

05-003

Technological feasibility of photovoltaic LED lighting installations for high traffic density

Alfonso Gago-Calderón¹; Marta Cristina Ruiz-Correa¹; Manuel Jesus Hermoso-Orzáez²

¹Universidad de Málaga; ²Universidad de Jaén;

LED technology has meant a revolution in the lighting sector where new performance in parameters such as efficiency, reliability or color reproduction index are changing the way installations are designed or renovated. The energy savings offered by LEDs over conventional technologies make it possible to review the viability of renewable energy installations (using, for example, photovoltaic panels) even for traffic vias with the highest standard requirements for highways or other high traffic density routes.

We have performed an analysis of the present and immediate future state of the art of the components of these facilities: luminaires, generator panels and energy storage. With this information, and through simulations, we establish the LED power needed to meet the requirements of these roads and we calculate the capacity of photovoltaic energy generation in different latitudes of the planet

Thus, we establish a technical and economic feasibility estimation principle for these projects depending on their location and, where appropriate, concrete optimal models of implementation are presented, such as the use of integrated panels on the luminaire posts or the need to generate concentrated plants of generators, preferred locations of batteries,...

Keywords: LED lighting; Energy efficiency; Photovoltaic energy; Motorways;

Viabilidad tecnológica de instalaciones de alumbrado LED fotovoltaico para vías de alta densidad de tráfico

La tecnología LED ha supuesto una revolución en el sector de la iluminación donde las nuevas prestaciones en parámetros como eficiencia, fiabilidad o índice de reproducción cromática están cambiando la manera de diseñar o renovar instalaciones. Los ahorros energéticos que ofrecen los LEDs respecto a las tecnologías convencionales permiten revisar la viabilidad de instalaciones alimentadas exclusivamente por energías renovables como paneles fotovoltaicos, incluso para viales de tráfico con los requerimientos normativos más elevados: autopistas u otras vías de alta densidad de tráfico.

Hemos realizado un análisis de estado del arte presente y futuro inmediato de los componentes de estas instalaciones: luminarias, paneles generadores y acumuladores de energía. Con este, y mediante simulaciones, se entran las necesidades de potencia a instalar para cubrir los requerimientos de estas vías y se calcula la capacidad de generación de energía fotovoltaica en diferentes latitudes del planeta

Así, establecemos un principio de estimación de viabilidad técnica y económica de estos proyectos en función de su localización y, en su caso, de modelos concretos de implementación, como el uso de paneles integrados en los postes de luminarias o la necesidad de generar plantas concentradas de generadores, localizaciones preferentes de las baterías de acumulación de energía,...

Palabras clave: Iluminación LED; Eficiencia Energética; Energía Fotovoltaica; Autopistas;

