda facturable mensual (*DF*) corresponde a la máxima demanda (*DM*) registrada en el mes por el respectivo medidor de demanda, y no podrá ser inferior al 60% del valor de la máxima demanda de los últimos doce meses incluyendo el mes de facturación (*DM_{max12}*).

A partir de estos cargos tarifarios se puede realizar la configuración en el *Homer*, considerando el costo de la energía suministrada en los dos horarios establecidos para todo el año despreciando los periodos de época húmeda y seca. En la Figura 25 se puede verificar la información introducida.

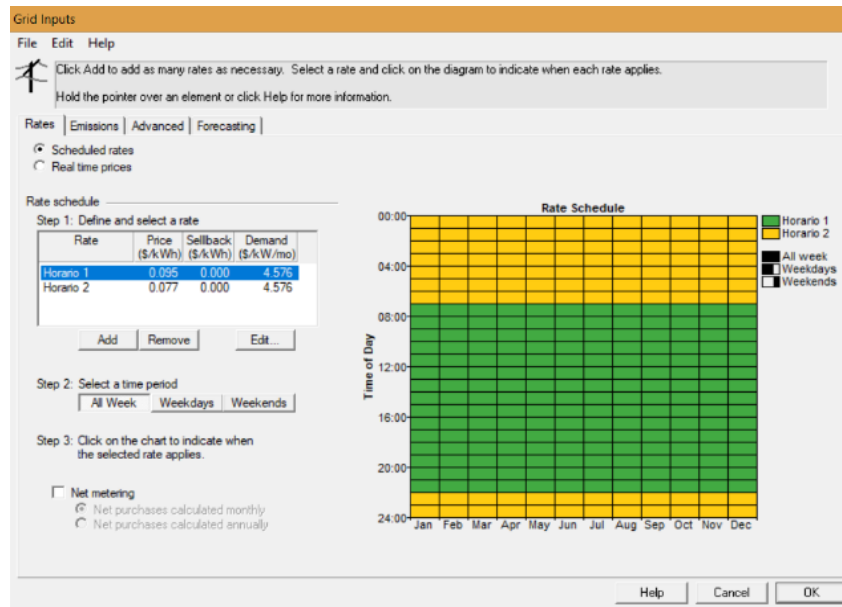


Figura 25-Configuración tarifaria (*Homer*)

Dentro de la configuración de la conexión de red también fue necesario realizar un ajuste avanzado en el factor de la capacidad de compra y venta, fijando ambos valores a 1300 kW. Este ajuste permitió un dimensionamiento más ajustado al sistema en estudio.

Dimensionamiento del inversor

El inversor tiene como función transformar la corriente directa de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna para alimentar la carga eléctrica, es decir convertir las formas de ondas de la tensión proveniente del sistema fotovoltaico [15]; por ello al igual que los paneles fotovoltaicos para este dispositivo también fue necesario buscar su costo y considerar las gamas de potencia que serán ingresadas al *Homer* para su respectivo dimensionamiento.

El inversor considerado fue el SUNNY BOY 3000 para conexión a red de patente alemana, su costo inicial es de \$ 1.990 por kW; el reemplazarlo tendrá un costo igual a la inversión inicial; y la operación y mantenimiento será de apenas el 2% correspondiente a \$ 38,00

[31]. Es importante mencionar que este al igual que los demás equipos considerados en la simulación para el dimensionamiento de la UPAC han sido de referencia ya que lo que se quiere es fijar el precio por kW, debido a que en condiciones verdaderas la potencia del equipo puede variar según el diseño que presenten las herramientas informáticas, en este caso el *Sunny Design Web* que también será utilizado en esta investigación. La Figura 26 explica y confirma lo referido anteriormente, pues mediante la curva del costo del inversor comprobamos que conforme se aumente el tamaño del equipo automáticamente se incrementará su costo, debido a que estos están relacionados linealmente.

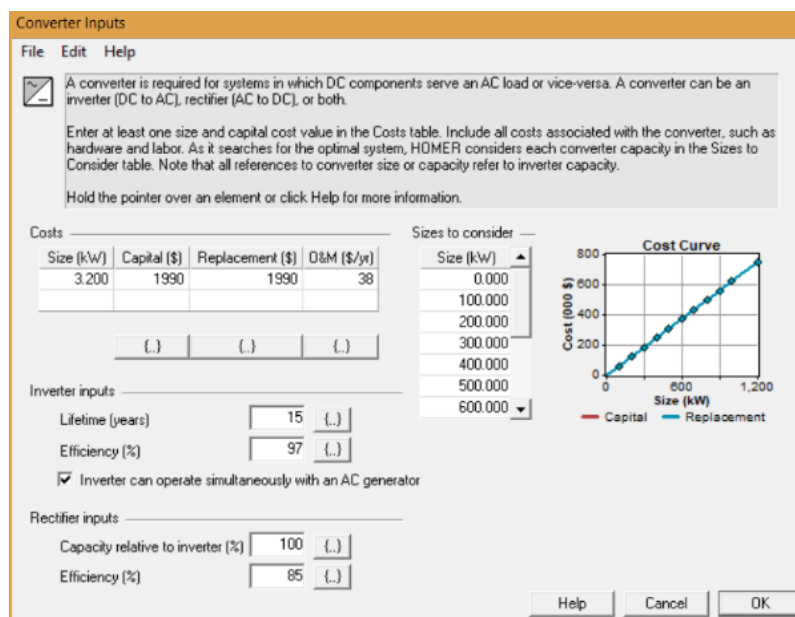


Figura 26-Configuración del inversor (*Homer*)

Entre las gamas de potencia evaluadas se ingresaron las mismas potencias consideradas para los módulos PV, es muy importante aclarar que en ambos casos los tamaños a considerar fueron desde 0 kW hasta 1.200 kW debido a que la carga pico en el esquema es de 1.390 kW, con esto sabemos que no se va a satisfacer totalmente la carga, pero sí que será gran aporte, y lo más importante que no se generará excedente significativo.

Dimensionamiento del aerogenerador

A pesar de la baja capacidad de generación de energía con el recurso eólico para la zona de estudio, se continuó con su dimensionamiento en el *Homer*, se asumió un costo de adquisición de \$ 16.950, costo de sustitución de \$ 14.950 y un valor de mantenimiento anual de \$ 250 [32]. La Figura 27 presenta el dimensionamiento dado al aerogenerador;

la curva de potencia muestra que el aerogenerador solo comienza a producir energía desde los 3 m/s, generando una potencia de 0,06 kW; como ya se mencionó la velocidad media del viento en la zona es de 2,19 m/s, lo que significa que con este equipo no se conseguiría producir suficiente energía que justifique la inversión, sin embargo, para no descartar esta alternativa se realizó un análisis de sensibilidad de velocidad de viento; con este análisis el *Homer* mostrará el rango de promedio anual de velocidad de viento que tiene sentido incluir los aerogeneradores en el diseño del sistema; las variables consideradas fueron: 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s y 5 m/s.

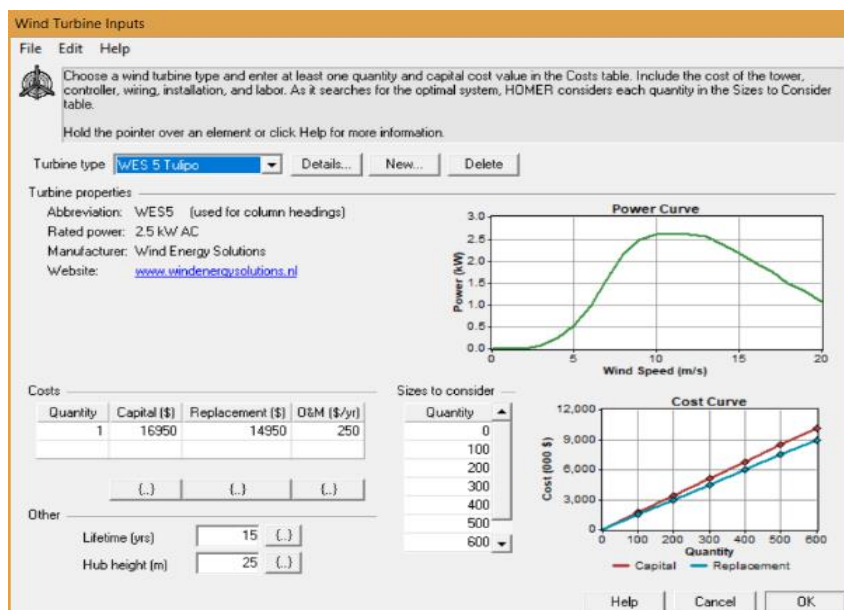


Figura 27-Configuración del aerogenerador (*Homer*)

4.2.4 Resultados obtenidos del Homer

Homer verifica todos los valores de entradas que fueron insertados para ver si tienen sentido técnico, si no tienen sentido despliega un mensaje de advertencia o error; cuando esta todo correctamente ingresado el software simula el diseño del sistema para todas las combinaciones posibles según las variables de optimización (número o tamaño componentes). En el diseño realizado para la UTM, luego de suministrar todos los datos de consumo de energía (diagrama de carga), recursos disponibles (radiación solar, temperatura y velocidad del viento), y equipos, se realizó la simulación obteniendo 175 combinaciones y 6 análisis de sensibilidad (velocidad de viento). La Figura 28, muestra la solución óptima entregada por el software, la cual considera un sistema únicamente con energía solar y abastecimiento de la red, y desprecia la energía eólica. Aun cuando

se añadieron valores sensibles al promedio anual de la velocidad del viento no se obtuvieron buenos resultados, es decir el software no considera esta alternativa como una opción optima de producción de energía, debido a que económicamente no es viable, su producción no justificará la inversión inicial en un periodo rentable.

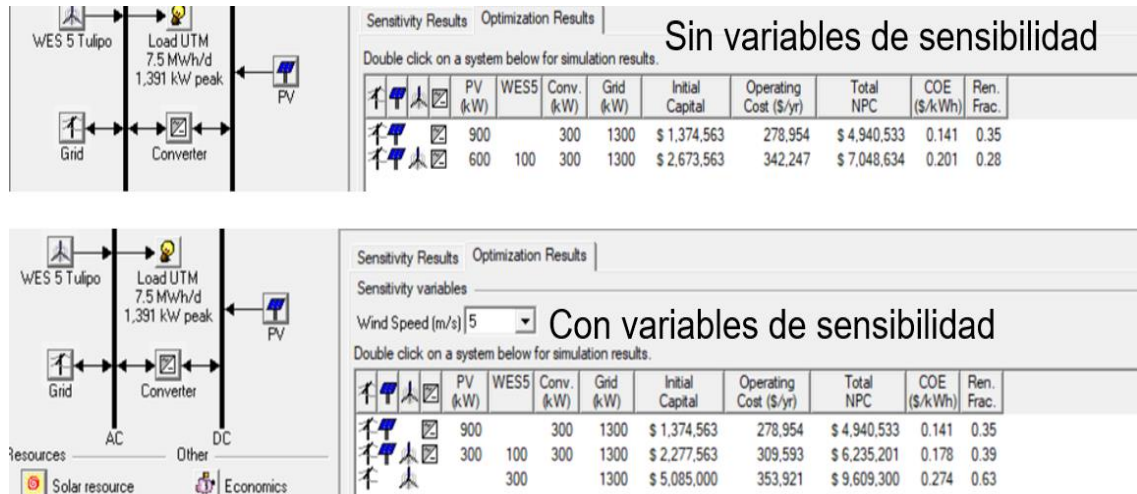


Figura 28-Resultado 1 Análisis de sensibilidad de velocidad de viento (Homer)

En base a estos resultados se decide descartar la generación eólica, así que se realiza un nuevo dimensionamiento considerando únicamente el sistema solar fotovoltaico y la red de distribución. Ejecutando una nueva simulación el *Homer* presenta en la ventana de resultados, sección categorizados (*categorized*) dos soluciones; la primera que es la más rentable considera solamente la red y la segunda considera la red y un sistema FV.

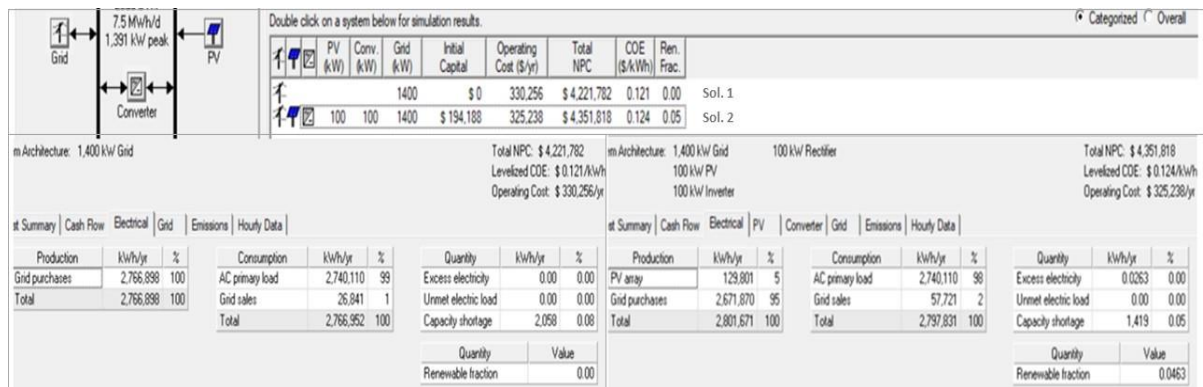


Figura 29-Resultado 2 Sistema de Energía considerando la red y un sistema FV (Homer)

En la primera solución se tiene que la carga es abastecida únicamente por la red con un total de potencia comprada de 1.400 kW equivalente a 2.766,89 MWh/año; el consumo total de energía es de 2.766,95 MWh/año, de donde la carga primaria consume 2.740,11

MWh/año (99%) y los restantes 26,841 MWh/año (1%) son pérdidas de la red. En la segunda solución el *Homer* propone un sistema donde la carga primaria sea abastecida tanto por la generación de un sistema FV de 100 kWp, que representa el 5 % (129,801 MWh/año) de energía en la instalación que incluye un inversor de 100 kW de potencia; y la ligación a la red con un total de potencia comprada de 1.400 kW equivalente al 95 % (2.671,87 MWh/año) del total de energía producida. El consumo total de energía es de 2.797,83 MWh/año, de donde la carga primaria consume 2.740,11 MWh/año (98%) y los restantes 57,721 MWh/año (2%) son pérdidas e inyección a la red. Cabe mencionar, que no toda la energía producida será consumida, pues existen pérdidas ocasionadas por el generador fotovoltaico, cuando este no logra generar tensiones suficientemente elevadas para activar los inversores.

Según la Figura 29 los resultados obtenidos muestran que en la actualidad no es fácil justificar desde el punto de vista económico la inversión en la generación FV; pues al abastecer la carga únicamente por la red el Costo Neto Presente (NCP) del sistema es apenas de \$ 4.221.782, mientras que considerando la generación FV el NCP asciende a \$ 4.351.818, es decir se incrementa el NCP porque obviamente considera el costo de la inversión inicial del sistema FV de \$ 194.188 para aportar apenas con un 5 % de la energía necesaria para abastecer la instalación y de los cuales un pequeño porcentaje se inyecta a la red. Al ser el costo de la EE muy barata en el país y la tecnología muy cara, el *Homer* no propone un sistema FV con mayor capacidad; además al no existir una política energética que incentive económicamente estos proyectos con la remuneración por excedente de energía inyectado a la red y subsidie el costo de la tecnología estos no van a ser rentables.

En cuanto desde el punto de vista técnico y ambiental si se consideran los impactos positivos que se pueden propiciar con la introducción de los sistemas FV, como las pérdidas que se evitarían por concepto de suministro energético centralizado y la reducción de emisiones por concepto de generación de electricidad a partir de combustibles fósiles, se puede justificar su inserción y además se puede proponer nuevos estudios que sean incentivos para pensar y favorecer la producción de energía proveniente de fuentes renovables, que tendrían un impacto positivo por las ventajas que traerían y que no se pueden descartar.

Los estudios que se realizarán para darle un giro a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta la importancia que tienen los sistemas FV para el ambiente, será considerar un análisis de sensibilidad tanto para el costo tarifario como para el costo del equipamiento o tecnología FV, como incentivos que el gobierno ecuatoriano podría brindar a estos proyectos, según lo argumentado en el subcapítulo 1.2 que empieza en la página 3.

En base a lo expuesto se utilizará nuevamente el *Homer* con el objetivo de responder a esta interrogante: ¿Es factible o no pensar en la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a red como solución de autoconsumo en algún futuro, considerando: el aumento en el costo de la energía y la remuneración por el excedente de esta y/o la disminución en el costo de la tecnología FV y la remuneración por el excedente de esta?

Para esto en el nuevo dimensionamiento se realizará un análisis de sensibilidad, añadiendo las variables descritas en la interrogante del párrafo anterior, es decir los costos de compra y venta de energía en un primer cálculo citado como *Caso 1* y los costos de la tecnología FV y venta de energía en un segundo cálculo como *Caso 2*.

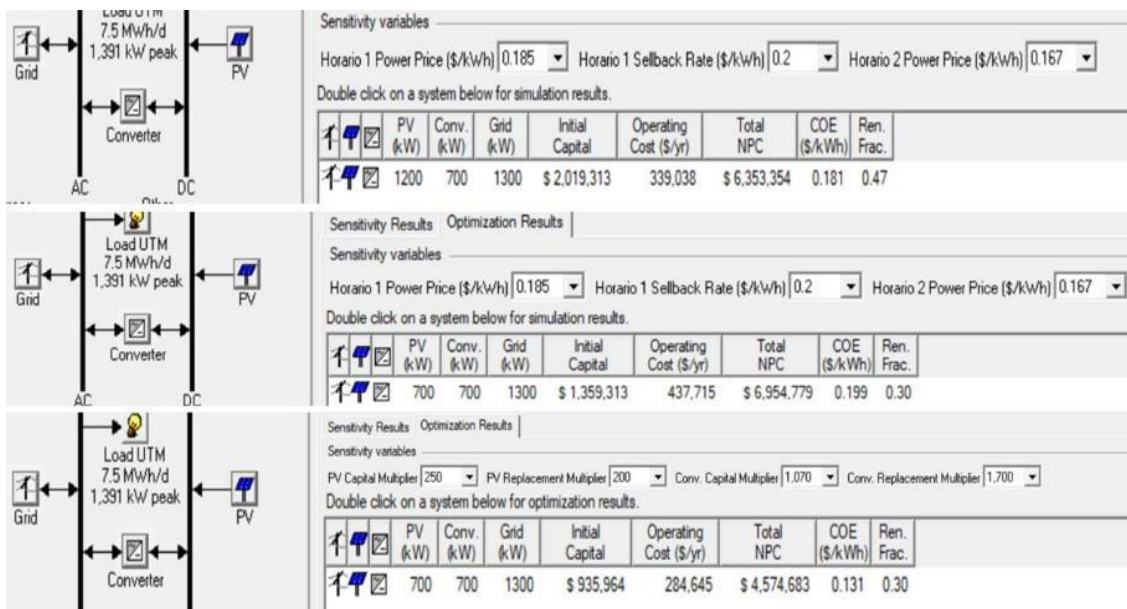


Figura 30-Resultado 3 Costo de EE vs costo de tecnología FV (Homer)

En respuesta a la interrogante planteada en el párrafo anterior el *Homer* presenta como resultado para el *Caso 1* que es rentable implementar un sistema fotovoltaico en un futuro cuando el costo de la energía en el horario 1 (07h00-22h00) sea de 0,185\$/kWh,

en el horario 2 (22h00-07h00) sea de 0,16\$/kWh y la venta de energía sea de 0,20\$/kWh; con este nuevo escenario el software propone una generación de 1.200 kWp, que representa el 47 % de energía necesaria en la instalación, que incluye un inversor de 700 kW de potencia y la ligación a la red con un total de potencia comprada de 1.300 kW; al no limitar la potencia de los paneles a un valor no máximo superior de la potencia nominal del inversor se obtuvo este resultado, pero como sabemos que en la práctica no es posible tener 1.200 kWp conectados a un inversor de 700 kW, se realizó nuevamente la simulación reingresando la potencia de los paneles a un valor igual a la del inversor, como se observa en la Figura 30.

Realizando el segundo cálculo se obtuvo como resultado para el *Caso 2* que es rentable implementar un sistema FV de 700 kWp, considerando que instalar un módulo FV en el sistema inicialmente costaría \$250 por 0,275 kW, que reemplazarlo costaría \$200, y que éste costaría \$ 5 por hora de operación y mantenimiento; el instalar el inversor tendría un costo de 1070 por 2,5 kWp, el reemplazarlo costaría lo mismo y el costo de operación y mantenimiento sería de \$ 21. Los costos asociados a la tecnología FV fueron investigados en páginas webs distribuidoras, los costos presentados en este análisis se presentan en las referencias [33] y [34].

Con estas últimas consideraciones para el dimensionamiento del sistema obtuvimos nuevos resultados; en cuanto a la inversión total del sistema, el *Caso 2* presenta una mejor oferta económica, puesto que el Costo Neto Presente *NPC* en el sistema que evalúa el costo energético es de \$ 6.954.779 y para el sistema con evaluación económica tecnológica es apenas de \$ 4.574.683; este análisis económico se ampliará más a partir de los resultados obtenidos más adelante en el *Sunny Design Web*.

En cuanto a la producción del sistema (Figura 31), el total de energía producida será de 3.026,9 MWh/año, de los cuales 902,5 MWh/año (30%), serán generados por los paneles fotovoltaicos, y los restantes 2.124,3 MWh/año (70%), serán abastecidos por la red eléctrica; el consumo total de energía será de 2.999,9 MWh/año, de donde la carga primaria consumiría 2.740,1 MWh/año (91%) y los restantes 259,8 MWh/año (9%) serían inyectados a la red.



Figura 31-Resultados eléctricos del sistema propuesto (Homer)

Se debe tener en consideración que no toda la producción del generador fotovoltaico será para abastecer a la carga pues como se mencionó anteriormente existen pérdidas, entonces las cantidades de EE que se estiman serán generadas por el sistema fotovoltaico serán:

Tabla 10-Estimativa de EE generada por el sistema FV (Elaboración propia)

	$EP = 3.026.937 \text{ kWh/año} - 2.999.914 \text{ kWh/año}$
$EP = T_{produccion} - T_{consumo}$	$6EP = 27.023 \text{ kWh/año}$
	$EA = (902.564 \text{ kWh/año} - 0,020 \text{ kWh/año}) \times 0,97$
$EA = (E_{prod.} - E_{electricidad}) \times R_{inversor}$	$EA = 875.487 \text{ kWh/año}$
	$AC = 875.487 \text{ kWh/año} - 259.808 \text{ kWh/año}$
$AC = EA - E_{inyectada a red}$	$AC = 615.679 \text{ kWh/año}$

La energía perdida (EP) se determinó mediante la diferencia del total de producción menos el total del consumo, la energía aprovechada (EA) resultó del producto de la diferencia entre la cantidad total de energía producida por el sistema fotovoltaico y la cantidad de energía desperdiciada (Excess Electricity) y el rendimiento considerado para el inversor. A partir del valor de la cantidad de energía que va a ser aprovechada se calculó el autoconsumo (AC) correspondiente a la diferencia entre la energía generada por el sistema fotovoltaico capaz de ser aprovechada y la energía producida que no se aprovecha y es inyectada a la red.

Con estos resultados se puede deducir que para satisfacer la carga la instalación debe recurrir a la red eléctrica por un total de 2.124,3 MWh/año correspondiente al 70 % y que el generador fotovoltaico aportará con 61.5679 kWh/año correspondiente al 20,34 % del total requerido.

