

# PROPUESTA DE SISTEMA DE ILUMINACIÓN INTELIGENTE ANÁLISIS PRELIMINAR

**Guillermo Villalba** – villalba110@hotmail.com

**Carlos Cadena** – cadenainenco@gmail.com

Universidad Nacional de Salta, Facultad de Cs. Exactas, INENCO. Salta. Argentina

**RESUMEN:** *Se presenta una versión preliminar para los fundamentos en el desarrollo de un sistema de iluminación inteligente y autónomo (para una luminaria con 3 módulos LEDs de 10 W cada uno, partiendo de una batería de 12 V). El análisis y el diseño del sistema propuesto permiten su funcionamiento en zonas de altura caracterizadas por poseer muy bajas temperaturas y muy buenos niveles de radiación solar. Su eficiencia se logra a través de la utilización de un micro controlado (en este caso se empleó el dispositivo Arduino Nano 3.0). Para ello se desarrolló un algoritmo que, a través de la citada plataforma de hardware, controla los distintos subsistemas involucrados. Se diseñó el sistema para su aplicación en pequeños poblados sin cobertura de servicio eléctrico y permitirá el alumbrado de perímetros, cercos, caminos, accesos, etc. Es de destacar en la propuesta la utilización del calor excedente de la luminaria, que permiten mantener el acumulador y los dispositivos de control a una temperatura adecuada para su funcionamiento. Como resultado, se obtiene una mínima luminosidad durante las horas de encendido nocturno, incrementando su nivel ante la presencia de un vehículo, personas u objeto en movimiento en caminos, cercos perimetrales o pasos obligados.*

**Palabras Clave:** *iluminación inteligente, fotovoltaico, led.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En la República Argentina existen extensas regiones en donde se asientan pequeños poblados en sitios de gran altura, muchos de ellos se encuentran 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 y Bosio 2003).

Según se obtiene de una investigación realizada por el proyecto “LLAMA” en la Puna existen zonas de altura que se caracterizan por sus rigurosas condiciones climáticas, donde las temperaturas medias de invierno varían entre - 4,9 y - 2,7 °C mientras que las mínimas medias varían entre -9,1 y -8,1 °C. Las temperaturas máximas medias están entre 1 y 4,3 °C. La temperatura mínima absoluta registrada (en los últimos cinco años) por una estación meteorológica fue de - 15,8 °C en el mes de agosto de 2011.

Otra particularidad del clima en la Puna son sus fuertes vientos, que pueden superar los 60 km/h sobre todo en los meses de invierno. Las fuertes ráfagas de viento, las grandes variaciones de temperatura y la falta de precipitaciones caracterizan a la Puna como una región con clima extremo, en donde gran parte de los pequeños poblados que la habitan deben subsistir sin los servicios básicos indispensables, es decir, no se dispone de luz, agua potable ni gas natural. Por lo tanto, aprovechando las características climáticas de esta extensa región y en la evolución de la tecnología utilizada en las energías no convencionales, sería posible construir un sistema de iluminación eficiente y autónomo que funcione correctamente, prácticamente en la intemperie, a un costo razonable. El mismo permitirá iluminar los caminos ó espacios requeridos por los pequeños poblados de esta zona durante todas las noches del año. Por otra parte es sabido que estas regiones de altura, está caracterizadas por niveles de radiación solar muy apropiados la gran mayoría de los días del año. Debido a la intermitencia y a los horarios de exposición solar se requerirá de la utilización de sistemas de acumulación eléctrica. Los acumuladores convencionales no presentan un funcionamiento correcto a bajas temperaturas (temperaturas propias de los sitios de altura), por lo cual el tema es una excelente oportunidad de desarrollo y transferencia para este tipo de sistemas.

