

Sistema de iluminación inteligente: propuesta para su implementación en zonas frías

Intelligent lighting system: proposal for its implementation in cold areas

Guillermo Villalba¹ ; Carlos Cadena¹

Resumen

Se presentan los fundamentos para el desarrollo de un sistema de iluminación inteligente y autónomo (para una luminaria con tres módulos LEDs de 10W cada uno, energizada por una batería de 12 V), diseñado para su funcionamiento en zonas de muy bajas temperaturas. Su eficiencia se logra a través del dispositivo Arduino Nano 3.0, para ello, se desarrolla un algoritmo que controla los distintos subsistemas involucrados. Se propone el diseño de un sistema para su aplicación en parajes de difícil acceso, sin cobertura de servicio eléctrico, permitiendo el alumbrado de perímetros, cercos, caminos, accesos, etc. El calor excedente de las luminarias, se transfiere al acumulador, lo que permitirá mantenerlo a una temperatura adecuada para su funcionamiento. Como resultado, se obtendrá una luminosidad mínima o básica durante las horas de encendido nocturno, pero incrementando su flujo luminoso ante la presencia de un vehículo, persona u objeto en movimiento en caminos o pasos obligados.

Palabras clave: iluminación inteligente - fotovoltaico -led - acumulador - litio - Puna

Citar: Villalba, G. y Cadena, C. (2018). Sistema de iluminación inteligente: propuesta para su implementación en zonas frías. *Cuadernos de Ingeniería. Nueva Serie.* [Salta- Argentina], núm 10: 105-118

Abstract

The foundations are presented for the development of an intelligent and autonomous lighting system (for a luminaire with three LED modules of 10W each, energized by a 12 V battery), designed for operation in areas of very low temperatures. Its efficiency is achieved through the

¹ Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Exactas, INENCO. Av Bolivia 5150 -Salta. Argentina.

Arduino Nano 3.0 device, for which an algorithm is developed that controls the different subsystems involved. It is proposed the design of a system for its application in places of difficult access, without electric service coverage, allowing the lighting of perimeters, fences, roads, accesses, etc. The surplus heat of the luminaires is transferred to the accumulator, which will allow it to maintain it at a suitable temperature for its operation. As a result, a minimum or basic luminosity will be obtained during the hours of nocturnal lighting, but increasing its luminous flux in the presence of a vehicle, person or object moving on roads or obliged steps.

Key words: intelligent lighting - photovoltaic - led - accumulator - lithium - Puna.

1. Introducción

Desde su invención en el año 1962 por Nick Holonyak, el diodo emisor de luz, más conocido como LED ha evolucionado notablemente caracterizándose por su alta eficiencia y bajo consumo energético; pero el mayor salto de esta tecnología para sistemas de iluminación se produjo en el año 1997, al crearse el diodo emisor de luz blanca, dispositivo que resulta fundamental en luminarias de muy bajo consumo y larga duración (Hernández, 2012). Los altos niveles de luminosidad que ofrece la tecnología LED provocaron que los sistemas de iluminación tradicionales (lámparas incandescentes, lámparas de descarga, etc.) estén siendo gradualmente sustituidos en casi todos los ámbitos de la vida cotidiana (Fillipo Rugeles, 2010). La utilización de LEDs en sistemas de iluminación autónomos permitió extender considerablemente la duración de las baterías utilizadas en los citados dispositivos, más aún, si se considera que la incorporación de paneles fotovoltaicos posibilitó el desarrollo de sistemas de iluminación autónomos totalmente independientes de la red eléctrica tradicional y, como consecuencia de ello, es que el continuo funcionamiento de los citados sistemas no dependa de la generación de energía obtenida por métodos ó mecanismos que puedan contaminar el medio ambiente (centrales térmicas convencionales) para la recarga permanente de sus acumuladores, debido a que la energía necesaria la obtienen directamente de la radiación solar a través de paneles ó módulos fotovoltaicos (Serrano, 2009).

Los sistemas de iluminación autónomos con tecnología LED ofrecen una alternativa en cuanto a iluminación eficiente para grandes y pequeños centros urbanos, ya que eliminan el costo del cableado de distribución para su funcionamiento. Entre las ventajas de su utilización resalta la reducción de la contaminación visual sobre todo en caminos turísticos, su extensa vida útil, escaso mantenimiento, excelente niveles de iluminación y, la más relevante, la protección del medio ambiente, siendo una costosa inversión que se amortiza con el tiempo (Bargalló, 2015). Los poblados muy alejados de cualquier punto de distribución del sistema de eléctrico convencional encuentran una alternativa en cuanto a iluminación artificial para sus caminos o sus accesos

El mercado local e internacional no ofrece sistemas de iluminación autónomos para su funcionamiento a temperaturas por debajo de los -40°C (PROILED, 2015). Tampoco se encuentra evidencia de que, en el estudio y el desarrollo de equipos de iluminación autónomos, su

análisis principal se centre en las características de su funcionamiento en valores extremos de temperatura, sobre todo en temperaturas que puedan producir el congelamiento del acumulador. Las bajas temperaturas son un enemigo letal para las baterías, independientemente del tipo de material con el cual se construyan, una consecuencia inmediata es la reducción en su rendimiento y de su vida útil. Incluso, la exposición de la batería a niveles de temperaturas en los extremos de su rango normal de funcionamiento puede provocar algún tipo de daño permanente a la misma (Viera Pérez, 2003). Por lo tanto, para aquellas pequeñas regiones o zonas urbanas con climas extremos caracterizadas fundamentalmente por muy bajas temperaturas, no se dispone de un sistema de iluminación que pueda brindar una solución efectiva a sus necesidades. Tal es el caso de la Puna.

