



| Identificación del Trabajo | |
|----------------------------|--|
| Área: | Medio ambiente, contingencias y desarrollo sustentable |
| Categoría: | Alumno |
| Regional: | Rosario |

Energía solar fotovoltaica. Luminaria autónoma para alumbrado público.

Ceballos Lisandro, Rivoira Julian, Gonzalez Tonon Lisandro.

Facultad Regional Rosario, UTN

E-mail de autores: lceballos.alu@gmail.com, juli_rivo@hotmail.com, lisandrogt16@gmail.com

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Ricardo Berizzo. Energía solar fotovoltaica. Luminaria autónoma para alumbrado público.

Resumen

El objetivo del artículo es mostrar las características de un sistema de iluminación solar totalmente autónomo de la red, que trabaje de manera eficiente, sea confiable y de bajo costo. Se hace un análisis del recurso solar disponible, se desarrollará el cálculo de las partes constitutivas del sistema de iluminación autónomo y por último se hará una conclusión sobre lo estudiado. Como lugar de referencia para los cálculos se toma la ciudad de Rosario ubicada en el sureste de la Provincia de Santa Fe (Latitud 32,9°S ; Longitud 60,6°O). Cabe destacar que el mismo trabajo se puede adaptar muy fácilmente a otras zonas del país cambiando solo el dato de insolación.

Palabras Claves: Fotovoltaico; Alumbrado Público; Sustentable; Autónoma.

1. Introducción

La viabilidad de cualquier proyecto autónomo eléctricamente se apoya en el progreso y desarrollo tecnológico que alcanzó la energía solar ya que las energías renovables cubren cerca del 20% de la energía consumida anualmente a nivel mundial. En lo concerniente a la energía solar no es descabellado afirmar que su fuente es gratuita, pese a la inversión necesaria para la adquisición del equipamiento, no genera emisiones y es silenciosa. Además de poder ser integrada al paisaje urbano y ser útil en zonas de difícil acceso.

En nuestro país el estado del arte es insipiente, algunos ejemplos de instalaciones de alumbrado público autónomo son el “barrio solar” en la localidad de San Carlos Sud, provincia de Santa Fe y la costanera de la ciudad de Gualaguay, en la provincia de Entre Ríos.

En la ciudad de Rosario, provincia de Santa Fe, se montaron dos columnas de este tipo, las cuales estuvieron en funcionamiento por un lapso de dos años y medio en forma ininterrumpida, durante el período del invierno del 2016 a verano del 2018. Obteniéndose una experiencia inédita en este campo y detectándose algunos inconvenientes en su funcionamiento, los cuales son analizados en el presente trabajo.

Este trabajo muestra los cálculos que justifican su excelente performance, como así también los elementos comerciales, de fácil adquisición, utilizados para tal fin.

2. Metodología

El alumbrado público autónomo, generalmente montado sobre una columna presenta desafíos que llevan a lograr un equilibrio entre la energía recolectada a través del panel solar y la posibilidad de almacenamiento de la misma.

La metodología para el cálculo de los módulos se desarrolla en la Figura 1.

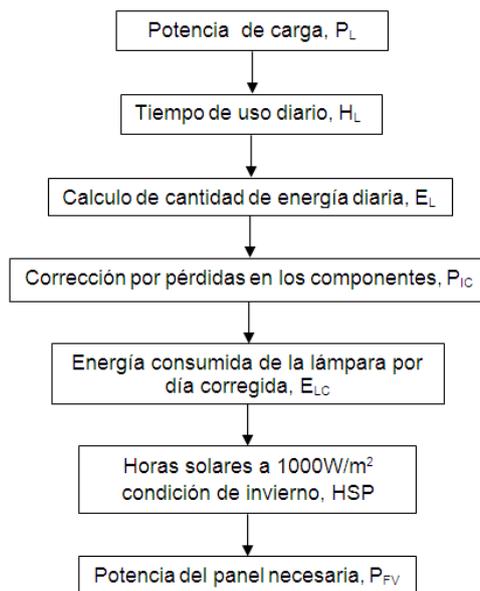


Figura 1. Diagrama de flujo de cálculo de capacidad fotovoltaica.

