

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

Proyecto Técnico Investigativo

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE ALUMBRADO PÚBLICO CON
ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA SISTEMAS AISLADOS CON
EL USO DE TECNOLOGÍA LED”**

AUTOR:

PABLO ANDRÉS LLIVICURA ARIAS

TUTOR:

ING. FREDDY FERNANDO CAMPOVERDE ARMIJOS

Cuenca – Ecuador

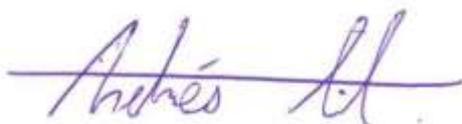
2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Pablo Andrés Llivicura Arias con documento de identificación N° 0104033295, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE ALUMBRADO PÚBLICO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA SISTEMAS AISLADOS CON EL USO DE TECNOLOGÍA LED”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre de 2017



.....
Pablo Andrés Llivicura Arias
0104033295

CERTIFICACIÓN

Yo, Freddy Campoverde Armijos, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE ALUMBRADO PÚBLICO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA SISTEMAS AISLADOS CON EL USO DE TECNOLOGÍA LED”, realizado por Pablo Andrés Llivicura Arias, obteniendo el proyecto técnico con enfoque investigativo que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre 2017.



.....
Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos
CI: 0102339470

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Pablo Andrés Llivicura Arias con número de cédula 0104033295, autor del trabajo de titulación: “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE ALUMBRADO PUBLICO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA SISTEMAS AISLADOS CON EL USO DE TECNOLOGÍA LED”. Certifico que el total contenido de este Proyecto Técnico con Enfoque Investigativo es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, octubre 2017



.....
Pablo Andrés Llivicura Arias
CI: 0104033295

DEDICATORIA

Primero agradecer a Dios por la vida que me ha regalado, luego a mi familia que me ha dado lo mejor para salir adelante.

En especial, agradezco a mis padres por brindarme la educación por el apoyo, por ser los pilares fundamentales de mi crecimiento y éxito profesional, luego a mis herman@s por ser mis motivantes de este anhelado objetivo.

Pablo Andrés

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por la vida, la salud y la fuerza de seguir cada día adelante, luego a mi familia por el infinito esfuerzo que me han brindado a cada paso de mi vida, ya que sin ellos nada de esto hubiese sido posible.

También agradecer a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Eléctrica por saberme llenar de buenos conocimientos que me servirán para la vida profesional, en especial al Ingeniero Marco Carpio que siempre con su personalidad, consejos y carisma me ha sabido ayudar en momentos importantes a lo largo de toda mi carrera estudiantil.

Así mismo, un agradecimiento muy especial al Ingeniero Freddy Campoverde por ser el tutor de este proyecto, quien me ha dado las pautas para la realización de este proyecto de investigación, aportándome cada día con crítica constructiva y profesionalismo que son ingredientes especiales que me sirvieron para crecer como profesional.

También agradecer al Ingeniero Julio Viola por orientarme en puntos clave de este proyecto, que me sirvieron para adquirir más conocimientos y ejecutarlos de manera profesional a lo largo de este trabajo.

Finalmente hacer una mención especial a la Estación Meteorológica administrada por la carrera de Ingeniería Ambiental que fue la que me otorgó los datos de radiación solar y temperatura, mismos datos que sirvieron para la fase de simulación de este proyecto técnico.

Pablo Andrés

ABREVIATURAS

FV: Energía Fotovoltaica
Isc: Corriente proveniente de la fuente
I_o: Corriente de saturación de la célula
q: Carga fundamental
k: Constante de Boltzman
T: Temperatura de funcionamiento del dispositivo FV medida en grados kelvin
P_m: Punto de potencia máximo E: Irradiación de la luz solar
A_c: área superficial de la célula
V_{oc}: Voltaje en circuito abierto
FF: Factor de llenado
PWM: Control por modulación
V_{sc}: Voltaje de polarización inversa
V_{sd}: Regulación de sobrecarga
DC: Corriente continua
AC: Corriente alterna
P_{sal}: Potencia de salida
P_{in}: Potencia de ingreso
cos(φ): Factor de potencia
I_{dc}: Corriente requerida por el inversor del lado DC; control de corriente
V_{dc}: Tensión requerida por el inversor del lado DC; control de voltaje
MPPT: Punto máximo de potencia
Ah: Amperios-hora
SOC: Estado de carga inicial
q_{bat}: Capacidad nominal de la batería
q_{max}: capacidad nominal
DOD: Profundidad de descarga
LED: Light emitting diode
λ: Longitud de onda
c: Velocidad de la luz en el vacío
f: Frecuencia
f_u: Factor de utilización
FDL: Factor de depreciación del flujo de la lámpara
FSL: Factor de supervivencia de la lámpara
FDLU: Factor de depredación de la luminaria
X: Grado de protección
A: Ancho de la calzada en metros
D: Distancia entre dos puntos de luz en metros
E_{med}: Iluminancia media en lux
f_c: Factor de mantenimiento
E_α: Iluminancia en lux, en cualquier punto de la calzada a ser iluminada
α: El rayo incidente forma un ángulo con la vertical que cruza por la luminaria
I_α: Iluminación en candelas
h: altura del punto de luz sobre la calzada en metros
L: Longitud de la vía
R: Relación altura-separación
HPS: Horas de sol pico
STC: Condiciones estándar del panel solar
INER: Instituto Nacional de energías renovables
I_{radMED}: Irradiancia media en un día establecido

Lmd: Consumo medio de energía en un día
Lmd,DC: Consumo medio de energía en un día en cargas de continua
Lmd,AC: Consumo medio de energía en un día en cargas de alterna
 η_{bat} : Eficiencia de la batería
 η_{cond} : Eficiencia de los conductores
 η_{inv} : Eficiencia del inversor
 P_{MPP} : Potencia pico del panel en condiciones estándar STC
HPScrit: Irradiación del mes crítico
PR: Factor global de funcionamiento 0.90
 N_T : Número de paneles
 V_{BAT} : Tensión del acumulador
 V_{MPP} : Tensión máxima en el panel solar
 N_{SERIE} : Número de paneles conectados en serie
 $N_{PARALELO}$: Número de ramales en paralelo
QA-h: Corriente Amperios-hora en la batería
 $I_{GFV, MPP}$: Corriente generada por el campo de captación fotovoltaico
 D_{ODE} : Profundidad de descarga máxima estacional 70%
 D_{ODD} : Profundidad de descarga máxima diaria 20%
N: Días de autonomía
 $C_{ne}(Wh)$: Capacidad nominal de la batería en vatios- hora
 $C_{ne}(Ah)$: Capacidad nominal de la batería en amperios- hora
 P_{DC} : Potencia de la carga en continua

RESUMEN

A través de los años y con el continuo crecimiento de la tecnología se está tratando a nivel mundial de mitigar el impacto ambiental reduciendo el uso de combustibles fósiles que son extraídos de la propia naturaleza en forma de petróleo para procesarlos en diferentes combustibles derivados que son nocivos para la salud humana por emanar dióxido de carbono, metano, propano, entre otros, así como impacta negativamente al medio ambiente de nuestro planeta.

Es así como en nuestro país el Ecuador se están empleando un cambio de matriz energética con la ayuda del gobierno se trata de reemplazar el combustible fósil que daña a nuestro planeta y emplear energía limpia por medio de centrales hidroeléctricas, eólicas, fotovoltaicas entre otras, así tratando de minimizar la productividad en centrales termoeléctricas que son las más contaminantes en el país.

Una de las fuentes de consumo de energía más fuerte a nivel mundial y en nuestro país es la energía eléctrica para la iluminación pública a través de redes eléctricas provenientes de subestaciones eléctricas y estas a su vez originadas en las diferentes centrales de generación eléctrica en el país, a continuación se propone en este trabajo de investigación, realizar un estudio de factibilidad energética en alumbrado público mediante sistemas fotovoltaicos aislados con tecnología LED ubicadas en puntos de luz de iluminación pública, con la finalidad de analizar si es factible reemplazar en un futuro las luminarias de vapor de sodio de alta presión por tecnología LED que en teoría son más eficientes energéticamente y usando sistemas fotovoltaicos que ayudan a disminuir el consumo eléctrico que abastecen las centrales de distinta tecnología en el país.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

© CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	III
CERTIFICACIÓN.....	IV
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
ABREVIATURAS	VIII
RESUMEN.....	X
ÍNDICE DE CONTENIDOS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABLAS	XX
CAPITULO I.....	1
ELEMENTOS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	1
1.1.INTRODUCCIÓN	1
1.2.RADIACIÓN SOLAR	2
1.2.1. TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR.....	2
1.2.1.1. RADIACIÓN EXTRATERRESTRE.....	2
1.2.1.2. RADIACIÓN SOLAR DIFUSA.....	3
1.2.1.3. RADIACIÓN SOLAR DIRECTA	3
1.2.1.4. RADIACIÓN SOLAR GLOBAL	3
1.3.CÉLULAS SOLARES	3
1.3.1. REPRESENTACIÓN DE LAS CÉLULAS SOLARES	4
1.3.2. EFICIENCIA Y CLASIFICACIÓN DE LAS CÉLULAS SOLARES	6
1.3.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS SOLARES	6
1.3.2.2. EFICIENCIA EN LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA	7
1.3.2.3. FACTOR DE LLENADO (FF).....	7
1.3.2.4. PUNTO DE POTENCIA MÁXIMO (PM).....	8
1.4.MÓDULOS FOTOVOLTAICOS O PANELES SOLARES	8
1.5.REGULADORES DE CARGA.....	9
1.5.1. TIPOS DE REGULADOR.....	10
1.5.2. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL REGULADOR.....	11
1.6.INVERSORES	11

1.7.ACUMULADORES DE ENERGÍA	12
1.7.1. PARTES CONSTRUCTIVAS DE UNA BATERÍA.....	13
1.7.2. CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS	14
CAPITULO II	17
ALUMBRADO PÚBLICO	17
2.1.INTRODUCCIÓN	17
2.2.LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO DE ALTA PRESIÓN EN ALUMBRADO PÚBLICO	18
2.2.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN.....	18
2.2.2. VIDA ÚTIL Y BALANCE ENERGÉTICO.....	19
2.3.LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN EN ALUMBRADO PÚBLICO	21
2.3.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN.....	21
2.3.2. VIDA ÚTIL Y BALANCE ENERGÉTICO	22
2.4.LUMINARIAS LED EN ALUMBRADO PÚBLICO	23
2.4.1. GENERALIDADES.....	23
2.4.2. PRINCIPIO DE OPERACIÓN.....	23
2.4.3. AVANCES Y NUEVAS TENDENCIAS EN LA TECNOLOGÍA LED.....	23
2.4.4. OBTENCIÓN DE LUZ BLANCA USADA EN ALUMBRADO PÚBLICO.....	24
2.4.5. VIDA ÚTIL.....	26
2.5. PARÁMETROS GENERALES Y DISTRIBUCIÓN VIAL DEL ALUMBRADO PÚBLICO	26
2.5.1. PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO	26
2.5.2. SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO.....	27
2.5.2.1. UNILATERAL.....	27
2.5.2.2. TRESBOLILLO	28
2.5.2.3. BILATERAL PAREADA.....	28
2.5.2.4. CENTRAL O AXIAL	28
2.5.2.5. CATENARIA.....	29
2.6.ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	29
2.7.TONOS DE LUZ LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO.....	30

2.8.CÁLCULO DE LUMINARIAS	31
2.8.1. FACTOR DE UTILIZACIÓN Y CÁLCULO.....	31
2.8.2. FACTOR DE MANTENIMIENTO.....	32
CAPITULO III.....	33
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS	33
3.1.DATOS METEOROLÓGICOS COMPRENDIDOS EN EL PERIODO DE ESTUDIO	33
3.1.1.ANÁLISIS DE TEMPERATURA PARA EL PERIODO DE ESTUDIO.....	34
3.1.2.RADIACIÓN GLOBAL PROMEDIO PARA EL PERIODO DE ESTUDIO.....	35
3.2.PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO FOTOVOLTAICO.....	35
3.2.1.CÁLCULOS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO A IMPLEMENTARSE.....	37
3.3.INTERFACE ARDUINO – LABVIEW Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN EL SOFTWARE DE LABVIEW	47
3.4.DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO, UTILIZADOS EN EL PROYECTO.....	48
3.5.MODELO EQUIVALENTE PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS USANDO EL SOFTWARE LABVIEW	54
3.6.RESUMEN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CUARTILES, EN LOS MESES DE NOVIEMBRE Y DICIEMBRE EL 2016.....	57
3.7.REPRESENTACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS OBTENIDOS EN LABVIEW	59
3.8.ELEMENTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN SIMULINK DE MATLAB	63
3.8.1.PRIMERA ETAPA DE SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE DE SIMULINK DE MATLAB.....	66
3.8.2.SEGUNDA ETAPA DE SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE DE SIMULINK DE MATLAB.....	68
CAPITULO IV.....	71
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	71

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS MEDIDOS EN EL SOFTWARE DE LABVIEW VERSUS LOS RESULTADOS SIMULADOS EN SIMULINK DE MATLAB DE VOLTAJES, CORRIENTES Y POTENCIAS	71
4.1.1. ANÁLISIS DE LA PRIMERA ETAPA CORRESPONDIENTE AL PANEL SOLAR Y BATERÍA.....	71
4.1.2. ANÁLISIS DE LA SEGUNDA ETAPA CORRESPONDIENTE A LA BATERÍA Y LA CARGA LED.....	74
4.2. CÁLCULO LUMÍNICO CON LUMINARIA LED ALIMENTADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO	76
4.2.1. ASPECTOS GENERALES DE ILUMINACIÓN PÚBLICA EN LA CIUDAD DE CUENCA.....	76
4.2.2. ANÁLISIS DE DATOS MEDIANTE EL CÁLCULO LUMÍNICO PARA UNA LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	77
4.2.2.1. NÚMERO DE LUMINARIAS PARA UNA VÍA.....	81
4.2.3. CÁLCULO LUMÍNICO PARA UNA LUMINARIA DE TECNOLOGÍA LED.....	82
4.3. ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO – AMBIENTAL ENTRE LAS TECNOLOGÍAS LED Y VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	90
4.3.1. ANÁLISIS AMBIENTAL ENTRE LUMINARIAS LED VERSUS LAS LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN	90
4.3.2. ANÁLISIS TÉCNICO DE LUMINARIAS LED Y LAS LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	90
4.3.2.1. FACTORES DE UNIFORMIDAD Y NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	91
4.3.2.2. FACTOR DE UNIFORMIDAD DE LUMINANCIA DE LA CALZADA (U_0).....	91
4.3.2.3. FACTOR DE UNIFORMIDAD LONGITUDINAL SOBRE LA CALZADA (U_L).....	91
4.3.2.4. RELACIÓN DE ALREDEDORES (S_R).....	91
4.3.2.5. DESLUMBRAMIENTO.....	91
4.3.3. VÍAS CON TRÁFICO MOTORIZADO	92
4.3.3.1. CLASES DE ILUMINACIÓN SEGÚN LAS VÍAS	92
4.3.4. VÍAS PEATONALES.....	93
4.3.4.1. CLASES DE ILUMINACIÓN SEGÚN EL TIPO DE VÍAS.....	93
4.3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS LUMINARIAS LED Y LAS LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.....	94

4.4.ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO – AMBIENTAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO	95
4.4.1.ANÁLISIS AMBIENTAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO.....	95
4.4.2.ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO IMPLEMENTADO EN EL PROYECTO.....	96
4.4.2.1.ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO.....	98
4.4.2.2.ALTERNATIVA 1 CON VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION.....	99
4.4.2.3.ALTERNATIVA 2 CON TECNOLOGÍA LED.....	100
4.4.2.4.COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS VSAP Y LED	102
4.4.3.ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO.....	104
4.5.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ALUMBRADO PÚBLICO CON SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO Y UN SISTEMA TRADICIONAL ALIMENTADO POR RED ELÉCTRICA.....	108
CAPITULO V	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
5.1.CONCLUSIONES	110
5.2.RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
ANEXOS	121
ANEXO 1	122
ANEXO 2.....	124
ANEXO 3.....	125
ANEXO 4.....	127
ANEXO 5.....	128
ANEXO 6.....	129
ANEXO 7.....	130
ANEXO 8.....	131
ANEXO 9.....	133
ANEXO 10.....	135
ANEXO 11.....	136
ANEXO 12.....	137
ANEXO 13.....	138

ANEXO 14.....	139
ANEXO 15.....	140
ANEXO 16.....	141
ANEXO 17.....	142
ANEXO 18.....	143
ANEXO 19.....	145
ANEXO 20.....	147
ANEXO 21.....	149
ANEXO 22.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Los 400 Wp generadores solares en el Monte Rosa Hostel a finales de 1980. Tales albergues hoy comúnmente tienen instalaciones fotovoltaicas con un mínimo de 3 kWp de potencia (Foto: Fabrimex / Willi Maag). (Haberlin, 2012).....	2
Figura 1. 2. Partes de una Célula Solar. (Mohanty & Tyagi, 2015).....	4
Figura 1. 3. Diagrama equivalente de una célula solar ideal. (Brooks, 2013),.....	4
Figura 1. 4. I – V y P – V son curvas de un módulo fotovoltaico, donde el recuadro de puntos exterior (azul) representa la potencia de un diodo ideal y recuadro de puntos interno (rojo) representa la potencia máxima FV. (Brooks, 2013).....	5
Figura 1. 5. El paso de luz a través de diferentes materiales semiconductores. (Mohanty & Tyagi, 2015)	7
Figura 1. 6. Sistema Solar Fotovoltaico.	8
Figura 1. 7. Regulador solar montado en un sistema FV para luminaria LED.	9
Figura 1. 8. Esquema de un regulador serie que opera como circuito abierto en caso de sobrecarga y sobredescarga, respectivamente. (Abella).....	10
Figura 1. 9. Esquema de un regulador paralelo que opera como un circuito disipador de exceso de energía a través de un MOSFET o transistor. (Abella).....	11
Figura 1. 10. Partes de una batería de plomo-acido. (Abella).....	14
Figura 1. 11. Diagrama equivalente de una batería. (Kalogirou, 2014).....	15
Figura 2. 1. Componentes de una lámpara de vapor de mercurio a alta presión. (King, 2003).....	19
Figura 2. 2. Balance energético de una lámpara de vapor de mercurio de alta presión. (Zaldumbide Cevallos, 2012).....	20
Figura 2. 3. Circuito de arranque para encendido de lámpara con halogenuro. (Lámparas y sus componentes)	20
Figura 2. 4. Distribución espectral continua, con cresta en la zona de los verdes. (Lámparas y sus componentes)	21
Figura 2. 5. Componentes de una lámpara de vapor de sodio a alta presión. (Carachure Castañeda)	22
Figura 2. 6. Balance energético de una lámpara de vapor de sodio de alta presión. (García Fernández).....	22
Figura 2. 7. Partes constructivas de un diodo semiconductor. (El-Zein, 2013).....	23
Figura 2. 8. Carcasa del módulo LED ofrece una resistencia de impacto de IK08. (LED Revista)	25
Figura 2. 9. Emisión espectral de un LED de tres colores. (Reggiani & Farini, 2015).....	26
Figura 2. 10. Implantación Unilateral. (IDAE & CEI).....	27
Figura 2. 11. Implantación Tresbolillo. (IDAE & CEI).....	28
Figura 2. 12. Implantación Bilateral Pareada. (IDAE & CEI)	28
Figura 2. 13. Implantación central o axial. (IDAE & CEI).....	29
Figura 2. 14. Implantación Catenaria. (IDAE & CEI)	29
Figura 2. 15. Espectro Electromagnético. (León & Lojano, 2014)	30
Figura 2. 16. Rangos de colores en grados kelvin. (MUCHOS LED)	30
Figura 2. 17. Coeficiente de utilización. (León & Lojano, 2014)	31
Figura 3. 1. Curva de la temperatura promedio comprendida entre el periodo de los días 09 de noviembre y 20 de diciembre del 2016.	34

Figura 3. 2. Curva de la radiación promedio comprendida en el periodo de los días 09 de noviembre y 20 de diciembre del 2016.	35
Figura 3. 3. Columna de valores correspondientes a los meses de radiación global promedio del año 2016.	37
Figura 3. 4. Esquema de instalación para la adquisición de los parámetros físicos.	48
Figura 3. 5. Instalación en el cuarto de ascensores, en la terraza del Edificio Guillermo Mensi de la UPS Cuenca, día lluvioso.	49
Figura 3. 6. Conexión de sensores de corriente y partidores de tensión con Arduino Mega 2560, en la derecha carga LED.	49
Figura 3. 7. Adquisición de datos en la noche, luminarias LED encendido.	50
Figura 3. 8. Descripción de componentes del panel solar EXMORK. (Provierto, 2016).....	50
Figura 3. 9. Caja de diodos del panel solar EXMORK.	51
Figura 3. 10. Controlador Morningstar Corporation SHS – 10.	52
Figura 3. 11. Batería Ultracell Rechargeable VRLA.	53
Figura 3. 12. Sensor de corriente ACS712. (Patagoniatec, 2016).....	53
Figura 3. 13. Arduino MEGA 2560.	54
Figura 3. 14. Curvas en tiempo real de voltaje y corriente en el panel, y voltaje y corriente en la carga, durante el amanecer en Labview.	55
Figura 3. 15. Curvas en tiempo real de voltaje y corriente en el panel, y voltaje y corriente en la carga, durante el día en Labview.	56
Figura 3. 16. Curvas en tiempo real de voltaje y corriente en el panel, y voltaje y corriente en la carga, durante el atardecer en Labview.	56
Figura 3. 17. Curvas en tiempo real de voltaje y corriente en el panel, y voltaje y corriente en la carga, durante la noche en Labview.	57
Figura 3. 18. Corriente y tensión promedio en el panel durante el día, medido en Labview.	60
Figura 3. 19. Corriente y tensión promedio en la carga durante el día, medido en Labview.	60
Figura 3. 20. Potencia promedio en la carga y el panel durante el día, medido en Labview.	61
Figura 3. 21. Corriente y tensión promedio en el panel durante la noche, medidos en Labview.	62
Figura 3. 22. Corriente y tensión en la carga durante la noche, medidos en Labview.	62
Figura 3. 23. Potencia en el panel solar y en la carga durante la noche, medidos en Labview.	63
Figura 3. 24. Características técnicas y eléctricas del panel solar Exmork 50P.	64
Figura 3. 25. Fuente de corriente controlada con resistencia, en simulink.	65
Figura 3. 26. Modelo de simulink empleado para el panel solar.	66
Figura 3. 27. Curva de potencia del panel, obtenida de la simulación en simulink de matlab.	68
Figura 3. 28. Modelo de simulink empleado para la adquisición de valores de corriente y voltaje en el sistema de la batería.	69
Figura 3. 29. Curva de potencia de la carga LED, obtenida de la simulación en simulink de matlab.	70
Figura 4. 1. Curvas de potencia del panel, realizadas en Labview y Simulink.	73

Figura 4. 2. Curva de potencia en la carga LED, realizadas en Labview y Matlab.	76
Figura 4. 3. Alumbrado público sector Universidad Politécnica Salesiana.	77
Figura 4. 4. Lámparas de vapor de sodio para uso peatonal de 70W.	78
Figura 4. 5. Módulos LED 5050 SMD.	82
Figura 4. 6. Parámetros para el cálculo de un punto de luz. (Llumor, 2017)	83
Figura 4. 7. Mediciones de lux con el conjunto de módulos LED (1m=223lux), (2m=121lux). (Luxómetro, 2016)	83
Figura 4. 8. Mediciones de lux con el conjunto de módulos LED (3m=41lux), (4m=14lux). (Luxómetro, 2016)	84
Figura 4. 9. Mediciones de lux con el conjunto de módulos LED (5m=8lux). (Luxómetro, 2016)	84
Figura 4. 10. Dimensiones del espacio usado para las pruebas con el módulo LED.	85
Figura 4. 11. Dimensiones del módulo LED 5050.	87
Figura 4. 12. Medición de lux en parques del centro histórico de Cuenca.	89
Figura 4. 13. Medición de lux en calles y avenidas de Cuenca.	89
Figura 4. 14. Alumbrado público con sistema fotovoltaico autónomo. (Esco-tel, 2017).....	105
Figura 4. 15. Luminaria Solar ESCO-TEL operando en la noche. (Esco-tel, 2017).....	105
Figura 4. 16. Protecciones en el sistema FV realizado en el proyecto. (Esco-tel, 2017)	107
Figura 4. 17. Partidor de tensión para la etapa Panel-Regulador.	108
Figura 4. 18. Partidor de tensión para la etapa Regulador-LED.	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Principales características de las células solares. (Mohanty & Tyagi, 2015), (Céspedes, 2012)	6
Tabla 1. 2. Rendimiento de ciclo profundo, costo y grado de mantenimiento de las baterías secundarias. (R. Kannan, 2005)	16
Tabla 2. 1. Compuestos para los diferentes colores de los diodos semiconductores. (León & Lojano, 2014).....	25
Tabla 3. 1. Promedio de la radiación global por día correspondiente al año 2016. (Carrera de Ingeniería Ambiental, 2016)	36
Tabla 3. 2. Cuadro de consumo energético diario de la carga LED.	38
Tabla 3. 3. Análisis exploratorio de los parámetros físicos, del mes de noviembre del 2016.....	58
Tabla 3. 4. Análisis exploratorio de los parámetros físicos, del mes de diciembre del 2016.....	59
Tabla 3. 5. Características de Batería ULTRACELL recargable de 12V/20AH, ficha completa de parámetros eléctricos y químicos se puede observar en el ANEXO 3.....	66
Tabla 3. 6. Análisis exploratorio de los parámetros físicos de simulink, del mes de noviembre del 2016.....	67
Tabla 3. 7. Análisis exploratorio de los parámetros físicos de simulink, del mes de diciembre del 2016.....	67
Tabla 3. 8. Análisis exploratorio de los parámetros físicos de simulink, para la batería.	70
Tabla 4. 1. Cuadro promedio de potencias del panel, medidas y simuladas.	72
Tabla 4. 2. Cuadro promedio de potencias de la carga, medidas y simuladas.	74
Tabla 4. 3. Parámetros eléctricos de las lámparas de Vapor de Sodio de Alta Presión. (Sylvania, 2017)	77
Tabla 4. 4. Cuadro de resumen de valores calculados para una luminaria VSAP de 70W.....	79
Tabla 4. 5. Cuadro de valores calculados para una luminaria VSAP de 100W y 150W.....	80
Tabla 4. 6. Cuadro de valores calculados para una luminaria VSAP de 250W y 400W.....	81
Tabla 4. 7. Parámetros eléctricos del módulo LED 5050 SMD. (Singsunled, 2017).....	82
Tabla 4. 8. Resumen de valores calculados para una luminaria módulo LED 5050 de 4.9W.	86
Tabla 4. 9. Valores calculados para satisfacer una demanda de 3000 y 9000 lúmenes con el módulo LED 5050.....	88
Tabla 4. 10. Parámetros fotométricos para tráfico motorizado. (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006).....	93
Tabla 4. 11. Parámetros fotométricos para áreas peatonales y de tráfico de baja velocidad. (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006).....	94
Tabla 4. 12. Costo de elementos del sistema solar fotovoltaico empleado en el proyecto. (Proviento, 2016)	96
Tabla 4. 13. Consumo de energía de una lámpara de vapor de sodio. (Centrosur, 2017), (León & Lojano, 2014)	97
Tabla 4. 14. Consumo de energía de una luminaria LED. (Centrosur, 2017), (León & Lojano, 2014).....	97
Tabla 4. 15. Costo unitario del consumo de energía de VSAP y LED. (Centrosur, 2017), (León & Lojano, 2014)	97

Tabla 4. 16. Aproximación de costos para puntos de luz de tecnología VSAP. (Centrosur, 2017), (León & Lojano, 2014)	99
Tabla 4. 17. Aproximación de costos de mantenimiento de VSAP. (Centrosur, 2017), (León & Lojano, 2014)	100
Tabla 4. 18. Indicadores para la alternativa de VSAP.....	100
Tabla 4. 19. Aproximación de costos para puntos de luz de tecnología LED conectado a un SFV. (Orellana Lalangui & Sarango Chamba, 2015), (Proviento, 2016).....	101
Tabla 4. 20. Indicadores para la alternativa LED alimentado desde un SFV	101
Tabla 4. 21. Aproximación de costos para puntos de luz de tecnología LED alimentado desde la red eléctrica. (León & Lojano, 2014)	102
Tabla 4. 22. Indicadores para la alternativa LED alimentado desde la red eléctrica.....	102
Tabla 4. 23. Ahorro por comparación de VSAP y LED SFV en un periodo de 5 años.	103
Tabla 4. 24. Ahorro por comparación de VSAP y LED SFV en un periodo de 25 años.	103
Tabla 4. 25. Ahorro por comparación de VSAP y LED RE en un periodo de 5 años.....	103
Tabla 4. 26. Ahorro por comparación de VSAP y LED RE en un periodo de 25 años.....	104
Tabla 4. 27. Comparación de parámetros eléctricos entre VSAP y LED. (Centrosur, 2017), (León & Lojano, 2014)	109

CAPITULO I

ELEMENTOS DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

La energía solar fotovoltaica (FV) es la transformación directa de la irradiación solar en electricidad.

La energía solar fotovoltaica tiene una amplia gama de aplicaciones importantes para los humanos como generar electricidad en lugares donde no llega un tendido de red eléctrica y por otro lado para generar electricidad que se conecte a la red.

La producción de energía fotovoltaica es una alternativa para la generación de electricidad sin dar mayor impacto ambiental a la atmosfera, con una característica importante, de que a diferencia de otras energías renovables que existen en el mundo las centrales fotovoltaicas solo producen energía en el día, es decir, solo en presencia del sol. (Abella), (Plante, 2014)

1.1. INTRODUCCIÓN

En 1954 se desarrolló la primera célula solar fotovoltaica con fines experimentales en los laboratorios Bells, más tarde en 1958 y hasta la fecha todos los satélites lanzados al espacio exterior usan células solares que en un principio se los conoció originalmente con el nombre de baterías solares. (Haberlin, 2012)

Las primeras células solares se usaron en primera instancia para aplicar en pequeñas casas, en instalaciones carentes de redes eléctricas, en lugares remotos que no demanden mucha electricidad. (Haberlin, 2012)



Figura 1. 1. Los 400 Wp generadores solares en el Monte Rosa Hostel a finales de 1980. Tales albergues hoy comúnmente tienen instalaciones fotovoltaicas con un mínimo de 3 kWp de potencia (Foto: Fabrimex / Willi Maag). (Haberlin, 2012)

1.2. RADIACIÓN SOLAR

La energía emanada desde el sol hacia nuestro espacio terrestre se la conoce como la radiación solar, dicha radiación transmite energía en forma de ondas electromagnéticas a una velocidad de 300.000 km por segundo. (Farroñay)

La constante solar se puede determinar, suponiendo que los rayos solares interfieren perpendicularmente a la atmósfera terrestre, en donde por cada cm^2 de incidencia solar, el valor de la constante será de 2 cal/s. (Farroñay)

1.2.1. TIPOS DE RADIACIÓN SOLAR

1.2.1.1. RADIACIÓN EXTRATERRESTRE

Cuando la radiación solar incide perpendicularmente sobre la atmósfera terrestre en un día despejado se dice que la radiación extraterrestre exhibe un 70% aproximadamente de radiación. (Orellana & Samaniego, 2015)

La radiación extraterrestre sobre una superficie horizontal está expresada por la siguiente ecuación: (Duffie & Beckam, 2013)

$$G_O = G_{SC} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \cos \theta_z \quad (1.1)$$

Donde,

G_{SC} = constante solar

n = el día del año

θ_z = ángulo de incidencia

1.2.1.2. RADIACIÓN SOLAR DIFUSA

Se trata de la cantidad que logra llegar hasta la superficie de la atmósfera, es de trayectoria aleatoria y dispersa producto de la absorción, reflexión que ejercen los gases y aerosoles que se encuentran concentrados en la parte superior de la superficie terrestre. (Orellana & Samaniego, 2015)

1.2.1.3. RADIACIÓN SOLAR DIRECTA

A diferencia de la radiación solar difusa que tiene una trayectoria no definida, esta radiación solar directa si tiene una radiación solar claramente definida y una trayectoria en línea recta desde el sol hasta un punto ubicado en nuestra superficie terrestre, los parámetros importantes a considerar en este tipo de radiación para conocer su dirección dependen de: el día, la hora, época del año y su latitud. (Orellana & Samaniego, 2015)

1.2.1.4. RADIACIÓN SOLAR GLOBAL

La radiación solar global, como su propia palabra lo supone, engloba todas las radiaciones solares, es decir, esta radiación es la unión de las radiaciones solar difusa y directa que inciden a lo largo y ancho de todo nuestro planeta. (Orellana & Samaniego, 2015)

1.3. CÉLULAS SOLARES

La célula solar es un dispositivo electrónico que absorbe fotones de luz y emite electrones, en otras palabras, una célula fotovoltaica permite convertir la energía lumínica del sol en energía solar mediante un proceso fotoeléctrico, generando electricidad.

Consta de dos láminas semiconductoras, revestimiento anti reflectante, vidrios de protección, la tensión en los bornes bordea los 0.5 V como se observa en la figura 1.2. El principal inconveniente de este tipo de tecnología fotovoltaica es que su incidencia solar

fluctúa de una zona a otra ya que la tensión varía si el contacto frontal de la célula recibe perpendicularmente la luz solar.

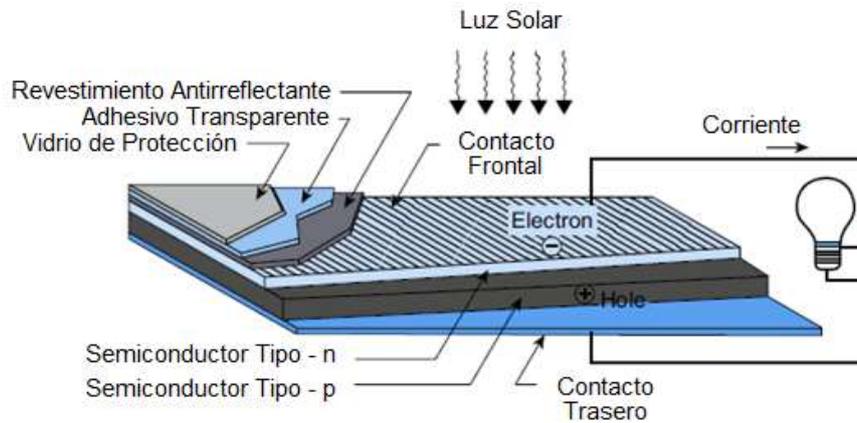


Figura 1. 2. Partes de una Célula Solar. (Mohanty & Tyagi, 2015)

1.3.1. REPRESENTACIÓN DE LAS CÉLULAS SOLARES

En general las células solares FV se representan usando un diodo con una fuente de corriente en serie o en paralelo, es decir, la cantidad de corriente producida por la fuente está directamente relacionado a la cantidad de radiación solar sobre la célula. En la figura 1.3, la función del diodo es limitar corriente para que circule en una sola dirección y no se descargue energía en ausencia del sol.

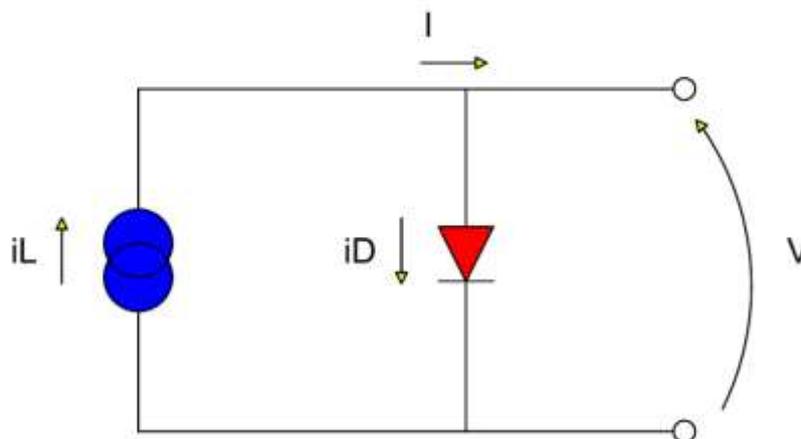


Figura 1. 3. Diagrama equivalente de una célula solar ideal. (Brooks, 2013),

La cantidad de energía entregada por una célula FV está sujeta por la presencia de resistencias parásitas no deseadas y en estos casos, estas resistencias son las que limitan la calidad de conexión eléctrica entre módulos.

La corriente inversa minimizada por la presencia del diodo define la forma de corriente de salida de un dispositivo FV en una gráfica de voltaje versus corriente como se observa en la figura 1.4, donde su ecuación característica es la siguiente: (Brooks, 2013)

$$I(V) = I_{SC} - I_0[e^{(qV/kT)} - 1] \quad (1.2)$$

Donde,

I_{SC} = Corriente proveniente de la fuente

I_0 = Corriente de saturación de la célula,

q = Carga fundamental,

k = Constante de Boltzmann

T = Temperatura de funcionamiento del dispositivo FV, medida en grados Kelvin.