Correspondencia: Alfonso Gago Calderón agago@uma.es



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

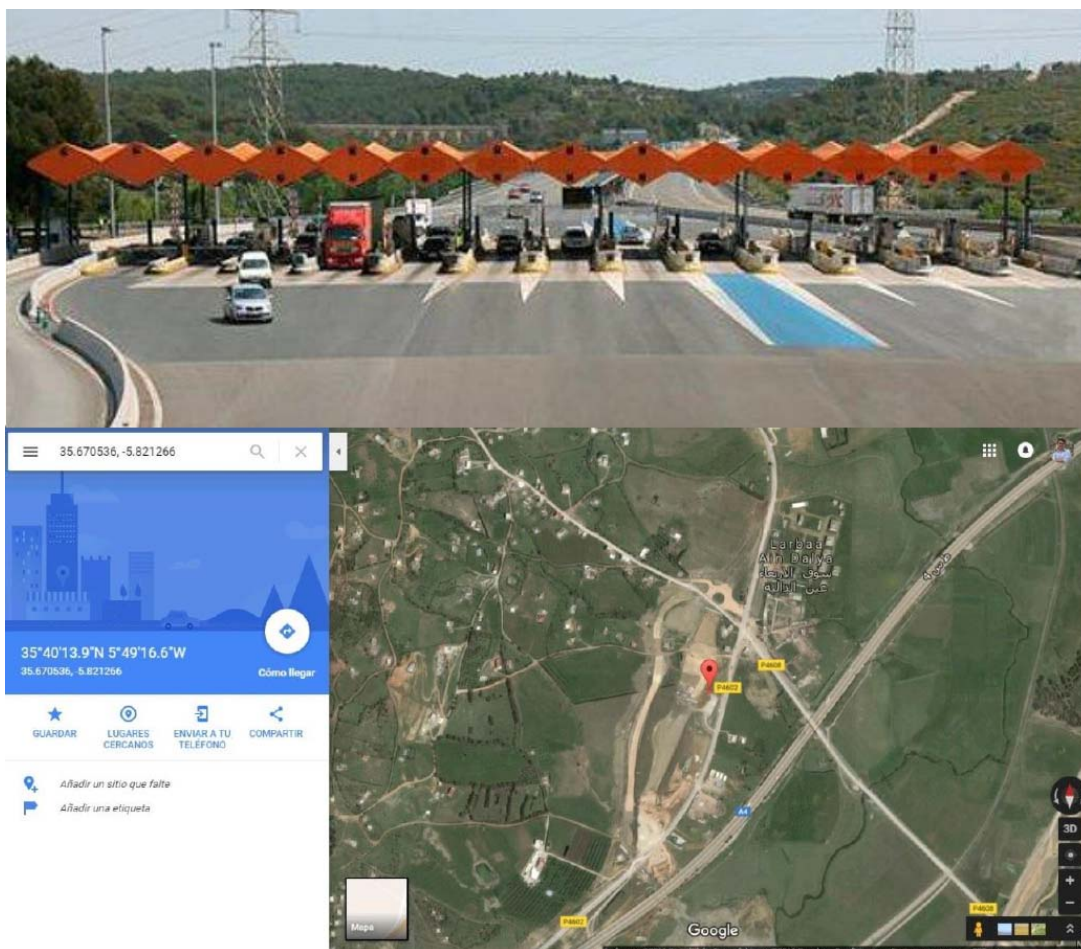
1. Introducción

En la actualidad existe una necesidad creciente en el sector de los proyectos de instalaciones de iluminación de desarrollar sistemas autónomos funcionando, principalmente, integrados con sistemas de generadores fotovoltaicos. Esta demanda está basada fundamentalmente en el crecimiento y modernización de países en desarrollo donde se están generando nuevas infraestructuras, muchas de ellas en emplazamientos aislados si una red de distribución eléctrica desarrollada (Pode, 2010).

Las nuevas luminarias led, con consumos muy reducidos en comparación con las tecnologías convencionales de fuentes de luz, conducen a muchos técnicos a proponer el diseño de las instalaciones de iluminación de este tipo de proyectos con este modelo de producto autoalimentado. Un modelo común de estos casos son los destinados a atender los requerimientos luminotécnicos de carreteras y otros modelos de alumbrado público no solo a pequeña escala o de tipo decorativos, sino para atender la demanda de viales de tráfico de alta ocupación/velocidad: autopistas, autovías,... (Wu, 2009).

Podemos ejemplificar estos casos con un proyecto de instalación de la iluminación necesaria para una estación de peaje de la nueva autopista que conecta las localidades de Dalia y Tanger, en Marruecos. El emplazamiento de este centro de cobro se ha planificado en un punto remoto no urbanizado, en el entorno de un pequeño municipio llamado Ain Dalya (ver figura 1) que no cuenta con un enlace a la red de electrificación general, por lo que plantean la necesidad de alimentar este centro de control con un sistema de generación de energía propio.

Figura 1. Centro de Peaje de la Autovía Dalia y Tanger de Marruecos y su localización



La recurrencia en el deseo de generar este tipo de proyectos nos ha llevado a plantearnos el desarrollo de un estudio de análisis que determine si este tipo de tecnología (luminarias, generadores, baterías,...) se encuentra en un estado de madurez suficiente para atender a día de hoy o en un futuro cercano, los requisitos normativos más complejos de manera que se pueda corroborar que esta sea una línea de negocio realista y viable para un amplio abanico de emplazamientos a lo largo y ancho del planeta con sus diferentes posibilidades de generar energía eléctrica a partir de las emisiones del sol.

2. Objetivos

En este trabajo se desarrolla un estudio del potencial y viabilidad tecnológica actual de iluminar, conforme a las normativas más exigentes, viales de tráfico de alta intensidad usando luminarias led fotovoltaicas.

Para ello se va a realizar un estudio referente a los siguientes aspectos fundamentales:

A.- Estado del arte de los proyectos realizados a nivel global y, particularmente, de las diferentes tecnologías que componen el total del diseño de una instalación de iluminación autónoma fotovoltaico:

- Tecnología de iluminación led: eficiencia, tiempos de vida, coste,...
- Equipos de generación fotovoltaica de energía: rendimientos, tiempos de vida, mantenimiento, coste,...
- Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica en base a baterías: capacidad, peso, robustez, ciclos de carga, temperatura de trabajo, coste,...

B.- Criterios necesarios para la elección de los diferentes elementos que componen la instalación.

- Requerimientos energéticos para cumplir con las especificaciones técnicas de las clasificaciones lumínicas establecidas para vías de alta densidad de tráfico
- Comparativa de luminarias basadas en led existentes en el mercado
- Comparativas de las capacidades y características de los sistemas almacenamiento de energía.