Del mismo modo se desarrolla la metodología para el cálculo de batería a través del diagrama de flujo de la Figura 2.

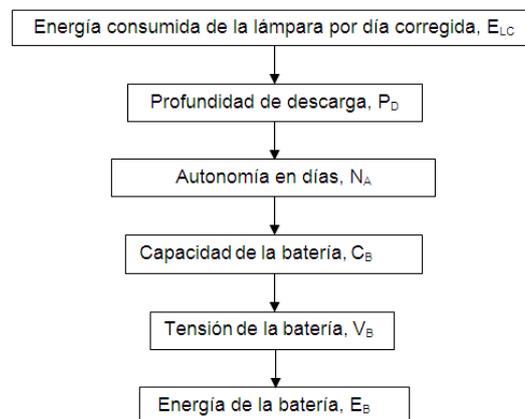


Figura 2. Diagrama de flujo de cálculo de capacidad de batería.

La verificación de los datos se realizó a través del software RETScreen.

El punto limitante en el desarrollo del sistema se fundamenta en caracteres constructivos y de infraestructura, debido al reducido espacio y la incidencia mecánica debida a la exposición del mismo a las inclemencias climáticas (vientos, lluvias, etc.).

En el sistema, los principales limitantes son el peso de los componentes y la dimensión de los paneles como punto determinante ante las solicitaciones mecánicas debidas al viento. Estos puntos podrían solucionarse colocando los elementos más pesados a menor altura o a nivel del piso (o de forma subterránea), aunque en este caso los problemas fundamentales serian garantizar la estanqueidad del gabinete frente a inundaciones y el vandalismo. Estos puntos no se trataran en el presente trabajo.

3. Resultados

Con las siguientes premisas realizamos el cálculo de los componentes del circuito el cual brindará servicio de alumbrado público autónomo en la ciudad de Rosario:

- 14 horas continuas de iluminación nocturna (cubriendo el horario de 18hs a 8hs para las horas de iluminación en invierno).
- 5 días de servicio ininterrumpido (considerando días nublados / o lluviosos con irradiancia reducida o nula).
- El sistema debe estar constantemente expuesto al sol, sin apantallamiento durante las horas de carga (desde 10hs hasta 16hs).

Los días de autonomía se justifican a través de datos obtenidos de la base de datos de NASA¹ (datos Enero de 1984 a Diciembre de 2013).

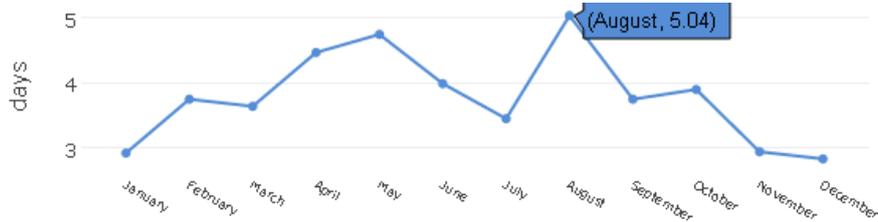


Figura 3. Estadística de días nublados en períodos de 7 días Rosario.

3.1. Energía requerida para la alimentación de la luminaria:

La energía consumida para la operación de la luminaria es calculada multiplicando la potencia de la lámpara por el tiempo de operación en horas.

$$E_L = P_L \cdot H_{LD} \quad (1)$$

E_L = Energía consumida por la lámpara.

P_L = Potencia de la lámpara.

H_{LD} = Horas diarias de uso de la lámpara por día.

En nuestro caso seleccionamos una lámpara LED de 20W de potencia, por lo que la energía necesaria será.

$$E_L = 20W \cdot 14 \frac{h}{día} = 280 \frac{Wh}{día} \quad (2)$$

Consideraremos un factor de corrección por pérdidas en los componentes de la instalación fotovoltaica, incluyendo dentro de estas las pérdidas en el inversor de tensión y ciclos de carga de las baterías, siendo este último el factor de mayor importancia.

$$P_{IC}\% = P_I\% + P_C\% \quad (3)$$

$P_I\%$ = Pérdidas en el inversor de tensión.