Para visualizar el aporte del generador fotovoltaico se presentarán unas graficas generadas por el software; para la presentación se escogieron dos escenarios el primero fue con los meses de marzo y abril (Figura 32) que registran mayor radiación solar y el segundo fue con los meses de mayo y junio (Figura 33) que registran mayor y menor radiación respectivamente; en estos dos últimos meses se presenta una gran diferencia pues mayo es el mes con menor consumo mientras que junio es el de mayor consumo en el periodo analizado (2017).

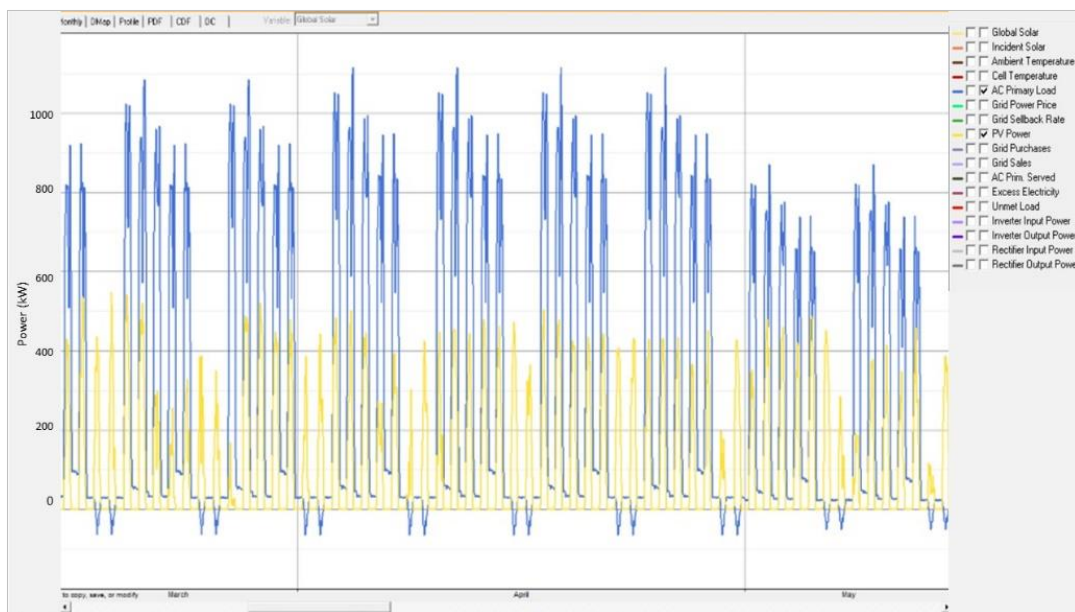


Figura 32-Producción FV vs el consumo de EE en los meses Marzo-abril

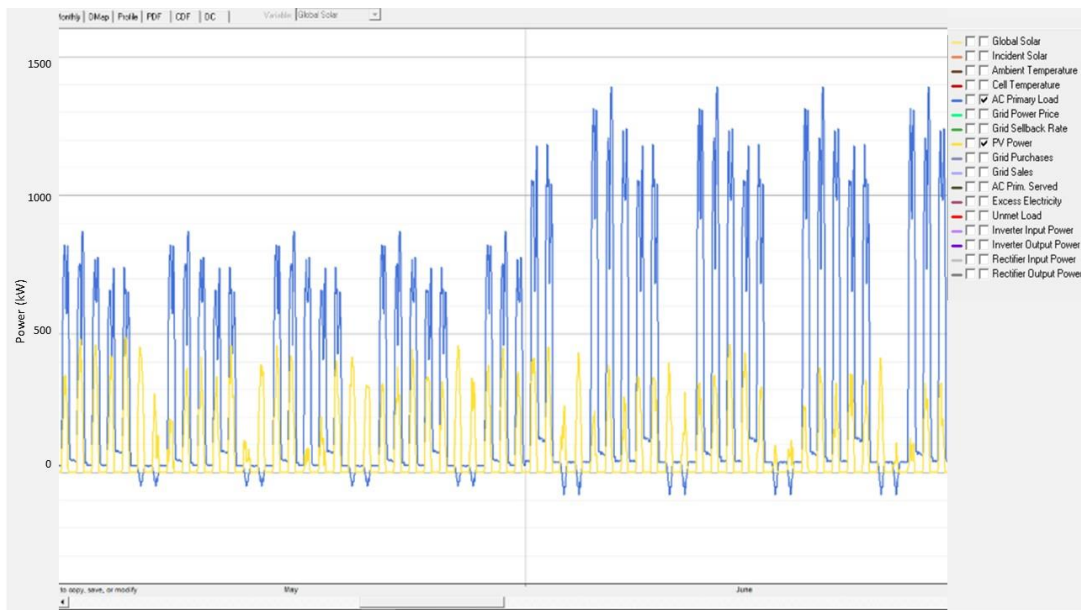


Figura 33-Producción FV vs el consumo de EE en los meses Mayo-junio

Como se puede comprobar en ambas figuras la red eléctrica sigue siendo la fuente de abastecimiento de la carga, en la Figura 33 se observa que el sistema fotovoltaico registra una producción bastante significativa debido al alto índice de radiación solar en esos meses; mientras que en la segunda figura se observa todo lo contrario, pues junio es el mes con mayor consumo y menor radiación solar lo que ocasiona que no se observe un aporte significativo por parte del generador fotovoltaico.

Las figuras también presentan las situaciones de inyección a la red, las mismas que ocurrirán inevitablemente los fines de semana y feriados; en vacaciones no porque a pesar de que disminuya el consumo de energía, como es el caso del mes mayo que registro el menor consumo muestra que los kW generados por los paneles serán aprovechados por la carga.

La importancia del correcto análisis de las variables intervinientes y de los resultados generados por el *Homer*, es que permiten diseñar un sistema adecuado, sin sobredimensionamiento para no incurrir en una situación de instalación costosa, con sobreproducción que no sea aprovechada. De esta forma, se garantiza la instalación de un sistema de tamaño suficiente, sin generación de grandes excedentes de energía, cuyo costo de inversión será óptimo para la producción y la energía producida será aprovechada casi en su totalidad, pues el objetivo de las UPAC es el autoconsumo y no la venta a la red.

4.3 Dimensionamiento del proyecto en el software *Sunny Design Web*

Para empezar con el dimensionamiento primeramente se insertan los datos ampliados del proyecto considerando los ajustes de emplazamiento o ubicación, detalles del proyecto, ajustes de temperatura y conexión del inversor. Una vez ingresada la región, país y localidad el *Sunny Design Web* automáticamente presenta la altitud del lugar del proyecto que en este caso es de 41 m sobre el nivel del mar, el porcentaje de graduación de irradiación de 100 % y la temperatura promedio para el diseño de 25 °C; la conexión del inversor es un dato que también se debe introducir, aquí se debe considerar la potencia de conexión, la misma que fue obtenida del *Homer* (700 kWp), el nivel de tensión que es 13 kV y el tipo de planta que se desea diseñar para seleccionar el inversor a utilizar, por defecto en la planta se utilizarán los descentralizados. Vale recalcar que la potencia de los inversores puede ser igual o menor al 20 % de la potencia de los paneles fotovoltaicos.

Seguidamente se define el perfil de carga como un perfil de carga propio, es decir un perfil que presente los datos de la EE consumida en la UTM en los días laborales y fines de semana, los mismos que, así como se ingresaron al *Homer* se ingresaron en el *Sunny* reflejando el consumo anual igual a 2.752 MWh.

4.3.1 Configuración de la planta FV

Después de tener estos datos ingresados se puede diseñar la planta fotovoltaica, es decir se configuran los valores del generador fotovoltaico y de los inversores. Para el diseño del proyecto se tuvo cuidado de seleccionar valores similares a los utilizados en el *Homer*, así que se consideró la sugerencia del software actual, los módulos SMA Demo Poly 240, tipo policristalino, con potencia de 240 Wp. Para garantizar la eficiencia real de estos módulos, se tomó en cuenta la potencia del inversor, por ello, se definió una potencia máxima de 700 kWp para el generador fotovoltaico, lo que representó la inserción de 2.917 módulos FV según el cálculo realizado por el *Sunny Design Web*. En la Figura 34 se presenta el montaje, el azimut y la inclinación de los módulos según lo

recomendado para la zona de Ecuador, los mismos que son: montaje libre, azimut 0° e inclinación 10°.



Figura 34-Montaje de módulo FV (Sunny Design Web)

Es importante tener en cuenta que el número de paneles fotovoltaicos a instalar depende del espacio disponible. Según la hoja de datos de los paneles o módulos seleccionados, estos tienen un área de 1,6 m² y la UTM cuenta con un área disponible en varias zonas dentro del campus superior a 4.667 m² que sería el área total que ocuparía la planta, por lo que se acepta la propuesta sugerida por el software.

Para el diseño de los inversores se seleccionó el diseño automático, según la propuesta del software los inversores a utilizar son del tipo SB 2.5-1VL-40 con potencia nominal de 2,50 kW; el tipo recomendado no es el mismo utilizado en el *Homer*, pues dentro del análisis rentable y energético que realiza el *Sunny* estos inversores son los apropiados para la planta FV a continuación, en la Figura 35 se presentara el diseño obtenido.
















 223 x SB 2.5-1VL-40 Compatible con FV/inversor				 2 x SB 2.5-1VL-40 Compatible con FV/inversor			
A: 1 x 13				A: 1 x 9			
Indicaciones y soluciones (1 indicación)				Indicaciones y soluciones (1 indicación)			
Detalles Potencia pico: 695,76 kWp Ratio de potencia nominal: 85 % Factor de apro		Detalles Potencia pico: 4,32 kWp Ratio de potencia nominal: 123 % Factor de apro					
Rendimiento  Compatible con FV/inversor		Rendimiento  Compatible con FV/inversor					
Ratio de potencia nominal: 85 %  Eficiencia del inversor: 96,8 %  Rendimiento energético anual: 1.114,65 MWh Rendimiento energético específico: 1602 kWh/kWp Coeficiente de rendimiento: 84,9 % Pérdidas de línea (% de la energía): 1,11 %	Parámetros Inversor Entrada A Potencia de CC máx.: 2,65 kW 3,12 kWp Tensión de CC mín.: 50 V 348 V Tensión FV normal:  361 V Tensión de CC máx. (Inversor): 600 V  482 V Corriente de entrada máx. por entrada de regulación del MPP: 10 A  8,1 A Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP: 18 A  8,5 A	Ratio de potencia nominal: 123 %  Eficiencia del inversor: 96,3 %  Rendimiento energético anual: 7.030,60 kWh Rendimiento energético específico: 1627 kWh/kWp Coeficiente de rendimiento: 86,1 % Pérdidas de línea (% de la energía): 1,02 %	Parámetros Inversor Entrada A Potencia de CC máx.: 2,65 kW 2,16 kWp Tensión de CC mín.: 50 V 241 V Tensión FV normal:  250 V Tensión de CC máx. (Inversor): 600 V  334 V Corriente de entrada máx. por entrada de regulación del MPP: 10 A  8,1 A Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP: 18 A  8,5 A				

Figura 35-Diseño de los inversores (Sunny Design Web)

El *Sunny Design Web* realiza el dimensionamiento delimitando los *String* necesarios y el número de módulos de cada uno según las entradas o puntos de conexión de los inversores. El software determinó un total de 225 inversores con el siguiente diseño:

- 223 inversores con una potencia total de 695,76 kW, a los que se encuentra ligado 1 *String* con 13 módulos por inversor en la única entrada A. El ratio de potencia nominal de cada inversor varía según el número de módulos por *String*, para este caso los 223 inversores tendrán un ratio de potencia de 85 %.
- 2 inversores con potencia total de 4,32 kW, a los que se encuentra ligado 1 *String* de 9 módulos a la entrada A; su ratio de potencia nominal es de 123 %.

Como indicación el *Sunny* nos dice que para tener una gestión eficiente de la energía en plantas fotovoltaicas con 4 o más inversores con limitación de potencia activa se debe utilizar el *Sunny Home Manager 2.0* para que cumpla la función de medir la inyección a red y el consumo de la red.

4.3.2 Dimensionamiento del cableado y monitorización

Una vez obtenido el diseño de la planta FV, se calcula las dimensiones de los cables para la sección de corriente continua (CC), la distribución secundaria (LV2) y por último la sección de media tensión (MT), teniendo en cuenta que la pérdida de potencia sea

inferior al 1 % tanto en el lado de CA como en el lado de CC. Según el dimensionamiento realizado en el software se tiene la siguiente vista general del cableado en la Tabla 11:

Tabla 11-Dimensionamiento del cableado (Sunny Design Web)

	✓ CC	✓ BT	✓ MT	✓ Total
Pérdida de potencia en funcionamiento nominal	1,95 kW	2,50 kW	30,74 mW	4,45 kW
Pérdida relativa de potencia en funcionamiento nominal	0,33 %	0,44 %	0,00 %	0,77 %
Longitud total del cable	9000,00 m	9000,00 m	100,00 m	18100 m
Secciones de cable	4 mm ²	16 mm ²	10 mm ²	4 mm ² 16 mm ² 10 mm ²

✓ CC Pérdida relativa de potencia en funcionamiento nominal: 0,33 %
 ✓ BT Pérdida relativa de potencia en funcionamiento nominal: 0,44 %
 ✓ MT Pérdida relativa de potencia en funcionamiento nominal: 0,00 %

Realizado el dimensionamiento del cableado, se continua con la monitorización de la planta, pues es necesario añadir equipos de comunicación para monitorizar y gestionar la planta, visualizando datos importantes de la misma. Teniendo en cuenta solo los productos de comunicación actual se escogen las condiciones de monitorización y requisitos señalando para el sistema un equipo especializado para la monitorización de la planta por internet y visualización de datos y otro para aviso de averías.

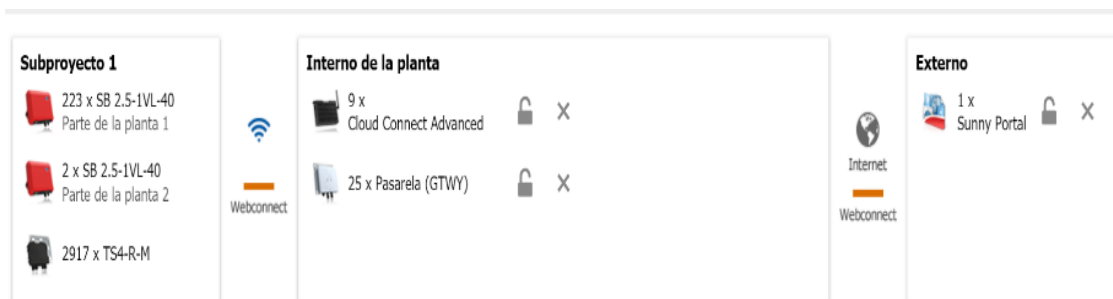


Figura 36-Monitorización de la planta FV (Sunny Design Web)

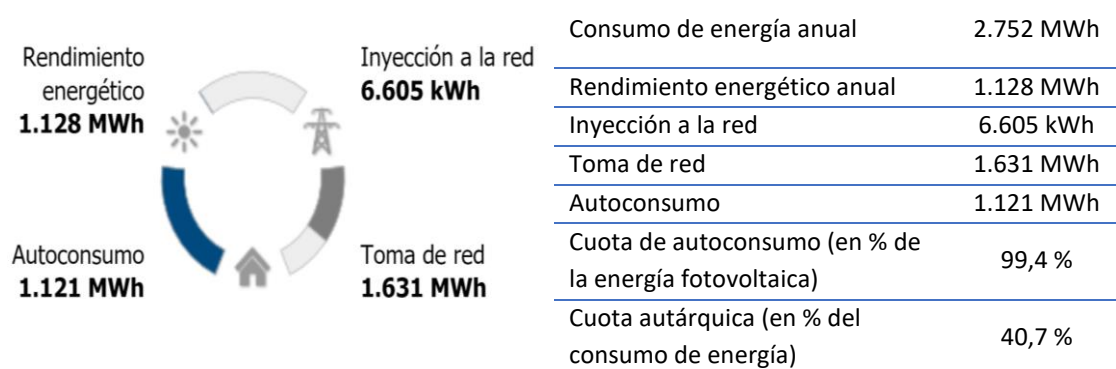
Entre los equipos que consideramos en la monitorización tenemos:

- a) **TS4-R M:** El TS4-R aborda la necesidad de una solución de actualización de los sistemas fotovoltaicos de bajo rendimiento. Para actualizar estos sistemas o agregar funciones inteligentes a las nuevas instalaciones la base de adaptación TS4-R se combina con una de varias cubiertas electrónicas para abordar una gama de funciones y presupuestos con la finalidad de formar una nueva generación de electrónica de potencia a nivel de módulo: flexible, reemplazable, actualizable, y acompañado de un potente *backend* de comunicación PV 2.0. La oferta para el proyecto de modificación se compone por una solución donde la base TS4-R se agrega en el módulo solar y sus cubiertas, *Flex Plug-and-Play Flex MLPE* que pueden intercambiarse y extraerse [35].
- b) **Cloud Connect Advanced:** Se utiliza para la comunicación entre los optimizadores solares y el inversor, controla los algoritmos del optimizador y envía la información recopilada a un servidor remoto lo cual permite a los propietarios del sistema observar e interactuar con el sistema de control. Su comunicación es de forma inalámbrica (WiFi), por medio de un cable de Ethernet o inclusive por red celular; cuenta con un puerto RS-485 para conectarse a otros dispositivos por medio de la red Modbus [36].
- c) **Tigo's Gateway:** Este equipo mejora la administración de datos de la matriz solar de comunicación inalámbrica con módulos inteligentes y dispositivos de actualización, además permite la supervisión de los módulos con alertas y mejoras de seguridad con la desactivación de estos. Las *Tigo's Gateway* están instaladas en los centros de cada matriz y se puede montar cómodamente en la parte posterior de un módulo; tienen como función optimizar la producción de energía mediante su plataforma Tigo TS4 para: gestionar el sistema con datos a nivel de módulo para minimizar los costos operativos, mantener cada matriz al máximo rendimiento a lo largo de su vida y finalmente agregar características de seguridad críticas a las instalaciones nuevas y existentes [37].

4.3.3 Autoconsumo y Rentabilidad

Finalmente, ingresados todos los datos de entrada y configurada detenidamente la planta FV se pueden obtener los resultados energéticos y económicos de todo el sistema. Inicialmente serán analizados los resultados energéticos, los mismos que muestran como resultado que para abastecer el consumo anual de energía de 2.752 MWh se tomará de la red 1.631 MWh y los restantes 1.121 MWh será la cuota o aporte del sistema FV de autoconsumo.

Tabla 12-Autoconsumo-Distribución de la energía FV (Sunny Design Web)



De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 12 se concluye que el rendimiento anual del sistema será de 1.128 MWh, de los cuales 1.121 MWh (99,4%) será la cuota de autoconsumo proveniente de la energía FV y los 6,605 MWh (0,6 %) será lo que se inyecte a la red; por tanto la tasa de autonomía que se tendrá será del 40,7 %.

Después de analizar los resultados energéticos es necesario verificar los resultados económicos, es decir la viabilidad económica del sistema. Para ello, se tomaron los costos de capital generados en *Homer* y con la ayuda de *Sunny Design Web* se procedió a evaluar las variables económicas del proyecto; tanto para la propuesta de nuevos costos tarifarios (*Caso 1*) como para los costos tecnológicos (*Caso 2*).

Análisis del Caso 1

Se realizó un primer análisis a partir de los costos actuales de los equipos que se distribuyen en el país, la energía consumida en base a los datos ingresados en el diagrama de carga y finalmente con los costos energéticos considerados por el *Homer* en el análisis de sensibilidad.

En la Tabla 13 se muestra la estructura de costes del sistema, donde se observa que el costo total por los módulos FV será de \$ 816.760,00 con una degradación de potencia del 0,80%, por su parte los inversores y el sistema de monitorización contribuyen con un costo de \$ 442.552,50 y los costos fijos anuales ascienden a \$ 20.498,81, obteniéndose un costo total por inversión de \$ **1.359.312,50** valor cercano a lo obtenido en el *Homer*.

En cuanto a los costes de consumo eléctrico y remuneración, estos se obtuvieron a partir de los resultados de evaluación del *Homer*, donde se consideró el análisis de sensibilidad tarifario y se escogió la opción donde el precio de la energía en el horario 1 es de \$0,185/kWh y para el horario 2 de \$0,165/kWh; el análisis se lo realizó para un periodo de 20 años, con una tasa de inflación del 3% y una remuneración por venta de energía de \$ 0,05/kWh; el *Homer* en su análisis de sensibilidad estimo una tarifa de \$0,20/kWh, pero en el *Sunny* se optó por realizar el cálculo considerando apenas la remuneración ya descrita por no reflejar gran variación en los costos por no existir excedente de energía inyectado a la red bastante significativo, además los \$ 0,05/kWh es la tarifa más opcional a insertar en un futuro.

Tabla 13 Costes del sistema con sensibilidad tarifaria (*Sunny Design Web*)

Estructura de costes

Los costes totales de los módulos FV	816.760,00 USD
La degradación media de la potencia de los módulos FV	0,80 %
Los costes totales de los inversores y la monitorización de la planta ascienden a	442.552,50 USD
Los costes de planificación e instalación ascienden a	100.000,00 USD
Los costes fijos anuales ascienden a	20.498,81 USD
La inversión total asciende a	1.359.312,50 USD

Costes de consumo eléctrico y remuneración

El precio del consumo eléctrico asciende a	0,18500 USD/kWh
La inflación eléctrica anual es del	3,0 %
La remuneración asciende a	0,05000 USD/kWh
La remuneración tiene una duración de	20 año(s)

Con la información introducida el software realiza una comparación de costes de energía para diferentes escenarios: Hoy sin planta, Hoy con planta y dentro de 20 años sin planta para comparar los efectos de la instalación de la planta sobre los costes de energía. Para ello, analiza el consumo de energía en la planta, la energía fotovoltaica disponible y la energía fotovoltaica utilizada, y los costos asociados.

Si no se realizara la instalación del sistema dimensionado, los costos de energía anuales, en las condiciones actuales ascendería a \$ 497.269. Los costos de energía anuales, en el caso de instalar la planta en la actualidad serían de \$ 312.194, lo que significa que al

instalar los paneles fotovoltaicos se puede conseguir un ahorro de \$ 185.075 por costes de energía anuales.

Si la planta no se instalara, dentro de 20 años se tendrían costos por consumo de energía de \$ 898.124 anuales. Al instalar la planta de módulos PV, tomando en cuenta una inflación en el precio de la energía del 3%, se obtendrá un ahorro de **\$ 4.913.665** al cabo de 20 años.

Al restar los costos de capital y financiamiento, tomando en cuenta la inflación y la degradación de potencia de los módulos, el ahorro total al cabo de 20 años obtenidos por la instalación de este proyecto sería de **\$ 3.009.094** y por la inyección a la red se tendría un beneficio aproximado de \$5.553. Los costos de producción de electricidad al largo de 20 años serían \$ 0,092/kWh.

Este proyecto estaría amortizado en 8 años, con una rentabilidad anual de 7,88 % y un CAPEX específico de la planta PV de \$1.941,65/kWp.

Análisis del Caso 2

El segundo análisis se realizó a partir de los nuevos costos de los equipos considerados en el sistema, los mismos que se distribuyen en otros países (continente europeo), la energía consumida en base a los datos ingresados en el diagrama de carga y finalmente con los costos energéticos vigentes en el país.