C.- Estudio de la radiación solar anual de las localizaciones geográficas donde se plantean preferentemente este tipo de instalaciones: países emergentes con zonas sin electrificación y con crecientes necesidades de urbanización o desarrollo de carreteras.

D.- Establecer las posibilidades de integración de las instalaciones: postes de iluminación con baterías y paneles integrados, plantas de generación y almacenamiento de energía para alimentar a una instalación de luminarias,...

E.- Establecer un coste orientativo de esta instalación.

Con este estudio se propondrán unos criterios de consulta para cada proyecto específico de instalación y un proceso de cálculo para su valoración y evaluación de viabilidad técnica.

3.- Metodología

De manera resumida establecemos los cuatro bloques en los que se ha estructurado el estudio de este trabajo.

3.1.- Equipos y requerimientos de iluminación

La primera tarea a realizar es la caracterización técnica actual de los componentes de una instalación de iluminación solar fotovoltaica: luminarias, soportes y sistema de

generación de energía integrado junto con las luminarias, distribuido en las cercanías de cada punto de luz o generando estaciones de generación de energía concentradas.

La selección de componentes tendrá que ser la adecuada para cumplir con los requisitos y especificaciones requeridas por la normativa internacional para la iluminación de vías y carreteras de alta densidad de tráfico.

Para establecer las necesidades de potencia eléctrica de los equipos de emisión de luz led usaremos como base de referencia la “Guía Técnica de Aplicación: Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior” (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013) que desarrolla los criterios de la International Commission on Illumination (CIE) o la Illuminating Engineering Society (IES). Esta establece las clasificaciones de tipos de vía en función de sus requisitos lumínicos y establece estos niveles. En la tabla I se recogen los acrónimos de las instituciones que aparecen en este trabajo.

Tabla 1. Acrónimos de las instituciones referenciadas en el presente trabajo.

Acrónimo	Institución
CIE	International Commission on Illumination
ENAC	Entidad Nacional de Certificación
IES	Illuminating Engineering Society
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
MASEN	Moroccan Agency for Solar Energy

En este estudio nos planteamos dos requerimientos de clasificación de viales, propios de rutas de alta densidad de tráfico:

A.- Vial de 2 carriles, uno en cada sentido: Carreteras Nacionales (p.e. N340) → Clasificación de vía ME3a

B.- Vial de 4 carriles, dos en cada sentido: Autovías y Autopistas (p.e. A-45) → Clasificación de vía ME2

Los niveles lumínicos exigibles se presentan en la figura 2.

Figura 2. Parámetros lumínicos exigibles a viales del tipo ME2 y ME3a. (Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España, 2013)

Clase de Alumbrado	Luminancia de la superficie de la calzada en condiciones secas			Deslumbramiento Perturbador	Iluminación de alrededores
	Luminancia ⁽¹⁾ Media L_m (cd/m ²) ⁽¹⁾	Uniformidad Global U_o [mínima]	Uniformidad Longitudinal U_l [mínima]	Incremento Umbral TI (%) ⁽²⁾ [máximo]	Relación Entorno SR ⁽³⁾ [mínima]
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
ME3b	1,00	0,40	0,60	15	0,50
ME3c	1,00	0,40	0,50	15	0,50
ME4a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
ME4b	0,75	0,40	0,50	15	0,50
ME5	0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6	0,30	0,35	0,40	15	Sin requisitos

Una vez establecidos los requisitos lumínicos de los viales objetivo, hemos realizado una serie de simulaciones con luminarias led de alta gama de varias empresas, para poder valorar cuál es la potencia necesaria con la que alcanzar los niveles de las variables lumínicas especificadas para cada caso. Para ello se hizo uso del software gratuito DIALux (DIAL, 2017).

Como criterio de calidad, se han usado para este estudio luminarias que contaran con certificados de ensayo realizados de las normas UNE vinculadas a estos productos tanto en seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética y calidad general de las prestaciones de los equipos. Estos ensayos estarán realizados por laboratorios acreditados por ENAC (Entidad Nacional de Certificación) en España o equivalente a nivel internacional, que garantice la fiabilidad de los resultados. Igualmente se han usado como referencia los requerimientos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía del Gobierno de España (IDAE, 2015) que establece un valor máximo de 4000 K como valor como el máximo aconsejable de temperatura de color para ajustar los problemas de contaminación lumínica que puedan generar las luminarias y unos grados de protección mínimos IP65 e IK08.