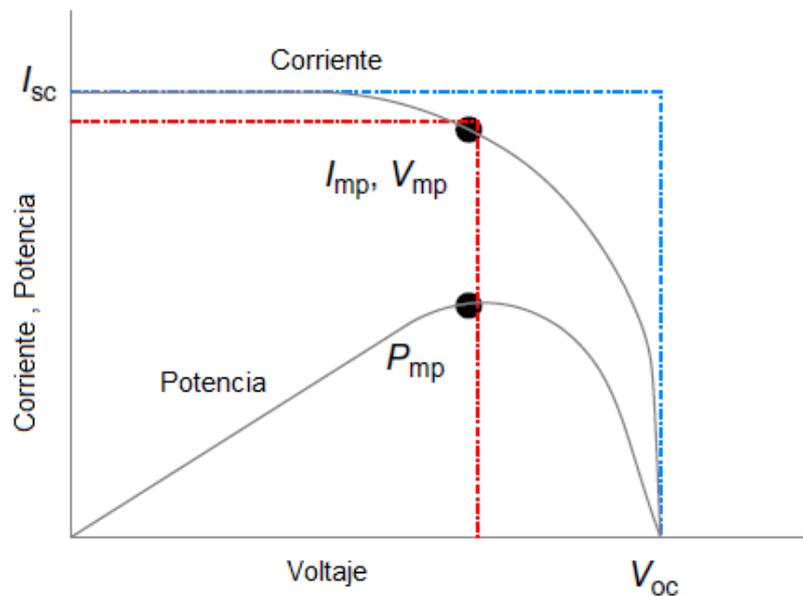


Figura 1. 4. I – V y P – V son curvas de un módulo fotovoltaico, donde el recuadro de puntos exterior (azul) representa la potencia de un diodo ideal y recuadro de puntos interno (rojo) representa la potencia máxima FV. (Brooks, 2013)

La tensión y corriente a potencia máxima es el punto a lo largo de la curva I-V donde la celda entrega su potencia máxima (P_{mp}). El voltaje de circuito abierto (V_{oc}) es el potencial disponible de la celda fotovoltaica cuando la corriente no fluye. La corriente de cortocircuito (I_{sc}) es la corriente máxima que la celda fotovoltaica puede suministrar en determinada iluminación del sol, al vacío. (Brooks, 2013)

1.3.2. EFICIENCIA Y CLASIFICACIÓN DE LAS CÉLULAS SOLARES

La eficiencia de una célula solar es un tema de interés para los investigadores de células solares y fabricantes ya que la eficiencia de cada célula solar está dada por factores como: el diseño de cada celda solar; efectos químicos de la luz solar que se compone de varios colores, donde existe una variación lumínica o energía cuántica luz que no es plenamente utilizable o aprovechada por las células solares; y por el tipo de material semiconductor que absorbe diferentes cantidades de electro Volts provenientes del sol como se observa en la figura 1.5. (Haberlin, 2012)

En la eficiencia de la célula solar también influye factores como la potencia máxima en una celda solar, factor de llenado, sus tipos según la fabricación y composición, etc.

1.3.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS SOLARES

Por el método de su fabricación y su composición se clasifican en: Silicio de Poli cristalino, Silicio Amorfo, Silicio de Mono cristalino, entre otros como se puede observar en la Tabla 1.1.

Tabla 1. 1. Principales características de las células solares. (Mohanty & Tyagi, 2015), (Céspedes, 2012)

Material	Eficiencia η (%)	Color
Silicio Amorfo	6 – 8	negro
Teluro de Cadmio	10	verde oscuro, negro
Silicio Poli cristalino	14 – 15	azul
Silicio Mono cristalino	17 – 18	azul oscuro
Solares de Concentración	28	negro
Termo fotovoltaicas	57	negro
Célula solar teñida por tinta	1 – 5	-
Fotovoltaico Orgánico	1	-

nico		
Indio y Fósforo	71	-

1.3.2.2. EFICIENCIA EN LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA

La eficiencia de una célula solar es la energía aprovechable absorbida por el panel solar conectado a un sistema fotovoltaico FV, se calcula obteniendo el porcentaje de potencia como se muestra a continuación: (Mohanty & Tyagi, 2015)

$$\eta (\%) = \frac{P_m}{E \times A_C} \quad (1.3)$$

Donde,

P_m [W] = Punto de potencia máximo

E [W/m^2] = irradiación de la luz solar

A_c [m^2] = Área superficial de la célula

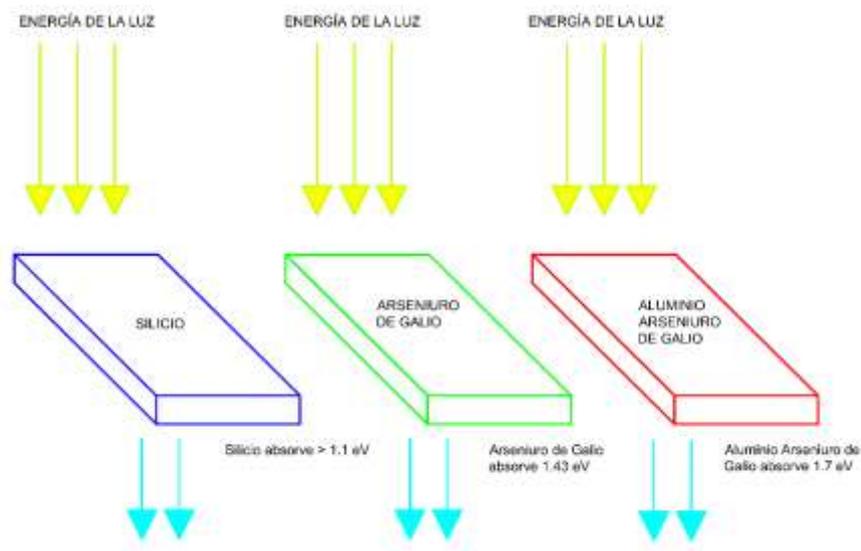


Figura 1. 5. El paso de luz a través de diferentes materiales semiconductores. (Mohanty & Tyagi, 2015)

1.3.2.3. FACTOR DE LLENADO (FF)

Es la relación que existe entre el punto de potencia máximo dividido para la corriente de corto circuito (I_{sc}) y el voltaje en circuito abierto (V_{oc}). A más de este factor un importante parámetro para medir el rendimiento de las células solares comerciales en donde

las más comunes posee un factor de llenado mayor a 0,70. (Nayak, Dutta, & Mishra, 2015)

$$FF = \frac{P_m}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (1.4)$$

Donde,

FF = Factor de Llenado

Pm = Punto de potencia máximo

Voc = Voltaje en circuito abierto

Isc = Corriente de corto circuito

1.3.2.4. PUNTO DE POTENCIA MÁXIMO (PM)

En teoría para llegar al punto de potencia máximo se puede hacer variar la resistencia de la carga del circuito eléctrico de la célula solar, mostrándose en una gráfica de P – V tal como se observó anteriormente en la figura 1.4. En los dispositivos fotovoltaicos la potencia máxima varía con respecto a la luz solar. (Martínez-Duart, 2013)

1.4. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS O PANELES SOLARES

Un panel solar está diseñado para su uso al aire libre en condiciones climatológicas duras como los ambientes tropicales, nevados, lluviosos, entre otros.

Un panel solar está formado por la interconexión de varias celdas solares que a su vez pueden estar conectadas en serie y/o paralelo. (Aparicio)

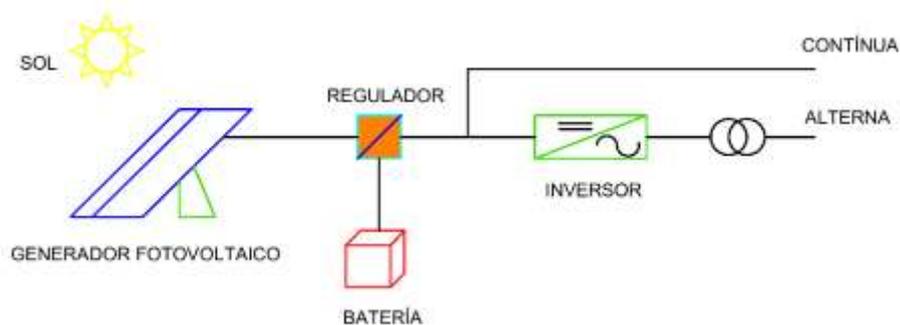


Figura 1. 6. Sistema Solar Fotovoltaico.

1.5. REGULADORES DE CARGA

Un regulador está ubicado entre el acumulador y el generador fotovoltaico. Son los encargados de realizar el control de carga y descarga de la batería. Un interruptor o relé permanece cerrado internamente en el controlador y cuando los bornes de la batería han alcanzado su nivel máximo permitido de carga estos se abren, dejando aislado así el panel con el acumulador. Cuando el acumulador está bajando de nivel se necesita elevar su voltaje y es aquí donde el interruptor se cierra en el regulador dejando fluir así corriente desde el panel hacia la batería.



Figura 1. 7. Regulador solar montado en un sistema FV para luminaria LED.

El controlador o regulador de carga tiene la función de dar información básica acerca del estado del sistema, información de la tensión nominal e intensidad máxima de trabajo a las que está funcionando el regulador, evitar sobre descarga, y evitar sobre carga. (Abella).

Proporciona funciones de control del consumo, como desconectar en un momento determinado todas las cargas conectadas al sistema fotovoltaico, priorizando cargas que sean mucho más importantes para que sigan en normal funcionamiento. (Abella)

Sirve de mecanismo de control para la interconexión de otras fuentes de energía eléctrica.

Un regulador sofisticado también debe poseer entradas auxiliares para la entrada de otras fuentes generadoras de energía eléctrica. (Abella)

1.5.1. TIPOS DE REGULADOR

Para los sistemas fotovoltaicos autónomos existen en general 2 tipos de reguladores.

- Serie

Representa básicamente un interruptor colocado en serie entre el módulo fotovoltaico y la batería, cuando el acumulador ha alcanzado un cierto valor de tensión el regulador serie desconecta. (Abella)

Como se observa en la figura 1.8, existe un interruptor colocado en serie entre el acumulador y la carga, operando de tal manera que cuando la batería empiece a caer a sus niveles mínimos de tensión el regulador serie deje de suministrar electricidad desde el acumulador hacia la carga.

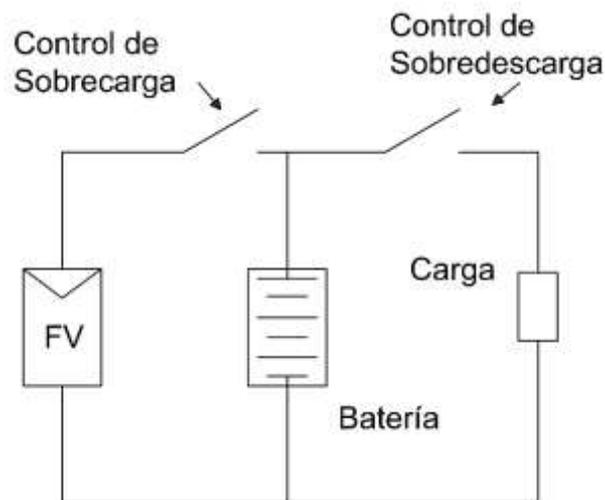


Figura 1. 8. Esquema de un regulador serie que opera como circuito abierto en caso de sobrecarga y sobredescarga, respectivamente. (Abella)

- Paralelo

El regulador paralelo, opera como disipador de exceso de energía colocado en paralelo entre un transistor y el módulo FV con el acumulador, como se observa en la figura 1.9. El instante que la tensión sobrepasa el valor nominal de carga el regulador paralelo limita la corriente de forma progresiva que llega a la batería, haciendo que la tensión se mantenga en un valor estable, permitiendo así una carga más completa y controlada en el acumulador. (Abella)

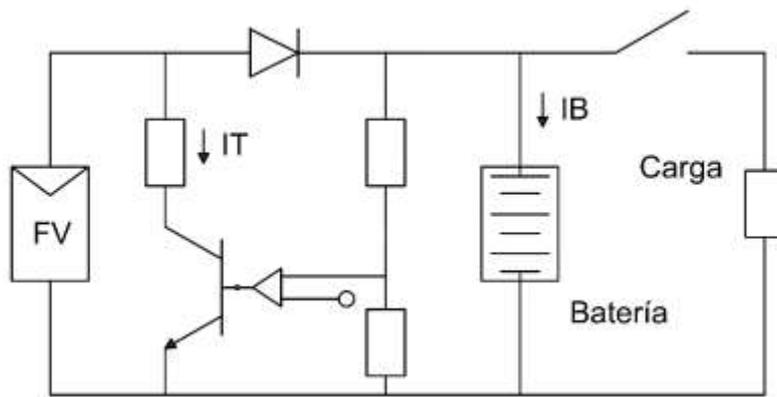


Figura 1. 9. Esquema de un regulador paralelo que opera como un circuito disipador de exceso de energía a través de un MOSFET o transistor. (Abella)

1.5.2. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL REGULADOR

Las características a tener en cuenta dentro de un controlador son las de tensión y corrientes nominales, 12V, 24V y 48V.

- Tensiones de regulación para el controlador
- Regulación de sobrecarga V_{sc} , se da en el instante en que el acumulador alcanza un valor de sobrecarga V_{sc} , en ese momento el regulador empieza a limitar el paso de la cantidad de corriente del generador FV hacia la batería e incluso puede llegar a desconectarlo si amerita la situación.
- Regulación de sobredescarga V_{sd} , generalmente se considera que una sobredescarga se da en el momento cuando la batería está próxima a alcanzar un voltaje cercano a 0V, pero para los acumuladores en los sistemas fotovoltaicos existe un valor porcentual tope de entre 75-90% de profundidad de descarga para las baterías de 12V que son generalmente de plomo – ácido. (Abella)

1.6. INVERSORES

El inversor es un dispositivo eléctrico que tiene la función de captar la señal de corriente continua DC y transformarla en corriente alterna AC, otra importante función del inversor es la de mantener constante la tensión en el lado de AC con la mayor eficiencia po-

sible, así como también la regulación de la tensión de salida, y la operación cerca del pico de trabajo.

El rendimiento viene dado por

$$\eta_{inv} = \frac{P_{sal}}{P_{in}} = \frac{V_{ac} * I_{ac} * \cos(\varphi)}{V_{ac} * I_{dc}} \quad (1.5)$$

Donde,

$\cos(\varphi)$ = Factor de potencia

I_{dc} = Corriente requerida por el inversor de lado de DC; control de corriente

V_{dc} = Tensión requerida por el inversor de lado de DC; control de voltaje

I_{ac} = Corriente a la salida del inversor

V_{ac} = Tensión a la salida del inversor

Un inversor también puede incluir un sistema de protección de falla a tierra que cumple la misión de proteger al convertidor contra corto circuitos e incluso detecta si hay conexiones deficientes del generador fotovoltaico al inversor y viceversa. En estos dispositivos la eficiencia varía entre 85 – 95% llegando a depender del fabricante. (Plante, 2014)

En términos generales los inversores, para poder optimizar el rendimiento a la salida de estos dispositivos se aplica una técnica del punto máximo de potencia (MPPT) que se basa en el ajuste de cargas aplicadas, aun cuando también un buen rendimiento en el inversor dependerá de su punto de trabajo y funcionamiento, distorsión armónica, eficiencia y calidad en los paneles. (Plante, 2014)

1.7. ACUMULADORES DE ENERGÍA

Los acumuladores son una parte sensible dentro de un sistema aislado puesto que necesita ser revisado periódicamente ya que siempre están almacenando y descargando energía eléctrica, corriendo el peligro de sobrecargas y sobredescargas, las baterías más comunes que se usan en sistemas fotovoltaicos son las de plomo – ácido.

El tiempo de vida útil de un acumulador está sujeto a sus características eléctricas, al tipo y tiempo de cargas conectadas, factores ambientales, fabricante, y otros parámetros que acortan la eficiencia y rendimiento de las baterías.

A la hora de seleccionar una batería se debe tomar en cuenta principalmente el tipo de carga.

Dentro de un sistema autónomo el elemento que representa el mayor gasto de un sistema FV es precisamente la batería, y en la mayoría de casos la duración es de hasta 5 años. (Style, 2012)

Las funciones principales del acumulador de energía son:

- Almacenamiento de energía que proviene del módulo fotovoltaico y suministrador de energía para la carga.
- Estabilizar la corriente en un nivel que opere normalmente para las cargas deseadas.
- Entregar un valor constante de tensión sin presencia de armónicos a las cargas. (R. Kannan, 2005)

Actualmente se puede encontrar diversos tipos de baterías, los más usados el de plomo-acido, níquel-cadmio, litio, entre otros.

1.7.1. PARTES CONSTRUCTIVAS DE UNA BATERÍA

Dentro de una batería los elementos de mayor importancia son:

- Rejilla: El material de una rejilla está hecho de una aleación especial de plomo y básicamente cumple la misión de ser soporte para la materia activa. (Abella)
- Electrolito: Es un elemento conductor que cumple la misión de interactuar en el flujo de electrones entre una y otra placa. (Abella)
- Material Activo: Son los materiales que conforman las placas positivas y negativas, a su vez son proporcionales a la capacidad (Ah) de la batería. (Abella)
- Célula: Consiste en un conjunto de placas positivas y negativas, que están debidamente aisladas una de la otra, inmersas en el electrolito. (Abella)
- Placas: Se los conoce también como electrodos y consisten en una rejilla con material activo, en cada célula existe un determinado grupo de placas conectadas en paralelo a una matriz tanto para la parte positiva, como para la negativa de la

batería, además se dice que entre más gruesa es la placa mejor es el ciclado. (Abella)

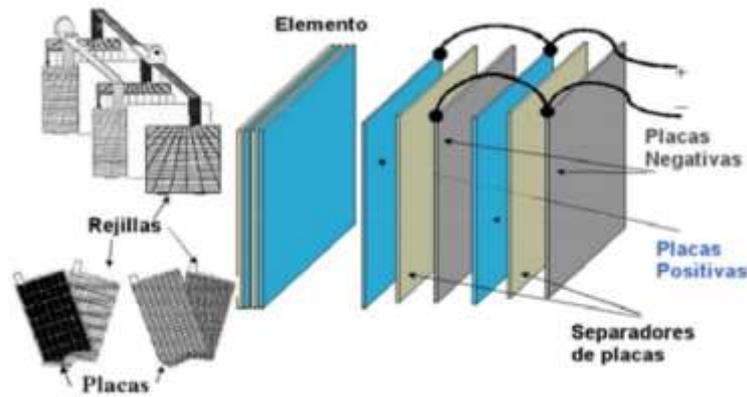


Figura 1. 10. Partes de una batería de plomo-ácido. (Abella)

1.7.2. CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS

Los acumuladores más usados en nuestro medio son las de tipo plomo-ácido y de ion de litio, que tienen una amplia gama de aplicaciones en sistemas FV. En general las baterías de almacenamiento eléctrico se dividen en acumuladores primarios y acumuladores secundarios.

Las baterías primarias pueden almacenar y suministrar energía eléctrica, pero no pueden recargarse, es por esto que no pueden ser empleadas para sistemas aislados fotovoltaicos, mientras que las baterías del tipo secundario si son empleadas para una instalación FV y las más comunes son las que se muestran en la Tabla 1.2.

La capacidad nominal de un acumulador cualesquiera es el número de amperios hora (Ah) que se captan al máximo bajo condiciones de descarga. (Kalogirou, 2014)

La eficiencia en una batería se obtiene de la diferencia entre la carga extraída en el instante en que se está dando la descarga, dividido para la cantidad de carga necesaria para normalizar los niveles de carga iniciales (SOC). (Nayak, Dutta, & Mishra, 2015)

Entonces, el SOC es la diferencia que existe entre la capacidad actual de carga de la batería y la capacidad nominal de esta, se puede expresar como: (Kalogirou, 2014)

$$SOC = \frac{q}{q_{max}} \quad (1.6)$$

Donde,

SOC = Estado de carga inicial

q = capacidad actual de la batería

qmax = capacidad nominal

Como se observa en la ecuación 1.6, qmax no puede tener un valor de 0, entonces SOC va a tener valores en el rango de 0 a 1. Cuando SOC tiende a 1 significa que la batería esta próxima a cargarse, del mismo modo cuando SOC tiende a 0 significa que la batería está descargándose. (Kalogirou, 2014)

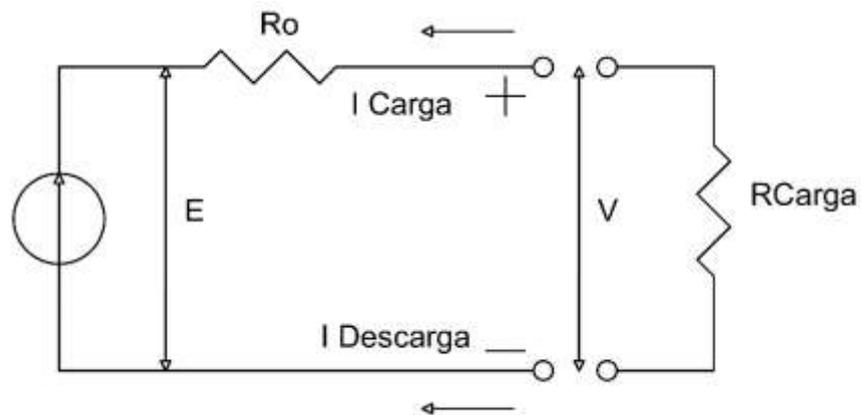


Figura 1. 11. Diagrama equivalente de una batería. (Kalogirou, 2014)

Un acumulador también puede ser observado como una fuente de tensión colocado en serie con una resistencia interna, como se ilustra en la figura 1.11, el circuito tiene la ecuación (1.7): (Kalogirou, 2014)

$$V = E - IR_o \quad (1.7)$$

Tabla 1. 2. Rendimiento de ciclo profundo, costo y grado de mantenimiento de las baterías secundarias.

(R. Kannan, 2005)

Tipo de Batería	Rendimiento	Costo	Mantenimiento
Plomo-Acido Inundado			
Ventilación Abierta Plomo-calcio	Pobre	Alto	Medio
Ventilación Sellada Plomo-calcio	Pobre	Alto	Bajo
Plomo-Antimonio	Bueno	Alto	Alto
Plomo antimonio / Calcio híbrido	Bueno	Medio	Medio
Electrolito Cautivo Plomo-Acido			
Gelificado	Aceptable	Medio	Bajo
De vidrio absorbente	Aceptable	Medio	Bajo
Níquel Cadmio			
Placa sinterizada sellada	Bueno	Alto	Nulo
Bolsa de placa inun- dada	Bueno	Alto	Medio

CAPITULO II

ALUMBRADO PÚBLICO

El alumbrado público es un servicio destinado a la iluminación de calles, vías, carreteras, parques, y cualquier otro espacio de libre circulación, ayuda a mejorar la visibilidad nocturna de personas y conductores, logrando así evitar accidentes de tránsito, prevenir asaltos, robos, realizar varias actividades de venta y comercio, además fundamental importancia tiene que ver con el hecho de que una buena iluminación consigue dar un realce a las ciudades con lo que se incentiva al turismo. (Radocha & Baumgartner)

Hoy en día, en todas las ciudades del mundo existe una clara tendencia en el crecimiento de la población es por esta razón que los gobiernos municipales han visto necesaria la expansión a más sitios para cubrir la demanda de alumbrado público, a esto se le puede añadir el crecimiento de tránsito vehicular, mejorar la seguridad ciudadana, construcción de más vías públicas, e incluso fomenta el turismo en las ciudades, mejorando así los ingresos económicos de pequeñas industrias y centros comerciales. (Radocha & Baumgartner)

Los fabricantes de las grandes marcas de luminarias están en proceso de diseño lámparas que contengan la mayor eficiencia energética posible, con bajo consumo eléctrico, alta luminosidad y rentabilidad, para disminuir el impacto ambiental producido a la atmosfera. Las luminarias más comunes en el alumbrado público son las de vapor de mercurio y de vapor de sodio, actualmente las LED "Light emitting diode" que en español significa diodo emisor de luz, su eficiencia en la iluminación es mucho mejor comparadas con las de vapor de sodio y mercurio, además representan un menor costo de consumo eléctrico siendo este un factor determinante en el ahorro de energía eléctrica.

2.1 INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años la tecnología de las lámparas ha ido mejorando su calidad y eficiencia, cada vez con grandes resultados. (Perez Rios)

En 1944 se empleó por primera vez las lámparas fluorescentes para alumbrado público, estas lámparas nacieron del resultado de combinar un arco de mercurio de aproximadamente 15 watts dentro de un tubo de vidrio elaborado con sales minerales fluorescentes, el resultado tuvo un impacto positivo para los productores ya que se podían elaborar

lámparas de diferentes tamaños y colores, estas luces de colores lo definían la presión de vapor y diferentes químicos fluorescentes, la principal ventaja de estas lámparas fue su reducido consumo eléctrico y alta eficiencia de luminosidad, por lo que se lo comercializo a nivel mundial. (Perez Rios)

2.2. LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO DE ALTA PRE- SIÓN EN ALUMBRADO PÚBLICO

Generalmente este tipo de lámparas tienen la forma de un elipsoide dentro de la cual están todos los componentes necesarios para realizar el proceso de iluminación, también poseen rendimiento luminoso mucho mejor que las lámparas incandescentes en iguales condiciones de consumo eléctrico.

2.2.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN

El principio de operación entre las lámparas de vapor de mercurio y las fluorescentes son de similares características, la diferencia entre estas dos tecnologías radica en que el rendimiento luminoso es mucho mejor en las lámparas de mercurio, oscila en los 60 lm/W, debido a la mayor presión en el tubo de descarga. (Senner, 1994)

Las lámparas de vapor de mercurio tienen la forma de un elipsoide, dentro de este se encuentra el tubo de descarga que contiene vapor de mercurio, a su vez con dos electrodos, el uno principal y el otro auxiliar o de arranque. Para lograr encender esta lámpara, primero los dos electrodos donde ingresa la tensión deben estar conectados a una fuente de 220 V, aunque debe hacerse con una impedancia que controle la corriente o sea un balasto, este tipo de lámparas presentan una desventaja de tener una resistencia negativa. (King, 2003)

Conforme aumenta la temperatura en el tubo de descarga, crece la presión y con ello se eleva la temperatura produciéndose dentro del tubo un flujo luminoso creciente, que tarda entre 3 y 5 minutos en encenderse totalmente, por acción del electrodo de arranque, luego para apagar la lámpara se lo realiza normalmente, tomando en cuenta que, si se requiere encenderla nuevamente, debemos necesariamente esperar que la lámpara se enfríe, para que regrese a sus condiciones iniciales. (Senner, 1994)

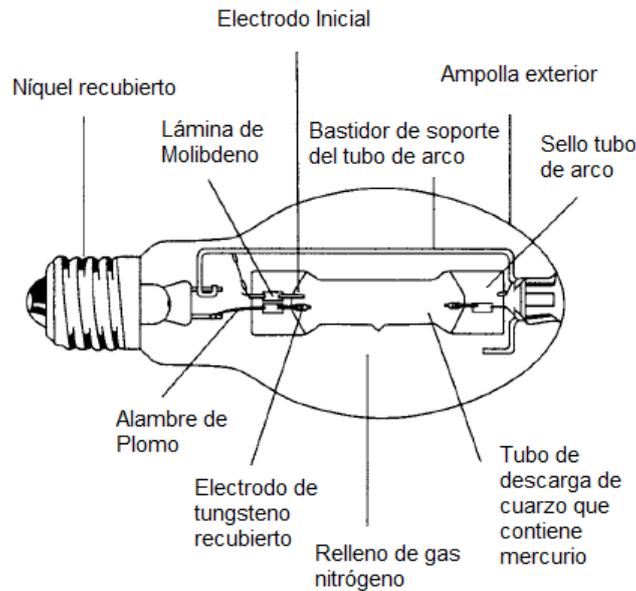


Figura 2. 1. Componentes de una lámpara de vapor de mercurio a alta presión. (King, 2003)

2.2.2. VIDA ÚTIL Y BALANCE ENERGÉTICO.

La vida útil esta entre las 6000 y 8000 horas, dependiendo la potencia de cada lámpara, existen pérdidas por calor, para mejorar la potencia se añaden más sustancias fosforescentes convirtiendo la luz ultravioleta en luz visible.

Un tipo especial de las luminarias de mercurio son las llamadas luminarias de mercurio halogenada o con halogenuros, éstos están compuestos de minerales especiales como el talio, indio, holmio que se excita en la fase preliminar del encendido dentro del tubo de la lámpara para obtener un mejor rendimiento luminoso. (Lámparas y sus componentes)

Las condiciones iniciales de operación son similares a las ya mencionadas lámparas de mercurio de alta presión, pero con una diferencia, al existir la presencia de halogenuro en el interior del tubo, para poder encender la lámpara se necesita una tensión mayor a la que ofrece la red de alimentación, unos 200/380V por lo que es importante que este tipo de lámparas vengan con un arrancador que va desde los 2 a 5kV de tensión. (Lámparas y sus componentes)

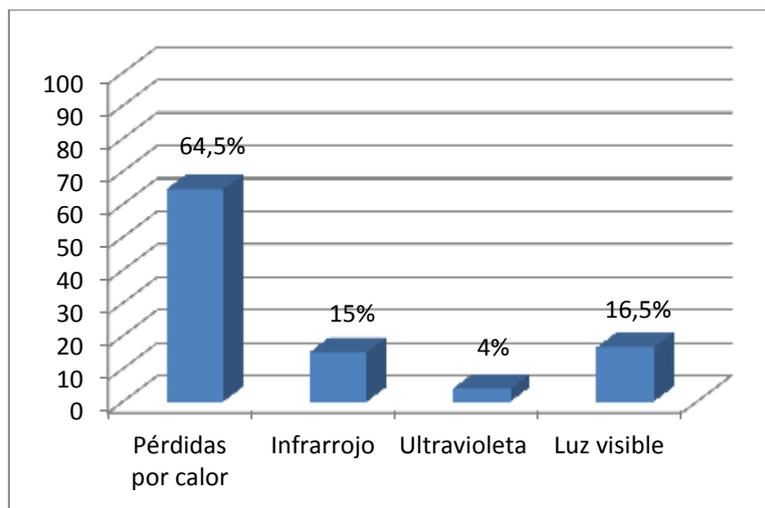


Figura 2. 2. Balance energético de una lámpara de vapor de mercurio de alta presión. (Zaldumbide Cevallos, 2012)

Para lograr que se conecte a la red debemos tener en cuenta que hay que controlar la corriente y para ello la conexión debe realizarse a través de una reactancia. (Lámparas y sus componentes)

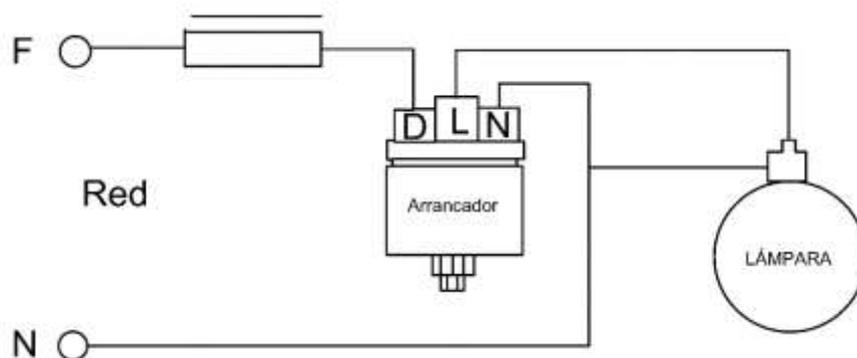


Figura 2. 3. Circuito de arranque para encendido de lámpara con halogenuro. (Lámparas y sus componentes)

Cuando se le agrega sustancias como el talio, indio se obtiene una eficiencia luminosa que bordea los 90 lm/W, el tiempo de vida útil de estas lámparas es de 8000 horas aproximadamente, pero esto dependerá básicamente de la potencia, tipo y el fabricante de la lámpara. (Lámparas y sus componentes)

La curva de distribución espectral es más continua y estable en este tipo de lámparas, solamente hay una cresta en los 540nm aproximadamente que corresponde al color de los verdes, la curva está dada por la energía espectral y la longitud de onda, tal como se indica en la figura 2.4. (Lámparas y sus componentes)

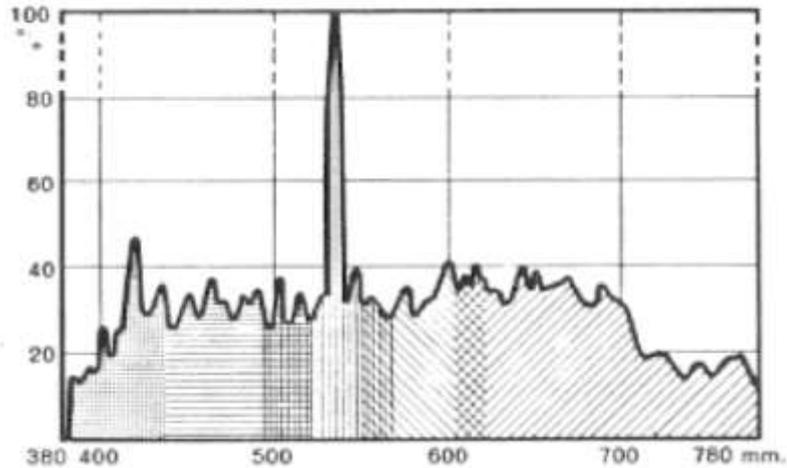


Figura 2. 4. Distribución espectral continua, con cresta en la zona de los verdes. (*Lámparas y sus componentes*)

2.3. LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN EN ALUMBRADO PÚBLICO

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión tienen una alta eficacia lumínica, para mejorar la luminosidad se aumenta la presión del vapor de sodio consecuentemente aumenta la temperatura y para mejorar el espectro visible se añade una pequeña cantidad de polvo de mercurio.

2.3.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Las lámparas de vapor de sodio no tienen electrodo para su encendido, entonces para encender una lámpara de sodio de alta presión se le suministra una tensión mayor a la red eléctrica en forma de un pulso eléctrico que generalmente oscilan entre 2 a 5 kV, esto se logra mediante un pequeño transformador de dispersión acoplado en la lámpara que también sirve para limitar el paso de corriente excesiva que pueda dañar el tubo de descarga. (Zaldumbide Cevallos, 2012)

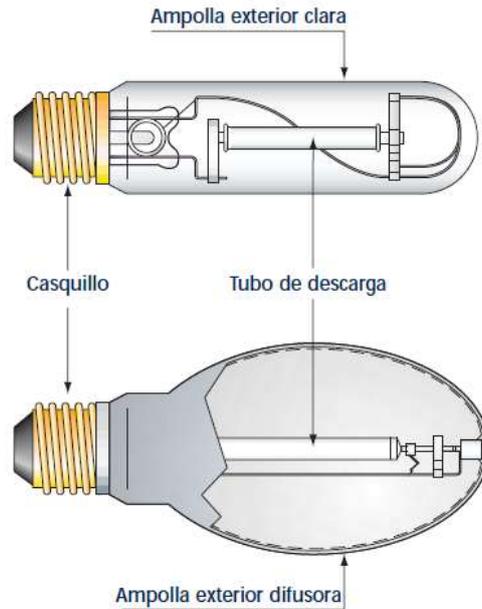


Figura 2. 5. Componentes de una lámpara de vapor de sodio a alta presión. (*Carachure Castañeda*)

2.3.2. VIDA ÚTIL Y BALANCE ENERGÉTICO

La vida útil de estas lámparas está sujeta a su diseño constructivo, a su potencia disponible, al deterioro de los extremos del tubo de arco cuando por el tiempo de uso se va degenerando y adquiriendo una coloración opaca, incluso la mezcla de impurezas con el sodio va diluyendo la vida útil de las lámparas, es por eso que generalmente las lámparas de vapor de sodio de alta presión tienen una vida útil que bordea las 20000 horas. (*Zaldumbide Cevallos, 2012*)

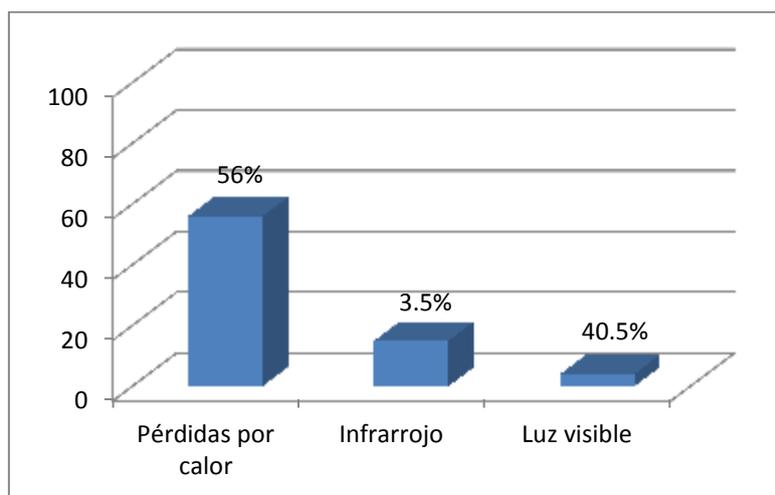


Figura 2. 6. Balance energético de una lámpara de vapor de sodio de alta presión. (*García Fernández*)

2.4. LUMINARIAS LED EN ALUMBRADO PÚBLICO

2.4.1. GENERALIDADES

El uso de la tecnología LED "Diodo Emisor de Luz" viene creciendo enormemente en la industria del alumbrado tanto para interiores como exteriores, dicha tecnología pretende disminuir parte de la contaminación ambiental, contaminación lumínica, ahorro en el consumo energético, entre otros factores.

2.4.2. PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Cuando se le ingresa corriente continua desde una fuente en DC al diodo, este se polariza directamente y en conjunto con la corriente, excitan al material semiconductor, produciéndose así una luz de un solo color, dicho color que tenga el LED dependerá de las características con las que fue construido el semiconductor. (Zaldumbide Cevallos, 2012)

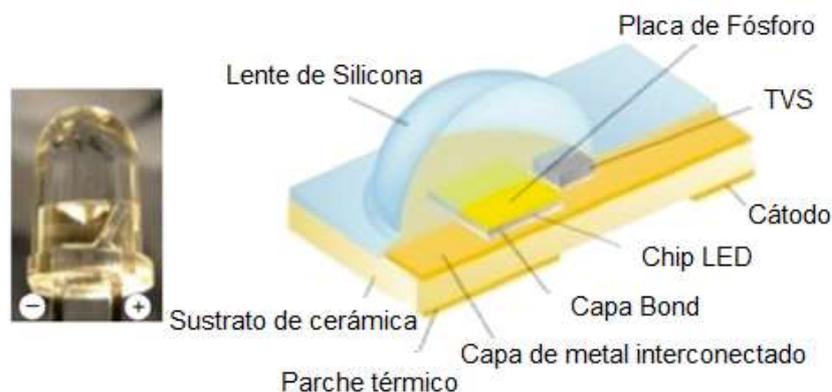


Figura 2. 7. Partes constructivas de un diodo semiconductor. (El-Zein, 2013)

Las composiciones más importantes dentro de un LED para la obtención de determinados colores, tenemos los siguientes elementos necesarios para obtener un color específico, tal y como se indica en la Tabla 2.1.