La Puna de Argentina es una extensa región cuya principal característica son los altos niveles de radiación solar, las bajas temperaturas, las fuertes ráfagas de viento y la falta de precipitaciones, es decir, se trata de una zona de condiciones climáticas extremas. En algunos sectores de la Puna se asientan pequeños poblados en sitios de gran altura, alejados de los servicios de redes eléctricas convencionales; suministros de energía que son indispensables para proporcionar la corriente eléctrica necesaria para el accionamiento de equipos de iluminación exterior para caminos, perímetros iluminados, frentes de instituciones públicas y diversos tipos de señalizaciones (Navone, 2003).

La tecnología LED para su óptimo funcionamiento requiere de bajas temperaturas, todo lo contrario de lo que ocurre con las baterías que solo operan dentro del rango de temperaturas para el cual fueron diseñadas. Por otra parte, los altos niveles de radiación presentes en la Puna permiten obtener un máximo rendimiento de los paneles fotovoltaicos, siempre que se encuentren instalados con un adecuado ángulo de orientación y con la utilización de un regulador de tensión estable (Luque, 2012). Las dos magnitudes consideradas, bajas temperaturas durante la noche y altos niveles de incidencia de radiación solar fueron el punto de partida para dar una respuesta a la situación planteada mediante el aprovechamiento térmico de la energía solar, recurso energético muy valioso. Para ello se tiene previsto el diseño de un gabinete que aloja los LEDs, las baterías y la electrónica de control en compartimentos independientes a temperatura aproximadamente constante, aislados térmicamente del exterior. Se propone el diseño de un gabinete con una pequeña ventana de vidrio en su parte superior, debajo de la cual se encuentra una placa negra; a través del vidrio ingresa la energía solar, la cual es absorbida por la placa calentando el recinto del gabinete donde se aloja la batería. También se trata de impedir que la energía escape al exterior, entonces el calor se conserva dentro del recipiente, distribuido entre los distintos compartimentos a distintas temperaturas. Durante la noche, al descender la temperatura exterior, el aislamiento térmico del gabinete impide que la temperatura interna descienda demasiado.

El diseño de un gabinete de las características mencionadas ofrece una solución para el acondicionamiento térmico de los distintos elementos involucrados en el sistema. El desarrollo de un software específico permite que la electrónica de control administre en forma eficiente los distintos subsistemas que conforman el sistema de iluminación propuesto, extendiendo aún más la energía disponible del acumulador; ya que durante la noche, los LED se activan a la mitad de su potencia máxima y sólo se activan a la potencia máxima ante la presencia ó paso de un vehículo ó persona en las proximidades del sistema de iluminación autónomo para que, luego de

transcurrido un tiempo prudencial, se reduzca la luminosidad y el consumo del sistema. Este uso eficiente de la energía disponible permite que el sistema de iluminación pueda operar por varios días, aún sin la recarga de la batería durante días nublados.

El presente trabajo expone el desarrollo de una propuesta, a los efectos de brindar una solución, para los pequeños poblados de la Puna alejados de los puntos de distribución de energía eléctrica en cuanto al diseño de un sistema de iluminación totalmente inteligente y autónomo mediante el diseño novedoso de un gabinete que permita el aprovechamiento térmico solar durante el día, manteniendo un adecuado nivel de temperatura en horas de la noche de los dispositivos alojados en su interior; y que aprovechará los altos niveles de radiación solar presente en la zona, casi todos los días del año, para cargar una batería que permitirá la autonomía del sistema. El desarrollo de un software propio facilitará la administración y el correcto funcionamiento del sistema por intermedio de una adecuada electrónica de control.

2. Materiales y métodos

Se propone el diseño de un gabinete donde se alojan casi todos los subsistemas involucrados del sistema de iluminación autónomo, con excepción del panel fotovoltaico, el diseño innovador del gabinete permite retener el calor del sol y aprovechar el calor generado por las luminarias durante la noche, a los efectos de mantener a los distintos dispositivos que conforman el sistema de iluminación dentro de su rango de temperatura de funcionamiento óptimo (30°C a -40°C.). El gabinete se subdivide en compartimentos aislados térmicamente entre sí, en uno de los extremos superiores del gabinete se coloca una ventana de vidrio semitransparente que atrapa la radiación solar impidiendo su salida, que en conjunto con el revestimiento térmico interno almacena el calor durante el día, el cual se distribuye a lo largo del gabinete. Por debajo de esta ventana captadora de radiación solar se ubica una batería y, por debajo de la misma, se colocan los disipadores de calor de la luminaria, a los efectos de mantener un nivel de temperatura muy estable sobre la batería, ya que es un elemento muy sensible a los cambios de temperatura, situación que no ocurre con los restantes subsistemas que pueden funcionar óptimamente con cambios moderados de temperatura.