Para reducir la energía necesaria para alimentar a las luminarias se va a permitir la reducción de sus niveles de brillo en las horas de madrugada, ajustando el consumo a momentos de poco tráfico (Ciriminna, 2017). Las actuales normativas de ahorro eficiencia energética a nivel internacional, en concreto en España está el R.D. 1890/2008 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, 2008) potencian este tipo de actuaciones para reducir el consumo de energía en momentos donde las vías son muy poco utilizadas. Esta política se repite en todas las normativas de los países de la UE y en muchos otros países del resto de continentes. Por tanto, reducir la iluminación no es solo un recurso técnico, sino también una recomendación normativa.

En los casos de estudio, las luminarias reducirán su consumo ajustando sus niveles de brillo a un nivel de clasificación inferior:

- Para las vías ME2 → adecuación al criterio ME3a
- Para las vías ME3a → adecuación al criterio ME4a.

Los horarios de reducción serán: desde las 00:00 a las 5:00

3.2. Motor Energético. Radiación solar

La radiación solar varía para cada punto geográfico del planeta. Para el dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas existen los mapas de radiación solar cuyo objetivo es proporcionar, dentro de una aproximación razonable, unos valores aproximados de la energía solar que se recibe en un emplazamiento específico.

Este trabajo se centra en las zonas situadas entre los trópicos terrestres, debido a que la radiación es más favorable para el objeto de estudio. Además de estas localizaciones entre los trópicos, también se han incluido emplazamientos de Marruecos al ser un país con múltiples oportunidades de negocio dentro de este campo de estudio, pese a las diferencias (inferiores) de la radiación solar recibida esperado, que está apostando fuertemente por la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar (MASEN,2017).

La radiación media diaria sobre superficie horizontal para países de Sudamérica ha sido obtenida a través de la base de datos de ficheros climatológicos de EnergyPlus (EnergyPlus, 2016) y el software Climate. Para el resto de países (principalmente zona africana y de Oriente Medio) se ha hecho uso de la plataforma oficial del Instituto de la Energía y el Transporte de la Comisión Europea (Comisión Europea, 2016).

3.3. Generador fotovoltaico

A partir de la potencia necesaria de las luminarias para cada tipo de vía, hay que realizar el diseño de la instalación de generación fotovoltaica que generará la energía necesaria para el funcionamiento de dichas luminarias. Los paneles a utilizar en este estudio de instalación son de silicio monocristalino en función del alto valor de eficiencia de esta tecnología.

El día de diseño elegido para este tipo de instalaciones el solsticio de invierno (21 de diciembre en el hemisferio norte y 21 de junio en el hemisferio sur). En esta fecha se produce el día más corto del año y las radiaciones en estos meses suelen llegar a los mínimos anuales.

Se han tenido en cuenta en este estudio los siguientes aspectos en el dimensionamiento de estas instalaciones de generación eléctrica:

- Ángulo de inclinación de los paneles solares
- Pérdidas por orientación, inclinación y sombreado

La posición de la placa fotovoltaica es una variable muy importante a la hora de poder captar la mayor radiación posible. No solo se pierde energía de captación si ángulo de inclinación no es el óptimo, sino que la orientación del mismo, así como si existen elementos que provoquen una sombra sobre la placa, influyen en la radiación solar incidente en el panel fotovoltaico.

La orientación que aporta una mayor energía sobre el panel es hacia el sur, si la placa está situada en una latitud del hemisferio norte, o hacia el norte, en el caso de una situación de la placa en el hemisferio sur.

A la hora del estudio es importante tener en cuenta posibles elementos de sombreado en el panel fotovoltaico. Normalmente en las vías de circulación no hay elementos que incidan este sombreado.

La realización del cálculo de estas pérdidas viene indicado en el "Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aislada de Red" (IDAE, 2009).

3.4. Sistema de acumulación y regulación de la energía generada

El sistema de acumulación de energía permite que la energía generada durante las horas de sol, pueda utilizarse en las horas de nocturnidad, en las que van a trabajar las luminarias.

El número de días de autonomía, junto con la energía requerida por las luminarias, afecta directamente en la capacidad que debe tener el sistema de acumulación de energía. Un buen diseño de este sistema es clave en la instalación, para que ésta siempre pueda ofrecer la energía que se necesita aún en condiciones adversas. España establece en el "Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aislada de Red" (IDAE, 2009) que el sistema aislado fotovoltaico debe tener una autonomía mínima de 3 días. Al no tener los países de estudios una legislación al respecto, se hará uso de este.

El regulador es el dispositivo que controla la energía en cada momento, distribuyéndola hacia el sistema de acumulación durante las horas de sol, y dirigiéndola hacia las luminarias durante las horas de trabajo.

Entre sus funciones principales destaca la gestión de la carga óptima de los acumuladores, la protección frente a sobrecarga de los acumuladores limitando la tensión de fin de carga y el control de la profundidad de las descargas.