A los fines de dar una respuesta a esta situación se desarrolló un sistema de iluminación inteligente y autónomo, el cual permite iluminar una determinada área de un camino ó perímetro ante el paso de una persona ó vehículo. Reduciendo el nivel de iluminación y, por lo tanto, el consumo cuando no detecta el movimiento de un objeto en el sector de aplicación. Su diseño particular permite el correcto funcionamiento de los dispositivos involucrados ante las inclemencias del tiempo. La reducción de consumo eléctrico, su autonomía, su algoritmo de control, el acondicionamiento térmico del sistema para su óptimo funcionamiento a bajas temperaturas y su resistencia ante los fuertes vientos de la región son características particulares de la solución propuesta. En el mercado local de la ciudad de Salta no existe disponibilidad de dispositivos que respondan a las exigencias planteadas. El cual aprovecha los altos niveles de radiación solar presente, en casi todos los días del año, para cargar en una batería que permite la autonomía

del sistema. Ante lo expuesto estamos en presencia de una excelente oportunidad de desarrollo y transferencia para este tipo de sistemas.

## 2. DESCRIPCIÓN

Para el correcto funcionamiento del sistema propuesto se centró el estudio en el desarrollo de un eficiente algoritmo de control, cuya estructura permite que las secuencias de operación reduzcan notablemente el consumo de energía que pueda proporcionar la batería al actuar sobre los subsistemas controlados, subsistemas que se activan sólo en el momento en que se requiere su accionamiento. Se emplea un gabinete cuyo particular diseño permite alojar casi todos los subsistemas involucrados, aprovechando del calor solar durante el día y del calor generado por las luminarias durante la noche, con el objetivo de mantener a la batería dentro de un rango adecuado de temperatura. Los distintos subsistemas que se ubican dentro de la carcasa, aislados térmicamente entre sí, permitiendo concentrar el mayor nivel de temperatura obtenida en el sector correspondiente a la batería.

Todo el sistema se montó sobre un poste de sujeción resistente a las inclemencias del tiempo. La obtención de energía para la carga constante de la batería se logra a través de un panel fotovoltaico, el cual establece un potencial eléctrico de magnitud variable dependiendo del nivel de radiación solar que pueda incidir sobre el mismo. La corriente eléctrica se regula mediante un regulador de corriente del tipo PWM, el cual proporciona la estabilidad de tensión necesaria que permite la carga de una batería de 12 V (NAP. 2003). Para alcanzar una mayor autonomía se utilizó un acumulador de Litio de 12 V, este tipo de batería presenta las propiedades adecuadas para resistir las bajas temperaturas de la Puna, presentando un alto rendimiento, un diseño compacto y una alta eficiencia en la carga y descarga (Viera Pérez 2003).

Se empleó una luminaria con tecnología LED con tres módulos de 10 W cada uno. El número de módulos led activados dependerá del nivel de energía disponible en la batería (Vázquez, 2006., PRONUREE, 2015., Arteaga, Sánchez y Rosales, 2009). Para determinar la existencia ó no de luz solar, se diseñó un subsistema con el sensor LDR mediante un circuito acondicionador, que al captar la luz solar envía un potencial de 5 V (1 lógico) al subsistema de control, indicando que es de día. En presencia de oscuridad envía 0 V (0 lógico), indicando que es de noche. Al inicio de la noche (falta de luz solar) y para determinar el nivel de potencia instantánea presente en el sistema se construyó un subsistema de carga que permite establecer un flujo de corriente entre la batería y la citada carga durante algunos instantes. Para determinar la potencia de consumo instantánea presente el sistema desarrollado, se construyó 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 tensión se recurrió a un dispositivo integrado del tipo ACS709T, tratándose de un sensor que obtiene determinados niveles de corriente de acuerdo al efecto hall.

Por su reducido tamaño y escaso consumo, se eligió al dispositivo Arduino Nano 3.0 (Productos Arduino, 2015) aplicando una tensión de alimentación regulada de 6 V. Se utilizaron 6 salidas digitales y 3 entradas analógicas para establecer la comunicación necesaria con los restantes subsistemas involucrados. Sobre el dispositivo corre un software en lenguaje C++ de diseño propio (Reig Chiva, 2012), permitiendo la adquisición de datos para el correcto accionamiento de todos los subordinados al mismo.

A los efectos de detectar objetos en movimiento se recurrió a un sistema sensor infrarrojo de venta en el mercado local. El sensor durante la noche y al detectar el movimiento de algún objeto a una distancia aproximada de 20 mts. envía al subsistema de control Arduino Nano un nivel de tensión de 5 V, indicando que encienda todas los módulos led, ante la ausencia de un objeto en movimiento este envía un nivel de tensión de 0 V, indicando que sólo un módulo led sea encendido.

## 3. MÉTODOS Y MATERIALES.

Se expone la elaboración de una metodología que permitió 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.

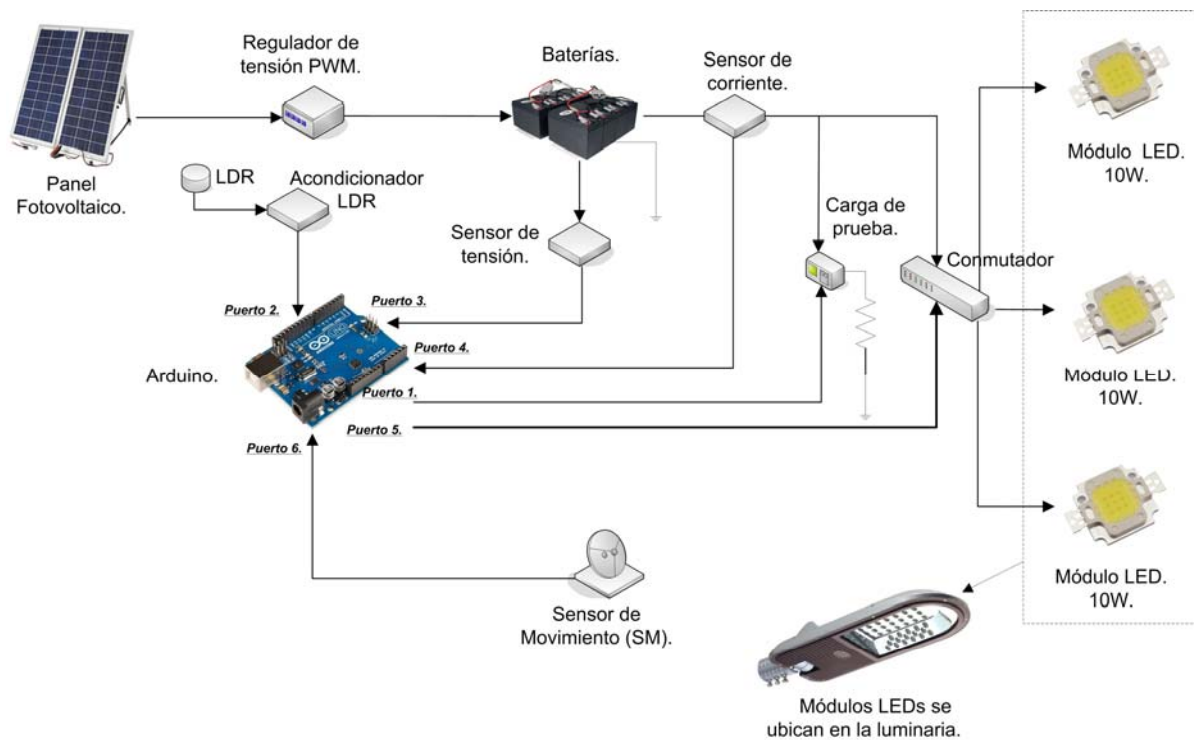


Figura 1 - Esquema del sistema de iluminación inteligente y autónomo propuesto.

El sistema que se desarrolló responde a una lógica de control de propia, la cual se explicita 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, a 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 de la Fig. 2 responde a las características técnicas detalladas en la Tab. 2. También puede observarse el regulador de tensión PWM utilizado.

Tabla 2 - Panel Fotovoltaico MSX48.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	UNIDAD	VALOR
Tipo de módulo PV.		MSX48
A 1000 W/m <sup>2</sup> (STC).		
T 25 °C		
Potencia Máxima	W	54,6 (25 °C)
Tensión Circuito Abierto.	V	21,1V
Corriente de Corto Circuito.	A	3,67
Tensión de Potencia Máxima.	V	16,7
Corriente de Potencia Máxima.	A	3,27
T 49 °C		
Potencia Máxima	W	39,7
Corriente de Potencia Máxima	A	2,69
Dimensiones	cm	100 x 50



Figura 2. Panel fotovoltaico y regulador de Tensión PWM.

El panel fotovoltaico se montó sobre un poste de sujeción con una inclinación de 22°, ángulo que le permite aprovechar la mayor radiación solar que pueda incidir sobre su área de recepción. Se empleó 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 35 Ah y con un peso de 1 Kg. El diseño de la luminaria permite incluir 3 módulos led con una potencia de 10 W cada uno. Se construyó un gabinete que 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, el calor desde la lámpara (módulo LED) hacia la batería Fig. 3

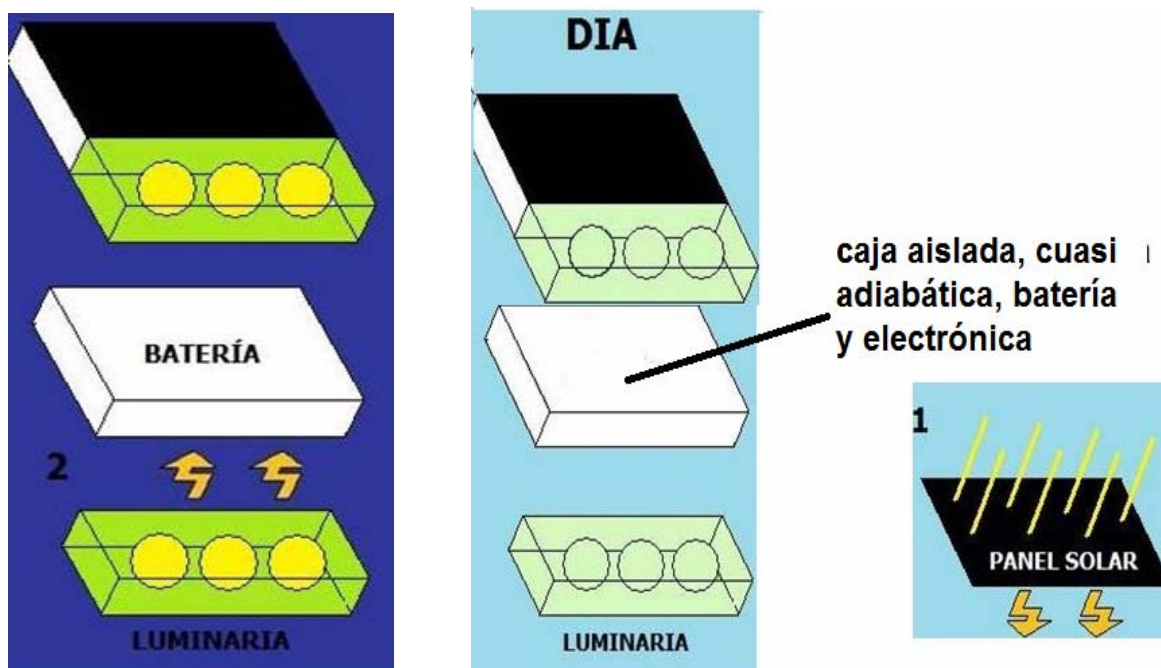


Figura 3 - Funcionamiento nocturno y diurno (acondicionamiento térmico del acumulador).

En base a la lógica de funcionamiento del sistema completo (Tab. 1), se desarrolló un algoritmo de control que permite alcanzar la mayor eficiencia en relación al consumo eléctrico del sistema. El diagrama de flujo se presenta en la Fig. 4.