El sistema de iluminación autónomo transforma la radiación solar obtenida en energía eléctrica mediante un panel fotovoltaico, el cual establece un potencial eléctrico que puede variar entre 0 a 17V, dependiendo del nivel de radiación solar que pueda impactar sobre el mismo. La corriente eléctrica se regula mediante un regulador de corriente del tipo PWM, el cual proporciona un nivel de tensión estabilizada que permite la carga de una batería de 12V (Grupo NAP, 2003). Para alcanzar una mayor autonomía del sistema desarrollado se utiliza un acumulador de 12V, el material empleado para el diseño de este tipo de baterías le permite resistir bajas temperaturas. Si se optare por baterías de Litio se mejoraría el rendimiento, con el incremento de costo correspondiente. Estas se caracterizan por su alto rendimiento, diseño compacto, alta eficiencia en carga y descarga (Viera Pérez, 2003).

Se emplea una luminaria con tecnología LED con tres módulos de 10W cada uno. El número de módulos LED activados dependerá del nivel de energía disponible en la batería (Vázquez Guzmán, 2006; PRONUREE, 2015; Arteaga 2009). Para determinar la existencia ó no de luz solar, se diseña un subsistema con un sensor del tipo LDR, mediante un circuito acondiciona-

dor; el cual al captar la luz solar, envía un potencial de 5V (1 lógico) al subsistema de control, indicando que es de día. En presencia de oscuridad envía una tensión de 0V (0 lógico), indicando que es de noche.

Al inicio de la noche y para determinar el nivel de potencia instantánea presente en el sistema, se construye un subsistema de carga. El subsistema permite establecer una carga cuyo consumo de potencia reemplaza durante algunos instantes el comportamiento de las luminarias LED en cuanto a consumo. Lo que facilita a los subsistemas de tensión y corriente enviar datos al subsistema de control Arduino para operar en consecuencia.

Se emplea como subsistema de control un dispositivo Arduino Nano 3.0 (Productos Arduino, 2015) con una tensión de alimentación regulada de 6V. Se requieren 6 salidas digitales y 3 entradas analógicas para establecer la comunicación necesaria con los restantes subsistemas que constituyen el sistema de iluminación. El algoritmo de control que corre sobre Arduino Nano se desarrolla en lenguaje C++ tratándose de un software de diseño propio, el cual permite a la electrónica de control administrar en forma eficiente a los distintos subsistemas involucrados (Reig Chiva, 2012).

Para determinar la potencia de consumo instantánea en el sistema desarrollado durante su funcionamiento, se recurre a un sensor de tensión y un sensor de corriente. El sensor de tensión se basa en el diseño de un circuito constituido por un divisor de tensión y un circuito integrado operacional. Para el sensor de corriente se utiliza un dispositivo integrado del tipo ACS712, sensor basado en el efecto hall.

A los efectos de reducir el consumo de energía durante la noche, se diseña un subsistema sensor de movimiento constituido por un sensor infrarrojo (surgieron dos propuestas: un sensor con fototransistores con alcance de 4 mts. y un ángulo de cobertura aproximado de 45°, y un sistema fotosensor comercial con alcance de 14 y 180° de cobertura). El sensor cuando detecta el movimiento de algún objeto a una determinada distancia envía al subsistema de control Arduino Nano un nivel de tensión de 5V, indicando que encienda todas las luminarias de acuerdo a la potencia máxima medida. Ante la ausencia de detección de un objeto en movimiento se envía un nivel de tensión de 0V, esto indica que sólo una única luminaria estará encendida de acuerdo a la potencia medida.

El presente trabajo centra su estudio en el máximo aprovechamiento de la radiación solar disponible y en el mayor rendimiento del sistema de iluminación autónomo, ello se logra con el diseño de un gabinete que permite el acondicionamiento térmico de los subsistemas implicados y del desarrollo de un software que permita un óptimo control del sistema en su conjunto, reduciendo notablemente el consumo de energía eléctrica para alcanzar una máxima autonomía del sistema de iluminación.

Se expone la elaboración de una metodología que permita el diseño y el cálculo para la construcción de un sistema de iluminación exterior, inteligente y autónomo, cuya fuente de energía se obtendrá a partir de paneles fotovoltaicos.

El esquema general del sistema desarrollado y los distintos subsistemas involucrados se exponen en la Fig. 1, indicándose mediante líneas el sentido de interacción entre los mismos.