4. Cálculos

Las simulaciones lumínicas realizadas con luminarias que cumplen con los requisitos establecidos de marcas de reconocido prestigio. Se realizan las simulaciones lumínicas con diferentes las luminarias seleccionadas para cumplir con los requisitos exigidos y las estimaciones de potencia necesaria son de 80 W para el caso A y de 110 W para el caso B. Ver figura 3.

Conforme a la metodología desarrollada la capacidad de generación de energía solar de las principales ciudades en la zona geográfica entre el trópico de Cáncer y el trópico

de Capricornio para el estudio se puede ver en la figura 4. Para tener un análisis de todo este rango de terreno analizaremos los casos más favorables y más limitados: Rabat (2.770 Wh/m²-día) y Brasilia (4.523 Wh/m²-día).

Figura 3. Resultado de simulación lumínica para viales A y B con luminaria estándar

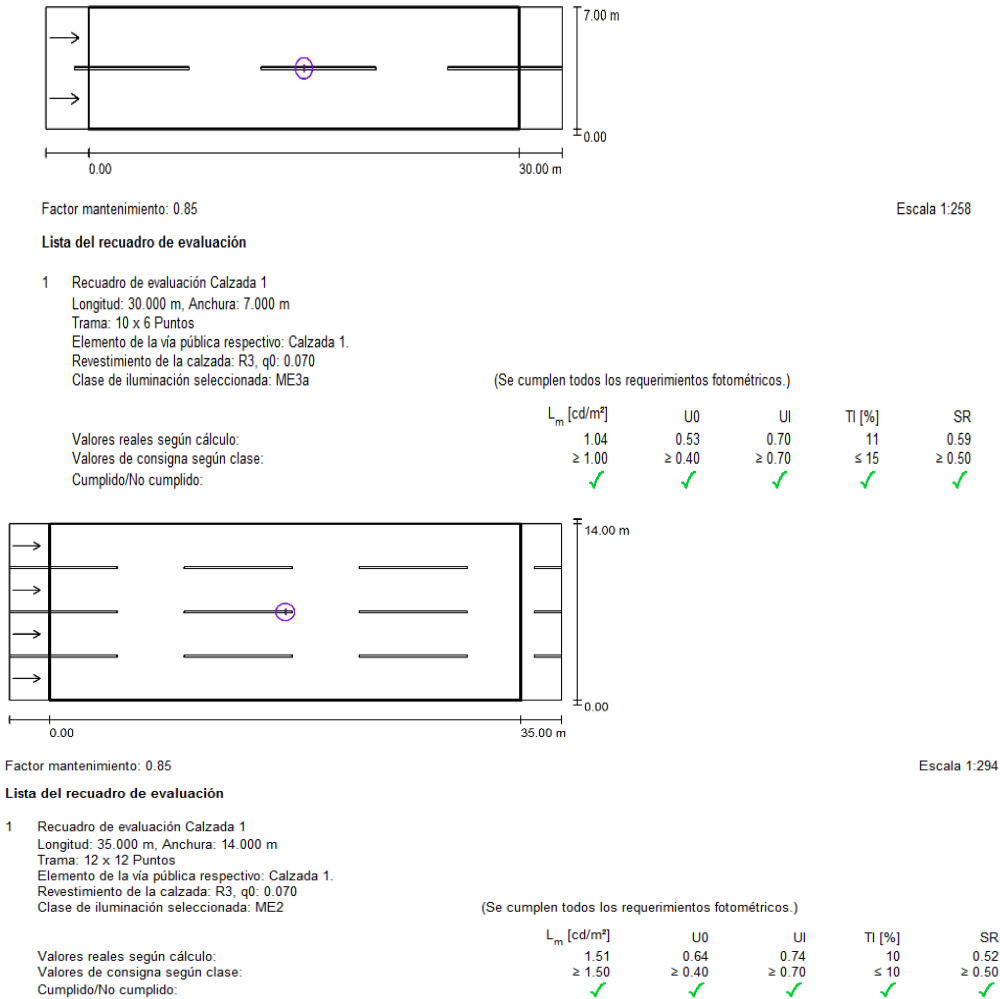
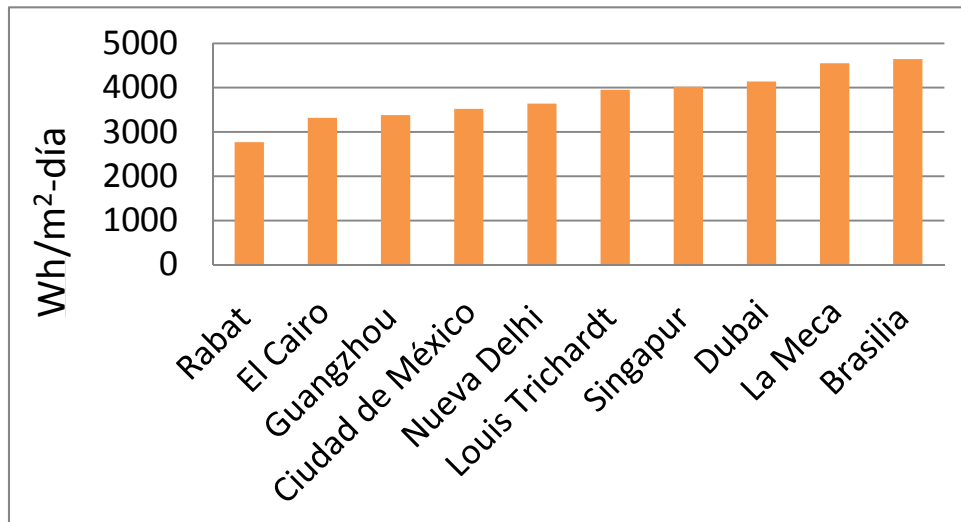