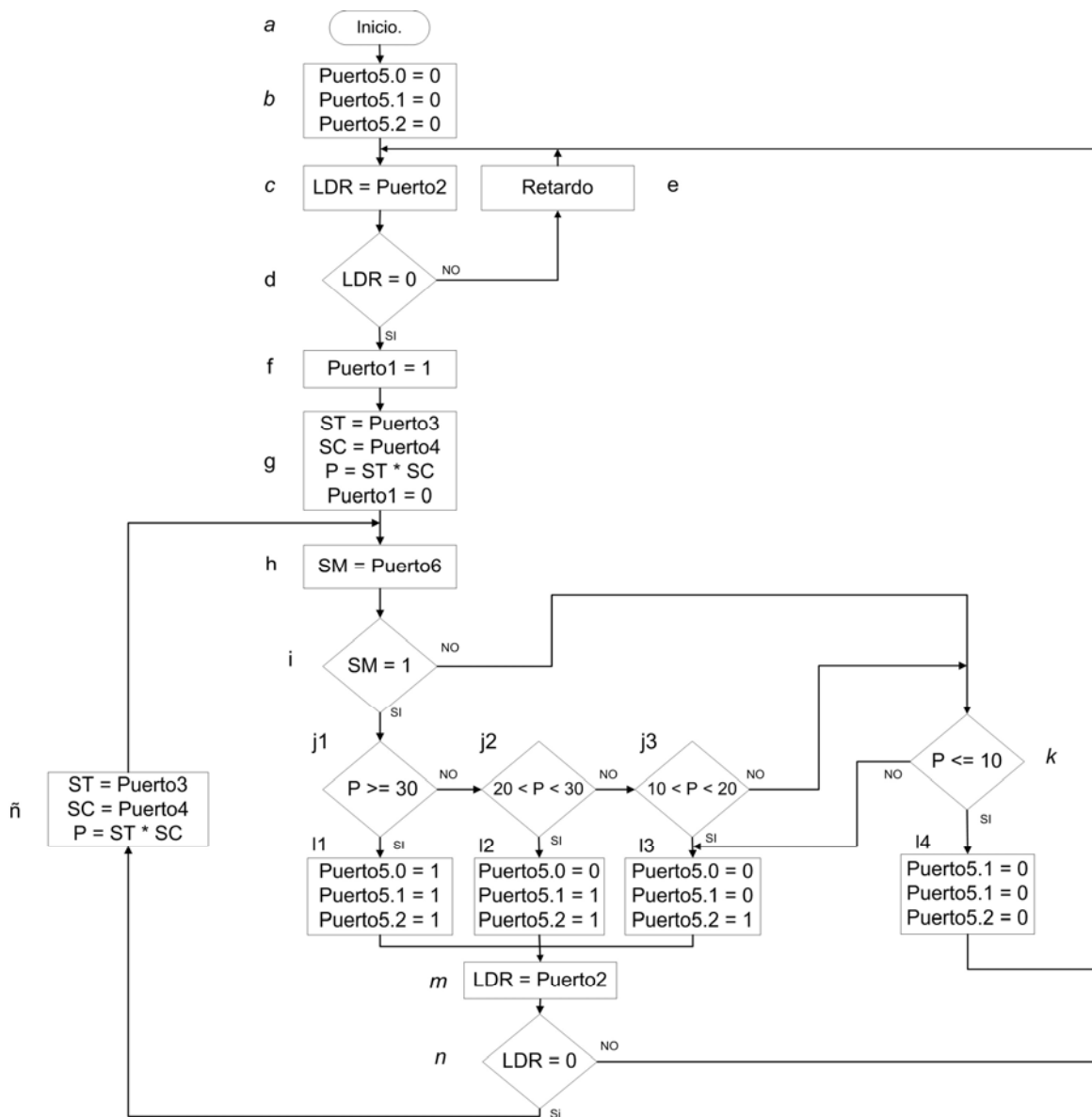


Figura 4 - Diagrama de flujo del algoritmo de control.

a) inicio. b) Los puertos de salida digital, 5.0 al 5.1, destinados a controlar el accionamiento del conmutador de los módulos LEDs se desactivan (tensión de 0 V), 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 5 V 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 0 V. 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  $P \Rightarrow 30$ , si  $20 < P < 30$  y si  $10 < P < 20$ . 11, 12, 13) Si  $P \Rightarrow 30$  se activan 3 módulos LEDs (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 recurrió 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 utilizó el Arduino Nano donde se utilizaron 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 permitió 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. Fig. 5