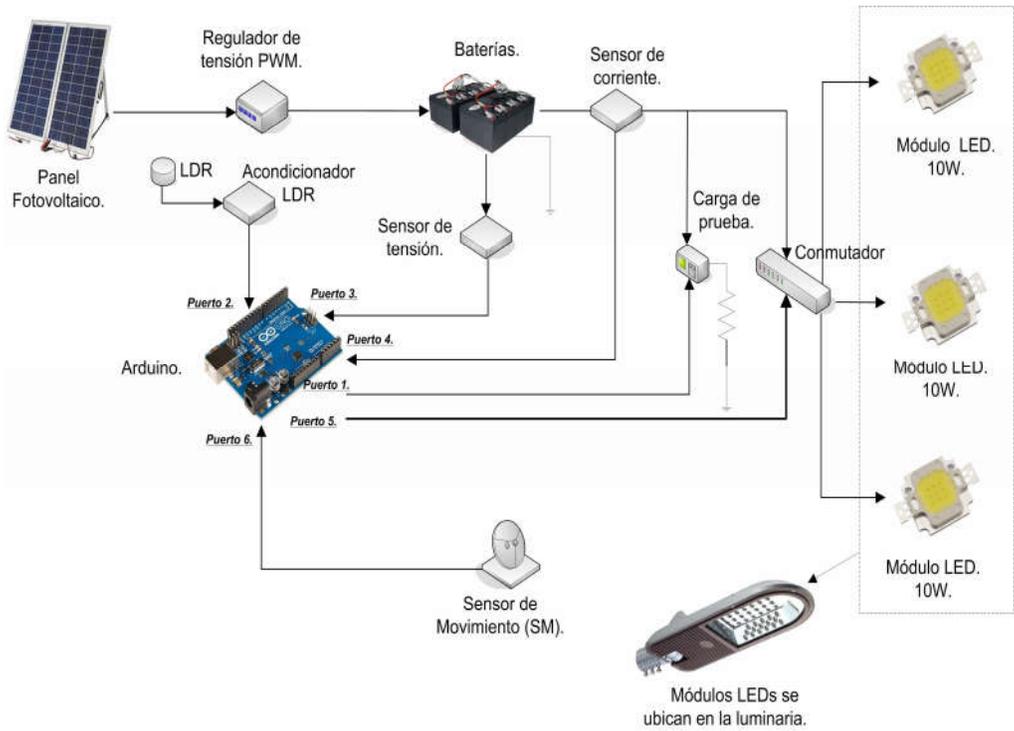


Figura 1. Esquema del sistema de iluminación inteligente y autónomo propuesto.

El sistema responde a una lógica de control de desarrollo propio expuesta en la Tab. 1.

Tabla 1. Lógica de funcionamiento del sistema.

LDR = 0			
SM = 0		SM = 1	
Potencia medida [W]	Estado de la Luminaria (Activada)	Potencia medida [W]	Cantidad de luminarias activadas
$P \geq 30$	SI	$P \geq 30$	3
$20 < P < 30$	SI	$20 < P < 30$	2
$10 < P < 20$	SI	$10 < P < 20$	1
$P < 10$	NO	$P < 10$	0

Observaciones:

LDR (Resistor dependiente de la luz - Light dependent resistor): Subsistema que en estado lógico «0» indica, al subsistema de control, que es de noche. En estado lógico «1» indica que es de día, en este último caso no se activa ninguna luminaria y se aprovecha la energía solar disponible para la carga de la batería.

SM (Sensor de Movimiento): Subsistema que en estado lógico «0» indica, al Arduino Nano, que no hay objeto en movimiento. En estado lógico «1» indica la presencia de un objeto en movimiento.

P: Indica la potencia instantánea medida consumida en el sistema.

El panel fotovoltaico empleado responde a las características técnicas detalladas en la Tab. 2.

Tabla 2. Panel Fotovoltaico KD50SE-1P

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	UNIDAD	VALOR
Tipo de módulo PV.		KD50SE-1P
A 1000 W/m ² (STC).		
Potencia nominal P	W	50
Tensión de sistema máx.	V	750
Tensión con potencia nominal.	V	17,9
Corriente con potencia nominal.	A	2,80
Tensión marcha en vacío.	V	22,1
Corriente de cortocircuito.	A	3,07
Longitud.	mm	706 (±2,5)
Ancho.	mm	744 (±2,5)
Altura / incl. caja de contacto.	mm	36 / 45
Peso.	kg	6,5
Caja de contacto.	mm	150 x 140 x 37,2
Tipo de conexión.		bornes atornillables
Código IP.		IP65
Certificado.		IEC 61215 ed. 2, IEC 61730 y Categoría de protección II

Se sugiere el montaje de un panel fotovoltaico sobre un poste de sujeción con una inclinación de 30° (Denegri, 2012), ángulo que le permita aprovechar la mayor radiación solar que pueda incidir sobre su área de recepción.

Se recomienda utilizar una batería de Litio del tipo LIT12B. Sus dimensiones son 150 mm (frente) x 65 mm (alto) x 130 mm (profundidad), con una tensión nominal de 12 V, cuya capacidad es de 35Ah y con un peso de 1 Kg.

El diseño de la luminaria permite incluir 3 módulos LED con una potencia de 10W cada uno.

El diseño del gabinete permite alojar todos los subsistemas involucrados, con excepción del panel fotovoltaico. El particular diseño de la carcasa contenedora mantiene una temperatura adecuada para el correcto funcionamiento de la batería de litio. El diseño propuesto facilita el ingreso de calor durante el día, desde el exterior hacia la batería y, durante la noche, un flujo de calor desde la lámpara (módulo LED) hacia la batería Fig. 2.