Figura 4. Radiación Solar recibida en las principales capitales del rango geográfico del estudio



La latitud de Rabat, $\phi = 34^{\circ}00'47''$ N, es superior a la del trópico de Cáncer, $\phi = 23^{\circ}26'14''$ N. Los valores de sus radiaciones son muy diversos, presentando una diferencia considerada entre sus niveles extremos de radiación. Brasilia ($\phi = 15^{\circ}46'46''$ S), al contrario que Rabat, es una ciudad situada muy cerca del ecuador terrestre. Las radiaciones que se registran en esta localidad no varían notablemente a lo largo del año. Los resultados del análisis energético solar específico de estas ciudades se muestran en la figura 4.

Para conocer la potencia mínima que requiere el generador fotovoltaico en cada localización se usará la ecuación 1.

$$P_{G-min} = \frac{W_d \cdot G_{CEM}}{G_{(\alpha,\beta)} \cdot K_T} \quad (1)$$

Donde cada término representa

W_d : Consumo energético [Wh/día]

G_{CEM} : Radiación en las Condiciones Estándar de Medida, 1.000 W/m²

$G_{(\alpha,\beta)}$: Radiación incidente en el módulo fotovoltaico [Wh/m²-día]

K_T : Factor de rendimiento de la batería y el regulador

Para el consumo energético, W_d , se han planteado una serie de criterios que diferencian el invierno y el verano debido a que las horas de sol varían durante el año, siendo mayores en los meses de verano. Por ello, durante el invierno donde las horas de sol son menores, la potencia de las luminarias permanecerá 4 horas al 90%, 3 horas al 80%, 3 horas al 70% y el resto de horas de trabajo al 60% de la potencia nominal. Debido a lo que se acaba de comentar, en invierno las luminarias no se encontrarían nunca trabajando en el 100% de su potencia.

Para el dimensionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía, es esencial establecer los días de autonomía que debe tener la instalación en caso de que, por situaciones adversas de la climatología, las placas fotovoltaicas no pudieran captar la radiación solar necesaria durante una serie de días consecutivos. El IDAE, (IDAE, 2009), establece que, como mínimo, el sistema debe garantizar 3 días de autonomía.

A través de la ecuación 2 se calcula la capacidad nominal necesaria de los acumuladores en el sistema fotovoltaico autónomo.

$$C_n = \frac{Q_d \cdot A}{PD_{m\acute{a}x} \cdot \eta_{conexi\acute{o}n}} \quad (2)$$

Donde el significado de los términos de la ecuación son los siguientes:

Q_d : capacidad nominal diaria $Q_d = W_d U_n$ [Ah/día]

A : días de autonomía

$PD_{m\acute{a}x}$: profundidad de descarga máxima de la batería

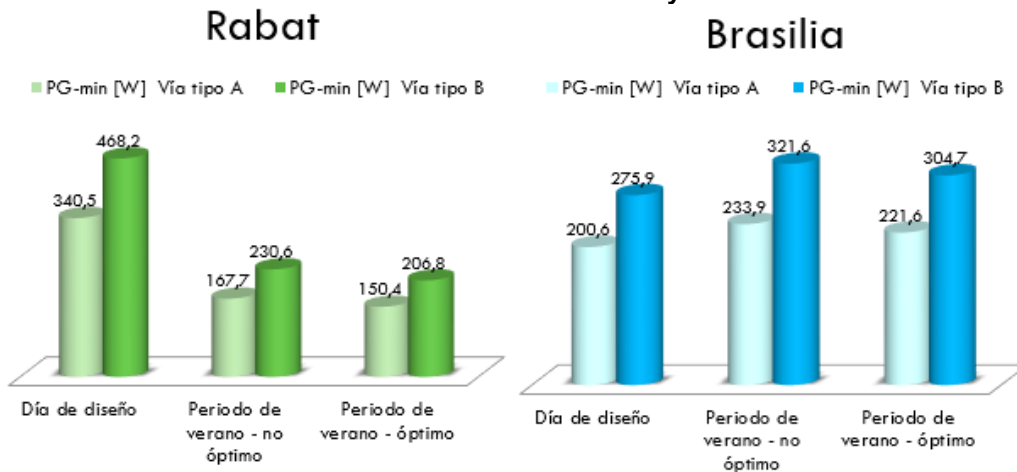
$\eta_{conexi\acute{o}n}$: rendimiento de la batería y el regulador