$P_C\%$ = Pérdidas en ciclos de carga y descarga de las baterías.

$$P_{IC}\% = 10\% + 20\% = 30\% \quad (4)$$

Los datos de pérdidas son típicos para los componentes utilizados, los cálculos finales serán en función de las pérdidas reales de cada componente seleccionado.

Recalculando la energía necesaria afectada por el factor de pérdidas tendremos:

$$E_{LC} = E_L \cdot 100\% + P_{IC}\% \quad (5)$$

E_{LC} = Energía consumida por la lámpara en un día (corregida).

$P_{IC}\%$ = Porcentaje de pérdidas.

$$E_{LC} = \frac{280Wh}{\text{día}} \cdot 100\% + 30\% = 364 \frac{Wh}{\text{día}} \quad (6)$$

3.2. Selección de modulo fotovoltaico:

Para el desarrollo del cálculo es muy importante tener información del lugar donde se instalará el panel fotovoltaico antes de seleccionar el mismo. Conocer la cantidad de días soleados y el promedio de horas de sol por día a través del año. Es conveniente usar información de instalaciones meteorológicas propias o en su caso las más cercanas. Si esto no es posible consultar el mapa meteorológico mundial para determinar la insolación para el lugar considerado.

En Rosario, la irradiación diaria en promedio anual disponible es de 4,75 kWh/(m² x día), también podemos expresarlo como 4,75 HSP (horas solares pico, equivalente en horas a una irradiancia de 1000W/m²).

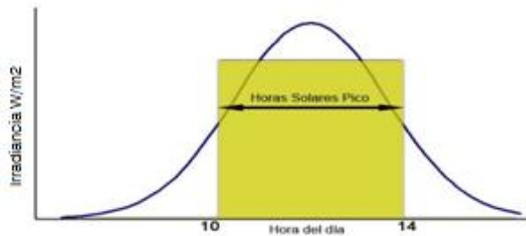


Figura 4. Gráfica representativa de irradiancia a través del día.

Al ser la nuestra una instalación autónoma, sin conexión a la red y debido a la exigencia del servicio que se debe prestar, tendremos en cuenta para el cálculo la insolación promedio anual sino la insolación promedio mensual para el mes de menor valor, colocándonos así en la peor condición que se refiere al mes de junio para la ciudad de Rosario, donde la insolación diaria promedio es de 2,38 kWh/(m² x día), dato obtenido de la base de datos de insolación de la NASA¹.


 NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables
 

Latitude -33 / Longitude -60 was chosen.

Parameters for Sizing and Pointing of Solar Panels and for Solar Thermal Applications:

| Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m ² /day) | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| Lat -33 Lon -60 | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Annual Average |
| 22-year Average | 6.96 | 6.02 | 5.07 | 3.75 | 2.92 | 2.38 | 2.69 | 3.58 | 4.74 | 5.51 | 6.61 | 6.94 | 4.75 |

Figura 5. Insolación diaria en promedio mensual sobre el plano horizontal en la ciudad de Rosario de base de datos de SSE de la NASA¹.

Este dato es tomado sobre el plano horizontal, mejorando para condiciones de instalación donde el ángulo de orientación del módulo respecto del norte geográfico (azimut) sea de 0°, correspondiente al hemisferio sur, en el hemisferio norte la orientación del módulo es de 0° respecto al sur y la inclinación respecto del plano horizontal (beta) del mismo sea:

$$\beta = \text{latitud del lugar} + 10^\circ \quad (7)$$

$$\beta = 33^\circ + 10^\circ = 43^\circ \quad (8)$$

Pudiéndose redondear a 45°

$$P_{FV} = \frac{E_{LC}}{HSP} \quad (9)$$

P_{FV} = Potencia fotovoltaica del panel.

E_{LC} = Energía consumida de la lámpara por día (corregida).

HSP = Horas solar pico.