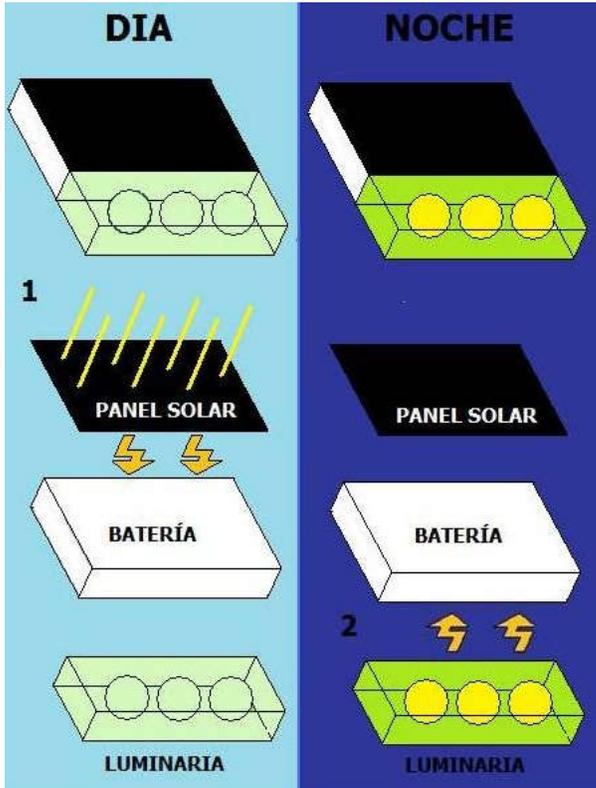


Figura 2. Acondicionamiento térmico del acumulador de energía eléctrica.

En base a la lógica de funcionamiento del sistema completo (Tab. 1), se expone el desarrollo de un algoritmo de control para permitir alcanzar la mayor eficiencia posible del sistema, el software parte del diagrama de flujo presentado en la Fig. 3.

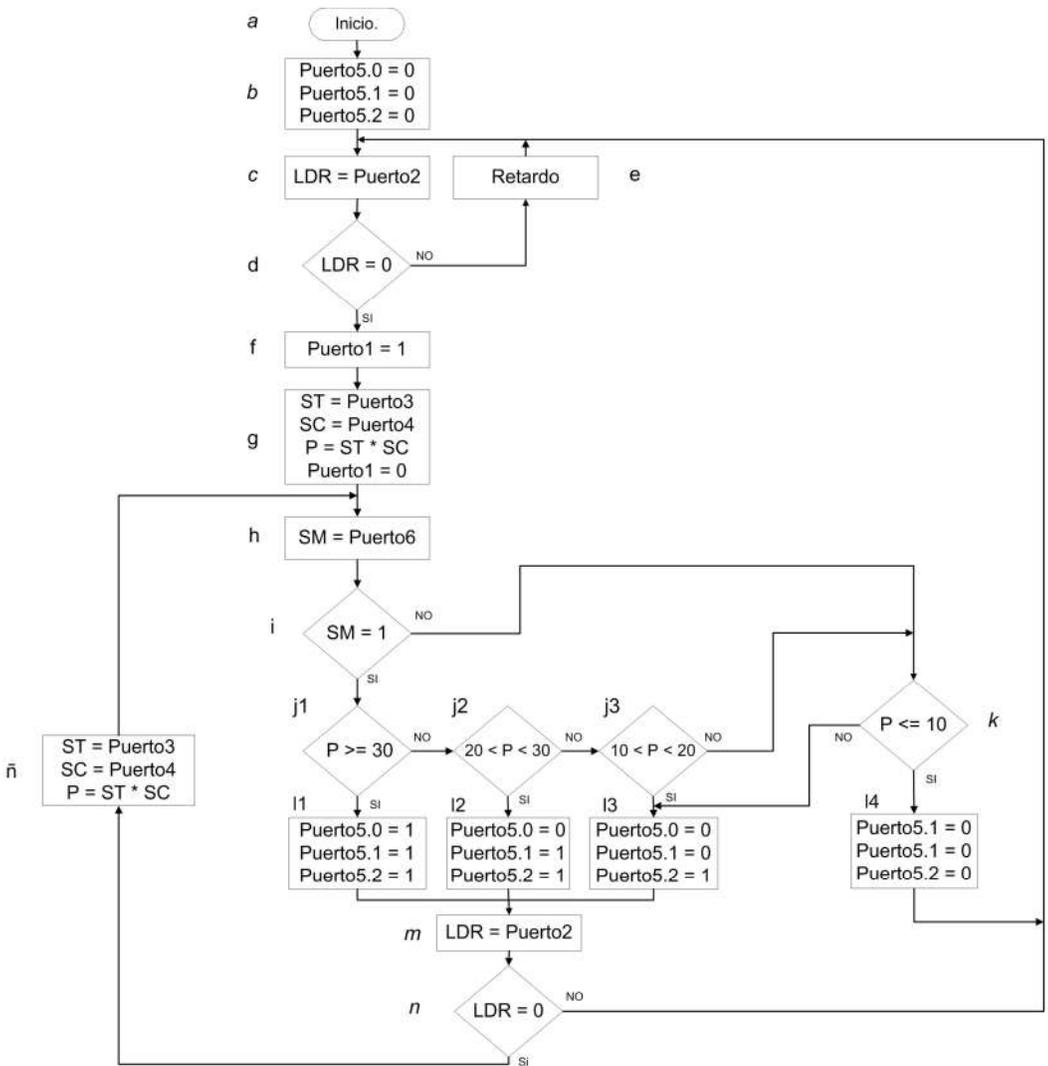


Figura 3. Diagrama de flujo.