5. Análisis de Resultados

Las instalaciones modelo que se obtienen para cada planeado se representa en la figura 5. Los productos escogidos son óptimos para la instalación, ya que se ha tenido en cuenta la tecnología a utilizar, las dimensiones y pesos de los productos así como el rendimiento, entre otros factores.

Las placas fotovoltaicas van a permanecer en una única posición durante todo el año. Esto supone un ahorro de costes, ya que las estructuras que permiten varios ángulos de inclinación tienen un precio más elevado. Además, no solo el ahorro se produce en la propia estructura, sino también en el mantenimiento de dicha placa, ya que variar el ángulo de inclinación a lo largo del año, supone un coste de mano de obra.

Figura 5. Estudio del día de diseño y casos medios por estaciones de las dos ciudades de referencia del estudio: Rabat y Brasilia



Por otro lado, debido a la superficie y al peso del panel fotovoltaico, este puede ser situado en la zona superior de la luminaria. En caso de Rabat, para el vial A se necesitan 1,6 m² de panel fotovoltaico con un peso total de 16 kg. Soportable por un poste de iluminación convencional

Incluso en el caso más favorable, como el del vial A de la ciudad de Rabat, el sistema de acumulación necesita 4 baterías conectadas en serie, que según los modelos indicados en la figura 5 tienen un peso total aproximado de 130 kg. Debido a que este es un valor muy elevado, este sistema de acumulación debería situarse a los pies del poste o bien en una parte intermedia de éste.

Figura 5. Estructura base de los equipos de iluminación de cada una de las instalaciones modelo y valores a instalar en cada uno de los casos.

□ RABAT – VIAL TIPO A

ELEMENTOS SELECCIONADOS		
GENERADOR FOTOVOLTAICO	SISTEMA DE ACUMULACIÓN	SISTEMA DE REGULACIÓN
SunPower SPR-X21-345	Move MPA 110-12	Steca Tarom 4545-48

□ RABAT – VIAL TIPO B

ELEMENTOS SELECCIONADOS		
GENERADOR FOTOVOLTAICO	SISTEMA DE ACUMULACIÓN	SISTEMA DE REGULACIÓN
Panasonic 2 x HIT-235	Move MPA 245-6XL	Steca Solarix 2020-x2

□ BRASILIA – VIAL TIPO A / VIAL TIPO B

ELEMENTOS SELECCIONADOS		
GENERADOR FOTOVOLTAICO	SISTEMA DE ACUMULACIÓN	SISTEMA DE REGULACIÓN
Panasonic HIT-235 / HIT-325	Move MPA-160-12XL	Steca MPPT 1010

> Rabat	Cn [Ah]	I _x [Ah]	U _{OC(T_{ref})} [V]	I _x [A]
Vial tipo A	95,88	10,14	72,39	8,0
Vial tipo B	263,60	10,13	51,80	14,6

> Brasilia	Cn [Ah]	I _x [Ah]	U _{OC(T_{ref})} [V]	I _x [A]
Vial tipo A	148,4	15,09	51,80	7,3
Vial tipo B	145,6	19,00	73,46	7,5

En el caso más exigente, Rabat Vial B, tampoco es posible la integración en los equipos fotovoltaicos por su elevada superficie necesaria (2,52 m²) y peso (30 kg)

Se ha a realizar un breve estudio económico como estimación y base de justificación de un posible estudio detallado de rentabilidad económica.

Con él se estima el coste que supondría la instalación de iluminación con alimentación autónoma fotovoltaica para los viales tipo establecidos en este trabajo en las zonas del entorno de Rabat y Brasilia. Al tener las posibles vías de tráfico longitudes de trazado muy dispares, este presupuesto se realiza por cada 100 metros de calzada. Ver tabla 2. Se han tenido en cuenta para realizar el presupuesto el coste de los equipos principales (luminarias, paneles solares, baterías y reguladores), Elementos de conexionado eléctrica y sistemas de protección (fusibles, magneto térmicos, diferenciales...), cableado (de cobre) y sus conductos, los costes de ingeniería y los impuestos. Correspondientes.