2.4.3. AVANCES Y NUEVAS TENDENCIAS EN LA TECNOLOGÍA LED

Los LED en la actualidad se enfoca a la mejora de los resultados cuantitativos de los sistemas y a su integración lumínica. Recientemente, algunos dispositivos llegaron para

garantizar una eficacia luminosa de hasta 170 lm / W (lámpara CREE, potencia 7,3 W, flujo luminoso de 1,250 lm); Estos resultados son producto de los avances realizados en todos los elementos que componen el sistema, desde los chips a la óptica, de los conductores a la gestión térmica. (Reggiani & Farini, 2015)

Cabe destacar que estas mejoras, que se realizan en términos de rendimiento energético, no tienen repercusiones negativas a la pureza y calidad de la emisión, ya que permanece en el nivel óptimo. La mayoría de los estudios se enfocan a la optimización del rendimiento de los chips, a la elaboración de sistemas de control para la estabilización de las cualidades ópticas y particularmente en relación con la degradación espectral y la duración real. (Reggiani & Farini, 2015)

Actualmente se tiene Módulos LED en AC para iluminación exterior, que se conecta directo a 230V, es el caso del módulo CLARA IP65 LED de Optoga que facilita el diseño de luminarias exteriores protegiéndolas del agua y la humedad.

CLARA AC IP65 permite evitar a los fabricantes el uso de envolventes costosas para los módulos LED, ya que pueden conectar directamente a 230V.

Clara AC IP65 está disponible en 2 potencias, de 6W que ofrece 600lm de flujo luminoso y 10W con 900lm, ambas potencias con temperaturas de color de 2.700°K, 3.000°K y 4.000°K, con una vida estimada superior a las 50.000h. (LED Revista)

2.4.4. OBTENCIÓN DE LUZ BLANCA USADA EN ALUMBRADO PÚBLICO

Normalmente los LED de color blanco no se los puede encontrar con facilidad en la industria de la iluminación, se pueden ensayar dos métodos para obtener luz blanca en los diodos semiconductores: el primero es usar tres LED y mezclar los 3 colores rojo, verde y azul, haciendo esto se puede obtener luz blanca. El otro método consiste en usar un material de fósforo para transformar la luz monocromática de un diodo azul o LED ultravioleta de amplio espectro de luz blanca. (Reggiani & Farini, 2015)



Figura 2. 8. Carcasa del módulo LED ofrece una resistencia de impacto de IK08. (*LED Revista*)

Tabla 2. 1. Compuestos para los diferentes colores de los diodos semiconductores. (*León & Lojano, 2014*)

Color	Composición del Semi-conductor	Longitud de Onda
Azul	Nitruro de Galio en indio	450 nm
Azul	Carburo de Silicio	480 nm
Amarillo, Anaranjado y Rojo	Arseniuro fosfuro de Galio	630 nm
Rojo e Infrarrojo	Arseniuro de Galio y Aluminio	890 nm
Infrarrojo	Arseniuro de Galio	940 nm
Verde	Nitruro de Galio	525 nm
Verde	Fosfuro de Galio	555 nm

Si el objetivo es únicamente obtener luz blanca, no existe problema en usar el primer método de la combinación de colores primarios, como se observa en la figura 2.9. Así mismo recientemente en el mercado se ha introducido un nuevo tipo de LED Ámbar que ayuda a la obtención de luz blanca.

2.4.5. VIDA ÚTIL

El encendido de estos LED es instantáneo y su tiempo promedio de vida útil bordea las 50000 horas, y su temperatura de funcionamiento es de 40 °C menor a las lámparas de vapor de mercurio y vapor de sodio que funcionan a más de 100 °C. (León & Lojano, 2014)

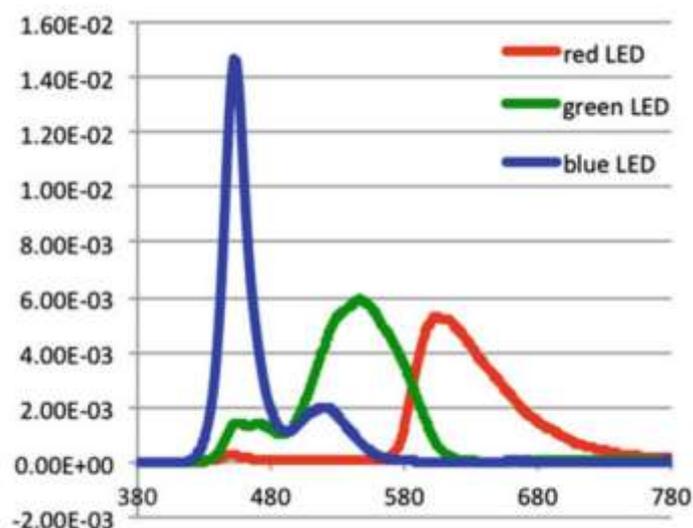


Figura 2. 9. Emisión espectral de un LED de tres colores. (Reggiani & Farini, 2015)

2.5. PARÁMETROS GENERALES Y DISTRIBUCIÓN VIAL DEL ALUMBRADO PÚBLICO

2.5.1. PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Según la regulación del CONELEC 008/11, tenemos las definiciones de algunos parámetros luminotécnicos:

Deslumbramiento: Es la acción de querer observar y a la vez existe dificultad de percibir ciertos objetos, debido a que existe una inadecuada repartición de distribución de luminancias. Una excesiva luminancia de lámparas y espacios iluminados puede ocasionar deslumbramiento y reducir el contraste de los objetos. (CONELEC, 2006)

Flujo Luminoso ϕ : Es la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible, siendo su unidad el lumen (lm). (CONELEC, 2006)

Iluminancia (E): Es el flujo luminoso recibido por una superficie, siendo así su unidad el lux (lx) y se lo puede representar también como lm/m^2 . (CONELEC, 2006)

Intensidad Luminosa (I): Es el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta, siendo su unidad la candela (cd). (CONELEC, 2006)

Luminancia (L): Es la relación existente entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista desde el ojo humano en una determinada dirección, siendo su unidad la cd/m^2 . (CONELEC, 2006)

Factor de Uniformidad en la iluminación: Es la relación entre la iluminancia mínima y la iluminancia máxima sobre superficie, $E=E_{\text{mín}}/E_{\text{max}}$. (Caminos, 2011)

Índice de reproducción cromática CRI: En el alumbrado público es la forma en cómo se reproducen los colores de los objetos que se iluminan. (Zaldumbide Cevallos, 2012)

2.5.2. SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

A continuación, se detallará algunos de los sistemas más empleados en nuestro medio para las vías públicas:

2.5.2.1. UNILATERAL

Este sistema de punto de luz está dispuesto a un solo lado de la vía pública en la acera, es usado cuando la calzada es de anchura estrecha y no supera la altura del poste.

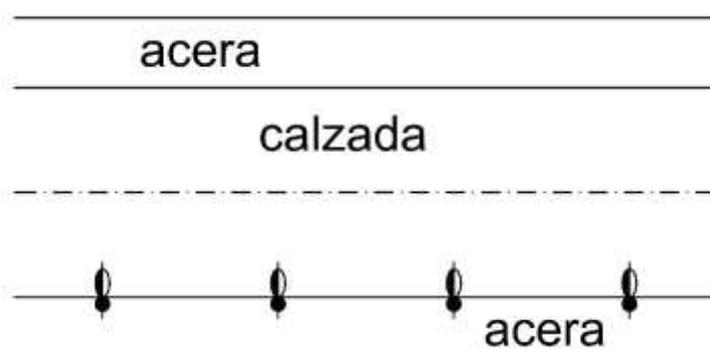


Figura 2. 10. Implantación Unilateral. (IDAE & CEI)

2.5.2.2. TRESBOLILLO

Esta disposición de puntos de luz consta de situar las luminarias en forma de zigzag en ambos lados de las vías, este sistema será usado cuando la anchura de la calzada sea de 1,2 a 1,5 veces la altura del poste de iluminación. (IDAE & CEI)

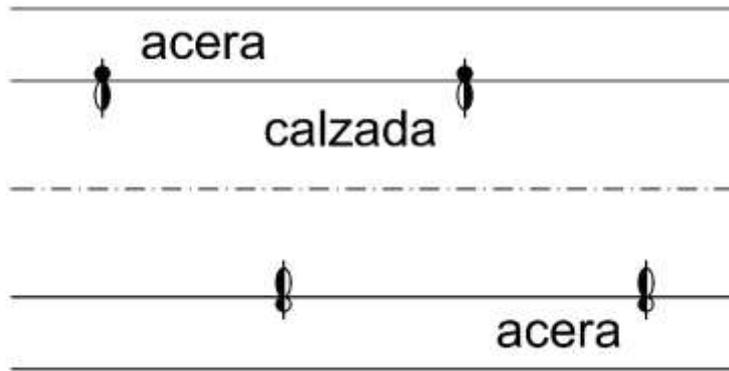


Figura 2. 11. Implantación Tresbolillo. (IDAE & CEI)

2.5.2.3. BILATERAL PAREADA

Tiene la característica de que cada poste de iluminación se coloca a lo largo de la vía uno en frente del otro. Normalmente este sistema se usa cuando la anchura de la calzada es mayor a 1,5 veces la altura del poste de iluminación. (IDAE & CEI)

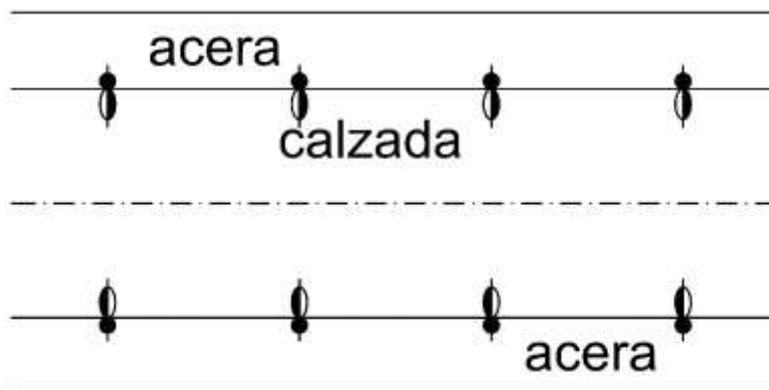


Figura 2. 12. Implantación Bilateral Pareada. (IDAE & CEI)

2.5.2.4. CENTRAL O AXIAL

Como se observa en la figura 2.13, este sistema se propone cuando en las vías de tráfico hay una separación central, en donde los vehículos circulan en ambos sentidos, los pun-

tos de luz se colocan en la parte central de la vía cuando la anchura de ésta esté en el rango de 1 a 3 metros de calzada. (IDAE & CEI)

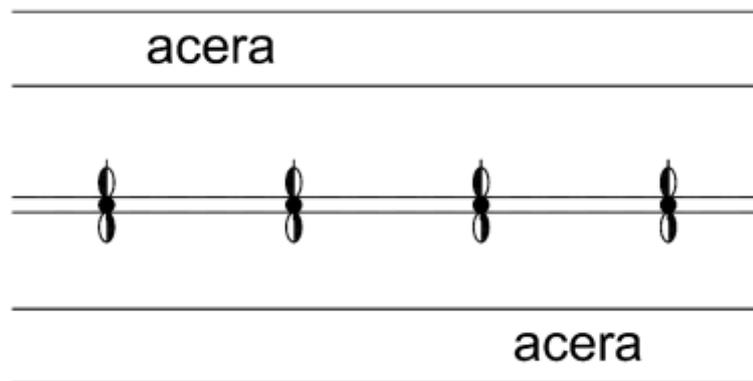


Figura 2. 13. Implantación central o axial. (IDAE & CEI)

2.5.2.5. CATENARIA

Este sistema de puntos de luz consta de disponer axialmente cables longitudinales que están sujetos a verticales de iguales tamaños. (IDAE & CEI)

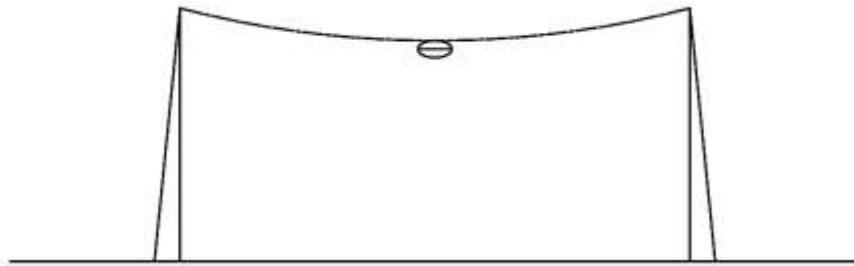


Figura 2. 14. Implantación Catenaria. (IDAE & CEI)

2.6. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Son un conjunto de radiaciones de todas las longitudes posibles que viajan a través del vacío en distintas frecuencias y algunas de éstas pueden ser percibidas por el ojo humano. (León & Lojano, 2014)

Algunas clases de radiaciones electromagnéticas pueden ser: Infrarrojos, Microondas, Ondas de radio, Rayos X y Rayos Gamma, Ultravioleta, (León & Lojano, 2014)

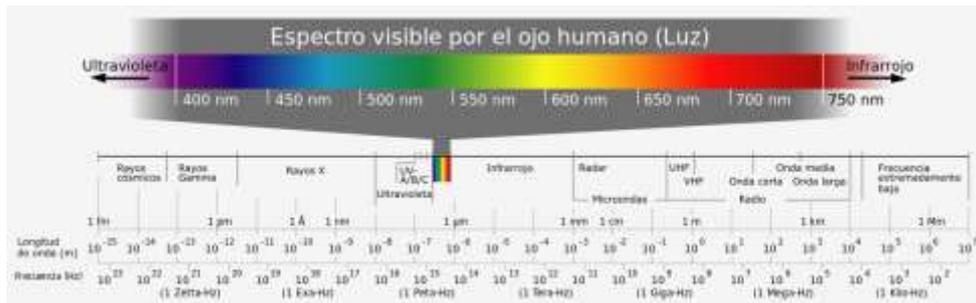


Figura 2. 15. Espectro Electromagnético. (León & Lojano, 2014)

Teniendo la velocidad de la luz en el vacío y la frecuencia, que se puede calcular la longitud de onda mediante la siguiente ecuación: (León & Lojano, 2014)

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

Donde,

λ = Longitud de onda

c = Velocidad de la Luz en el vacío ($c=3 \cdot 10^8$ m/s)

f = frecuencia

2.7. TONOS DE LUZ LED EN EL ALUMBRADO PÚBLICO

Hoy en día existen diferentes colores y tonalidades de luz LED para diferentes ambientes de alumbrado, entre los más conocidos se encuentran las luminarias de tono blanco LED cálido, frío y neutro.

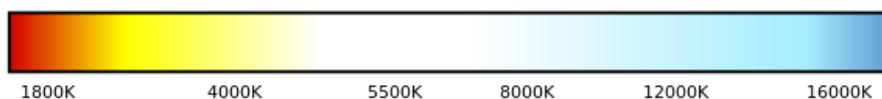


Figura 2. 16. Rangos de colores en grados kelvin. (MUCHOS LED)

Luz Blanca muy Cálida o Ámbar: Entran en el rango de los 1500°K a 3000°K, y generalmente son de color amarillo, anaranjado. (MUCHOS LED) (DOSSIER LED, 2011)

Luz Blanca Cálida: Este tipo de luz comprende entre los rangos de 3000°K a 4500°K. (MUCHOS LED) (DOSSIER LED, 2011)

Luz Blanca Neutro: Se ubica en el rango de 4500°K a 5500°K, su color se asemeja a la luz del sol por la mañana, son luces que se las aplica mayoritariamente en espacios públicos y parques. (MUCHOS LED) (DOSSIER LED, 2011)

Luz Blanca Fría: Ocupan el rango de 5500°K a 6500°K, se trata de una luz con una tonalidad azulada. (MUCHOS LED) (DOSSIER LED, 2011)

2.8. CÁLCULO DE LUMINARIAS

2.8.1. FACTOR DE UTILIZACIÓN Y CÁLCULO

El factor de utilización (fu) es la relación existente entre el flujo luminoso emitido a la superficie del suelo y el flujo nominal emitido por la lámpara encendida. El factor de utilización viene dado como dato de placa de cada fabricante y se obtiene de las curvas de utilización. (León & Lojano, 2014)

Las luminarias de alumbrado público constan de dos curvas que se la designan como k_1 que se hace referencia al flujo luminoso visto desde la luminaria instalada hacia todo el frente de la calzada, y el k_2 que hace referencia al flujo luminoso tomado en cuenta desde la instalación de la luminaria hacia atrás, orientado a los domicilios, casas, etc. (León & Lojano, 2014)

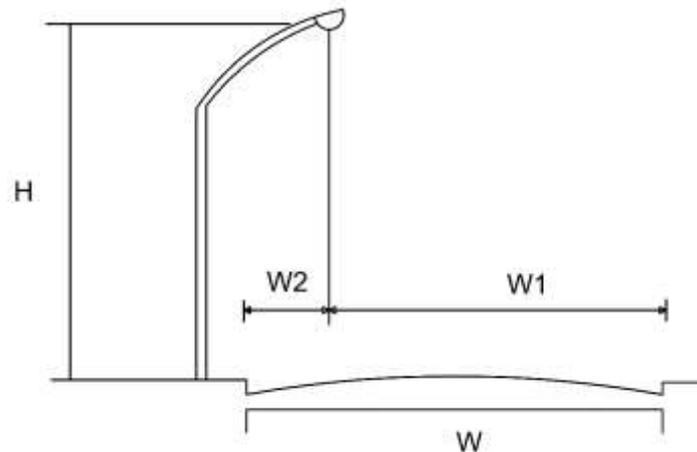


Figura 2. 17. Coeficiente de utilización. (León & Lojano, 2014)

2.8.2. FACTOR DE MANTENIMIENTO

Se determina los parámetros como: Factor de depreciación del flujo de la lámpara, factor de supervivencia de la lámpara y depreciación de la luminaria, la cual representamos en la siguiente ecuación 2.2: (León & Lojano, 2014)

$$f_m = FDFL * FSL * FDLU \quad (2.2)$$

Dónde:

FDFL= Factor de depreciación del flujo de la lámpara

FSL= Factor de supervivencia de la lámpara

FDLU= Factor de depreciación de la luminaria

X= Grado de Protección (0,1,2,3,4,5,6,7,8)

CAPITULO III

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

Los sistemas fotovoltaicos aislados más habituales son de poca potencia, es así que, luego de haber realizado la conversión fotovoltaica, se puede cubrir una determinada demanda en lugares donde es complicado que se llegue con la red eléctrica. (Abella)

La generación fotovoltaica produce corriente continua y tensión continua lo que le hace ser un sistema práctico para la aplicación de sistemas de iluminación LED.

Los sistemas autónomos fotovoltaicos pueden dividirse según su aplicación: (Abella)

- Sistemas para agricultura
- Sistemas de electrificación
- Sistemas avanzados

Los sistemas para la agricultura, están relacionados con los sistemas de bombeo de agua para los cultivos. (Abella)

Los sistemas de electrificación hacen énfasis a dos tipos de sistemas, los primeros se los conoce como sistemas distribuidos que son casas de consumo de energía reducido, los sistemas centralizados son utilizados para un sistema fotovoltaico para un pueblo aislado de la red eléctrica. (Abella)

Los sistemas avanzados se los conoce también como sistemas profesionales, la aplicación de estos sistemas fotovoltaicos se los realiza en lugares aislados de la red eléctrica, y en su mayoría trabajan directamente con cargas en DC, sus aplicaciones, por ejemplo, están enfocadas en sistemas de estaciones sísmicas, telemetría, telefonía móvil, entre otros. (Abella)

3.1. DATOS METEOROLÓGICOS COMPENDIDOS EN EL PERIODO DE ESTUDIO

En total fueron 42 días los estudiados para este proyecto, en donde gracias al apoyo de la Estación Meteorológica administrado por la carrera de Ingeniería Ambiental, se obtuvo datos reales de radiación comprendidos en el periodo del 09 de noviembre del 2016 hasta el 20 de diciembre del 2016, se maneja 14 variables entre las cuales resaltan: vol-

taje, radiación directa, radiación difusa, radiación global, presión atmosférica, temperatura mínima y máxima, entre otras.

Para este proyecto se ha tomado en cuenta 2 parámetros importantes la temperatura promedio y la radiación global promedio, esto porque al momento de simular en el software de Matlab-Simulink se necesita que el modelo de panel solar muestre a la salida voltaje y corriente en DC, que posteriormente alimentará a la batería.

3.1.1. ANÁLISIS DE TEMPERATURA PARA EL PERIODO DE ESTUDIO

Para el periodo comprendido entre los meses de noviembre y diciembre la Estación Meteorológica de la UPS de Cuenca, obtuvo 1009 valores de temperatura en un horario promedio que fue objeto de estudio entre las 00:00 hasta las 23:00 todos los días, tal como se observa en el ANEXO 14.

La Tabla del ANEXO 14, indica que la hora de mayor temperatura que se situó en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca fue a las 14:00 con una temperatura de 21.8°C y a las 06:00 se situó la menor temperatura promedio con un valor de 11.4°C, este comportamiento de la temperatura se la ilustra en la figura 3.1.

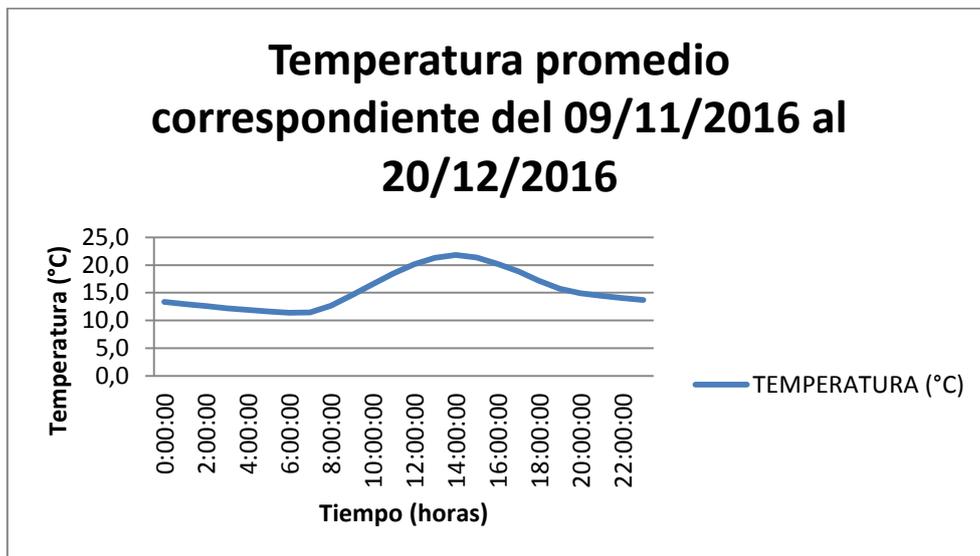


Figura 3. 1. Curva de la temperatura promedio comprendida entre el periodo de los días 09 de noviembre y 20 de diciembre del 2016.

3.1.2. RADIACIÓN GLOBAL PROMEDIO PARA EL PERIODO DE ESTUDIO

También se obtuvo 1009 valores de radiación solar para este tiempo de estudio para la simulación.

La Tabla del ANEXO 15 de radiación global, muestra que la hora promedio de mayor radiación se presentó a las 12:00 con una radiación de 849.2W/m^2 , la curva de comportamiento de la radiación global se puede observar en la figura 3.2.

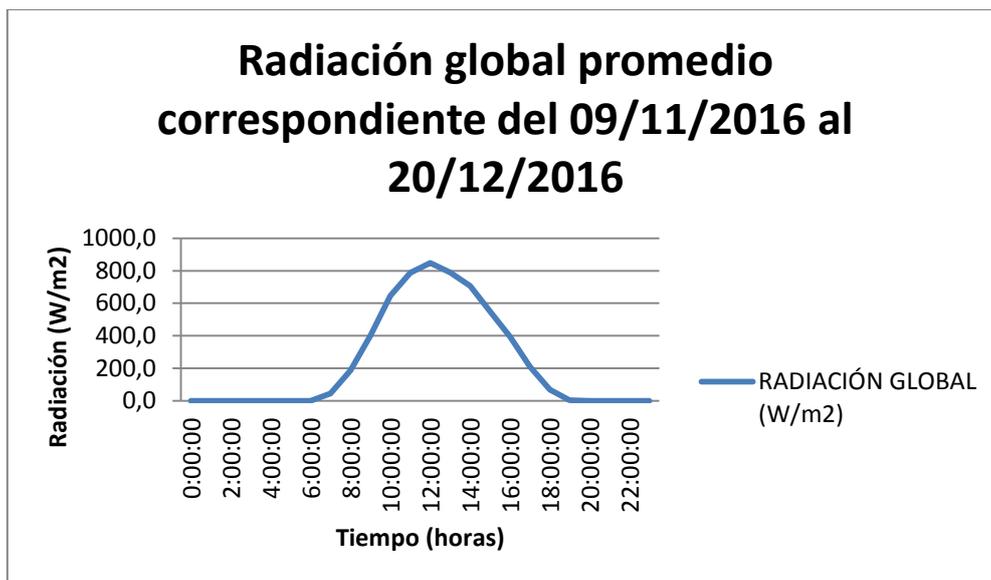


Figura 3. 2. Curva de la radiación promedio comprendida en el periodo de los días 09 de noviembre y 20 de diciembre del 2016.

3.2. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO FOTOVOLTAICO

Es importante conocer el fundamento de las llamadas Horas de Sol Pico "HPS" que se miden en horas y se usan para establecer cuánto dura la irradiación solar en un lapso determinado de tiempo, Generalmente para los cálculos se utiliza un valor de irradiancia solar constante de 1000W/m^2 . (SunFields, 2016)

Una hora solar pico alcanza un valor de 1kWh/m^2 , que en Joules equivale a 3.6MJ/m^2 . (SunFields, 2016)

La Irradiancia es la magnitud o intensidad de iluminación solar que tiene como trayectoria la superficie terrestre y es medida en unidades de potencia “Watts” por unidad de superficie medida en metros o kilómetros cuadrados.

La Irradiación es la cantidad de potencia absorbida en un determinado tiempo por unidad de superficie, Wh/m². (SunFields, 2016)

Con los datos de la Estación Meteorológica de la UPS Cuenca, se obtuvo acceso a valores reales de los niveles de radiación global de cada mes en el año 2016 como se ilustra en la Tabla 3.1. En dicha tabla se puede observar que el mes con mayor radiación global corresponde a noviembre con un promedio diario de 5750.267 Wh/m².

El mes con menor radiación global corresponde a Julio con un promedio diario de 3721.161 Wh/m², en ambos casos la hora de mayor radiación solar se dio cercano a las 12:00. En la figura 3.3, se puede observar el comportamiento de las radiaciones promedio a lo largo del año 2016.

Tabla 3. 1. Promedio de la radiación global por día correspondiente al año 2016. (*Carrera de Ingeniería Ambiental, 2016*)

Meses del año	Promedio por día
(2016)	(Wh/m ²)
ENERO	5472.1760
FEBRERO	4580.4628
MARZO	4322.7365
ABRIL	4698.9739
MAYO	4446.6215
JUNIO	3822.3666
JULIO	3721.1613
AGOSTO	4807.4193
SEPTIEMBRE	4764.9333
OCTUBRE	5731.4193
NOVIEMBRE	5750.2666
DICIEMBRE	5097.25

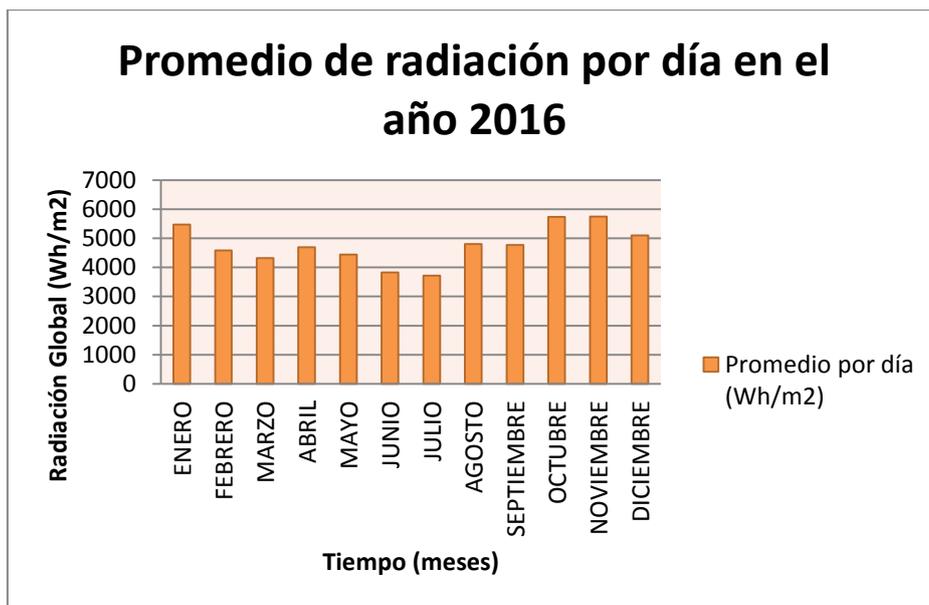


Figura 3. 3. Columna de valores correspondientes a los meses de radiación global promedio del año 2016.

Los pasos para dimensionar un sistema fotovoltaico aislado son: (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007)

- 1 la ubicación del lugar, donde se realizará la instalación FV.
- 2 la determinación del consumo de energía de la instalación.
- 3 dimensionamiento del generador fotovoltaico (paneles o módulos)
- 4 dimensionamiento del acumulador o batería
- 5 dimensionamiento del regulador o controlador
- 6 dimensionamiento del Inversor

3.2.1. CÁLCULOS PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO A IMPLEMENTARSE

Para dimensionar un sistema aislado fotovoltaico se procede a realizar el cálculo con una carga predeterminada, así se puede saber de cuanta potencia se requiere para este sistema.

Los datos de radiación se muestran en el ANEXO 4:

La carga que se requiere a ser instalada es:

Carga = 7 Módulos LED de 0.7W (4.9W)

Para este sistema se requiere de alguna forma obtener un dato mucho más cercano a lo real, dividimos el valor de la radiación incidente entre la fracción numérica de la potencia irradiada en condiciones estándar de medida. (SunFields, 2016)

Para finalmente obtener el valor de HPS, se debe conocer que 1000 W/m^2 , representa el valor de medida en condiciones estándar, luego como dato adicional del ANEXO 4, se tiene que el dato de irradiación en un día preestablecido para este proyecto en estudio es de 5750.267 Wh/m^2 , luego, se procede a obtener el valor de "Horas de Sol Pico" o HPS, como se muestra a continuación:

$$HPS = \frac{Irrad_{MED}}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (3.1)$$

$$HPS = \frac{5750.267 \frac{Wh}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

$$HPS = 5.750 \text{ h}$$

Donde,

$Irrad_{MED}$ = irradiancia media en un día establecido

HPS = Horas de Sol Pico (Irradiación)

Se procede a determinar el consumo de energía promedio de la carga LED en un lapso de 11 horas que deberá estar encendida, como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3. 2. Cuadro de consumo energético diario de la carga LED.

Carga	Potencia	Horas de operación	Total, Energía	Tot. Energía con margen de 20% por seguridad
Módulos LED	4.9W	11 horas	53.9Wh	64.68Wh

La carga promedio diaria se calcula teniendo en cuenta que en este estudio se trabajará en corriente y tensión continua para todo el sistema. (SunFields, 2016), (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007)

En pruebas realizadas científicamente, se indican que desde 0% hasta el 84% del estado de carga, la eficiencia media de la batería es del 91%, y que la eficiencia tiende a disminuir cuando la carga aumenta. (Stevens & Corey, 1996)

La eficiencia de los controladores fotovoltaicos está regido a la potencia que se va a suministrar energía, mientras más bajo sea el consumo de potencia menor es la eficiencia, así mismo para el rendimiento del regulador se coloca en la mayoría de los casos un 90% de eficiencia. (SunFields, 2016)

Considerando que la distancia entre conductores es pequeña en el sistema FV que se ha realizado, se toma una eficiencia del 99%.

Una vez hechas estas consideraciones importantes se procede a encontrar el consumo medio de energía en un día:

$$L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \times \eta_{cond}} \quad (3.2)$$

$$L_{md} = \frac{64.68 + \frac{0}{1}}{0.91 \times 0.99}$$

$$L_{md} = 72.592 \text{ Wh/día}$$

Donde,

L_{md} = consumo medio de energía en un día

$L_{md,DC}$ = consumo medio de energía en un día en cargas de continua

$L_{md,AC}$ = consumo medio de energía en un día en cargas de alterna

η_{bat} = eficiencia del acumulador

η_{cond} = eficiencia de los conductores

η_{inv} = eficiencia del inversor

La carga promedio diaria da un valor de 72.592Wh lo que refleja un incremento del 14.43% respecto a la carga preestablecida de 64.68Wh que se necesita inicialmente, esto se puede comprender porque en base a ensayos científicos se considera una eficiencia del 91% en la batería, así como en el conductor se realiza el cálculo con el 99% de eficiencia. (SunFields, 2016), (Méndez Muñoz & Cuervo García, 2007)

Para el cálculo del número de paneles se necesita saber datos importantes como el lugar a colocar, ya que, de dicho sitio se tiene que tomar las irradiaciones que aporta el sol para los diferentes meses del año, en este estudio se enfocará directamente a datos como el promedio de radiación que se tiene en la Tabla 3.1, y el panel solar estará a una inclinación de 5° con vista al hemisferio norte, que resulta del cálculo de la ecuación 3.3. (Ingelibre, 2014)

$$\beta_{OPT} = 3.7 + 0.69 * (\varphi) \quad (3.3)$$

$$\beta_{OPT} = 3.7 + 0.69 * (2)$$

$$\beta_{OPT} = 5.08^\circ$$

Donde,

β_{OPT} = ángulo de inclinación óptima

φ = latitud del lugar en grados (Cuenca, 2°54'01")

Para determinar el número de paneles a implementar, se tiene lo siguiente:

$$N_T = \frac{L_{md}}{P_{MPP} \times HPS_{crit} \times PR} \quad (3.4)$$

$$N_T = \frac{72.592}{50 \times 5.750 \times 0.90}$$

$$N_T = 0.280 \approx 1$$

Donde,

L_{md} = consumo medio de energía en un día

P_{MPP} = la potencia pico del panel en condiciones estándar STC

HPS_{crit} = Irradiación del mes crítico

PR = factor global de funcionamiento que por defecto se usa 0,90.

N_T = Número de paneles

El resultado del número de paneles que se obtuvo de la ecuación 3.4 es pequeño, dado a que la potencia de la carga es 4.9W en comparación con la capacidad del panel que alcanza hasta los 50W, por ende, se aclara que se puede utilizar un panel de menor capacidad que puede ser 15W ya que se encuentra disponible comercialmente.

En el resultado final se obtuvo un valor de 0.280 que, redondeando al inmediato superior entero, se tiene que es necesario 1 panel solar N_T .

Para continuar con el presente cálculo, el modelo de panel solar que se dispone es el de Silicio Policristalino de 50P EXMORK, en donde su ficha técnica indica que tiene un $V_{mp} = 17.21V$.

Se observa que para este proyecto se necesitara un panel, dicho módulo debe satisfacer la demanda para la carga requerida por lo que el panel de Silicio Policristalino es apto para abastecer a la carga determinada.

A continuación, se indica cómo se determina el número de paneles en paralelo que logre dimensionar sistemas aislados fotovoltaicos, entonces: (SunFields, 2016), (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007)

$$N_{PARALELO} = \frac{N_T}{N_{SERIE}} \quad (3.6)$$

$$N_{PARALELO} = \frac{0.280}{1}$$

$$N_{PARALELO} = 0.280 \approx 0$$

Donde,

N_T = Número de paneles

N_{SERIE} = Número de paneles conectados en serie

$N_{PARALELO}$ = Número de paneles en paralelo

Con respecto a la tensión de la batería, al tener una carga LED que tiene un consumo menor a 1500W se usa una batería con tensión de trabajo de 12V, con lo cual se procede al siguiente cálculo: (SunFields, 2016)

$$N_{SERIE} = \frac{V_{BAT}}{V_{MPP}} \quad (3.5)$$

$$N_{SERIE} = \frac{12}{17.21}$$

$$N_{SERIE} = 0.697 \approx 1$$

Donde,

V_{BAT} = Tensión en el acumulador

V_{MPP} = Tensión máxima en el panel solar

N_{SERIE} = Número de paneles conectados en serie

Para dimensionar el acumulador, la tensión en este elemento será la que de la pauta para el funcionamiento en todo el sistema FV. Para conocer la corriente necesaria que puede circular a través de la batería, se realizará el siguiente cálculo: (SunFields, 2016), (Méndez Muñoz & Cuervo García, 2007)

$$Q_{Ah} = \frac{L_{md}}{V_{BAT}} \quad (3.7)$$

$$Q_{Ah} = \frac{72.592}{12}$$

$$Q_{Ah} = 6.049 \text{ Ah}$$

Donde,

L_{md} = consumo medio de energía en un día

V_{BAT} = Tensión en el acumulador

Q_{Ah} = Corriente Amperios – hora en la batería

Luego, la corriente que debe generar el módulo fotovoltaico en condiciones de radiación solar del mes crítico son:

$$I_{GFV,MPP} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{crit}} \quad (3.8)$$

$$I_{GFV,MPP} = \frac{6.049}{5.6}$$

$$I_{GFV,MPP} = 1.080 \text{ A}$$

Donde,

Q_{Ah} = Corriente Amperios – hora en la batería

HPS_{crit} = Irradiación del mes critico

$I_{GFV,MPP}$ = corriente generada por el campo de captación fotovoltaico

Observando que I_{GFV} es la corriente generada por el módulo fotovoltaico y que el panel de Silicio Policristalino de 50P EXMORK, en su ficha técnica entrega una corriente I_{MPP} máxima de 2.91A, realizamos lo siguiente: (SunFields, 2016), (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007)

$$N_{PARALELO} = \frac{I_{GFV}}{I_{MPP}} \quad (3.9)$$

$$N_{PARALELO} = \frac{1.080}{2.91}$$

$$N_{PARALELO} = 0.371 \approx 0$$

Donde,

I_{GFV} = corriente generada por el campo de captación fotovoltaico

I_{MPP} = Corriente máxima entregada por el módulo fotovoltaico

$N_{PARALELO}$ = Número de ramales en paralelo

Antes de entrar en el cálculo de la batería a usar, debemos tener en cuenta que es muy importante que este elemento no sobrepase su pico máximo de carga y así mismo que no descienda a su nivel mínimo de descarga para evitar daños mayores y reducir la vida útil del acumulador.