A continuación se detalla el algoritmo de control representado en la figura 3. a) inicio. b) Los puertos de salida digital, 5.0 al 5.1, destinados a controlar el accionamiento del conmutador de los módulos LED se desactivan (tensión de 0V), a los efectos de evitar accionamientos erróneos de la luminaria LED. c) El puerto 2 (entrada digital) realiza una lectura del acondicionador LDR, quien sólo puede entregar dos niveles de tensión «0 V = 0 lógico» y «5 V = 1 lógico», almacena el dato obtenido en la variable del tipo entero «LDR». d) Se determina si existe ó no luz solar, de acuerdo al valor asignado a la variable LDR. e) Si existe luz solar, se realiza un conteo

(retardo) para luego realizar otra lectura. f) El puerto 1 (salida digital) mediante una tensión de 5V activa una carga de prueba. Esta acción permite establecer un flujo de corriente desde la batería hasta la carga de prueba. g) El puerto 3 (entrada analógica) toma un valor proporcionado por el subsistema sensor de tensión y almacena el dato en la variable del tipo real ST. El puerto 4 (entrada analógica) toma el valor suministrado por el sensor de corriente almacenándolo en la variable SC. Se realiza el producto del contenido de las variables ST y SC, con lo cual se obtiene la potencia instantánea presente en el sistema, dato que se almacena en la variable del tipo real P. Las mediciones realizadas se efectúan dentro de un retardo de tiempo, que permite el establecimiento de los sensores involucrados. Por último, se desactiva el puerto 1 con un nivel de tensión de 0V. h) El puerto 6 (entrada digital) se destina a chequear los estados del sensor de movimiento. El dato recibido se almacena en la variable SM. j) Se compara el valor contenido en la variable SM con el estado lógico «1», donde se deduce lo siguiente: Si SM almacena un «1 lógico» indica presencia de objeto en movimiento, en caso contrario no se detecta objeto en movimiento. j1, j2, j3) Se detectó un objeto en movimiento se procede a verificar el estado de potencia medido comparándolo con un valor prefijado, si es $P \geq 30$, si $20 < P < 30$ y si $10 < P < 20$. 11, 12, 13) Si $P \geq 30$ se activan 3 módulos LED (los puertos 5.0 al 5.2 envían un «111 lógico» al conmutador). Si $20 < P < 30$ (Se desactiva el puerto 5.0 y se activan los puertos 5.1 y 5.2 enviando un «011 lógico» al conmutador). Si $10 < P < 20$ (Se desactivan los puertos 5.0 y 5.1, activándose el puerto 5.2 enviando un «001 lógico» al conmutador). m) Se almacena en la variable LDR los estados lógicos «0» ó «1» enviados por el acondicionador LDR. n) Se verifica si existe luminosidad solar ó no. Si la variable entera contiene un «0 lógico» indica la inexistencia de luz solar, en caso contrario indica que es de día. ñ) Se realiza una nueva medición de tensión y de corriente para determinar la potencia instantánea presente en el sistema, las mediciones se realizan dentro de un retardo, lo cual permite establecer claramente las lecturas realizadas por los sensores de tensión y corriente involucrados. k) Verifica si $P \leq 10$, si la condición es negativa se activa un único módulo LED (bloque 13), en caso contrario se desactivan todas las luminarias (bloque 14). Luego se repite el ciclo nuevamente desde el bloque c.

Como dispositivo de control central se recurre a una plataforma de hardware libre, la cual se basa en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo del sistema, particularmente se utiliza el Arduino Nano donde se emplean 6 de sus 14 puertos digitales de salida y 2 de sus 8 puertos de entrada/salida analógicos, proporcionando al subsistema una tensión de alimentación de 6 V. Su entorno de desarrollo permite codificar el diagrama de flujo expuesto en el lenguaje C++.

Todo el sistema se monta sobre un poste de sujeción, el cual es capaz de soportar el peso de todos los dispositivos y de las inclemencias del tiempo. Figura 4.

