



Sistema de Iluminación Sustentable Basada en Celdas Solares para los Espacios Exteriores del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño

Sustainable lighting system based on solar cells for the external spaces of the Santiago Marino University Institute

Recibido: 20/05/2020 Aprobado: 20/09/2021

Heli Saul Lorbes Nava

Semir C.A / ORCID: 0000-0001-6485-779X

helisaulorbes@gmail.com

Resumen

La presente investigación presento como objetivo diseñar un sistema de iluminación autónomo para los espacios exteriores del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, utilizando celdas solares con posicionamiento automatizado en combinación con seguidor solar. Iniciando una primera etapa del proyecto con la plazoleta del edificio Dr. Raúl Quero Silva, para posteriormente extenderlo hacia las áreas de estacionamiento, así como a los salones. Esta investigación se sustentó en los autores Sirit (2014), Hernández (2007) conjuntamente con Harper (2014). El tipo de investigación desarrollado corresponde a un proyecto factible enmarcada dentro del tipo Proyectiva, con diseño no experimental. La población fue definida por un número finito de elementos iluminadores (alumbrado público) a utilizar. Las técnicas usadas para obtener información fueron la observación directa y la revisión documental. Adicionalmente se recurrió a la modalidad de entrevista no estructurada como guías para recabar información acerca de los problemas presentes en el politécnico. Los resultados obtenidos de esta investigación fueron la localización, ubicación exacta del montaje planteado para los paneles solares, así como el cálculo de carga óptima para proponer un sistema de iluminación a través de iluminaria led y paneles solares respectivamente, obteniéndose un numero de 2 en serie con 5 en paralelo con un total de 3 baterías en serie-paralelo, 3 inversores más 1 regulador de carga. También se elaboró el sistema de control de posición solar para su mayor aprovechamiento.

Palabras Claves: iluminación, paneles solares, posición solar.

Abstract

The present research aims to design an autonomous lighting system for the exterior spaces of the Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, using solar cells with automated positioning in combination with a solar tracker. Starting a first stage of the project with the plaza of the Dr. Raúl Quero Silva building, to later extend it to the parking areas, as well as to the lounges. This research was supported by the authors Sirit (2014), Hernández (2007) continuously with Harper (2014). The type of research developed corresponds to a feasible project framed within the Projective type, with a non-experimental design. The population was defined by a finite number of lighting elements (public lighting) to be used. The techniques used to obtain information were direct observation and documentary review. In addition, the unstructured interview modality was used as guides to gather information about the problems present in the polytechnic. The results obtained from this research were the location, exact



location of the assembly proposed for the solar panels, as well as the calculation of the optimal load to propose a lighting system through LED lighting and solar panels respectively, obtaining a number of 2 in series with 5 in parallel with a total of 3 batteries in series-parallel, 3 inverters plus 1 charge regulator. The solar position control system was also developed for its better use.

Keywords: lighting, solar panels, solar position.

Introducción

La energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y la biomasa, son consideradas las fuentes de energía renovables que hoy por hoy están arrojando el mercado mundial, a diferencia de las fósiles, son prácticamente inagotables, así como menos contaminantes. Al mismo tiempo este tipo de energía es amigable con el medio ambiente desde las dimensiones de la sostenibilidad, si bien la inversión suele ser alta para su puesta en marcha si se evalúa a lo largo del tiempo se obtiene su rentabilidad económica. La cantidad disponible a nivel mundial de energías renovables es suficiente para cubrir las necesidades energéticas de la Tierra cabe destacar que una sola hora de energía emitida por el sol podría abastecer de energía a todo el planeta durante un año si se aprovechara eficientemente.

En Latinoamérica, la cercanía con el ecuador es ventajosa para países como Colombia, Brasil y Venezuela. Tal ubicación proporciona una irradiancia constante a toda la región, considerada vital para el aprovechamiento de la energía solar. Esta es la razón principal para la explotación, uso y disfrute de la energía solar, a partir de dos modalidades. La primera es la solar térmica (uso de heliostatos), la segunda es la fotovoltaica (uso de paneles de silicio).

Según Hernández (2007), con esta última tecnología la luz del sol es convertida directamente en electricidad a partir del movimiento de electrones dentro de una placa. Estos a su vez se conectan a una carga, generando una corriente eléctrica. Dicho proceso no requiere necesariamente radiación solar directa, puesto que aún en condiciones de luz difusa (ausencia de luz), como cielos nublados, es posible obtener hasta un 50 % de la producción de un día normal.

Por otra parte, Sirit (2014), afirma que en Venezuela también se inició desde el año 2001 la práctica de experiencias de aprovechamiento de la energía solar, siendo el poblado de los cedros, en el estado sucre, uno de los pioneros en esta materia, pues algunas de sus casas se abastecen de la electricidad proveniente de paneles solares, teniendo la capacidad de generar potencia suficiente para satisfacer las necesidades de la población en materia fotovoltaica. De igual forma, se han instalado unas 60 plantas potabilizadoras de agua utilizando energía solar, en el marco del programa sembrando Luz.

De acuerdo con la Corporación Eléctrica Venezolana (Corpoelec, 2016) estos recursos apuntaban a que Venezuela es un país con gran potencial para el desarrollo de la energía solar, donde se promedia una insolación solar promedio de cinco horas diarias, se puede incrementar hasta en un 10% la adecuación de nuevas plantas ubicadas a las posiciones del sol con esta novedosa tecnología. El Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (IUPSM), ampliación Maracaibo, estado Zulia, presenta un desbalance de cargas ocasionadas por el crecimiento estructural y poblacional del mismo, causado por la falta de atención de los técnicos, aunado al estudiantil en realizar proyectos relacionados con el balance eléctrico que esta institución debería tener, trayendo como consecuencia la impericia total de la aplicación de cualquier balance térmico en el área eléctrica.