Dicho lo anterior, existen parámetros que son normas muy importantes como la máxima profundidad de descarga diaria y estacional, y el número de días a ser puesto en funcionamiento, como son: (SunFields, 2016), (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007)

D_{OD_E} = Profundidad de descarga máxima estacional 70%

D_{OD_D} = Profundidad de descarga máxima diaria 20%

N = Días de autonomía

Para determinar la batería o acumulador más óptimo a instalar en este sistema fotovoltaico se procede a dimensionar de la siguiente manera: (SunFields, 2016), (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2007)

Para la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria:

$$C_{nd}(Wh) = \frac{L_{md}}{D_{OD_D}} \quad (3.10)$$

$$C_{nd}(Wh) = \frac{72.592}{0.2}$$

$$C_{nd}(Wh) = 362.96 Wh$$

Donde,

L_{md} = Consumo medio de energía en un día

D_{OD_D} = Profundidad de descarga máxima diaria 20%

$C_{nd}(Wh)$ = Capacidad nominal de la batería en vatios – hora

$$C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{BAT}} \quad (3.11)$$

$$C_{nd}(Ah) = \frac{362.96}{12}$$

$$C_{nd}(Ah) = 30.246 Ah$$

Donde,

$C_{nd}(Wh)$ = Capacidad nominal de la batería en vatios – hora

V_{BAT} = Tensión en el acumulador

$C_{nd}(Ah)$ = Capacidad nominal de la batería en amperios – hora

En las ecuaciones 3.10 y 3.11, lo que se hace es calcular la energía media de un día, tomando en cuenta la profundidad de descarga máxima diaria, que, por norma de seguridad, se debe descargar solo el 20% de la capacidad nominal del acumulador. (SunFields, 2016), (Méndez Muñoz & Cuervo García, 2007)

Para la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional:

$$C_{ne}(Wh) = \frac{L_{md} \times N}{D_o D_E} \quad (3.12)$$

$$C_{ne}(Wh) = \frac{72.592 \times 3}{0.7}$$

$$C_{ne}(Wh) = 311.109 Wh$$

Donde,

L_{md} = Consumo medio de energía en un día

N = Número de días autónomos

$D_o D_E$ = Profundidad de descarga máxima estacional 70%

$C_{ne}(Wh)$ = Capacidad nominal de la batería en vatios – hora

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}(Wh)}{V_{BAT}} \quad (3.13)$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{311.109}{12}$$

$$C_{ne}(Ah) = 25.926 Ah$$

Donde,

$C_{ne}(Wh)$ = Capacidad nominal de la batería en vatios – hora

V_{BAT} = Tensión en el acumulador

$C_{ne}(Ah)$ = Capacidad nominal de la batería en amperios – hora

En las ecuaciones 3.12 y 3.13, lo que se hace es calcular la energía media de 3 días autónomos, tomando en cuenta la profundidad de descarga máxima estacional, es decir tres días sin sol, que, por norma de seguridad, se debe descargar solo el 70% de la capacidad nominal del acumulador.

Como se observa en las ecuaciones 3.11 y 3.13, tienen valores de 30.246 Ah y 25.926 Ah respectivamente, se selecciona el mayor valor que es de la ecuación 3.11, esto para evitar una descompensación de una y otra corriente en condiciones de carga estacional y carga diaria, además para una buena elección en el momento de elegir una batería, ya que debe trabajar sin problemas con la corriente calculada.

Por último, para dimensionar el controlador, debemos tener en cuenta el valor de 1.25 que es el factor de seguridad que evita daños al regulador, y se debe además obtener dos valores de corriente, tanto a la entrada del controlador como a la salida de dicho elemento.

El panel solar que se tiene es el de Silicio Policristalino de 50P EXMORK, en donde su ficha técnica nos indica que tiene una corriente de corto circuito $I_{SC} = 3.12$ V, por tanto, se tiene que:

La corriente a la entrada del regulador es:

$$I_{entrada} = 1.25 \times I_{MOD,SC} \times N_{PARALELO} \quad (3.14)$$

$$I_{entrada} = 1.25 \times 3.12 \times 1$$

$$I_{entrada} = 3.9 \text{ A}$$

Donde,

1.25 = Factor de seguridad por daños ocasionales al regulador

I_{SC} = Corriente de cortocircuito del módulo FV

$N_{PARALELO}$ = Número de ramales en paralelo

$I_{entrada}$ = Corriente de entrada del regulador

La corriente a la salida del regulador es:

$$I_{salida} = \frac{1.25 \left(P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} \right)}{V_{BAT}} \quad (3.15)$$

$$I_{salida} = \frac{1.25(4.9)}{12}$$

$$I_{salida} = 0.510 \text{ A}$$

Donde,

P_{DC} = Potencia de la carga en continua

P_{AC} = Potencia de la carga en alterna

V_{BAT} = Tensión del acumulador

η_{inv} = rendimiento del inversor (1 por defecto)

I_{salida} = Corriente de salida del regulador

Así pues, se observa que el regulador debe soportar una corriente máxima de entrada de 3.9 A y una corriente de salida de 0.525 A, por lo que el controlador a implementar debe tener la capacidad de soportar estas corrientes.

El resumen de valores calculados para esta sección se presenta en la tabla del ANEXO 17.

3.3. INTERFACE ARDUINO – LABVIEW Y ADQUISICIÓN DE DATOS EN EL SOFTWARE DE LABVIEW

Para realizar la adquisición de datos se usó una tarjeta Arduino, esta es una placa con un microcontrolador Atmel AVR y está formado por entradas y salidas analógicas. (Rodríguez, 2013)

Para conectar Arduino se hizo el uso del software de Labview, que es una plataforma con programación de tipo gráfica, donde se puede realizar la extracción de datos de va-

riables físicas y observar su comportamiento mediante curvas en tiempo real, así mismo ofrece la facilidad de guardar los datos generados en Arduino en el software de Excel en distintos tramos de tiempo indefinidos. (Rodríguez, 2013)

En este proyecto, la librería VISA fue utilizada para comunicar Arduino con la PC y viceversa, por medio del puerto serial. (Rodríguez, 2013)

3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO, UTILIZADOS EN EL PROYECTO

El esquema que se toma en cuenta para efectuar las mediciones de los parámetros físicos (tensión y corriente) se ilustra en la figura 3.4, cada elemento a emplearse se describe a continuación:

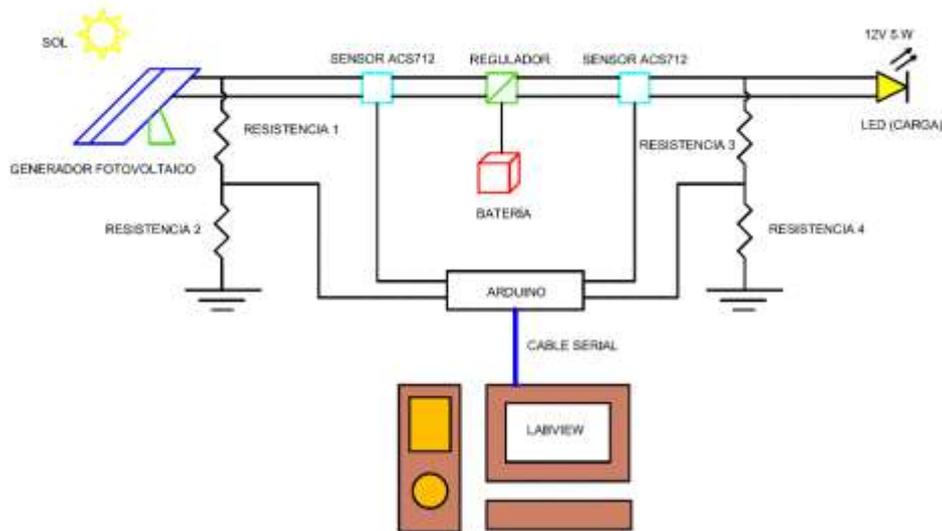


Figura 3. 4. Esquema de instalación para la adquisición de los parámetros físicos.



Figura 3. 5. Instalación en el cuarto de ascensores, en la terraza del Edificio Guillermo Mensi de la UPS Cuenca, día lluvioso.

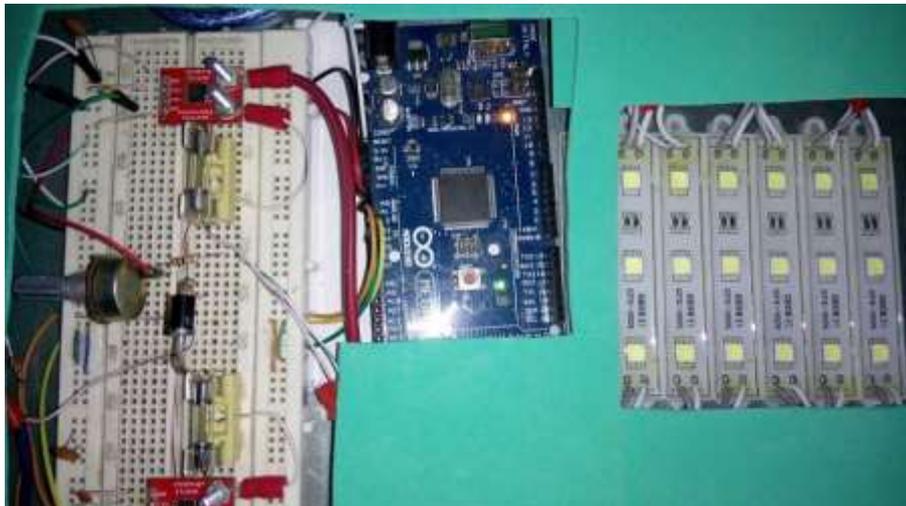


Figura 3. 6. Conexión de sensores de corriente y partidores de tensión con Arduino Mega 2560, en la derecha carga LED.



Figura 3. 7. Adquisición de datos en la noche, luminarias LED encendido.

Panel Solar: Se trata de un panel silicio policristalino de 50P EXMORK, como sus datos técnicos indican se trata de un panel solar que absorbe alrededor de 21V en circuito abierto y conectado a una carga inyecta 17V en continua, la corriente en DC de circuito abierto alcanza los 3A y con carga su valor alcanza los 2.9 amperios en continua, estos valores y más datos eléctricos se presentan en el ANEXO 1.



Figura 3. 8. Descripción de componentes del panel solar EXMORK. (Proviento, 2016)

En la parte posterior del panel solar se dispone de una caja que contiene 2 diodos como se observa en la figura 3.9, sirven para seleccionar el voltaje que se requiere obtener a la salida, es así que si conectamos el terminal negativo con un solo diodo se obtiene una tensión de aproximadamente 11.5V en vacío y si se conecta el terminal negativo con los 2 diodos obtenemos una tensión de 21V de la misma forma en el vacío, y se lo puede verificar con la ayuda de un voltímetro.



Figura 3. 9. Caja de diodos del panel solar EXMORK.

Regulador: El regulador es un Morningstar Corporation SHS -10 que permite regular la energía almacenada en el acumulador, dando lugar a un alargamiento en la vida útil de la batería ya que permite controlar que haya un correcto nivel en su máxima carga y además no permite que exceda en sobre descarga, este controlador tiene como ventaja su bajo costo, ya que fue diseñado para la comercialización en el sector eléctrico rural. Además, cuenta con protecciones electrónicas, en su interior posee fusibles electrónicos que no se queman ni necesitan ser reemplazadas. (Corporation Morningstar, 2014)

Para su correcto funcionamiento existen números que van desde el número 1 hasta el número 6, como se observa en la figura 3.10, para su normal puesta en marcha se debe conectar comenzando desde el número 1 que corresponde al terminal de la entrada negativa del acumulador, así hasta avanzar a conectar el terminal número 6 que corresponde al terminal positivo de la carga. (Corporation Morningstar, 2014)



Figura 3. 10. Controlador Morningstar Corporation SHS – 10.

El controlador permite que de día se apague la carga de luminaria LED y al caer la noche se prenda dicha carga, ver ANEXO 2.

Acumulador: La batería a emplearse es una Ultracell Rechargeable VRLA Battery que como característica principal soporta una corriente máxima de hasta 20Ah a 12V en continua, lo cual en teoría entrega una potencia de 240Wh, pero por razones de vida útil y disminuir el desgaste en el acumulador, lo recomendable es que se descargue solo hasta la mitad, dependiendo cuanta potencia absorbe la carga. Por ejemplo, para este proyecto la potencia que máximo se entregara a las luminarias LED es de 120Wh y como dicha carga absorbe 5W, se proyecta su uso desde las 18:30pm hasta las 6:00am, se puede usar este acumulador ya que puede alimentar 11 horas continuas en su plena carga, y el acumulador no corre ningún riesgo de recaer en disminución de su vida útil.



Figura 3. 11. Batería Ultracell Rechargeable VRLA.

Sensor de Corriente: El sensor de corriente ACS712 es un sensor de corriente de efecto hall, se trata de un dispositivo electrónico que sirve para medir corriente en continua y en alterna, los cables se harán pasar en serie entre los terminales más grandes del dispositivo creando así un campo magnético provocado por el paso de corriente, dando como resultado un voltaje variable, mientras más grande sea la cantidad de corriente que circula a través de los terminales del dispositivo, mayor será el voltaje de salida en el sensor. (Patagoniatec, 2016)

El terminal del voltaje de salida se conecta directamente a una de las entradas analógicas de Arduino para que procese mediante Labview el valor medido y mandarlo a guardar en una tabla de Excel.

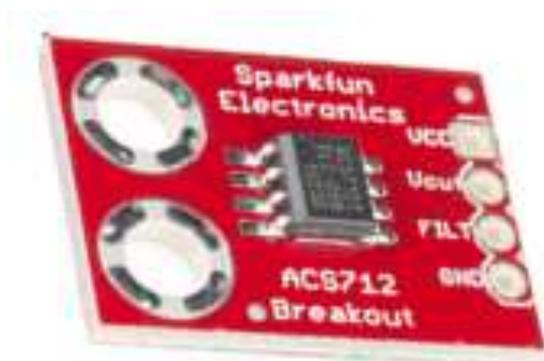


Figura 3. 12. Sensor de corriente ACS712. (Patagoniatec, 2016)

Existen 3 modelos de sensores que básicamente difieren en la medida de corriente a receptor y medir:

ACS712ELCTR-05B-T que mide corrientes de hasta 5A y es el dispositivo que se usará para este proyecto, además existen el ACS712ELCTR-20A-T que soporta mediciones de hasta 20A y el ACS712ELCTR-30A-T que mide corrientes de hasta 30A. En todos los casos el voltaje de salida oscilará entre 0 y 5V. (Patagoniatec, 2016)

En los cálculos realizados anteriormente el sensor ACS712ELCTR-05B-T fue el más óptimo para implantarlo en el presente proyecto, ya que la máxima corriente con la que se trabajará oscila alrededor de los 2.5A.

Arduino: Permite tomar señales de su entrada analógica de tal manera que se puede procesar para convertir en valores digitales y muestre una lectura de datos captados en Excel, durante su ejecución.



Figura 3. 13. Arduino MEGA 2560.

3.5. MODELO EQUIVALENTE PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS USANDO EL SOFTWARE LABVIEW

Para la extracción de la tensión y corriente continua entre el panel y la carga, se ha creado unas dos entradas analógicas que varían de 0 a 5V, procedimiento similar se ejecutó en la salida del regulador y entrada en la carga colocando otras dos entradas analógicas para la captación de los valores que aporta la radiación solar al sistema.

Cabe resaltar la importancia de que el Arduino es una tarjeta microcontroladora que se encarga de extraer valores que no superen los 5V, para aquello se ha creado partidores

de tensión usando resistencias y sensores ACS712 para obtener datos de corriente en continua.

El esquema completo se presenta en el ANEXO 5, donde se puede observar todos los elementos conectados que sirvieron para la extracción de datos de corriente y tensión continua.

Labview posee pantallas para observar las señales en tiempo real, tanto para los voltajes en el panel y la carga, como corriente que aporta el panel y la corriente que absorbe la carga desde la batería, en total son cuatro pantallas que se las puede visualizar en cada figura de las que se muestran a continuación.

En las primeras horas de la mañana cuando empieza a salir el sol, la tensión en el panel empieza a elevarse paulatinamente a medida que avanzan los minutos, como se observa en la figura 3.14, la corriente no representa un valor considerable ya que la ausencia de radiación no permite cargar a las células a sus niveles nominales.

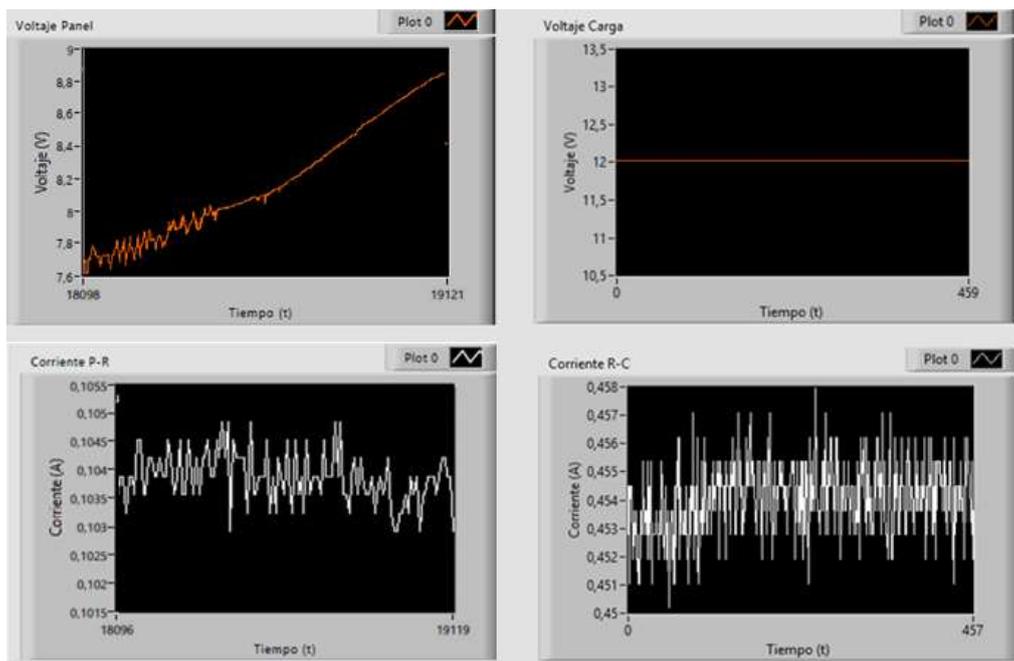


Figura 3. 14. Curvas en tiempo real de voltaje y corriente en el panel, y voltaje y corriente en la carga, durante el amanecer en Labview.

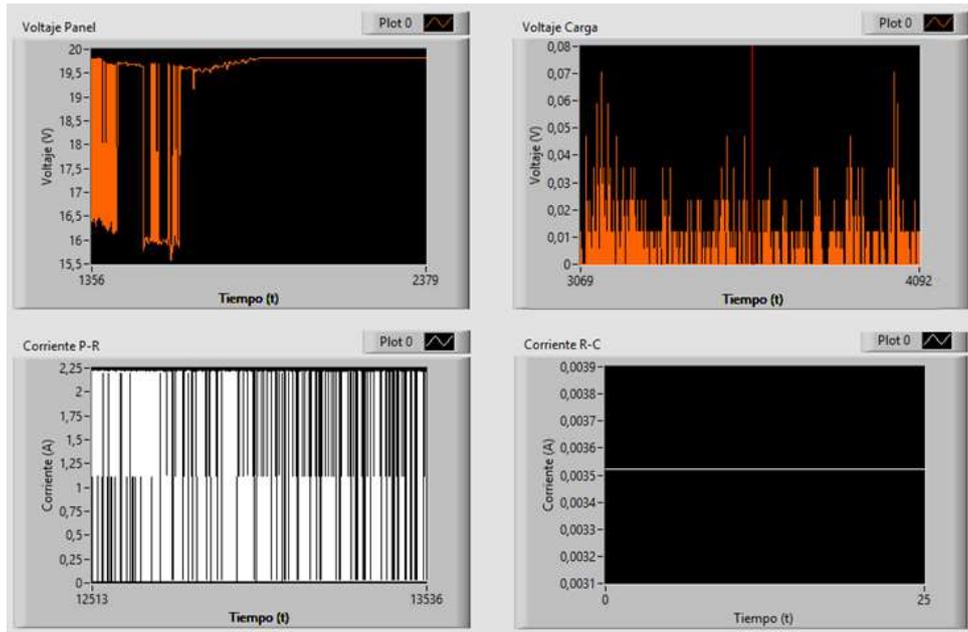


Figura 3. 15. Curvas en tiempo real de voltaje y corriente en el panel, y voltaje y corriente en la carga, durante el día en Labview.

La figura 3.15 representa el comportamiento del sistema en un día soleado cualquiera, se observa que el voltaje y la corriente de la carga prácticamente tienden a ser cero, mientras que el voltaje en el panel llega a bordear los 20V y su corriente tiene 2.25A, mientras más elevada la radiación, más se eleva la corriente que absorbe el panel.

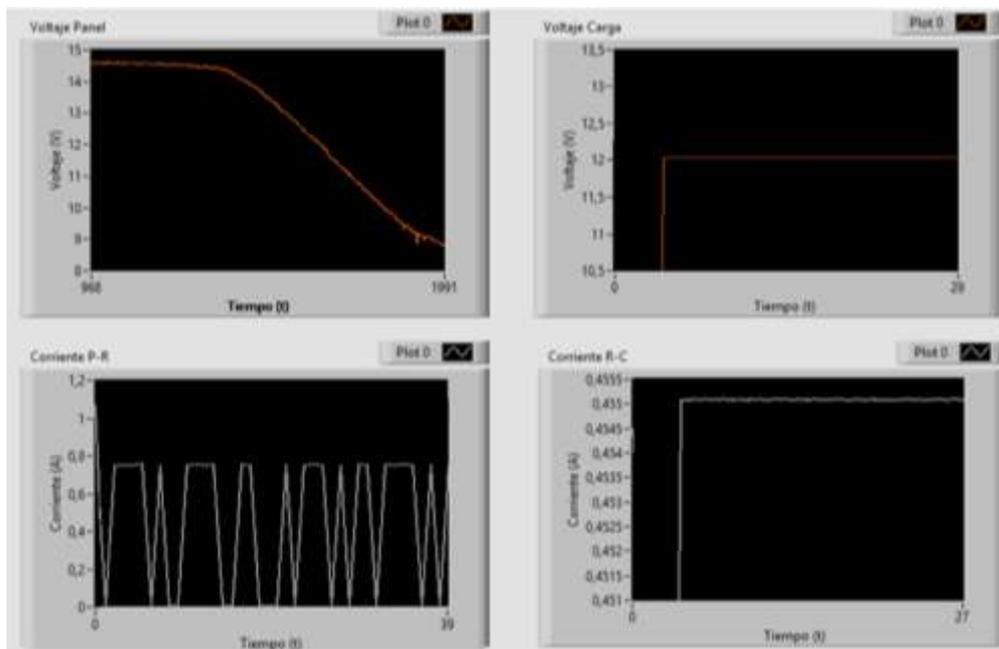


Figura 3. 16. Curvas en tiempo real de voltaje y corriente en el panel, y voltaje y corriente en la carga, durante el atardecer en Labview.

Al caer el día en un intervalo de las 18:30 a 18:40, el panel deja de recibir energía solar y desciende la tensión, luego el controlador al detectar la disminución de tensión del módulo FV realiza la activación para dejar fluir energía desde la batería hacia la carga como se observa en la figura 3.16, cabe resaltar que al momento de que el panel aporta con un voltaje menor a la tensión nominal de la batería, los LED encienden.

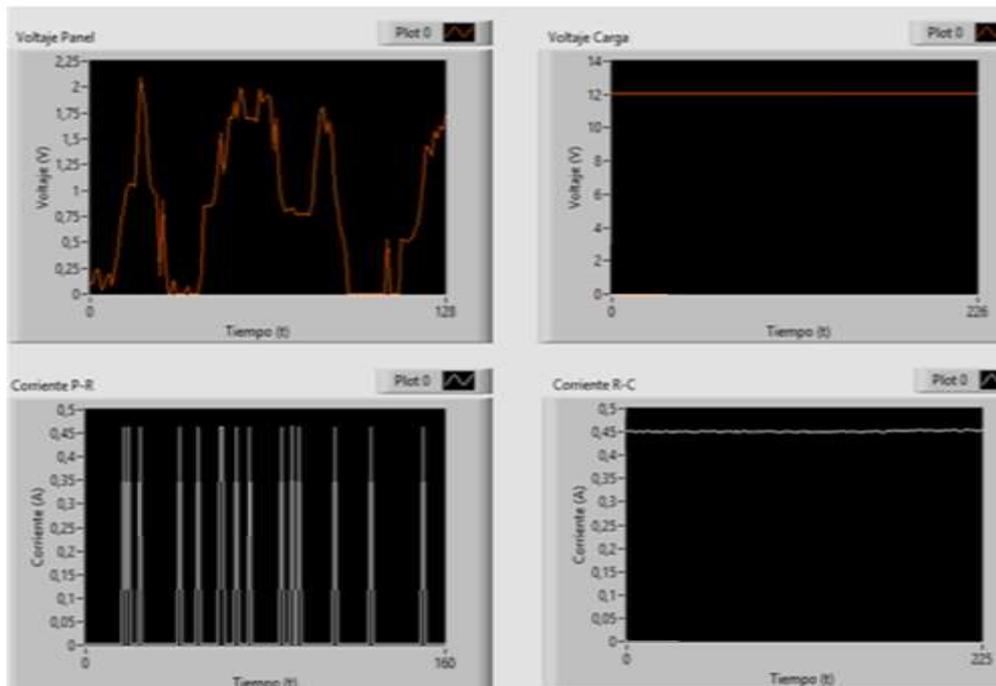


Figura 3. 17. Curvas en tiempo real de voltaje y corriente en el panel, y voltaje y corriente en la carga, durante la noche en Labview.

Durante la noche, los LED permanecen encendidos y paulatinamente en la madrugada la corriente desciende hasta unos 0.37A aproximadamente, dependiendo como este cargada la batería ya que no todos los días dicho elemento se carga al máximo por ausencia de luz solar en el panel, los valores de tensión y corriente son mínimos y se pueden observar en la figura 3.17.

3.6. RESUMEN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CUARTILES, EN LOS MESES DE NOVIEMBRE Y DICIEMBRE EL 2016

En esta sección se detallará en valores promedio de cada mes (noviembre y diciembre del año 2016), los parámetros físicos que se extrajo del software de Labview.

Si de un conjunto extenso de datos como el que presenta el ANEXO 6, se requiere obtener valores máximos, mínimos, se debe aplicar el método de cuartiles que consiste en indicar la posición de un grupo de datos o números; existen 3 cuartiles; el cuartil 2 representa la mediana y será el que se utilizará a lo largo de este proyecto y se la representa con la Q.

$$Q_2 = \frac{n+1}{2} \quad (3.16)$$

Donde,

Q_2 = Cuartil 2, mediana

n = número de muestras

En la Tabla 3.3, se muestra los resultados que son producto de la aplicación del método de cuartiles, para conocer la posición de los distintos valores de corrientes, voltajes y potencias del sistema FV que se midió con la ayuda de Labview.

Tabla 3. 3. Análisis exploratorio de los parámetros físicos, del mes de noviembre del 2016.

	Corr. Carga	Volt. Carga	Corr. Panel	Volt. Panel	Pot. Carga	Pot. Panel
Cálculo	[A]	[V]	[A]	[V]	[W]	[W]
Mínimo Valor	0,0606	0,0020	0,1286	0,2025	0,0001	0,0294
Cuartil 2	0,2936	7,5919	0,5655	13,5129	2,9141	7,6538
Máximo Valor	0,4193	12,0213	1,9689	16,9152	5,0409	33,0021

De la Tabla 3.3, se obtuvo que el mínimo valor es cercano a 0W tanto para la potencia de carga como la potencia del panel, luego la mediana o cuartil 2 se ubica en 2.9141W cuando la potencia empieza activarse en un valor medio, esto se dio en un promedio de las 19:00pm, por otro lado, la potencia del panel se dio con un valor de 7.6538W a las 07:00am. El valor máximo de potencia para la carga se da en las primeras horas de la noche con un valor de 5W, cuando la carga recién empieza a consumir corriente de la batería, mientras que la máxima potencia para el panel es un promedio de 33W que se sabe cuándo hay mayor presencia solar junto a un valor de muy alto de irradiación.

Ahora bien, en el ANEXO 6, se realizó el resumen de datos adquiridos para el mes de noviembre y como se indicó al inicio del proyecto, también se realizó la extracción de

datos mediante el software de Labview para el mes de diciembre del 2016, Tabla del ANEXO 7.

Similar al procedimiento para la Tabla en el ANEXO 6, correspondiente al mes de noviembre, se procede a aplicar el mismo método de cuartiles para ubicar las posiciones de los valores mínimos, mediana y máximo valor, por consiguiente, se aplicó la ecuación 3.16, se obtuvo los siguientes muestreos que se ilustran en la Tabla 3.4.

Tabla 3. 4. Análisis exploratorio de los parámetros físicos, del mes de diciembre del 2016.

	Corr. Carga	Volt. Carga	Corr. Panel	Volt. Panel	Pot. Carga	Pot. Panel
Cálculo	[A]	[V]	[A]	[V]	[W]	[W]
Mínimo Valor	0,0464	0,0010	0,1063	0,2281	0,0001	0,0239
Cuartil 2	0,2370	5,3448	0,4137	12,2030	1,8539	5,2712
Máximo Valor	0,4193	12,0264	1,9171	17,0618	5,0425	32,6367

De la Tabla 3.4, se obtuvo que el mínimo valor es cercano a 0W tanto para la potencia de carga como la potencia del panel, luego la mediana o cuartil 2 se ubica en 1.8539W cuando la potencia empieza activarse en un valor medio, esto se dio en un promedio de las 19:00pm, por otro lado, la potencia del panel se dio con un valor de 5.2712W a las 07:00am. El valor máximo de potencia para la carga se da en las primeras horas de la noche con un valor de 5W, cuando la carga empieza a consumir corriente del acumulador, mientras que la máxima potencia para el panel es un promedio de 32.63W.

Se puede observar en el mes de diciembre con respecto al mes de noviembre en donde hubo un poco más de irradiación solar, la diferencia entre estos meses fue de 0.36W aproximadamente.

3.7. REPRESENTACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS OBTENIDOS EN LABVIEW

Adquisición de datos promedio estadístico del periodo comprendido entre el 09 de noviembre y el 20 de diciembre del año 2016.

En el ANEXO 8 se muestra un promedio de datos en un horario de 06:00 am a 18:30pm. Con estos valores se procede a graficar con la ayuda de Excel los parámetros físicos de corriente, tensión y potencia, tanto en el panel como en la carga. Como se muestra en la figura 3.18, el panel efectivamente está receptando energía solar durante

el día, alcanzando una corriente continua promedio de aproximadamente 2.2A, esto sucede cuando la radiación solar es extrema, de la misma manera el voltaje promedio en continua alcanza aproximadamente los 17V en el intervalo de las 12:00 y 14:00 del día.

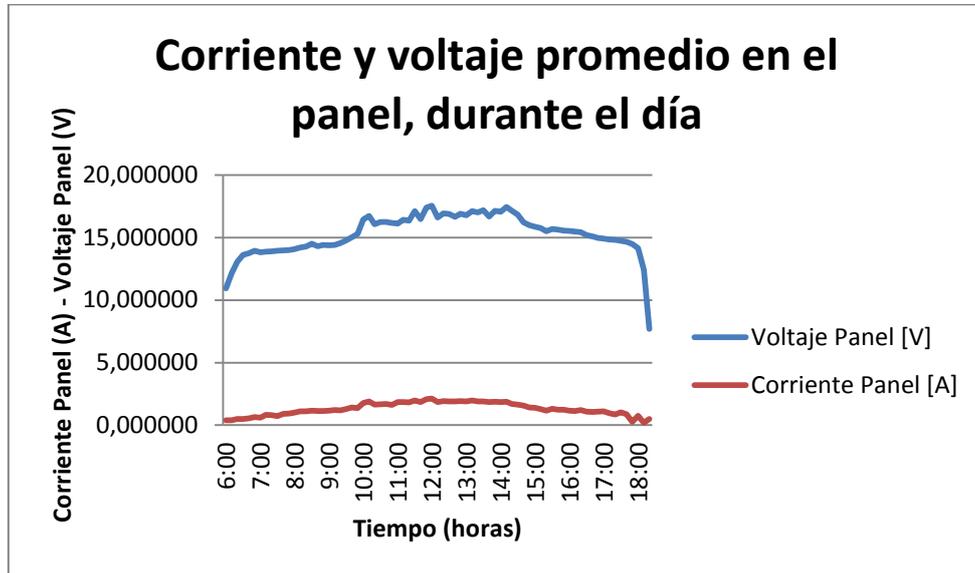


Figura 3. 18. Corriente y tensión promedio en el panel durante el día, medido en Labview.



Figura 3. 19. Corriente y tensión promedio en la carga durante el día, medido en Labview.

Se sabe que en el día la carga no está activada, por ende, no existen valores significativos de corriente y tensión, pues tienden a ser cero, el regulador controla que la batería encienda los módulos LED, tal y como se aprecia en la figura 3.19.

Dado que el panel tiene una potencia de absorción de fábrica de 50W se puede observar gráficamente en la figura 3.20, que la potencia aumenta conforme existe más radiación

solar, y por defecto se sabe que al medio día es en donde la presencia de radiación solar es más fuerte, pudiendo distinguir así los picos de voltaje elevados.

De la misma forma se puede distinguir fácilmente en la figura 3.20, que la potencia en la carga corresponde a un valor cercano a los 0W ya que en el día las luminarias LED no encienden.

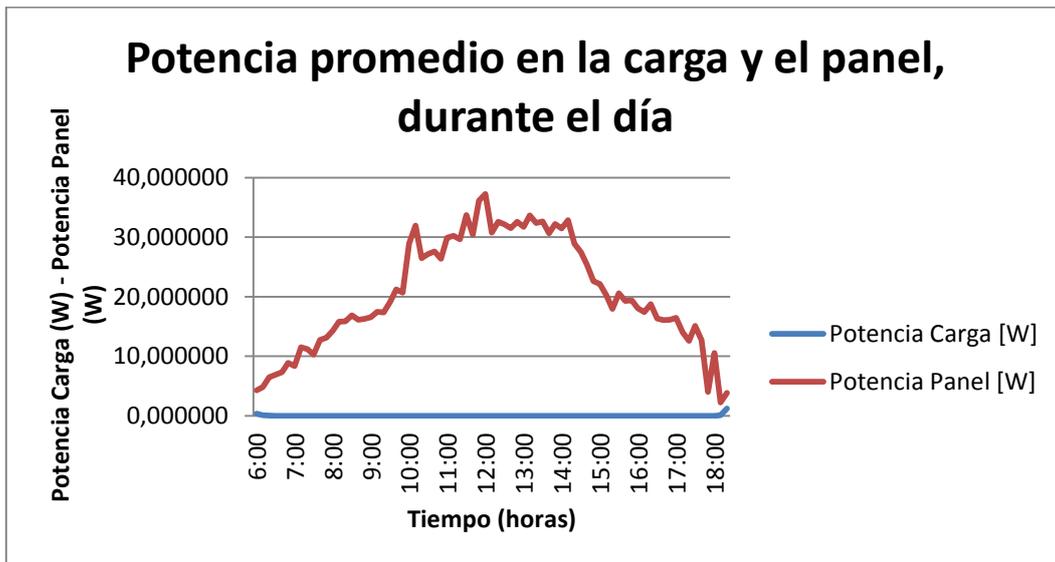


Figura 3. 20. Potencia promedio en la carga y el panel durante el día, medido en Labview.

En el ANEXO 9, se mostrará un despliegue de datos que se obtuvo en el software de Labview, en un horario de 18:30pm a 06:00am.

En la figura 3.21, se puede observar que el panel deja de recibir energía solar y es debido a esta circunstancia, que tanto el voltaje como la corriente continua cae a niveles muy bajos, eliminando así la posibilidad de que este módulo FV pueda alimentar a la batería.

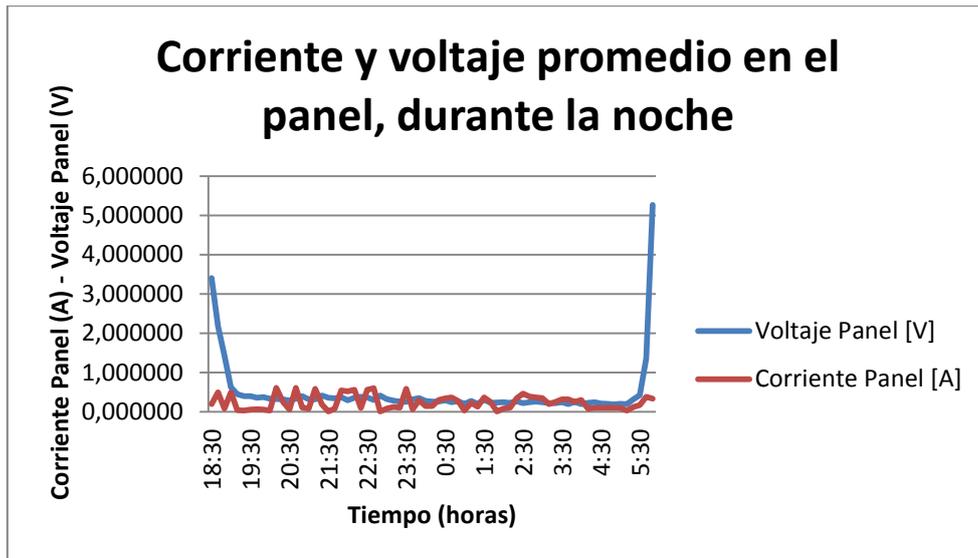


Figura 3. 21. Corriente y tensión promedio en el panel durante la noche, medidos en Labview.