Se usan precios estimativos de los equipos analizados en el estudio tecnológico y metodológico de esta memoria para la compra de pequeñas cantidades. Se debe reconfigurar el estudio con nuevos presupuestos unitarios en caso de tener una referencia exacta de las cantidades de equipos para una instalación específica.

Como impuesto utilizado en los distintos estudios de presupuestos se ha usado el de España, por lo que cambiaría el importe obtenido según el país en el que se situara la instalación.

Tabla 2. Resumen de presupuesto final de una unidad de obra de equipos de iluminación para 100 metros de vía.

Tipo de vía	Presupuesto final
Rabat Vial A	6.436,37€
Rabat Vial B	13.089,47€
Brasilia Vial A	7.780,37 €
Brasilia Vial B	9.997,45 €

6. Conclusiones

En la actualidad la iluminación en viales de alta intensidad de tráfico con alimentación autónoma fotovoltaica es posible pero con un número elevado de restricciones y condicionantes particulares a cumplir para conseguir un proyecto viable. Se necesita todavía de mejoras sensibles en la tecnología para que se pueda considerar como una opción realista con la que plantear un desarrollo real de manera generalizada.

Aún es necesario individualizar mucho el diseño de la instalación para atender a un elevado número de condicionantes particulares: disponibilidad de energía solar y requerimientos de horas de uso, que limitan el desarrollo estandarizado y generalizado de la misma. Se espera que, con la continua investigación y desarrollo de las diversas tecnologías implicadas, se consigan realizar en un futuro instalaciones lumínicas autónomas fotovoltaicas eficientes y rentables económicamente ante cualquier otra alternativa técnica o tecnológica.

Se ha comprobado cómo, en la mayoría de puntos geográficos, la generación de la energía no podría realizarse de manera individualizada en cada poste de luminaria sino que tendría que producirse en pequeñas plantas fotovoltaicas de las que se transportaría la energía hasta las luminarias.

La principal causa de tener que realizar esas plantas eléctrica es la superficie del generador fotovoltaico, lo que indica que es realmente necesario que se produzca un avance dentro de la eficiencia de las placas fotovoltaicas con respecto a la superficie que ocupan, si se pretenden llevar a cabo instalaciones de este tipo.

El segundo gran problema existente es el peso de los acumuladores, que requieren de una estructura que sea capaz de soportarlo. Se espera un desarrollo vertiginoso de la tecnología de acumuladores con la implantación generaliza en los coches eléctricos, producto con el que se comparte como inquietud fundamental el sistema de almacenamiento de la energía.

Aunque los costes de este tipo de arquitecturas puedan parecer elevados, este tipo de iluminación aporta muchos beneficios a la sociedad con la promoción del uso directo, sin transporte, de la energía generada proveniente de una fuente renovable y con el ahorra significativo de mantenimiento y creaciones de líneas de distribución para instalaciones puntuales. En cualquier caso sería deseable una bajada de los precios generales de los costes de los elementos que la constituyen para hacer totalmente preferible las instalaciones autónomas a una posible ampliación de la red de distribución eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

- Ciriminna, R., Meneguzzo, F., Albanese, L., & Pagliaro, M. (2017). Solar street lighting: a key technology en route to sustainability. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 6(2).
- Comisión Europea (2016). Sistema de Información geográfica fotovoltaica - mapa interactivo
Obtenido de <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=es&map=africa>
Visitado por última vez el 19/05/2017
- DIAL (2017). *Dialux. Design. Software. Training. Testing*. Publicado en <https://www.dial.de/es/anwendung/>
Visitado por última vez el 19/05/2017
- EnergyPlus (2016). Descarga de ficheros climatológicos. Obtenido de <https://energyplus.net/weather> Visitado por última vez el 21/11/2016
- IDAE (2009). Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica*.
- IDAE (2015). Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología LED de alumbrado exterior.
- Moroccan Agency for Solar Energy [MASEN] (2017). <http://www.masen.ma/en/masen/>
Visitado por última vez el 19/05/2017
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España (2013). Instrucción Técnica Complementaria EA-02: Niveles de iluminación. *Guía Técnica de Aplicación: Eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior: Niveles de iluminación*, 1.1.
- Pode, R. (2010). Solution to enhance the acceptability of solar-powered LED lighting technology. *Renewable and sustainable energy Reviews*, 14(3), 1096-1103.
- Wu, M. S., Huang, H. H., Huang, B. J., Tang, C. W., & Cheng, C. W. (2009). Economic feasibility of solar-powered led roadway lighting. *Renewable energy*, 34(8), 1934-1938.