De allí que, este Instituto universitario se propone dar un desarrollo de iluminación led en espacios exteriores con paneles solares con la posibilidad de auto rotación automática de acuerdo a la posición solar, buscando como objetivo solventar el problema de iluminación y de sobre cargas eléctricas presentes en los transformadores de potencia. A su vez, se pretende aislar el consumo eléctrico de la red eléctrica, pasándolo a una de autoconsumo o autónoma para garantizar la separación que produzca una futura baja del consumo eléctrico de esta institución.

De esta manera se daría un paso para la inclusión de nueva tecnología basado en energías alternativas específicamente con el aprovechamiento de la luz solar es decir el uso de “paneles fotovoltaicos”. Esta investigación se orienta a dar los detalles técnicos, cálculos, procesos de selección de equipos y otros datos necesarios para el diseño de este tipo de propuestas que requiere de consideraciones tanto técnicas como geográficas.

Objetivo general

Proponer un Sistema De Iluminación Sustentable Basada En Celdas Solares Para Los Espacios Exteriores Del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño.

Objetivos específicos

Analizar la situación energética del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (IUPSM) en materia de alumbrado público.

Diseñar el sistema fotovoltaico para suplir la carga del alumbrado público en los espacios exteriores del IUPSM.

Seleccionar los equipos a instalar en el sistema fotovoltaico para el alumbrado público de espacios exteriores del IUPSM.

Elaborar la propuesta para la automatización del proceso de orientación solar del módulo fotovoltaico de los espacios exteriores del Instituto Universitario politécnico Santiago Mariño (IUPSM).

Metodología

Toda investigación debe cumplir con un proceso metodológico que sustente las técnicas usadas durante su desarrollo, para la elaboración del presente trabajo se considera que la investigación fue de tipo proyectiva, definida por Hurtado (2012) como aquella cuyo objetivo es diseñar o crear propuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones: Es por ello que su finalidad principal estuvo enfocada en diseñar un sistema de iluminación autosustentable para el IUPSM basado en celdas solares a fin de cubrir una necesidad energética en sus corredores exteriores, a partir de fórmulas, investigaciones y el análisis de información respaldada.

En consonancia con lo estipulado por Sánchez (2012), no se trata de especificar un campo amplio, sino aquel que el conocimiento y experiencia del investigador considere más próximo al problema para enfocar en la etapa considerada. La investigación es considerada de campo, dado que los datos fueron obtenidos directamente de la realidad, para identificar los requerimientos en cuanto a la demanda, el tipo de iluminación actual, las mediciones del área para las celdas solares. De igual forma, se estructuró como un diseño no experimental, por no manipularse las variables.

Para Hernández, Fernández y Batista (2014) la investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los

cuales no se varía en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. En este tipo de investigación solo se observa el fenómeno tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos.

Para recolectar los datos requeridos en la investigación se utilizó como técnica la observación directa, tal como lo señala Bavaresco (2013, p 89.), “las técnicas de recolección de datos, libretas, fichas, otros. El cual conducen a la verificación del problema planteado”. Por otra parte, el cuaderno de notas representa un instrumento para la investigación, definido por Hurtado (2012) como una libreta de observación, donde se anota todo lo observado, incluyendo el conjunto de informaciones, datos, expresiones, opiniones, hechos, croquis, representando una valiosa información para la investigación.

Resultados de la investigación

Situación energética del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (IUPSM) en materia de alumbrado público

Como primer paso, fue necesario localizar geográficamente la zona objeto de estudio, para luego realizar los diversos balances energéticos a través de encuestas realizadas al personal estudiantil que hace presencia día a día en esta institución. Para tales efectos se elaboró el cuadro 1, donde se muestran los datos geográficos de ubicación del IUPSM, Extensión Maracaibo, junto con sus coordenadas en latitud, longitud respectivamente. La información fue suministrada por los satélites de la International Space Station (NASA, 2017), así mismo se localizó el área de estudio a través de una marca bien definida e identificada.



Cuadro 1
Datos de Ubicación geográfica

LATITUD	LONGITUD
10.675264°	71.655635°

Fuente: Nasa (2017)

Partiendo de estos datos, se pudo establecer que la institución se localiza geográficamente al sur oeste de la ciudad de Maracaibo, específicamente en la Avenida la Limpia, sector los olivos parroquia Carracciolo Parra Pérez del estado Zulia. Ubicada la localización geográfica y coordenadas respectivas, se procedió con la descripción de la situación actual en cuanto a la iluminación del IUPSM, cantidad de luminarias y potencia eléctrica, instalada en la plazoleta del edificio académico de esta institución, información que fue suministrada por el (L. Gonzales, comunicación personal, 25 de abril de 2018) gerente general del Departamento de Servicios Generales, tal como se observa en el cuadro 2. La potencia de las luminarias del cuadro numero dos es el aspecto más resaltante, de este criterio se analiza las futuras acciones para su reemplazo.