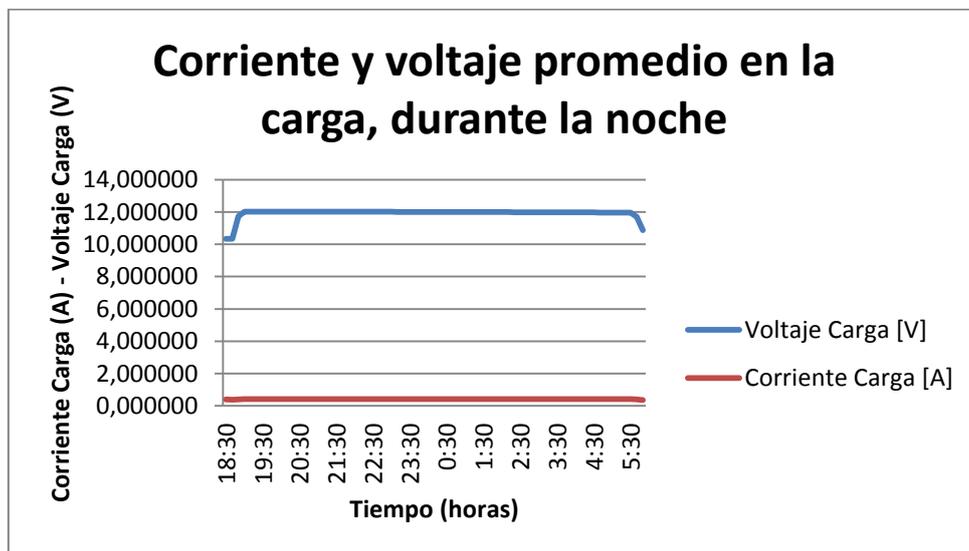


Figura 3. 22. Corriente y tensión en la carga durante la noche, medidos en Labview.

A continuación, en la figura 3.22, se observa que la tensión es casi mayormente constante con un valor que bordea los 12V, dicho valor es el que tenemos disponible en la batería, luego, debido a que los LED encienden en la noche tenemos una corriente de igual manera constante de 0.41A que decrece a medida que la noche avanza.

En la figura 3.23, se aprecia que existe pequeños picos de potencia que no sobrepasan el valor de 0.1 W debido a que el panel no absorbe luz solar durante la noche.

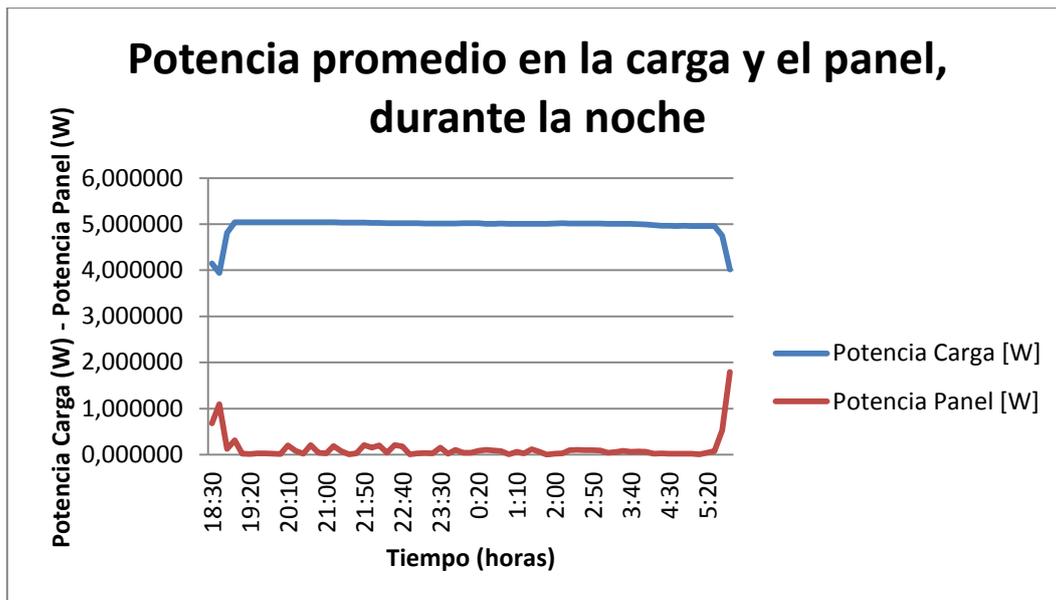


Figura 3. 23. Potencia en el panel solar y en la carga durante la noche, medidos en Labview.

3.8. ELEMENTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN SIMULINK DE MATLAB

Con el fin de crear una óptima simulación del sistema fotovoltaico, se debe obtener los valores de radiación solar de la estación meteorológica, en estos valores se ha de considerar también los datos técnicos del panel solar, del acumulador e inclusive de la propia carga de LED.

El panel solar debe tener una tensión mayor a los 12V que es la tensión del acumulador, para permitir así el flujo normal de corriente desde el panel hacia la batería.

Por otro lado, el acumulador en la noche se comporta como el abastecedor de energía para los LED, entonces la corriente en continua circula desde el acumulador hacia la carga de módulos LED.

En el modelo a crear en simulink del software de matlab, deben intervenir elementos como un modelo de panel solar que inyecte corriente y tensión continua a la batería, y una carga que absorba corriente y voltaje. Así mismo el modelo de la batería debe introducir corriente y tensión continua al modelo de carga LED para simular su encendido en la noche.

A continuación, en la figura 3.24, se muestra algunos datos técnicos y características eléctricas que sirven para modelar el panel solar en simulink de Matlab, ver ANEXO 1.

Cabe acotar que el panel de 50W, cuenta con 36 celdas solares que en su conjunto conforman el panel solar, a continuación, se muestra la ecuación 3.19 característica de la intensidad de corriente que genera el módulo fotovoltaico en condiciones reales. (Haberlin, 2012), (Ramón Soliz & Pineda Erreyes, 2015)

$$I = A \left(J_{SC} - J_0 \left(e^{\frac{v}{n_s \cdot v_t + 40}} - 1 \right) \right) \quad (3.19)$$

Donde,

A= área de cada celda solar

J_{SC} , (mA)= 0.031188, constante de corriente

J_0 , (mA)= 10^{-12} , constante de corriente

v_t , (mV)= $0.08615259 \cdot t_t$, voltaje térmico de la celda solar

t_t , (°k)= $t + 273.18$, Temperatura

EXMORK	
Module Type:	50P
Rated Maximum Power:	50W
Open- Circuit Voltage (Voc):	21.94V
Short- Circuit Current (Isc):	3.12A
Voltage At Pmax (Vmp):	17.21V
Current At Pmax (Imp):	2.91A
Output Tolerance:	±3%
Maximum System Voltage:	600V
Module Size:	540*670*30(mm)
According to STC (1000w/m ² , AM1.5, Cell temperature 25°C)	
   	

Figura 3. 24. Características técnicas y eléctricas del panel solar Exmork 50P.

Se puede también describir un modelo que se base en un funcionamiento ideal para el caso de un conjunto de paneles. (Haberlin, 2012), (Ramón Soliz & Pineda Erreyes, 2015)

$$P_i = np * V * I \quad (3.20)$$

Donde,

np= número de paneles

V= Tensión a la salida de los paneles

I= Corriente que circula a través del sistema desde los paneles.

Con los datos de la Estación Meteorológica administrada por la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, se implementó el modelo de panel solar en simulink, con datos de cada hora sobre radiación solar y temperatura en Cuenca, ver ANEXO 16.

Para modelar en simulink de Matlab las luminarias LED, se ha dispuesto una resistencia con una fuente de corriente controlada para que absorba tensión y corriente de la batería de simulink, como se observa en la figura 3.25.

Para la batería, se obtuvo el modelo que tiene por defecto la librería de simscape, donde lo que se realizó en primera instancia fue la edición de los parámetros de la batería a los de la ficha técnica que se muestra en la Tabla 3.5, ver ANEXO 3.

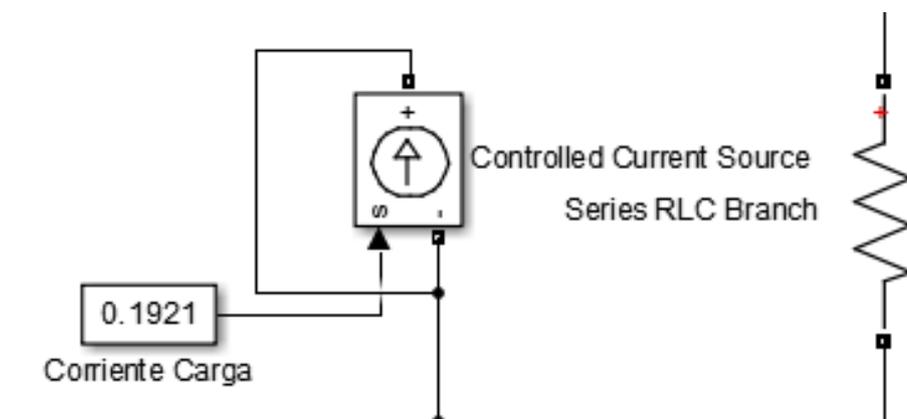


Figura 3. 25. Fuente de corriente controlada con resistencia, en simulink.

Tabla 3. 5. Características de Batería ULTRACELL recargable de 12V/20AH, ficha completa de parámetros eléctricos y químicos se puede observar en el ANEXO 3.

	Voltaje Nominal	12V
	Capacidad Nominal	10AH
Capacidad Nominal	20AH/0.85A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
Máxima corriente de descarga	204A (5s)	
Resistencia interna	18mΩ aproximadamente	
Diseño de vida a flote de 20°C	12 años	

3.8.1. PRIMERA ETAPA DE SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE DE SIMULINK DE MATLAB

La primera etapa de simulación se trata cuando el sistema fotovoltaico está operando en el día, es decir cuando el panel solar está absorbiendo energía solar para convertirla en energía eléctrica.

Para este modelo de simulink, se ha utilizado una fuente de corriente controlada y una resistencia que haga las veces de batería, como se muestra en la figura 3.26.

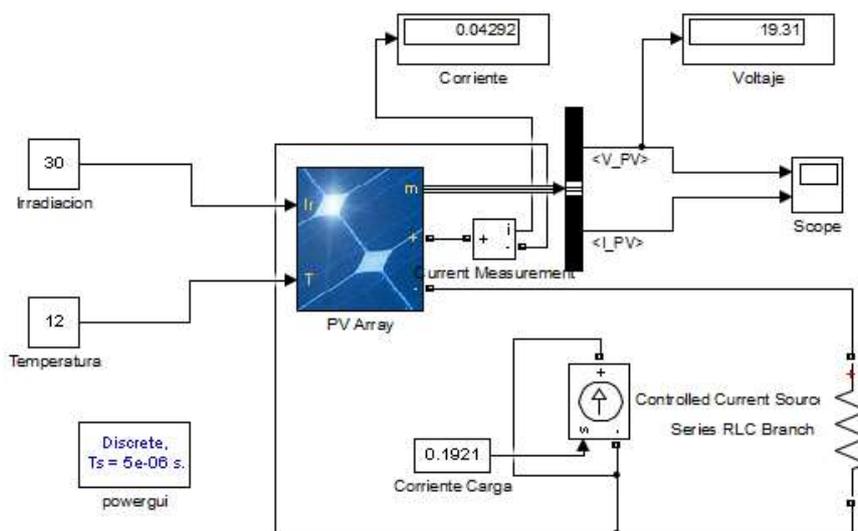


Figura 3. 26. Modelo de simulink empleado para el panel solar.

Se utilizó únicamente los datos de la Irradiación y Temperatura correspondientes a los meses de noviembre y diciembre del año 2016. En total fueron 1009 datos que fueron introducidos en el bloque del panel y que en promedio por hora dieron los siguientes resultados que se muestran en el ANEXO 10.

En el ANEXO 11, se muestra los datos promedio para el mes de noviembre del año 2016 realizados en simulink.

De la misma manera se realiza una exploración de datos mínimos, mediana y máximos con el método de cuartiles, como se realizó anteriormente con las Tablas medidas de Labview usando la ecuación 3.16, en donde, del ANEXO 11 se tiene los siguientes datos a continuación:

Tabla 3. 6. Análisis exploratorio de los parámetros físicos de simulink, del mes de noviembre del 2016.

	VOLT. PA- NEL	CORR. PA- NEL	POT. PA- NEL
Cálculo	[V]	[A]	[W]
Mínimo Valor	0,3746	0,0008	0,0003
Cuartil 2	14,2558	1,4371	17,6014
Máximo Va- lor	18,0809	2,2989	37,0633

La Tabla 3.6, hace ver que el máximo valor de potencia fue de 37.06W en el mes de noviembre a las 12:00pm, cabe decir que los datos se tomaron desde las 06:00am hasta las 19:00pm para realizar los cuartiles ya que los demás valores fueron de 0W para los demás horarios, además existió una mediana de 17.6014W a las 09:00am como medida central.

En el Anexo 12, se muestra los datos promedio para el mes de diciembre del año 2016 realizados en simulink. De la misma manera se realiza una exploración de datos mínimos, mediana y máximos con el método de cuartiles, como se realizó con las Tablas medidas de Labview usando la ecuación 3.16, en donde de la Tabla del ANEXO 12, se tiene los siguientes datos a continuación:

Tabla 3. 7. Análisis exploratorio de los parámetros físicos de simulink, del mes de diciembre del 2016.

	VOLT. PA- NEL	CORR. PA- NEL	POT. PA- NEL
Cálculo	[V]	[A]	[W]

Mínimo Valor	0,0000	0,0000	0,0000
Cuartil 2	9,2553	1,0283	9,5176
Máximo Valor	17,1876	2,3133	37,4632

En la Tabla 3.7, se observa que el máximo valor de potencia fue de 37.46W en el mes de diciembre a las 12:00pm, cabe decir que los datos se tomaron desde las 06:00am hasta las 19:00pm para realizar los cuartiles ya que los demás valores fueron de 0W, además se observa que existió una mediana de 9.5176W a las 09:00am como medida central.

La figura 3.27, representa los datos del ANEXO 10, y a su vez es la curva de la potencia por hora que resulto de simular datos introducidos al panel solar y arrojaron valores de tensión y corriente en continua, se observa claramente que desde las 06:00am la curva empieza a ascender de manera constante y alrededor de las 12:00 llega a tener un pico de 37W aproximadamente de potencia promedio, luego, empieza a descender progresivamente hasta llegar a un valor a 0W que se da en el horario de las 19:00pm.

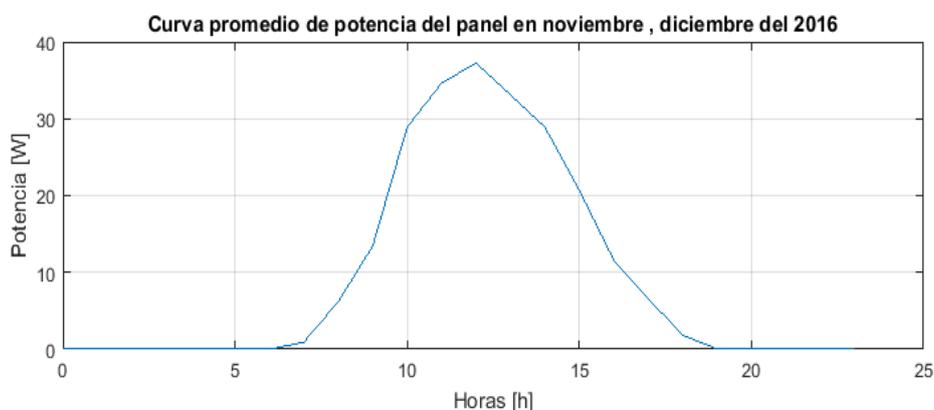


Figura 3. 27. Curva de potencia del panel, obtenida de la simulación en simulink de matlab.

3.8.2. SEGUNDA ETAPA DE SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE DE SIMULINK DE MATLAB

La segunda etapa de simulación se trata cuando el sistema fotovoltaico está operando en la noche, es decir cuando el panel solar ha dejado de suministrar energía a la batería, y ésta a su vez empieza a comportarse como fuente de alimentación encendiendo en la práctica a un módulo LED. Ahora bien, en la simulación el LED se lo modela como una carga usando una fuente de corriente controlada y una resistencia. Los parámetros de la

batería se los va ajustando de tal manera que pueda emular la variación de tensión; y la fuente de corriente controlada emula la variación de corriente, como se observa en la figura 3.28.

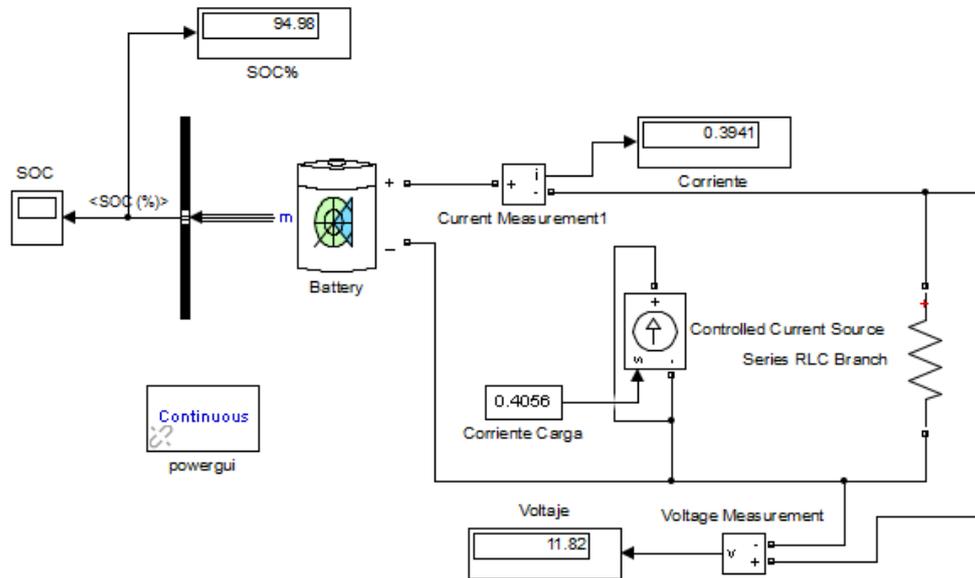


Figura 3. 28. Modelo de simulink empleado para la adquisición de valores de corriente y voltaje en el sistema de la batería.

Figura 3.28. Modelo de simulink empleado para la adquisición de valores de corriente y voltaje en el sistema de la batería.

En labview se capturo datos de la variación de corriente y tensión, y es así que en la fuente de corriente controlada se introdujeron datos promedio de corriente, así como en la batería con los voltajes promedio, dado que en este último elemento el voltaje nominal siempre será constante y no podrá variarse con la carga, se modificó a tal razón de que los resultados posteriores arrojaron valores similares a los que inicialmente se midió con labview, como se observa en el ANEXO 13.

La figura 3.29, representa la curva de la potencia por hora que resultado de la simulación en la segunda etapa correspondiente a la batería, se puede observar que existe una potencia continua de 4.9W que se aprecia desde las 19:00pm aproximadamente hasta las 06:00am, fuera de ese horario la carga LED permanece apagada porque como es lógico en el día no enciende, entonces decrece a los 0W, cabe acotar que los módulos LED opera con 12V de continua y una potencia de 5W.



Figura 3. 29. Curva de potencia de la carga LED, obtenida de la simulación en simulink de matlab.

De la misma manera se realiza una exploración de datos mínimos, mediana y máximos con el método de cuartiles, como se realizó con las Tablas medidas de labview con la ecuación 3.16, en donde de la Tabla del ANEXO 13, se tiene los siguientes datos a continuación:

Tabla 3. 8. Análisis exploratorio de los parámetros físicos de simulink, para la batería.

	VOLT. CARGA	CORR. CARGA	POT. CAR- GA
Cálculo	[V]	[A]	[W]
Mínimo Valor	0,0558	0,0700	0,0039
Cuartil 2	0,2238	6,7130	1,5024
Máximo Valor	0,4141	12,0100	4,9733

En la Tabla 3.8, el máximo valor de potencia para la carga fue de 4.97W a las 20:00pm, además existió una mediana de 1.5024W a las 19:00pm como medida central.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se hará énfasis en realizar los análisis de mediciones y simulaciones del sistema fotovoltaico aislado que ha sido objeto de estudio en este trabajo.

De la misma manera se efectuará los estudios de factibilidad económica de una posible implementación para cubrir el flujo luminoso necesario que recomienda la Conelec, si se quiere reemplazar lámparas de vapor de sodio de alta presión por una tecnología diferente.

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS MEDIDOS EN EL SOFTWARE DE LABVIEW VERSUS LOS RESULTADOS SIMULADOS EN SIMULINK DE MATLAB DE VOLTAJES, CORRIENTES Y POTENCIAS

4.1.1. ANÁLISIS DE LA PRIMERA ETAPA CORRESPONDIENTE AL PANEL SOLAR Y BATERÍA

En el capítulo tres se analizó la adquisición de los parámetros físicos de corriente y voltaje, tanto en la primera etapa entre panel y batería como la segunda etapa de batería y carga LED, esto en los meses de noviembre y diciembre del año 2016, donde se hizo la adquisición de datos mediante el software de Labview, se obtuvo alrededor de 6192 datos en intervalos de 10 minutos cada uno, así mismo la carrera de Ingeniería Ambiental que administra la estación meteorológica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca ha facilitado los datos de radiación solar y temperatura que sirvieron para la simulación del panel solar.

De los 6192 datos se promedió por cada hora de medición tanto para corrientes y voltajes, así mismo, para la etapa de simulación en Simulink de Matlab se tuvo la facilidad de acceder a 1009 datos de la estación meteorológica que ya vino por defecto con un promedio por hora de radiación y temperatura, el resumen de valores de potencia de Labview y Matlab se presenta en la Tabla 4.1.

Tabla 4. 1. Cuadro promedio de potencias del panel, medidas y simuladas.

Promedio	Potencia Pa- nel	Potencia Pa- nel
[Horas]	[W]	[W]
	Labview	Matlab
0:00	0,061504442	0,0000
1:00	0,07155972	0,0000
2:00	0,046126668	0,0000
3:00	0,07333237	0,0000
4:00	0,066584522	0,0000
5:00	0,027461508	0,0000
6:00	0,409871955	0,0001
7:00	6,464488989	0,9241
8:00	11,20866268	6,2059
9:00	15,88841184	13,4444
10:00	18,73955323	28,9114
11:00	28,09377574	34,6358
12:00	31,6728735	37,2534
13:00	32,80803586	33,1008
14:00	32,21604308	28,9009
15:00	28,11027899	20,6693
16:00	19,93522648	11,6102
17:00	17,13862487	6,5962
18:00	12,48668145	1,8268
19:00	3,099942856	0,0461
20:00	0,069731381	0,0000
21:00	0,094281527	0,0000
22:00	0,088955788	0,0000
23:00	0,131561103	0,0000

En la figura 4.1, se puede observar la curva de potencia promedio por hora que se realizó en simulink, alcanza un pico de potencia máximo de 37,25W aproximadamente a las 12:00pm del día. Con Labview el pico de potencia máximo alcanzó aproximadamente los 32,80W a las 13:00pm.

Haciendo un análisis de las curvas de potencia simuladas y medidas, se observa que entre las 12:00 y 13:00 hay una diferencia de aproximadamente 4W de potencia.

La diferencia entre valores se debe a varios factores que se pueden dar al momento de simular y de medir como son:

- Los datos de radiación solar y temperatura otorgados por la estación meteorológica de la UPS Cuenca son producto de promedios realizados cada 60 minutos frente a la medición que se realizó en Labview cada 10 minutos, por lo cual no se puede saber con exactitud con que valores están realizando los promedios los equipos de la estación meteorológica.
- La potencia nominal de los paneles solares se degrada 0.5% anualmente y más durante los dos primeros años de vida útil, debido a factores como suciedad en la cara del panel, ralladuras, y filtraciones de agua en los materiales semiconductores.
- La brusca y constante variación en la sensibilidad del sensor de corriente ACS712 utilizado para la adquisición de datos, producto de una radiación con datos extremadamente aleatorios entre una y otra hora, todos los días del año es la que provoca una alteración de los valores medidos frente a los simulados.
- En la etapa de medición con Labview se colocó protecciones, un diodo, resistencias y potenciómetros que disminuyen la corriente, la tensión y por ende la potencia en el sistema FV.

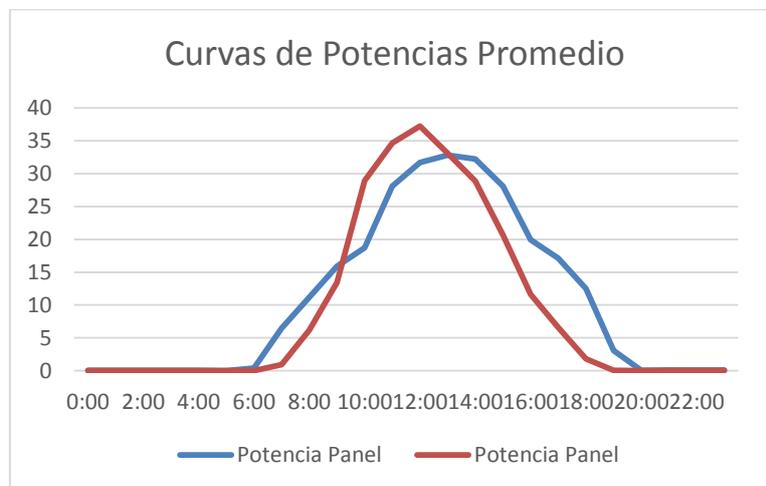


Figura 4. 1. Curvas de potencia del panel, realizadas en Labview y Simulink.

4.1.2. ANÁLISIS DE LA SEGUNDA ETAPA CORRESPONDIENTE A LA BATERÍA Y LA CARGA LED

Una vez que el panel carga de energía a la batería en el día, esta última se encarga de encender los módulos LED durante las horas de la noche. La Tabla 4.2, muestra la potencia promedio medida en Labview que circula a través de la carga, así mismo sus respectivos valores obtenidos en la simulación de Matlab.

Tabla 4. 2. Cuadro promedio de potencias de la carga, medidas y simuladas.

Promedio	Potencia Car- ga	Potencia Car- ga
[Horas]	[W]	[W]
	Labview	Matlab
0:00	5,016273967	4,8715
1:00	5,016603743	4,8715
2:00	5,009390945	4,8715
3:00	5,016675432	4,8651
4:00	5,007760896	4,8651
5:00	4,972052118	4,8586
6:00	4,767778472	4,6740
7:00	0,098340183	0,0623
8:00	0,006439591	0,0067
9:00	0,004362736	0,0049
10:00	0,004979116	0,0049
11:00	0,005489083	0,0049
12:00	0,000462269	0,0049
13:00	0,000328519	0,0049
14:00	0,000482902	0,0049
15:00	0,000414618	0,0049
16:00	0,000245798	0,0049
17:00	0,000222354	0,0049
18:00	0,000101465	0,0049
19:00	2,376841996	1,5024
20:00	5,041624999	4,9733
21:00	5,040841736	4,9733
22:00	5,037788091	4,9579
23:00	5,02248538	4,9555

En la figura 4.2, se puede observar la curva de potencia promedio por hora, se realizó en simulink, pudiendo divisar que alcanza un pico de potencia máximo de 4.97W aproximadamente entre el intervalo de 20:00 a 23:00pm.

En la etapa de medición que se realizó con Labview el pico de potencia máximo alcanzó aproximadamente los 5W durante casi toda la noche.

Realizando el análisis de las curvas de potencia simuladas y medidas de la carga LED, se aprecia que entre las 18:00pm y 06:00am del siguiente día, existe una similitud de valores, dado a que las características de la batería satisfacen ampliamente la demanda requerida por la carga.

La batería Ultracell es de 12V/20Ah y la carga de módulos LED 12V/5W, por consiguiente:

$$12V * 20Ah = 240Wh \quad (4.1)$$

En teoría la batería almacena una potencia de 240Wh, y como tenemos una carga que consume 5W, realizamos lo siguiente:

$$\frac{240Wh}{5W} = 48h \quad (4.2)$$

En consecuencia, teóricamente la batería puede durar 48 horas encendida, pero una batería no se la puede dejar descargar por debajo de sus niveles mínimos de tensión porque significaría una disminución de la vida útil y por se debe descargar hasta un 50% de su capacidad nominal a criterio del usuario, aunque en la ficha técnica, ver ANEXO 2, de la batería Ultracell y ensayos científicos para batería de gel de plomo – acido a 1200 ciclos se recomienda que se descargue hasta un 80% de su capacidad nominal, alargando así la vida útil del acumulador: (Uzquiano, Sullivan, & Sandy, 2015)

$$(50\%) 48h = 24h \quad (4.3)$$

El resultado anterior significa que la batería y su carga puede estar operando 24 horas seguidas sin necesidad de recargar.

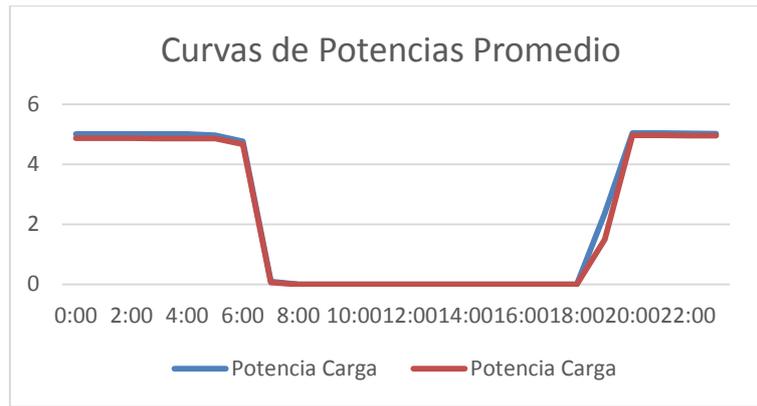


Figura 4. 2. Curva de potencia en la carga LED, realizadas en Labview y Matlab.

4.2. CÁLCULO LUMÍNICO CON LUMINARIA LED ALIMENTADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

Antes de proceder a realizar los cálculos para determinar los parámetros tales como flujo luminoso, iluminancia, área de iluminación entre otros, debemos tener los datos u hojas técnicas de las lámparas de vapor de sodio de alta presión y las luminarias de tecnología LED, para realizar una adecuada comparación entre estas tecnologías.

Luego, conocido dichos datos se procede a realizar el cálculo lumínico observando la potencia a emplear en un punto de luz, así como la batería más idónea que pueda ser instalada cubriendo en si el flujo luminoso demandado.

4.2.1. ASPECTOS GENERALES DE ILUMINACIÓN PÚBLICA EN LA CIUDAD DE CUENCA

En nuestra ciudad es muy común encontrar lámparas de vapor de sodio de alta presión, con potencias de 150W, 250W y 400W para alumbrado público.



Figura 4. 3. Alumbrado público sector Universidad Politécnica Salesiana.

4.2.2. ANÁLISIS DE DATOS MEDIANTE EL CÁLCULO LUMÍNICO PARA UNA LÁMPARA DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN.

A continuación, se presenta una tabla con parámetros eléctricos generales de las lámparas de vapor de sodio de alta presión.

Tabla 4. 3. Parámetros eléctricos de las lámparas de Vapor de Sodio de Alta Presión. (*Sylvania, 2017*)

VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN	
Voltaje Arranque	240V
Ángulo	120°
70W	6500lm
100W	7500lm
150W	17000lm
250W	29000lm
400W	38000lm

Cálculo de parámetros lumínicos para una determinada vía:

Se muestra el cálculo para una luminaria de tecnología de vapor de sodio de alta presión, considerando las diferentes potencias que se usan en la ciudad:

Para una potencia de 70W:

Este nivel de potencia es usado en pequeños espacios de la calzada pública, para uso peatonal, en donde conceden un flujo luminoso aproximado de 6500lm y están separadas una distancia de aproximadamente 26 a 28 metros y cada punto de luz tiene una altura de 7m.

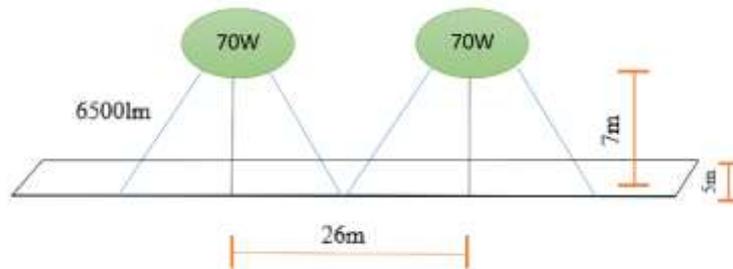


Figura 4. 4. Lámparas de vapor de sodio para uso peatonal de 70W.

$$Iluminancia(lux) = \frac{Flujo\ Luminoso}{Área} \quad (4.4)$$

$$Iluminancia(lux) = \frac{6500lm}{(26 \times 5)m^2}$$

$$Iluminancia(lux) = 50lux$$

$$Intensidad\ de\ luz\ (candela) =$$

$$Iluminancia \times$$

$$(distancia\ del\ punto\ de\ luz)^2 \quad (4.5)$$

$$Intensidad\ de\ luz\ (candela) = 50lux \times (7m)^2$$

$$Intensidad\ de\ luz\ (candela) = 2450cd$$

$$Eficacia\ Luminosa\ (lm/w) = \frac{Flujo\ Luminoso}{Potencia} \quad (4.6)$$

$$Eficacia\ Luminosa\ (lm/w) = \frac{6500}{70}$$

$$Eficacia Luminosa (lm/w) = 92.857lm/w$$

$$Diámetro iluminado (m) = \left[(Distancia del punto de luz) * \tan\left(\frac{120}{2}\right) \right] * 2 \quad (4.7)$$

$$Diámetro iluminado (m) = \left[(7) * \tan\left(\frac{120}{2}\right) \right] * 2$$

$$Diámetro iluminado (m) = 24.248m$$

$$Radio iluminado (m) = Distancia del punto de luz * \tan\left(\frac{120}{2}\right) \quad (4.8)$$

$$Radio iluminado (m) = 12.124m$$

$$Área iluminado (m^2) = (12.124)^2 * \pi \quad (4.9)$$

$$Área iluminado (m^2) = 461.787m^2$$

Tabla 4. 4. Cuadro de resumen de valores calculados para una luminaria VSAP de 70W.

Descripción	Valor	Unidad
VSAP 70W		
Flujo Luminoso	6500	lm
Potencia	70	w
Distancia del punto de luz	7	m
Ancho Calzada y/o calle	26	m
Largo Calzada y/o calle	5	m
Área Calzada y/o calle	130	m ²
Iluminancia	50,00	lux
Intensidad de Luz	2450,00	cd
Eficacia Luminosa	92,86	lm/w
Diámetro Iluminado	24,25	m
Radio Iluminado	12,12	m
Área Iluminado	461,81	m ²

Para encontrar los demás parámetros lumínicos de las diferentes potencias de luminarias, se realiza el mismo procedimiento de cálculo anterior, y se resume en las tablas que se muestra a continuación:

Para lámparas de vapor de sodio de alta presión de 100W y 150W, se tienen los siguientes resultados, en la Tabla 4.5:

Tabla 4. 5. Cuadro de valores calculados para una luminaria VSAP de 100W y 150W.

Descripción	100W	150W	Unidad
Flujo Luminoso	7500	17000	lm
Potencia	100	150	w
Distancia del punto de luz	9	11	m
Ancho Calzada y/o calle	27	27	m
Largo Calzada y/o calle	5	7	m
Área Calzada y/o calle	135	189	m ²
Iluminancia	55,56	89,95	lux
Intensidad de Luz	4500,00	10883,60	cd
Eficacia Luminosa	75,00	113,33	lm/w
Diámetro Iluminado	31,18	38,11	m
Radio Iluminado	15,59	19,05	m
Área Iluminado	763,41	1140,40	m ²

Para lámparas de vapor de sodio de alta presión de 250W y 400W, se tienen los siguientes resultados, en la Tabla 4.6:

Tabla 4. 6. Cuadro de valores calculados para una luminaria VSAP de 250W y 400W.

Descripción	250W	400W	Unidad
Flujo Luminoso	29000	38000	lm
Potencia	250	400	w
Distancia del punto de luz	12	15	m
Ancho Calzada y/o calle	28	28	m
Largo Calzada y/o calle	13	11	m
Área Calzada y/o calle	364	308	m ²
Iluminancia	79,67	123,38	lux
Intensidad de Luz	11472,53	27759,74	cd
Eficacia Luminosa	116,00	95,00	lm/w
Diámetro Iluminado	41,57	51,96	m
Radio Iluminado	20,78	25,98	m
Área Iluminado	1357,17	2120,58	m ²

4.2.2.1. NÚMERO DE LUMINARIAS PARA UNA VÍA.

En un caso hipotético, para cada 100m de vía pública se desea saber cuántas luminarias vapor de sodio de alta presión se deben colocar para iluminar dicha vía, es así que se tiene la siguiente ecuación 4.10: (León & Lojano, 2014)

$$N = \frac{L}{R \times h} + 1 \quad (4.10)$$

Dónde:

L= Longitud de la vía

R= Relación altura-separación

h= Altura del punto de luz con respecto a la calzada

Reemplazando valores tenemos:

$$N = \frac{L}{R \times h} + 1$$

$$N = \frac{100}{35} + 1$$

$$N = 3.85 \approx 4$$

Entonces para iluminar 100m de una vía pública se necesitan 4 puntos de luz, que las podemos encontrar en las calles del centro histórico de Cuenca.

4.2.3. CÁLCULO LUMÍNICO PARA UNA LUMINARIA DE TECNOLOGÍA LED



Figura 4. 5. Módulos LED 5050 SMD.

A continuación, se dará el detalle de algunos parámetros eléctricos importantes del módulo LED 5050 SMD que esta referenciada en (Singsunled, 2017), y que se muestra en la Tabla 4.7:

Tabla 4. 7. Parámetros eléctricos del módulo LED 5050 SMD. (Singsunled, 2017)

LED 5050 SMD	
Voltaje	12V
Corriente	60mA
Potencia	0.7W
Ángulo	120°
Lumen	60

En total se contaron con 7 módulos LED 5050 en operación, estos a su vez se les conecto en paralelo para aumentar la potencia y también los lúmenes, finalmente obtuvimos 4.9W de potencia y 420 lúmenes de flujo luminoso, para las luminarias de tecnología LED en su conjunto.