Los costes del sistema con los nuevos costos por adquisición, planificación e instalación de la tecnología FV se muestran en la Tabla 14, donde se observa que el costo total por los módulos FV será de \$ 583.400 con una degradación de potencia del 0,80%, por su parte los inversores y el sistema de monitorización contribuyen con un costo de \$ 240.750,00 y los costos fijos anuales ascienden a \$ 14.114,60, obteniéndose un costo total por inversión de **\$ 935.964,00** valor cercano a lo obtenido en el *Homer* para este caso.

En cuanto a los costes de consumo eléctrico y remuneración, estos fueron los valores vigentes utilizados por la CNEL, donde el costo en el horario 1 es de \$0,095/kWh y para el horario 2 de \$0,077/kWh; el análisis se lo realizó también para un periodo de 20 años,

con una tasa de inflación del 3% y una remuneración por venta de energía de \$ 0,05/kWh.

Tabla 14-Costes del sistema con sensibilidad de costes de tecnología FV (*Sunny Design Web*)

Estructura de costes

Los costes totales de los módulos FV	583.400,00 USD
La degradación media de la potencia de los módulos FV	0,80 %
Los costes totales de los inversores y la monitorización de la planta ascienden a	240.750,00 USD
Los costes de planificación e instalación ascienden a	111.814,00 USD
Los costes fijos anuales ascienden a	20.498,81 USD
La inversión total asciende a	935.964,00 USD

Costes de consumo eléctrico y remuneración

El precio del consumo eléctrico asciende a	0,09500 USD/kWh
La inflación eléctrica anual es del	3,0 %
La remuneración asciende a	0,05000 USD/kWh
La remuneración tiene una duración de	20 año(s)

En base a esta información introducida igual que en el *Caso 1* el Sunny presenta comparación de costes de energía para los escenarios: Hoy sin planta, Hoy con planta y dentro de 20 años sin planta para comparar los efectos de la instalación de la planta sobre los costes de energía. Si no se realizara la instalación del sistema los costos de energía anuales ascenderían a \$ 258.746; si se realizara la instalación los costos de energía anuales en la actualidad serían de \$ 160.158, lo que significa que se conseguiría un ahorro de \$ 98.588 por costes de energía anuales.

Si la planta no se instalara, dentro de 20 años se tendrían costos por consumo de energía de \$ 467.324 anuales. Al instalar la planta PV, tomando en cuenta una inflación en el precio de la energía del 3%, se obtendrá un ahorro de **\$ 2.617.092** al cabo de 20 años.

Al restar los costos de capital y financiamiento, tomando en cuenta la inflación y la degradación de potencia de los módulos, el ahorro total al cabo de 20 años obtenidos por la instalación de este proyecto sería de **\$ 1.307.417** y por la inyección a la red se tendría un beneficio aproximado de \$5.553. Los costos de producción de electricidad al largo de 20 años serían \$ 0,063/kWh.

Este proyecto estaría amortizado en 10 años, con una rentabilidad anual de 4,97 % y un CAPEX específico de la planta PV de \$ 1.336,94/kWp.

Las Figura 37 y Figura 38 muestran un resumen de los resultados económicos del proyecto y gráficos que permiten observar el ahorro efectuado por la instalación de la planta PV tanto en el *Caso 1* como en el *Caso 2*. Además, los resultados finales se presentan en el Anexo B: Resultados Sunny Design Web Caso Inicial, Caso1 y Caso 2.

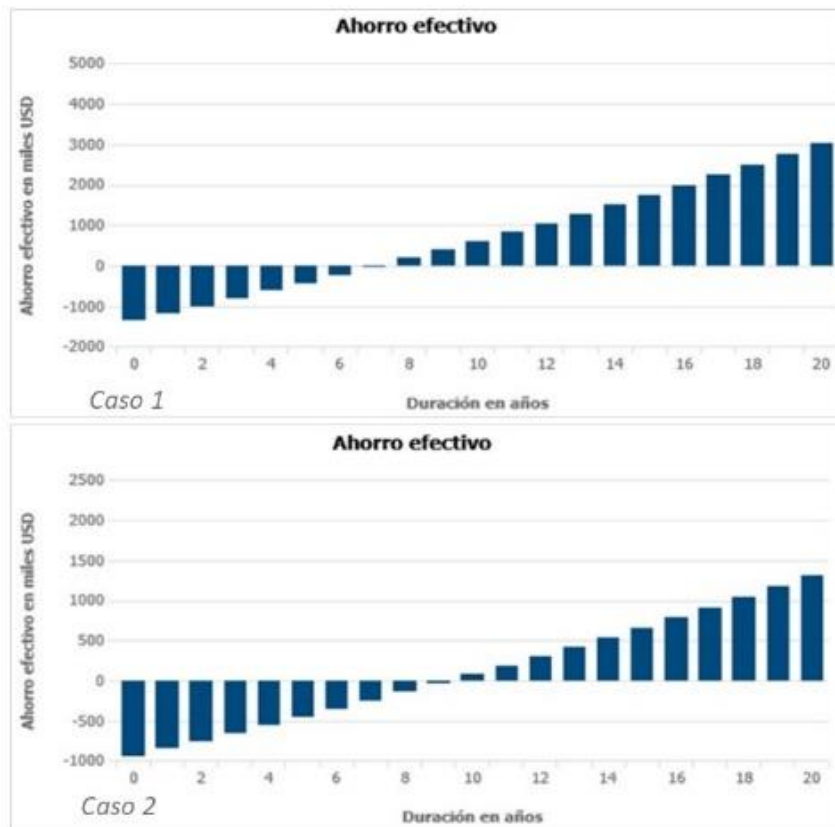


Figura 37-Duración del proyecto y amortización *Caso 1* y *Caso 2* (Sunny Design Web)

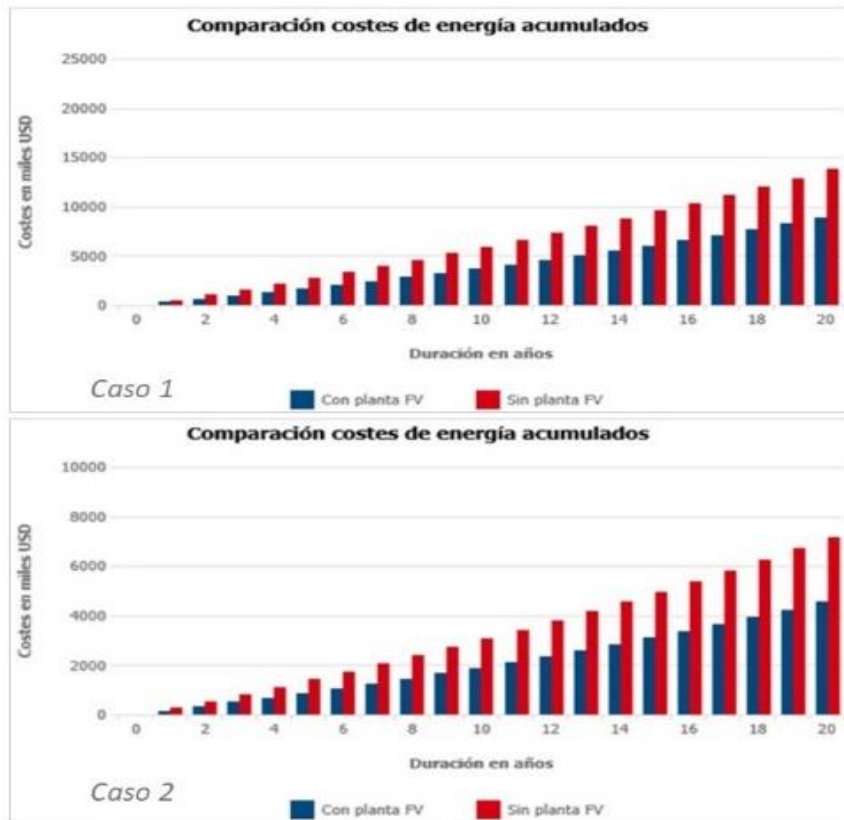


Figura 38-Comparación costo de energía *Caso 1* y *Caso 2* (Sunny Design Web)

4.4 Análisis de los resultados obtenidos

Utilizar el *Homer* simplificó la tarea de evaluación de varios sistemas de energía, pues sus diseños presentaron los resultados óptimos de varias simulaciones según las variables de optimización ingresadas. Llevando a cabo cálculos del balance de energía para cada configuración considerada, este software comparó la demanda eléctrica con la energía que el sistema puede suministrar y determinó si la configuración es factible o no. además estimó el costo de la instalación y operación para determinar la rentabilidad de éste. Permitted realizar el dimensionamiento de la UPAC con la ventaja de explorar ciertos efectos de cambios según algunos factores tales como la disponibilidad del recurso y condiciones económicas, que para el sistema propuesto fueron la velocidad del viento, costo de la energía y costos de componentes o equipos a considerar.

Una vez realizados varios análisis de sensibilidad, los resultados obtenidos fueron muy claros y coherentes según las condiciones ingresadas para el cálculo; como primera respuesta el *Homer* dice que no es rentable la inserción de un sistema eólico en el

proyecto debido a que los valores de velocidad del viento en la zona no son significativos para obtener valores de potencia que justifiquen la inversión inicial en un periodo rentable, aun cuando se añadieron valores sensibles al promedio anual de la velocidad del viento.

Descartando la generación eólica se esperaba que el *Homer* diera como resultado un sistema de producción donde la generación fotovoltaica fuese una alternativa óptima de aportación en conjunto con la red, sin embargo, no fue el caso, pues consideró como mejor alternativa consumir EE únicamente de la red. Con esto el software nos dice que no es justificable consumir la energía fotovoltaica en la UTM debido a que esta es más cara que la que se ha consumido hasta ahora. La razón de esta enorme diferencia es que la energía FV se encarece por el costo de sus equipos, mientras que la energía consumida en la actualidad es procedente de la generación hidráulica y por tanto es muy barata.

Pese a este resultado para no dejar atrás la energía solar fotovoltaica y continuar con los deseos que tiene el Gobierno de construir nuevos proyectos fotovoltaicos para diversificar la matriz energética y desplazar la generación con combustibles contaminante para el ambiente, como se señala en el subcapítulo 1.2, se consideró realizar un nuevo dimensionamiento analizando dos casos; con el *Caso 1* se pretendió verificar si encareciendo el costo de la EE en el país se justificaría la inversión de la planta FV, obteniendo que en efecto esa sería la solución, sin embargo, cuestionando esta alternativa como poco probable, se realizó una nueva simulación (*Caso 2*) esta vez usando como variables de sensibilidad el precio de los equipos a considerar, pues es más probable que el precio de los equipos disminuya por el avance tecnológico que el precio de la energía incremente su precio de forma abismal.

Para ambos casos se obtuvieron buenos resultados tanto energéticos como económicos, pues en cuanto a la producción de energía su aporte incrementó con el último dimensionamiento, del 5 % a un 30 %. En la Tabla 15 se presenta resumidamente los resultados obtenidos de las herramientas informáticas *Homer* y *Sunny Design Web* de los dos últimos dimensionamientos para su respectivo análisis, además en el Anexo B, página 111 se presentará el resumen de los resultados de cada Caso.

Tabla 15-Resumen comparativo de los dimensionamientos de la planta FV (*Homer y Sunny Design Web*)

	Caso Inicial	Caso 1	Caso 2
Potencia FV a instalar	100 kWp	700 kWp	700 kWp
Aporte de producción	5 %	30 %	30 %
Inversión Inicial	194.188,00 USD	1.359.313,00 USD	935.964,00 USD
Rendimiento Energético			
Rendimiento energético anual	163 MWh	1.128 MWh	1.128 MWh
Inyección a la red	1 kWh	MWh	MWh
Autoconsumo	163 MWh	1.121 MWh	1.121 MWh
Cuota de Autonomía	6 %	40,7 %	40,7 %
Costes de energía anuales			
Sin la planta FV	257.570,00 USD	497.269,00 USD	258.746,00 USD
Con la planta FV	252.225 USD	312.194,00 USD	160.158,00 USD
Ahorro en 20 años	5.345 USD	185.075,00 USD	98.588,00 USD
Remuneración por inyección a la red	0 USD	5.553,00 USD	5.553,00 USD
Amortización de la planta FV	17 años	8 años	10 años
Rentabilidad anual	1,05 %	7,88 %	4,97 %

El aporte de producción según la potencia instalada y la inversión total son resultados obtenidos del *Homer*, los restantes fueron del *Sunny Design Web*. Se puede observar en la tabla que la inversión inicial varía según la potencia a instalar, sin embargo, para el *Caso 1* y *2* no es así, pues el aumento de la inversión se debe al costo que tienen los equipos en el Ecuador; si el gobierno como incentivo lograra reducir estos costes el ahorro que se tendría sería de \$ 423.349,00 por concepto de adquisición, planificación e implementación de la planta FV; en cuanto al rendimiento energético el dimensionamiento para el *Caso inicial* presenta apenas MWh lo que representaría un Autoconsumo de MWh equivalente a un 5 % de cuota de autonomía, mientras que con el dimensionamiento del *Caso 1* y *2* se lograría tener un rendimiento anual de 1.128 MWh que le daría a la UTM una autonomía del 40 % gracias a un autoconsumo de 1.121 MWh.

Para los resultados de costes de energía anuales se tiene que el proyecto más rentable es el *Caso 1*, pues su periodo de amortización sería en 8 años con una rentabilidad de 7,88 %. Es muy importante considerar que pese a su rentabilidad la opción del *Caso 2* no se puede despreciar pues como ya se mencionó es más probable que el precio de los equipos a considerar disminuya por el avance tecnológico y por incentivos del Gobierno que el precio de la energía aumente.

5 Racionalización del consumo de energía en el sistema de iluminación

El capítulo cuenta con tres apartados: en el primero se realiza la caracterización del sistema de alumbrado público actual; en el segundo se exponen las alternativas para obtener un sistema de alumbrado público eficiente y en el tercero se realiza un análisis de los resultados obtenidos.

5.1 Caracterización del sistema de alumbrado público actual

Actualmente el sistema de alumbrado público consiste en el uso de luminarias de Alta Intensidad de Descarga (HID) de vapor de sodio y luminarias LED. Las de tecnología de vapor de sodio son del tipo SHP-TS 250/100V/CL/U/T46/E40 [38] de la marca *Sylvania* (Figura 39), con balastos magnético que permiten el paso de la corriente para su encendido o apagado y fotocélulas como dispositivos de conexión y desconexión automática según el nivel de iluminación del ambiente; en tanto las de tecnología LED son del tipo cobra de 84 W [39] (Figura 40); estas últimas luminarias han sido instaladas gracias a becas otorgadas a los estudiantes que han realizado sus trabajos de tesis en la modalidad investigativa-comunitaria. El mantenimiento preventivo que se les realiza a las luminarias es de dos veces al año, uno es manual realizado solo por el personal del departamento de mantenimiento y el otro es realizado con la ayuda del sistema hidráulico de la grúa con canastilla de la CNEL. Es muy importante mencionar que todos estos datos expuestos ha sido la información otorgada del departamento de mantenimiento de la UTM.



Figura 39-Luminaria de Vapor de sodio de alta presión (Elaboración propia)



Figura 40-Luminaria LED (Elaboración propia)

Todo el sistema de iluminación cuenta con iluminación ornamental y pública general, según una inspección realizada en el campo de estudio para la recopilación de información se tiene que el total de luminarias del área escogida para el análisis es de 66 luminarias, en una distribución no uniforme por las distintas inter distancias de los postes existentes que transportan las redes de distribución, en la Tabla 16 se detallará de forma resumida los datos obtenidos de la inspección, entre los cuales están la disposición de las luminarias por sección y el número de luminarias existentes en la actualidad.

Tabla 16-Sistema de Iluminación Actual (Elaboración propia)

Sistema de iluminación Actual						
Calzada			Acera (m)	Disposición de Luminarias.	# de Luminarias	
Secciones	Largo (m)	Ancho (m)			V. de Sodio	LED
Sección 1 A	240	9	2,3	Ambos lados enfrentados	10	5
Sección 1 B	290	9	2,3	Unilateral	1	6
Sección 2	201	9	2,3	Ambos lados alternos	8	0
Sección 3	147,66	6	2,4	Arcén Central doble	10	0
Sección 4	150,86	9	2,3	Unilateral	0	4
Sección 5	97,42	9	2,3	Unilateral	4	0
Sección 6	257,5	9	2,3	No definida	9	1
Sección 7	96,16	7	2	Unilateral y Arcén Central doble	6	0
Sección 8	126,19	7	2	Unilateral	2	0
Total					50	16

Las dimensiones de la calzada y de la acera fueron obtenidos del plano arquitectónico de la UTM, la disposición de las luminarias se las acopló a modelos equivalentes utilizados por el *DIALux*.

El tiempo de funcionamiento de las luminarias por año es de 4.380 horas debido a que en nuestro país existen 12 horas de sol en las dos estaciones del año, las 12 horas restantes es el tiempo que las luminarias se mantienen encendidas, lo que en consumo anual de EE corresponde a:

<i>Consumo de la tecnología HID</i>	<i>Consumo de la tecnología LED</i>
$Consumo\ Anual = 0,250\ KW * 50 * 4380\ h$	$Consumo\ Anual = 0,084\ KW * 16 * 4380\ h$
$Consumo\ Anual = 547500\ kWh$	$Consumo\ Anual = 5886,72\ kWh$

El valor obtenido del consumo es el resultado del producto de la potencia de cada tecnología, el número de luminarias instaladas y el tiempo que éstas se mantienen encendidas. En su totalidad el consumo anual por alumbrado público es 60.636,72 kWh, correspondiente al 2,20 % del consumo total del campus universitario lo que equivale económicamente a 4.669,02\$ del valor total reflejado en la facturación anual por energía consumida. Es importante mencionar que la iluminación ornamental no está considerada en este análisis.

5.1.1 Análisis fotométrico del Alumbrado Público actual

Para este análisis lo ideal es presentar los valores de los parámetros fotométricos medidos, pero al existir casos en los que no es factible, como cuando la configuración de la vía no reúne los requisitos dispuestos en el reglamento, se puede realizar una evaluación por medios informáticos que muestre parámetros de calidad, para ello se deberá considerar no menos de 3 vanos (distancia entre postes), los mismos que deberán tener el espaciamiento real, además la configuración real de la vía, considerando la altura de montaje, ancho de la calzada, aceras, entre otros [17].

Considerando todo esto como herramienta informática se utilizó el *DIALux* para obtener resultados fotométricos próximos a los valores reales, primero se definió la clase de vía según las tablas presentadas en el reglamento técnico de alumbrado público expuesto

en la página 21 se escogió la clase de iluminación según el tráfico motorizado y peatonal, siendo éstos M4 y P4, ajustados respectivamente al DIALux a ME4a y CE5, la norma utilizada fue la norma europea CIE 140 / EN 13201, las luminarias utilizadas para la simulación en el software fueron la PHILIPS SGS102 de 250 W [40] vapor de sodio de alta presión y la Sylvania_LED STREET LIGHT ZD616 de 100 W [41], estas luminarias presentan características similares a las instaladas actualmente.

Para la planificación del perfil de vía se ingresaron las dimensiones de la calzada y de las aceras presentadas en la Tabla 16 la cantidad de carriles de tránsito considerados fue apenas 1, el revestimiento de la calzada fue R3, q_0 : 0,070 y el plan de mantenimiento fue de 0,57 factor de degradación, correspondiente al valor de referencia para instalaciones exteriores con ciclo de mantenimiento de 3 años. En cuanto a la disposición de luminarias la organización de estas varía según cada sección, sin embargo, ciertas medidas de montaje se conservaron para todas las secciones como fue la longitud del brazo (1), la inclinación del brazo (2), la distancia saliente sobre la calzada (3) y la altura de luminaria (4). En la Figura 41 se muestra gráficamente cada una de estas medidas.

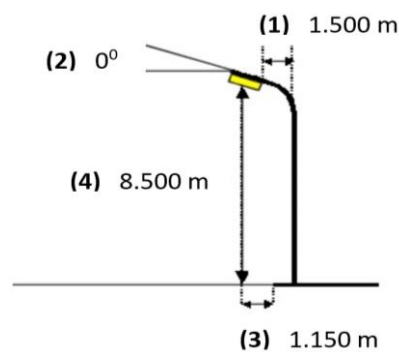


Figura 41-Montaje de Luminarias (DIALux)

La dimensión de la vía, la distancia entre mástil (S) y la disposición de las luminarias son factores muy importantes que se deben evaluar, sin olvidar también las características técnicas de las luminarias, pues al no considerar estos factores puede ocurrir que los parámetros luminotécnicos en ciertos puntos de la vía no cumplan con lo establecido como es el caso que se presenta en varias secciones de las vías de movilidad del campus. A continuación, se detallará la situación actual de cada sección.

- Sección 1A:** La disposición de luminarias escogida semejante a la real fue la bilateral enfrentada, la sección costa de 15 luminarias instaladas de las cuales 5 son LED y las otras 10 de vapor de sodio de alta presión. Para el análisis en el software se estimaron varios valores de S en el editor de esquemas de vías con la finalidad de evaluar cada situación. Se comprobó que cuando $S \leq 36 m$ se cumplen los parámetros fotométricos requeridos, sin embargo, al aumentar S estos parámetros van desmejorando, tanto así que cuando $S \geq 37 m$ el valor máximo inicial del incremento de umbral TI no cumple con lo establecido provocando un efecto molesto de deslumbramiento (Figura 42).

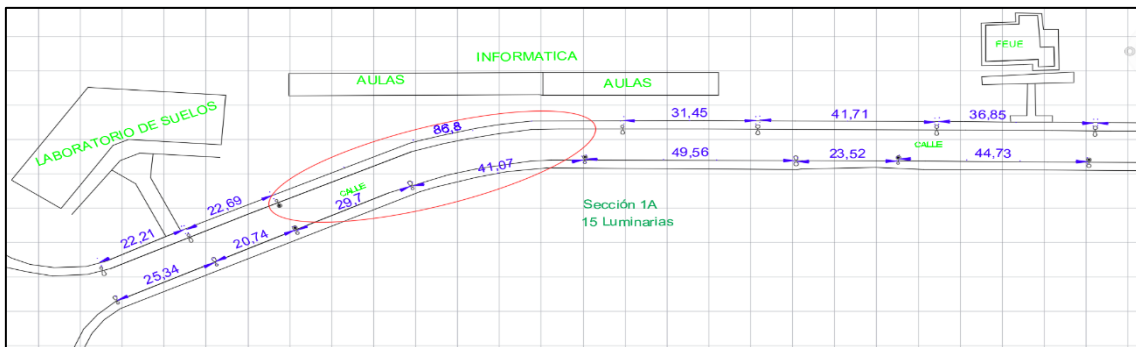


Figura 42-Illuminación actual sección 1A (Elaboración propia)

- Sección 1B:** El número de luminarias instaladas en esta sección son siete con disposición unilateral, tan solo una de ellas es de vapor de sodio de alta presión y las seis restantes LED, la distancia entre mástil S no es uniforme. Para el primer análisis en el DIALux la distancia ingresada fue $S = 27 m$; a partir de esta distancia solo se cumple con los parámetros fotométricos siguientes: el incremento de umbral TI y la relación de alrededores SR en la calzada; y en una de sus aceras o camino peatonal solo con la iluminancia promedio E_{prom} . Con estos resultados se deduce que para $S = 55 m$ y $S = 71 m$ el escenario será aún más deficiente (Figura 43).

