

# Iluminación con Energía Solar Fotovoltaica para Autoservicios en Bogotá

Para citar este artículo /  
To reference this article /  
Para citar este artigo.  
Barbosa, U. Janett., &  
Mayorga, Manuel A., &  
Santamaría, S. Wilmar G.,  
& García, R. David M (2014).  
Iluminación con Energía  
Solar Fotovoltaica para  
Autoservicios en Bogotá.  
Ingenio Magno. Vol 5, pp.  
81-94

## ILLUMINATION WITH PHOTO-VOLTAIC ENERGY FOR SUPERMARKETS IN BOGOTÁ

Janett Barbosa Urbano, M.Sc  
e\_mail: jbarbosau@eccci.edu.co.

Manuel Alejandro Mayorga  
Betancourt, M.Sc  
e\_mail: mmayorgab@eccci.edu.co.

Wilmar Giovanni Santamaría Sáenz, Ing.  
e\_mail: w.i.gisasa@hotmail.com.

David Marcelo García Reyes, Ing.  
e\_mail: daga994@hotmail.com.

Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales (UECCI)

Recepción: 2014 - 07 - 01 \ Aceptación: 2014 - 12 - 26

### RESUMEN

Este artículo presenta un estudio técnico y económico sobre el uso de energía fotovoltaica para iluminación en dos (2) autoservicios en la ciudad de Bogotá. Se analizan diferentes aspectos a tener en cuenta, como la radiación solar mínima sobre el área considerada y los consumos en iluminación con energía convencional. Se estima que, al realizar el cambio de iluminación de bombillos fluorescentes a bombillos LED y establecer como fuente primaria las baterías previamente alimentadas con energía fotovoltaica, se reduce el consumo de energía eléctrica de manera considerable en iluminación. Con esta hipótesis, se plantean tres opciones de sistemas fotovoltaicos autónomos para cada uno de los autoservicios con todos los elementos necesarios para el mejor funcionamiento, el estudio económico de cada opción y un estimativo del ahorro energético.

**Palabras Clave:** Autoservicio, Baterías, Energía Fotovoltaica, Iluminación, Led, Panel.

### ABSTRACT

This paper presents a technical and economic study on the use of photovoltaic energy for lighting in two (2) supermarkets in the city of Bogotá. Different aspects considered for analysis include the minimum solar radiation on the area under study and the consumption in lighting with conventional energy. It's estimated that when changing fluorescent lighting bulbs to LED bulbs and setting as a primary source batteries previously fed with photovoltaic modules, lighting energy consumptions drops considerably. With this hypothesis, three choices of autonomous systems are proposed for each of the supermarkets with all necessary elements for best performance, the economic study of each option and an estimate of energy savings photovoltaic systems.

**Keywords:** Batteries, Lighting, Module, Photovoltaic Energy, Supermarket.

## 1. INTRODUCCIÓN

En países en donde existe un gran potencial energético solar, el uso productivo de la energía eléctrica generada por sistemas fotovoltaicos es una alternativa tecnológica viable que podría generar un cambio significativo en la forma de vivir de sus habitantes (Valer Morales & Zilles, 2010). Debido a los recientes aumentos en el precio del petróleo, la seguridad en el suministro se ha convertido en el tema más importante de la agenda política en materia de energía (Greenpeace, 2007); en la actualidad se busca una mejor opción para la generación de energía, diferente a las fuentes convencionales como los combustibles fósiles, los cuales crean gran contaminación en el medio ambiente. Una de las energías renovables para lograr mayor eficiencia y disminuir la polución es la energía solar fotovoltaica, la cual está teniendo una creciente acogida por la sociedad en la actualidad, puesto que su costo ha bajado, es asequible para las personas y su eficiencia se ha incrementado (Chávez, 2010). Desde la perspectiva de la eficiencia, los módulos fotovoltaicos han tenido cambios interesantes, por ejemplo con el uso del cloruro de magnesio, no sólo logran mantener una eficiencia ya probada, sino que además se trata de un material inocuo sumamente barato (Greenpeace, 2007).

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que se presentan en materia de generación de energía (SUELO SOLAR, 2014). Uno de ellos está relacionado directamente con los beneficios sociales, se prevé que a medida que se comiencen a utilizar comercialmente estas nuevas tecnologías, se crearán nuevos puestos de empleo (U.S Department of Energy, 2010), permitiendo progreso económico para los trabajadores. Este crecimiento se ha producido gracias a los mecanismos de fomento de algunos países como España, que han propiciado un gran incremento de la capacidad global de fabricación, distribución e instalación de esta tecnología.

Hacia finales de 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40.000 MWp

(MegaWatt pico) según datos de la European Photovoltaic Industry Association (EPIA), de los cuales cerca de 29.000 MWp, un 72%, se localiza en la Unión Europea. Para los próximos años se espera que el continuo crecimiento de la última década a nivel mundial se mantenga (SUELO SOLAR, 2014), y que la generación fotovoltaica de electricidad desempeñe un papel fundamental en el cambio de modelo energético (Müller, 2012). Esto último se ha hecho evidente en 2014, Alemania se ha convertido en el líder mundial en producción de energía fotovoltaica con un 36% de capacidad de generación mundial y una producción de 22 GWh, que al compararla con la energía nuclear equivale a 20 centrales nucleares (Roca, 2014).

Colombia ha hecho una apertura a la integración de las energías renovables, con la promulgación de la Ley No.1715 del 13 de mayo de 2014 que "tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional" (Congreso de Colombia, 2014). En este sentido, la energía solar fotovoltaica aplicada a iluminación en la actualidad es muy frecuente. Un ejemplo son las Autopistas del Café, con la construcción de la primera planta de energía solar de 20 kW, para ofrecerle iluminación autónoma al túnel Santa Rosa vía Dosquebradas (Risaralda). Este es un modelo muy interesante para Colombia, puesto que ha incrementado su atractivo para atraer inversionistas extranjeros en este campo (Portafolio.co, 2014), sin embargo, los logros colombianos son modestos y el desarrollo actual no corresponde al avance actual de las fuentes renovables (Rodríguez Murcia, 2008); de todas maneras se demostró que con el uso del sol, en proyectos iniciales como el de Dosquebradas, se minimiza el gasto energético y se disminuye la emisión de gases efecto invernadero en el país, siendo de gran beneficio para el medio ambiente (ALTA INGENIERÍA XXI, 2014).

El uso de la energía fotovoltaica en iluminación para autoservicios es una aplicación poco común. Existen casos interesantes como el del autoservicio Sika con sede en Barcelona, la instalación cuenta

con 280 módulos tipo REC-260 PE Wp con una potencia de 72.80 kWp y una capacidad de producción de 103.157 kWh anuales (Una cadena alemana de supermercados apuesta por el cambio de modelo energético con una instalación de autoconsumo en su cubierta). También se han evaluado técnica y económicamente, para aplicaciones residenciales en diferentes condiciones climáticas, sistemas híbridos fotovoltaicos/térmicos que convierten simultáneamente la radiación solar en electricidad y térmica simultáneamente (Axaopoulos & Fylladitakis, 2013). En Bogotá, en los almacenes como COOPERMERCAR y SERVIMERCAR donde se realiza el estudio, se presenta un alto consumo de energía convencional para iluminación, los bombillos permanecen en funcionamiento gran parte del día, por lo tanto, se presenta la necesidad de bajar costos de consumo eléctrico, esto hace que la experiencia con la energía fotovoltaica sea significativa, teniendo en cuenta que los sistemas fotovoltaicos bajaron sus precios, en promedio los paneles solares han caído más de 80% en los últimos años (Bullis, 2014).

La energía eléctrica para los dos autoservicios es proporcionada por CODENSA S.A. donde para COOPERMERCAR se tiene un consumo mensual promedio de 710 kWh, mientras que para SERVIMERCAR es de apenas 110 kWh, menor que el anterior, puesto que hay menos cantidad de bombillos.

## 2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Algunos de los conceptos más importantes sobre energía solar fotovoltaica se relacionan a continuación:

### 2.1 Energías renovables

Corresponde a las energías cuyas fuentes de generación tiene en la práctica una disponibilidad “*infinita*”, lo que implica que la velocidad de regeneración corresponde a un ciclo de vida relativamente pequeño o similar a la rata de utilización y consumo. “Podemos definir las energías renovables como aquéllas que son inagotables desde el punto de referencia del

período de existencia de la humanidad, tengan o no su origen en el sol. Fuentes de energías renovables son la radiación solar, la atracción gravitacional de la Luna y el Sol, y el calor interno de la Tierra” (Ortega Rodríguez, 2000).

### 2.2 Radiación solar

La energía proveniente del sol, viaja hasta la Tierra como ondas a través de mecanismo de radiación. “El sol está compuesto en un 90% de hidrógeno, un 7% de helio y un 3% del resto de elementos químicos. La energía se genera en el sol en un proceso de fusión nuclear por el que el hidrógeno solar se transforma en helio. El 0,73% de la materia se transforma en energía. El sol emite al espacio energía en forma de radiación electromagnética” (Ortega Rodríguez, 2000). La radiación solar interceptada por la Tierra (180 PW) es muchas veces mayor que la potencia energética actualmente consumida (Parida, Iniyán, & Goic, 2011).

### 2.3 Efecto fotovoltaico

La interacción entre la radiación solar (ondas de energía o partículas llamadas fotones), y los electrones (partículas materiales u ondas), hace que estos últimos ganen tal energía que generen un flujo de cargas negativas o corriente eléctrica. “El efecto fotovoltaico es la conversión directa, de radiación electromagnética en corriente eléctrica” (Ortega Rodríguez, 2000). La tecnología fotovoltaica es tal vez una de las mejores formas de aprovechar la energía solar (Parida, Iniyán, & Goic, 2011). Otros conceptos importantes los define la Ley 697 de octubre 3 de 2001 del Congreso de la República de Colombia (Congreso de la República de Colombia, 2001) así:

### 2.4 Uso Racional de Energía URE

El Uso Racional de Energía, es el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo, incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades, de la

cadena el desarrollo sostenible (Congreso de la República de Colombia, 2001).

### 2.5 Uso eficiente de la energía

Es la utilización de la energía, de tal manera que se obtenga la mayor eficiencia energética, bien sea de una forma original de energía y/o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables (Congreso de la República de Colombia, 2001).

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Partiendo de revisiones de tecnología fotovoltaica, su capacidad de generación, los diferentes materiales absorbentes de luz existentes más utilizados, su aspecto ambiental, junto con una variedad de aplicaciones, también partiendo de los diferentes modelos de evaluación de rendimiento y fiabilidad existentes, calibrado y control, así como conexión a la red de distribución, se traza la presente metodología (Parida, Iniyán, & Goic, 2011). Estudios a escala doméstica han realizado comparaciones evaluando el ciclo de vida para diferentes alternativas de tecnologías ampliamente usadas tanto para paneles fotovoltaicos como para concentradores térmicos (Carnevale, Lombardi, & Zanchi, 2014).

Una de las razones por las cuales se propone el uso de la energía fotovoltaica, consiste en que el costo de los sistemas fotovoltaicos en el mercado internacional para zonas residenciales, ha bajado para sistemas menores o iguales a 10 kW de tamaño; lo mismo ha sucedido para sistemas mayores a 100 kW de uso comercial o para zonas comerciales, lo que los vuelve más asequibles. Esta diferencia de precios se ha generado durante 15 años, gracias a un aumento en la inversión en Investigación y Desarrollo, generando un mejor rendimiento energético (ENERGIZA), como se muestra el Índice Global de Precios en la Figura 1. Diferentes universidades han diseñado varias propuestas sobre cada una de las etapas que componen un sistema fotovoltaico buscando lograr la mayor eficiencia desde el punto de vista técnico (Daniel Felipe Montenegro Coral, 2012).

Para los dos autoservicios estudiados se determinó el consumo y costo de energía eléctrica convencional en iluminación y se proponen tres (3) opciones de diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos para alimentar la iluminación para cada uno de los autoservicios. A continuación se presentan los resultados.

### 3.1 Consumos y costos de iluminación en los autoservicios

Se muestran los consumos y costos promedios diarios, mensuales y anuales en iluminación de cada autoservicio.

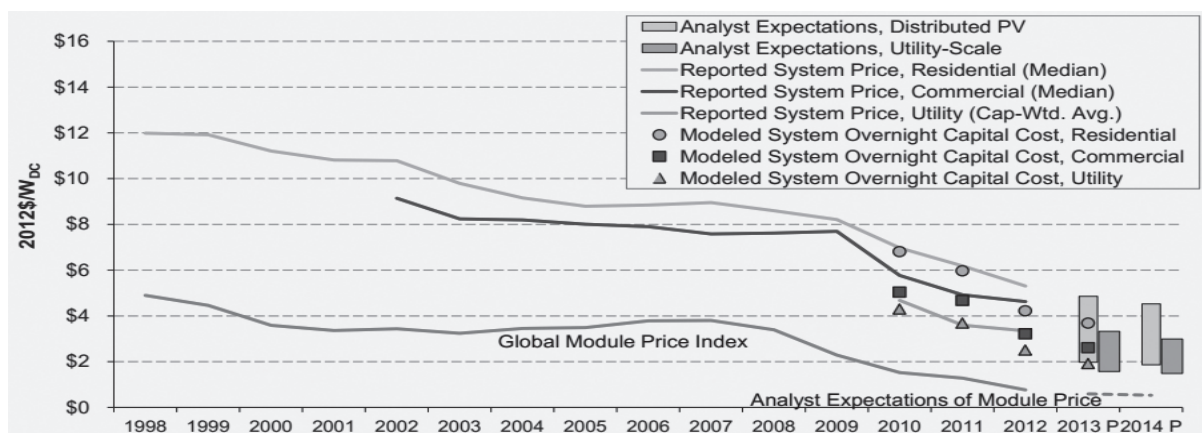


FIGURA 1. Índice Global de Precios

### 3.1.1 COOPERMERCAR

Consumos promedios de energía eléctrica convencional en iluminación para el autoservicio COOPERMERCAR, se muestran en la Tabla 1 de Consumos promedio diarios de iluminación en COOPERMERCAR.

**TABLA 1: Consumos promedio diarios de iluminación en COOPERMERCAR**

CONSUMOS MEDIOS DIARIOS DE ILUMINACIÓN, Vcc					
Elemento consumo	de	Potencia (W) P	No. de equipos N	Tiempo h/día	Energía (Wh)/día
Luz vestier		150	1	1	150
Luz baño		25	1	1	25
Luz almacén		32	48	14	21,504
Luz de calle		70	4	3	840
Total					22,519

Los costos promedios de energía eléctrica para la iluminación del autoservicio COOPERMERCAR se muestran en la Tabla 2 de Costos promedios de iluminación en COOPERMERCAR.

**TABLA 2: Costos promedios de iluminación en COOPERMERCAR.**

	CONSUMO DIARIO (Kwh/día)	CONSUMO MENSUAL (kWh)	CONSUMO ANUAL (kWh)
	22,519	675,57	8106,84
<b>COSTO:</b>	\$7.411,00	\$22.330,09	\$2.667.961,04
	Valor kw \$329,1 multiplicado por consumo diario	Consumo mensual por consumo diario por 30 días del mes	Consumo anual por consumo mensual por 12 meses

COOPERMERCAR consume un promedio mensual de 22.519 W con un costo anual de \$2.667.961,04.

### 3.1.2 SERVIMERCAR

Consumos promedios de energía eléctrica convencional en iluminación para el autoservicio SERVIMERCAR, se muestran en la Tabla 3 de Consumos promedio diarios de iluminación en SERVIMERCAR.

**TABLA 3: Consumos promedio diarios de iluminación en SERVIMERCAR**

CONSUMOS MEDIOS DIARIOS DE ILUMINACIÓN, Vcc				
Elemento de consumo	Potencia (W) P	No. de equipos N	Tiempo h/día	Energía (Wh)/día
Tubos fluorescentes	75	8	13	7800
Bombillos fluorescentes de calle	60	1	3	180
Bombillos fluorescentes	75	2	3	450
Total				8430

Los costos promedios de energía eléctrica para la iluminación del autoservicio SERVIMERCAR se muestran en la Tabla 4 de Costos promedios de iluminación en SERVIMERCAR.

**TABLA 4: Costos promedios de iluminación en SERVIMERCAR**

	CONSUMO DIARIO (Kwh/día)	CONSUMO MENSUAL (kWh)	CONSUMO ANUAL (kWh)
	8,43	252,90	3034,80
<b>COSTO:</b>	\$2.774,31	\$83.229,39	\$998.752,68
	Valor kw \$329,1 multiplicado por consumo diario	Consumo mensual por consumo diario por 30 días del mes	Consumo anual por consumo mensual por 12 meses

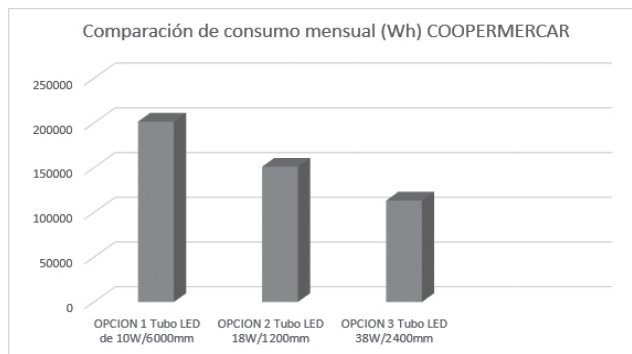
En SERVIMERCAR se consume un promedio mensual de 8.430 W con un costo anual de \$1.298.497,20.

### 3.2 Diseño de las opciones

Se proponen las opciones de diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos como fuentes de energía eléctrica para la iluminación en cada uno de los autoservicios COOPERMERCAR Y SERVIMERCAR.

#### 3.2.1 COOPERMERCAR

Se proponen tres (3) opciones de bombillos LED y sus respectivos consumos y se escoge la opción de menor consumo para calcular el sistema fotovoltaico de respaldo energético para el autoservicio COOPERMERCAR. (Ver Figura 2 de Comparación entre consumos de energía de los bombillos LED para COOPERMERCAR).



**FIGURA 2. Comparación entre consumos de energía de los bombillos LED para COOPERMERCAR [8].**

Con el cambio de luminaria fluorescente a LED se logra un ahorro en energía eléctrica, comparado con los datos suministrados en la Tabla 5 (Bombillos convencionales Vs. bombillos LED -Opción 3- COOPERMERCAR); también se registran ahorros en el consumo de energía hasta un 90 por ciento (Sustentabilidad: un tema que nos concierne a todos, 2014), que es mucho mayor a la tecnología fluorescente, superándola en más de 5 veces, por ejemplo, un bombillo fluorescente de 25 W se puede reemplazar por un bombillo LED de 5 W, manteniendo las mismas características de eficiencia lumínica pero disminuyendo el consumo de energía y los costos.

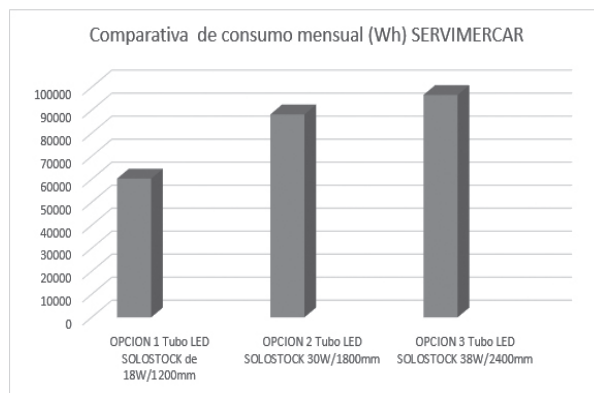
La opción 3 para el autoservicio COOPERMERCAR, se plantea como la mejor, haciendo un cambio de bombillos fluorescentes por bombillos LED, esto reduciría el consumo y costo en un 84,32%. En la Tabla 5, se muestra la luminaria actual y por la que se sugiere cambiar en el almacén.

**TABLA 5: Bombillos convencionales Vs. bombillos LED (Opción 3) COOPERMERCAR (Wilmar Giovani Santamaría Sáenz, 2014).**

Bombillos convencionales	Bombillos LED
48 Tubos fluorescentes 36 W*3150 Lm	9 Tubos LED de 30 W*2850Lm, 1800 mm
1 Bombillo vestier 150 W*1398Lm	1 Bombillo LED de 10 W*810Lm
1 bombillo baño 27 W* 600 Lm	1 Bombillo LED de 10 W*810Lm
5 bombillos exterior 70 W* 950 Lm	7 Bombillos LED de 10 W*810 Lm

### 3.2.2 SEVIMERCAR

Para el autoservicio SERVIMERCAR, se presenta también tres opciones de las cuales se escoge la que más reduzca el costo y consumo sin sacrificar los luxes, con la luminaria LED se tiene una mejor iluminación puesto que la eficiencia lumínica del bombillo es superior, valor que redonda el 22% (Klipstein, s.f.) frente a un 14% (energy.gov, s.f.) de la iluminación fluorescente, a continuación se presentan las dichas opciones. Ver Figura 3 de Comparación entre consumos de energía de los bombillos LED para SERVIMERCAR [8].



**FIGURA 3. Comparación entre consumos de energía de los bombillos LED para SERVIMERCAR [8]**

Si bien las opciones planteadas que se muestran en la Figura 3 minimizan el costo y consumo, no obstante la opción 1 que se sugiere es la más adecuada, puesto que el costo es de \$ 5.273.607 respecto al sistema fotovoltaico, que se presenta en la Tabla 4 descrita en los resultados. En la Tabla 6 se muestra el cambio de luminaria fluorescente a LED con la opción escogida. (Ver Tabla 6: Bombillos convencionales Vs. bombillos LED (Opción 1) SERVIMERCAR).

**TABLA 6: Bombillos convencionales vs. bombillos LED (Opción 1) SERVIMERCAR**

Bombillos convencionales	Bombillos LED
10 Tubos fluorescentes 76 W*6000 Lm	10 tubos LED de 18 W 1200 mm*1800 Lm
1 Bombillo incandescente exterior 150 W*1398 Lm	1 iluminación LED de 10 W*810 Lm

Teniendo la opción 3 seleccionada para COOPERMERCAR y la opción 1 para SERVIMERCAR, se presentan las expresiones matemáticas utilizadas para el cálculo de los sistemas fotovoltaicos autónomos para cada autoservicio. Estos cálculos están en función del consumo eléctrico y la radiación promedio mínima en el mes del año para la zona del estudio en el mes de Noviembre (IDEAM, 2014). Estos datos son primordiales para el desarrollo de las ecuaciones que determinan el número de módulos, reguladores y baterías. Para proponer un regulador adecuado se toma la tensión nominal de entrada, la potencia nominal y la eficiencia del mismo. A continuación se muestran dichas expresiones.

### 3.3 Diseño del Sistema

#### 3.3.1 Potencia Pico

Es necesario determinar la potencia pico puesto que este valor se utiliza para encontrar el número de módulos.

$$W_p = \frac{ED [kWh/día]}{RD[kWh/día \times m^2]} \quad (1)$$

**ECUACIÓN 1: Watt pico necesarios (ENERGICENTRO, s.f.).**

Donde:

**W<sub>p</sub>**: Watt pico.

**ED**: Energía consumida por día en kWh/día.

**RD**: Menor radiación mensual en el año de la zona en kWh/día.m<sup>2</sup>.

#### 3.3.2 Número de Módulos Fotovoltaicos

Para obtener este dato, se parte de la cantidad de Watts pico totales, seleccionando la potencia del panel que se va a usar y el factor de 1,1 que se aplica para compensar posibles pérdidas debidas a errores en la orientación, limpieza de paneles, conexiones, etc., y así se determina el número de módulos necesarios para el sistema.

$$N_p = 1.1 \times \frac{W_p}{P_p} \quad (2)$$

**ECUACIÓN 2: Número de paneles fotovoltaicos (Universidad de Jáen).**

Donde:

**N<sub>p</sub>**: Número de paneles

**P<sub>p</sub>**: Potencia del módulo elegido dada por el fabricante

#### 3.3.3 Número de Reguladores

Los reguladores deben ser capaces de soportar una potencia efectiva mínima que se estima en la potencia máxima del campo de paneles incrementada en un 10%. Siempre se hará lo posible porque exista un solo regulador en el sistema fotovoltaico, pero de no ser así se calcula con la Ecuación 3.

$$N_r = \frac{1.1 N_{pp} I_{mp}}{I_r} \quad (3)$$

**ECUACIÓN 3. Número de reguladores (FUNDACIÓN UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA).**

Donde:

**N<sub>r</sub>**: Número de reguladores.

**N<sub>pp</sub>**: Número de módulos conectados en paralelo

**I<sub>mp</sub>**: Intensidad en el punto de potencia máxima (característica eléctrica del módulo fotovoltaico), A.

**I<sub>r</sub>**: Intensidad máxima del regulador.



### 3.3.4 Baterías

Para el cálculo de las baterías necesarias, se tiene en cuenta la energía total de la instalación (**ET**) y se prevé la pérdida de eficiencia del acumulador que se estima en un 10% (FUNDACIÓN UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA).

$$ET = 1.1E_t \quad (4)$$

**ECUACIÓN 4. Energía total de la instalación (FUNDACIÓN UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA).**

Siendo **E<sub>t</sub>**, la energía instalada.

Con la energía total de la instalación se determina la capacidad de la batería:

$$C = \frac{100ET[Wh/día] \times D}{P_d \times V} \quad (5)$$

**ECUACIÓN 5. Capacidad de la batería (Fundación Universidad Iberoamericana).**

Donde:

**C**: Capacidad de la batería

**ET**: Energía total de la instalación, Wh/día

**D**: Números de días de autonomía, días.

**P<sub>d</sub>**: Profundidad máxima de descarga del sistema acumulador, %.

**V**: Tensión del sistema de acumulación, Voltio.

## 4. RESULTADOS

---

Se muestran los resultados del estudio, presentando los costos y haciendo la selección del sistema autónomo para cada autoservicio.

### 4.1 COOPERMERCAR

Con el desarrollo de las ecuaciones se determina el número de elementos necesarios para el sistema fotovoltaico en cada uno de los autoservicios. Para el número de los módulos fotovoltaicos se debe determinar la potencia pico (Wp) aplicando la ecuación uno (1), los datos necesarios son:

La energía total de la instalación, determinada en 4611,5 Wh/día y la radiación promedio más baja del año que se la de noviembre con 3,4478 kWh/día.m<sup>2</sup> (IDEAM, 2014). El total de módulos fotovoltaicos se determina con la potencia pico y la potencia máxima del panel seleccionado, dato que se obtiene de la ficha técnica, para este caso es de 250 Wp; aplicando la ecuación dos (2), la cantidad de módulos fotovoltaicos es seis (6).

El número de reguladores se encuentra con la ecuación tres (3). Es necesario saber la cantidad de módulos fotovoltaicos, la intensidad que manejan, aproximadamente de 8,41 A y la intensidad con la que trabaja el regulador de 70 A. Sólo es necesario un solo regulador.

Para establecer las baterías o grupo de acumuladores se utiliza la energía total de la instalación con la ecuación cuatro (4), los días de autonomía, donde lo recomendable es 3 días (Universidad de Jáen), con una capacidad de 443,34 Ah, por lo tanto, se necesita instalar un grupo de 10 baterías con esta capacidad. Siete (7) acumuladores conectados en paralelo y los restantes en serie, cuya conexión determina 48 V y 490 A.

Presentando los datos de luminaria con el cambio que se propone y el desarrollo de las fórmulas, los costos de la opción escogida para COOPERMERCAR, se muestra en la Tabla 7 de Costo de la instalación para el autoservicio COOPERMERCAR.

**TABLA 7: Costo de la instalación para COOPERMERCAR (Wilmar Giovani Santamaría Sáenz, 2014)**

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Panel policristalino Q PEAK	6	\$ 600.000,00	\$ 3.600.000,00
Acumulador MT122550(12V255Ah)	10	\$ 256.250,00	\$ 2.562.500,00
Controlador BlueSolar charge controller	1	\$ 708.357,42	\$ 708.357,42
Regulador Victron Phoenix solar 48V 3000 W	1	\$ 3.015.850,42	\$ 3.015.850,42
Tubos LED 38W/2400mm	9	\$ 35.000,00	\$ 315.000,00
Bombillos LED E27	9	\$ 38.000,00	\$ 342.000,00
Balastos tubos LED	9	\$ 13.000,00	\$ 117.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 10.660.707,84</b>

Esta opción para el autoservicio COOPERMERCAR, tiene un costo de \$10.660.707,84, inversión que se hace para que el sistema fotovoltaico autónomo empiece a funcionar y ofrezca una reducción estimada hasta del 84,32% con respecto al uso de bombillos fluorescentes. Adicionalmente, hay un porcentaje importante de disminución de las emisiones contaminantes al medio ambiente.

La inversión de la opción sugerida tiene una recuperación de 4 años, puesto que el costo en iluminación convencional se mitigaría completamente y se generaría un ahorro completo. Al año se paga \$ 3.010.271,04 a la empresa CODENSA S.A en factura de iluminación, generando esta recuperación.

## 4.2 SERVIMERCAR

Igual proceso se realizó para proponer la opción para el autoservicio SERVIMERCAR. Teniendo en cuenta las ecuaciones mencionadas anteriormente, se determina la cantidad de elementos del sistema fotovoltaico necesarios para un buen funcionamiento (ECA Instituto de Tecnología y Formación). Para el número de los módulos fotovoltaicos se determina la potencia pico, se utiliza el dato de la menor radiación de un mes en el año que corresponde a noviembre con un valor de 3447,8 Wh/m<sup>2</sup> y la energía total de la instalación de 2542,05 Wh/día. Se obtiene el dato de 804,51 Wh. Luego se calcula la potencia máxima del panel necesaria y se obtiene 250 Wp, por lo tanto, se necesitan 3 módulos fotovoltaicos (Wilmar Giovanni Santamaría Sáenz, 2014).

Para conocer la cantidad de reguladores se utiliza la ecuación tres (3), la intensidad es de 8.41 A con la que trabaja el regulador de 70 A, que es la misma que para la opción de COOPERMERCAR. También se requiere tan sólo de un (1) regulador (Wilmar Giovanni Santamaría Sáenz, 2014). Para establecer el total de las baterías o grupo de acumuladores se utiliza la energía total de la instalación ecuación cuatro (4), se recomiendan 3 días de autonomía (Universidad de Jéén). La capacidad necesaria es de 397.19 Ah, lo que significa que se deben instalar un total de 5 baterías, 4 conectadas en paralelo, lo que puede garantizar 24 V y 400 A (Wilmar Giovanni Santamaría Sáenz, 2014). Ver Tabla 8 de Costo de la instalación para el autoservicio SERVIMERCAR [19]

**TABLA 8:** Costo de la instalación para el autoservicio COOPERMERCAR [19]

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Panel policristalino Q PEAK	3	\$600.000,00	\$1.800.000,00
Acumulador MT122550(12V100Ah)	5	\$256.250,00	\$1.281.250,00
Controlador BlueSolar charge controller	1	\$708.357,42	\$708.357,42
Inversor PST-150S-12A_24	1	\$966.000,00	\$966.000,00
Tubos LED 18W/1200mm	10	\$35.000,00	\$350.000,00
Bombillos LED E27	1	\$38.000,00	\$38.000,00
Balastos tubos LED	10	\$13.000,00	\$130.000,00
Cableado	2	50000	\$100.000,00
Estructura	1	\$ 250.000	\$250.000,00
Conectores	30	\$ 1.500	\$45.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$5.273.607,42</b>

La opción escogida para SERVIMERCAR consta básicamente de tres (3) paneles solares, cinco (5) baterías o acumuladores, un (1) regulador y un (1) inversor. Con esta solución, puede generarse un ahorro mensual en el uso de energía eléctrica convencional equivalente a \$83.229,39 pesos, con una inversión de \$5.273.607 de pesos, lo que indica que en menos de 5 años se recupera la inversión, sacrificando levemente la capacidad lumínica y teniendo en cuenta que es un sistema con una durabilidad mayor a 20 años (Wilmar Giovanni Santamaría Sáenz, 2014).

## 5. CONCLUSIONES

---

Al realizar este estudio se pudo determinar que el uso de iluminación tipo LED para los autoservicios COOPERMERCAR y SERVIMERCAR, puede significar un gran ahorro de energía eléctrica convencional con una disminución hasta del 84,32%, según las cifras obtenidas. Este ahorro tiene un alto impacto social para este sector de la economía.

La inversión que implica cada una de las opciones para reemplazar el suministro de energía eléctrica de la red pública, por sistemas fotovoltaicos autónomos en los autoservicios, tiene un estimado de recuperación en un mediano plazo de cinco (5) años, lo cual hace que las propuestas se vuelvan atractivas.

El cambio de bombillos genera una mayor eficiencia energética, mientras que los bombillos fluorescentes pueden llegar a ofrecer una eficiencia del 14%, con los bombillos LED se puede obtener una eficiencia lumínica hasta del 22%. Además, se pueden mejorar las condiciones de salubridad pública en los establecimientos puesto que los bombillos LED no se consideran peligrosos para la salud humana comparados con los fluorescentes, cuya composición lleva de 20 a 25 mg de mercurio (Hg) que es tóxico para los seres vivos.

Con este proyecto, se tiene un primer intento para analizar a fondo la eficiencia de la energía solar fotovoltaica en una ciudad como Bogotá, aportando información que puede llegar a ser muy útil para futuras implementaciones en ambientes comerciales.

## REFERENCIAS

1. Alta Ingeniería XXI. (2014). Alta Ingeniería XXI. Recuperado el 16 de 03 de 2014, de [http://www.altaingenieriaxxi.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=63](http://www.altaingenieriaxxi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=63)
2. APPA. (s.f.). Asociación de Productores de Energía Renovables. Recuperado el 24 de 03 de 2014, de [http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que\\_es.html](http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.html)
3. Axaopoulos, P., & Fylladitakis, E. D. (2013). Performance and economic evaluation of a hybrid photovoltaic/thermal solar system for residential applications. *Energy and Buildings*, 65, 488-496.
4. Bullis, K. (16 de junio de 2014). MIT Technology Review. Recuperado el 20 de agosto de 2014, de [http://www.technologyreview.es/read\\_article.aspx?id=45473](http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=45473)
5. Carnevale, E., Lombardi, L., & Zanchi, L. (2014). Life Cycle Assessment of solar energy systems: Comparison of photovoltaic and water thermal heater at domestic scale. *Energy*, 77, 434-446.
6. Congreso de Colombia. (13 de mayo de 2014). Ley No. 1715 Integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Recuperado el 15 de junio de 2014, de <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY%201715%20DEL%2013%20DE%20MAYO%20DE%202014.pdf>
7. Congreso de la República de Colombia. (2001). Ley 697 de octubre 3 de 2001. Bogotá: Congreso de la República de Colombia.
8. Chávez, I. (2010). Desarrollo mundial de la energía solar fotovoltaica. La Habana.
9. Daniel Felipe Montenegro coral, p. S. (2012). Implementación de un sistema de energía desde un panel de celdas solares a una red eléctrica residencial. Bogotá.
10. David Feldman1, G. B. (2013). Tendencias de Precios Sistema Fotovoltaico: Proyecciones Histórico, reciente, y Corto Plazo 2013. National Renewable Energy Laboratory, 5.
11. ECA Instituto de Tecnología y Formación, J. M. (s.f.). Energía Solar Fotovoltaica. FC Editorial.
12. Eco Energética. (s.f.). Eco Energética. Recuperado el 11 de 04 de 2013, de <http://www.eco-energetica.com/sitio/sala/tips/fotovoltaica/>
13. Energicentro . (s.f.). Energicentro: Baterías y Energía. Recuperado el 03 de 03 de 2014, de <http://energicentro.blogspot.com/2010/11/paneles-solares-calculo-de-una.html>
14. ENERGIZA. (s.f.). Recuperado el 26 de 04 de 2014, de <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/712-el-grupo-de-investigacion-y-desarrollo-en-energia-solar-idea-de-la-universidad-de-jaen-disena-unas-estructuras-fotovoltaicas-con-un-grado-de-eficiencia-del-43>
15. energy.gov. (s.f.). Energy-Efficient Product Procurement. Recuperado el 28 de Noviembre de 2014, de <http://energy.gov/eere/femp/energy-efficient-product-procurement>
16. Fundación Universidad Iberoamericana. (s.f.). Energía Solar Fotovoltaica. España.
17. Greenpeace. (2007). Revolución energética. Perspectiva Mundial de la Energía Renovable. Recuperado el 10 de Mayo de 2014, de [http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio\\_climatico/r-evoluci-n-energetica-persp.pdf](http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio_climatico/r-evoluci-n-energetica-persp.pdf)
18. IDEAM. (2014). Radiación mensual años 2005 a 2012. Bogotá.
19. Klipstein, D. L. (s.f.). The Brightest and Most Efficient LEDs and where to get them. Recuperado el 28 de Noviembre de 2014, de <http://donklipstein.com/led.html#ln>

20. Müller, B. (Mayo de 2012). El futuro de la energía solar. Investigación y ciencia. Edición española de Cientific American(428). Obtenido de <http://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/numeros/2012/5/el-futuro-de-la-energia-solar-8600>
21. Ortega Rodríguez, M. (2000). Energías Renovables. Madrid: Paraninfo.
22. Parida, B., Iniyani, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(3), 1625-1636.
23. Portafolio.co. (15 de Junio de 2014). Energías renovables, el nuevo foco de inversión en Colombia. Obtenido de Portafolio.co: <http://www.portafolio.co/economia/energias-renovables-el-nuevo-foco-inversion-colombia>
24. Roca, J. (26 de agosto de 2014). El periódico de la energía.com. Recuperado el 27 de noviembre de 2014, de <http://elperiodicodelaenergia.com/nuevo-record-aleman-en-la-produccion-de-energia-fotovoltaica/>
25. Rodríguez Murcia, H. (noviembre de 2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Revista de Ingeniería de la Universidad de Los Andes(28), 83-89. Recuperado en junio de 2014, de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n28/n28a12.pdf>
26. SUELO SOLAR. (2014). Situación actual de la energía solar fotovoltaica en el mundo según el Plan de Energías Renovables PER 2011-2020. Recuperado el 19 de 04 de 2014, de <http://www.suelosolar.es/newsolares/newsol.asp?id=6209>
27. Sustentabilidad: un tema que nos concieme a todos. (2014). spanic newspaper serving the community.
28. U.S Departament of Energy. (Octubre de 2010). Las tecnologías de energía verde crean trabajos verdes. Recuperado en abril de 2014, de [http://www1.eere.energy.gov/library/pdfs/corporate\\_green\\_jobs\\_fs\\_spanish.pdf](http://www1.eere.energy.gov/library/pdfs/corporate_green_jobs_fs_spanish.pdf)
29. Una cadena alemana de supermercados apuesta por el cambio de modelo energético con una instalación de autoconsumo en su cubierta. (s.f.). Recuperado el 26 de mayo de 2014, de [notiweb.com](http://notiweb.com)
30. unersia España. (2014). Proponen una energía solar más económica y menos tóxica. España.
31. Universidad de Jáen. (s.f.). Universidad de Jáen. Recuperado el 15 de abril de 2014, de [http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/06\\_dimensiona/01\\_sfa/01\\_basico/6\\_sfa\\_05.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/06_dimensiona/01_sfa/01_basico/6_sfa_05.htm)
32. Valer Morales, R., & Zilles, R. (1-5 de noviembre de 2010). Utilización de la energía fotovoltaica en pequeñas actividades productivas en zonas rurales. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES\_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII-SPES). Cusco, Perú. Recuperado el 2014.
33. Wilmar Giovani Santamaría Sáenz, D. M. (2014). Estudio técnico y económico sobre el uso de energía fotovoltaica para iluminación en dos autoservicios. Bogotá.