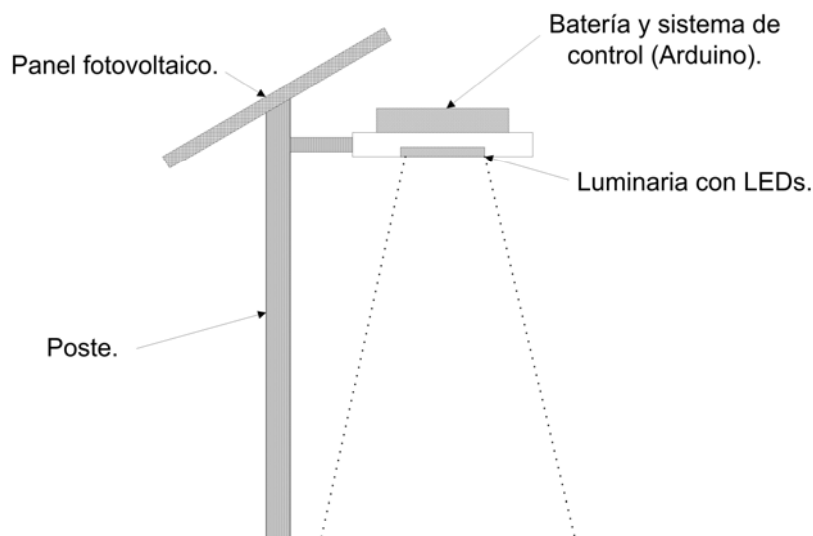


Figura 5 - Sistema de iluminación inteligente y autónomo.

#### 4. RESULTADOS:

Dimensionado del sistema de iluminación inteligente y autónomo: se parte de la premisa de obtener un flujo luminoso de unos 2500 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 250 mW para el microcontrolador con tecnología Arduino Nano, de 250 mW para un sistema de detección infrarrojo y de 100 mW 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 mts.

Estimación del consumo para un consumo 8 horas por día:

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

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

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

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

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

Consumo máximo estimado: 254,4 Wh/día.

Estimación de máxima potencia para un panel del tipo MSX48 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 Wh/día, dentro de un determinado margen, no existen problemas de abastecimiento de energía.

Dimensionamiento de la batería (Hontoria, 2015) a partir de un consumo máximo (peor de los casos) de 254,4 Wh/día, se puede establecer la capacidad de la batería para suministrar la energía necesaria a la carga (Luminaria con LEDs). La capacidad de la batería (acumulador) se establece en la Ec. (1).

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

Detalle de las variables que intervienen en la Ec. (1).

“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 40 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 50W viene dada por:

$$Imp = P_{\text{Nominal}} / V_{mp} = 50 \text{ W} / 17,9 = 2,79 \text{ A} \quad (2)$$

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 35 Ah.
- 1 Luminaria con 3 módulos LED de 10 W cada uno.
- 1 Regulador de tensión 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.

## 5. 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 y del equipo de control electrónico, se consigue del calor residual de las luminarias. En general, sus características son tales que 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 (módulos LED) en condiciones normales de radiación y temperatura.

## 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.
- Grupo NAP. 2003. “Energía solar fotovoltaica”. Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación. ISBN: 978-84-935049-6-0. Madrid.

- Navone, S., Bosio, M. J., 2003. Región PUNA. CIATE Facultad de Agronomía. UBA. Argentina.
- Paoli, H., Elena, H., Mosciaro, J., Ledesma, F., Noé, Y., 2011. Caracterización de las cuencas hídricas de las provincias de Salta y Jujuy. INTA. Argentina.
- Productos Arduino. 2015. <https://www.arduino.cc>
- 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.
- Ruiz Gutiérrez, J. M., 2012 “Herramientas Gráficas para la programación de Arduino”. España.
- 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”. Autor: Tesis doctoral. Universidad de Oviedo. Gijón.

### **PROPOSAL FOR INTELLIGENT LIGHTING SYSTEM. PRELIMINARY ANALYSIS**

**Abstract.** *A preliminary version for the foundations for the development of an intelligent and autonomous lighting (3 lights 10 W each, starting from a 12 V battery) is presented. They are able to operate in offshore areas characterized by having very low night temperatures and very good levels of radiation. Efficiency is achieved through the use of a micro-controlled (in this case device Arduino Nano 3.0 was used). For this purpose an algorithm that controls the various subsystems involved developed. The system for use in small towns was designed without electrical service coverage and allow perimeter lighting, fences, roads, access, etc. It is noteworthy in the proposed use of the waste heat of the lights, which helps maintain the accumulator and control devices at a suitable temperature for operation. As a result, a minimum brightness is obtained during the hours of night start, increasing its level in the presence of a vehicle, person or object moving in road,*

**Key words:** *intelligent lighting, photovoltaic, led*