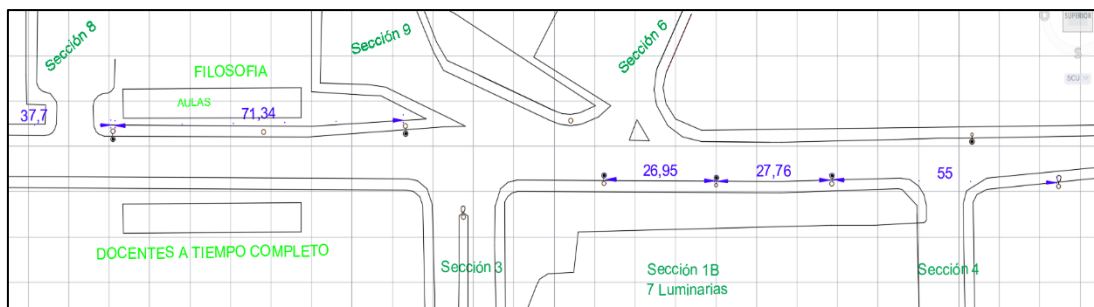


Figura 43-Illuminación actual sección 1B (Elaboración propia)

- Sección 2:** En esta sección se escogió la disposición de luminarias bilateral alterna, la cantidad de luminarias son 8 todas de vapor de sodio de alta presión, en el software se estimaron dos

valores para S , el primero fue $S = 45 m$, con esta distancia entre mástil se cumple con todos los parámetros fotométricos requeridos, el segundo fue $S = 64 m$, pues al no estar alternados simétricamente los lados de S se da el caso que un lado tiene mayor distancia que el otro, entonces aun cuando $S/2 = 32 m$ se obtendrá el cumplimiento de todos los parámetros requeridos, con excepción de la relación de alrededores SR , la misma que no es exigida, (Figura 44).

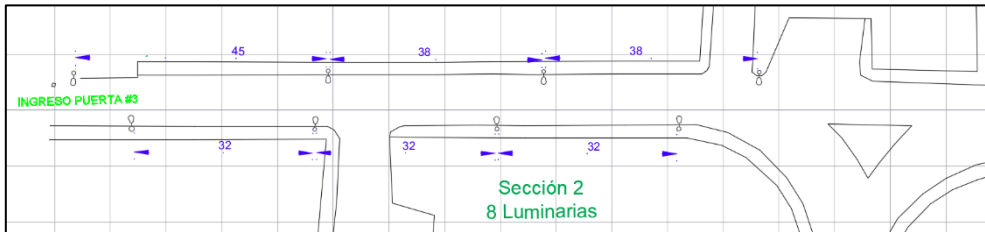


Figura 44-Illuminación actual sección 2 (Elaboración propia)

- Sección 3:** La disposición de luminarias es central con doble luminaria, se cumple con todos los parámetros fotométricos, pues según el análisis en el DIALux S se mantiene dentro de los valores óptimos para el cumplimiento de los parámetros requeridos, es decir $S \leq 34 m$ permite cumplir con la luminancia promedio L_{prom} , el factor de uniformidad de luminancia U_o y con el incremento de umbral TI requeridos. Sin embargo, en dos puntos de iluminación solo existe una luminaria por mástil, técnicamente no es lo recomendable pues no presenta las mismas bases de iluminación que la disposición actual aun cuando están dos luminarias instaladas cerca a estos puntos de iluminación (Figura 45). Todas las luminarias instaladas en esta sección son de vapor de sodio de alta presión.

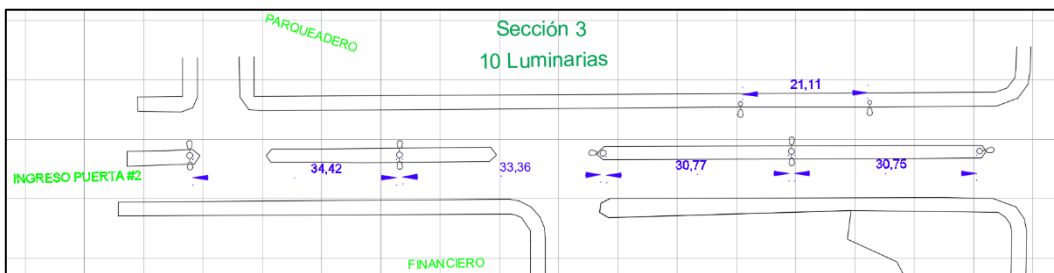


Figura 45-Illuminación actual sección 3 (Elaboración propia)

- Sección 4:** Esta sección posee una disposición de luminarias unilateral, la cantidad de luminarias instaladas son 4 de tecnología LED, las distancias entre mástil es de 40 y 44 m. Para el análisis en el DIALux se ingresaron ambos valores para comprobar si se cumple o no con los parámetros fotométricos requeridos. Se comprobó que cuando $S = 40 m$ no se cumple con todos los parámetros, con excepción del incremento de umbral TI y la relación de alrededores SR en la calzada; y en una de sus aceras la iluminancia promedio E_{prom} ; cuando $S = 44 m$ el escenario

es aún más deficiente, en la Figura 46 se muestra el sistema de iluminación actual de esta sección.

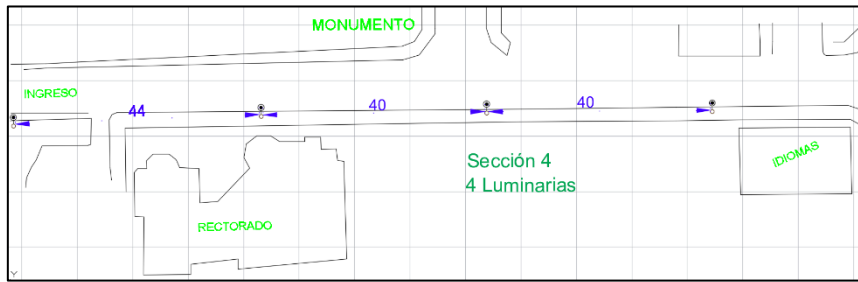


Figura 46-Illuminación actual sección 4 (Elaboración propia)

- **Sección 5:** Su disposición de luminarias es unilateral, las luminarias instaladas son 4 de vapor de sodio, la distancia entre mástil es $S = 28\text{ m}$, según el análisis realizado en el DIALux se cumple con todos los parámetros fotométricos requeridos (Figura 47).

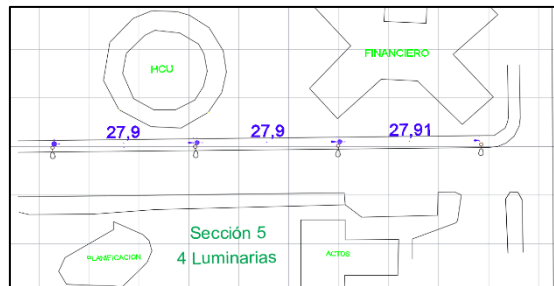


Figura 47-Illuminación actual sección 5 (Elaboración propia)

- **Sección 6:** En esta sección como se muestra en la Figura 48 la disposición de luminarias es desordenada solo cuenta con 10 luminarias de las cuales 9 son de vapor de sodio y 1 es LED, al perímetro de la vía hay distribuidas 5 luminarias, las dos restantes están como punto de iluminación para Tecni-agua y el edificio de la escuela de industrial. Según el análisis realizado solo se cumple con los parámetros requeridos en el tramo donde la disposición de luminarias es bilateral enfrentada con $S \leq 31\text{ m}$.

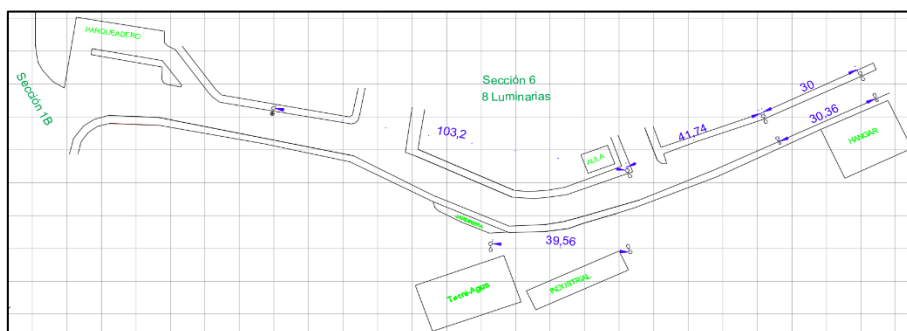


Figura 48-Illuminación actual sección 6 (Elaboración propia)

- Sección 7 y 8:** La disposición de luminarias en estas secciones es unilateral, en ambos casos se cumplen con los parámetros fotométricos requeridos con una $S \leq 21 m$, en la sección 7 existen seis luminarias instaladas y en la sección 8 existen dos, en ambas secciones las luminarias son de vapor de sodio, en el esquema de vía se consideró solamente un camino peatonal y la calzada, como observación se tiene que en la sección 7 en dos puntos de iluminación se encuentran instaladas dos luminarias por mástil, lo que podría modificarse ya que según el análisis con 1 luminaria por mástil se cumple con lo requerido y en la sección 8 debería aumentarse el número de luminarias. En la Figura 49 y Figura 50 se muestra la situación actual de cada sección:

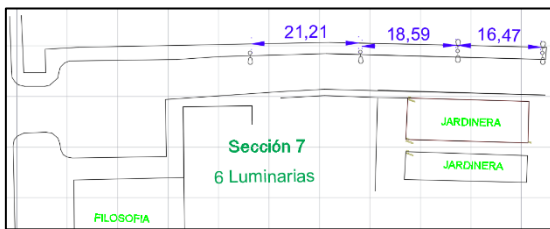


Figura 49-Illuminación actual sección 7
(Elaboración propia)

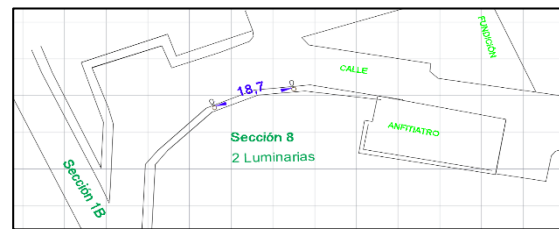


Figura 50-Illuminación actual sección 8
(Elaboración propia)

Conocidas las características de las vías y la clase de iluminación se comprobó mediante el software que el sistema de alumbrado público actual no cumple con los requerimientos visuales exigidos por el INEN en varios tramos de las secciones analizadas, debido a que gran parte del alumbrado público hace uso de la infraestructura de la red eléctrica de uso general. Es muy importante mencionar que los resultados presentados a continuación en la Tabla 17 se obtuvieron analizando las distancias entre mástil de cada sección que ya no presentaban el cumplimiento de los parámetros fotométricos requeridos para una iluminación eficiente.

Tabla 17-Resultados Fotométricos del Sistema de Alumbrado Público (DIALux)

Calzada	Lm (cd/m ²) Mínimo	Uo Mínimo	UI	Ti % Máximo inicial	Distancia entre mastil S (m)
INEN	≥0,8	≥0,4	≥0,60	≤15	(m)
Sección 1 A	4.00	0.43	0,60	18	41
Sección 1B	0.17	0.06	0.04	6	55
Sección 2	2.58	0.51	0.70	15	64
Sección 3	3.50	0.62	0.74	15	34
Sección 4	0.23	0.09	0.08	5	44
Sección 5	2.93	0.42	0.77	14	28
Sección 6	2.31	0.37	0.57	18	42
Sección 7 y 8	4.47	0.64	0.86	12	21

Acera	Clase de Iluminación	Iluminancia horizontal		Uo Mínimo	Camino peatonal
		Em	Emin		
INEN	P4	≥5	≥1	≥0,4	Nº
Sección 1 A	P4	25.38	2.90	0.40	1 y 2
Sección 1B	P4	4.48	0.05	0.02	1
		2.25	0.06	0.03	2
Sección 2	P4	16.26	2.58	0.40	1 y 2
Sección 3	P4	30.51	6.88	0.63	1 y 2
Sección 4	P4	3.10	-----	0.07	1
		6.16	-----	0.05	2
Sección 5	P4	22.27	4.35	0.47	1
		14.96	4.05	0.54	2
Sección 6	P4	17.40	1.31	0.32	1
	P4	11.69	1.56	0.50	2
Sección 7	P4	30.42	-----	0.64	1

5.2 Alternativas para obtener un sistema de alumbrado público eficiente

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN la iluminación de un sistema de alumbrado público debe ser adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehiculares como peatonales, por lo que es necesario tener en cuenta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual [17]. En base a este requerimiento esta investigación pretende proponer alternativas para obtener un sistema de iluminación que mantenga la cantidad y calidad de luz requerida sobre el área de trabajo visual, racionalizando al mismo tiempo su consumo anual, es decir, diseñar un sistema que este sujeto a políticas de eficiencia energética.

Las opciones o alternativas para conseguir este sistema eficiente son:

- Realizar la remodelación del sistema de alumbrado público considerando en el diseño el cumplimiento de las exigencias conforme al reglamento.
- Realizar el análisis energético y técnico-económico para la alteración de las luminarias tradicionales por nuevas tecnologías de menor consumo de energía.
- Efectuar la implementación de un sistema de control en el sistema de iluminación.

5.2.1 Propuesta de remodelación para el sistema de alumbrado público

Las especificaciones técnicas ingresadas en el DIALux con la finalidad de crear un diseño más eficiente y con mayor comodidad visual fueron la mismas que se utilizaron en el análisis fotométrico del sistema actual, con excepción de ciertos datos correspondientes a la organización de las luminarias, la disposición de mástiles, características del brazo y el número de luminarias por sección, el mismo que se obtiene de la relación entre la longitud de la calzada y la distancia entre mástil.

Los valores de S están sujetos a modificaciones según la decisión del diseñador siempre que $S \leq$ al valor expuesto en la tabla, debido a que son valores límites que permiten el cumplimiento de los requisitos fotométricos. La distancia S_1 es la correspondiente al cálculo realizado con las alternativas vapor de sodio (Philips) y la LED Shark (Sylvania) y S_2 solo corresponde a la alternativa LED tipo cobra. Todas estas distancias entre mástil propuestas permitirán la remodelación de la infraestructura de las redes eléctricas, pues están diseñadas conforme las distancias de los vanos según las diferentes estructuras aéreas que soportan a las redes eléctricas en zonas urbanas. En la Tabla 18 se muestra la propuesta para el nuevo diseño del sistema de iluminación y en los Anexo C: Resultados del DIALux (Sección 1A, 3, y 5) se presentan las secciones representativas de las disposiciones de luminarias empleadas.

Tabla 18-Propuesta para el sistema de Alumbrado Público (Elaboración propia)

Propuesta del DIALux									
Calzada	Organización	Disposición de mástiles			Brazo			# de Luminarias	
		Montaje (m)	S_1 (m)	S_2 (m)	Longitud (m)	Saliente sobre calzada (m)	Inclinación		
Sección 1 A	Ambos lados enfrentados	9.00	40	17	1.500	1.150	5	12	28
Sección 1 B		9.00	40	17	1.500	1.150	5	8	18
Sección 2	Ambos lados alternos	9.00	40	23	1.500	1.150	5	8	17
Sección 3	Arcén central doble	9.00	34	15	1.500	1.150	5	10	20
Sección 4	Ambos lados alternos	9.00	48	30	1.500	1.150	5	6	10
Sección 5	Unilateral	9.00	28	14	1.500	1.150	5	3	7
Sección 6	Ambos lados alternos	9.00	70	30	1.500	1.150	5	7	17
Sección 7	Unilateral	9.00	34	14	1.500	1.150	5	3	7
Sección 8	Unilateral	9.00	34	14	1.500	1.150	5	3	6
Total								60	131

Las luminarias ingresadas en el software para la simulación de la propuesta de remodelación fueron la PHILIPS SGS102 1xSON-TPP250W MR, la LED tipo cobra de 84 W y la Shark LED de 150 W [42]. La última luminaria propuesta es capaz de sustituir perfectamente a las luminarias tradicionales de vapor de sodio 250 W de potencia; se pudo comprobar esto mediante la simulación en la que se mantuvo constante el esquema de la vía y se sustituyó la luminaria de 250 W por las Shark de 150 W y no se registró variación significativa en el resultado luminotécnico.

La descripción de las luminarias se presentará en el siguiente subcapítulo con sus respectivas características técnicas y fotométricas.

5.2.2 Análisis para alteración de luminarias existentes por nueva tecnología

La tecnología de uso común en las redes de alumbrado público en nuestro país es el sodio de alta presión, que radica en el uso de lámparas de descarga de gas para producir luz, aunque la evolución de la tecnología LED usada para alumbrado público, presenta varias ventajas como el bajo consumo de energía, un mayor tiempo de vida, emisión reducida de calor, no contienen mercurio (componente altamente nocivo para el medio ambiente) [6], por lo que pueden ser una alternativa de eficiencia para nuestra red de alumbrado, sin embargo, para implementar acciones de eficiencia, es necesario contar con una investigación previa que las justifique y garantice. Por ello se realizará una descripción técnica de ambos tipos de luminarias y además el análisis económico para justificar la alteración a esta nueva tecnología.

- a) **Vapor de sodio de alta presión:** Para el análisis se escogió la luminaria PHILIPS SGS102 1xSON-TPP250W MR esta luminaria está diseñada para zonas residenciales y carreteras secundarias, vías principales y autopista, su modularidad permite integrar nuevos componentes ópticos y electrónicos, garantiza un bajo costo de propiedad gracias a sus eficientes ópticas, a la capacidad de regulación y a la facilidad de instalación y mantenimiento. Se encuentran disponibles en cuatro tamaños y son completamente reciclables, solo la lámpara y el balastro se recicla por separado, el color de la carcasa es gris

con forma redondeada, sus dimensiones son: longitud 900 mm y ancho 419 mm, en la Figura 51 se muestra gráficamente la luminaria con su respectiva emisión de luz (DIALux).

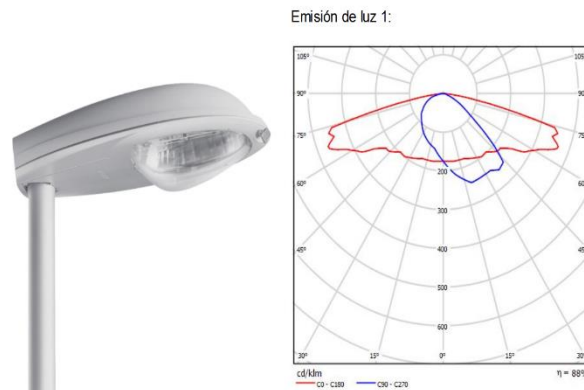


Figura 51-Luminaria PHILIPS (DIALux)

- b) **Tecnología LED tipo Cobra:** Para el análisis se utilizó el archivo fotométrico de la luminaria SYLVANIA ZD616-V2-100W que presenta características similares al tipo Cobra, se presenta como alternativa para verificar mediante el análisis fotométrico y económico si es factible que se continúen instalando en el campus universitario; según información otorgada por el personal de mantenimiento estas luminarias se descomponen rápidamente. Esta tecnología es del tipo iluminación de calle perfecta para iluminar rutas, parques y zonas públicas, su lugar de origen es China, el material de la lámpara es de aleación de aluminio y pesa 10 kg, su curva de distribución de luz es asimétrica y su eficacia de energía es del 88 %; Vienen en varios tamaños y además de mayor capacidad, su altura de montaje va desde 6 m hasta 12 m; su vida útil es de 50.000 horas [39].



Figura 52-Luinaría LED tipo cobra [39]

- c) **Tecnología LED Shark:** Para el análisis se escogió la luminaria Sylvania_150W Shark LED, esta luminaria fue creada como solución entre costo, confort, compromiso ambiental y garantía de un retorno de inversión en corto plazo, utiliza tecnología LED Samsung que supera el rendimiento de las luminarias HID, por sus opciones de control brinda la oportunidad de hacer más eficiente la gestión operativa, puede funcionar con un sistema de tele gestión inalámbrica o con célula fotoeléctrica. En cuanto a su aporte ecológico, ésta es

hecha con materiales reciclables, proporciona un elevado ahorro de CO₂ y no provoca contaminación lumínica (ULOR 0%) gracias a sus fotometrías eficientes. Según lo expuesto en su catálogo estas luminarias cuentan con una vida útil de 100.000 horas lo que les permite evitar numerosos cambios de lámparas en comparación con las luminarias tradicionales, lo que hace nulo el costo de mantenimiento [42].

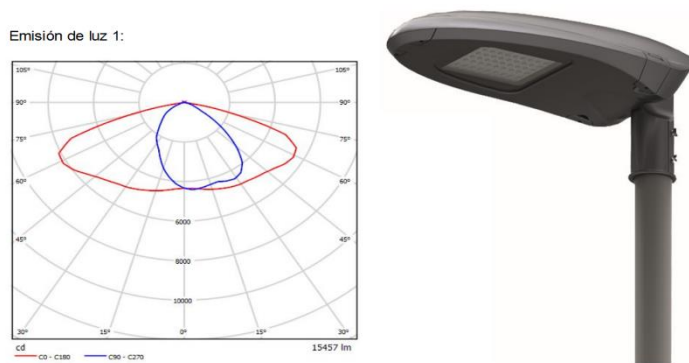


Figura 53-Luminaria Sylvania (DIALux)

A continuación de forma resumida serán presentados en la Tabla 19 los datos referentes de cada luminaria, los mismos que fueron tomados de los respectivos catálogos.

Tabla 19- Características técnicas de cada luminaria [38], [39], [42] y [43].

Características Técnicas	Tipo de tecnología	Tecnología Actual		Alternativa	
		Vapor de Sodio	LED	Vapor de Sodio	LED
Clase Eléctrica		Clase I y II	Clase I	Clase I y II	Clase I y II
Flujo luminoso (lm)		33400	8446	33200	16500
Eficiencia luminosa de la luminaria (lm/W)		131	100	127	>110
Temperatura de color (K)		2050	4500	2000	5000
Restitución cromática		Ajustable N	>75	20-39	>70
Índice de Protección		IP65	IP65	IP66	IP66
Número de lámparas x Potencia (W)		1x255	1x84	1x250	1x150
Vida media útil lámpara (horas)		32000	50000	36000	100000

Estas tecnologías presentan características técnicas adecuadas para un sistema de alumbrado público y cumplen la norma IEC 60598-1 con excepción de la tecnología LED actual; en cuanto al índice de protección presentan un IP65 e IP66, que garantiza la

protección a la filtración de objetos sólidos y líquidos que pueden causar daños internos. Es muy importante mencionar que para tomar una decisión de reemplazo de las luminarias no basta con determinar los mejores parámetros técnicos y fotométricos sino también los económicos de las mismas.

El análisis económico para la instalación de un sistema de iluminación debe considerar el costo de su ciclo de vida LCC², para ello se determinará su costo de adquisición, mantenimiento y el costo asociado a consumo de energía.