Cuadro 2
Bombillas instaladas

Fabricante de la lámpara	Tipo de Lámpara	Modelo de Lámpara	Potencia de la lámpara	Horas de Funcionamiento	Consumo en WH
Lumistar	Fluorescente	50W	8H		1000WH
Cantidad: 15 piezas					
Fabricante de la lámpara	Tipo de Lámpara	Modelo de Lámpara	Potencia de la lámpara	Horas de Funcionamiento	Consumo en WH
Brufer	Fluorescente	E-40	105W	8H	2600WH
Cantidad: 15 piezas					

Fuente: Servicios Generales IUPSM (2017)

Localización de sistema de energía sustentable

Según Harper (2014) la mejor posición para elementos fijos se da a partir de su latitud. Para localizar las áreas efectivas de sol fue necesario ubicar la locación de latitud 10.675264° y longitud -71.655635° respectivamente, perteneciente a la plazoleta del Edificio Dr. Raúl Quero Silva del IUPSM, con la finalidad de lograr una orientación óptima para estos paneles solares, en función de brindarle una conexión fiable al sistema de iluminación led propuesto. Al respecto, en la figura 1 se muestra la posición donde se instalarán los paneles solares, específicamente en las adyacencias de las áreas verdes localizadas frente al cuerpo de laboratorios de mecánica automotriz y taller de fabricación de la Institución respectivamente.



Figura 1. Vista Panorámica de la plazoleta IUPSM
Fuente: Elaboración propia (2017)

Luego de proyectada la adecuación de paneles solares en las áreas verdes de la plazoleta del edificio Académico Dr. Raúl Quero Silva del IUPSM, fue necesario establecer los niveles de radiación solar en Maracaibo para localidades adyacentes. Para esto, los datos fueron suministrados por el centro virtual de meteorología y el centro nacional de meteorología e hidrología venezolano, los cuales son de frecuencia mensual en el año 2014 para esta localidad.

Cuadro 3

Valores de Irradiación anual para el periodo 1 y 2 del año 2016

Meses	Irradiación Horizontal Kw/m ² /día	Irradiación Difusa Kw/m ² /día	Irradiación W/m ²	Temperatura Promedio °C
Enero	5.67	2.23	183.36	30.3
Febrero	5.36	2.10	182.34	27.3
Marzo	5.56	2.56	183.01	28.1
Abril	5.90	2.78	184.09	29.2
Mayo	6.69	3.02	190.69	30.9
Junio	6.04	3.30	189.01	30.1
Julio	6.90	3.98	191.69	32.3
Agosto	7.08	4.39	192.98	33.3
Septiembre	6.23	3.36	187.33	31.5
Octubre	5.89	3.69	185.69	30.9
Noviembre	5.22	2.01	179.69	28.2
Diciembre	5.29	2.08	180.02	27.8

Fuente: www.meteoven.orgwww.inameh.gob.ve/ (2017)

De acuerdo con el resumen climatológico presentado en el cuadro 3, se tiene una Irradiación promedio máxima en el mes de agosto con 7.08 Kw/m²/día aproximadamente, mientras que el peor mes, o la irradiación mínima corresponde al mes de noviembre con 5.22 Kw/m²/día, esto se describe en la curva de campana que se muestra en la figura 2.

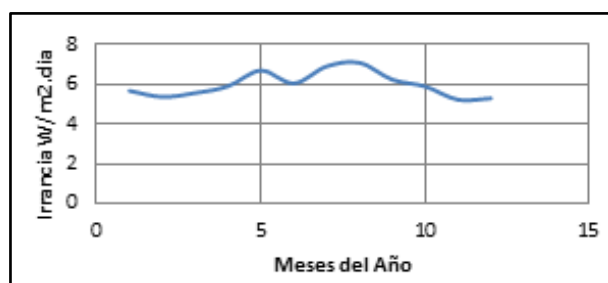


Figura 2 Irradiación promedio mensual en Maracaibo.

Fuente: www.meteoven.orgwww.inameh.gob.ve/ (2017)

Así mismo, a partir del resumen climatológico arrojado por el Instituto Nacional de meteorología e hidrología (Inameh, 2017) conjuntamente con otros entes gubernamentales, y que se presentó el cuadro 3, se tiene una Irradiación difusa la cual proviene de estimaciones

por nubosidades y objetos en la superficie calculada como un promedio en su alza para el mes de agosto con 4.39 Kw/m² día aproximadamente, mientras se observó que el peor mes o la irradiación difusa mínima corresponde al mes de noviembre con 2.01 Kw/m² día; esto se describe en la curva de campana que se muestra en la figura 3.

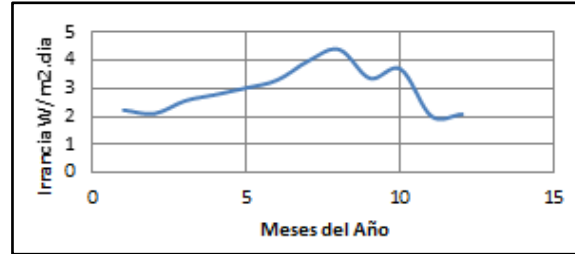


Figura 3 Irradiación difusa promedio mensual en Maracaibo
Fuente: www.meteoven.org www.inameh.gob.ve/ (2017)

Con base en estas estimaciones que se observa en la figura 3, se pueden determinar las horas solares pico o efectivas de sol (HES) por el método del peor mes en irradiación, lo cual corresponde al mes de noviembre. Esto garantizará un óptimo uso del panel solar para el resto del año, es de notar que si el sistema genera la cantidad de energía requerida en las peores condiciones su eficiencia será constante en todo momento. Estas relaciones obedecen a la siguiente expresión:

$$HES = \frac{\epsilon_{Peor\ Mes}}{1000\ W/m^2} \quad (1)$$

Sustituyendo en la ecuación número 1, tenemos que:

$$HES = \frac{5520\ W/m^2\ dia}{1000\ W/m^2}$$

$$HES = 5.22\ Horas\ al\ dia$$

Diseño del sistema fotovoltaico para suplir la carga del alumbrado público en los espacios exteriores del IUPSM

Luego de ubicar la localización geográfica, coordenadas de la institución universitaria y cálculo de la orientación óptima para el cuerpo de paneles solares a seleccionar, fue necesario establecer el sistema de iluminación LED, a través de la adecuación de nuevas iluminarias de bajo consumo que brindarían una mejor eficiencia al sistema de energía, cuyas características se muestran en los cuadros 4 y 5. Es de notar que durante el proceso de selección la potencia de consumo diario similar en las 2 casas fabricantes Samsung y Phillips.