Seleccionamos un voltaje para las baterías, el regulador de carga y para el circuito de continua de 12v.

$$P_{FV} = \frac{364Wh}{2,38 h} = 152,9W \quad (10)$$

Para esta potencia seleccionamos un panel de 150W del tipo silicio policristalino, siendo la diferencia de potencia despreciable.

3.3. Selección de baterías:

Para la selección de la batería determinamos a través del siguiente cálculo la capacidad de la batería. Seleccionando el voltaje en concordancia con la tensión de salida de los paneles (debiendo ser el de las baterías algo menor), el mismo será de 12v.

$$C_B = \frac{E_{LC}}{P_D \cdot V} \cdot N_A \quad (11)$$

C_B = Capacidad de la batería en Ah. (Amper-hora)

E_{LC} = Energía consumida por la lámpara por día corregida.

P_D = Profundidad de descarga de la batería (factor de utilización de la misma en por unidad).

N_A = Días de autonomía.

V = Voltaje de los paneles

$$C_B = \frac{364Wh/día}{0,8 \cdot 12V} \cdot 5 días = 189,6 Ah \quad (12)$$

La capacidad de almacenamiento de energía de la batería en kWh será:

$$E_B = C_B \cdot V_B \quad (13)$$

E_B = Capacidad de almacenamiento de energía de la batería.

C_B = Capacidad de la batería.

V_B = Tensión de la batería.

$$E_B = 189,6 Ah \cdot 12V = 2,27 kWh \quad (14)$$

3.4. Selección del controlador de carga:

Calculamos la corriente de carga a través de la siguiente ecuación:

$$I_{L\text{ Máx}} = \frac{P_L \cdot (1 + P_{I(PU)})}{V_B} \quad (15)$$

$I_{L\text{ máx}}$ = Máxima corriente exigida por la carga.

P_L = Potencia de la luminaria.

$P_{I(PU)}$ = Perdidas en el inversor (por unidad).

V_B = Voltaje de la batería.

$$I_{L\text{ Máx}} = \frac{20W \cdot 1,1}{12V} = 1,85A \quad (16)$$

3.5. Selección de inversor DC/AC:

Al ser la alimentación de la lámpara en corriente alterna de 220V y 50 Hz, seleccionaremos un inversor con estas características de salida, para la tensión de entrada tenemos que coincidir con la tensión de la batería por lo que la misma será 12V.

La potencia aparente del inversor se determinará con el siguiente cálculo:

$$S_{\text{inversor}} = \frac{P_L \cdot (1 + P_{I\text{ PU}})}{F_P} \quad (17)$$

S_{inversor} = Potencia aparente del inversor.

P_L = Potencia de la luminaria.

$P_{I(PU)}$ = Perdidas en el inversor.

$F_{P(PU)}$ = Factor de potencia de la carga (por unidad)

$$S_{\text{inversor}} = \frac{20 \cdot (1+0,11)}{0,95} = 27,75 VA \quad (18)$$

Considerando un factor de potencia de 0,95, típico para drivers de luminarias LED.

El alojamiento de la batería y del control electrónico no debe ser sometido a temperaturas extremas. Tanto bajas como altas ya que existe el riesgo de arruinar la batería y/o los componentes.

4. Discusión

Basados en cálculos realizados en la sección 3 y de la verificación de los mismos con los brindados por el software RETScreen concluimos que el sistema está en concordancia con los cálculos realizados en su oportunidad, en el diseño de las columnas autónomas que estuvieron en funcionamiento en la ciudad, mencionadas anteriormente.

A continuación podemos ver el resumen de los componentes a utilizar, una tabla comparativa de la energía generada/consumida/pérdidas a través del año y una gráfica que lo

ilustra, las condiciones planteadas para el cálculo en RETScreen son para azimut 0° y $\beta = 45^\circ$, las cuales serán las condiciones de instalación reales.