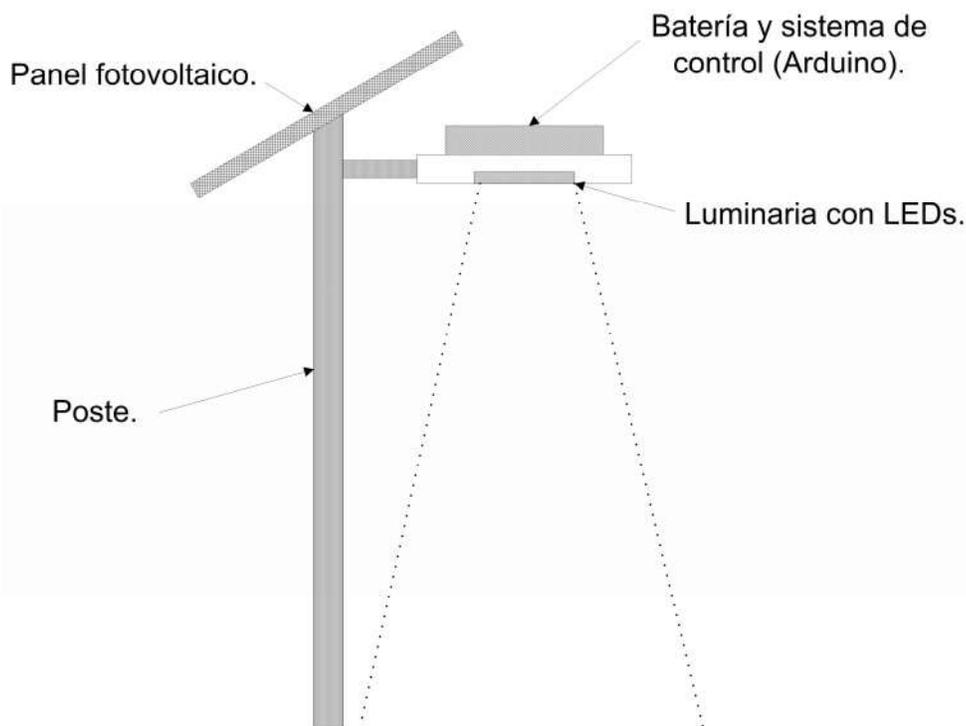


Figura 4. Sistema de iluminación inteligente y autónomo.

3. Resultados

Dimensionamiento del sistema de iluminación inteligente y autónomo: se parte de la premisa de obtener un flujo luminoso de unos 2.500 lúmenes durante unas ocho horas, el máximo consumo sólo se presenta en breves intervalos de tiempo dependiendo de la presencia de personas ó vehículos en el lugar. El resto del tiempo (ausencia de personas ó vehículos en movimiento) el flujo luminoso se reduce al mínimo, es decir, a una potencia de consumo de 10 W. Se establece que 3 módulos LED de 10 W cada uno responden adecuadamente con los requisitos establecidos. Además, se precisan 250mW para el micro controlador con tecnología Arduino Nano, de 250 mW para un sistema de detección infrarrojo y de 100mW para los restantes subsistemas involucrados (sensores, acondicionadores, conmutador, etc.). Las características de cada módulo LED son: Potencia máxima 10 W, flujo luminoso 900 Lm, vida útil 50.000 Hs. Angulo de iluminación 120°. Altura óptima 4 – 5 metros.

Estimación del consumo para un consumo 8 horas por día:

Máxima potencia de consumo (30 W): $30 \text{ W} \times 8 \text{ Hs/día} = 240 \text{ W} \times \text{horas/día}$.

Mínima potencia de consumo (10 W): $10 \text{ W} \times 8 \text{ Hs/día} = 80 \text{ W} \times \text{horas/día}$.

Arduino Nano: $0,25 \text{ W} \times 24 \text{ Hs/día} = 6 \text{ W} \times \text{horas/día}$.

Detector infrarrojo: $0,25 \text{ W} \times 24 \text{ Hs/día} = 6 \text{ W} \times \text{horas/día}$.

Subsistemas (sensores, conmutador, etc.): $0,1 \text{ W} \times 24 \text{ Hs/día} = 2,4 \text{ W} \times \text{horas/día}$.

Consumo máximo estimado: $254,4 \text{ W} \times \text{horas/día}$.

Estimación de máxima potencia para un panel del tipo KD50SE-1P de 50 W.

Potencia máxima producida en 5 HSP: $50 \text{ W} \times 5 \text{ HSP} = 250 \text{ W}$.

Se deduce que para un consumo extremo de $254,4 \text{ W} / \text{día}$, dentro de un determinado margen, no existen problemas de abastecimiento de energía.

Dimensionamiento de la batería (Aguilera, 2015): a partir de un consumo máximo (peor de los casos) de $254,4 \text{ W} / \text{día}$, se puede establecer la capacidad de la batería para suministrar la energía necesaria a la carga (Luminaria con LED). La capacidad de la batería (acumulador) viene dada por:

$$Ca = (\text{Consumo}) / (V * Pf) = (254,4 \text{ W} * 1 \text{ día}) / (12 \text{ V} * 0,6) = 35,33 \text{ Ah}$$

Donde:

«Ca» es la capacidad del acumulador.

«Consumo» es la energía consumida diariamente en W/h.

«V» es la tensión de corriente continua requerida por el sistema.

«Pf» es la profundidad de descarga de la batería.

En base a lo calculado se selecciona una batería o grupo de baterías de 100 Ah o superior, que soporten régimen de descarga de hasta un 60 % en días puntuales sin sol.