Cuadro 4

Bombillas Samsung propuestas (Opción 1)

Fabricante de la lámpara	Tipo de Lámpara	Modelo de Lámpara	Potencia de la lámpara	Horas de Funcionamiento	Consumo en WH
Samsung	LED	-40	36W	8H	3456WH
Cantidad: 30 piezas					

Fuente: Samsung (2016)

Cuadro 5

Bombillas Phillips propuestas (Opción 2)

Fabricante de la lámpara	Tipo de Lámpara	Modelo de Lámpara	Potencia de la lámpara	Horas de Funcionamiento	Consumo en WH
Phillips	LED	E-40	35W	8H	8400WH
Cantidad: 30 piezas					

Fuente: Phillips (2016)

En función de los factores económicos, aunado a la disponibilidad, fueron seleccionadas las lámparas Phillips, ya que son abundantes en el mercado, ofrecen mayor simplicidad, menor costo y un mayor número de lumens a baja potencia, comparadas con las Samsung. En la figura 4 se presenta una imagen con el resultado de una simulación en el software "Dialux", en la que se evidencian representativamente los puntos de instalación del nuevo sistema de iluminación.

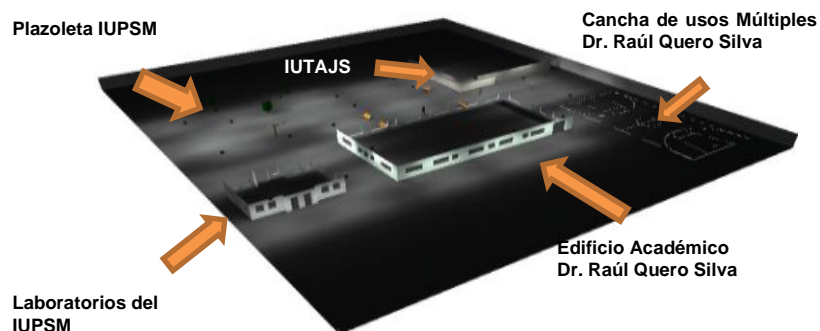


Figura 4 Simulación de luces en la plazoleta IUPSM

Fuente: Elaboración propia (2017)

Como se pudo observar en la figura 4, las zonas de iluminaria fueron seleccionadas de acuerdo con la distribución de las áreas pobladas por lo estudiantes. Con la mayor frecuencia a través de la simulación se puede notar la inexistencia de espacios oscuros dentro de la plazoleta. Ahora bien, con base en la información de los cuadros 4 y 5, se obtuvo el siguiente resultado del estudio de cargas a proponer:

Estudio de Carga propuestas

Modelo elegido: Bombillas Phillips

Potencia: 35 W

Número de Lámparas: 30 Lámparas

$$E_{carga} = P_{Luz} \times Tiempo_{uso} \times \# \text{ luces} \quad (2)$$

E_{carga}: Energía en Potencia hora

Tiempo_{uso}: Tiempo de encendido

$$E_{carga} = 35 \text{ W} \times 8 \text{ horas al dia} \times 30 \text{ lamparas}$$

$$E_{carga} = 8400 \text{ Wh}$$

Es así como, determinado los vatios requeridos y la cantidad de lámparas necesarias para el alumbrado, se procedió a la aplicación de la ecuación (2) tomando en cuenta las horas día de trabajo. Seguidamente, ya definido este consumo, fue necesario determinar la carga real, considerando para ello las pérdidas ocasionadas por los sistemas de inversión, acumulación y regulación respectivamente.

Sistema de Generación

Finalizado el estudio de cargas a considerar para la instalación fotovoltaica, fue necesario determinar el número de paneles en serie/paralelo necesario para suplir la carga requerida y brindar una autonomía necesaria en la producción de electricidad para el alumbrado público de espacios exteriores del IUP Santiago Mariño. A continuación, se enuncia la ecuación para el consumo real.

$$E_{Carga_Real} = \frac{E_{Carga}}{R} \quad (3)$$

E_{Carga_{real}}: Energía en Potencia hora asumiendo perdidas
en la instalacion fotovoltaica

R: Eficiencia de la instalacion

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \left(1 - \frac{K_a N}{P_d}\right) \quad (4)$$

K_b : coeficiente de pérdidas del acumulador

0.05: sistemas que no demanden cargas intensas

0.1: sistemas con descargas profundas

K_c : coeficiente de pérdidas en el inversor

0.05: Inversores sinusoidales puros, optimos

0.1: Otras condiciones de trabajos, lejos de las optimas

K_v : Coeficiente de pérdidas miselaneas

0.05 – 0.15

K_a : Coeficiente de autodescarga diario

0.002: para baterias de baja autodescargas $N_i - Cd$

0.005: Para baterias Estacionarias de Plomo – Acido (normales)

0.012: para baterias de alta auto descargas (autos)

N : Numero de dias de autonomia de la instalacion. Son los dias

que la instalacion debera operar bajo una irradiacion minima en dias nublados continuos, por lo general son de 3 a 10 dias