Para empezar el estudio económico hay que mencionar que la vida media y potencia de las luminarias fueron tomados de los respectivos catálogos de Philips y Sylvania citados en la Tabla 19, los costos de las luminarias de proformas obtenidas de almacenes eléctricos, con excepción de la luminaria Philips pues su costo fue obtenido de la tabla de iluminación profesional de Portugal (Anexo D: Precios de Tecnologías de Iluminación Vial). El costo de montaje, sustitución y limpieza de cada luminaria independientemente del tipo de tecnología se consideró en base a los rubros que manejan ingenieros contratistas en sus proyectos ofertados a la CNEL; por último, el costo de energía fue extraído del tarifario para empresas eléctricas de distribución [30]:

- El costo medio de montaje será de \$15,85
- El costo de sustitución de cada lámpara: \$7,50
- El costo de limpieza de cada luminaria: \$25,00
- El costo medio de energía: 0,077 \$/kWh

Para el cálculo de los costos se usarán las ecuaciones detalladas a continuación:

- **Costo de Adquisición**

$$CA = Na \times (Pa + Nl \times Pl + Cm)$$

Na = Número de luminarias
Pa = Precio de cada luminaria
Nl = Número de lámparas por luminaria
Pl = Precio de cada lámpara (\$)
Cm = Costo medio de montaje de cada luminaria

² Life Cycle Cost Analysis. Es un método de evaluación del costo total de una instalación. Considera costos de adquisición, propiedad, disposición y uso del sistema. Puede ayudar a determinar si un sistema de elevado costo inicial puede resultar en una disminución en costos de uso y/o mantenimiento [15]

- **Costo de energía**

$Na = \text{Número de Luminarias}$

$P = \text{Potencia eléctrica consumida por cada luminaria (kW)}$

$$CE = Na \times P \times Ua \times Ce$$

$Ua = \text{Tiempo de vida de cada luminaria (h)}$

$Ce = \text{Costo medio de energía eléctrica (\$/kWh)}$

- **Costo de Mantenimiento**

$Na = \text{Número de Luminarias}$

$Nl = \text{Número de lámparas por luminaria}$

$Pl = \text{Precio de cada lámpara (\$)}$

$$CM = Na \times \left[\frac{Nl \times (Pl + Cs) \times Ua}{Vu} + Cl \right]$$

$Vu = \text{Tiempo de vida de cada lámpara (h)}$

$Ua = \text{Tiempo de vida de cada luminaria (h)}$

$Cs = \text{Costo de sustitución de cada lámpara (\$)}$

$Cl = \text{Costo de limpieza de cada luminaria}$

En la Tabla 20 se presentan las características de las luminarias para el cálculo.

Tabla 20- Características y costos de cada tecnología de iluminación analizada (Elaboración propia)

		Actual	Alternativas		
Característica		Vapor de sodio	Vapor de sodio PHILIPS	SYLVANIA LED SHARK	LED TIPO COBRA
Precio de cada luminaria (\\$)	Pa	Tecnología existente	660	370,53	293,33
Número de luminaria	Na	66	61	61	115
Lámparas por luminaria	Nl	1	1	0	0
Precio de cada lámpara (\\$)	Pl	27	38,96	370,53	293,33
Costo medio de montaje de cada luminaria (\\$)	Cm	0	15,85	15,85	15,85
Costo medio de energía (\\$/kwh)	Ce	0,077	0,077	0,077	0,077
Costo medio de sustitución de cada lámpara (\\$)	Cs	7,5	7,5	7,5	7,5
Costo de limpieza de cada luminaria (\\$)	Cl	25	25	25	25
Tiempo de vida de cada luminaria (h)	Ua	87.600	87.600	87.600	87.600
Tiempo de vida de cada lámpara (h)	Vu	32.000	36.000	100.000	50.000
Potencia consumida por cada luminaria (kW)	P	0,275	0,250	0,150	0,084

El análisis se lo realizará para un periodo de 20 años, la vida útil considerada para cada luminaria fue por lo tanto 87.600 horas, teniendo en cuenta que su funcionamiento medio diario es de 12 horas.

Análisis económico Vapor de sodio (Actual) – 20 años

Costo de adquisición	Para este caso se debe omitir el costo de inversión porque son las luminarias ya existentes.	
Costo de energía	$Na = 66$ $P = 0,275 \text{ kW}$ $Ua = 87.600 \text{ h}$ $Ce = \$0,077$	$CE = Na \times P \times Ua \times Ce$ $CE = 66 \times 0,275 \times 87.600 \times 0,077$ $CE = 122.425,38 \text{ USD}$
Costo de mantenimiento	$Na = 66$ $Nl = 1$ $Pl = \$27$ $Cs = \$7,5$ $Ua = 87.600 \text{ h}$ $Vu = 32.000 \text{ h}$ $Cl = \$25,00$	$CM = Na \times \left[\frac{Nl \times (Pl + Cs) \times Ua}{Vu} + Cl \right]$ $CM = 66 \times \left[\frac{1 \times (27 + 7,5) \times 87.600}{32.000} + 25,00 \right]$ $CM = 7.883,29 \text{ USD}$

Análisis económico Vapor de sodio PHILIPS (Alternativa) – 20 años

Costo de adquisición	$Na = 60$ $Pa + Nl \times Pl = \$ 698,96$ $Cm = \$ 15,85$	$CA = Na \times (Pa + Nl \times Pl + Cm)$ $CA = 60 \times (698,96 + 15,85)$ $CA = 42.888,60 \text{ USD}$
Costo de energía	$Na = 60$ $P = 0,250 \text{ kW}$ $Ua = 87.600 \text{ h}$ $Ce = \$0,077$	$CE = Na \times P \times Ua \times Ce$ $CE = 60 \times 0,250 \times 43.800 \times 0,077$ $CE = 101.178,00 \text{ USD}$
Costo de mantenimiento	$Na = 60$ $Nl = 1$ $Pl = \$38,96$ $Cs = \$7,5$ $Ua = 87.600 \text{ h}$ $Vu = 36.000 \text{ h}$ $Cl = \$25,00$	$CM = Na \times \left[\frac{Nl \times (Pl + Cs) \times Ua}{Vu} + Cl \right]$ $CM = 60 \times \left[\frac{1 \times (38,96 + 7,5) \times 87.600}{36.000} + 25,00 \right]$ $CM = 8.283,16 \text{ USD}$

La vida de la lámpara LED también supera la vida del proyecto, por lo tanto, para el siguiente cálculo del costo de mantenimiento las lámparas por luminaria $NI = 0$.

Análisis económico tecnología SYLVANIA LED SHARK (Alternativa) – 20 años

Costo de adquisición	$Na = 60$ $Pa + Nl \times Pl = \$ 370,53$ $Cm = \$ 15,85$	$CA = Na \times (Pa + Nl \times Pl + Cm)$ $CA = 60 \times (370,53 + 15,85)$ $CA = \$ 23.182,80$
-----------------------------	---	---

Costo de energía	$N_a = 60$ $P = 0,150 \text{ kW}$ $U_a = 87.600 \text{ h}$ $C_e = \$ 0,077$	$CE = N_a \times P \times U_a \times C_e$ $CE = 60 \times 0,139 \times 87.600 \times 0,077$ $CE = 60.706,80 \text{ USD}$
Costo de mantenimiento	$N_a = 60$ $N_l = 1$ $Pl = \$ 370,53$ $C_s = \$ 7,5$ $U_a = 87.600 \text{ h}$ $V_u = 100.000 \text{ h}$ $Cl = \$ 25,00$	$CM = N_a \times \left[\frac{N_l \times (Pl + C_s) \times U_a}{V_u} + Cl \right]$ $CM = 60 \times \left[\frac{0 \times (370,53 + 7,5) \times 87.600}{100.000} + 25,00 \right]$
$CM = 1.500,00 \text{ USD}$		

Análisis económico tecnología LED tipo Cobra (Actual-Alternativa) – 20 años

Costo de adquisición	$N_a = 115$ $Pa + N_l \times Pl = \$ 293,33$ $C_m = \$ 15,85$	$CA = N_a \times (Pa + N_l \times Pl + C_m)$ $CA = 115 \times (293,33 + 15,85)$ $CA = 35.555,70 \text{ USD}$
Costo de energía	$N_a = 115$ $P = 0,084 \text{ kW}$ $U_a = 87.600 \text{ h}$ $C_e = \$ 0,077$	$CE = N_a \times P \times U_a \times C_e$ $CE = 115 \times 0,084 \times 87.600 \times 0,077$ $CE = 65.158,63 \text{ USD}$
Costo de mantenimiento	$N_a = 115$ $N_l = 1$ $Pl = \$ 293,33$ $C_s = \$ 7,5$ $U_a = 87.600 \text{ h}$ $V_u = 50.000 \text{ h}$ $Cl = \$ 25,00$	$CM = N_a \times \left[\frac{N_l \times (Pl + C_s) \times U_a}{V_u} + Cl \right]$ $CM = 115 \times \left[\frac{0 \times (293,33 + 7,5) \times 87.600}{50.000} + 25,00 \right]$
$CM = 2.875,00 \text{ USD}$		

5.3 Análisis de los resultados obtenidos

Con los datos de cada tecnología y los costos calculados, se determinó el costo total de cada una para un horizonte de 20 años y se seleccionó la mejor opción para el sistema de alumbrado público, en la Tabla 21 se muestra de forma resumida el costo de adquisición, el costo de energía y mantenimiento para cada alternativa.

Tabla 21-Alternativas de Luminarias (Elaboración propia)

	Vapor de Sodio Philips	LED Shark	LED tipo Cobra
Costo de adquisición	\$ 42.888,60	\$ 23.182,80	\$ 35.555,70
Costo de energía	\$ 101.178,00	\$ 60.706,80	\$ 65.158,63
Costo de mantenimiento	\$ 8.283,16	\$ 1.500,00	\$ 2.875,00
Costo total en 20 años	\$ 152.349,76	\$ 85.389,60	\$ 103.589,33

Para el periodo de análisis de 20 años, la mejor opción es la tecnología LED Shark, pues su costo total es bastante inferior al costo total de las demás tecnologías propuestas, por consiguiente, se selecciona esta tecnología para realizar el cálculo del Periodo de Retorno de la Inversión (PRI), el mismo que resulta de la razón entre el costo de adquisición de la luminaria LED Shark y el ahorro anual generado.

$$\begin{aligned}
 \text{Ahorro} &= \left(\text{Costo}_{\text{Energía}} + \text{Costo}_{\text{mantenimiento}} \right)_{\text{Actual}} \\
 &- \left(\text{Costo}_{\text{Energía}} + \text{Costo}_{\text{mantenimiento}} \right)_{\text{LED}} \\
 \text{PRI} &= \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}}
 \end{aligned}$$

Tabla 22-Ahorro Anual y PRI por sustitución de luminarias por tecnología LED (Elaboración propia)

	Actual	LED
Costos energía (\$/año)	122.425,38	60.706,80
Costos mantenimiento (\$/año)	7.883,29	1.500,00
TOTAL, COSTOS	130.308,67	62.206,80
Ahorro anual		68.101,87
PRI		6,81 años

Con la iluminación de la tecnología LED Shark se lograrán reducir los costos asociados a mantenimiento y energía aproximadamente en un 52,26 %, permitiendo un ahorro de 68.101,87 USD. Gracias a este ahorro proporcionado por el sistema, la inversión estará compensada en un periodo próximo a 6,81 años.

Mediante la caracterización del sistema actual de alumbrado público de la Universidad Técnica de Manabí se comprobó que no se está cumpliendo técnicamente con los parámetros fotométricos requeridos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN y la Agencia de Regulación y Control de Electricidad Arconel, por ello como solución se propuso la remodelación de su sistema de iluminación y además la sustitución de las luminarias actuales por nuevas

luminarias ya sea de igual tecnología a la existente o por tecnologías de tendencia LED; es muy importante mencionar que se propone la alteración por la misma tecnología de vapor de sodio porque dentro de la remodelación se podría reemplazar las luminarias antiguas que tienen ya mucho tiempo instaladas (tiempo no registrado en el departamento de mantenimiento) por nuevas luminarias que presenten menos pérdidas debido al desgaste por cumplir ya con su tiempo medio de vida útil.

El análisis fotométrico se lo realizó con ayuda del software DIALux, para la caracterización se ingresó información real en cuanto al esquema de vía de cada sección, la fotometría de las luminarias fue una información equivalente a la existente, pues no se obtuvo el archivo real referente a la iluminación actual. En cuanto a la propuesta de sustitución se realizó la evaluación del sistema de alumbrado público de cada sección con información real tanto para el esquema de vía como para las luminarias.

Según los resultados obtenidos del DIALux las mejores alternativas de sustitución son la luminaria de vapor de sodio de alta presión Philips y la luminaria LED Shark, pues sus características fotométricas cumplen con las necesidades visuales de las vías del campus; permite la instalación de las luminarias a grandes distancias lo que representa menor número de fuentes de luz; todo lo contrario, sucede con la LED tipo cobra pues sus características fotométricas requieren de un gran número de luminarias para ajustarse al requerimiento de la vía, además según el análisis realizado al ser 115 las luminarias requeridas se deberían colocar más postes para su instalación lo que encarecería aún más su inversión; por tal motivo la UTM debería descartar esta alternativa en los proyectos de tesis comunitarias. En el aspecto económico como se presentó en la Tabla 21 la mejor alternativa fue la LED Shark pues para el periodo de análisis de 10 años presenta costo por adquisición, energía y mantenimiento más baratos que las demás tecnologías, reflejando con esto un gran ahorro económico.

Esta nueva propuesta de iluminación no presenta solamente una gran ventaja económica sino también ambiental pues se desarrolla bajo una filosofía amigable con el medio, su composición es de materiales reciclables (aluminio, acero y vidrio), no presenta contaminación lumínica gracias a sus características fotométricas; y además proporciona un ahorro de emisiones de CO₂ por concepto de energía y mantenimiento; esta luminaria es una solución perfecta entre economía y compromiso ambiental.

6 Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones del trabajo de investigación, donde se explicará de forma breve el análisis realizado y los resultados obtenidos que ayudarán a brindar soluciones al sistema energético de la Universidad Técnica de Manabí. Además, se detallan las recomendaciones que surgen de esta investigación.

6.1 Conclusiones

El proyecto se lo realizó con la con la ayuda de varios softwares, que permitieron evaluar la viabilidad técnica y económica del dimensionamiento de la UPAC y diseño del nuevo sistema de iluminación. El Homer, una valiosa herramienta de optimización permitió analizar los requerimientos de consumo de la UTM y las características de los recursos existentes en la zona, para evaluar la capacidad de los recursos de ser aprovechados para la producción de energía, determinando la potencia de los equipos y su viabilidad económica. Se determinó que el recurso eólico existente en la zona es insuficiente para generar EE, por ello el sistema dimensionado consistió en una UPAC constituida por paneles fotovoltaicos de 700 kWp de potencia, un inversor de 700 kW y ligación a la red eléctrica pública que aporta 1.300 kW, para una carga energética anual de 2.752 MWh; esta configuración es una propuesta futura ya que considera ciertas alternativas que hacen que el proyecto sea rentable, la primera es justificar la inversión incrementando el precio de la EE para sus dos horarios de acuerdo a la tarifa horaria a la que está sujeta la UTM debido a que el precio de la energía en el país es muy barato, donde se tiene que para el Horario 1 el costo se incrementa de 0,095\$/kWh a 0,185\$/kWh, y para el Horario 2 un incremento de 0,077\$/kWh a 0,165\$/kWh, además de considerar el costo de 0,05\$/kWh por venta de energía.

La segunda alternativa fue evaluar la rentabilidad del proyecto disminuyendo el costo de los equipos a instalar, debido a que en el país el costo de la tecnología FV es aún muy caro, así que para el análisis se ingresaron los costos del mercado internacional, en este caso el europeo, ya que se espera conforme progrese el avance tecnológico el costo de los equipos disminuya haciendo que cada vez la inversión requerida para los sistemas de FER sea más económica. Con estas alternativas se obtuvieron resultados favorables

para el proyecto que permitieron avanzar con el dimensionamiento, de tal forma que se continuó con la evaluación de los resultados energéticos.

Este sistema aportará un 30% del total de energía producida, permitiendo que aproximadamente el 20,34% de su carga energética sea auto-suministrada y el restante 79,66% será aportado por la red. No toda la energía producida por el sistema fotovoltaico será aprovechada, y parte de esta será inyectada a la red. El excedente de energía producida ocurre porque la cantidad de electricidad que se genera por estos sistemas no concuerda exactamente con el consumo eléctrico real; en el caso de la UTM, esta situación ocurre por la producción generada los fines de semana.

Los sistemas UPAC en Portugal según su Artículo 23 del Decreto-Ley n.º 153/2014 tienen como principal objetivo la generación para autoconsumo, pues el precio de venta comparado con el costo de compra de EE es muy reducido, por lo que no resulta un objetivo rentable; en base a este decreto y considerando que en nuestro país no existe remuneración por la venta de energía proveniente de estos sistemas fue fundamental realizar un dimensionamiento correcto, es decir ajustando la producción de energía con el consumo requerido con el fin de tener un valor mínimo de energía excedente, para no incurrir en elevados costos de inversión por un sobredimensionamiento que no produciría ganancias significativas.

Una posible solución para estas fluctuaciones de energía, que se inyectan en la red, podría ser la instalación de un sistema de almacenamiento de energía, sin embargo, por motivos económicos resulta ser una medida poco viable económicamente, ya que las baterías mantienen en el mercado costos elevados y en el caso de la UTM el excedente es mínimo y no justifica este tipo de inversión. Sin embargo, es muy importante tener en consideración que si se llegara a implementar este sistema de generación en la actualidad cuando aún no existe un marco regulatorio que ampare y regularice estos proyectos es necesario implementar el sistema de almacenamiento para no incurrir en inyectar el excedente a la red pública principalmente por tema de seguridad eléctrica.

Los resultados obtenidos en el Homer fueron aplicados en el software Sunny Design Web. Utilizando una potencia de conexión a red de 700 kWp, valor resultante de la simulación del Homer, se determinó la conexión de 2.917 paneles fotovoltaicos, 225

inversores y un sistema de monitorización, ya que en la actualidad no solo basta con tener un sistema de generación de energía con equipos de medición instalado que permiten conocer el consumo y la producción, sino también es muy importante el monitoreo, porque los usuarios finales que no conocen el funcionamiento de la tecnología fotovoltaica tienen el derecho de saber si su sistema funciona óptimamente, lo que es posible mediante la información otorgada por los equipos de monitorización, que presentan datos en tiempo real de los parámetros eléctricos del sistema, así como también un seguimiento de estado (alarmas) e informes de periodos de funcionamiento.

Finalmente se realizó la caracterización del sistema de iluminación pública de la UTM para el análisis de las oportunidades de racionalización del consumo de energía, encontrando como medidas el realizar un diseño óptimo que cumpla con los requerimientos propuestos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN en similitud con Arconel que es la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, además de la sustitución de las luminarias de alta intensidad de descarga (HID) por luminarias nuevas de tecnología LED, que garanticen no solo el ahorro económico sino también ambiental pues se desarrolla bajo una filosofía amigable con el medio al no presentar contaminación lumínica y además proporciona un ahorro de emisiones de CO₂ por concepto de energía y mantenimiento.

En la Tabla 23 se presentan las propuestas desarrolladas en este trabajo de investigación para un periodo de 20 años, se estima que la UTM pueda mejorar su eficiencia energética logrando obtener los siguientes resultados:

Tabla 23-Resultado final Ahorro Energético y Económico (Elaboración propia)

Propuestas	Ahorro MWh	Ahorro tep	Ahorro tCO ₂ e	Ahorro USD	Años
<i>Dimensionamiento Caso 1</i>	22.420	4.820,30	15.871,12	\$3.009.094	8
<i>Dimensionamiento Caso 2</i>	22.420	4.820,30	15.871,12	\$1.307.417	10
<i>Sistema de Iluminación</i>	424	91,23	300,39	\$68.101,87	6,81

Teniendo en cuenta que en el periodo de un año la UTM consumió un total de 2.752 MWh de EE, de los cuales 60,6 MWh son del sistema de iluminación pública, se estima que con el dimensionamiento del sistema de energía propuesto se consuma apenas

1.631 MWh de la red y que los 1.121 MWh sea lo que se ahorre gracias al sistema de Autoconsumo; con esto se tendría que para un horizonte de 20 años se estaría ahorrando 22.420 MWh equivalentes a 4.820,30 toneladas equivalentes de petróleo que en términos de emisiones de CO₂ equivale a 15.871,12 tCO₂. Para el sistema de iluminación pública se estima que se pueda obtener un ahorro de 21,2 MWh considerando implementar las propuestas del diseño de remodelación que plantea se instalen 60 luminarias LED de 150 W de potencia para un horario de funcionamiento de 12 horas; con todo esto para 20 años se obtendría un ahorrando de 424 MWh por iluminación, equivalente a 91,23 tep y 300 tCO₂, que se evitarían emitir a la atmosfera.

Es muy importante mencionar que todos estos valores de ahorro energético fueron obtenidos del análisis de Autoconsumo del Sunny tanto para el *Caso 1* como para el *Caso 2*, y que a partir de estos se calculó de acuerdo a la equivalencia de 2,15E-4 tep/kWh la conversión de EE en términos de toneladas equivalentes de petróleo y 0,7079 tCO₂/MWh como factor de emisión de CO₂ del SNI del Ecuador [44].

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis del ahorro económico del dimensionamiento de la UPAC se concluye que el *Caso 1* es la mejor opción presentado un ahorro de 3.009.094,00 USD con un PRI de 8 años, sin embargo, no se descarta el *Caso 2* y se presenta como opción rentable pensando en que tenga más probabilidad de ser, de acuerdo con las consideraciones establecidas en su análisis de sensibilidad explicadas en el capítulo 4. Para el sistema de iluminación se concluye según el cálculo realizado y presentado en el subcapítulo 5.3, que con la propuesta realizada la UTM obtendría un ahorro económico de 68.101,87 USD en el periodo de 20 años.

6.2 Recomendaciones

Con visión futura de desarrollo y mejoría de este trabajo se sugiere a la Universidad Técnica de Manabí la aplicación y estudio de otras medidas de eficiencia energética que permitan aún más la contribución al uso racional de la energía. Al mismo tiempo se recomienda realizar una evaluación en su sistema eléctrico de distribución e iluminación pública, y realizar ciertos ajustes para que cumplan con las normas que establece el Ministerio de electricidad y Energías Renovables, el Instituto Ecuatoriano de

Normalización INEN y la Arconel, pues ciertas estructuras y postes no se encuentran en buen estado, además no existe registro completo de los elementos que conforman el sistema eléctrico de potencia y por tanto se dificulta realizar ciertos estudios.

La sugerencia de redistribución de las redes eléctricas parte de la necesidad de contar con un nuevo sistema eléctrico que preste las condiciones para implementar las propuestas realizadas en este trabajo y otros trabajos de investigación que tienen como objetivo presentar los estudios que justifiquen y garanticen la integración de nuevos mecanismos tecnológicos que ayuden no solo a racionalizar el consumo de energía sino también a la monitorización de las redes de distribución para conseguir verdaderamente una eficiencia energética.