En la página 23 de la Regulación No. CONELEC 005/14, inciso 15.2, segundo párrafo, dice que: "En caso de que se requiera reemplazar luminarias existentes por otras de menor consumo de energía (tecnología LED en nuestro caso), se exigirá que las nuevas luminarias entreguen la misma cantidad de lúmenes que las reemplazadas y que la distribución lumínica de la misma sea igual o más amplia a la reemplazada". (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006)

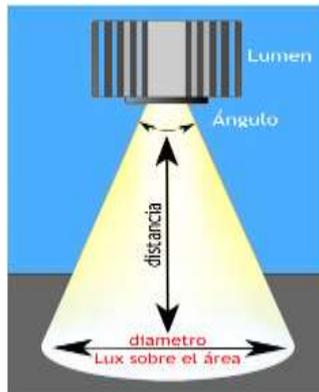


Figura 4. 6. Parámetros para el cálculo de un punto de luz. (Llumor, 2017)

Mediciones:

Aunque cada módulo en su ficha técnica muestra un valor de 60 lúmenes y al ser 7 módulos en teoría se tendría 420 lúmenes, luego se ha visto necesario realizar la medición física con un luxómetro digital para comprobar el valor real del flujo luminoso en diferentes distancias medidas en metros.

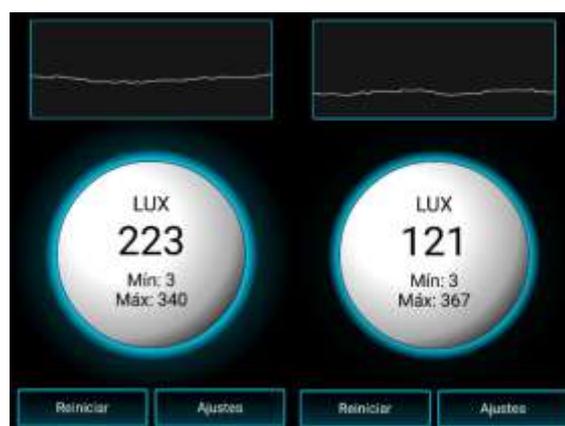


Figura 4. 7. Mediciones de lux con el conjunto de módulos LED (1m=223lux), (2m=121lux).
(Luxómetro, 2016)



Figura 4. 8. Mediciones de lux con el conjunto de módulos LED (3m=41lux), (4m=14lux). (*Luxómetro, 2016*)



Figura 4. 9. Mediciones de lux con el conjunto de módulos LED (5m=8lux). (*Luxómetro, 2016*)

Cálculo:

Cálculo para una luminaria de tecnología LED:

Para la luminaria LED que tiene una potencia de 4.9W, y como se observa la iluminancia en la figura 4.15, se tiene que a 1m de distancia existe una iluminancia de 223 lux y a 2m de distancia se obtiene 121 lux:

Por recomendación el nivel mínimo de altura que tiene que estar elevado el punto de luz es de 6,5m a 7,5m, cuando se requiera un flujo luminoso de 3000 a 9000 lúmenes. (Arqhys, 2017)

Con el módulo LED 5050 se hizo las pruebas respectivas en un espacio cerrado y oscuro de altura 5m, con un ancho de 5m y largo de 5m.

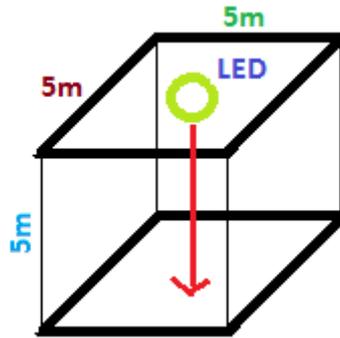


Figura 4. 10. Dimensiones del espacio usado para las pruebas con el módulo LED.

$$Iluminancia(lux) = \frac{Flujo\ Luminoso}{\text{Área}} \quad (4.11)$$

$$Iluminancia(lux) = \frac{420lm}{(5 \times 5)m^2}$$

$$Iluminancia(lux) = 16.8lux$$

$$Intensidad\ de\ luz\ (candela) = Iluminancia \times (distancia\ del\ punto\ de\ luz)^2 \quad (4.12)$$

$$Intensidad\ de\ luz\ (candela) = 16.8lux \times (5m)^2$$

$$Intensidad\ de\ luz\ (candela) = 420cd$$

$$Eficacia\ Luminosa\ (lm/w) = \frac{Flujo\ Luminoso}{Potencia} \quad (4.13)$$

$$Eficacia\ Luminosa\ (lm/w) = \frac{420}{4.9}$$

$$Eficacia\ Luminosa\ (lm/w) = 85.714lm/w$$

$$\text{Diámetro iluminado (m)} = \left[(\text{Distancia del punto de luz}) * \tan\left(\frac{120}{2}\right) \right] * 2$$

$$\text{Diámetro iluminado (m)} = \left[(5) * \tan\left(\frac{120}{2}\right) \right] * 2$$

$$\text{Diámetro iluminado (m)} = 17.321\text{m}$$

$$\text{Radio iluminado (m)} = \text{Distancia del punto de luz} * \tan\left(\frac{120}{2}\right)$$

$$\text{Radio iluminado (m)} = 8.660\text{m}$$

$$\text{Área iluminado (m}^2\text{)} = (8.660)^2 * \pi$$

$$\text{Área iluminado (m}^2\text{)} = 235.606\text{m}^2$$

Tabla 4. 8. Resumen de valores calculados para una luminaria módulo LED 5050 de 4.9W.

Descripción	Valor	Unidad
Módulo LED 4,9W		
Número de módulos LED	7	
Potencia/cada módulo	0,7	w
Flujo Luminoso/cada módulo	60	lm
Flujo Luminoso Total	420	lm
Potencia Total	4,9	w
Distancia del punto de luz	5	m
Ancho Calzada y/o calle	5	m
Largo Calzada y/o calle	5	m
Área Calzada y/o calle	25	m ²
Iluminancia	16,80	lux
Intensidad de Luz	420,00	cd
Eficacia Luminosa	85,71	lm/w
Diámetro Iluminado	17,32	m
Radio Iluminado	8,66	m
Área Iluminado	235,62	m ²
Voltaje Nominal Batería	12,00	V
Capacidad Batería Solar	20,00	Ah
Duración Batería Solar	24,49	h

La duración de la batería indica que las luminarias LED pueden estar encendidas 24 horas, con una capacidad de 20Ah, lo necesario es 11 horas. Para aprovechar toda la capacidad de la batería, podemos utilizar 14 módulos LED sin ningún inconveniente de abastecimiento de energía.

Ahora bien, se realiza un análisis para iluminar un espacio público determinado, para esto se determina el número de módulos LED necesarios para cubrir la demanda de flujo luminoso que permita iluminar un área concreta.

Luego la batería solar deber cubrir la demanda de tiempo de operación para poder abastecer de energía a los módulos LED, es por eso que se hace el análisis conjunto con una batería de 100Ah que es la capacidad idónea que cubre 17 horas de iluminación como se observa en la Tabla 4.9.

Es así que, para cubrir una calzada de 3000 a 9000 lúmenes, se tiene los resultados en la Tabla 4.11. (Observatory, 2017)

El módulo LED 5050 tiene las siguientes dimensiones (48x13x4 mm), que la podemos encontrar en la hoja de especificaciones técnicas. (Singsunled, 2017)

En la tabla anterior 4.9, claramente se aprecia que para conseguir un flujo luminoso de 3000 lúmenes se necesita alrededor de 50 módulos LED.



Figura 4. 11. Dimensiones del módulo LED 5050.

Estos 50 módulos LED tendrían nuevas dimensiones para obtener un solo conjunto de luminarias capaces de satisfacer la demanda de flujo luminoso total requerido, entonces las nuevas dimensiones son (48*650*4 mm), donde estéticamente es aceptable.

Los 3000 lúmenes pueden satisfacer el alumbrado público en zonas como paseo peatonal y cubrir pasillos de pequeños parques y plazoletas.

Tabla 4. 9. Valores calculados para satisfacer una demanda de 3000 y 9000 lúmenes con el módulo LED 5050.

Descripción	Módulo LED 35W	Módulo LED 105W	Unidad
Número de módulos LED	50	150	
Potencia/cada módulo	0,7	0,7	w
Flujo Luminoso/cada módulo	60	60	lm
Flujo Luminoso Total	3000	9000	lm
Potencia Total	35	105	w
Distancia del punto de luz	7	9	m
Ancho Calzada y/o calle	10	23	m
Largo Calzada y/o calle	5	3	m
Área Calzada y/o calle	50	69	m ²
Iluminancia	60,00	130,43	lux
Intensidad de Luz	2940,00	10565,22	cd
Eficacia Luminosa	85,71	85,71	lm/w
Diámetro Iluminado	24,25	31,18	m
Radio Iluminado	12,12	15,59	m
Área Iluminado	461,81	763,41	m ²
Voltaje Nominal Batería	12,00	12,00	V
Capacidad Batería Solar	100,00	150,00	Ah
Duración Batería Solar	17,14	8,57	h

Los resultados indican que la duración de la batería está en las 9 horas aproximadamente, en donde se tiene un déficit de 2 horas de servicio que aparentemente se encontraría apagado las luminarias, se lo puede corregir colocando una nueva batería de menor capacidad y conectarla en paralelo con la existente, así por ejemplo conectar la batería de 150Ah en paralelo con otra de 55Ah se tendría que a la final satisface las 11 horas de encendido de los módulos LED.

Las nuevas dimensiones son (48*1950*4 mm), donde estéticamente no es aconsejable colocar una luminaria tan larga y amplia, es así que, por ejemplo, Philips tiene en su familia de lámparas LED para alumbrado público una lámpara en especial llamada UniStreet, que cubre cerca de 15 000 lúmenes lo que equivale a cubrir la demanda lumínica de cualquier avenida y calle. Utiliza blanco neutro, aunque no tiene flujo luminoso constante, con una potencia inicial de 95W y es factible para que opere con siste-

mas fotovoltaicos asilados utilizando un convertidor que pueda transformar y elevar la tensión a 220-240V. (Philips, BGP204 LED149-4S/740 I DM50 D9 48/60A, 2017)

En la figura 4.12, se realizó las mediciones de Iluminancia en los parques de San Blas y Calderón respectivamente, donde se determinó que existe en San Blas se utiliza un punto de luz a 7 metros de altura con tecnología vapor de sodio y un promedio de 300 lux, mientras que en el parque Calderón se utilizaba tecnología LED a los mismos 7 metros de altura con potencia de 70W y un promedio de 200 lux.



Figura 4. 12. Medición de lux en parques del centro histórico de Cuenca.

En la figura 4.13, las mediciones tuvieron lugar en zonas como sector aeropuerto y estadio, respectivamente, en el aeropuerto encontramos una calle con iluminancia de 120 lux aproximadamente su punto de luz estaba ubicado a 11 metros desde el suelo y utilizaban vapor de sodio de 150W, luego en el sector del estadio el punto de luz en cambio se ubicaba a 15 metros de altura con iluminancia de 170 lux aproximadamente, así mismo, utilizaba vapor de sodio de 450W.



Figura 4. 13. Medición de lux en calles y avenidas de Cuenca.

4.3. ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO – AMBIENTAL ENTRE LAS TECNOLOGÍAS LED Y VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

Se analiza aspectos técnicos para tener un estudio de implementación de luminarias LED sin perder la eficiencia del flujo luminoso manteniendo el área a iluminar, por otra parte, analizar el impacto económico que causaría sustituir las lámparas convencionales por tecnología LED junto a su respectivo estudio ambiental tratando de disminuir el impacto al medio ambiente.

4.3.1. ANÁLISIS AMBIENTAL ENTRE LUMINARIAS LED VERSUS LAS LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

En las luminarias de tecnología LED, la luz de tonalidad blanco-azulada es la que más altera la conducta de las especies de vida nocturna y por ende afecta a la conservación de la biodiversidad en sus condiciones naturales. (Celfosc, 2017)

Existen normativas más estrictas sobre el uso de alumbrado público que exige que las luminarias tengan una mínima emisión de flujo luminoso por debajo de los 500 nanómetros, 615 lúmenes aproximadamente. (Celfosc, 2017)

Así mismo, en tema de salud, la luz blanca azulada de los LED es la que provoca de forma más rápida la inhibición de la secreción de la hormona melatonina por parte de la glándula pineal en los seres humanos, debido a que los receptores circadianos que poseemos en la retina son precisamente más sensibles a ese pico de emisión luminosa en las longitudes de onda azules. (Celfosc, 2017)

4.3.2. ANÁLISIS TÉCNICO DE LUMINARIAS LED Y LAS LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

Actualmente se necesita un estudio técnico eficiente para poder iluminar espacios públicos tomando en consideración la altura, área según la clase de vía o calzada, obteniendo

así los valores lumínicos más óptimos para alumbrar cada espacio público en específico, ya sea avenida, calle, calzada, parque, entre otros.

4.3.2.1. FACTORES DE UNIFORMIDAD Y NIVELES DE ILUMINACIÓN

Iluminar una vía pública está en función de la velocidad y el promedio de vehículos que circulan, así como la distribución de postes de iluminación y la reflexión que produce la calzada dependiendo de la intensidad o potencia de la luminaria.

4.3.2.2. FACTOR DE UNIFORMIDAD DE LUMINANCIA DE LA CALZADA (U_0)

Es la relación existente entre la luminancia mínima y la luminancia de la vía. (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006)

4.3.2.3. FACTOR DE UNIFORMIDAD LONGITUDINAL SOBRE LA CALZADA (U_L)

Es la relación existente entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, que se mide desde la calzada hasta la medida central de la vía, o de lo contrario de la línea central de cada carril en la cual se está haciendo el estudio. (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006)

4.3.2.4. RELACIÓN DE ALREDEDORES (S_R)

Hace referencia a la relación que existe en la iluminancia promedio en bandas de 5m de ancho, cada una de estas adyacente a los dos bordes de la calzada, para así obtener iluminancia promedio en las bandas de 5m de ancho dentro de la calzada. (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006)

4.3.2.5. DESLUMBRAMIENTO

Se lo cuantifica por medio del incremento del umbral (TI), en otras palabras, se lo calcula para el estado inicial de la instalación. (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006)

$$TI = \frac{k * E_e}{Lva * \theta^2} (\%) \quad (4.14)$$

Donde,

k = es una constante que según la edad del observador se la calcula con el valor de 650^3 .

E_e = es la iluminancia total inicial de la luminaria, en estado nuevo, sobre un plano normal a la línea de visión y a la altura del ojo de la persona que actúa de observador.

L_{av} = la iluminancia inicial promedio.

Θ = es el ángulo en grados que se forma a partir de la línea de visión y el centro de la luminaria.

4.3.3. VÍAS CON TRÁFICO MOTORIZADO

4.3.3.1. CLASES DE ILUMINACIÓN SEGÚN LAS VÍAS

Se la determina mediante la siguiente ecuación: (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006)

$$M = \left(6 - \sum V_{PS} \right) \quad (4.15)$$

Donde,

M = es la clase de iluminación que va desde M1 a M6

ΣV_{PS} = sumatoria de los valores ponderados, en función de la tabla que se presenta en el ANEXO 18.

Según la clase de iluminación que se obtenga producto de aplicar la tabla del ANEXO 18, se procede a seleccionar los parámetros fotométricos para tráfico motorizado como se ilustra en la Tabla 4.10.

Tabla 4. 10. Parámetros fotométricos para tráfico motorizado. (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006)

Clase de iluminación	Tipo de superficie				Incremento de Umbral	Relación de alrededor
	Seco			Mojado	Ti(%)	SR
	$L_{av} \left(\frac{cd}{m^2} \right)$	Uo	Uf	Uo		
M1	2.0	0.40	0.70	0.15	10	0.5
M2	1.5	0.40	0.70	0.15	10	0.5
M3	1.0	0.40	0.60	0.15	15	0.5
M4	0.75	0.40	0.60	0.15	15	0.5
M5	0.50	0.35	0.40	0.15	15	0.5
M6	0.30	0.35	0.40	0.15	20	0.5

4.3.4. VÍAS PEATONALES

4.3.4.1. CLASES DE ILUMINACIÓN SEGÚN EL TIPO DE VÍAS

Se la determina mediante la siguiente ecuación: (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006)

$$p = \left(6 - \sum V_{PS} \right) \quad (4.16)$$

Donde,

p = es la clase de iluminación que va desde P1 a P6

ΣV_{PS} = sumatoria de los valores ponderados, en función de la tabla que se presenta en el ANEXO 19.

Según la clase de iluminación que se obtenga producto de aplicar la tabla del ANEXO 19, se procede a seleccionar los parámetros fotométricos peatonales como se ilustra en la Tabla 4.11.

Tabla 4. 11. Parámetros fotométricos para áreas peatonales y de tráfico de baja velocidad. (CONELEC, Regulación No. 005/14, 2006)

Clases de iluminación	TIPO DE APLICACIÓN	
	Iluminancia horizontal (lx) Referida a nivel de la superficie de uso	
	Promedio	Mínimo
P1	15.00	3.00
P2	10.00	2.00
P3	7.50	1.50
P4	5.00	1.00
P5	3.00	0.60
P6	2.00	0.40

4.3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS LUMINARIAS LED Y LAS LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESIÓN

En Osram se encuentra luminarias de sodio de alta presión con los siguientes precios: para una potencia de 100W se lo encuentra en \$18.00 dólares americanos, para una potencia de 150W se lo encuentra en \$21.00, pero en los principales almacenes de Cuenca se lo puede comprar en conjunto con su carcasa y el precio final bordea los \$203.00 dólares americanos. (Osram, Amazon, 2017)

Por su parte las luminarias LED para alumbrado público, se las encuentra en una gran variedad de precios y potencias, desde los \$12.00 dólares americanos con una potencia de 10W, hasta incluso por encima de los \$100.00 dólares. (STL50, 2017)

Implementar una lámpara de vapor de sodio o LED va acorde a los resultados que se espera obtener, así como reducir los gastos financieros y cuidado del medio ambiente, es así que las luminarias LED tienen mayor tiempo de vida útil que las de vapor de sodio de alta presión, el costo de consumo de energía se ve reducido y favorable por el lado de la tecnología LED a diferencia de las de VSAP que tiene un tiempo de vida re-

ducido y por ende mayor se necesita mayor costo de inversión y mantenimiento. Así pues, se necesita saber las siguientes consideraciones:

- Altura del punto de luz.
- Lúmenes demandados y área a cubrir.
- Potencia a utilizar.

Por otro lado, una luminaria LED podrá resultar más costosa que una lámpara vapor de sodio de alta presión, pero sí de tiempo de vida útil y de ahorro en el consumo energético se trata, sin duda la tecnología LED es más conveniente.

4.4. ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO – AMBIENTAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

En esta parte se hará énfasis en los elementos utilizados en el proyecto, para analizar desde toda perspectiva si la fuente fotovoltaica es viable para una hipotética implementación para alumbrado público con tecnología LED.

4.4.1. ANÁLISIS AMBIENTAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

La energía solar fotovoltaica contribuye al desarrollo energético y para el tema ambiental no pasa desapercibido ya que es un tipo de energía renovable amigable con el medio ambiente, por los siguientes motivos:

- A diferencia de otras fuentes de energía, la energía solar no requiere de combustibles fósiles por lo que no causa mayor daño al medio ambiente y por ende no emite CO₂.
- Los paneles solares de la gama de silicio utilizan menos elementos contaminantes para su fabricación, a comparación de los de capa fina arseniuro de galio, indio, galio, telurio de cadmio y para el presente proyecto se utilizó silicio de policristalino.
- Paneles y baterías solares con el pasar de los años se van degradando, es necesario limpiar la superficie del panel con un trapo húmedo y en el caso de la batería

no dejar que se descargue por debajo de sus niveles mínimos de voltaje y limpiar sus terminales con líquido anticorrosivo.

- Los sistemas fotovoltaicos están exentos de ruido, por lo que no causan molestias de audición durante su operación.

4.4.2. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO IMPLEMENTADO EN EL PROYECTO

Los elementos fotovoltaicos utilizados en el proyecto se los adquirió bajo los siguientes precios que se muestran en la Tabla 4.12:

Tabla 4. 12. Costo de elementos del sistema solar fotovoltaico empleado en el proyecto. *(Proviento, 2016)*

COSTO	
Descripción	Costo (\$)
Panel solar Exmork 50P	90,00
Controlador Morningstar 10A	60,00
Batería Ultracell 12V/20Ah	80,00
Módulos LED 12/5W	9,00
TOTAL	\$ 239,00

El costo de implementar un sistema fotovoltaico bordea alrededor de los \$239.00 dólares, pero como se indicó en el capítulo tres el panel solar puede ser implementado con uno de menor capacidad por temas de eficiencia energética por ejemplo un panel de 15W que tiene un costo de \$40.00 dólares, por lo que el costo total quedaría en \$189.00 dólares, además que no requiere alimentación externa que represente un costo por consumo de energía y su LED tiene una vida útil de 50 000 horas que aproximadamente son:

$$11h * 365 = 4,015 h/a\text{anual}$$

$$\frac{50\,000h}{4,015 h/a\text{anual}} = 12 \text{ años}$$

Cabe resaltar que en el datasheet de la batería Ultracell tiene una vida útil de 12 años aproximadamente a media descarga, el panel solar una vida útil de 25 años con el 85% de degradación por el uso, además del controlador que tiene un normal funcionamiento por encima de los 10 años de vida útil.

También se debe tomar en cuenta el consumo de energía y costos de cada tecnología, para una sola luminaria o lámpara que se muestra en las Tablas 4.13, 4.14 y 4.15.

Tabla 4. 13. Consumo de energía de una lámpara de vapor de sodio. (*Centrosur, 2017*), (*León & Lojano, 2014*)

Lámpara	Consumo real [W]	Hrs. Operación [H]	kWh/día	kWh/mensual
VSAP	250	11.5	2.875	86.250

Tabla 4. 14. Consumo de energía de una luminaria LED. (*Centrosur, 2017*), (*León & Lojano, 2014*)

Lámpara	Consumo real [W]	Hrs. Operación [H]	kWh/día	kWh/mensual
LED	120	11.5	1.380	41.400

Tabla 4. 15. Costo unitario del consumo de energía de VSAP y LED. (*Centrosur, 2017*), (*León & Lojano, 2014*)

	unidades	kWh/mes	\$/mes
VSAP	1	86.250	9.4118
LED con SFV	1	41.400	0
LED con RE	1	41.400	4.3533

4.4.2.1. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Suponiendo que el sistema fotovoltaico tiene una duración de 25 años y 50 000 horas de vida útil del LED, se utiliza el VAC que corresponde al flujo de costos constante para los años en que opera el sistema FV, calculando de la siguiente manera: (León & Lojano, 2014)

$$VAC = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (4.17)$$

Donde,

VAC = Valor actual de costos

C_i = Costos directos e indirectos asociados a la inversión, así como mantenimiento durante su vida útil.

r = Tasa activa de descuento.

n = Horizonte de evaluación del proyecto.

Como la tecnología LED y Vapor de Sodio de Alta Presión tienen distintos tiempos de vida útil, se puede utilizar para comparar al mismo nivel de energía el Costo Anual Equivalente CAE, que se puede calcular de la siguiente manera: (León & Lojano, 2014)

$$CAE = VAC * \left(\frac{(1+r)^{n*r}}{(1+r)^n - 1} \right) \quad (4.18)$$

Donde,

CAE = Costo anual equivalente

VAC = Valor actual de costos

r = Tasa activa de descuento.

n = Horizonte de evaluación del proyecto.

Es necesario comparar las dos tecnologías para determinar cuál de estas dos, es la más viable económicamente para implantar un proyecto, es por eso se realiza el estudio de dos alternativas de alumbrado público, en el primer caso para VSAP y el segundo con uso de LED.

4.4.2.2. ALTERNATIVA 1 CON VAPOR DE SODIO DE ALTA PRESION

En la Tabla 4.16 se puede apreciar un desglose general de elementos y factores que intervienen para implementar un punto de luz, donde la inversión de este proyecto es de \$743,437 para un punto de luz, \$2973,748 para cada 100 metros de puntos de luz y \$29737,488 para cada kilómetro de puntos de luz.

Tabla 4. 16. Aproximación de costos para puntos de luz de tecnología VSAP. (Centrosur, 2017), (León & Lojano, 2014)

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	[\$]/ UNIDAD	[\$] / TOTAL	[\$] / 100M	[\$]/ 1KM
Mano obra no calificada	1	54,43	54,43	217,72	2177,2
Montaje	1	20,22	20,22	80,88	808,8
Materiales	1	654,21	654,21	2616,84	26168,4
SUBTOTAL		1216,56	728,86	2915,44	29154,4
Imprevistos 2% Total			14,5772	58,308	583,088
TOTAL			743,4372	2973,7488	29737,488

La estructura en general tiene un tiempo de vida útil que bordea los 25 años, pero se conoce que las lámparas de vapor de sodio tienen una duración de 20 000 horas correspondiente a 5 años si funcionan todos los días a 11 horas aproximadamente en ausencia solar.

Dicho lo anterior, se debe realizar un análisis financiero considerando los costos de mantenimiento que representa mantener este tipo de lámparas es por esto que para 25 años se necesita cambiar de luminarias 5 veces, lo que representaría un costo variable adicional como se observa en la Tabla 4.17, por otro lado, el costo fijo corresponde al consumo eléctrico.

Tabla 4. 17. Aproximación de costos de mantenimiento de VSAP. (Centrosur, 2017), (León & Lojano, 2014)

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	[\$]/ UNIDAD	[\$]/ TOTAL	[\$] / 100M	[\$]/ 1KM
Desmontaje Lámpara	1	10,11	10,11	40,44	404,4
Mont. Y nueva lámpara	1	337,66	337,66	1350,64	13506,4
TOTAL			347,77	1391,08	13910,8

La tasa efectiva activa referencial según el Banco Central del Ecuador, para el sector empresarial productivo al mes de septiembre del 2017 es 8,68% anual. (Banco Central del Ecuador, 2017)

El procedimiento en Excel para hallar el Valor actual de costo y el Costo equivalente anual se puede observar en la Tabla del ANEXO 20, donde los resultados se muestran en la Tabla 4.18.

Tabla 4. 18. Indicadores para la alternativa de VSAP.

Indicador	VSAP 5 Años	VSAP 25 Años
VAC	\$ 6,158.367	\$ 15,174.163
CAE	\$ 1,570.146	\$ 1,504.955

4.4.2.3. ALTERNATIVA 2 CON TECNOLOGÍA LED

En la Tabla 4.19 se puede apreciar un desglose general de materiales que interviene en la colocación de un punto de luz con tecnología LED, como se muestra a continuación:

Tabla 4. 19. Aproximación de costos para puntos de luz de tecnología LED conectado a un SFV.

(Orellana Lalangui & Sarango Chamba, 2015), (Proviento, 2016)

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	[\$]/ UNIDAD	[\$]/ TOTAL	[\$] / 100M	[\$]/ 1KM
Panel Solar SIMAX 200W/24VDC	1	260	260	1300	13000
Luminaria BBELED 120W/24VDC	1	750	750	3750	37500
Batería Ultracell 12VDC/100Ah	1	270	270	1350	13500
Controlador Morningstar 24/20A	1	187	187	935	9350
Gabinete Metálico para Batería	1	100	100	500	5000
Poste circular	1	50	50	250	2500
Soporte para panel solar	1	20	20	100	1000
Cable conductor 16AWG	2	0,5	1	5	50
Cable conductor 2AWG	3	3	9	45	450
Fusibles	4	0,5	2	10	100
Porta fusibles	4	0,3	1,2	6	60
SUBTOTAL			1650,2	8251	82510
Mano de Obra e Imprevistos 2% Total Proyecto			33,004	165,02	1650,2
TOTAL			1683,204	8416,02	84160,2

Al ser una tecnología tipo fotovoltaica aislada, los elementos tienen una vida útil de 25 años, a excepción de las baterías y luminarias LED que cada cierto periodo necesitan ser reemplazadas por unas nuevas.

La tasa activa referencial se mantiene en el mismo valor que para el uso de VSAP. (CONELEC, Regulación No. 003/02, 2015)

El procedimiento en Excel para hallar el Valor actual de costo y el Costo equivalente anual se puede observar en la Tabla del ANEXO 21, donde los resultados se muestran en la Tabla 4.20.

Tabla 4. 20. Indicadores para la alternativa LED alimentado desde un SFV.

Indicador	LED SFV 5 Años	LED SFV 25 Años
VAC	\$ 8,690.602	\$ 13,433.375
CAE	\$ 2,215.768	\$ 1,333.298

Otra alternativa surge de la idea de alimentar directamente desde la red eléctrica una luminaria LED de 120W, es así como en la Tabla 4.21 se puede apreciar un desglose general de materiales que interviene en la colocación de un punto de luz con tecnología LED.

Tabla 4. 21. Aproximación de costos para puntos de luz de tecnología LED alimentado desde la red eléctrica. (León & Lojano, 2014)

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	[\$]/UNIDAD	[\$]/TOTAL	[\$] /100M	[\$]/1KM
Mano obra no calificada	1	54.43	54.43	272.15	2721.5
Montaje	1	20.22	20.22	101.1	1011
Luminaria LED 120W	1	1226.66	1226.66	6133.3	61333
SUBTOTAL			1301.31	6506.55	65065.5
Imprevistos 2% SubTotal			26.0262	130.131	1301.31
TOTAL			1327.3362	6636.681	66366.81

Los elementos tienen una vida útil de 25 años, a excepción de las luminarias LED que cada cierto periodo necesitan ser reemplazadas por unas nuevas.

La tasa activa referencial se mantiene en el mismo valor que para el uso de VSAP y LED alimentada con sistema fotovoltaico aislado. (CONELEC, Regulación No. 003/02, 2015)

El procedimiento en Excel para hallar el Valor actual de costo y el Costo equivalente anual se puede observar en la Tabla del ANEXO 22, donde los resultados se muestran en la Tabla 4.22.

Tabla 4. 22. Indicadores para la alternativa LED alimentado desde la red eléctrica.

Indicador	LED RE 5 Años	LED RE 25 Años
VAC	\$ 9,849.841	\$ 17,020.227
CAE	\$ 2,511.329	\$ 1,688.045

4.4.2.4. COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS VSAP Y LED

En la Tabla 4.23 se realiza una comparación en el año 5, observando que la CAE es la que determina cual es el proyecto es el más óptimo y puede generar ahorro, para armar un posible proyecto.

Como se observa en la Tabla 4.23, la alternativa LED con SFV genera un déficit en el año 5 de \$ -645.622 dólares, con lo cual no es factible el proyecto en ese tiempo.

Tabla 4. 23. Ahorro por comparación de VSAP y LED SFV en un periodo de 5 años.

Indicador	VSAP 5 años	LED SFV 5 años	Ahorro
VAC	\$ 6,158.367	\$ 8,690.602	\$ -645.622
CAE	\$ 1,570.146	\$ 2,215.768	dólares

Por otro lado, la Tabla 4.24, muestra que la alternativa LED con SFV genera un ahorro de \$ 171.657 dólares en 25 años, este periodo se consideró ya que es el tiempo de vida útil en la que operan la mayoría de elementos, tanto para tecnología VSAP y LED. Se debe además acotar que hasta el año 9 sigue siendo factible la tecnología VSAP.

Tabla 4. 24. Ahorro por comparación de VSAP y LED SFV en un periodo de 25 años.

Indicador	VSAP 25 años	LED SFV 25 años	Ahorro
VAC	\$ 15,174.163	\$ 13,433.375	\$ 171.657
CAE	\$ 1,504.955	\$ 1,333.298	dólares

Siguiendo el mismo procedimiento y la cantidad de años, pero comparando la alternativa VSAP con LED alimentado por red eléctrica convencional (RE), se tiene que en el año 5 la tecnología LED con alimentación de RE no genera ahorro en ese periodo y el déficit es de \$941.183 dólares, como se muestra en la Tabla 4.25.

Tabla 4. 25. Ahorro por comparación de VSAP y LED RE en un periodo de 5 años.

Indicador	VSAP 5 años	LED RE 5 años	Ahorro
VAC	\$ 6,158.367	\$ 9,849.841	\$ -941.183
CAE	\$ 1,570.146	\$ 2,511.329	dólares

Por otro lado, la Tabla 4.26, muestra que la alternativa LED con RE genera un déficit de \$ 183.09 dólares en 25 años, este periodo se consideró ya que es el tiempo de vida útil en la que operan la mayoría de elementos y se debe a que el costo de reposición de la luminaria LED es aproximadamente cuatro veces más costosa que la lámpara tradicional de VSAP. Se debe además acotar que hasta el año 14 sigue siendo factible la tecnología VSAP y en el año 15 hasta el año 23 es viable implementar un alumbrado público con tecnología LED.

Tabla 4. 26. Ahorro por comparación de VSAP y LED RE en un periodo de 25 años.

Indicador	VSAP 25 años	LED RE 25 años	Ahorro
VAC	\$ 15,174.163	\$ 17,020.227	\$ -183.09 dólares
CAE	\$ 1,504.955	\$ 1,688.045	

4.4.3. ANÁLISIS TÉCNICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

Hoy en día los paneles actuales para alumbrado público son automáticos, es decir que estos módulos tienen integrados en su estructura un dispositivo electrónico o sensor capaz de percibir la luz solar, haciendo que se encienda en el día y apague en la noche automáticamente.

Para lugares que son generalmente zonas montañosas y tienen fuertes vientos, al panel se lo coloca de forma horizontal para hacer un pare contra estas condiciones climáticas.

Los sistemas solares para alumbrado público se clasifican en dos tipos:

Sistemas solares autónomos: Se da cuando cada punto de luz tiene su propio panel solar con su respectiva batería y no necesita alimentarse de otra fuente de energía eléctrica.

Sistemas solares centralizados: Donde existe un solo panel y acumulador para alimentar a un conjunto de puntos de luz, generalmente se los encuentra en pequeñas ciudadelas o urbanizaciones.

La caja en donde se aloja la batería esta sellada con un seguro donde sólo tienen acceso el personal que controla o hace mantenimiento y por recomendación se lo coloca en la

parte superior del poste cercano a lámpara LED, para evitar pérdidas en el cableado que, si se colocase en la parte inferior, así mismo por seguridad y evitar el robo de estos equipos.



Figura 4. 14. Alumbrado público con sistema fotovoltaico autónomo. (*Esco-tel, 2017*)



Figura 4. 15. Luminaria Solar ESCO-TEL operando en la noche. (*Esco-tel, 2017*)

En toda instalación fotovoltaica es siempre importante colocar fusibles que puedan proteger a cada elemento, para evitar daños de los mismos.

Para la elección de un adecuado fusible, se deberá tomar en cuenta la siguiente comparación:

$$I_C(A) \leq I_N(A) \text{ del fusible} < I_{m\acute{a}x}(A) \quad (4.17)$$

Donde,

$I_C(A)$ = Intensidad de cálculo menor o igual a la del fusible.

$I_N(A)$ = Intensidad nominal del fusible.

$I_{m\acute{a}x}(A)$ = Corriente máxima admisible por el conductor.

Como ya se describió en el capítulo 3, el conductor empleado a este proyecto fue un cable flexible #16AWG cuya máxima corriente admisible bordea los 22A, el cálculo de corriente menor se puede obtener fácilmente con los datos que concedió Labview y cuya corriente máxima fue 2.6A aproximadamente. Conocido lo anterior se puede realizar la comparación respectiva de la ecuación 4.17, donde se tiene lo siguiente:

$$2.6A < 3A < 22A$$

El fusible a seleccionar puede fácilmente ser de un valor de 2.6A, pero comercialmente se lo puede encontrar de un valor de 3A, el cual se usó en el proyecto para la etapa entre panel, controlador y batería.

Como dato adicional en la ficha técnica del panel solar Exmork 50P la corriente máxima con carga que entrega dicho módulo es de 2.91A, lo que apoya nuevamente la correcta elección de elegir el fusible de 3A.

Uno de los análisis que se efectuó en este proyecto fue la de colocar un diodo semiconductor, como se observa en la figura 4.16, que tiene como función la de permitir el flujo de corriente en una sola dirección, ya que en el día el panel solar se comporta como una fuente de energía que libera el paso de corriente desde éste dispositivo hasta la batería que se comporta como una carga. En la noche las funciones se invierten, es decir la batería se comporta como tal y el panel se vuelve una carga, para evitar que la batería se descargue se coloca como elemento de protección un diodo semiconductor de 3A, éste valor se eligió una vez más observando la máxima corriente que entrega el panel en circuito cerrado.

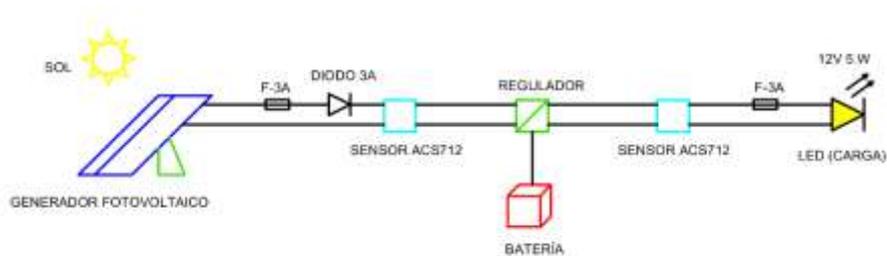


Figura 4. 16. Protecciones en el sistema FV realizado en el proyecto. (Esco-tel, 2017)

Otro análisis importante se realizó al momento de enviar señales analógicas de voltaje desde la fase positiva del módulo FV hacia el regulador donde al realizar varias pruebas durante un mes antes de empezar el proyecto se determinó que el voltaje más grande se da en horas de mayor irradiación solar con una tensión en continua de 20V, luego se requiere tener a la salida del partidor una tensión de 5V para que Arduino pueda captar ese valor, por lo que se realizó lo siguiente:

Se puede imponer una resistencia cualquiera en este caso se eligió un resistor de 10KΩ, para poder disminuir la tensión de 20V, luego mediante Ley de Ohm, se procede al siguiente cálculo:

$$\frac{20V}{10K\Omega} = 2mA$$

La corriente que debe circular en el partido es de 2mA, esta corriente se usa para calcular el nuevo resistor a implementar para obtener la salida de 5V, como se muestra a continuación:

$$\frac{5V}{2mA} = 2.5K\Omega$$

El nuevo resistor debe tener un valor de 2.5KΩ, con lo que esta resistencia comercialmente no existe, entonces lo que se hace es colocar un potenciómetro para modificarlo con el multímetro y que establezca el voltaje requerido, como se muestra en la figura 4.17.