P_d : Profundidad de descarga de la bateria. por lo general no excede del 80%

Cuadro 6
Parámetros de pérdidas

K_b	K_c	K_v	K_a	N	P_d
0.05	0.05	0.05	0.005	3 Días	0.5

Fuente: Elaboración propia (2017)

$$R = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.05) \left(1 - \frac{0.005 \times 3}{0.8}\right)$$

$$R = 0.8245$$

Sustituyendo en la ecuación 3 se tiene que:

$$E_{Carga_Real} = \frac{8400 \text{ WH}}{0.8245} = 10187.99 \text{ WH}$$

Cuadro 7
Parámetros de del panel solar

	Potencia	VOC	ISC
Isofoton	250W	30.4	8.81A

Fuente: Elaboración propia (2017)

Calculada la carga real del sistema, se eligió el modelo del panel solar, cuyas características básicas se presentan en el cuadro 7. A continuación, elegido el panel solar a instalar, fue necesario calcular las relaciones en serie-paralelo a instalar en dicho sistema, por lo cual se da la siguiente ecuación que depende de la carga real (ya calculada), sobre la potencia nominal fotovoltaica que es multiplicado por las horas efectivas de sol y un factor de 0.9:

$$Paneles\ totales = \frac{E_{Carga_{real}}}{0.9(W_p \times HES)} \quad (5)$$

$E_{Carga_{real}}$: Energía en Potencia hora asumiendo perdidas en la instalación fotovoltaica

W_p : Potencia Nominal del Panel solar

HES : Horas efectivas de sol del lugar

$$Paneles\ totales = \frac{10187.990\ WH}{0.9(250W \times 5.22H)} = 8.67$$

Paneles totales = 10 Paneles

Decidido el número total de paneles del sistema fotovoltaico, fue necesario saber la configuración para su mayor aprovechamiento energético, para lo cual se establecieron las 2 relaciones siguientes para configuraciones en serie-paralelo respectivamente, siempre con el interés de buscar el mayor rendimiento operativo de los equipos para poder minimizar los costos técnicos y operativos.

$$Paneles\ totales\ en\ serie = \frac{V_{Sistema}}{V_{Panel\ Solar}} \quad (6)$$

$$Paneles\ totales\ en\ paralelo = \frac{Paneles\ totales}{paneles\ en\ serie} \quad (7)$$

Sustituyendo los parámetros, de voltaje para el cálculo en la ecuación 6, se obtuvo:

$$Paneles\ totales\ en\ serie = \frac{48V}{30.4V} = 1.57\ paneles$$

Paneles totales en serie = 2 paneles

$$Paneles\ totales\ en\ paralelo = \frac{9\ paneles}{2\ serie} = 4.5\ paneles$$

Paneles totales en paralelo = 5 ramas de paneles

Sistema de Acumulación

El estudio de configuración de paneles o del bloque de generación a considerar para la instalación fotovoltaica, fue preciso determinar el número de baterías en serie/paralelo necesarias para suplir la carga requerida, y de esta manera brindar la autonomía necesaria en la producción de electricidad para el alumbrado público de espacios exteriores del IUP Santiago Mariño. A continuación, se enuncian las diversas ecuaciones.

$$E_{Ah} = \frac{E_{Carga_Real}}{V_{Sistema}} \quad (8)$$

Sustituyendo se logró que:

$$E_{Ah} = \frac{10187.990\ WH}{48V}$$

$E_{Ah} = 212.249\ Ah$ Demanda de la Bateria

Para este requerimiento energético, se requirió determinar el coeficiente de demanda incluyendo las pérdidas y la eficiencia de la misma, por lo cual se presenta la ecuación 9 para el cálculo de la capacidad que entregara opimamente el sistema de acumulación, encargado de generar la electricidad a todo el sistema de iluminación en las horas nocturnas.

$$C_B = \frac{F_d \times E_{Ah} \times t_{autonomia}}{\eta} \quad (9)$$

$$F_d = f_t \times f_e \times f_c$$

f_t : Factor de temperatura. $T > 25^\circ C \approx 1.0$

f_e : Factor de Envejecimiento ≈ 1.25

f_c : Factor de crecimiento $\approx 1.1 - 1.15$

$t_{autonomia}$: Tiempo que la batería funcionara de manera autonoma $\approx 3\ dias$

η : Eficiencia de la batería $\approx 80\%$

$$F_d = 1 \times 1.25 \times 1.15 = 1.4375$$

$$C_B = \frac{1.4375 \times 10187.990 \times 3}{0.8}$$

$$C_B = 1144.154 \text{ Ah}$$

Después de calculada la carga de acumulación en amperios-horas, se eligió el modelo del acumulador con las características básicas que se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8
Parámetros del banco de acumuladores

Marca	Modelo	Corriente	Voltaje
Rolls	C100	460 Ah	48V

Fuente: Elaboración propia (2017)

Así mismo, elegido el acumulador a instalar, se necesitaron calcular las relaciones en serie-paralelo a instalar en dicho sistema, para lo cual se empleó la ecuación número 10, que se presenta a continuación.

$$\text{numero de baterias} = \frac{C_B}{C_{Bateria}} \quad (10)$$

Sustituyendo en esta expresión, se obtendrá los siguientes resultados:

$$\text{numero de baterias} = \frac{1144.154 \text{ Ah}}{460 \text{ Ah}} = 2.487 \approx 3 \text{ Baterias en paralelo}$$

Sistema de Regulación

Realizado el estudio de configuración de paneles o del bloque de generación y acumulación a considerar para la instalación fotovoltaica, se determinó el número de reguladores de carga necesarios para administrar la carga requerida y brindar una autonomía; también de determinó la carga apropiada al sistema de acumulación necesaria en la producción de electricidad para el alumbrado público de espacios exteriores del IUP Santiago Mariño.