7 Bibliografía

- [1] D. y. O. C. Medyeczky O, Cuenca, 2012.
- [2] M. D. Cedeño, «Marco Regulatorio de las Energías Renovables en el Ecuador,» Portoviejo, 2016.
- [3] BP Statistical Review of World Energy 2017, «BP Statistical Review of World Energy June 2017,» 2017.
- [4] Agencia de Regulacion y Control de Electricidad, «Estadística Anual y Multianual del Sector Eñéctrico Ecuatoriano,» 2016.
- [5] GOBIERNO DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, «MINISTERIO DE ELECRCIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE,» [En línea]. Available: <https://www.energia.gob.ec/biblioteca/>. [Último acceso: 16 Enero 2018].
- [6] Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, «Biomasa y Alumbrado Público».
- [7] Revista eólica y del vehiculo eléctrico, «Proyectos de energía solar fotovoltaica,» 2013.
- [8] NASA, «Atmospheric Science Data Center,» 22 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=&step=1&lat=-1.0441&lon=-80.458&submit=Submit>.
- [9] Asamblea Nacional, «Ley Orgánica del Servicio Público del Ecuador,» Quito, 2010.
- [10] M. M. P. P. A. P. D. y. V. & I. C. Jorge Gonzalez, «Nuevas Tecnologías basadas en Energías Renovables Barreras a su insercion y políticas de promocion. Situación Eólica en algunos países de Lationamerica,» Guatemala, 2008.
- [11] M. P. P. a. V. D. Y. & C. I. González J, «Nuevas Tecnologías basadas en Energías Renovables Barreras a su insercion y políticas de promocion. Situación Eólica en algunos países de Lationamerica,» Guatemala, 2008.
- [12] J. Goldemberg, «Energias Renováveis: Um futuro sustentável,» São Paulo, 2007.
- [13] Renewable Energy Policy Network, «Renewable Energy Report,» 2016.
- [14] B. S. d. S. Lopes, «A Evolução da Eletrificação Rural na África Subsariana: Das Mini-Redes às Mini-Redes Inteligentes,» Leiria, 2017.
- [15] I. G. y. C. P. Andrade C, «Dimensionamiento de una Unidad de Producción para Autoconsumo (UPAC) ligada a la red – Fábrica de Moldes,» Leiria, 2017.
- [16] J. C. F. Francisco, «Eficiência Energética na Rede de Iluminação Pública,» Leiria, 2015.
- [17] Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, «REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”,» 2011.
- [18] D. T. Treballe, «La Generación Distribuida en España,» Madrid.
- [19] S. G. Oscar, «Impacto de la generación distribuida en la confiabilidad de redes de distribución,» México, 2016.
- [20] R. M. G. Castro, «Energias Renováveis e Produção Descentralizada INTRODUÇÃO À ENERGIA MINI-HÍDRICA,» Lisboa, 2008.

- [21] P. P. Marques, «Energía Hidroeléctrica,» Leiria, 2016.
- [22] P. Márquez, «Energía Eólica,» Leiria-Portugal, 2016.
- [23] J. C. D. Castillo, «ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA CASA CULTURAL Y BAÑOS PUBLICOS DE LA PLAZA PRINCIPAL SIMÓN BOLÍVAR DE ANAPOIMA, CUNDINAMARCA,» Bogota-Colombia, 2017.
- [24] G. & S. S. Intriago, «Implementación de tecnología fotovoltaica conectada a la red para suministrar energía eléctrica al segundo y tercer piso del edificio N 3 de docentes de tiempo completo de la Universidad Técnica de Manabí, el ahorro y eficiencia energética,» Portoviejo, 2016.
- [25] T. S. d. A. P. Ribeiro, «Luminotecnia-Métodos de avaliação,» Porto, 2010.
- [26] Linicio, «UTILIZAÇÃO RACIONAL DE ENERGIA –Sistemas de Iluminação,» Leiria-Portugal, 2016.
- [27] L. M. L. L. y F. R. O. LOJANO, «MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DEL ALUMBRADO PÚBLICO DE UNA ARTERIA DE CIRCULACIÓN VEHICULAR DE LA CIUDAD DE CUENCA MEDIANTE LA SUSTITUCIÓN POR TECNOLOGIA LED,» Cuenca, 2014.
- [28] ORBIS Energía inteligente, «Catálogo general,» Productores en la Union Europea, 2018.
- [29] Proviento S.A.C, «Paneles solares,» [En línea]. Available: <https://www.proviento.com.pe/panelesolares.html>. [Último acceso: 26 Junio 2018].
- [30] Agencia de Regulacion y Control de Electricidad, «PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN,» Ecuador, Enero-Diciembre 2018.
- [31] Proviento S.A.C, «Inversores,» [En línea]. Available: <http://www.proviento.com.pe/inversores.html>. [Último acceso: 24 Junio 2018].
- [32] Wind Energy Solutions, «WES 5 TULIPO,» [En línea]. Available: <http://www.renugen.co.uk/kingspan-renewables-kw3-2-5kw-wind-turbine/>. [Último acceso: 02 Julio 2018].
- [33] Autosolar, «Panel Solar 275W Amerisolar Policristalino,» [En línea]. Available: <https://autosolar.es/paneles-de-conexion-a-red/panel-solar-275w-amerisolar-policristalino>. [Último acceso: 10 julio 2018].
- [34] Auto Solar, «Inversor Red SMA Sunny Boy 2.5kW VL-40,» [En línea]. Available: <https://autosolar.es/inversores-de-red-monofasicos/inversor-red-sma-sunny-boy-25kw-vl-40>. [Último acceso: 10 julio 2018].
- [35] TIGO, «TS4 CAJA DE CONEXIÓN MODULAR,» [En línea]. Available: <https://www.tigoenergy.com/es/library/view/TS4-B+%28caja+de+conexion+modular%29.pdf/>. [Último acceso: 02 julio 2018].
- [36] Tigo, «CLOUD CONNECT ADVANCED,» [En línea]. Available: <https://www.tigoenergy.com/library/view/Cloud+Connect+Advanced+%28CCA%29+Datasheet.pdf/>. [Último acceso: 02 Julio 2018].
- [37] Tigo, «WIRELESS GATEWAY (GTWY),» [En línea]. Available: <https://www.tigoenergy.com/library/view/Gateway+Datasheet.pdf/>. [Último acceso: 02 julio 2018].

- [38] SYLVANIA, «SYLVANIA,» Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://www.sylvania-lighting.com/product/es-es/products/0020713>.
- [39] ALIBABA.COM, «Mi Alibaba,» [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/84w-outdoor-solar-led-street-light-lighting-529303284.html>. [Último acceso: 16 Mayo 2018].
- [40] Philips, Mayo 2018. [En línea]. Available: https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp910503773118-pss-es_es.
- [41] SYLVANIA, «SYLVANIA,» Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://www.sylvania.com.ec/producto/led-street-light-zd616/>.
- [42] SYLVANIA, «SYLVANIA,» [En línea]. Available: <http://www.sylvania.com.ec/wp-content/uploads/2015/05/Cat%C3%A1logo-Shark-Led.pdf>. [Último acceso: Mayo 2018].
- [43] Philips, [En línea]. Available: http://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/high-intensity-discharge-lamps/son-high-pressure-sodium/master-son-t-pia-plus/928144709292_EU/product. [Último acceso: Mayo 2018].
- [44] Ministerio del Ambiente, «Factor de Emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador,» Quito-Ecuador, 2013.
- [45] V. A. & I. G. Saltos W, «Evaluación previa para introducir una microrred fotovoltaica en el ambiente urbano,» Portoviejo, 2017.
- [46] V. P. Antonio, «Las Energías Renovables desde una visión normativa jurídica,» 2012.
- [47] «EVALUACIÓN PREVIA PARA INTRODUCIR UNA MICRORRED FOTOVOLTAICA EN EL AMBIENTE URBANO,» Portoviejo, 2017.
- [48] Agencia de regulación y Control de Electricidad, «Ecuador y las Energías Renovables,» 2016.
- [49] I. H. A. J. RAFAEL, «“Análisis de costo y ahorro energético con la implementación de luminarias tipo LED para alumbrado público en el tramo comprendido entre la urbanización la Puntilla hasta la urbanización Villa Italia,» GUAYAQUIL, 2015.
- [50] Philips, «Tabela de Iluminação Profissional,» Philips, Portugal, 2014.
- [51] Sylvania, «Lista de precios,» Ecuador, 2016.
- [52] SYLVANIA, «SYLVANIA,» Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://www.sylvania.com.ec/wp-content/uploads/2015/05/COBRA-HEAD-2250-min.pdf>.
- [53] ALIBABA.COM, «Mi Alibaba,» Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/cheap-led-streetlights-wholesale-126w-meanwell-driver-aluminum-housing-lamp-with-ce-rohs-approved-60366526292.html?s=p>.
- [54] Tigo, «TS4-R,» [En línea]. Available: <https://www.tigoenergy.com/library/view/TS4-R+%28Retrofit%2FAdd-on+Jbox%29+Brochure.pdf/>. [Último acceso: 02 julio 2018].
- [55] Ministerio de la Economía y de la Innovación, «Decreto-Lei n.º 71/20088,» Diario da República, Portugal, 2008.

8 ANEXO

Anexo A: Estudio bibliográfico-Estado del Arte

Referencia	Tema	Metodología	Aporte	Comentario Crítico
[2]	Marco Regulatorio de las Energías Renovables en el Ecuador. Caso de estudio provincia de Manabí	En el artículo se expone la naturaleza de Derecho y política social justificando la elaboración y adopción de un Marco Regulatorio que favorezca las FER.	Propuesta de mecanismos y medidas de apoyo encaminadas al incremento gradual de las fuentes renovables de energía en el país.	Este trabajo presenta información valiosa, necesaria para promover nuevas políticas energéticas que amparen las FER en el país.
[12]	Energías renováveis: um futuro sustentável	Este trabajo presenta el consumo de energía desde civilizaciones antiguas, la matriz energética actual y los desafíos de la actualidad de cambiar esta realidad.	Presenta los impactos ambientales globales, locales y regionales, estimativas de emisión de carbono producto de los combustibles fósiles. Además, exhibe el escenario crítico que se vive y de cómo se puede cambiar esta realidad.	Con este artículo se logra entender que las energías renovables son la única solución para los problemas ambientales presentes en el mundo a causa del uso de fuentes de energía no renovables.
[13]	Renewable Energy Report	Este informe presenta datos estadísticos a nivel mundial del consumo, producción de energía y la para proyectos de FER.	Otorga una visión mundial de la situación energética.	Tiene información relevante para el análisis energético a nivel mundial. Sus datos permiten plantear propuestas y ampliar el campo de estudio.
[14]	A Evolução da Eletrificação Rural na África Subariana: Das Mini-Redes às Mini-Redes Inteligentes	Este trabajo estudia proyectos pilotos de mini-redes desarrollados en África Subariana para la electrificación de la zona rural.	La información valiosa de datos fundamentales que permitan el crecimiento y mejoramiento de futuras mini-redes	Es buen aporte para la sociedad por presentar soluciones de electrificación a la población marginal y por compartir el estudio científico para el desarrollo de futuros proyectos de generación distribuida.

[15]	Dimensionamiento de una Unidad de Producción para Autoconsumo (UPAC) ligada a la red – Fábrica de Moldes	En este trabajo se presentó el dimensionamiento de una Unidad de Producción de Autoconsumo, basado en los decretos del país (Portugal), utilizando herramientas informáticas.	El manejo de varias herramientas tecnológicas útiles para el desarrollo del dimensionamiento de una UPAC. El análisis de las políticas empleadas en el país para la comercialización de la energía generada.	Este trabajo presenta una visión distinta en la temática de dimensionamiento, pues cuando existen políticas que lo orientan es más factible que empresas realicen inversiones en proyectos como este.
[45]	EVALUACIÓN PREVIA PARA INTRODUCIR UNA MICRORRED FOTOVOLTAICA EN EL AMBIENTE URBANO	Este trabajo presenta el análisis, construcción y desarrollo de una microrred con energía solar fotovoltaica en forma de generación distribuida.	Con este trabajo se pudo comprobar que la introducción de las micro-redes se puede beneficiar técnicamente el perfil eléctrico de un sistema de distribución.	Este trabajo tiene un enfoque bastante significativo, pues presenta la inserción de una micro-red fotovoltaica, como solución económica, técnica y ambiental.
[16]	Eficiência Energética na Rede de Iluminação Pública	En este trabajo se estudian medidas que contribuyan a la racionalización y eficiencia de los consumos en los sistemas de iluminación pública, normas y reglamentos de iluminación.	El analisis desarrollado para conseguir la eficiencia energetica, mediante propuestas de alteracion tarifaria, optimizacion de tecnologia y otras.	Los programas de promocion de eficiencia energetica son bastante ineresante para su aplicación en el sistema de iluminacion pública para distintos proyectos.
[17]	Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 069 “Alumbrado Público”	En este documento se exponen las normativas propuestas por el INEN, las mismas que se deben tener en cuenta al momento de diseñar un sistema de alumbrado público.	A la construccion de sistemas de alumbrado público eficientes y confiables.	Es un documento muy bien detallado, con informacion tecnica valiosa y aplicable para diseños de sistemas de iluminacion.

Anexo B: Resultados Sunny Design Web Caso Inicial, Caso1 y Caso 2

Caso Inicial

Proyecto: UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABI 600 **Emplazamiento:** Ecuador / Portoviejo

Número del proyecto: Proyecto 1

Tensión de red: 13,0 kV

Vista general del sistema			
417 x .SMA SMA Demo Poly 240 (Generador FV)			
Acimut: Orientación automática, Inclinación: 10 °, Tipo de montaje: Montaje libre, Potencia pico: 100,08 kWp 417 x TS4-R-M			
 34 x SB 2.5-1VL-40	 1 x SB 2.5-1VL-40		
Monitorización de la planta			
 Sunny Portal	 2 x Cloud Connect Advanced		
 4 x Pasarela (GTWY)			
Datos de diseño fotovoltaicos			
Cantidad total de módulos:	417	Coefficiente de rendimiento*:	86,1 %
Potencia pico:	100,08 kWp	Rendimiento energético específico*:	1631 kWh/kWp
Número de inversores fotovoltaicos:	35	Pérdidas de línea (% de la energía):	1,22 %
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos:	87,50 kW	Carga desequilibrada:	87,50 kVA
Potencia activa de CA:	87,16 kW	Consumo de energía anual:	2.740 MWh
Relación de la potencia activa:	87,1 %	Autoconsumo:	163,21 MWh
Rendimiento energético anual*:	163,22 MWh	Cuota de autoconsumo:	100 %
Factor de aprovecham. de energía:	99,4 %	Cuota autárquica:	6 %

Diseño de la gestión de la energía

Nombre del proyecto: UNIVERSIDAD TECNICA DE **Emplazamiento:** Ecuador / Portoviejo

Número del proyecto: Proyecto 1

Planta FV	Monitorización de la planta	
Subproyecto 1	Interno de la planta	Externo
 34 x SB 2.5-1VL-40 Parte de la planta 1	 2 x Cloud Connect Advanced Cloud Connect Advanced registra los datos de cada módulo y los carga en Sunny Portal.	 Sunny Portal Portal de internet para monitorizar plantas, así como visualizar y presentar datos de la planta
 1 x SB 2.5-1VL-40 Parte de la planta 2	 4 x Pasarela (GTWY) Permite la comunicación inalámbrica con hasta 120 módulos inteligentes	
 417 x TS4-R-M Monitoriza la potencia, la tensión y la corriente de los módulos fotovoltaicos y transmite los datos al Sunny Portal		

Autoconsumo (corriente)

Proyecto: UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABI 600
Número del proyecto: Proyecto 1

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

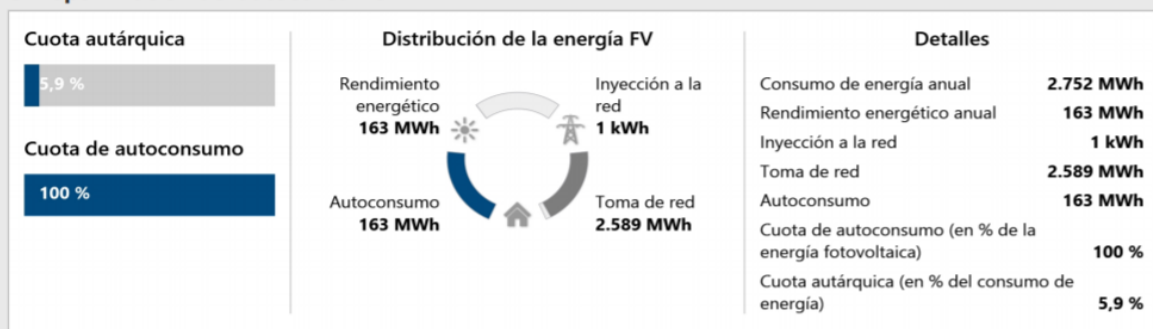
Indicaciones de autoconsumo

Perfil de carga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Portoviejo

Consumo de energía anual: 2752 MWh

Resultado

Sin optimización del autoconsumo



Análisis de la rentabilidad

Proyecto: UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABI 600
Número del proyecto: Proyecto 1

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

Estructura de costes

Costes del sistema FV

Los costes totales de los módulos fotovoltaicos ascienden a **116.760,00 USD**

La degradación media de la potencia de los módulos fotovoltaicos es del **0,50 %**

Los costes totales de los inversores y la monitorización de la planta ascienden a **54.390,00 USD**

Los costes de planificación e instalación ascienden a **23.038,00 USD**

Los costes fijos anuales ascienden a **2.912,82 USD**

La inversión total asciende a **194.188,00 USD**

El CAPEX específico de la planta fotovoltaica lista para funcionar (CAPEX/kWp) asciende a **1.940,33 USD/kWp**

Financiación

La moneda es **USD**

La cuota de capital propio es del **100 %**

La cuota de capital ajeno es del **0 %**

La subvención asciende a **0,00 USD**

La tasa de inflación es del **3,00 %**

El periodo de análisis de la rentabilidad es de **20 año(s)**

Costes de consumo eléctrico y remuneración

El precio del consumo eléctrico asciende a **0,09500 USD/kWh**

Se tienen en cuenta las tarifas especiales

La inflación eléctrica anual es del **3,0 %**

La remuneración asciende a **0,00000 USD/kWh**

La remuneración tiene una duración de **20 año(s)**

La deducción o remuneración durante la autoalimentación es de **0,00000 USD/kWh**

El beneficio eléctrico una vez transcurrido el periodo de remuneración asciende a **0,00000 USD/kWh**

Análisis de la rentabilidad

Proyecto: UNIVERSIDAD TECNICA DE MANABI 600
 Número del proyecto: Proyecto 1

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

Detalles	
Costes de consumo eléctrico ahorrados en el primer año (aprox.)	12.757 USD
Ahorro total al cabo de 20 año(s) (aprox.)	56.791 USD
Costes de consumo eléctrico ahorrados al cabo de 20 año(s) (aprox.)	329.248 USD
Beneficio total de la inyección a red al cabo de 20 año(s) (aprox.)	0 USD
Tiempo de amortización estimado en años (aprox.)	17
Costes de producción de electricidad a lo largo de 20 año(s) (aprox.)	0,088 USD/kWh
Rentabilidad anual (aprox.)	1,04 %
La inversión total asciende a	194.188,00 USD
El CAPEX específico de la planta fotovoltaica lista para funcionar (CAPEX/kWp) asciende a	1.940,33 USD/kWp

Comparación costes de energía anuales

Hoy sin planta FV

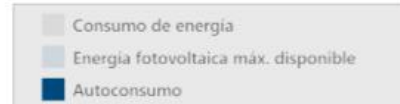
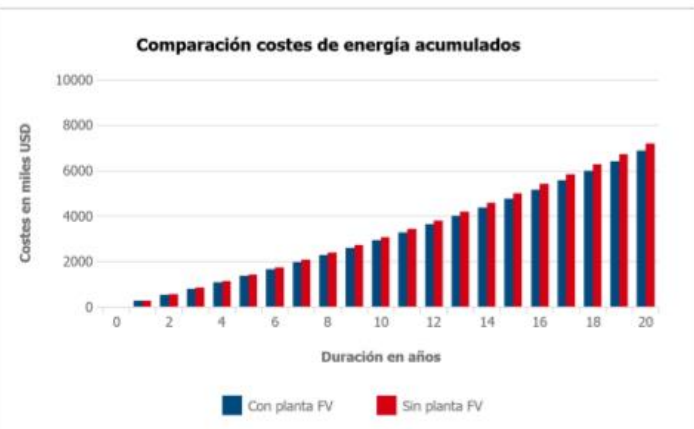
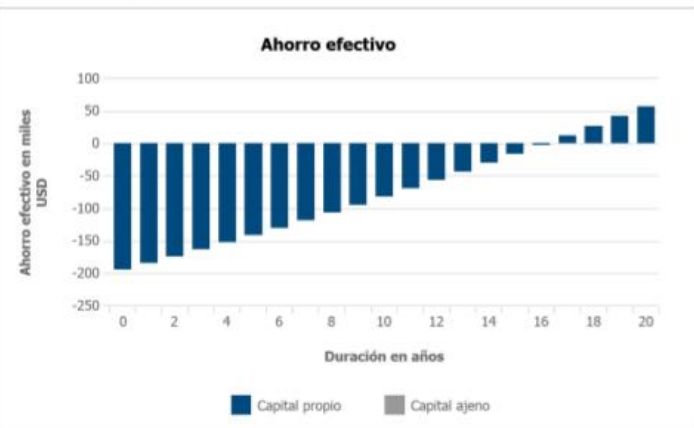
258.708 USD

Dentro de 20 año(s) sin planta FV

467.255 USD

Hoy con planta FV

253.409 USD



Caso 1/Caso 2

Proyecto: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ 700 kWp **Emplazamiento:** Ecuador / Portoviejo

Número del proyecto: Proyecto 1

Tensión de red: 13,0 kV

Vista general del sistema


2917 x .SMA SMA Demo Poly 240 (Generador FV)

Acimut: Orientación automática, Inclinación: 10 °, Tipo de montaje: Montaje libre, Potencia pico: 700,08 kWp
2917 x TS4-R-M

 223 x SB 2.5-1VL-40

 2 x SB 2.5-1VL-40

Monitorización de la planta

 Sunny Portal

 25 x Pasarela (GTWY)

 9 x Cloud Connect Advanced

Datos de diseño fotovoltaicos

Cantidad total de módulos:	2917	Coefficiente de rendimiento*:	85,6 %
Potencia pico:	700,08 kWp	Rendimiento energético específico*:	1611 kWh/kWp
Número de inversores fotovoltaicos:	225	Pérdidas de línea (% de la energía):	1,10 %
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos:	562,50 kW	Carga desequilibrada:	562,50 kVA
Potencia activa de CA:	561,82 kW	Consumo de energía anual:	2.753 MWh
Relación de la potencia activa:	80,3 %	Autoconsumo:	1.121,41 MWh
Rendimiento energético anual*:	1.128,01 MWh	Cuota de autoconsumo:	99,4 %
Factor de aprovecham. de energía:	98 %	Cuota autárquica:	40,7 %

Diseño de la gestión de la energía

Nombre del proyecto: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

Número del proyecto: Proyecto 1

Planta FV	Monitorización de la planta	
Subproyecto 1  223 x SB 2.5-1VL-40 Parte de la planta 1  2 x SB 2.5-1VL-40 Parte de la planta 2  2917 x TS4-R-M Monitoriza la potencia, la tensión y la corriente de los módulos fotovoltaicos y transmite los datos al Sunny Portal	Interno de la planta  9 x Cloud Connect Advanced Cloud Connect Advanced registra los datos de cada módulo y los carga en Sunny Portal.  25 x Pasarela (GTWY) Permite la comunicación inalámbrica con hasta 120 módulos inteligentes	Externo  Sunny Portal Portal de internet para monitorizar plantas, así como visualizar y presentar datos de la planta

Diseños de los inversores

Proyecto: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ 700 kWp
Número del proyecto: Proyecto 1

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo
Temperatura ambiente:
Temperatura mínima: 24 °C
Temperatura de diseño: 25 °C
Temperatura máxima: 30 °C

Subproyecto Subproyecto 1

223 x SB 2.5-1VL-40 (Parte de la planta 1)

Potencia pico:	695,76 kWp
Cantidad total de módulos:	2899
Número de inversores fotovoltaicos:	223
Potencia de CC (cos $\varphi = 1$) máx.:	2,65 kW
Potencia activa máx. de CA (cos $\varphi = 1$):	2,50 kW
Tensión de red:	13,0 kV
Ratio de potencia nominal:	85 %
Factor de dimensionamiento:	124,8 %
Factor de desfase cos φ :	1