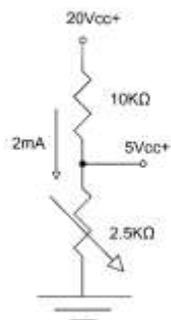


Figura 4. 17. Partidor de tensión para la etapa Panel-Regulador.

Siguiendo el mismo procedimiento del cálculo anterior, pero tomando en consideración que en lugar de tener 20V ahora se tiene 12V, producto de la alimentación de la batería a los módulos LED, se tiene que la corriente en el partidor es de 1.2mA y para lograr el voltaje de 5V requerido se necesita un potenciómetro ajustado en 4.167KΩ, como se presenta en la figura 4.18.

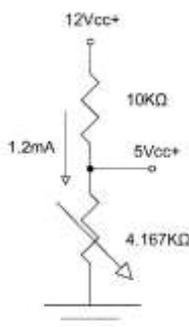


Figura 4. 18. Partidor de tensión para la etapa Regulador-LED.

4.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ALUMBRADO PÚBLICO CON SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO Y UN SISTEMA TRADICIONAL ALIMENTADO POR RED ELÉCTRICA

En esta sección se dará una breve comparación entre ventajas y desventajas que conlleven tener un sistema fotovoltaico autónomo para alimentación de luminarias para alumbrado público frente a un sistema tradicional alimentado por red pública.

- Los sistemas fotovoltaicos utilizan la fuente renovable de energía más limpia existente en nuestro planeta que es el sol a comparación de las lámparas de

VSAP que utilizan energía generalmente proveniente de hidroeléctricas y termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles para poder operar.

- Las luminarias conectadas a sistemas fotovoltaicos pueden operar por años sin costo por consumo de energía, mientras que las lámparas de vapor de sodio están conectadas a la red y por ende consumen energía y representa además un valor a pagar por parte de los usuarios.
- Los LED tienen una vida útil de 50000 horas, frente a las lámparas de vapor de sodio que tienen una vida de 20000 horas, por consiguiente la tecnología LED con sistemas FV representan un menor costo de mantenimiento.
- Las luminarias LED son inmunes de apagones o fallas eléctricas como si las tienen las lámparas VSAP que son alimentadas por red eléctrica convencional.
- Las lámparas de VSAP operan con voltajes nominales de 220V en alterna, mientras que las luminarias LED pueden operar desde los 12V en continua.

Además, se realiza una breve comparación de aspectos eléctricos que se presenta en la Tabla 4.27.

Tabla 4. 27. Comparación de parámetros eléctricos entre VSAP y LED. (*Centrosur, 2017*), (*León & Lojano, 2014*)

Parámetros	Tecnologías	
	VSAP	LED
Factor de Potencia	0,92	0,98
Temperatura de Operación (°C)	350	40
Vida útil (horas)	20000	50000
Tiempo de Encendido (min)	5	0
Temperatura del color (°K)	2000-3500	3000-6000
Eficacia (lm/w)	80-130	>60
Índice de rendimiento de color (%)	<50	65-90

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo de la realización de este proyecto se dará las respectivas conclusiones y adecuadas recomendaciones para quienes quieran implementar este trabajo en sus respectivas instalaciones o estudios de sistemas fotovoltaicos aislados.

5.1. CONCLUSIONES

La tecnología LED mitiga las emisiones de CO₂ con respecto a las lámparas de vapor de sodio y mercurio de alta presión, además que produce un relativo ahorro en el consumo de energía eléctrica. Actualmente la inversión para cambiar de tecnología VSAP a LED representa un significativo costo inicial, pero con el pasar de los años de la mano con el avance tecnológico se podría recuperar esa inversión en un menor tiempo posible.

Para poder reemplazar lámparas de VSAP tradicionales por luminarias LED, según la regulación de CONELEC se debe verificar que se cubra la misma demanda de lúmenes existentes en las lámparas de sodio y con la misma o mayor área de cobertura.

Las luminarias LED para alumbrado público representan un alto valor de inversión inicial y se espera que a futuro esta tecnología pueda bajar de precio o elevar su vida útil, para poder implementar masivamente en las áreas tanto urbanas como rurales.

En el alumbrado público de la ciudad de Cuenca mayoritariamente se encuentra instalado las luminarias de VSAP que las de vapor de mercurio debido a que entre estas dos tecnologías la menos contaminante y mayor ahorro de energía representa la de vapor de sodio de alta presión.

Los sistemas fotovoltaicos es otra fuente de producción de energía limpia que existe en la actualidad, ya que usan elementos que no son contaminantes o ruidosos y es amigable con el medio ambiente, los sistemas FV tienen gran acogida y aplicación para alumbrado público.

La aplicación de sistemas FV para alumbrado público tienen mayor importancia en zonas aisladas poco pobladas, estaciones sísmicas, donde las redes eléctricas no llegan a cubrir las zonas que necesitan de electricidad.

Para dimensionar una cierta carga, primero se debe conocer la radiación solar existente en el lugar a realizar la implementación, luego conocer la potencia de la carga y las horas de funcionamiento, para obtener una carga promedio diaria, luego se puede deducir cuántos paneles se necesitan, siguiendo por el dimensionamiento de la batería y regulador.

En la ecuación 3.3, tenemos la fórmula para dimensionar el número total de paneles que se requiere para implementar en el sistema FV, en dicha ecuación existen dos parámetros fundamentales que son la carga media L_{md} y la potencia máxima que tiene el panel P_{MPP} ; estas dos variables son determinantes en el momento de colocar un panel solar con determinada potencia, en este caso se disponía de una panel de 50W para el proyecto, pero en el análisis técnico estudiado en el capítulo 4 se llegó a determinar que un panel de 15W es suficiente para abastecer el sistema FV con carga LED de 5W.

Se debe colocar un diodo semiconductor que recorra en sentido directo desde el módulo FV a la batería, el panel debe estar entregando entre 15 – 20 V para que exista una diferencia de potencial con el acumulador de 12V y pueda fluir normalmente la corriente en el día, esto se realiza para que el acumulador no se descargue en la noche y a su vez el panel no se comporte como una carga.

El proyecto contó con la operación de dos sensores de corriente de efecto hall, uno entre el panel - regulador y otro entre regulador - LED, y como representan un costo significativo se dispuso el uso de fusibles para protección tanto de dichos sensores como del sistema FV en conjunto.

Para poder extraer los datos de tensión en continua se utilizó partidores de tensión usando resistencias y potenciómetros de $10K\Omega$, haciéndose que pueda ingresar voltajes no mayores a 5V en la tarjeta de Arduino.

Las mediciones realizadas en el software de Labview se realizaron con la ayuda de los sensores ACS712 de efecto hall para leer datos de corriente, además de partidores de tensión y arduino que ayudaron para la lectura de valores de voltaje, dado que el panel receptaba voltajes en el día de 19V aproximadamente y la tarjeta de adquisición no puede leer valores por encima de los 5V por lo que se recortó el voltaje con la ayuda de los partidores donde posteriormente el programa devuelve el valor original mediante una regla de tres con los comandos de matemática de Labview.

La parte de simulación se realizó gracias a la ayuda del software de Simulink que cuenta con la librería SIMSCAPE para proyectos fotovoltaicos, la simulación se dividió en dos etapas, la primera consistió en colocar el modelo de panel con una carga que realiza las funciones del comportamiento de la batería en el día, únicamente se introducía datos de radiación y temperatura que facilitó la estación meteorológica de la carrera de ingeniería ambiental UPS Cuenca, la segunda etapa se llevó a cabo usando los datos medidos de Labview y con una carga que simulaba el comportamiento de los módulos LED.

Los resultados finales que se midió en Labview y se simuló en Matlab, tienen cierta semejanza, pero no son iguales, debido a algunos factores como: degradación del material de silicio del panel, valores no exactos de radiación de la estación meteorológica de la UPS sede Cuenca, pérdidas en el cable conductor y resistencias.

En la ciudad de Cuenca existe un aceptable potencial solar, donde el promedio de radiación global a lo largo del año fue de $521,185 \text{ Wh/m}^2$, obteniendo voltajes de 19 y 20V a la salida del panel, como promedio máximo, con lo que es factible realizar estudios e implementaciones de sistemas fotovoltaicos aislados.

En el análisis económico que se realizó en el capítulo 4, considerando un tiempo de vida útil de 25 años que operan la mayoría de elementos, realizando los respectivos mantenimientos y sustitución de luminarias se calculó que en 5 años desde la inversión en el año 0 no genera ahorro la tecnología LED frente a las VSAP, por otro lado, a partir del año 10 ya genera el proyecto FV con sistema aislado ahorros e ingresos, consecuentemente en el año 25 si existen ganancias para poder implementar un proyecto de tecnología LED.

5.2. RECOMENDACIONES

En principio se recomienda leer e investigar detenidamente la teoría sobre todos los elementos que conforman un sistema fotovoltaico autónomo, luego, para realizar los cálculos siempre se toma en consideración la carga y el tiempo que se requiere alimentar cualquier carga sea en DC o AC.

Se debe considerar que los sistemas fotovoltaicos tienen gran acogida en los lugares aislados, donde no llega la red de energía eléctrica convencional, por tanto, es recomendable usar e implementar en estos lugares alumbrado LED con sistemas FV.

La ciudad de Cuenca está localizada en el hemisferio Sur, se recomienda colocar el panel con una inclinación de 5° con vista hacia el hemisferio norte, en un lugar que esté fuera del alcance de sombras que puedan dificultar el paso de la luz solar hacia el módulo.

Si en los cálculos tanto para determinar el número de paneles solares, así como su disposición en serie o paralelo el resultado fuese un número con decimales, se recomienda elevar el resultado al inmediato superior entero.

En los pasos para dimensionar un sistema FV aislado se recomienda primero determinar la carga, luego el factor de Horas de Sol Pico, el número de paneles, la capacidad del acumulador, corrientes tanto a la entrada como a la salida del regulador y el inversor.

El panel solar de material monocristalino es más eficiente en células de menor área que en los de material policristalino que necesitan una mayor área de la célula para conseguir la misma potencia. Por otro lado, los paneles de policristalino son menos costosos por tema de procesos de fabricación, es por eso que para aplicaciones de bajas potencias se recomienda usar paneles de material de este tipo, que finalmente fue el que se utilizó para este proyecto.

Las baterías para sistemas FV son de plomo – ácido, níquel – cadmio y ion – litio. Las baterías mencionadas tienen sus ventajas y desventajas por lo cual ninguna es 100% recomendable, pero por costos, fácil fabricación y comercialización en la ciudad de Cuenca sin duda se recomienda la batería plomo – ácido que se utilizó para almacenar la energía del proyecto realizado.

En la elección del regulador solar no existe mayor inconveniente ya que el mercado actual ofrece reguladores que tienen incorporados protecciones electrónicas en su interior. Por lo cual se recomienda realizar un correcto dimensionamiento para la adecuada adquisición de este producto.

La laptop que se vaya a utilizar para realizar un proyecto similar debe tener una buena velocidad de RAM, una batería eficiente, un excelente sistema de refrigeración, además de colocar un ventilador externo por debajo de la portátil, todo esto para realizar una adquisición de datos de Labview sin que se trabe o sobrecaliente el ordenador portátil.

Se recomienda además realizar varias pruebas de adquisición de datos con Labview, para obtener valores lo más exactos posibles e ir comprobando con la ayuda de un voltímetro y amperímetro los datos que se genera en Excel.

Se recomienda usar un diodo semiconductor a la salida del panel para evitar que en la noche la energía almacenada en la batería se regrese a las células del módulo FV. Por otro lado, también se debe colocar fusibles para proteger los elementos del sistema FV.

Al momento de adquirir un sensor que capte la señal de corriente de circulación se recomienda verificar que pueda leer datos de corriente continua, ya que la mayoría de sensores que se encuentran en el mercado son para medición de corrientes en alterna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, M. A. (s.f.). *Energía Solar Fotovoltaica Escuela de Organización Industrial*. Recuperado el 10 de Enero de 2017, de Energía Solar Fotovoltaica Escuela de Organización Industrial:
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- Aparicio, M. P. (s.f.). *Energía Solar Fotovoltaica: Calculo de una instalación aislada*. Marcombo Segunda Edición.
- Banco Central del Ecuador. (Septiembre de 2017). *Tasas de Interés*. Obtenido de Tasas de Interés:
<https://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=%2Fdocumentos%2FEstadisticas%2FSectorMonFin%2FTasasInteres%2FIndice.htm>
- Brooks, A. E. (2013). *Solar Energy Photovoltaics*. Arizona, USA.
- Camino, J. A. (2011). *Criterios de diseño en iluminación y color*. Obtenido de Criterios de diseño en iluminación y color:
http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/criterios_iluminacion.pdf
- Carachure Castañeda, J. L. (s.f.). *Análisis comparativo sobre luminarias de LEDs contra vapor de sodio de alta presión y aditivos metálicos en alumbrado público*. Obtenido de Análisis comparativo sobre luminarias de LEDs contra vapor de sodio de alta presión y aditivos metálicos en alumbrado público:
<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12501/1/ANALISIS%20COMPARATIVO%20SOBRE%20LUMINARIAS%20DE%20LEDS%20CONTRA%20VAPOR%20DE%20SODIO%20DE%20ALTA%20PRESION%20Y%20ADITIVOS%20METALICOS%20EN%20ALUMBRADO%20PUBLICO.pdf>
- Carrera de Ingeniería Ambiental, U. C. (01 de Noviembre de 2016). Estación Meteorológica. Cuenca, Azuay, Ecuador: UPS Cuenca.
- Celfosc. (2017). *La iluminación Led y el problema de la contaminación lumínica*. Obtenido de La iluminación Led y el problema de la contaminación lumínica :
<http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz-olle-jauregui2011.pdf>
- Centrosur. (2017). *Centrosur*. Obtenido de Centrosur: <http://www.centrosur.gob.ec>
- Céspedes, J. E. (2012). *Celdas fotovoltaicas de alta eficiencia y sistemas de paneles solares del Cubesat Colombia*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2016, de Celdas fotovoltaicas de alta eficiencia y sistemas de paneles solares del Cubesat Colombia:
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/article/view/6381/7901>

- Chabla Auqui, L. L., & Córdova Erraéz, D. F. (2015). *Eficiencia energética en el alumbrado público del centro histórico de Cuenca*. Obtenido de Eficiencia energética en el alumbrado público del centro histórico de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21652/1/tesis.pdf>
- CONELEC. (2006). *Regulación CONELEC 008/11*. Obtenido de Regulación CONELEC 008/11: http://www.goberguayas.gob.ec/img/CNEL/ANEXO1-REGULACION_CONELEC_008_11.pdf
- CONELEC. (2006). *Regulación No. 005/14*. Obtenido de Regulación No. 005/14: http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Regulaci%C3%B3n-No.-CONELEC-005_14-Prestaci%C3%B3n-APG_.pdf
- CONELEC. (2015). *Regulación No. 003/02*. Obtenido de Regulación No. 003/02: http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-PreciosEnergiaRenovable003_02.pdf
- Corporation Morningstar. (2014). *Manual Controlador Solar*. Obtenido de Manual Controlador Solar: <http://www.morningstarcorp.com/wp-content/uploads/2014/02/SHSmanualTranslated.pdf>
- DOSSIER LED, E. (2011). *Una nueva fuente de iluminación*. Obtenido de Una nueva fuente de iluminación : www.equiventa.com/archivos/Color.pdf
- Duffie, J. A., & Beckam, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: Fourth Edition .
- El-Zein, N. (2013). The LED Lighting Revolution, Sustainability, Energy and Architecture. En N. El-Zein, *The LED Lighting Revolution, Sustainability, Energy and Architecture* (págs. 171-194). Obtenido de The LED Lighting Revolution.
- Esco-tel. (2017). *Luminarias solares para alumbrado público*. Obtenido de Luminarias solares para alumbrado público: http://www.esco-tel.com/luminarias_solares_para_alumbrado_publico.html
- Farroñay, L. C. (s.f.). *Meteorología y Climatología Agrícola*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2016, de Meteorología y Climatología Agrícola: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/el_espectro_de_la_radiaci%C3%B3n.pdf
- García Fernández, J. (s.f.). *Clases de lámpara de descarga*. Obtenido de Clases de lámpara de descarga: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/ldesc2.html#lvsap>

- GLP, G. P. (2017). *Especificaciones técnicas de alumbrado público*. Obtenido de Especificaciones técnicas de alumbrado público:
http://gpl.com.ec/productos/alumbrado_publico/FICHAGPL115/index.html
- Haberlin, H. (2012). *Photovoltaics, System Design and Practice*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- IDAE, & CEI. (s.f.). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, Alumbrado Público*. Obtenido de Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación, Alumbrado Público:
https://issuu.com/malaluz/docs/gt_ee_iluminacion_alumbrado_publico
- Ingelibre. (28 de Octubre de 2014). *Ingelibre*. Obtenido de Ingelibre:
<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/01/09/inclinacion-optima-de-placas-fotovoltaicas/>
- Kalogirou, S. A. (2014). *Photovoltaic Systems*. Second Edition .
- King, H. (2003). *Lighting*.
- Lámparas y sus componentes*. (s.f.). Obtenido de Lámparas y sus componentes:
http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/InstalacionesIndustriales/Art_Interes/LampComp.pdf
- LED Revista. (s.f.). *Módulo LED AC para exteriores, directo a 230V y a prueba de agua y humedad*. Obtenido de Módulo LED AC para exteriores, directo a 230V y a prueba de agua y humedad:
<http://www.revistaled.com/index.php/2017/06/09/modulo-led-ip65-ac-optoga/>
- Ledbel. (s.f.). *Led, Lumen en lux*. Obtenido de Led, Lumen en lux:
<http://www.ledbel.nl/blogs/alles-over-ledverlichting/led-lumen-en-lux/>
- León, L. M., & Lojano, F. R. (2014). *Mejoramiento del sistema del alumbrado público de una arteria de circulación vehicular de la ciudad de Cuenca, mediante la sustitución por tecnología LED (Light Emitting Diode)*. Cuenca.
- Llumor. (2017). *Equivalencia de Lumen a Lux*. Obtenido de Equivalencia de Lumen a Lux: <http://www.llumor.es/info-led/equivalencia-de-lumen-a-lux>
- Luxómetro. (2016). *Google Play*. Obtenido de Google Play:
<https://play.google.com/store/apps/details?id=crunchybytebox.lightmeter&hl=es>
- Martínez-Duart, R. G.-L. (2013). *Renewable Energies and CO2*. London, England.
- Méndez Muñiz, J. M., & Cuervo García, R. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal.
- Mohanty, P., & Tyagi, A. (2015). *Introduction to Solar Photovoltaic Technology*.

MUCHOS LED. (s.f.). *Que es la temperatura de color*. Obtenido de Que es la temperatura de color: <http://www.muchosleds.com/es/content/6-temperatura-de-color-calido-neutro-frio>

Nayak, P., Dutta, J., & Mishra, G. (2015). Efficient InGaP/GaAs DJ solar cell with double back surface field layer. *ScienceDirect*.

Orellana Llangui, A. G., & Sarango Chamba, J. F. (Febrero de 2015). *Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrial, sector el plateado servido por empresa eléctrica regional del sur*. Obtenido de Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrial, sector el plateado servido por empresa eléctrica regional del sur: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7872/1/UPS-CT004708.pdf>

Orellana, G. J., & Samaniego, M. L. (Febrero de 2015). *Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow & Campbell*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2016, de Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow & Campbell: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>

Osram. (2017). *Amazon*. Obtenido de Amazon: https://www.amazon.es/s/ref=sr_pg_2?rh=n%3A3564289031%2Ck%3AL%C3%A1mpara+de+vapor+de+sodio+de+alta+presi%C3%B3n&page=2&keywords=L%C3%A1mpara+de+vapor+de+sodio+de+alta+presi%C3%B3n&ie=UTF8&qid=1495577772

Osram. (s.f.). *AQUALED 2 L*. Obtenido de AQUALED 2 L : https://www.osram.com/osram_com/products/led-technology/outdoor-led-luminaires/floodlights-spots/aqualed-2-l/index.jsp

Osram. (s.f.). *VIALOX NAV-T/I Lámparas de vapor de sodio de alta presión con ignitor interno*. Obtenido de VIALOX NAV-T/I Lámparas de vapor de sodio de alta presión con ignitor interno: https://www.osram.es/osram_es/productos/lamparas/lamparas-de-descarga-de-alta-presion/lamparas-de-vapor-de-sodio-de-alta-presion-para-luminarias-abiertas-y-cerradas/vialox-nav-ti/index.jsp

Patagoniatec. (2016). *Sensor de corriente ACS712*. Obtenido de Sensor de corriente ACS712: <http://saber.patagoniatec.com/sensor-de-corriente-ac712-5-20-30a-ptec-arduino-pic/>

Perez Rios, C. E. (s.f.). *Censo de alumbrado público*. Obtenido de Censo de alumbrado público: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/33011/1/perezrios.pdf>

- Philips. (2017). *BGP204 LED149-4S/740 I DM50 D9 48/60A*. Obtenido de BGP204 LED149-4S/740 I DM50 D9 48/60A:
http://www.lighting.philips.es/prof/luminarias-de-exterior/alumbrado-publico-y-residencial/luminarias-publico-y-residencial/unistreet/910925452102_EU/product
- Philips. (s.f.). *MASTER SON-T APIA Plus Xtra*. Obtenido de MASTER SON-T APIA Plus Xtra: http://download.p4c.philips.com/lfb/e/e8c61a61-5763-45fb-87e2-a5820141d23b/e8c61a61-5763-45fb-87e2-a5820141d23b_pss_es_es_001.pdf
- Plante, R. H. (2014). *Solar Energy, Photovoltaics, and Domestic Hot Water*.
- Proviento. (2016). *Datasheet panel solar Exmork*. Obtenido de Datasheet panel solar Exmork:
<http://www.proviento.com.ec/SOLAR%20PANEL%20EXMORK%2050Pes.pdf>
- R. Kannan, K. L. (2005). "Life Cycle Assessment" Study of solar PV systems. *ScienceDirect*.
- Radocha, M., & Baumgartner, B. (s.f.). *Eficiencia Energética en el Alumbrado Público y en las Infraestructuras de Transporte*. Obtenido de Eficiencia Energética en el Alumbrado Público y en las Infraestructuras de Transporte:
<http://transportlearning.net/competence/docs/Urban%20Design%20Reference%20Material.pdf>
- Ramón Soliz, A. J., & Pineda Erreyes, R. E. (Marzo de 2015). *Análisis del rendimiento de los acumuladores de energía del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*. Obtenido de Análisis del rendimiento de los acumuladores de energía del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca:
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7945/1/UPS-CT004799.pdf>
- Reggiani, A., & Farini, A. (2015). LEDs and Use of White LED for Lighting. En R. A., & F. A., *LEDs and Use of White LED for Lighting*.
- Rodriguez, A. (2013). *Sistemas Scada.*, Alfaomega, México, 3ªEd, 2013, enlace electrónico obtenido de:
<http://www.mecamex.net/revistas/LMEM/revistas/LMM-V03-N02-01.pdf>.
- Schreder. (2017). *ONYX*. Obtenido de ONYX:
<http://www.schreder.com/globalassets/sitecollectiondocuments/products/onyx/onyx-espanol-folleto-v1.pdf>
- Senner, A. (1994). *Principios de Electrotécnia*. REVERTE.
- Singsunled. (2017). *Light Box 5050 LED MODULE*. Obtenido de Light Box 5050 LED MODULE: <http://www.singsunled.com/product/light-box-5050-led-module.html>

- Stevens, J. W., & Corey, G. P. (1996). A Study of Lead-Acid Battery Efficiency Near Top-of-Charge and the Impact on PV System Design. *IEEE Xplore*.
- STL50. (2017). *Amazon*. Obtenido de Amazon: https://www.amazon.es/Alumbrado-P%C3%BAblico-6000-8000Lm-eficiencia-energ%C3%A9tica/dp/B01F3HFXBK/ref=sr_1_20?s=lighting&ie=UTF8&qid=1504315732&sr=1-20&keywords=L%C3%A1mpara+LED+alumbrado+p%C3%BAblico
- Style, O. (2012). *Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo*. Primera Edición .
- SunFields, E. (2016). *Manual de cálculo de sistemas fotovoltaicos aislados/autónomos para instalaciones fotovoltaicas sin conexión a la red eléctrica*. Obtenido de Manual de cálculo de sistemas fotovoltaicos aislados/autónomos para instalaciones fotovoltaicas sin conexión a la red eléctrica: http://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf
- Sylvania. (2017). *Lámparas para alumbrado público*. Obtenido de Lámparas para alumbrado público: <http://www.sylvania-america.com/es/productos/lamparas>
- Zaldumbide Cevallos, E. G. (Agosto de 2012). *Plan de mejoramiento del alumbrado público de las principales avenidas de la ciudad de Quito mediante la sustitución por lámparas fluorescentes*. Obtenido de Plan de mejoramiento del alumbrado público de las principales avenidas de la ciudad de Quito mediante la sustitución por lámparas fluorescentes: http://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=11551&shelfbrowse_itemnumber=44762

ANEXOS

ANEXO 1

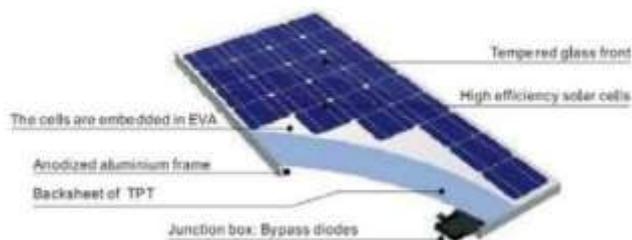
EXMORK

艾莫克新能源

PANELES SOLARES 50P



- ✓ Por mas de 10 años Exmork esta especializado en productos de energía renovable. Nos sentimos responsables de los productos que vendemos ofreciendo un excelente servicio post venta.
- ✓ Para nuestros paneles fotovoltaicos estamos utilizando células de alto rendimiento de Sun Tech: Excelente calidad a un precio muy económico: Energía Renovable no tiene que costar el mundo!
- ✓ Los células se encuentran encapsuladas en una base de acetato de vinilo etilénico con fluoruro de polivinilo con una cubierta de vidrio templado, para brindarles la máxima protección en las condiciones ambientales severas.
- ✓ En conjunto con el excelente terminado de los módulos esta avanzada tecnología permite que los módulos solares poli cristalinos llegaran a un rendimiento energético mayor a 14%.
- ✓ El panel se complementa con una caja de conexión con certificación TÜV para minimizar problemas eléctricos.



CE

ESPECIFICACIONES TECNICAS:

Parámetros	Tipo	50P
		Silicio Poli cristalino
Potencia máxima (watt)	W	50
Tolerancia de potencia		+3% /-3%
Voltaje óptima (Vmp)	V	17.5V
Corriente óptima (Imp)	A	2.86A
Voltaje máxima (Voc)	V	22.0V
Corriente máxima (Isc)	A	3.07A
Dimensiones		670*620*35mm
Marco (tipo, material y grosor)		Aluminium anodizado. Alloy 35mm
Voltaje máxima externa permitida		600V
Coefficiente de temperatura de Isc		±0.05%
Coefficiente de temperatura de Voc		-0.33%
Coefficiente de temperatura de P		-0.23%
Coefficiente de temperatura de Imp		+0.08%
Coefficiente de temperatura de Vmp		-0.33%
Resistencia a cargas mecánicas		200kg/m2
Eficiencia de conversión		> 15.75%

Nota: Las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones normalizadas de pruebas: 1 kW/m², masa de aire: 1.5 y células 25°C.

GARANTIAS:

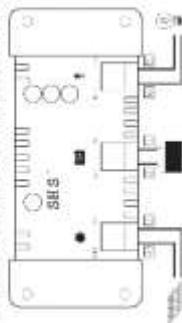
Garantía Técnica por defectos de fabricación: 2 años
**Garantía de Rendimiento por degradación de potencia: 10 años a 90%,
25 años a 85%**



For over 10 years we have been specializing in wind and water power products. We service everything we sell. Scores of companies come and go, but we have consistently been in the market to take care of our customers.

ANEXO 2

INSTALACIÓN



- Conecte los cables en el orden indicado 1 - 6
- Úselo solamente con baterías de plomo-ácido
- Úselo solamente con ais-tomas de 12V
- No exceda el rango solar ni el de carga (6A o 10A)

LUCES

- V** ● Se enciende el verde cuando el sistema de carga solar está cargando la batería
 - V** ● Verde encendido cuando el nivel de batería es alto
 - A** ● Amarillo encendido si el nivel de la batería es medio
 - R** ● Rojo intermitente cuando el nivel de la batería es bajo
 - R** ● Rojo encendido cuando las cargas se cortan
- SIGNIFICA**
- Verde encendido, luego amarillo encendido y luego rojo encendido
- PUESTA EN MARCHA NORMAL**
- V** ● Verde encendido
 - A** ● Amarillo encendido
 - R** ● Rojo encendido
- encendidos indica PROBLEMA**
- los cables + y - se tocan o demasiada corriente

Modelos de luz nocturna

SHS

SHS-NL-6 / SHS-NL-10:

La carga se ACTIVA al caer la noche y se DESACTIVA al amanecer. La carga NO se activa durante el día.

Para corregir el problema:

1. Revise los cables
 2. Reduzca los amperes si es necesario
 3. Reinicie el controlador
- Desconecte el + de la batería
 - Reconecte el + de la batería

9

CAPACIDADES NOMINALES (TODOS A 12 V)

- SHS 6**
 - 100 Watts o 6 A para el sistema de carga solar y la carga
 - 170 Watts o 10 A para el sistema de carga solar y la carga

NOTAS: **Solamente para uso con paneles solares.**

INFORMACIÓN TÉCNICA

- **PUNTO DE REGULACIÓN** 14.3 V
- **Desconexión por bajo voltaje** 11.5 V
- **Reconexión por bajo voltaje** 12.6 V
- **Tipo de carga** PWM serie (modulación por ancho de pulso)

4 etapas: En bruto, PWM, por incremento o "Boost" y flotante
Carga compensada en temperatura
Cortocircuito y exceso de corriente: en sistema solar y carga

• Protecciones electrónicas

Polaridad inversa: en sistema de carga solar, en la carga y en la batería
Corriente inversa en la noche
Limita los altos voltajes para proteger las cargas

• Tropicalización

Protección contra rayos
Placa de circuito impreso con recubrimiento según norma

Terminales resistentes a la corrosión
Para cables de tamaños de hasta 4 mm²

- **Terminales** 15.1 x 6.6 x 3.6 cm
- **Dimensiones** 113 g
- **Peso** 8 mA máximo
- **Consumo propio** -25°C a +50°C
- **Temperatura** 100% sin condensación
- **Humedad** IP 22
- **Encapsulado** 2 años
- **Garantía** CE, Banco Mundial
- **Cumple con las normas de**

ESPAÑOL

10

ANEXO 3

UCG 20-12
12V 20AH
Deep Cycle Gel

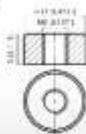


UCG20-12	Physical Specification
	<p>Part Number: UCG20-12</p> <p>Length: 181.5 ± 2 mm (7.15 inches)</p> <p>Width: 77 ± 2 mm (3.03 inches)</p> <p>Container Height: 167.5 ± 2 mm (6.59 inches)</p> <p>Total Height (with terminal): 167.5 ± 2 mm (6.59 inches)</p> <p>Approx Weight: Approx 5.8 kg (12.8lbs)</p>

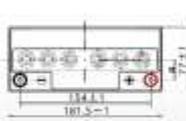
Specifications			
	Nominal Voltage	12V	
	Nominal Capacity (20HR)	10AH	
Terminal Type	Standard Terminal	F15	
	Optional Terminal	-	
Container Material	Standard Option	ABS	
	Flame Retardant Option (FR)	ABS (UL94 V0)	
Rated Capacity	20.0 AH@0.85A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	15.5 AH@1.55A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	13.8 AH@2.72A	(5hr, 1.78V/cell, 25°C / 77°F)	
	11.8 AH@3.94A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	9.35 AH@5.35A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)	
Max Discharge Current	200A (5s)		
Internal Resistance	Approx 18mΩ		
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C (-4 ~ 131°F)	
		Charge: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F)	
		Storage: -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)	
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)	
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 4.25A Voltage	14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C
		No limit on Initial Charging Current Voltage	13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C
Standby Use	Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 96%	
Design Floating Life at 20°C	12 Years		
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C (77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.		

Dimensions

F15 Terminal









1 Ultracell (UK) Ltd | Vespy Business Park | Vespy Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom
Tel: +44 (0) 151 623 3777 Fax: +44 (0) 151 623 0855 Email: info@ultracell.co.uk
www.ultracell.co.uk

ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE



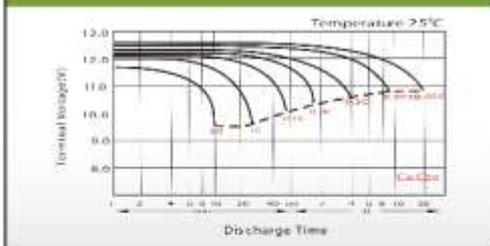
Constant Current Discharge (Amperes) at 25 °C (77°F)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	14.4	11.3	8.61	7.21	4.57	3.49	2.89	2.49	2.15	1.90	1.72	1.57	1.48	0.82
1.80V/cell	16.5	12.8	9.50	7.96	4.95	3.73	3.06	2.62	2.26	1.99	1.80	1.65	1.55	0.85
1.75V/cell	18.5	13.9	10.3	8.52	5.24	3.94	3.20	2.72	2.34	2.06	1.86	1.70	1.58	0.87
1.70V/cell	19.9	14.9	10.9	9.01	5.56	4.11	3.31	2.81	2.42	2.13	1.91	1.75	1.62	0.88
1.67V/cell	20.8	15.4	11.3	9.35	5.70	4.24	3.39	2.86	2.46	2.16	1.94	1.77	1.64	0.89
1.60V/cell	22.5	16.5	12.1	9.93	5.93	4.41	3.52	2.95	2.52	2.21	1.98	1.81	1.67	0.90

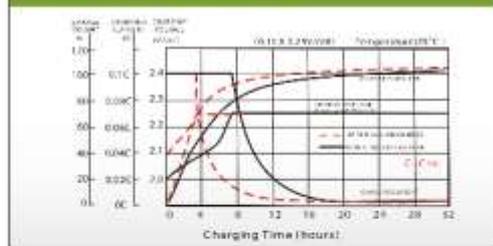
Constant Power Discharge (Watts) at 25 °C (77°F)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	27.5	21.8	16.7	14.0	8.94	6.83	5.68	4.92	4.26	3.78	3.42	3.13	2.96	1.63
1.80V/cell	31.1	24.1	18.3	15.4	9.63	7.29	5.99	5.15	4.46	3.95	3.57	3.28	3.09	1.69
1.75V/cell	34.6	26.2	19.6	16.4	10.2	7.68	6.26	5.33	4.60	4.07	3.68	3.37	3.14	1.73
1.70V/cell	36.9	27.9	20.7	17.3	10.7	7.96	6.45	5.48	4.75	4.20	3.78	3.46	3.21	1.75
1.67V/cell	37.9	28.6	21.3	17.8	11.0	8.20	6.59	5.58	4.82	4.25	3.83	3.50	3.25	1.76
1.60V/cell	40.6	30.4	22.7	18.8	11.3	8.49	6.81	5.74	4.92	4.33	3.89	3.57	3.31	1.78

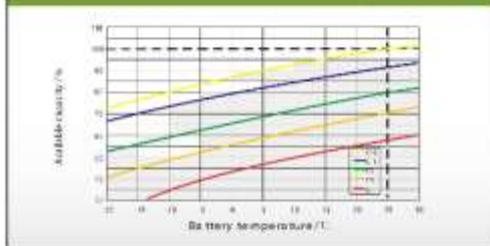
Discharge Characteristics



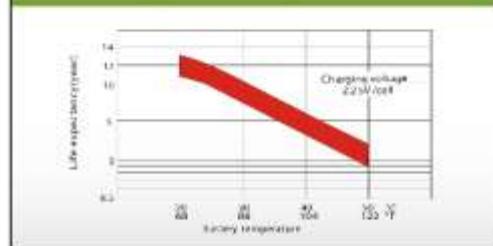
Float Charging Characteristics



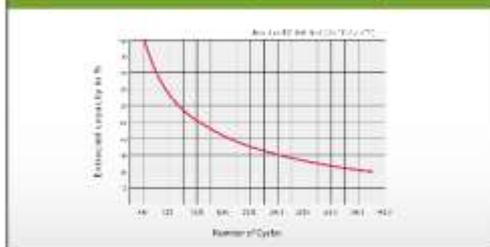
Temperature Effects in Relation to Battery Capacity



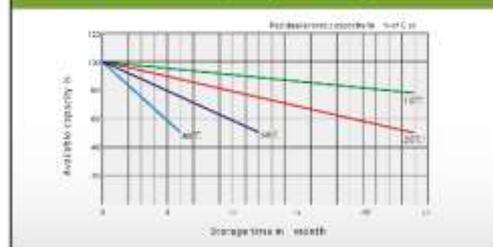
Effect of Temperature on Long Term Float Life



Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



General Relation of Capacity VS. Storage Time



2

Ultroncell (UK) Ltd | Vestey Business Park | Vestey Road | Liverpool | L30 3NY | United Kingdom
Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0855 Email: info@ultroncell.co.uk
www.ultroncell.co.uk

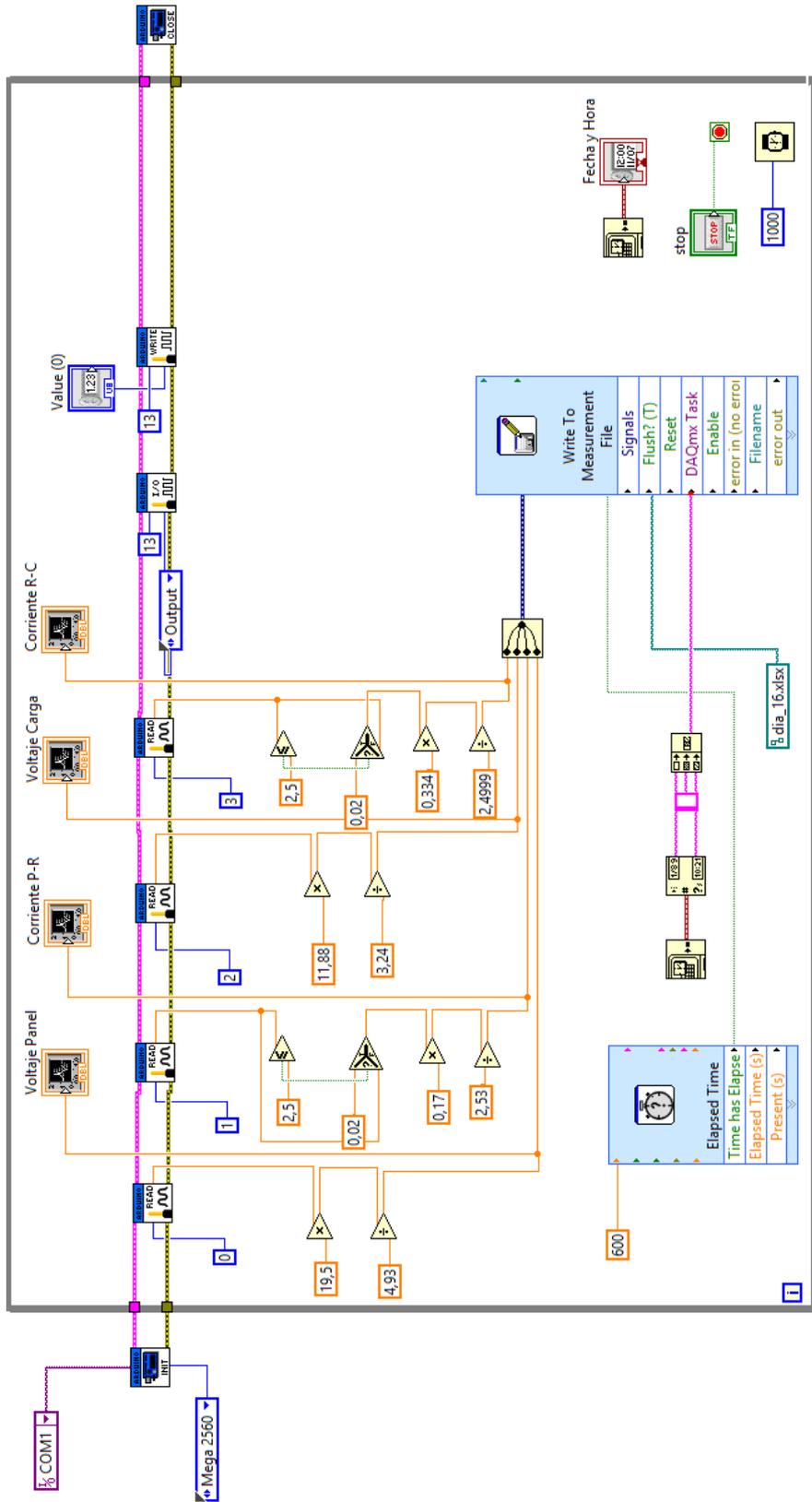


ANEXO 4

Tabla. Promedio de radiación diaria en el mes de noviembre 2016.