$$I_{CC} = \text{numero de paneles} \times I_{SC} \quad (11)$$

I_{CC} : Corriente de diseño teorica

I_{SC} : Corriente de Corto circuito del panel fotovoltaico

Sustituyendo se logrará que:

$$I_{CC} = 10 \text{ paneles} \times 8.81A$$

$$I_{CC} = 88.1 \text{ Amp}$$

Como criterio de selección de mínima corriente de diseño para el regulador, se tomó el 25% superior a la corriente de diseño teórica proveniente del bloque de generación. Esto garantizara cualquier sobre voltaje dentro de la instalación. A continuación, se presenta la expresión 12. Una vez determinada la carga de regulación en amperios, se elige el modelo del regulador, con lo cual este posee las siguientes características básicas

$$I_R = I_{CC} \times 1.25 \quad (12)$$

Sustituyendo en la expresión anterior se obtuvo que:

$$I_R = 88.1 A \times 1.25$$

$$I_R = 110.125 \text{ Amp}$$

Cuadro 9
Parámetros del Regulador de Carga

Marca	Modelo	Corriente	Voltaje	Cantidad
Steca Power	4140	140 A	48V	1

Fuente: Elaboración propia (2017)

Bloque de generación

Determinado el bloque de generación, acumulación y regulación a considerar para la instalación fotovoltaica, se cuantificó el número de inversores necesarios para convertir la carga requerida y brindar una carga en corriente alterna que puedan encender las iluminarias para el alumbrado público de espacios exteriores del IUP Santiago Mariño. A continuación, se enuncian las diversas ecuaciones.

$$W_{min} = \frac{E_{Carga_Real} \times 75}{100} \quad (13)$$

$$W_{min} = \frac{8400 W \times 75}{100}$$

$$W_{min} = 6300 \text{ Watts}$$

Calculada la carga de inversión en vatios, se procedió a elegir el modelo del inversor, cuyos parámetros o características básicas se muestran en. el cuadro10.

Cuadro 10
Parámetros del Inversor

Marca	Modelo	Potencia	Voltaje	Cantidad
Smung	401-12	3000 W	48V	3

Fuente: Elaboración propia (2017)

Selección de los equipos a utilizar en el sistema fotovoltaico para el alumbrado público de espacios exteriores

A través del desarrollo de los objetivos específicos planteados al principio de la investigación, se fueron identificando los equipos a utilizar en el sistema fotovoltaico para el alumbrado público de espacios exteriores del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. Llegado este punto, solo hizo falta la selección final de los mismos y de los materiales, tal como se presentan en los cuadros 11 y 12, respectivamente.

Cuadro 11
Selección final de equipos

Equipo Seleccionado	Modelo	Capacidad
Paneles Solares	ISF-250	250W
Luminarias	Phillips E-40	35W
Baterías	Rolls C100	460AH-48V
Regulador de Carga	Steca Power 4140	140A
Inversor	Smun 401-12	3000W

Fuente: Elaboración propia (2017)

Cuadro 13
Selección de materiales

Equipo Seleccionado	Modelo/Tipo	Capacidad
Estructura	Hormigón	2.5x1.5m
Interruptores manual/automático	Bussmann CB185-100	100A
	Siemens Q120	20A
	EATON NZMN2-A200	200A
	Xscorpion CB300L	300A
Fusibles	Xantrex	160A
Cables	AWG	6
		3
		1/0
		2/0
Puesta a tierra	AWG	3
Varilla	Cobre	2mx15mm

Fuente: Elaboración propia (2017)

Esquema de conexión del sistema fotovoltaico

La interconexión del sistema, debe cumplir lo estimado en secciones anteriores en función del cableado, protecciones, número de ramales de paneles solares, baterías, entre otros. Para ello se muestra a continuación la figura 5 la cual relata la aparición de la configuración de los paneles, sus conexiones y los elementos que se seleccionaron previamente en la presente investigación.

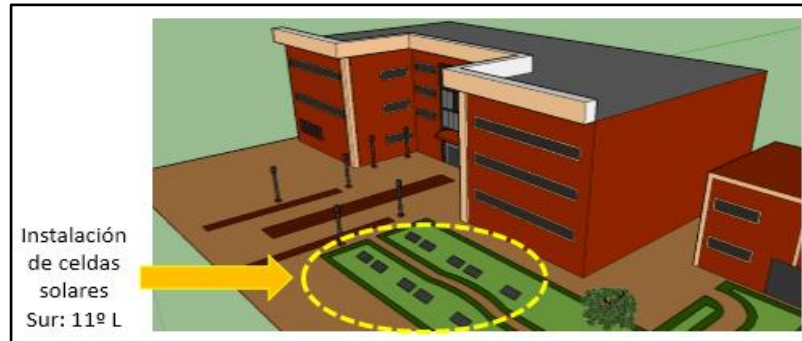


Figura 5 Instalación de paneles solares IUPSM
Fuente: Elaboración propia (2017)

En base a esto, se tiene un sistema de posicionamiento fijo el cual satisface hasta un 60% la demanda al concentrar este número en cantidad de sol permisible en las horas efectivas permitiendo la búsqueda de un mayor aprovechamiento en el recurso térmico, para ello se propondrá un sistema con posicionamiento automatizado como se enuncia en el siguiente apartado.