SB 2.5-1VL-40

Datos de diseño fotovoltaicos

Entrada A: Generador FV

13 x .SMA SMA Demo Poly 240, Acimut: Orientación automática, Inclinação: 10 °, Tipo de montaje: Montaje libre

	Entrada A:		
Número de strings:	1		
Módulos fotovoltaicos:	13		
Potencia pico (de entrada):	3,12 kWp		
Tensión FV normal:	✓ 361 V		
Tensión mín.:	348 V		
Tensión de CC mín. (Tensión de red 13,0 kV):	50 V		
Máx. tensión:	✓ 482 V		
Tensión de CC: máx.	600 V		
Corriente máx. del generador:	✓ 8,1 A		
Corriente de entrada máx. por entrada de regulación	10 A		
Corriente de cortocircuito máx. por entrada de	18 A		
Corriente máx. de cortocircuito (planta fotovoltaica):	✓ 8,5 A		

Dimensionado del cableado

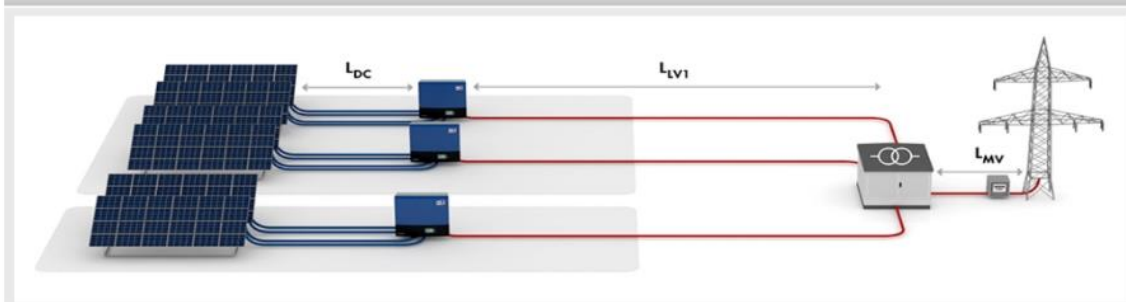
Nombre del proyecto: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
Número del proyecto: Proyecto 1





Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

Vista general

	✓ CC	✓ BT	✓ MT	✓ Total
Pérdida de potencia en funcionamiento nominal	1,95 kW	2,50 kW	30,74 mW	4,45 kW
Pérdida relativa de potencia en funcionamiento nominal	0,33 %	0,44 %	0,00 %	0,77 %
Longitud total del cable	9000,00 m	9000,00 m	100,00 m	18100,00 m
Secciones de cable	4 mm ²	16 mm ²	10 mm ²	4 mm ² 16 mm ² 10 mm ²

Gráfico



Cables de CC							
		Material de los cables	Longitud simple	Sección	Caída de tensión	Pérdida relativa de potencia	
Subproyecto 1							
	223 x SB 2.5-1VL-40 Parte de la planta 1	A	Cobre	20,00 m	4 mm ²	1,2 V	0,33 %
	2 x SB 2.5-1VL-40 Parte de la planta 2	A	Cobre	20,00 m	4 mm ²	1,6 V	0,63 %
Cables LV1							
		Material de los cables	Longitud simple	Sección	Resistencia de línea	Pérdida relativa de potencia	
Subproyecto 1							
	223 x SB 2.5-1VL-40 Parte de la planta 1		Cobre	40,00 m	16 mm ²	R: 86,000 mΩ XL: 6,000 mΩ	0,44 %
	2 x SB 2.5-1VL-40 Parte de la planta 2		Cobre	40,00 m	16 mm ²	R: 86,000 mΩ XL: 6,000 mΩ	0,42 %
Transformador MV							
Potencia aparente nominal (SN)	Tensión de cortocircuito (uk)	Pérdida por cortocircuito con potencia nominal (Pk)			Resistencia de línea		
1600,00 kVA	6,00 %	14250,0 W			R: 0,3 mΩ XL: 1,8 mΩ R/X: 0,150		
Cable MV							
Material de los cables	Longitud simple	Sección	Resistencia de línea			Pérdida relativa de potencia	
Cobre	100,00 m	10 mm ²	R: 0,049 mΩ XL: 0,002 mΩ XC: 25,322 Ω			0,00 %	

Autoconsumo (corriente)

Proyecto: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ 700 kWp
Número del proyecto: Proyecto 1

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

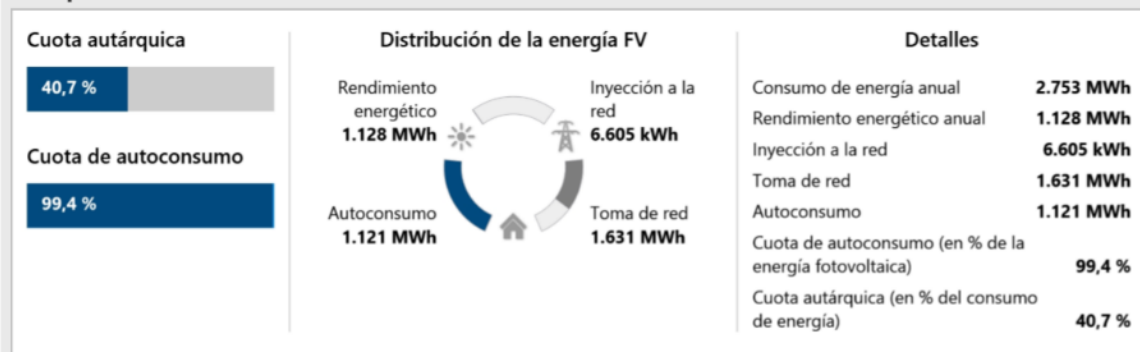
Indicaciones de autoconsumo

Perfil de carga: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Portoviejo

Consumo de energía anual: 2753 MWh

Resultado

Sin optimización del autoconsumo

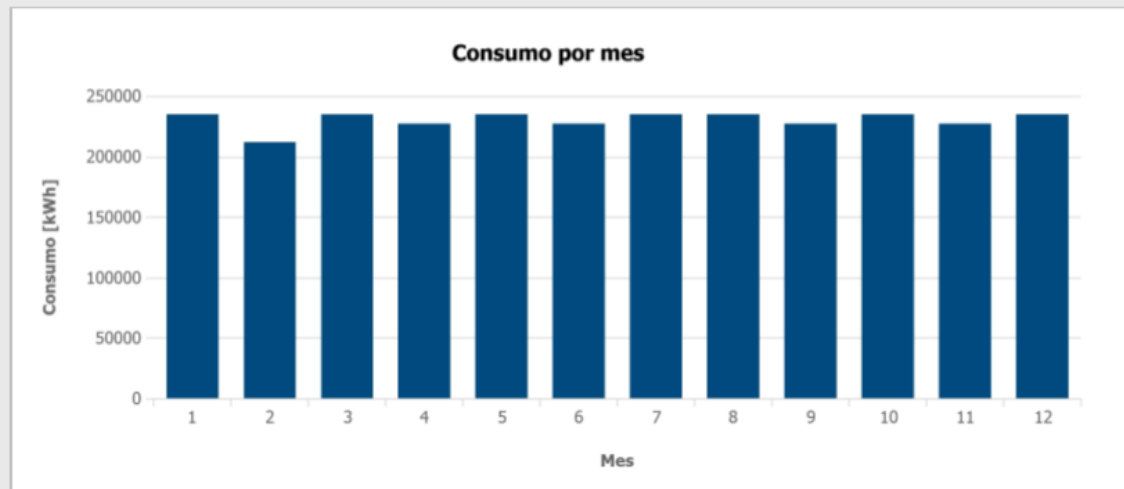


Valores mensuales

Nombre del proyecto: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
Número del proyecto: Proyecto 1

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

Diagrama



Tabla

Mes	Rendimiento energético [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Inyección a la red [kWh]	Toma de red [kWh]
1	87607 (7,8 %)	87331	276	146449
2	93447 (8,3 %)	93061	386	118095
3	112522 (10,0 %)	111829	693	121951
4	102611 (9,1 %)	101989	622	124250
5	97229 (8,6 %)	96783	446	136997
6	85562 (7,5 %)	85358	204	140881
7	84628 (7,5 %)	84365	263	149416
8	86423 (7,6 %)	86146	277	147634
9	102422 (9,1 %)	101603	819	124636
10	95853 (8,5 %)	94459	1395	139321
11	85190 (7,5 %)	84568	623	141671
12	94517 (8,4 %)	93914	603	139866

Caso 1

Análisis de la rentabilidad

Proyecto: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ 700 kWp

Número del proyecto: Proyecto 1

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

Detalles	
Costes de consumo eléctrico ahorrados en el primer año (aprox.)	195.503 USD
Ahorro total al cabo de 20 año(s) (aprox.)	3.009.094 USD
Costes de consumo eléctrico ahorrados al cabo de 20 año(s) (aprox.)	4.913.665 USD
Beneficio total de la inyección a red al cabo de 20 año(s) (aprox.)	5.553 USD
Tiempo de amortización estimado en años (aprox.)	8
Costes de producción de electricidad a lo largo de 20 año(s) (aprox.)	0,092 USD/kWh
Rentabilidad anual (aprox.)	7,88 %
La inversión total asciende a	1.359.312,50 USD
El CAPEX específico de la planta fotovoltaica lista para funcionar (CAPEX/kWp) asciende a	1.941,65 USD/kWp

Comparación costes de energía anual

Hoy sin planta FV

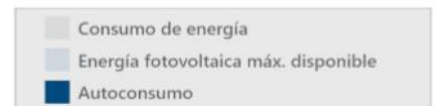
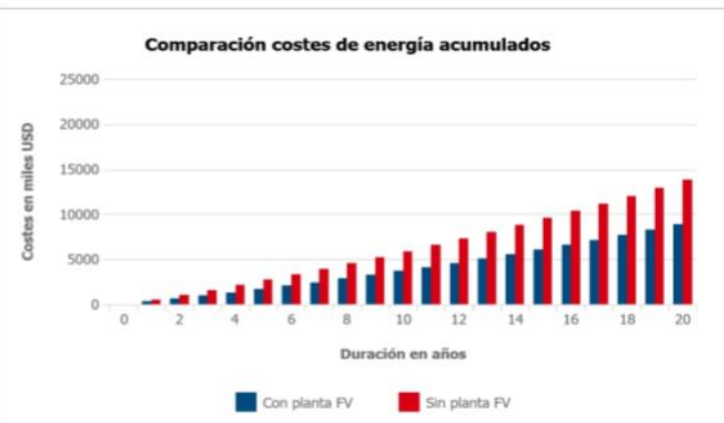
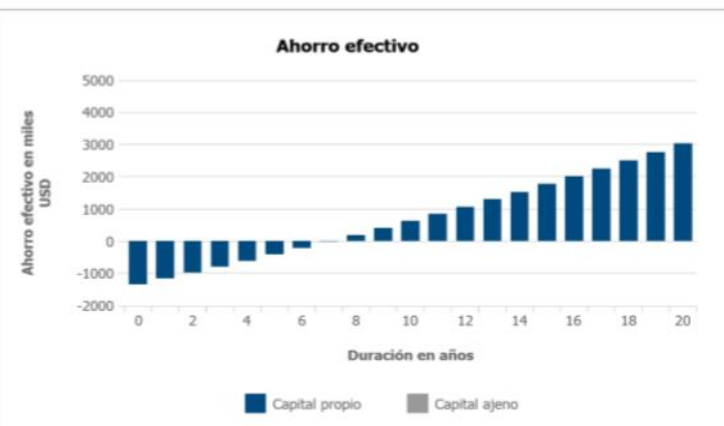
497.269 USD

Dentro de 20 año(s) sin planta FV

898.124 USD

Hoy con planta FV

312.194 USD



Análisis de la rentabilidad

Proyecto: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ 700 kWp
Número del proyecto: Proyecto 1

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

Estructura de costes

Costes del sistema FV

Los costes totales de los módulos fotovoltaicos ascienden a **816.760,00 USD**
La degradación media de la potencia de los módulos fotovoltaicos es del **0,80 %**
Los costes totales de los inversores y la monitorización de la planta ascienden a **442.552,50 USD**
Los costes de planificación e instalación ascienden a **100.000,00 USD**
Los costes fijos anuales ascienden a **20.498,81 USD**
La inversión total asciende a **1.359.312,50 USD**
El CAPEX específico de la planta fotovoltaica lista para funcionar (CAPEX/kWp) asciende a **1.941,65 USD/kWp**

Financiación

La moneda es **USD**
La cuota de capital propio es del **100 %**
La cuota de capital ajeno es del **0 %**
La subvención asciende a **0,00 USD**
La tasa de inflación es del **3,00 %**
El período de análisis de la rentabilidad es de **20 año(s)**

Costes de consumo eléctrico y remuneración

El precio del consumo eléctrico asciende a **0,18500 USD/kWh**
Se tienen en cuenta las tarifas especiales
La inflación eléctrica anual es del **3,0 %**
La remuneración asciende a **0,05000 USD/kWh**
La remuneración tiene una duración de **20 año(s)**
La deducción o remuneración durante la autoalimentación es de **0,00000 USD/kWh**
El beneficio eléctrico una vez transcurrido el período de remuneración asciende a **0,00000 USD/kWh**

Caso 2

Análisis de la rentabilidad

Proyecto: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ 700 kWp

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

Número del proyecto: Proyecto 1

Detalles	
Costes de consumo eléctrico ahorrados en el primer año (aprox.)	103.785 USD
Ahorro total al cabo de 20 año(s) (aprox.)	1.307.417 USD
Costes de consumo eléctrico ahorrados al cabo de 20 año(s) (aprox.)	2.617.092 USD
Beneficio total de la inyección a red al cabo de 20 año(s) (aprox.)	5.553 USD
Tiempo de amortización estimado en años (aprox.)	10
Costes de producción de electricidad a lo largo de 20 año(s) (aprox.)	0,063 USD/kWh
Rentabilidad anual (aprox.)	4,97 %
La inversión total asciende a	935.964,00 USD
El CAPEX específico de la planta fotovoltaica lista para funcionar (CAPEX/kWp) asciende a	1.336,94 USD/kWp

Comparación costes de energía anuales

Hoy sin planta FV

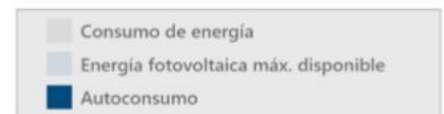
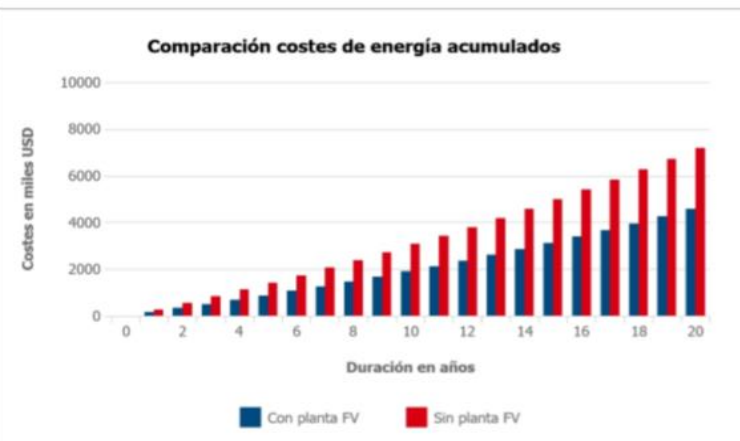
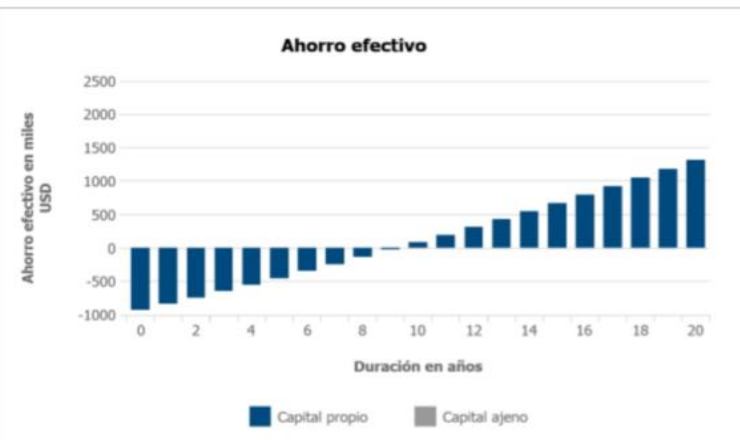
258.746 USD

Dentro de 20 año(s) sin planta FV

467.324 USD

Hoy con planta FV

160.158 USD



Análisis de la rentabilidad

Proyecto: **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ 700 kWp**
Número del proyecto: Proyecto 1

Emplazamiento: Ecuador / Portoviejo

Estructura de costes

Costes del sistema FV

Los costes totales de los módulos fotovoltaicos ascienden a **583.400,00 USD**

La degradación media de la potencia de los módulos fotovoltaicos es del **0,80 %**

Los costes totales de los inversores y la monitorización de la planta ascienden a **240.750,00 USD**

Los costes de planificación e instalación ascienden a **111.814,00 USD**

Los costes fijos anuales ascienden a **14.114,60 USD**

La inversión total asciende a **935.964,00 USD**

El CAPEX específico de la planta fotovoltaica lista para funcionar (CAPEX/kWP) asciende a **1.336,94 USD/kWp**

Financiación

La moneda es **USD**

La cuota de capital propio es del **100 %**

La cuota de capital ajeno es del **0 %**

La subvención asciende a **0,00 USD**

La tasa de inflación es del **3,00 %**

El periodo de análisis de la rentabilidad es de **20 año(s)**

Costes de consumo eléctrico y remuneración

El precio del consumo eléctrico asciende a **0,09500 USD/kWh**

Se tienen en cuenta las tarifas especiales

La inflación eléctrica anual es del **3,0 %**

La remuneración asciende a **0,05000 USD/kWh**

La remuneración tiene una duración de **20 año(s)**

La deducción o remuneración durante la autoalimentación es de **0,00000 USD/kWh**

El beneficio eléctrico una vez transcurrido el periodo de remuneración asciende a **0,00000 USD/kWh**

Alternativa LED Shark / Datos de planificación

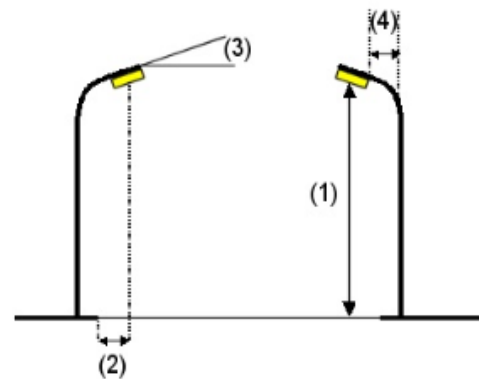
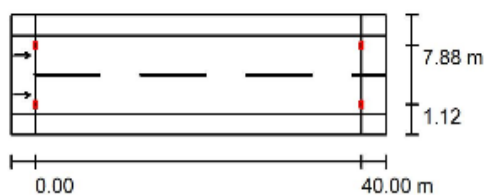
Redondel-FEUE

Perfil de la vía pública

Camino peatonal 1	(Anchura: 2.300 m)
Calzada 1	(Anchura: 9.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.300 m)

Factor mantenimiento: 0.57

Disposiciones de las luminarias



Luminaria: LCOE Eulumdat 2016100633B1-3_Sylvania_150W Shark LED street light_20161018CORR

Flujo luminoso (Luminaria):	16500 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	16500 lm
Potencia de las luminarias:	150.0 W
Organización:	bilateral frente a frente
Distancia entre mástiles:	40.000 m
Altura de montaje (1):	9.000 m
Altura del punto de luz:	8.823 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.150 m
Inclinación del brazo (3):	10.0 °
Longitud del brazo (4):	1.500 m

Valores máximos de la intensidad lumínica

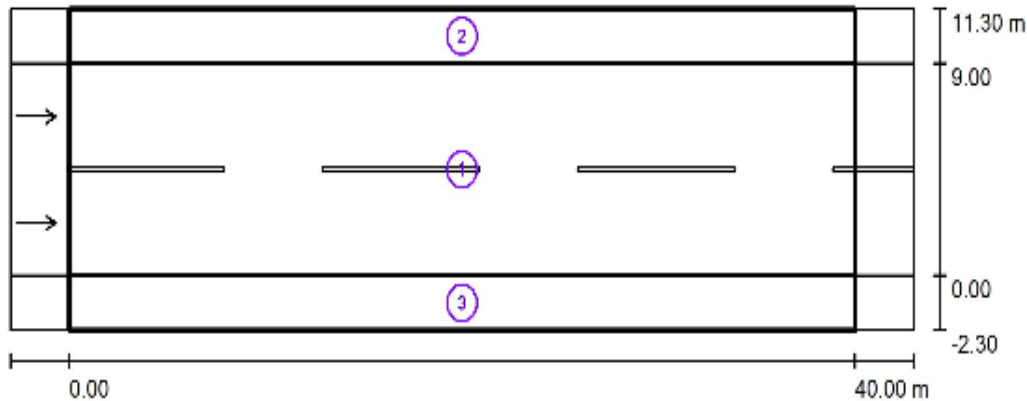
con 70°:	501 cd/klm
con 80°:	166 cd/klm
con 90°:	4.86 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G1.

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.1.