Noviembre 2016	
Hora del día (h)	Promedio de radiación Global (Wh/m²)
01:00	0
02:00	0
03:00	0
04:00	0
05:00	0
06:00	0,233333
7:00	54,13333
8:00	208,3
9:00	433,8
10:00	646,7
11:00	757,73333
12:00	799,26666
13:00	760,83333
14:00	723,36666
15:00	596,23333
16:00	450
17:00	248,4
18:00	69,833333
19:00	1,4
20:00	0

ANEXO 5



ANEXO 6

Tabla. Resumen de valores promedio medidos en Labview, en el mes de noviembre del 2016.

Prome- dio (horas)	Corriente Carga [A]	Voltaje Carga [V]	Corriente Panel [A]	Voltaje Panel [V]	Potencia Carga [W]	Potencia Panel [W]
0:00	0,4178	12,0004	0,2302	0,2906	5,0142	0,0651
1:00	0,4180	11,9944	0,3096	0,2567	5,0131	0,0799
2:00	0,4176	11,9826	0,2229	0,2348	5,0037	0,0569
3:00	0,4187	11,9700	0,3647	0,2292	5,0119	0,0839
4:00	0,4182	11,9614	0,3665	0,2288	5,0018	0,0839
5:00	0,4152	11,9492	0,1524	0,2025	4,9614	0,0294
6:00	0,4030	11,5989	0,2257	1,5221	4,6850	0,6049
7:00	0,0728	0,5404	0,5655	13,5129	0,0411	7,6538
8:00	0,0606	0,1383	0,7783	13,8067	0,0083	10,7525
9:00	0,0726	0,0834	1,1401	14,1968	0,0060	16,1880
10:00	0,0912	0,0789	1,3139	14,7159	0,0072	19,3637
11:00	0,0912	0,0818	1,7954	16,3992	0,0074	29,4900
12:00	0,0659	0,0095	1,9689	16,7238	0,0006	33,0021
13:00	0,0908	0,0054	1,9551	16,8467	0,0005	32,9591
14:00	0,1346	0,0051	1,9214	16,9152	0,0007	32,5058
15:00	0,1249	0,0044	1,7224	16,9115	0,0005	29,2496
16:00	0,1155	0,0030	1,2979	15,6539	0,0003	20,3226
17:00	0,0936	0,0037	1,1380	15,2237	0,0003	17,3311
18:00	0,0719	0,0020	0,8777	14,6608	0,0001	12,9103
19:00	0,2936	7,5919	0,3708	5,6732	2,9141	2,6743
20:00	0,4193	12,0213	0,1286	0,4031	5,0409	0,0529
21:00	0,4193	12,0183	0,2962	0,3406	5,0398	0,0990
22:00	0,4191	12,0149	0,2485	0,3588	5,0355	0,0908
23:00	0,4182	12,0111	0,3913	0,3463	5,0229	0,1296

ANEXO 7

Tabla. Resumen de valores promedio medidos en Labview, en el mes de diciembre del 2016.

Prome- dio (horas)	Corriente Carga [A]	Voltaje Carga [V]	Corriente Panel [A]	Voltaje Panel [V]	Potencia Carga [W]	Potencia Panel [W]
0:00	0,4176	12,0174	0,1916	0,3140	5,0187	0,0572
1:00	0,4177	12,0211	0,2151	0,2854	5,0207	0,0609
2:00	0,4174	12,0172	0,1162	0,2563	5,0159	0,0319
3:00	0,4181	12,0109	0,2156	0,2681	5,0222	0,0580
4:00	0,4176	12,0073	0,1893	0,2395	5,0146	0,0450
5:00	0,4153	12,0010	0,1063	0,2281	4,9843	0,0239
6:00	0,4088	11,8951	0,1543	1,0380	4,8653	0,2335
7:00	0,0888	1,7084	0,4137	12,2030	0,2043	5,2712
8:00	0,0618	0,0688	0,8352	14,0518	0,0042	11,7412
9:00	0,0576	0,0494	1,0777	14,4087	0,0028	15,5369
10:00	0,0647	0,0457	1,2199	14,7516	0,0029	18,0219
11:00	0,0754	0,0475	1,6355	16,2120	0,0036	26,5213
12:00	0,0574	0,0051	1,8232	16,5416	0,0003	30,1824
13:00	0,0572	0,0033	1,9171	17,0046	0,0002	32,6367
14:00	0,0861	0,0036	1,8682	17,0618	0,0003	31,8996
15:00	0,0824	0,0034	1,6115	16,6271	0,0003	26,8282
16:00	0,0786	0,0021	1,2425	15,6756	0,0002	19,4885
17:00	0,0464	0,0025	1,1017	15,3430	0,0001	16,9150
18:00	0,0570	0,0010	0,8071	14,8319	0,0001	11,9939
19:00	0,2370	5,3448	0,3688	8,2747	1,8539	3,5787
20:00	0,4193	12,0264	0,1250	0,4778	5,0425	0,0923
21:00	0,4193	12,0259	0,2624	0,3305	5,0421	0,0890
22:00	0,4192	12,0245	0,2517	0,3540	5,0404	0,0878
23:00	0,4177	12,0231	0,3984	0,3628	5,0221	0,1346

ANEXO 8

Tabla. Valores promedio correspondientes a los meses de noviembre y diciembre de año 2016, en un horario de 06:00 a 18:30 en labview.

Prome- dio	Corriente Carga	Voltaje Carga	Corriente Panel	Voltaje Panel	Potencia Carga	Potencia Panel
(horas)	[A]	[V]	[A]	[V]	[W]	[W]
6:00	0,109641	3,47586	0,391378	10,9265	0,381098	4,276413
6:10	0,072119	1,49932	0,398829	12,1475	0,108130	4,844808
6:20	0,062444	1,21175	0,498005	13,0409	0,075667	6,494447
6:30	0,043389	0,10006	0,508336	13,6129	0,004342	6,919938
6:40	0,053336	0,10755	0,535825	13,7409	0,005737	7,362725
6:50	0,140459	0,10728	0,637050	13,9527	0,015069	8,888602
7:00	0,120506	0,10228	0,606477	13,8225	0,012326	8,383032
7:10	0,053135	0,09978	0,829685	13,8743	0,005302	11,51132
7:20	0,053376	0,10728	0,807314	13,8968	0,005726	11,21914
7:30	0,043349	0,10673	0,738264	13,9500	0,004627	10,29882
7:40	0,053115	0,11525	0,910810	13,9775	0,006122	12,73089
7:50	0,043470	0,10430	0,936153	14,0027	0,004534	13,10875
8:00	0,043449	0,07917	1,014697	14,0807	0,003440	14,28771
8:10	0,099995	0,06513	1,114073	14,2096	0,006513	15,83061
8:20	0,043508	0,06540	1,111535	14,2759	0,002846	15,86820
8:30	0,063441	0,06235	1,164460	14,5017	0,003956	16,88670
8:40	0,053435	0,07046	1,129601	14,3047	0,003765	16,15869
8:50	0,089755	0,06301	1,131888	14,3994	0,005656	16,29853
9:00	0,063482	0,06129	1,152054	14,3750	0,003891	16,56088
9:10	0,053395	0,06622	1,212827	14,4012	0,003536	17,46621
9:20	0,063401	0,06677	1,191981	14,5657	0,004234	17,36209
9:30	0,109748	0,06181	1,295363	14,7667	0,006784	19,12834
9:40	0,109788	0,06302	1,414566	15,0142	0,006919	21,23861
9:50	0,073368	0,06148	1,354185	15,2720	0,004511	20,68117
10:00	0,063321	0,07128	1,761463	16,4389	0,004514	28,95666
10:10	0,119654	0,06438	1,910583	16,7197	0,007704	31,94453
10:20	0,073368	0,06211	1,647352	16,0595	0,004557	26,45576
10:30	0,053535	0,06650	1,675665	16,2316	0,003560	27,19879
10:40	0,119614	0,06486	1,699796	16,2492	0,007758	27,62035
10:50	0,073448	0,06591	1,631467	16,1735	0,004841	26,38652
11:00	0,063640	0,01230	1,856644	16,1063	0,000783	29,90374
11:10	0,063479	0,00574	1,842746	16,4103	0,000364	30,24003
11:20	0,063680	0,00820	1,813457	16,3416	0,000522	29,63483
11:30	0,053413	0,00601	1,969956	17,1047	0,000321	33,69551
11:40	0,063600	0,00738	1,846774	16,4736	0,000469	30,42317
11:50	0,063640	0,00492	2,077285	17,3976	0,000313	36,13994

12:00	0,043466	0,00437	2,123347	17,5531	0,000190	37,27150
12:10	0,073506	0,00546	1,853200	16,5978	0,000402	30,75905
12:20	0,093359	0,00410	1,923300	16,9316	0,000383	32,56459
12:30	0,073747	0,00382	1,903402	16,8901	0,000282	32,14876
12:40	0,073506	0,00519	1,892147	16,6462	0,000382	31,49708
12:50	0,093439	0,00355	1,929207	16,9018	0,000332	32,60721
13:00	0,083834	0,00656	1,890560	16,7842	0,000550	31,73160
13:10	0,113372	0,00410	1,965762	17,1155	0,000465	33,64505
13:20	0,113934	0,00437	1,904740	17,0082	0,000498	32,39629
13:30	0,113834	0,00355	1,899173	17,1898	0,000405	32,64658
13:40	0,123359	0,00382	1,838030	16,6732	0,000472	30,64593
13:50	0,123700	0,00410	1,881644	17,1290	0,000507	32,23077
14:00	0,093680	0,00328	1,845463	17,0560	0,000307	31,47626
14:10	0,113874	0,00355	1,884090	17,4391	0,000405	32,85691
14:20	0,113232	0,00492	1,686867	17,1294	0,000557	28,89518
14:30	0,113011	0,00273	1,632497	16,8275	0,000309	27,47085
14:40	0,103386	0,00410	1,563252	16,2244	0,000424	25,36288
14:50	0,093459	0,00519	1,412579	15,9987	0,000485	22,59955
15:00	0,113432	0,00355	1,394820	15,8706	0,000403	22,13664
15:10	0,123299	0,00136	1,285089	15,7552	0,000169	20,24686
15:20	0,093880	0,00382	1,158277	15,4974	0,000359	17,95029
15:30	0,083051	0,00164	1,311851	15,6849	0,000136	20,57626
15:40	0,113031	0,00191	1,234694	15,6312	0,000216	19,29983
15:50	0,063580	0,00300	1,248105	15,5447	0,000191	19,40146
16:00	0,053473	0,00300	1,165206	15,5244	0,000161	18,08919
16:10	0,073306	0,00355	1,127288	15,4676	0,000261	17,43650
16:20	0,063459	0,00410	1,216771	15,4179	0,000260	18,76013
16:30	0,083252	0,00246	1,075914	15,2012	0,000205	16,35526
16:40	0,073326	0,00300	1,065029	15,0899	0,000221	16,07123
16:50	0,083092	0,00273	1,076518	14,9736	0,000227	16,11941
17:00	0,083272	0,00198	1,102805	14,9222	0,000165	16,45635
17:10	0,053453	0,00171	0,947009	14,8276	0,000092	14,04189
17:20	0,063118	0,00089	0,849832	14,8181	0,000056	12,59295
17:30	0,073326	0,00143	1,025325	14,7298	0,000106	15,10284
17:40	0,063339	0,00089	0,866668	14,6608	0,000057	12,70610
17:50	0,053212	0,00250	0,277552	14,4835	0,000133	4,019942
18:00	0,092903	0,00032	0,748136	14,1468	0,000030	10,58379
18:10	0,101954	1,11598	0,180996	12,4238	0,113779	2,248673
18:20	0,216944	5,72788	0,502048	7,70367	1,242628	3,867612

ANEXO 9

Tabla. Valores promedio correspondientes a los meses de noviembre y diciembre de año 2016, en un horario de 18:30 a 06:00 en labview.

Prome- dio	Corriente Carga	Voltaje Carga	Corriente Panel	Voltaje Panel	Potencia Carga	Potencia Panel
(horas)	[A]	[V]	[A]	[V]	[W]	[W]
18:30	0,401012	10,3452	0,200024	3,40365	4,148570	0,680815
18:40	0,381213	10,3464	0,500324	2,18396	3,944218	1,092690
18:50	0,409714	11,7443	0,087737	1,43692	4,811827	0,126071
19:00	0,419324	12,0240	0,497748	0,63129	5,041964	0,314227
19:10	0,419315	12,0237	0,041136	0,44937	5,041748	0,018486
19:20	0,419289	12,0237	0,034588	0,39979	5,041432	0,013828
19:30	0,419316	12,0234	0,063031	0,40565	5,041641	0,025569
19:40	0,419351	12,0234	0,065738	0,36328	5,042057	0,023882
19:50	0,419265	12,0232	0,059294	0,37771	5,040908	0,022396
20:00	0,419282	12,0229	0,034540	0,33399	5,041002	0,011536
20:10	0,419275	12,0226	0,614739	0,33128	5,040801	0,203654
20:20	0,419248	12,0223	0,256326	0,32362	5,040367	0,082953
20:30	0,419284	12,0221	0,059401	0,28576	5,040689	0,016975
20:40	0,419382	12,0218	0,608936	0,33985	5,041746	0,206947
20:50	0,419379	12,0188	0,108872	0,40069	5,040445	0,043625
21:00	0,419379	12,0185	0,082688	0,31731	5,040337	0,026238
21:10	0,419388	12,0182	0,588807	0,32001	5,040326	0,188428
21:20	0,419201	12,0177	0,186500	0,42053	5,037848	0,078429
21:30	0,419126	12,0207	0,014218	0,35697	5,038206	0,005076
21:40	0,419083	12,0204	0,082665	0,34480	5,037584	0,028504
21:50	0,418655	12,0204	0,544947	0,37996	5,032429	0,207060
22:00	0,418114	12,0204	0,520337	0,29387	5,025936	0,152914
22:10	0,418071	12,0202	0,561179	0,35742	5,025302	0,200581
22:20	0,418025	12,0172	0,103330	0,38447	5,023491	0,039727
22:30	0,417938	12,0169	0,564118	0,37049	5,022331	0,209005
22:40	0,417774	12,0139	0,608140	0,30063	5,019105	0,182829
22:50	0,417836	12,0112	0,010337	0,41692	5,018747	0,004310
23:00	0,417810	12,0111	0,084166	0,32632	5,018397	0,027466
23:10	0,417760	12,0090	0,126327	0,28936	5,016880	0,036555
23:20	0,417751	12,0087	0,108727	0,26187	5,016659	0,028473
23:30	0,417555	12,0089	0,592184	0,25421	5,014414	0,150540
23:40	0,417597	12,0070	0,067466	0,32362	5,014118	0,021834
23:50	0,417927	12,0048	0,294761	0,35337	5,017175	0,104160
0:00	0,418247	12,0089	0,146221	0,27855	5,022722	0,040730
0:10	0,418160	12,0091	0,146346	0,26638	5,021746	0,038984
0:20	0,417975	12,0079	0,302103	0,26277	5,019004	0,079385

0:30	0,417353	12,0065	0,348381	0,29928	5,010969	0,104265
0:40	0,417403	12,0043	0,369369	0,24474	5,010648	0,090401
0:50	0,417745	12,0038	0,281398	0,26863	5,014534	0,075593
1:00	0,417388	12,0021	0,037905	0,20733	5,009556	0,007859
1:10	0,417410	12,0013	0,229570	0,27900	5,009481	0,064050
1:20	0,417633	11,9983	0,136585	0,20327	5,010901	0,027765
1:30	0,417620	11,9988	0,369267	0,31370	5,010971	0,115842
1:40	0,417300	11,9964	0,256781	0,22987	5,006110	0,059027
1:50	0,417616	11,9950	0,009407	0,23573	5,009326	0,002217
2:00	0,418420	11,9917	0,083235	0,24474	5,017595	0,020371
2:10	0,418572	11,9915	0,110552	0,23122	5,019307	0,025562
2:20	0,418497	11,9901	0,344361	0,27539	5,017834	0,094835
2:30	0,418553	11,9882	0,469634	0,22266	5,017702	0,104569
2:40	0,418117	11,9870	0,395497	0,24699	5,012010	0,097688
2:50	0,418477	11,9853	0,369019	0,26277	5,015605	0,096969
3:00	0,418290	11,9842	0,351851	0,24699	5,012912	0,086907
3:10	0,417976	11,9855	0,195910	0,22401	5,009677	0,043886
3:20	0,417981	11,9844	0,258559	0,22401	5,009279	0,057920
3:30	0,417829	11,9813	0,322376	0,25015	5,006169	0,080644
3:40	0,417754	11,9803	0,317655	0,20237	5,004830	0,064286
3:50	0,417652	11,9805	0,258175	0,25511	5,003698	0,065864
4:00	0,416957	11,9779	0,307346	0,19741	4,994293	0,060676
4:10	0,416068	11,9776	0,083235	0,23167	4,983527	0,019284
4:20	0,414735	11,9749	0,102219	0,24474	4,966448	0,025018
4:30	0,414671	11,9711	0,097224	0,21295	4,964090	0,020704
4:40	0,414449	11,9697	0,097126	0,21026	4,960869	0,020422
4:50	0,414693	11,9680	0,098675	0,18916	4,963085	0,018666
5:00	0,414585	11,9660	0,097493	0,20429	4,960951	0,019918
5:10	0,414599	11,9649	0,034023	0,20192	4,960661	0,006870
5:20	0,414637	11,9638	0,123336	0,32205	4,960655	0,039721
5:30	0,414598	11,9630	0,174671	0,42396	4,959853	0,074054
5:40	0,406163	11,6947	0,384863	1,36345	4,749965	0,524743
5:50	0,369424	10,8671	0,340671	5,26586	4,014587	1,793926

ANEXO 10

Tabla. Valores promedio de voltaje y corriente en el día obtenidos de simulink de matlab, en los meses de noviembre y diciembre del 2016.

HORA LOCAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
(h)	[V]	[A]	[W]
0:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
1:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
2:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
3:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
4:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
5:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
6:00:00	0,1962	0,0004	0,0001
7:00:00	6,8018	0,1359	0,9241
8:00:00	11,1473	0,5567	6,2059
9:00:00	10,9998	1,2222	13,4444
10:00:00	16,1302	1,7924	28,9114
11:00:00	17,6555	1,9618	34,6358
12:00:00	16,1568	2,3057	37,2534
13:00:00	16,2732	2,0341	33,1008
14:00:00	15,2052	1,9007	28,9009
15:00:00	14,3765	1,4377	20,6693
16:00:00	9,6376	1,2047	11,6102
17:00:00	11,4854	0,5743	6,5962
18:00:00	10,4685	0,1745	1,8268
19:00:00	7,1681	0,0064	0,0461
20:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
21:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000

ANEXO 11

Tabla. Resumen de valores promedio simulados en Simulink, en el mes de noviembre del 2016.

HORA LOCAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
(h)	[V]	[A]	[W]
0:00:00	0,000000	0,000000	0
1:00:00	0,000000	0,000000	0
2:00:00	0,000000	0,000000	0
3:00:00	0,000000	0,000000	0
4:00:00	0,000000	0,000000	0
5:00:00	0,000000	0,000000	0
6:00:00	0,374591	0,000838	0,00031403
7:00:00	9,373545	0,187136	1,75412695
8:00:00	13,357773	0,666655	8,90501991
9:00:00	12,585636	1,398527	17,6013557
10:00:00	16,994409	1,888414	32,0924739
11:00:00	18,080909	2,009136	36,3270119
12:00:00	16,122500	2,298855	37,0632824
13:00:00	16,590136	2,073591	34,4011559
14:00:00	16,190955	2,019682	32,7005765
15:00:00	16,641591	1,664159	27,6942548
16:00:00	11,497764	1,437105	16,5234884
17:00:00	14,255845	0,712841	10,1621498
18:00:00	12,496545	0,208266	2,60261008
19:00:00	5,391364	0,004736	0,02553335
20:00:00	0,000000	0,000000	0
21:00:00	0,000000	0,000000	0
22:00:00	0,000000	0,000000	0
23:00:00	0,000000	0,000000	0

ANEXO 12

Tabla. Resumen de valores promedio simulados en Simulink, en el mes de diciembre del 2016.

HORA LOCAL	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA
(h)	[V]	[A]	[W]
0:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
1:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
2:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
3:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
4:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
5:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
6:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
7:00:00	3,9730	0,0795	0,3157
8:00:00	8,7158	0,4358	3,7983
9:00:00	9,2553	1,0283	9,5176
10:00:00	15,1796	1,6867	25,6039
11:00:00	17,1876	1,9096	32,8220
12:00:00	16,1946	2,3133	37,4632
13:00:00	15,9245	1,9906	31,6993
14:00:00	14,1209	1,7699	24,9921
15:00:00	11,8849	1,1886	14,1267
16:00:00	7,5915	0,9490	7,2044
17:00:00	8,4380	0,4219	3,5602
18:00:00	8,2376	0,1374	1,1316
19:00:00	9,1225	0,0083	0,0756
20:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
21:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
22:00:00	0,0000	0,0000	0,0000
23:00:00	0,0000	0,0000	0,0000

ANEXO 13

Tabla. Valores promedio de voltaje y corriente en el día obtenidos de simulink de Matlab para la batería, en los meses de noviembre y diciembre del 2016.

HORA LOCAL	CORRIENTE CARGA	VOLTAJE CARGA	POTENCIA CARGA
(horas)	[A]	[V]	[W]
0:00	0,4063	11,99	4,8715
1:00	0,4063	11,99	4,8715
2:00	0,4063	11,99	4,8715
3:00	0,4061	11,98	4,8651
4:00	0,4061	11,98	4,8651
5:00	0,4059	11,97	4,8586
6:00	0,3941	11,86	4,6740
7:00	0,0558	1,116	0,0623
8:00	0,0579	0,116	0,0067
9:00	0,07	0,07	0,0049
10:00	0,07	0,07	0,0049
11:00	0,07	0,07	0,0049
12:00	0,07	0,07	0,0049
13:00	0,07	0,07	0,0049
14:00	0,07	0,07	0,0049
15:00	0,07	0,07	0,0049
16:00	0,07	0,07	0,0049
17:00	0,07	0,07	0,0049
18:00	0,07	0,07	0,0049
19:00	0,2238	6,713	1,5024
20:00	0,4141	12,01	4,9733
21:00	0,4141	12,01	4,9733
22:00	0,4135	11,99	4,9579
23:00	0,4133	11,99	4,9555

ANEXO 14

Tabla. Temperatura promedio comprendida entre el periodo de los días 09 de noviembre y 20 de diciembre del 2016.

HORA	TEMPERATURA (°C)
0:00:00	13,3
1:00:00	12,9
2:00:00	12,6
3:00:00	12,2
4:00:00	11,9
5:00:00	11,6
6:00:00	11,4
7:00:00	11,4
8:00:00	12,7
9:00:00	14,6
10:00:00	16,5
11:00:00	18,5
12:00:00	20,2
13:00:00	21,3
14:00:00	21,8
15:00:00	21,4
16:00:00	20,2
17:00:00	18,9
18:00:00	17,2
19:00:00	15,7
20:00:00	14,9
21:00:00	14,5
22:00:00	14,1
23:00:00	13,7

ANEXO 15

Tabla. Radiación global promedio comprendida entre el periodo de los días 09 de noviembre y 20 de diciembre del 2016.

HORA	RADIACIÓN GLO- BAL (W/m ²)
0:00:00	0,0
1:00:00	0,0
2:00:00	0,0
3:00:00	0,0
4:00:00	0,0
5:00:00	0,0
6:00:00	0,1
7:00:00	44,6
8:00:00	187,0
9:00:00	400,4
10:00:00	646,1
11:00:00	787,1
12:00:00	849,2
13:00:00	788,9
14:00:00	707,1
15:00:00	550,0
16:00:00	393,9
17:00:00	209,6
18:00:00	67,4
19:00:00	2,5
20:00:00	0,0
21:00:00	0,0
22:00:00	0,0
23:00:00	0,0

ANEXO 16

Tabla. Datos promedio de Irradiación y Temperatura al día, en los meses de noviembre y diciembre del 2016.

HORA LOCAL	IRRADIACION	TEMPERATURA
(h)	[V]	[A]
0:00:00	0,000000	13,325581
1:00:00	0,000000	12,933333
2:00:00	0,000000	12,595238
3:00:00	0,000000	12,192857
4:00:00	0,000000	11,900000
5:00:00	0,000000	11,647619
6:00:00	0,142857	11,371429
7:00:00	44,595238	11,440476
8:00:00	187,023810	12,678571
9:00:00	400,357143	14,566667
10:00:00	646,071429	16,521429
11:00:00	787,071429	18,495238
12:00:00	849,214286	20,164286
13:00:00	788,928571	21,319048
14:00:00	707,142857	21,821429
15:00:00	549,952381	21,390476
16:00:00	393,904762	20,211905
17:00:00	209,642857	18,876190
18:00:00	67,357143	17,173810
19:00:00	2,523810	15,707143
20:00:00	0,000000	14,921429
21:00:00	0,023810	14,450000
22:00:00	0,000000	14,069048
23:00:00	0,000000	13,695238

ANEXO 17

Tabla. Resumen de valores calculados.

VALORES CALCULADOS			
Denominación	Variable	Valor	Unidad
Horas de Sol Pico	HPS	5.750	horas
Consumo medio de energía en un día	Lmd	72.592	Wh
Número de paneles	N_T	1	
Paneles en serie	Nserie	1	
Paneles en paralelo	Nparalelo	0	
Corriente Amperios – hora en la batería	QAh	6.049	Ah
Corriente generada por el campo de captación fotovoltaico	I_{GFV}	1.080	A
Número de ramales en paralelo	Nparalelo	0	
Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria	$C_{nd}(Wh)$	362.96	Wh
Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria	$C_{nd}(Ah)$	30.246	Ah
Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional	$C_{ne}(Wh)$	311.109	Wh
Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional	$C_{ne}(Ah)$	25.926	Ah
Corriente de entrada del regulador	Ientrada	3.90	A
Corriente de salida del regulador	Isalida	0.510	A

ANEXO 18

Tabla. Parámetros para la selección de clase de iluminación (M).

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (Vp)	Vp seleccionado
Velocidad	Elevada	1	
	Alta	0.5	
	Moderada	0	
Volumen del tráfico	Elevado	1	
	Alto	0.5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0.5	
	Muy Bajo	-1	
Composición del tráfico	Mezcla con un alto porcentaje de tráfico no motorizado	2	
	Mezclado	1	
	Solamente Motorizado	0	
Separación de vías	No	1	
	Si	0	
Densidad de la intersección	Alta	1	
	Moderada	0	
Vehículo parqueado	Se permite	0.5	
	No se permite	0	
Iluminación Ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	
Guías visuales	Pobre	0.5	
	Moderado o		

	Bueno	0	
			ΣV_{PS}

ANEXO 19

Tabla. Parámetros para la selección de clase de iluminación (P).

Parámetro	Opciones	Valor de ponderación (Vp)	Vp seleccionado
Velocidad	Baja	1	
	Muy baja	0	
Volumen del tráfico	Elevado	1	
	Alto	0.5	
	Moderado	0	
	Bajo	-0.5	
	Muy Bajo	-1	
Composición del tráfico	Peatones, ciclistas y tráfico motorizado	2	
	Peatones y tráfico motorizado	1	
	Peatones y ciclistas solamente	1	
	Peatones solamente	0	
	Ciclistas solamente	0	
Separación de vías	No	1	
	Si	0	
Densidad de la intersección	Alta	1	
	Moderada	0	
Vehículo parqueado	Se permite	0.5	
	No se permite	0	

Iluminación Ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	
			ΣV_{PS}

ANEXO 20

Tabla. Indicadores de la tecnología Vapor de sodio de alta presión, para cada 100 metros de puntos de luz.

Año-VSAP	Inversión/ 100m	Costo de Energía Consumida (\$/año)	Reposición	Costo de emisiones	Mantenimiento	Total	VAC
0	2973.749					2973.749	2973.749
1		451.766		197.218	327.112	976.096	898.138
2		451.766		197.218	327.112	976.096	826.406
3		451.766		197.218	327.112	976.096	760.403
4		451.766		197.218	327.112	976.096	699.671
5		451.766	1391.080	197.218	327.112	2367.176	1561.286
6		451.766		197.218	327.112	976.096	592.373
7		451.766		197.218	327.112	976.096	545.061
8		451.766		197.218	327.112	976.096	501.529
9		451.766		197.218	327.112	976.096	461.473
10		451.766	1391.080	197.218	327.112	2367.176	1029.756
11		451.766		197.218	327.112	976.096	390.703
12		451.766		197.218	327.112	976.096	359.499
13		451.766		197.218	327.112	976.096	330.786
14		451.766		197.218	327.112	976.096	304.367
15		451.766	1391.080	197.218	327.112	2367.176	679.182
16		451.766		197.218	327.112	976.096	257.691
17		451.766		197.218	327.112	976.096	237.110
18		451.766		197.218	327.112	976.096	218.172
19		451.766		197.218	327.112	976.096	200.747
20		451.766	1391.080	197.218	327.112	2367.176	447.959

21		451.766		197.218	327.112	976.096	169.961
22		451.766		197.218	327.112	976.096	156.387
23		451.766		197.218	327.112	976.096	143.897
24		451.766		197.218	327.112	976.096	132.404
25		451.766	1391.080	197.218	327.112	2367.176	295.454
VAC/5 años [\$]							6158.367
CAE/5 años [\$]							1570.146
VAC/25 años [\$]							15174.163
CAE/25 años [\$]							1504.955

Costo de Energía Consumida (\$/año) = Costo de Energía mensual por punto de luz (\$9.411) * número de lámparas por cada 100m * número de meses al año. (León & Lojano, 2014), (Centrosur, 2017)

Costo de emisiones = valor aproximado de la emisión por punto de luz (\$4.108) * número de lámparas por cada 100m * número de meses al año. (León & Lojano, 2014), (Centrosur, 2017)

Costo de Mantenimiento = 11% de la inversión inicial

ANEXO 21

Tabla. Indicadores de la tecnología LED con SFV, para cada 100 metros de puntos de luz.

Año-LED	Inversión/ 100m	Costo de Energía Consumida (\$/año)	Reposición	Costo de emisiones	Mantenimiento	Total	VAC
0	8416.02					8416.02	8416.02
1		0.000		0	84.1602	84.1602	77.43853515
2		0.000		0	84.1602	84.1602	71.25371287
3		0.000		0	84.1602	84.1602	65.56285689
4		0.000		0	84.1602	84.1602	60.32651536
5		0.000	1350	0	84.1602	1434.1602	945.9093477
6		0.000		0	84.1602	84.1602	51.07507116
7		0.000		0	84.1602	84.1602	46.99583287
8		0.000		0	84.1602	84.1602	43.24239314
9		0.000		0	84.1602	84.1602	39.78873127
10		0.000	1350	0	84.1602	1434.1602	623.8804383
11		0.000		0	84.1602	84.1602	33.68688327
12		0.000	3750	0	84.1602	3834.1602	1412.130059
13		0.000		0	84.1602	84.1602	28.5207914
14		0.000		0	84.1602	84.1602	26.24290706
15		0.000	1350	0	84.1602	1434.1602	411.4842529
16		0.000		0	84.1602	84.1602	22.21839498
17		0.000		0	84.1602	84.1602	20.44386729
18		0.000		0	84.1602	84.1602	18.8110667
19		0.000		0	84.1602	84.1602	17.30867382
20		0.000	1350	0	84.1602	1434.1602	271.3970178

21		0.000		0	84.1602	84.1602	14.65428165
22		0.000		0	84.1602	84.1602	13.4838808
23		0.000		0	84.1602	84.1602	12.40695693
24		0.000	3750	0	84.1602	3834.1602	520.0907633
25		0.000	1350	0	84.1602	1434.1602	179.0016039
VAC/5 años [\$]							8690.602
CAE/5 años [\$]							2215.768
VAC/25 años [\$]							13443.375
CAE/25 años [\$]							1333.298

Costo de Energía Consumida (\$/año) = Costo de Energía mensual por punto de luz (\$00.00) porque el sol genera la energía * número de lámparas por cada 100m * número de meses al año.

Costo de emisiones = valor aproximado de la emisión por punto de luz (\$00.00) porque la energía FV no representa mayor contaminación * número de lámparas por cada 100m * número de meses al año.

Costo de Mantenimiento = 1% de la inversión inicial

ANEXO 22

Tabla. Indicadores de la tecnología LED con RE, para cada 100 metros de puntos de luz.

Año-VSAP	Inversión/ 100m	Costo de Energía Consumida (\$/año)	Reposición	Costo de emisiones	Mantenimiento	Total	VAC
0	6636.681					6636.681	6636.681
1		208.958		112.218	663.668	984.845	906.187
2		208.958		112.218	663.668	984.845	833.813
3		208.958		112.218	663.668	984.845	767.218
4		208.958		112.218	663.668	984.845	705.942
5		208.958		112.218	663.668	984.845	649.560
6		208.958		112.218	663.668	984.845	597.682
7		208.958		112.218	663.668	984.845	549.946
8		208.958		112.218	663.668	984.845	506.023
9		208.958		112.218	663.668	984.845	465.609
10		208.958		112.218	663.668	984.845	428.422
11		208.958		112.218	663.668	984.845	394.205
12		208.958	900.000	112.218	663.668	1884.845	694.193
13		208.958		112.218	663.668	984.845	333.751
14		208.958		112.218	663.668	984.845	307.095
15		208.958		112.218	663.668	984.845	282.568
16		208.958		112.218	663.668	984.845	260.000
17		208.958		112.218	663.668	984.845	239.235
18		208.958		112.218	663.668	984.845	220.128
19		208.958		112.218	663.668	984.845	202.546
20		208.958		112.218	663.668	984.845	186.370

21		208.958		112.218	663.668	984.845	171.485
22		208.958		112.218	663.668	984.845	157.789
23		208.958		112.218	663.668	984.845	145.186
24		208.958	900.000	112.218	663.668	1884.845	255.673
25		208.958		112.218	663.668	984.845	122.921
VAC/5 años [\$]							9849.841
CAE/5 años [\$]							2511.329
VAC/25 años [\$]							17020.227
CAE/25 años [\$]							1688.045

Costo de Energía Consumida (\$/año) = Costo de Energía mensual por punto de luz (\$4.353) * número de lámparas por cada 100m * número de meses al año. (León & Lojano, 2014), (Centrosur, 2017)

Costo de emisiones = valor aproximado de la emisión por punto de luz (\$1.870) * número de lámparas por cada 100m * número de meses al año. (León & Lojano, 2014), (Centrosur, 2017)

Costo de Mantenimiento = 10% de la inversión inicial