Automatización del proceso de orientación solar del Módulo fotovoltaico

Existen diversas maneras de llegar a la automatización de procesos, para llegar a controlar este sistema mecánico se emplea un controlador lógico programable. Para aprovechar al máximo la energía se tendrá movimiento continuo de las celdas fotovoltaicas, para esto se utilizara un sensor de sol el cual está constituido por cuatro fotodiodos para cada panel solar los cuales detectaran los rayos solares, estos sensores son capaces de proporcionar la señal para accionar los motores de movimiento en rotación, este movimiento se realiza cuando solo uno de los cuatro sensores de sol este activo, en síntesis los rayos solares no son los adecuados para la obtención de energía.

Como se mencionó anteriormente las celdas están montadas en una estructura de hormigón de aproximadamente 100 Kg. Tomando en cuenta la poca precisión necesitada en el movimiento para posicionar los motores, así como no se necesita de altas velocidades; se utiliza un motor de C. A. monofásico reversible de 1 HP, con un motor de este tipo se pueden cubrir las características del proceso. El control del motor se realiza utilizando un sistema de control el cual tomará las señales de entrada emitidas por el sensor y mediante lógica de escalera se mandará a activar el motor.

Para esta sección del sistema de control, se trabajó en conjunto con el diseñador del sistema mecánico, quien diseñó y construyó un mecanismo de cuatro barras, en donde se siguió un procedimiento analítico de síntesis, con una Topología RRRR para de esta manera optimizar el ángulo de transmisión. Junto a esto se presenta una forma alternativa de los eslabonamientos para elevar la ventaja mecánica en los sistemas de control de posicionamiento solar, con esto se disminuirá el torque requerido por el motor. Este sistema se encuentra acoplado a un motor-reductor de corona-sin fin, logrando de esta manera reducir las revoluciones del motor de 1750 RPM a 0.465 RPM

Sistema de control de movimiento. Para implementar el control de este sistema se ocupó un gabinete de control, en donde llegan las señales del sensor, donde son procesadas y se envían las instrucciones necesarias para el posicionamiento de las celdas, este gabinete cuenta con los siguientes elementos:

- 2 Contactores de la Marca EATON, Modelo XTCE009B10-24 VCD.
- 1 Interruptor Termo-magnético Moeller XpolePLS-C16.
- Interruptor Termo-magnético MedexLC-50 A.
- Fuente AG QC-INS 115 VAC – 230 VAC → 24 VCD.
- Relevador SCHRACK RA 460-615.
- Controlador Lógico Programable Moeller easy-DC-TCX.
- Clemas de conexión.
- Fusibles de protección

El sensor de luz es un dispositivo eléctrico que mide los cambios transitorios de la intensidad de la luz en un rango de 0.1 a 125 Hz a través de 6 fotodiodos sensibles a la incidencia de la luz solar colocados en una plataforma horizontal. Cuatro fotodiodos se utilizan para detectar las orientaciones Este-Oeste, arriba/abajo, los otros dos se ocupan para detectar cuando la luz es demasiado baja para terminar el proceso de posicionamiento.

La principal función del pilar vertical colocado en el centro de la plataforma horizontal es causar en los fotodiodos una sombra debido al movimiento natural del sol, los fotodiodos con dicha sombra envían una señal al circuito controlador del sensor solar, mientras receptores reciben la iluminación del sol no operan. En la figura 6 se muestra el diagrama de flujo utilizado para llevar a cabo la programación necesaria para realizar el control de movimiento de las celdas.

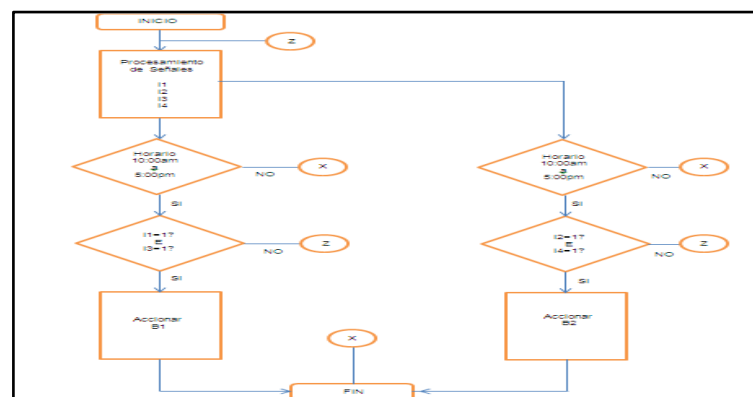


Figura 6. Diagrama de flujo de control de orientación de los paneles solares. Fuente: Elaboración propia (2017)

- a) El PLC cuenta con 12 entradas digitales de las cuales solo se utilizarán 4 I1, I2, I3, I4, estas vendrán del controlador de sol, para poder usar las entradas se utiliza un contacto del relevador de enclave para asegurar que el PLC está en funcionamiento
- b) El PLC cuenta con 8 salidas digitales, de estas solo se utilizarán dos, Q1 y Q2, ya que se va a controlar el accionamiento de motores se protegió las salidas del PLC con un fusible de 1 A, además de colocar un diodo volante en los contactores B1 y B2.
- c) El controlador es alimentado a 24 V de CD, la alimentación se realiza en las terminales I1 e I2 mientras, las salidas son representadas por Q1, Q2, Q3, Q4.
- d) El circuito de potencia cuenta con dos contactores B1, B2, encargados del accionamiento de los dos motores que se utilizan para logra el movimiento del sistema. Los contactores cuentan con una bobina la cual es alimentada a 24 VCD.