Alternativa LED Shark / Resultados luminotécnicos



Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
Longitud: 40.000 m, Anchura: 9.000 m
Trama: 14 x 6 Puntos
Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
Clase de iluminación seleccionada: ME4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.80	0.57	0.62	12	0.55
Valores de consigna según clase:	≥ 0.80	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
Longitud: 40.000 m, Anchura: 2.300 m
Trama: 14 x 3 Puntos
Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
Clase de iluminación seleccionada: CE5
Clase de iluminación adicional ES: ES6

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	19.59	0.43	2.90
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

- 3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2
Longitud: 40.000 m, Anchura: 2.300 m
Trama: 14 x 3 Puntos
Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.
Clase de iluminación seleccionada: CE5
Clase de iluminación adicional ES: ES6

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	19.59	0.43	2.90
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

Proyecto elaborado por INTRIAGO CEDEÑO MARÍA GABRIELA
 Teléfono (05) 2550172
 Fax Ninguno
 e-Mail maga.in23@hotmail.com

Alternativa LED Cobra / Datos de planificación

Redondel-FEUE

Perfil de la vía pública

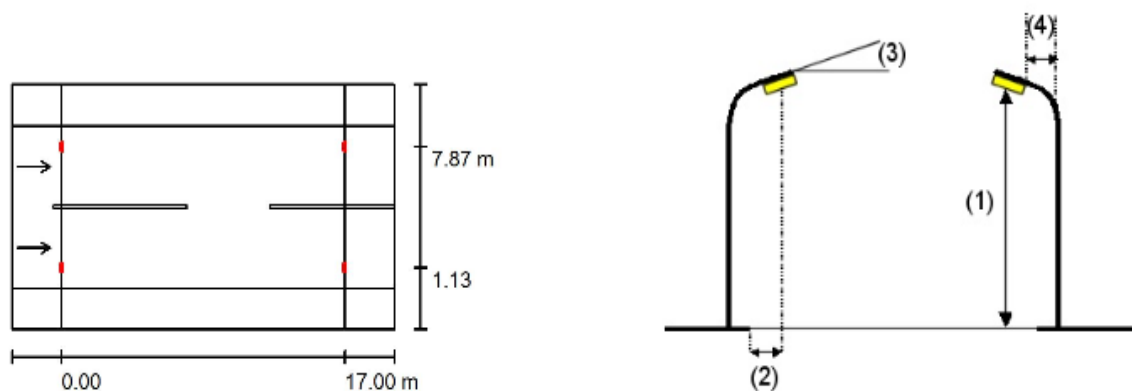
Camino peatonal 1 (Anchura: 2.300 m)

Calzada 1 (Anchura: 9.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)

Camino peatonal 2 (Anchura: 2.300 m)

Factor mantenimiento: 0.57

Disposiciones de las luminarias



Luminaria: FEILO SYLVANIA ZD616-V2-100W(V2W2E)
 Flujo luminoso (Luminaria): 9383 lm
 Flujo luminoso (Lámparas): 9384 lm
 Potencia de las luminarias: 102.3 W
 Organización: bilateral frente a frente
 Distancia entre mástiles: 17.000 m
 Altura de montaje (1): 9.000 m
 Altura del punto de luz: 8.903 m
 Saliente sobre la calzada (2): 1.150 m
 Inclinación del brazo (3): 10.0 °
 Longitud del brazo (4): 1.500 m

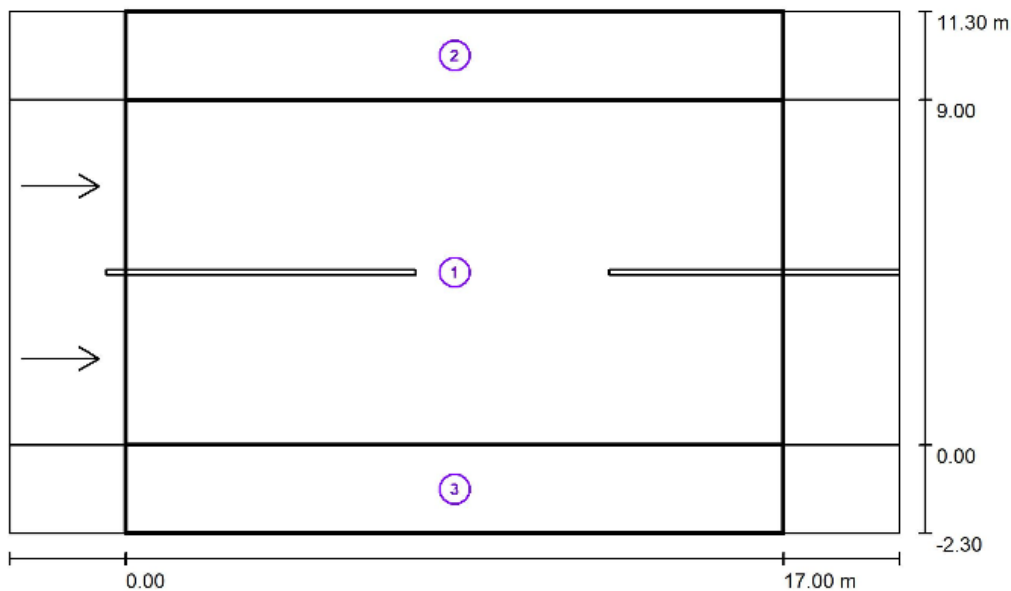
Valores máximos de la intensidad lumínica
 con 70°: 465 cd/klm
 con 80°: 319 cd/klm
 con 90°: 36 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.0.

Proyecto elaborado por INTRIAGO CEDEÑO MARÍA GABRIELA
 Teléfono (05) 2550172
 Fax Ninguno
 e-Mail maga.in23@hotmail.com

Alternativa LED Cobra / Resultados luminotécnicos



Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 17.000 m, Anchura: 9.000 m
 Trama: 10 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	π [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.04	0.63	0.60	5	0.78
Valores de consigna según clase:	≥ 0.80	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
 Longitud: 17.000 m, Anchura: 2.300 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5
 Clase de iluminación adicional ES: ES6

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)
 (No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	21.26	0.53	2.96
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

- 3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2
 Longitud: 17.000 m, Anchura: 2.300 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5
 Clase de iluminación adicional ES: ES6

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)
 (No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	21.26	0.53	3.34
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

Proyecto elaborado por Intriago Cedeño María Gabriela
 Teléfono (05) 2550172
 Fax Ninguno
 e-Mail maga.in23@hotmail.com

Alternativa Shark / Datos de planificación

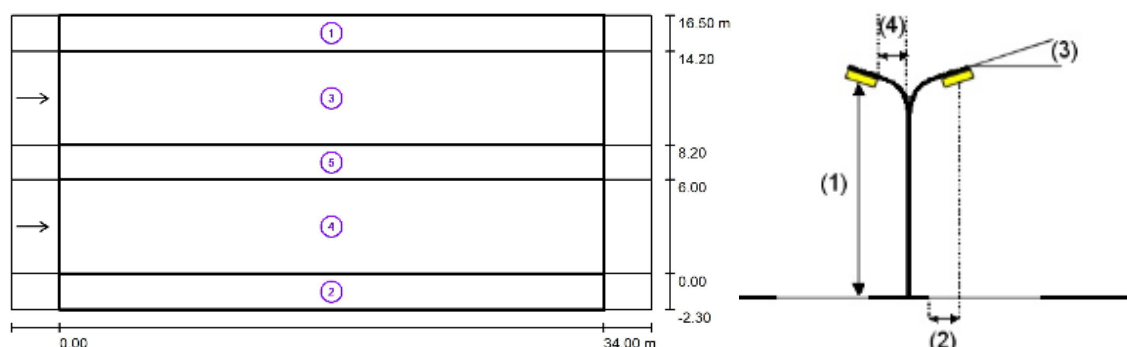
Puerta de salida #2

Perfil de la vía pública

Camino peatonal 1	(Anchura: 2.300 m)
Calzada 2	(Anchura: 6.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 1, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 2.200 m, Altura: 0.000 m)
Calzada 1	(Anchura: 6.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 1, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.300 m)

Factor mantenimiento: 0.57

Disposiciones de las luminarias



Luminaria: LCOE E ulumdat 2016100633B1-3_Sylvania_150W Shark LED street light_20161018CORR

Flujo luminoso (Luminaria): 15457 lm
 Flujo luminoso (Lámparas): 15457 lm
 Potencia de las luminarias: 139.2 W
 Organización: sobre arcén central
 Distancia entre mástiles: 34.000 m
 Altura de montaje (1): 9.000 m
 Altura del punto de luz: 8.821 m
 Saliente sobre la calzada (2): 1.150 m
 Inclinación del brazo (3): 5.0 °
 Longitud del brazo (4): 2.134 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
 con 70°: 481 cd/klm
 con 80°: 91 cd/klm
 con 90°: 1.66 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G3.
 La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.3.

Lista del recuadro de evaluación

1 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1

Longitud: 34.000 m, Anchura: 2.300 m
Trama: 12 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.

Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Clase de iluminación adicional ES: ES6

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	15.67	0.61	3.62
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2

Longitud: 34.000 m, Anchura: 2.300 m

Trama: 12 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.

Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0
Valores reales según cálculo:	15.67	0.61
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40
Cumplido/No cumplido:	✓	✓

3 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 34.000 m, Anchura: 6.000 m

Trama: 12 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME 4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	U1	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.46	0.61	0.75	9	0.93
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

4 Recuadro de evaluación Calzada 1

Longitud: 34.000 m, Anchura: 6.000 m

Trama: 12 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME 4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	U1	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.42	0.63	0.75	8	0.93
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

5 Recuadro de evaluación Arcén central 1

Longitud: 34.000 m, Anchura: 2.200 m

Trama: 12 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Arcén central 1.

Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0
Valores reales según cálculo:	26.88	0.46
Valores de consigna según clase:	≥ 7.50	≥ 0.40
Cumplido/No cumplido:	✓	✓

Proyecto elaborado por Intriago Cedeño María Gabriela
 Teléfono (05) 2550 172
 Fax Ninguno
 e-Mail maga.in23@hotmail.com

Alternativa Cobra / Datos de planificación

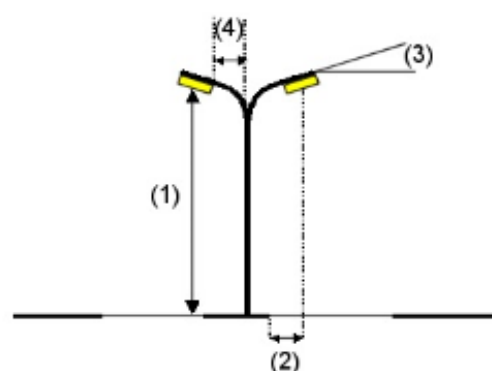
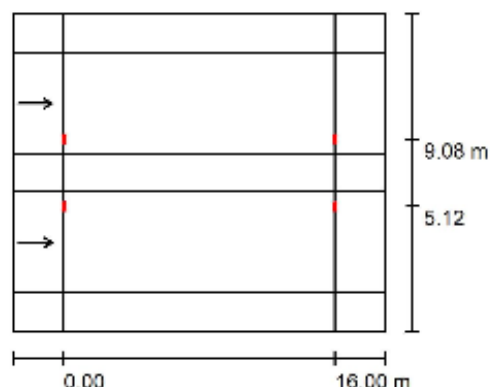
Puerta de salida #2

Perfil de la vía pública

Camino peatonal 1	(Anchura: 2.300 m)
Calzada 2	(Anchura: 6.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 1, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Arcén central 1	(Anchura: 2.200 m, Altura: 0.000 m)
Calzada 1	(Anchura: 6.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 1, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.300 m)

Factor mantenimiento: 0.57

Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	FEILO SYLVANIA ZD616-V2-100W(V2W2E)
Flujo luminoso (Luminaria):	9383 lm
Flujo luminoso (Lámparas):	9384 lm
Potencia de las luminarias:	102.3 W
Organización:	sobre arcén central
Distancia entre mástiles:	16.000 m
Altura de montaje (1):	9.000 m
Altura del punto de luz:	8.903 m
Saliente sobre la calzada (2):	1.000 m
Inclinación del brazo (3):	10.0 °
Longitud del brazo (4):	1.984 m

Valores máximos de la intensidad lumínica	
con 70°:	465 cd/klm
con 80°:	319 cd/klm
con 90°:	36 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.0.

Lista del recuadro de evaluación

1 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1

Longitud: 16.000 m, Anchura: 2.300 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.

Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Clase de iluminación adicional ES: ES6

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	16.06	0.69	3.38
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓

2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2

Longitud: 16.000 m, Anchura: 2.300 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.

Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0
Valores reales según cálculo:	16.06	0.69
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40
Cumplido/No cumplido:	✓	✓

3 Recuadro de evaluación Calzada 2

Longitud: 16.000 m, Anchura: 6.000 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.03	0.54	0.60	4	0.89
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

4 Recuadro de evaluación Calzada 1

Longitud: 16.000 m, Anchura: 6.000 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.

Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.02	0.57	0.61	4	0.89
Valores de consigna según clase:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Lista del recuadro de evaluación

5 Recuadro de evaluación Arcén central 1

Longitud: 16.000 m, Anchura: 2.200 m

Trama: 10 x 3 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Arcén central 1.

Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0
Valores reales según cálculo:	29.78	0.53
Valores de consigna según clase:	≥ 7.50	≥ 0.40
Cumplido/No cumplido:	✓	✓

Proyecto elaborado por Intriago Cedeño María Gabriela
 Teléfono (05) 2550172
 Fax Ninguno
 e-Mail maga.in23@hotmail.com

Alternativa LED Shark / Datos de planificación

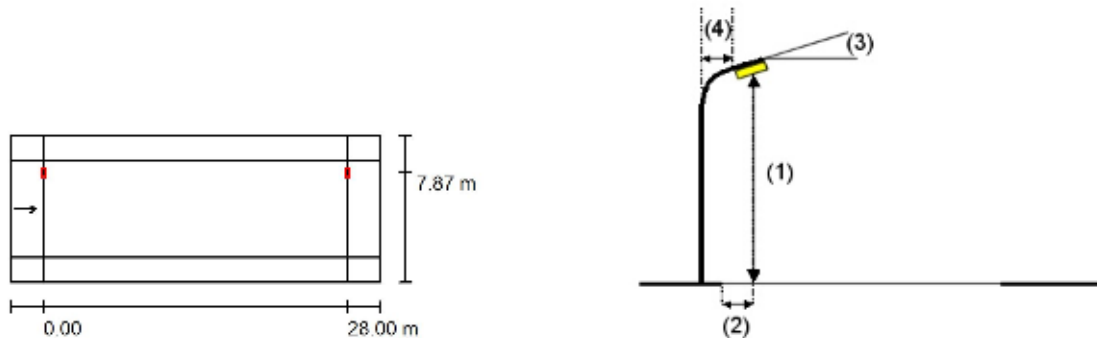
Financiero

Perfil de la vía pública

Camino peatonal 1	(Anchura: 2.300 m)
Calzada 1	(Anchura: 9.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 1, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)
Camino peatonal 2	(Anchura: 2.300 m)

Factor mantenimiento: 0.57

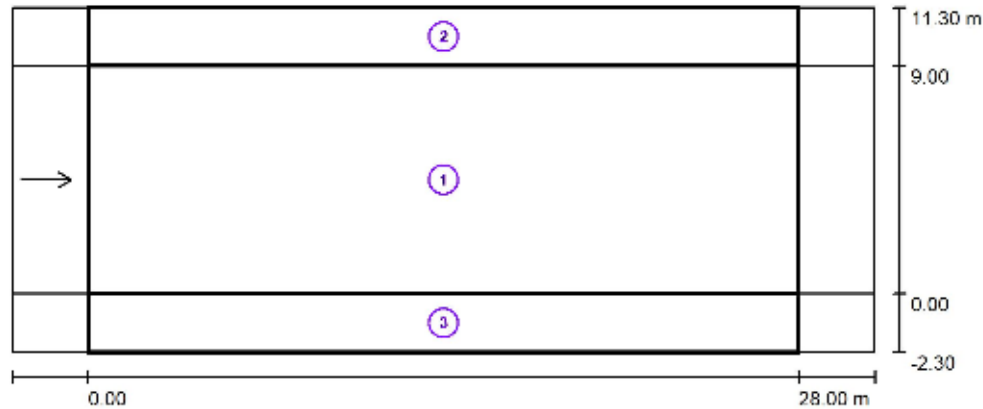
Disposiciones de las luminarias



Luminaria:	LCOE E ulumdat 2016100633B1-3_Sylvania_150W Shark LED street light_20161018CORR	
Flujo luminoso (Luminaria):	15457 lm	Valores máximos de la intensidad lumínica con 70°: 481 cd/klm con 80°: 91 cd/klm con 90°: 1.66 cd/klm Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento). La disposición cumple con la clase de intensidad lumínica G3. La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.3.
Flujo luminoso (Lámparas):	15457 lm	
Potencia de las luminarias:	139.2 W	
Organización:	unilateral arriba	
Distancia entre mástiles:	28.000 m	
Altura de montaje (1):	9.000 m	
Altura del punto de luz:	8.821 m	
Saliente sobre la calzada (2):	1.150 m	
Inclinación del brazo (3):	5.0°	
Longitud del brazo (4):	1.500 m	

Proyecto elaborado por Intriago Cedeño María Gabriela
 Teléfono (05) 2550 172
 Fax Ninguno
 e-Mail maga.in23@hotmail.com

Alternativa LED Shark / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.57

Escala 1:244

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 28.000 m, Anchura: 9.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME 4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	U1	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.23	0.61	0.82	9	0.54
Valores de consigna según clase:	≥ 0.80	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/N o cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
 Longitud: 28.000 m, Anchura: 2.300 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5
 Clase de iluminación adicional ES: E S6

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	15.90	0.53	1.80
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/N o cumplido:	✓	✓	✓

- 3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2
 Longitud: 28.000 m, Anchura: 2.300 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5
 Clase de iluminación adicional ES: E S6

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	10.80	0.78	3.41
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/N o cumplido:	✓	✓	✓

Proyecto elaborado por Intriago Cedeño María Gabriela
 Teléfono (05) 2550 172
 Fax Ninguno
 e-Mail maga.in23@hotmail.com

Alternativa LED Cobra / Datos de planificación

Financiero

Perfil de la vía pública

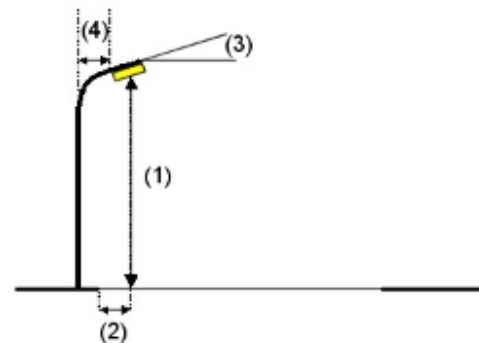
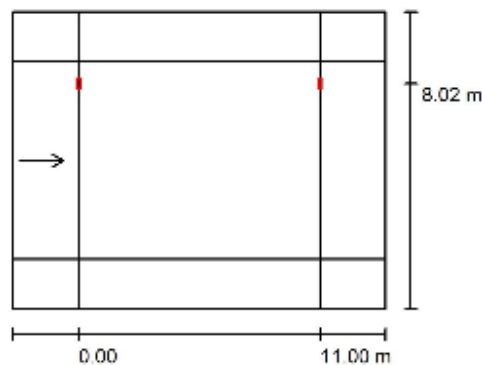
Camino peatonal 1 (Anchura: 2.300 m)

Calzada 1 (Anchura: 9.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 1, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)

Camino peatonal 2 (Anchura: 2.300 m)

Factor mantenimiento: 0.57

Disposiciones de las luminarias



Luminaria: FEILO SYLVANIA ZD616-V2-100W(V2W2E)
 Flujo luminoso (Luminaria): 9383 lm
 Flujo luminoso (Lámparas): 9384 lm
 Potencia de las luminarias: 102.3 W
 Organización: unilateral arriba
 Distancia entre mástiles: 11.000 m
 Altura de montaje (1): 8.000 m
 Altura del punto de luz: 7.903 m
 Saliente sobre la calzada (2): 1.000 m
 Inclinación del brazo (3): 10.0 °
 Longitud del brazo (4): 1.500 m

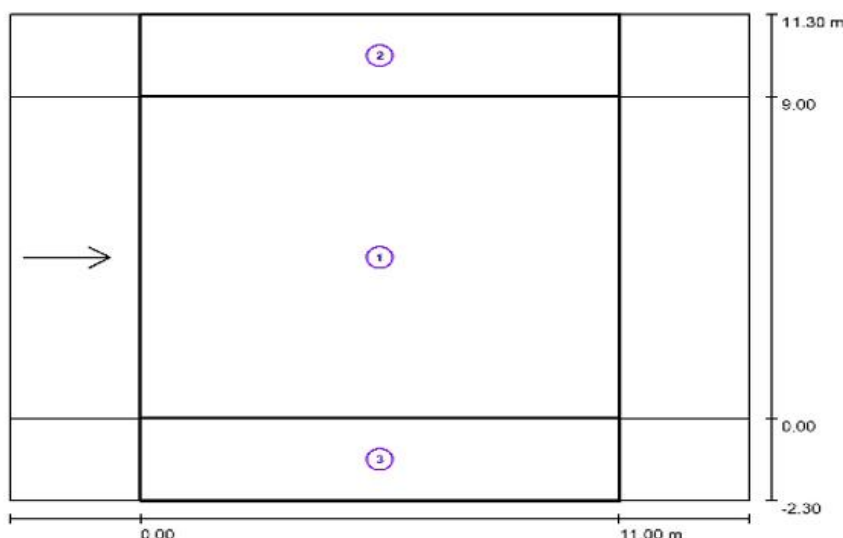
Valores máximos de la intensidad lumínica
 con 70°: 465 cd/klm
 con 80°: 319 cd/klm
 con 90°: 36 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.0.

Proyecto elaborado por: Intriago Cedeño María Gabriela
 Teléfono: (05) 2550 172
 Fax: Ninguno
 e-Mail: maga.in23@hotmail.com

Alternativa LED Cobra / Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.57

Escala 1:127

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 11.000 m, Anchura: 9.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME 4a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	0.86	0.55	0.78	4	0.76
Valores de consigna según clase:	≥ 0.80	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/N o cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
 Longitud: 11.000 m, Anchura: 2.300 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5
 Clase de iluminación adicional ES: ES6

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	23.94	0.64	3.41
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/N o cumplido:	✓	✓	✓

- 3 Recuadro de evaluación Camino peatonal 2
 Longitud: 11.000 m, Anchura: 2.300 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 2.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5
 Clase de iluminación adicional ES: ES6

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

(No se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [lx]	U0	E_{min} (semicil.) [lx]
Valores reales según cálculo:	11.23	0.84	4.58
Valores de consigna según clase:	≥ 5.00	≥ 0.40	≥ 1.00
Cumplido/N o cumplido:	✓	✓	✓

Anexo D: Precios de Tecnologías de Iluminación Vial

PHILIPS SGS102 1xSON-TPP250W MR

Iridium grande poliéster							
Class II IP66 IK 08 CE							
VERSAO ABERTA (TP)							
Com difusor de vidro lenticular						EOC	EUROS
SGS254	SONT250W	K	TP	GB	FM	86585700	535,27
SGS254	SONT400W	K	TP	GB	FM	86586400	572,27
Com difusor de Vidro Plano							
SGS254	SONT250W	K	TP	FG	FM	86587100	535,27
SGS254	SONT400W	K	TP	FG	FM	86588800	572,27
VERSAO FECHADA (CP) DUPLO IP66							
Com difusor de vidro lenticular						EOC	EUROS
SGS254	SONT250W	K	CP	GB	FM	86589500	565,27
SGS254	SONT400W	K	CP	GB	FM	86590100	595,27
Com difusor de Vidro Plano							
SGS254	SONT250W	K	CP	FG	FM	86591800	565,27
SGS254	SONT400W	K	CP	FG	FM	86592500	595,27



LED TIPO COBRA



2922-923 /2922307
 Telefonos: /2925960
l.armijos@arproindustrial.com.ec
ventas1@arproindustrial.com.ec
ventas2@arproindustrial.com.ec
 Av. 113, villas del IESS, Mz 1
 Manta-Ecuador

MANTA, 25 DE NOVIEMBRE DEL 2015

DE: ING. LUIS ARMIJOS BURGOS
 PARA : ING. WILBER SALTOS / ING. ANTONIO VAZQUEZ
 ASUNTO: REEMPLAZO DE LAMPARAS DE SODIO POR LAMPARAS LED

ARPROINDUSTRIAL S.A.
 UTM

PRESUPUESTO

ITEM 1. MATERIALES ELECTRICOS

CANT	UNID	DESCRIPCIÓN	P. UNIT	P.TOTAL
3	PZAS	LAMPARA TIPO COBRA 84 W LED BLANCA	293,33	879,99
		220 VAC		
SUBTOTAL ITEM # 1.....				879,99

SYLVANIA_150W SHARK LED

MATERIALES ELECTRICOS GARY GILER
 Rue 1308157351001
 AV URBINA Y RAFAEL JARRE
 Telefono: 2-650756
 *** PROFORMA ***

Cliente: GABRIELA INTRIAGO CEDEÑO
 Rue: 999999999
 Direccion: PORTOVIEJO
 Telefono: 0000000
 Fecha 01/06/2018 12:33:50

Trans. 5093
 Vend. GARY

Codigo	Detalle del Producto	Cantidad	PVP	Total
8510	*LUMINARIA SHARK LED 150W 1850L 110-227V	81.00	370.536	22.602.879
788	*BRAZO PARA LUMINARIA 1.5M X 2"	81.00	15.179	925.893
SUB-TOTAL				23,528.57
DESCUENTO				0.00
IVA 12 %				2,823.43
TOTAL				26,352.00