Cálculo del regulador:

La máxima intensidad que aporta el panel de 50 W viene dada por:

$$I_{mp} = P_{\text{Nominal}} / V_{mp} = 50 \text{ W} / 17,9 = 2,638 \text{ A} \approx 2,79 \text{ A}$$

El regulador debe ser capaz de resistir los 2,79 Amperios calculados como valor estándar podríamos fijarlo en 3 Amp.

Se determina que para el sistema propuesto se requiere:

1 Panel solar de 50 W.

1 Batería de 840 W (35 Ah con autonomía de 24 Hs. de uso continuo para una carga de 30 W/h).

- 1 Luminaria con 3 módulos LED de 10 W cada uno.
- 1 Regulador de 3 Amp.
- 1 Sensor infrarrojo.
- 1 Sensor LDR.
- 1 Sensor de Tensión.
- 1 Sensor de Corriente.
- 1 Carga de prueba.
- 1 Conmutador.
- 1 Poste de sujeción
- 1 Gabinete para acondicionamiento térmico.

4. Conclusiones

Este equipo de iluminación inteligente intenta dar una solución en aquellas regiones de la Puna, que no cuentan con servicio de energía eléctrica. El sistema propuesto obtiene energía a partir de la radiación solar con valores elevados en el sector referido. Para su implementación se emplean también lámparas LED por su buen desempeño en condiciones extremas de temperatura. El acondicionamiento térmico del acumulador se consigue del calor residual de las luminarias. En general, las características de diseño permiten que se aproveche al máximo la energía disponible tanto térmica como fotovoltaica. Se pretende un producto de bajo costo, eficiente y totalmente autónomo con la capacidad de aumentar la intensidad de iluminación de las luminarias cuando se detecta la presencia de personas ó vehículos. Se estima una autonomía de 24 Hs. continuas con una potencia 30 W (LED) en condiciones normales de radiación y temperatura.

Debido a que el sistema propuesto se diseñó en base a las características climáticas y físicas que presenta la Puna, se exponen futuras líneas de acción que pueden enriquecer las prestaciones del dispositivo propuesto: emplear un único módulo LED con lo cual se deberá modificar el algoritmo de control desarrollado a los efectos de optimizar el sector a iluminar; mejorar la sensibilidad y el alcance del sistema fotosensor utilizado ó seleccionado con el fin de que el sistema pueda ser empleado en todo tipo de zonas de bajas temperaturas y permita detectar vehículos que se desplacen a gran velocidad; diseñar un sistema seguidor solar para alcanzar un mayor aprovechamiento energético por parte de los paneles fotovoltaico sin que el consumo del mismo afecte o disminuya el rendimiento de la luminaria LED, etc.

5. Referencias

- Aguilera, J., Hontoria, L. (2015). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. CIEMAT. España.
- Ángeles Arteaga, J. D., De Jesús Sánchez, J. J., y Rosales, S. S. (2009). Propuesta de alumbrado público por medio de celdas fotovoltaicas con luminarias tipo LEDs para la manga, municipio de la Yesca en el estado de Nayarit. Tesis de grado. Instituto Politécnico Nacional. México.

- Bargalló, R. (2015). Nuevo sistema de Iluminación pública con energía eólica y solar. Equipamiento y servicios municipales, núm. 171, pp. 24-27
- Denegri, C., Raichijk, H., Grossi Gallegos (2012). «Evaluación de diferentes modelos utilizados para la estimación de la radiación fotosintéticamente activa en planos inclinados». Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 16, 2012. ISSN 03 29-5184. Argentina.
- Fillipo Rugeles, V. H., Cano Garzón, H. B., Chaves Osorio, J. A. (2010) Aplicaciones de iluminación con LEDs. Scientia Et Technica, vol. XVI, núm. 45, pp. 13-18.
- Grupo NAP. (2003). Energía solar fotovoltaica. Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación. ISBN: 978-84-935049-6-0. Madrid.
- Hernández, I. M. (2012). LED. Evolución en iluminación. Unidad académica de física, Universidad Autónoma de Zacatecas, México.
- Luque L., Toranzo V, Vera L. (2012). Uso eficiente de la energía en sistemas fotovoltaicos autónomos: desarrollo de un convertidor cc-cc con seguimiento de punto de máxima potencia.
- Navone, S., Bosio, M. J. (2003). Región PUNA. CIATE. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Productos Arduino (2015). <https://www.arduino.cc>
- PROILED (2015). <http://www.proiled.com/93-poste-solar>.
- PRONUREE (2015). Especificación Técnica para la adquisición de luminarias de Alumbrado Público con LED. Secretaría de Energía. <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3102>. República Argentina.
- Reig Chiva, S. (2012). Plataforma de experimentación para prototipado de diseño mediante Arduino. Universidad de la Rioja. España.
- Trujillo Serrano, P. J. (2009). Tecnología de los sistemas de energía solar fotovoltaica. Universidad Internacional de Andalucía.
- Vázquez Guzmán, G. (2006). Tecnología de iluminación mediante LEDs de potencia. Tesis de Maestría en ciencias. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Cuernavaca, Morelos. México.
- Viera Pérez, J. C. (2003). Carga rápida de baterías de Ni-Cd y Ni-MH de media y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de nuevos métodos. Universidad de Oviedo.

Recibido: junio/2017

Aceptado: abril/2018