Tabla I. Tabla de resumen de componentes reales.

| Paneles | Regulador | Batería | Inversor | Luminaria |
|--------------------|---------------|------------------|-----------------|----------------------|
| Tipo: Si-Poli | Tipo: PWM | Tipo: Litio | Tipo: AC/DC | Tipo: LED |
| Potencia: 150W | Tensión: 12V | Capacidad: 190Ah | Potencia: 150VA | Potencia: 20W |
| Azumút: 0° | Corriente: 5A | Tensión: 12V | Eficiencia: 90% | Eficiencia: 120Lum/W |
| $\beta : 45^\circ$ | | Cantidad: 1 u | Vi/Vo: 12V/220V | FP: 0,95 |

Tabla II. Tabla de comparación de energía generada, consumida y pérdidas mensuales.

| Mes | Generación[kWh] | Consumo[kWh] | Pérdidas[kWh] |
|------------|-----------------|--------------|---------------|
| Enero | 9,64 | 8,68 | 0,96 |
| Febrero | 8,71 | 7,84 | 0,87 |
| Marzo | 9,64 | 8,68 | 0,96 |
| Abril | 9,32 | 8,4 | 0,92 |
| Mayo | 9,56 | 8,68 | 0,88 |
| Junio | 9,15 | 8,4 | 0,75 |
| Julio | 9,49 | 8,68 | 0,81 |
| Agosto | 9,61 | 8,68 | 0,93 |
| Septiembre | 9,32 | 8,4 | 0,92 |
| Octubre | 9,64 | 8,68 | 0,96 |
| Noviembre | 9,33 | 8,4 | 0,93 |
| Diciembre | 9,64 | 8,68 | 0,96 |

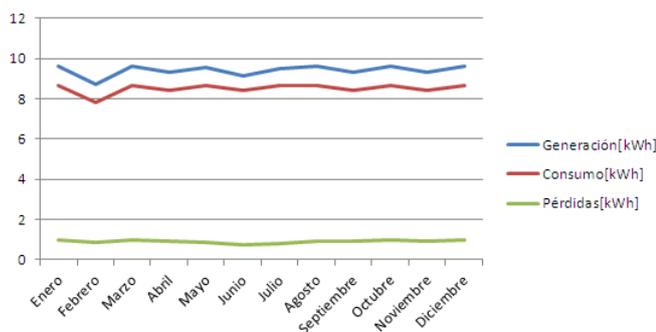


Figura 6. Gráfico de comparación de energía generada, consumida y pérdidas mensuales.

Se verifica que la generación cubre las necesidades de energía de la carga más las pérdidas del sistema.

5. Conclusiones

Los cálculos realizados en el presente trabajo reafirman la viabilidad del cumplimiento de las premisas demandadas para un servicio de alumbrado público, ratificada por la experiencia práctica realizada previamente en la ciudad.

Los avances tecnológicos en el desarrollo de las luminarias LED de alta eficiencia, los paneles fotovoltaicos que han aumentado su rendimiento considerablemente y las baterías de gran capacidad de carga y reducido volumen, como las baterías de litio, permiten la reducción de los tamaños de los componentes y así el peso de los mismos, ya que debido a las condiciones de instalación estos son puntos críticos para su óptimo desarrollo.

Reconocimientos

Agradecemos la información suministrada respectiva a sistemas de alumbrado público a los ingenieros Jorge Nocino, Director general de Alumbrado Público Rosario y Fernando Deco Director de departamento.

Bibliografía

(1) NASA, Surface meteorology and solar energy – available talbes. La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, (por sus siglas en inglés, *National Aeronautics and Space Administration*), es la agencia del gobierno estadounidense responsable del programa espacial civil, así como de la investigación aeronáutica y aeroespacial.

Ho, Jin-Maun; Hsu, Jia-Liang, (2010). "Design and implementation of a Stand-alone photovoltaic road lighting system".

Prof. Dinesh Kumar Sharma, Dr., Er. Shree Raj Shakya, (2011). "Training Manual For Engineers on Solar PV System".

Bertinat, Pablo; Salerno, Juan, Inercia Comunicaciones, (2006). "Un modelo energético en apuros - alternativas para la sustentabilidad energética en Argentina".

Gasquet, Hector L, (2004). "Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica - Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos".