



<https://eqrcode.co/a/1ho56j>

TECHNICAL NOTE | NOTA TÉCNICA

Sizing of a Photovoltaic Solar Park for the Center for Agricultural Mechanization (CEMA)

Dimensionamiento de un parque solar fotovoltaico para el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA)

Dimensioning of a Photovoltaic Solar Field for the Center for Agricultural Mechanization (CEMA)

Ing. Javier A. León-Martínez¹, Dr.C. Yanoy Morejón-Mesa¹, Dra.C. Gleiby C. Melchor-Orta¹,

Ing. Luis M. Rosabal-Padrón¹, MSc. Rolando Quintana-Aput¹, MSc. Geisy Hernández-Cuello¹

¹ Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

¹¹ Universidad Agraria de La Habana, Centro Universitario Municipal de Jaruco, Mayabeque, Cuba.

¹¹¹ Universidad Agraria de La Habana, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

ABSTRACT. This work deals with the foundation and proposal for the dimensioning of a photovoltaic solar park destined to satisfy the demand for electrical energy in the facilities of the Center for Agricultural Mechanization (CEMA) of the Agrarian University of Havana. For this, a study of the behavior of electricity consumption was carried out in CEMA, as it is considered a high consumer. It was determined that, to satisfy the energy demand, the photovoltaic solar park must have 323 solar panels of the BS18055 model, an accumulation system composed of 47 Trojan monoblock batteries, two Victron Energy model current regulators (input current of 2054.28 A and 1135.09 A output), as well as a 1000 kWh inverter. An analysis of the economic and environmental impact of the proposed installation was carried out, which showed that it will allow an electrical energy saving of not less than 29,421.72 kWh per year. Likewise, it was determined that, due to this unconsumed energy, at least 33.24 t of CO₂ per year would cease to be emitted into the atmosphere. Then, at least 7.7 t of fossil fuel would stop being consumed in the same period, thus representing a total saving of at least 57,368.23 CUP, for energy not consumed annually. To undertake the proposed installation, the preliminary cost estimate of the investment was calculated, which is around 244,583,376 CUP, if the energy storage system is included, and 935,376 CUP, not including the energy storage system.

Keywords: renewable energy, photovoltaic generation, energy efficiency, dynamic electrical loads.

RESUMEN. Este trabajo aborda la fundamentación y propuesta del dimensionamiento de un parque solar fotovoltaico destinado a satisfacer la demanda de energía eléctrica en las instalaciones del Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Universidad Agraria de La Habana. Para ello fue realizado un estudio del comportamiento del consumo de energía eléctrica en el CEMA, al ser este considerado un alto consumidor. Se determinó que, para satisfacer la demanda energética, el parque solar fotovoltaico debe contar con 323 paneles solares del modelo BS18055, un sistema de acumulación compuesto de 47 baterías Trojan monoblock, dos reguladores de corriente modelo Victron Energy (corriente de entrada de 2054,28 A y de salida de 1135,09 A), así como un inversor de 1000 kWh. Fue realizado un análisis del impacto económico y medioambiental de la instalación propuesta, el que arrojó que la misma permitirá un ahorro de energía eléctrica no menor de 29421,72 kWh al año. Así mismo se determinó que, por concepto de esta energía no consumida, dejarían de ser emitidos a la atmósfera al menos 33,24 t de CO₂ al año. Luego, dejarían de consumirse al menos 7,7 t de combustible fósil en igual período, representando así un ahorro total de al menos 57368,23 CUP, por concepto de energía no consumida anualmente. Para acometer la instalación propuesta se calculó el estimado del costo preliminar de la inversión, el que está en el entorno de 244 583 376 CUP, si se incluye sistema de acumulación de energía y 935 376 CUP, sin incluir sistema de acumulación de energía.

Palabras clave: energía renovable, generación fotovoltaica, eficiencia energética, cargas eléctricas dinámicas.

¹ Author for correspondence: Javier A. León-Martínez, e-mail: compos@nauta.cu, jleon@unah.edu.cu. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1606-0193>

Received: 16/02/2021.

Approved: 20/09/2021.

INTRODUCTION

The evolution of man, throughout the millions of years that took him to develop from primitive forms to his present form, is intimately linked to the different classes and quantities of each of the energies that he was able to have at each time. At some point, some human groups began to use the energy of certain animals that they were able to domesticate, mainly to carry loads. This was a great advance at that time, because it allowed him to multiply his power and his ability to move (Azcón & Talón, 2000). Later, the peoples who lived near water surfaces learned to navigate over them by means of paddling canoes, again using their physical energy for this purpose. Later, man learned to apply the force of the wind to push sails mounted on his primitive boats and thus he could navigate greater distances, faster and with less effort (Derek, 1990). After millennia without notable technical developments, a great change in the lives of the peoples of Western Europe occurred in the late 18th and early 19th centuries, when they began to use the thermal energy of fuels for more than just warm up in the cold, cooking and obtaining and processing metals. It was about producing mechanical power. On the basis of the combustion of mineral coal fundamentally (very abundant in Europe) water vapor began to be produced in primitive boilers, to power an alternative type power plant. With these machines, the workforce of many people and / or animals together could be replaced in workshops and factories avoiding physical exhaustion, at a much lower cost and with fewer conflicts (Derek, 1990).

The irreversible depletion of world oil reserves, which is currently used as a direct source of energy, or to generate other energies (electricity, for example) through it, has been called "Energy Crisis". The reasons for this phenomenon are diverse:

- Increase in electricity consumption due to constant growth in the residential, industrial and service sectors;
- Increase in the automotive fleet;
- Depletion of other natural resources such as fresh water;
- Among other.

Out of this crisis has arisen the need for a better use of available energy resources. Ways have been devised to use different types of renewable energy resources for the purpose of converting them into electrical energy. Among these are: solar, wind, tidal, geothermal energy, among others (Gasquet, 2004).

According to Bériz & Álvarez (2008), in Cuba, solar radiation has an energy value equivalent to 0.5 kg of oil per square meter per day, a value that varies very little from one place to another in the territory, due to the elongated shape and the orientation from East to West of the Island. This variation is almost negligible from one month to another, which enables the energy use of this energy source throughout the year.

Solar radiation is used directly in thermal and photovoltaic transformations, that is, in the form of heat and electricity. Thermal conversion is currently the most efficient, economical and advantageous way to use solar energy. The generalization of domestic use of solar hot water for personal hygiene, washing and cooking food, mean considerable savings in the consump-

INTRODUCCIÓN

La evolución del hombre, a lo largo de los millones de años que tardó en llegar desde formas primitivas a su forma actual, está íntimamente vinculada con las distintas clases y cantidades de cada una de las energías de las que pudo disponer en cada época. En algún momento, algunos grupos humanos comenzaron a utilizar la energía de ciertos animales que pudieron domesticar, principalmente para acarrear cargas. Esto fue un gran avance en esa época, porque le permitió multiplicar su potencia y su capacidad de desplazarse (Azcón y Talón, 2000). Más adelante, los pueblos que vivían cerca de superficies de agua aprendieron a navegar sobre ellas por medio de canoas a remos, nuevamente utilizando para ese fin su energía física. Posteriormente el hombre aprendió a aplicar la fuerza del viento para empujar velas montadas sobre sus primitivas embarcaciones y así pudo navegar distancias mayores, más rápido y con menor esfuerzo (Derek, 1990). Después de milenios sin novedades técnicas notables, un gran cambio en la vida de los pueblos de Europa Occidental ocurrió a finales del siglo XVIII y principios del XIX, cuando comenzaron a utilizar la energía térmica de los combustibles para algo más que calentarse en el frío, cocinar y obtener y procesar metales. Se trataba de producir potencia mecánica. Sobre la base de la combustión de carbón mineral fundamentalmente (muy abundante en Europa) se comenzó a producir vapor de agua en calderas primitivas, para accionar una planta motriz de tipo alternativo. Con estas máquinas se podía reemplazar en los talleres y fábricas la fuerza de trabajo de muchas personas y/o animales juntos; evitando el agotamiento físico, a un costo muy inferior y con menos conflictos (Derek, 1990).

El agotamiento irreversible de las reservas mundiales de petróleo, el cual es utilizado actualmente como fuente directa de energía, o bien para que a través de él se generen otras energías (eléctrica, por ejemplo), ha sido denominado como "Crisis Energética". Las razones de este fenómeno son diversas:

- Aumento del consumo de energía eléctrica debido al constante crecimiento de los sectores residencial, industrial y de servicios;
- Aumento del parque automotriz;
- Agotamiento de otros recursos naturales como el agua dulce;
- Entre otras.

De esta crisis ha surgido la necesidad de un aprovechamiento mejor de los recursos energéticos disponibles. Se han ideado formas de emplear distintos tipos de recursos energéticos renovables con el propósito de convertirlos en energía eléctrica. Dentro de estos se encuentran: la energía solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, entre otras (Gasquet, 2004).

Según Bériz y Álvarez (2008), en Cuba la radiación solar tiene un valor energético equivalente a 0,5 kg de petróleo por metro cuadrado al día, valor que varía muy poco de un lugar a otro del territorio, debido a la forma alargada y a la orientación de Este a Oeste de la Isla. Esta variación es casi despreciable de un mes a otro, lo que posibilita el aprovechamiento energético de esta fuente energética durante todo el año.

La radiación solar es utilizada directamente en transformaciones térmicas y fotovoltaicas, esto es, en forma de calor y electricidad. La conversión térmica es actualmente la forma más eficiente, económica y ventajosa de usar la energía solar. La generalización del uso doméstico del agua caliente solar para el

tion of polluting fuels. The consumption of fuels in heating water and other fluids in industry, commerce, tourism and in social buildings such as schools and hospitals is also very high; it could be satisfied with solar installations, in a sustainable and environmentally sound way Bértiz & Álvarez (2008).

Photovoltaic solar energy consists of the direct transformation of solar radiation into electrical energy, taking advantage of the properties of semiconductor materials through photovoltaic cells. The base material for the manufacture of photovoltaic panels is usually silicon. When sunlight hits one of the faces of the solar cell it generates an electric current. This electricity generated can be used as an energy source, despite the fact that in the best of cases only 25% of light energy is transformed into electricity (Sawin & Martinot, 2011; Sánchez *et al.*, 2017; Perpiñán, 2020; Kaffman, 2021). To obtain an acceptable level of current intensity, several of them are connected in series. They are called photovoltaic modules or panels. The cells of the panel are protected by glass and are constructed in such a way that they can be joined with other panels. Photovoltaic installations must be equipped with accumulators, capable of storing unused electrical energy in the form of chemical energy. In some cases, it can also be connected in parallel with the grid, to use its energy when the sun is absent (Sánchez *et al.*, 2017; Perpiñán, 2020).

In the case of photovoltaic systems permanently connected to the national electricity grid, in the hours of little or no solar irradiation (when the photovoltaic generator does not produce enough energy to cover the demand for electricity), it is the network that provides the necessary energy. Considering the opposite case, if during the hours of solar irradiation, the photovoltaic system produces more electrical energy than what is used, the excess is transferred to the grid (Prado, 2008; Martin, 2020).

At present there is no methodology for sizing a photovoltaic solar park, which fully adjusts to the case of satisfying the demand of a high consumer of electricity, which is also characterized by having dynamic loads, for which the authors consider that the characterization of a proposal for a photovoltaic solar park may be conceived from the perspective dimensioning of the behavior of electricity consumption in them.

The Agricultural Mechanization Center (CEMA) is located on the highway to Tapaste, on the National Highway, kilometer 23½, San José de las Lajas, Mayabeque. It has a concrete plot with an available area of 750 m². The average radiation is 5.0 kWh/m² and the relative humidity is 70%. It is also characterized by having a predominance of dynamic electric charges. As a result of the study of the behavior of electricity consumption in CEMA, a consumption equivalent to a monthly average of 818.99 kWh has been found. Therefore, the objective of this work was to carry out a proposal for the dimensioning of a photovoltaic solar park, capable of satisfying the demand for electrical energy in the Center for Agricultural Mechanization (CEMA), in order to contribute to the reduction of conventional electricity consumption, from the use of available energy resources in a sustainable and environmentally sound way.

aseo personal, el fregado y la cocción de alimentos, significan ahorros considerables del consumo de combustibles contaminantes. También es muy alto el consumo de combustibles en el calentamiento de agua y otros fluidos en la industria, el comercio, el turismo y en edificaciones sociales como escuelas y hospitales; el mismo pudiera ser satisfecho con instalaciones solares, de forma sostenible y ambientalmente sanas (Bértiz y Álvarez, 2008).

La energía solar fotovoltaica, consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas. El material base para la fabricación de paneles fotovoltaicos suele ser el silicio. Cuando la luz del Sol incide en una de las caras de la célula solar genera una corriente eléctrica. Esta electricidad generada se puede aprovechar como fuente de energía, a pesar de que en el mejor de los casos sólo un 25% de la energía luminosa se transforma en eléctrica (Sawin y Martinot, 2011; Sánchez *et al.*, 2017; Perpiñán, 2020; Kaffman, 2021). Para obtener un nivel de intensidad de corriente aceptable, se conectan varias de ellas en serie. Son los llamados módulos o paneles fotovoltaicos. Las células del panel están protegidas por un cristal y se construyen de forma que se pueden unir con otros paneles. Las instalaciones fotovoltaicas han de ir provistas de acumuladores, capaces de almacenar la energía eléctrica no utilizada en forma de energía química. En algunos casos, también puede estar conectado en paralelo con la red, para emplear la energía de la misma cuando falte el Sol (Sánchez *et al.*, 2017; Perpiñán, 2020).

En el caso de los sistemas fotovoltaicos permanentemente conectados a la red eléctrica nacional, en las horas de irradiación solar escasa o nula (cuando el generador fotovoltaico no produce energía suficiente para cubrir la demanda de electricidad), es la red que proporciona la energía necesaria. Considerando el caso contrario, si durante las horas de irradiación solar el sistema fotovoltaico produce más energía eléctrica que la que se gasta, el exceso se transfiere a la red (Prado, 2008; Martin, 2020).

En la actualidad no existe una metodología para el dimensionamiento de un parque solar fotovoltaico, que se ajuste completamente al caso de satisfacer la demanda de un alto consumidor de energía eléctrica, que se caracterice además por poseer cargas dinámicas por lo que los autores consideran que la caracterización de una propuesta de parque solar fotovoltaico podrá ser concebida a partir del dimensionamiento prospectivo del comportamiento del consumo de energía eléctrica en las mismas.

El Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) se encuentra situado en la carretera a Tapaste, en la autopista nacional, kilómetro 23½, San José de las Lajas, Mayabeque. Posee una parcela de hormigón con un área disponible de 750 m². La radiación promedio es de 5,0 kWh/m² y la humedad relativa es de 70%. Se caracteriza además por poseer predominio de cargas eléctricas dinámicas. Como resultado del estudio del comportamiento del consumo de energía eléctrica en el CEMA se ha podido constatar un consumo equivalente a un promedio mensual de 818,99 kWh. Por lo que constituye el objetivo de este trabajo realizar una propuesta de dimensionamiento de un parque solar fotovoltaico, capaz de satisfacer la demanda de energía eléctrica en el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), para así contribuir a la disminución del consumo de energía eléctrica convencional, a partir del aprovechamiento de recursos energéticos disponibles de forma sostenible y ambientalmente sana.

MATERIALS AND METHODS

Installation Consumption Estimate

For the sizing of the photovoltaic solar installation, initially the critical average daily consumption of the load to which energy has to be supplied was determined. This parameter is associated with the days with the highest energy consumption. Due to the fact that in Cuba the behavior of the incidence of solar radiation does not vary sharply during the twelve months of the year and that the four seasons of the year are not clearly reflected, the average monthly value of the incident radiation for an inclination angle of 18°-25° to the south is 5.0 kWh/m² (Bérriz, *et al.*, 2016).

To determine the energy to be delivered by the photovoltaic installation, the losses involving the batteries, the inverter and the conductors were considered. To calculate the average daily consumption of the installation, the critical real average consumption of the load was taken into account and not the average consumption for constant loads or the number of inventories, due to the fact that the equipment with which it works in the area where the study was developed are subjected to dynamic loads such as lathes, mechanical drills, milling machines, mechanical saw, among other machine tools.

Static electrical loads are those that have a fixed consumption of electrical energy over time (Prado, 2008; Martin, 2020). For example: lighting systems, air conditioning systems, televisions, personal computers, electric cooking systems, among others. This type of charge is common in domestic consumers.

In the case of dynamic loads, consumption was determined by the work they do and the type of material they machine, quite the opposite, to those with constant load such as household appliances (lighting fixtures, televisions, washing machines, among others) whose consumption does not vary significantly.

$$L_{mdn} = \frac{L_{md}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{cond}}, kWh \quad (1)$$

where:

L_{md} : Critical real average consumption of the load, kWh.

η_{bat} : Battery efficiency.

η_{inv} : Efficiency of the inverter.

η_{cond} : Efficiency of the conductors.

Photovoltaic Generator Sizing

To determine the number of solar panels required, a criterion was used based on the estimation of the Ampere-hour (Ah) consumption of the installation as recommended by Hernández (2007), with the average daily current consumption required:

$$I_{gfv, mpp} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{crit}}, A \quad (2)$$

where:

V_{bat} : battery voltage, V.

Likewise, according to Alonso (2011) & Cantos (2016), the current that a photovoltaic reception field must generate in the critical month of solar radiation is determined as

MATERIALES Y MÉTODOS

Estimación del consumo de la instalación

Para el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica, inicialmente se determinó el consumo medio diario crítico de la carga a la que potencialmente se le ha de suministrar energía. Este parámetro está asociado a los días de mayor consumo de energía. Debido a que en Cuba el comportamiento de la incidencia de radiación solar no varía bruscamente durante los doce meses del año ya que no se reflejan de forma clara las cuatro estaciones del año, el valor medio mensual de la radiación incidente para un ángulo de inclinación de 18°- 25° al sur es de 5,0 kWh/m² (Bérriz, *et al.*, 2016).

Para determinar la energía que ha de entregar la instalación fotovoltaica, se consideró las pérdidas que involucran las baterías, el inversor y los conductores. Para calcular el consumo medio diario de la instalación se tuvo en cuenta el consumo medio real crítico de la carga y no el consumo medio para cargas constantes ni el número de inventarios, debido a que los equipos con los que se trabaja en el área en la que se desarrolla el estudio se someten a cargas dinámicas como es el caso de los tornos, taladros mecánicos, fresadoras, segueta mecánica, entre otras máquinas herramientas.

Se consideran cargas eléctricas estáticas aquellas que tienen un consumo fijo de energía eléctrica en el tiempo (Prado, 2008; Martin, 2020). Por ejemplo: sistemas de iluminación, sistemas de climatización, televisores, computadoras personales, sistemas de cocción eléctrica, entre otros. Este tipo de cargas es común en consumidores domésticos.

En el caso de estos, el consumo estará dado por el trabajo que realizan y el tipo de material que maquinen, todo lo contrario, a los de carga constante como es el caso de los equipos electrodomésticos (luminarias, televisores, lavadoras, entre otros) cuyo consumo no varía significativamente.

$$L_{mdn} = \frac{L_{md}}{\eta_{bat} \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{cond}}, kWh \quad (1)$$

donde:

L_{md} : Consumo medio real crítico de la carga, kWh;

η_{bat} : Eficiencia de las baterías;

η_{inv} : Eficiencia del inversor;

η_{cond} : Eficiencia de los conductores.

Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Para la determinación del número de paneles solares requeridos se empleó un criterio basado en la estimación del consumo de Amperes-hora (Ah) de la instalación según lo recomendado por Hernández (2007), siendo el consumo medio de corriente diario requerido:

$$I_{gfv, mpp} = \frac{Q_{Ah}}{HPS_{crit}}, A \quad (2)$$

donde:

V_{bat} : Voltaje de las baterías, V.

Así mismo, según Alonso (2011) y Cantos (2016), la corriente que debe generar un campo de captación fotovoltaico en el mes crítico de radiación solar se determina como:

$$Np = \frac{I_{gfv, mpp}}{I_{mod}} \quad (3)$$

where:

HPS_{crit} : peak of sun hours of the critical month, h .

Then, being $I_{gfv, mpp}$ the current generated by the photovoltaic capture field (the total number of solar panels installed) and dividing it by the unit current of each photovoltaic module, the total number of modules necessary to connect in parallel is obtained (Alonso, 2011). So that:

$$Np = \frac{I_{gfv, mpp}}{I_{mod}} \quad (4)$$

where:

I_{mod} : Specific unit current of each photovoltaic module, A .

Accumulation System Sizing

According to Cantos (2016) & Martin (2020), to calculate the number of batteries required for a photovoltaic installation, the following must be considered:

- The desired autonomy time for the photovoltaic installation.
- The maximum seasonal discharge depth of the batteries.
- The maximum daily discharge depth of the batteries.

Alonso (2011) & Cantos (2016) argue that the nominal capacity of the battery as a function of the maximum seasonal discharge is determined according to:

$$C_{ne} = \frac{L_{mdn} \cdot N_{DA}}{P_{Dmax,e} \cdot F_{ct}}, kWh \quad (5)$$

$$C_{neAh} = \frac{C_{ne}}{V_{bat}}, Ah \quad (6)$$

• where:

- N_{DA} : Number of days of the installation autonomy.
- $P_{Dmax,e}$: Maximum seasonal discharge depth of batteries.
- F_{ct} : Total battery charge factor.
- C_{neAh} : Nominal battery capacity based on the maximum seasonal discharge, Ah .

Likewise, the nominal capacity of the battery based on the maximum daily discharge was determined according to:

$$C_{nd} = \frac{L_{mdn}}{P_{Dmax,d} \cdot F_{ct}}, kWh \quad (7)$$

$$C_{ndAh} = \frac{C_{nd}}{V_{bat}}, Ah \quad (8)$$

where:

- $P_{Dmax,d}$: Maximum daily discharge depth of the batteries.
- C_{ndAh} : Nominal battery capacity based on the maximum daily discharge, Ah .

After determining the nominal capacity of the batteries based on the values of maximum stationary and daily discharge, the one with the highest value must be taken and divided by the

$$Np = \frac{I_{gfv, mpp}}{I_{mod}} \quad (3)$$

donde:

HPS_{crit} : horas de sol pico del mes crítico, h .

Luego, siendo $I_{gfv, mpp}$ la corriente generada por el campo de captación fotovoltaico (el total de placas solares instaladas) y dividirla entre la corriente unitaria de cada módulo fotovoltaico, se obtiene el número total de módulos necesarios a conectar en paralelo (Alonso, 2011). De modo que:

$$Np = \frac{I_{gfv, mpp}}{I_{mod}} \quad (4)$$

donde:

I_{mod} : Corriente unitaria específica de cada módulo fotovoltaico, A .

Dimensionamiento del sistema de acumulación

Según Cantos (2016) y Martin (2020), para el cálculo del número de baterías requeridas para una instalación fotovoltaica, se han de considerar:

- El tiempo de autonomía deseado para la instalación fotovoltaica;
- La profundidad de descarga máxima estacional de las baterías;
- La profundidad de descarga máxima diaria de las baterías.

Alonso (2011) y Cantos (2016) sostienen que la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional se determina según:

$$C_{ne} = \frac{L_{mdn} \cdot N_{DA}}{P_{Dmax,e} \cdot F_{ct}}, kWh \quad (5)$$

$$C_{neAh} = \frac{C_{ne}}{V_{bat}}, Ah \quad (6)$$

donde:

- N_{DA} : Número de días de autonomía de la instalación;
- $P_{Dmax,e}$: Profundidad de descarga máxima estacional de las baterías;
- F_{ct} : Factor de carga total de las baterías;
- C_{neAh} : Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima estacional, Ah .

Así mismo, la capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria se determinó según:

$$C_{nd} = \frac{L_{mdn}}{P_{Dmax,d} \cdot F_{ct}}, kWh \quad (7)$$

$$C_{ndAh} = \frac{C_{nd}}{V_{bat}}, Ah \quad (8)$$

donde:

- $P_{Dmax,d}$: Profundidad de descarga máxima diaria de las baterías;
- C_{ndAh} : Capacidad nominal de la batería en función de la descarga máxima diaria, Ah .

Luego de determinada la capacidad nominal de las baterías en función de los valores de descarga máxima estacionaria y diaria, se ha de tomar la de mayor valor y se ha de dividir por

nominal current capacity of one of the batteries, to obtain the necessary number of them:

$$N_{bat} = \frac{C_{ndAh}}{C_{ndAh,bat}} \quad (9)$$

Regulator and Inverter Sizing

Alonso (2011) & Cantos (2016) argue that to find the regulator's capacity, the current at its inlet and outlet must be determined. Prado (2008) states that:

$$I_{ent} = (1 + F_{seg}) \cdot N_p \cdot I_{mod,sc}, A \quad (10)$$

where:

F_{seg} : Safety factor to avoid occasional damage to the regulator.

N_p : Number of branches in parallel.

$I_{mod,sc}$: Unitary current of the photovoltaic module under short-circuit conditions, A.

Likewise:

$$I_{sal} = \frac{(1 + F_{seg}) \cdot L_{md,max}}{\eta_{inv} \cdot T_{ipc} \cdot V_{bat}}, A \quad (11)$$

where:

$L_{md,max}$: Maximum load consumption, kWh.

T_{ipc} : Time of maximum load demand, h.

The inverter power required for the installation was determined according to Mascarós (2016) where:

$$P_{inv} = (1 + F_{seg}) \cdot P_{ACW} \quad (12)$$

When sizing the inverter, it was convenient to consider the effect of the motor start-up peaks to guarantee a satisfactory operation of the installation. Taking into account what was stated by Alonso (2011) & Alfonso (2016), many devices and equipment that include electric motors of medium and high power, produce current peaks at startup, which means that these devices will have an initial demand for power up to four or five times greater than the nominal.

Methodology for Estimating the Economic Impact of the Facility

When a photovoltaic solar park is used, clean, renewable and safe energy is being used efficiently. It contributes significantly to the reduction of greenhouse gases that cause climate change and air quality is considerably improved, since the use of fossil fuels is significantly reduced. As a result of the above, it is necessary to know how much fossil energy is not consumed (number of kWh of electricity avoided monthly and annually) with the implementation of this photovoltaic solar park (CanviClimatic, 2011; Alvarado, 2017).

Alvarado (2017) points out that from the use of these photovoltaic solar parks a certain amount of electrical energy is saved in a month, therefore:

la capacidad nominal de corriente de una de las baterías, para obtener el número de estas necesario:

$$N_{bat} = \frac{C_{ndAh}}{C_{ndAh,bat}} \quad (9)$$

Dimensionamiento del regulador y el inversor

Alonso (2011) y Cantos (2016) sostienen que para hallar la capacidad del regulador, se ha de determinar la corriente a su entrada y a su salida. Prado (2008) establece que:

$$I_{ent} = (1 + F_{seg}) \cdot N_p \cdot I_{mod,sc}, A \quad (10)$$

donde:

F_{seg} : Factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador;

N_p : Número de ramas en paralelo;

$I_{mod,sc}$: Corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito, A.

Así mismo:

$$I_{sal} = \frac{(1 + F_{seg}) \cdot L_{md,max}}{\eta_{inv} \cdot T_{ipc} \cdot V_{bat}}, A \quad (11)$$

donde:

$L_{md,max}$: Consumo máximo de la carga, kWh;

T_{ipc} : Tiempo de máxima demanda de la carga, h.

Para la determinación de la potencia del inversor requerida para la instalación se procedió según Mascarós (2016) donde:

$$P_{inv} = (1 + F_{seg}) \cdot P_{ACW} \quad (12)$$

En el dimensionamiento del inversor, resultó conveniente considerar el efecto de los picos del arranque de los motores para garantizar un funcionamiento satisfactorio de la instalación. Teniendo en cuenta lo planteado por Alonso (2011) y Alfonso (2016), muchos dispositivos y equipos que incluyen motores eléctricos de mediana y alta potencia, producen picos de corriente en el arranque, lo cual supone que estos dispositivos tendrán una demanda inicial de potencia hasta cuatro o cinco veces mayor que la nominal.

Metodología para la estimación del impacto económico de la instalación

Cuando se utiliza un parque solar fotovoltaico se está aprovechando de manera eficiente una energía limpia, renovable y segura. Se contribuye de manera importante en la reducción de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático y se mejora de forma considerable la calidad del aire, ya que disminuye significativamente el uso de combustibles fósiles. Producto a lo antes expuesto resulta necesario conocer cuánto se deja de consumir en energía fósil (número de kWh de electricidad evitados mensual y anualmente) con la implementación de este parque solar fotovoltaico (CanviClimatic, 2011; Alvarado, 2017).

Alvarado (2017) señala que a partir de la utilización de estos parques solares fotovoltaicos se ahorra cierta cantidad de energía eléctrica en un mes por lo cual:

$$Q_{CM} = L_{md} \cdot D_m, KWh \quad (13)$$

where:

D_m : Days that a month has.

Being the energy saved in a year:

$$Q_{CA} = 12 \cdot Q_{CM} \cdot D_m, kWh \quad (14)$$

To determine the cost of the energy saved in a year, what was established by Bolaños (2021) was considered, where the electricity rates in Cuban pesos (CUP) are established for the collection of electricity service. In the specific case referred in this work; as it is a research center, whose social purpose is the training of professionals and the development of machinery and technologies that respond to the needs of the agricultural sector; the high voltage tariff system with continuous activity is considered, specifically the one that responds to the energy consumed during daylight hours. Being the cost of the energy saved in one day:

$$C_{dia} = (a \cdot K + b) \cdot Q_{cdia}, CUP/día \quad (15)$$

where:

a, b: Coefficients to be applied according to the type of tariff (1.5282 and 0.7273, respectively), CUP / kWh;

K: Fuel price variation adjustment factor;

Q_{cdia} : Energy consumption in a day, kWh / day.

Similarly, the cost of energy saved in one year can be determined based on:

$$C_{año} = (a \cdot K + b) \cdot Q_{CA}, CUP/año \quad (16)$$

where:

Q_{CA} : Energy consumption in a year, kWh / day.

Methodology for Estimating the Environmental Impact of the Facility

In order to implement these heat machines, it was necessary to know the amount of emissions avoided into the atmosphere. The mass of CO₂ emitted into the atmosphere due to the burning of fossil fuels can be determined according to Ruisánchez (2018) as:

$$M_{CO_2} = \iota \cdot Q_{CM}, kg / mes \quad (17)$$

where:

ι : Emission index, kg / kWh.

Bérriz, et al. (2016) as well as Ruisánchez (2018), suggest that each kWh produced at the generation plant level emits 1.13 kg of CO₂ into the atmosphere. The mass of fossil fuel required to produce a given amount of energy in a month can be determined by:

$$M_{CM} = \gamma \cdot Q_{CM}, kg / mes \quad (18)$$

where:

γ : Fuel consumption index, kg / kWh.

The assumed value for the consumption index is 0.262 kg / kWh (ICG, 2012; Bolaños (2021).

$$Q_{CM} = L_{md} \cdot D_m, KWh \quad (13)$$

donde:

D_m : Días que tiene un mes.

Siendo la energía ahorrada en un año:

$$Q_{CA} = 12 \cdot Q_{CM} \cdot D_m, kWh \quad (14)$$

Para la determinación del costo de la energía ahorrada en un año, fue considerado lo establecido por Bolaños (2021), donde se establecen las tarifas eléctricas en pesos cubanos (CUP) para el cobro del servicio eléctrico. En el caso específico abordado en este trabajo; al tratarse de un centro de investigación, cuyo objeto sociales la formación de profesionales y el desarrollo de maquinarias y tecnologías que respondan a las necesidades del sector agropecuario; se considera el sistema de tarifas de alta tensión con actividad continua, específicamente la que responde a la energía consumida durante el horario del día. Siendo el costo de la energía ahorrada en un día:

$$C_{dia} = (a \cdot K + b) \cdot Q_{cdia}, CUP/día \quad (15)$$

donde:

a, b: Coeficientes a aplicar según el tipo de tarifa (1,5282 y 0,7273 respectivamente), CUP/kWh;

K: Factor de ajuste de variación del precio del combustible;

Q_{cdia} : Consumo de energía en un día, kWh/día.

De manera análoga, se puede determinar el costo de la energía ahorrada en un año según:

$$C_{año} = (a \cdot K + b) \cdot Q_{CA}, CUP/año \quad (16)$$

donde:

Q_{CA} : Consumo de energía en un año, kWh/día.

Metodología para la estimación del impacto medioambiental de la instalación

Con el objetivo de la implementación de estas máquinas de calor fue necesario conocer la cantidad de emisiones evitadas a la atmosfera. La masa de CO₂ emitida a la atmósfera por concepto de la quema de combustibles fósiles se puede determinar según Ruisánchez (2018) como:

$$M_{CO_2} = \iota \cdot Q_{CM}, kg / mes \quad (17)$$

donde:

ι : Índice de emisión, kg/kWh.

Bérriz, et al.(2016) así como Ruisánchez (2018), plantean que cada kWh producido a nivel de planta de generación, emite a la atmósfera 1,13 kg de CO₂. La masa de combustible fósil necesaria para producir una cantidad determinada de energía en un mes se puede determinar según:

$$M_{CM} = \gamma \cdot Q_{CM}, kg / mes \quad (18)$$

donde:

γ : Índice de consumo de combustible, kg/kWh.

El valor asumido para el índice de consumo es de 0,262 kg/kWh (ICG, 2012; Bolaños, 2021).

RESULTS AND DISCUSSION

Assessment of the Electrical Energy Consumption of CEMA

Both static and dynamic electric charges coexist in CEMA. Static electrical charges are those that have a fixed consumption of electrical energy over time (Prado, 2008; Martin, 2020), for example: lighting systems, air conditioning systems, televisions, personal computers, electric cooking systems, among others. This type of charge is common in domestic consumers.

Systems that are said to have dynamic load are those in which their electricity consumption depends significantly on their state of charge (Prado, 2008; Martin, 2020) institution. For this reason, the great variability of its electrical consumption can be appreciated as shown in the Figure. 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valoración del consumo de energía eléctrica del CEMA

En el CEMA coexisten tanto cargas eléctricas estáticas como dinámicas. Se consideran cargas eléctricas estáticas aquellas que tienen un consumo fijo de energía eléctrica en el tiempo (Prado, 2008; Martin, 2020). Por ejemplo: sistemas de iluminación, sistemas de climatización, televisores, computadoras personales, sistemas de cocción eléctrica, entre otros. Este tipo de cargas es común en consumidores domésticos.

Los sistemas que se dicen que poseen carga dinámica son aquellos en los que su consumo eléctrico depende de manera significativa del estado de carga de los mismos (Prado, 2008; Martin, 2020). Ejemplos de este tipo de sistemas son aquellos que involucran motores eléctricos de mediana o alta potencia. Tal es el caso de máquinas de herramientas, molinos, picadoras de forrajes eléctricas, entre otros. En el caso particular del CEMA una parte significativa del consumo eléctrico está asociado a las labores de maquinado que se efectúan en el taller de prototipos de dicha institución. Por ello es que se puede apreciar la gran variabilidad que tiene el consumo eléctrico de la misma como se muestra en la Figura. 1.

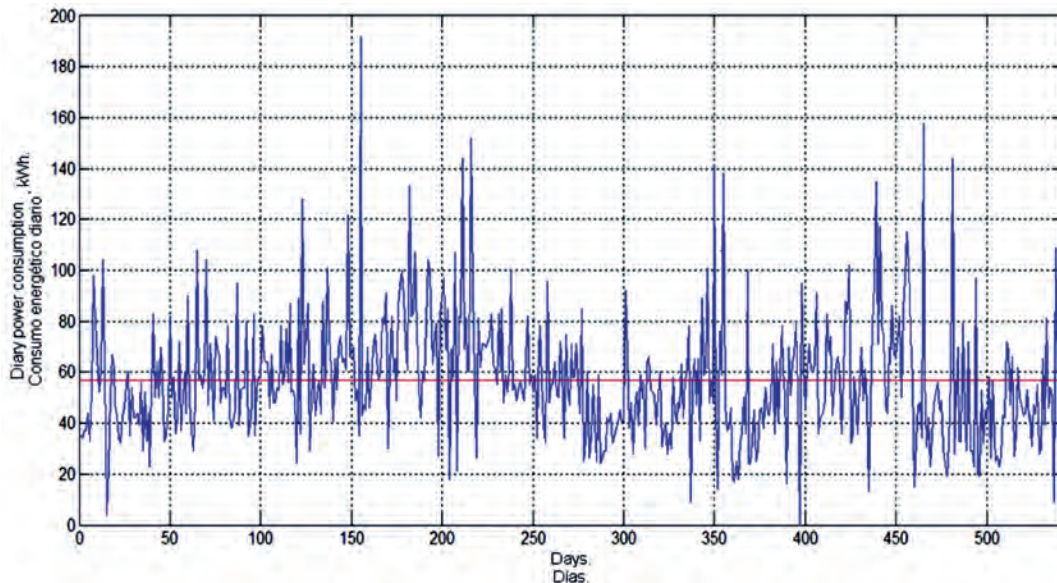


FIGURE 1. Behavior of the daily energy consumption of CEMA (September 2016- April 2019).
FIGURA 1. Comportamiento del consumo energético diario del CEMA (sept. 2016- abril 2019).

From the analysis it was found that the year 2017 was the year with the highest energy consumption with 12,772 kWh and the month of September 2017 the one with the highest consumption of electricity with 81,727 kWh / day, which shows that CEMA is a high consumer of electrical energy.

Proposal for a Photovoltaic Solar Park for CEMA

To carry out the proposal for a photovoltaic solar park in CEMA areas, solar panels from the manufacturer Brisbane were used. The corresponding technical data are shown in Table 1.

A partir del análisis se constató que el año 2017 fue el de mayor consumo energético con 12 772 kWh y el mes septiembre de 2017 el de mayor consumo de energía eléctrica con 81,727 kWh/día lo que evidencia que el CEMA es un alto consumidor de energía eléctrica.

Propuesta de un parque solar fotovoltaico para el CEMA

Para la realización de la propuesta de un parque solar fotovoltaico en áreas del CEMA se utilizaron los paneles solares del fabricante Brisbane. Los datos técnicos correspondientes se muestran en la Tabla 1.

TABLE 1. Technical data of the solar panels of the manufacturer Brisbane model BS18055
TABLA 1. Datos técnicos de los paneles solares del fabricante Brisbane modelo BS18055

Parameter	Specification	
Module power peak under standard conditions	<i>W</i>	180
Module maximum voltaje	<i>V</i>	36,55
Module short-circuit current	<i>A</i>	5,30
Module maximum unitary current	<i>A</i>	4,9
Inverter efficiency		0,9
Conductors efficiency		1
Batteries efficiency		0,95

In addition, Trojan batteries were selected, the technical data of which are shown in Table 2.

Además, se seleccionaron las baterías Trojan, cuyos datos técnicos se muestran en la Tabla 2.

TABLE 2. Technical data of the proposed Trojan monoblock batteries
TABLA 2. Datos técnicos de las baterías Trojan monoblock propuestas

Parameter	Specification	
Voltage	<i>V</i>	12
Current capacity	<i>A</i>	240
Seasonal maximum discharge depth	%	70
Diary maximum discharge depth,	%	15
Efficiency		0.9 – 0.95

For this proposal, the Victron Energy brand inverter was also taken into account (Figure 2) with a power 20% greater than that demanded by the equipment. They are also distributed by SunFields.

Para dicha propuesta también se tuvo en cuenta el inversor de marca Victron Energy (Figura 2) con una potencia 20% mayor a la demandada por el equipo, también son distribuidos por SunFields.



FIGURE 2 Victron Energy Investors.
 FIGURA 2. Inversores de Victron Energy.

In this case, the use of a regulator for monitoring the maximum power point is not considered, since the photovoltaic systems that include it constitute systems that improve the efficiency of the installation between 10 and 25%. The fundamental problem of these regulators lies in their high cost for small and medium size installations. In the case of this proposal, due to the volume of energy to be generated, it would require a large capacity regulator with the capacity to monitor the maximum power point, which would raise the total cost of the installation by at least 30 and 40% more only for this concept (Gasquet, 2004; Acevedo, 2016; Alvarado, 2017).

Sizing of the Parts of the Proposed Photovoltaic Solar Park

For the dimensioning of the parts of the proposed solar photovoltaic park, a series of essential aspects were taken into account as shown in Table 3. It summarizes the parameters calculated for the dimensioning of the photovoltaic solar park in CEMA areas, based on equations (4), (9), (10), (11) and (12).

TABLE3. Summary of the parameters to be determined for the sizing of the photovoltaic solar park
TABLA3. Resumen de los parámetros a determinar para el dimensionamiento del parque solar fotovoltaico

Parameter	Symbol	Value
Average daily power consumption	L_{mdn} kWh	94,73684
Average daily current consumption	Q_{Ah} Ah/day	7 894,73
Current to be generated by the photovoltaic field in the critical month of solar radiation	$I_{gfv,mppt}$ A	1 578,946
Quantity of solar panels	N_p	323
Nominal capacity of the battery in function of the seasonal maximum discharge	C_{ne} kWh	135 338,5
	C_{neAh} Ah	11 278,21
Quantity of batteries	N_{bat}	47
Input current	I_{ent} A	2 054,28
Output current	I_{sal} A	1 135,09
Power of the inverter	P_{inv} kW	98,0724

These results are consistent when compared to those obtained by other authors like Prado (2008); Acevedo (2016); Márquez (2017); San Juan (2017); Martin (2020), who have used a similar methodology applied to the sizing of facilities of different kinds.

Preliminary Economic Analysis of the Proposed Facility

With the use of a clean and sustainable energy source such as solar, it is expected to reduce the costs of conventional fuels to produce electricity. Such is the case of the proposed photovoltaic solar park. The cost of the electrical energy not consumed from the use of the energy generated from the proposed installation is 57,368.23 CUP per year. Like Cantos (2016) & Mascarós (2016), the authors consider that energy saving, although it does not represent an energy source itself, it is used to consider it as such since it offers the possibility of satisfying more energy services, which is equivalent to have more energy. For the installation of a photovoltaic solar park it is necessary to carry out a study of its economic feasibility. Table 4 summarizes the preliminary costs of this system.

En este caso no se considera el empleo de un regulador de seguimiento del punto de máxima potencia ya que los sistemas fotovoltaicos que lo incluyen, constituyen sistemas que mejoran la eficiencia de la instalación entre 10 y 25%. El problema fundamental de estos reguladores radica en su elevado costo para instalaciones de pequeño y mediano porte. En el caso de la propuesta que los ocupa, por el volumen de energía a generar requeriría un regulador de gran capacidad con capacidad de seguimiento del punto de máxima potencia, que elevaría el costo total de la instalación al menos en 30 y 40% más solo por este concepto (Gasquet, 2004; Acevedo, 2016; Alvarado, 2017).

Dimensionamiento de las partes del parque solar fotovoltaico propuesto

Para el dimensionamiento de las partes del parque solar fotovoltaico propuesto se tuvo en cuenta una serie de aspectos esenciales como se muestran en la Tabla 3. En la misma se resumen los parámetros calculados para el dimensionamiento del parque solar fotovoltaico en áreas del CEMA, a partir de las ecuaciones (4), (9), (10), (11) y (12).

Estos resultados son consistentes al ser contrastados a los obtenidos por otros autores Prado (2008); Acevedo (2016); Márquez (2017); San Juan (2017); Martin (2020), que han empleado una metodología similar aplicada al dimensionamiento de instalaciones de diferente índole.

Análisis económico preliminar de la instalación propuesta

Con la utilización de una fuente de energía limpia y sostenible como la solar, se prevé disminuir los costos por concepto de combustibles convencionales para producir electricidad. Tal es el caso del parque solar fotovoltaico propuesto. Para obtener el costo de la energía eléctrica no consumida a partir del uso de la energía generada a partir de la instalación propuesta es de 57368,23 CUP al año. Al igual que Cantos (2016) y Mascarós (2016), los autores consideran que el ahorro de energía, si bien no representa una fuente de energía en sí, se acostumbra a considerarla como tal pues ofrece la posibilidad de satisfacer más servicios energéticos, lo que es equivalente a disponer de más energía. Para la instalación de un parque solar fotovoltaico se hace necesario realizar el estudio de su factibilidad económica. En la Tabla 4 se resumen los costos preliminares de dicho sistema.

TABLE 4 Preliminary investment costs
TABLA 4. Costos preliminares de la inversión

Component	Capacity	Reference rate	Costs,
Panels	58140 <i>W</i>	14,4 <i>CUP/W</i>	83 7216,00
Batteries	135,360 <i>kWh</i>	1800 <i>CUP/kWh</i>	243 648 000,00
Regulator	4800 <i>VA</i>	19,2 <i>CUP/VA</i>	92 160,00
Inverter	1000 <i>kWh</i>	6 <i>CUP/kWh</i>	6 000,00
Preliminary costs of the investment (with the accumulation system)			244 583 376,00
Preliminary costs of the investment (without the accumulation system)			935 376,00
Time for the investment recovery (with the accumulation system), <i>years</i>			4 263,39
Time for the investment recovery (without the accumulation system), <i>years</i>			16,3

As it can be seen in Table 4, the preliminary cost of the investment considering the proposed accumulation system is considerably higher than in the case in which it was dispensed with. As this is a preliminary study, the authors have used market reference rates for cost estimation. However, it is up to the decision makers with the capacity to act, orient a market study for the selection of offers and suppliers, which allows a definitive cost study to be carried out in order to undertake the investment process of the proposed facility.

The economic pre-feasibility analysis carried out, although it is limited and preliminary, provides an approximate idea about the cost of an installation of these characteristics, considering both, the saving of energy carriers in the form of fossil fuels, as well as the environmental impact due to the non-emission of polluting gases and the greenhouse effect. It can be affirmed that the construction of a large-scale photovoltaic solar park is viable to satisfy the consumer demand of the Agrarian University of Havana, where CEMA is located.

Analysis of the Environmental Impact of the Proposed Facility

Solar panels, by using a clean energy source to produce electrical energy, do not consume any type of fossil fuel. Thus, with equation (13) the electrical energy that would cease to be consumed with the use of these voltaic systems was determined. Furthermore, with these results it is possible through expression (17) to know the mass of CO₂ that is not emitted into the atmosphere. As a result of the foregoing, the mass of fossil fuel necessary to produce this amount of electricity was determined by equation (18) and it is shown in Table 5.

TABLE 5. Results of the environmental impact as a consequence of the proposed installation
TABLA 5. Resultados del impacto medio ambiental como consecuencia de la instalación propuesta

Parameter	Estimated value
Not-consumed electric power, <i>kWh/day</i>	81,72
Saved electric power, <i>kWh/year</i>	29 421,72
Mass of CO ₂ not emitted to the atmosphere, <i>t/year</i>	33,24
Not-consumed mass of fossil fuel, <i>t/year</i>	7,70

Increasing energy efficiency has an immediate and direct environmental benefit, since it implies a reduction in the use of natural resources and in the emission of pollutants, including CO₂. Without a doubt, the cleanest energy is the energy saved.

Como se puede apreciar en la Tabla 4, el costo preliminar de la inversión considerando el sistema de acumulación propuesto es considerablemente mayor que en el caso en que se prescindiese del mismo. Al ser este un estudio preliminar, los autores han empleado índices de referencia del mercado para la estimación de costos. No obstante, corresponde a los decisores con capacidad de acción, orientar un estudio de mercado para la selección de ofertas y proveedores, que permita realizar un estudio de costos definitivo de cara a acometer el proceso inversionista de la instalación propuesta.

El análisis de prefactibilidad económica realizado, aunque tiene un carácter limitado y preliminar, proporciona una idea aproximada acerca del costo de una instalación de estas características. Si se considera tanto el ahorro de portadores energéticos en forma de combustibles fósiles, como el impacto medioambiental por concepto de no emisión de gases contaminantes y efecto invernadero. Se puede afirmar que es viable la construcción de un parque solar fotovoltaico de grandes proporciones para satisfacer la demanda de consumo de la Universidad Agraria de La Habana, lugar donde se encuentra enclavado el CEMA.

Análisis del impacto medioambiental de la instalación propuesta

Los paneles solares al utilizar una fuente de energía limpia para producir energía eléctrica, no consumen ningún tipo de combustible fósil. Así, con la ecuación (13) se determinó la energía eléctrica que se dejaría de consumir con el uso de estos sistemas voltaicos. Además, con estos resultados es posible a través de la expresión (17) saber la masa de CO₂ dejada de emitir a la atmósfera. Producto a lo expuesto anterior se determinó la masa de combustible fósil necesaria para producir esta cantidad de electricidad por la ecuación (18) quedando reflejado en la Tabla 5.

El incremento de la eficiencia energética tiene un beneficio ambiental inmediato y directo, ya que implica una reducción en el uso de recursos naturales y en la emisión de contaminantes, incluido el CO₂. Sin lugar a dudas, la energía más limpia es la energía ahorrada.

CONCLUSIONS

- The selected site meets the construction characteristics required to undertake the installation of the photovoltaic solar park.
- It was determined that, with the assembly of 323 solar panels, 47 batteries, two current regulators and an inverter, the demand for electrical energy in the area where the study was carried out could be covered.
- The proposed installation would have a positive impact on the environment, since 29,421.72 kWh / year would be saved, in addition, 33.24 t / year of CO₂ would cease to be emitted into the atmosphere, saving a mass of 7.70 fossil fuel t / year.
- It was concluded that the installation of the photovoltaic solar park is economically feasible since 57 368.23 CUP would be saved in one year from unconsumed energy.

CONCLUSIONES

- El emplazamiento seleccionado reúne las características de construcción requeridas para acometer la instalación del parque solar fotovoltaico.
- Se determinó que, con el montaje de 323 paneles solares, 47 baterías, dos reguladores de corriente y un inversor se podrá cubrir la demanda de energía eléctrica del área donde se acometió el estudio.
- La instalación propuesta tendría una repercusión positiva hacia el Medio Ambiente, ya que se ahorrarían 29421,72 kWh/año, además se dejaría de emitir a la atmósfera 33,24 t/año de CO₂ ahorrándose una masa de combustible fósil de 7,70 t/año.
- Se concluyó que la instalación del parque solar fotovoltaico es factible económicamente ya que se ahorraría en un año 57 368,23 CUP por concepto de energía no consumida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, G. de J.: *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*, Tesis (en opción al título de Tecnólogo en Electrónica), Universidad Nacional Abierta ya Distancia UNAD, Bogotá D.C., Colombia, 2016.
- ALFONSO, A.: *Diseño de instalación fotovoltaica industrial para abastecimiento de pozos petrolíferos*, 188pp., Tesis (en opción al título de Ingeniero Industrial), Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2016.
- ALONSO, J.: "Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas", [en línea] *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*, 2011. Disponible en: www.sfe-solar.com
- ALVARADO, M.A.: *Análisis energético y viabilidad de un colector solar de tubos de vacío de GLOBAL ENERGY DE 120L*, Tesis (en opción al título de Ingeniero Mecánico), Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Mecánica y Eléctrica, Culhuacán, México, 2017.
- AZCÓN, B.J.; TALÓN, J.: *Fundamentos de fisiología vegetal*, Ed. Madrid, ES: McGraw-Hill Interamericana, Issue: 581.1 F981f ed., ISBN-84-486-0258-7, Madrid, España, 2000.
- BÉRRIZ, L.; ÁLVAREZ, M.: "Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares", *Editorial Cubasolar, La Habana.*, 2008.
- BÉRRIZ, L.; ÁLVAREZ, W.; PÉREZ, J.; IGLESIAS, M.: *Manual de calentadores solares*, Ed. Editorial Cubasolar, pp. 38-52, ISBN-978-959-7113-49-2, La Habana, Cuba, 2016.
- BOLAÑOS, M.: *Resolución 66/2021*, Gaceta Oficial de la República de Cuba, ISBN-0864-0793, e-ISSN-1682-7511, 2021.
- CANTOS, S.J.: *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*, Ed. Ediciones Paraninfo, SA, ISBN-84-283-3756-X, Madrid, España, 2016.
- CANVICLIMATIC: *Guía práctica para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)*, Oficina Catalana del Canvi climàtic de Catalunya, Barcelona, España, 2011.
- DEREK, E.: *La contaminación atmosférica*, Ed. Ediciones Cátedra SA, ISBN-84-376-0943-7, México, 1990.
- GASQUET, H.: *Conversión de la luz solar en Energía Eléctrica: Manual Teórico y Práctico sobre los sistemas Fotovoltaicos, 2004*,
- HERNÁNDEZ, L.: "Sistemas fotovoltaicos: ¿Autónomos o conectados a la red?", *Revista Energía y Tú*, ISSN-1028-9925, e-ISSN: 2410-1133, (38), 2007.
- ICG: *Gases do Efeito Estufa*, [en línea] Instituto do Carbono de Brasil (ICG), Brasil, 2012. Disponible en: http://www.institutocarbonobrasil.org.br/mudancas.../gases_do_efeito_estuf.
- KAFFMAN, L.: "El boom de la generación fotovoltaica en el mundo", *Revista Electro Industria*, ISSN-0718-3445, 242, mayo de 2021.
- MÁRQUEZ, M.N.: *Proyecto de instalación de energía solar térmica y solar fotovoltaica para la población de Arbolle (Burkina Faso)*, Tesis (en opción al título de Ingeniero de la Energía), Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2017.
- MARTIN, E.M.: *Diseño de una planta de generación solar fotovoltaica*, 79pp., Tesis (en opción al título de Ingeniero en Tecnologías Industriales), Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, Barcelona, España, 2020.
- MASCARÓS, M.V.: *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*, Ed. Ediciones Paraninfo, SA, ISBN-84-283-3816-7, 2016.
- PERPIÑÁN, O.: *Energía Solar Fotovoltaica*, Creative Commons, 168pp., Madrid, España, 2020.
- PRADO, C.: *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada. IE- 502 Proyecto Eléctrico*, 65pp., Tesis (en opción al título de Bachiller en Ingeniería Eléctrica), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2008.
- RUISÁNCHEZ, Y.: *Propuesta de instalación de un sistema de calentadores solares de agua en un área de la residencia de la UNAH*, 71pp., Tesis (en opción al título de Ingeniero Agrícola), Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque. Cuba, 2018.
- SAN JUAN, L.J.: *Proyecto de instalación eléctrica en BT. de planta solar fotovoltaica de 24,8 kWp para parcela No. 40 del polígono 501 de Tarazona*, Ayuntamiento de Tarazona, Zaragoza, Zaragoza, España, 2017.
- SÁNCHEZ, J.A.; MARTÍNEZ, D.E.; SANTOS, R.L.; ORTEGA, J.; SÁNCHEZ, P.A.: *Aplicaciones Fotovoltaicas de la Energía Solar en los Sectores Residencial, Servicio e Industrial. Guía para el dimensionamiento y diseño de sistemas fotovoltaicos*, Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 316, ISBN-978-5-230-41732-3, México D.F., 2017.
- SAWIN, J.L.; MARTINOT, E.: "Renewables bounced back in 2010, finds REN21 global report", [en línea] *Renewable Energy World*, 29, 2011. Disponible en: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/09/renewables-bounced-back-in-2010-finds-ren21-global-report>

Javier A. León-Martínez, Profesor Asistente, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: compos@nauta.cu, jleon@unah.edu.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1606-0193>

Yanoy Morejón-Mesa, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [ymm@unah.edu.cu](mailto:yym@unah.edu.cu), ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1125-3105>

Gleiby C. Melchor-Orta, Profesora Asistente, Universidad Agraria de La Habana, Centro Universitario Municipal de Jaruco, Mayabeque, Cuba, e-mail: gmelchor@unah.edu.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1352-3639>

Luis M. Rosabal-Padrón, Profesor en adiestramiento, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: luispp@unah.edu.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6796-9156>

Rolando Quintana-Aput, Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: aput@unah.edu.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1017-6512>

Geisy Hernández-Cuello, Investigadora Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: geisyh@unah.edu.cu, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9049-3341>

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Universidad Agraria de La Habana

CENTRO DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA

-  Investigación de la Mecanización Agrícola, utilizando Sistemas Conservacionistas y Sustentables.
-  Cursos y Entrenamientos de Posgrado, Maestrías y Doctorados en Ingeniería Agrícola;
-  Editor de la Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, publicación trimestral en idioma español;
-  Servicios Científico-Técnicos:
 -  **Maquinaria Agrícola & Instrumentos de Medición:**
 - Balanza Electrónica para el Pesaje de Ganado;
 - Balanzas para Cerdos y Ovinos.
 - Laboratorio de Oleohidráulica:**
 - Descontaminación de Aceites;
 - Fabricación de Equipos Portátiles de Filtraje de Aceites;
 - Recuperación (Emboquillado) & Fabricación de Mangueras;
 - Diagnóstico y Evaluación de Circuitos Oleohidráulicos y sus Componentes;
 - Cursos y Entrenamientos de Capacitación en Olehidráulica.