Seleccionado el modelo de PLC y su versión se procedió a realizar la programación elaborada con ayuda del diagrama de flujo mostrado en la figura 6. Ahora bien, para la programación del mismo se utilizó el diagrama Ladder comercial, para lo cual se muestra en la figura 7 el esquema de control propuesto

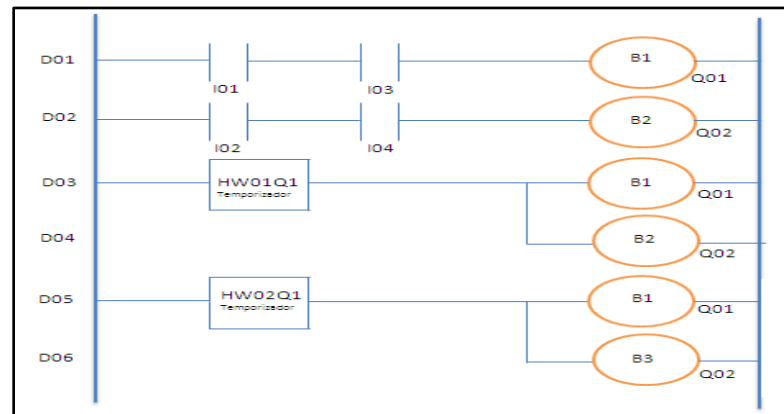


Figura 7. Diagrama lógico Ladder
Fuente: Elaboración propia (2017)

El diagrama de escalera está formado por tres líneas principales. La primera línea está formada por las entradas I1 e I3, las señales con las que se activan estas entradas provienen del sensor de sol, de acuerdo a las pruebas realizadas la entrada I1 corresponde al fototransistor 1 y la entrada I3 al fototransistor 3, de acuerdo a la señal que proporcionó el sensor, se activa desactiva el Contactor B1 logrando el movimiento de la estructura interna.

La segunda línea, encargada del accionamiento del Contactor B2, está constituida por las entradas I2 e I4, estas entradas son accionadas por los fototransistores 2 y 4 respectivamente. Cuando las dos entradas estén activas se tendrá movimiento de la estructura externa.

Al final del día el sistema regresa a una posición horizontal, en esta ubicación se tiene un mejor soporte con respecto al viento. Para realizar este regreso el PLC Moeller Easy 822-DC-TCX cuenta con un temporizador semanal para activar o desactivar un contacto en una determinada fecha y horario

Conclusiones

El estudio demostró la factibilidad de implementar un sistema de energía fotovoltaico capaz de satisfacer la demanda energética de un sistema de iluminación basada en celdas solares para los espacios exteriores del instituto universitario politécnico Santiago Mariño, de esta manera se minimiza el consumo energético de la institución, produciendo un impacto visual positivo en aras de implementar un tipo de energía limpia y amigable con el ambiente.

La ubicación donde estará situados los paneles satisface la demanda de energía potencial necesaria para el sistema de iluminación que, aun en el peor mes de irradiación solar, el sistema en si es capaz de generar potencia adecuada a las iluminarias de marca Philips, que resultaron ser las más idóneas para la puesta en marcha del proyecto.

El sistema de posicionamiento solar garantiza la absorción de irradiancia necesaria para que el banco de baterías este cargado, los sensores como el PLC Moeller Easy 822-DC-TCX son de vital importancia, de esta manera en horas nocturnas el sistema funcionara en su punto óptimo. Adicionalmente la cantidad de paneles fotovoltaicos son adecuados.

La tecnología ya ha sido implementada en otros espacios e instituciones para dar soluciones en aspectos viales y recreacionales, por lo que esta investigación extrapola y brinda nuevas formas de conexasión con arreglos a nivel de automatización, garantizando aún más el aprovechamiento del recurso térmico en la zona objeto de estudio.

Referencias Bibliográficas

- Bavaresco, A. (2013). *Proceso metodológico en la investigación (Cómo hacer un diseño de investigación)*. Maracaibo, Venezuela: Ediluz.
- Centro Virtual de Meteorología Venezolano (Meteoven, 2017). *Fuentes de Irradiación y temperaturas promedio al año en el estado Zulia*. Recuperado de: www.meteoven.orgwww.inameh.gob.ve/
- Corporación Eléctrica Venezolana (Corpoelec, 2016). *Informe anual de gestión*. Caracas, Venezuela. Recuperado de: <https://transparencia.org.ve/wp-content/uploads/2016/07/energia-electrica-Memoria-2015-3.pdf>
- Harper, E. (2012). *El ABC de los sistemas eólicos-fotovoltaicos*. México, Editorial McGraw-Hill.
- Hernández, E (2007). *Componentes de un sistema fotovoltaico*. Artículo científico publicado en la Fundación Instituto Zuliano de investigaciones científicas (INZIT).
- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, P, (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Editorial McGraw-Hill.
- Hurtado, J. (2012). *Metodología de la investigación guía para la comprensión holística de la ciencia*. Caracas Venezuela: Quirón ediciones.
- Instituto Nacional de meteorología e hidrología (Inameh, 2017). *Datos climatológicos en el Estado Zulia*. Recuperado de: <http://www.inameh.gob.ve/>
- International Space Station (NASA, 2017). *Fuentes de Irradiación y temperaturas promedio año, estado Zulia*. Recuperado de: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/index.html



Phillips (2016). Luminarias Interiores. Recuperado de:
https://www.lighting.philips.com.co/prof/luminarias-de-interior#pfpath=0-CINDOOR_GR

Sánchez, J. (2012). *Metodología de la investigación científica y metodológica*. Madrid-España: Ediciones Díaz de santos.

Sirit, A (2014). Sistemas de iluminación Led fotovoltaica. *Fundación Instituto Zuliano de investigaciones científicas (INZIT)*. Recuperado de: <https://www.mincyt.gob.ve/tag/inzit/>

Samsung (2016). Highly cost-effective universal mid power leds. Recuperado de:
<https://www.samsung.com/led/lighting/mid-power-leds/2835-leds/>