

Energy characterization and savings opportunities in a company in the aquaculture sector

Yoisdell Castillo Alvarez, MS.c¹, Reinier Jiménez Borges, MS.c², José Pedro Monteagudo Yanes, Dr.C³ and Surisleydi González Clark, MS.c⁴

¹ Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú, c19773@utp.edu.pe

^{2,3} Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), Universidad de Cienfuegos, Cuba, rjimenezborges@gmail.com, monteagudojpy@gmail.com

⁴ UEB Yaguacam, Cuba, surisleydigonzalezclark@gmail.com

Abstract— Aquaculture is one of the activities with sustained growth over time that represents a source of income and food for many developing countries. However, these systems are high energy consumers and environmentally unsustainable. For this reason, the theoretical-experimental type of research carries out an energetic characterization in a company of the aquaculture sector in Cuba. For this purpose, a description of the energy-productive system was made to identify the areas and equipment with high energy consumption, being pumps, blowers and lighting with 76.14 % the most significant ones. Energy indicators were established for the company under study. The research proposes savings opportunities through the design of a solar photovoltaic system using PVSyst software modeling, and it is determined that 68 % of the energy demand could be supplied by the solar photovoltaic system.

Keywords— *aquaculture, energy characterization, energy efficiency, solar photovoltaic systems, energy indicators.*

<p>Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI). ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI). DO NOT REMOVE</p>
--

Caracterización energética y oportunidades de ahorro en una empresa del sector de la acuicultura

Yoisdell Castillo Alvarez, MS.c¹, Reinier Jiménez Borges, MS.c², José Pedro Monteagudo Yanes, Dr.C³ and Surisleydi González Clark, MS.c⁴

¹ Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú, c19773@utp.edu.pe

^{2,3} Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), Universidad de Cienfuegos, Cuba,

rjimenezborges@gmail.com, monteagudojpy@gmail.com

⁴ UEB Yaguacam, Cuba, surisleydigonzalezclark@gmail.com

Resumen— La acuicultura es una de las actividades con un crecimiento sostenido en el tiempo que representa una fuente de ingreso y de alimento para muchos países en desarrollo. Sin embargo, estos sistemas son altos consumidores de energía y poco sostenible con el medio ambiente. Es por ello, que la investigación de tipo teórico-experimental realiza una caracterización energética en una empresa del sector acuícola en Cuba. Para ello se efectuó una descripción del sistema energético- productivo para identificar las áreas y equipos de alto consumo energético siendo las bombas, sopladores y la iluminación con el 76,14 % los más significativos. Se establecieron los indicadores energéticos para la empresa objeto de estudio. En la investigación se proponen oportunidades de ahorro, mediante el diseño de un sistema solar fotovoltaico haciendo modelaciones en el software PVSyst, y se determina que el 68 % de la demanda energética podría ser suministrada por el sistema solar fotovoltaico.

Palabras Claves— acuicultura, caracterización energética, eficiencia energética, sistemas solares fotovoltaicos, indicadores energéticos.

I. INTRODUCCION

El sistema alimentario y energético a nivel mundial se enfrenta a una multitud de problemas complejos y persistentes, que provocan una inseguridad generalizada que afectan a miles de millones de personas en todo el mundo [1]. La acuicultura se ha convertido en un posible contribuyente clave a la producción mundial de alimentos, particularmente en Asia, que representa más del 90 % de esta con un crecimiento sostenido en el tiempo [2]. La llamada también piscicultura, es reconocida como una de las industrias de producción de alimentos saludables y nutritivos [3]. La acuicultura intensiva depende cada vez más de la tecnología de sistemas de recirculación (RAS), que es extremadamente eficiente en términos de uso del agua, donde se espera una inversión masiva para la optimización de estos sistemas [4]. En su investigación, [5] expone que alrededor del 70% de la producción acuícola mundial proviene de estanques. Entre los productos más comunes en la acuicultura, el camarón se considera uno de los más comerciales en todo el mundo. El cultivo de camarón no solo está asociado a generar ingresos económicos a los diferentes actores y seguridad alimentaria, sino que también con cuestiones ambientales y de seguridad energética [6]. Según [7], considera que el mayor consumo

energético en la acuicultura está relacionado con el sistema de aireación convencional que tienen una baja eficiencia y un alto consumo de energía debido a la oxigenación atmosférica, además que estos funcionan continuamente durante todo el día, incluso cuando el nivel de oxígeno en el estanque está saturado, lo que resulta en liberación de gases, desperdicio de energía y altos costos de operación. Un análisis de eficiencia energética en una granja acuícola en Tabasco para determinar la calidad en el suministro de energía mediante analizadores de redes identificó que el 98% del consumo total pertenecía a los equipos de bombeo y de aireación debido a una mala distribución de las cargas y a la temperatura de calentamiento de estos equipos [8]. En el estudio de caso de [9] en Croacia, se determina que el mayor consumo energético está relacionado con los equipos de bombeo y de aireación mecánica, realizan además un análisis energético para reducir el uso de combustible fósiles en la generación de energía. En la investigación consideran que la instalación de un sistema de turbinas eólica reduciría en un 24% el consumo de energía y una instalación fotovoltaica en el orden del 18 % siendo las alternativas más sostenible y respetuosa con el medio ambiente para los procesos de acuicultura, otra propuesta atractiva es un sistema híbrido de estas dos fuentes renovables de energía que reduce el 48% del consumo total. Las investigaciones de [10],[5] realizadas en los Estados Unidos identifican que la acuicultura depende en gran medida de los combustibles fósiles y que deben considerar realizar una transición a energía renovables para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de un combustible fósil. Se considera que las energías renovables en la actualidad solo representan el 5% del consumo total en el sector de la acuicultura, la proyección de energía renovable para el sector podría llegar al 41% del uso directo en 2050 según los escenarios modelados, lo que resultaría en un 86% menos de emisiones de CO₂ pero un 34% más en costos de electricidad.

En este contexto en Cuba en el 2011 el Ministerio de la Industria Alimenticia (MINAL) constituyó la Empresa para el Cultivo del Camarón (ECCAM), única de su tipo en el país, con el objetivo de planificar, organizar y controlar el cultivo del camarón [11]. Según [12],[13] el en 2019 la producción fue de alrededor de 6 000 toneladas, valoradas en USD 18 millones. Existen siete centros destinados a la producción de camarón, entre los que se destaca la empresa objeto de estudio.

En la actualidad, la escasa disponibilidad de los recursos fósiles para el suministro energético y los cambios ambientales que preocupan a la sociedad contemporánea,

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

hacen que las energías renovables resurjan como alternativa para el abastecimiento de la demanda energética. Gracias a que son fuentes de energías ecológicas, virtualmente inagotables, de gran capacidad energética y regeneración natural. Entre ellas podemos encontrar la energía solar, eólica, hidráulica, biomásica y la geotérmica.

II. MATERIALES Y METODOS

La metodología para el desarrollo de la revisión energética, se basa en la estructura del requisito 6.3 de la NC ISO 50001:2018 siguiendo con la mayor precisión posible los pasos que las organizaciones deben transitar en la realización de las revisiones energéticas como etapa inicial de la implementación de un SGen.

Los pasos para la correcta ejecución de una revisión energética (Fig.1) con los cuales los trabajos se desarrollarán de manera ordenada y previamente fijada, permitiendo llevar a cabo de manera eficiente un análisis de la realidad energética de la instalación, lo cual permitirá idear, adoptar y ejecutar soluciones de eficiencia energética de una manera más sencilla.

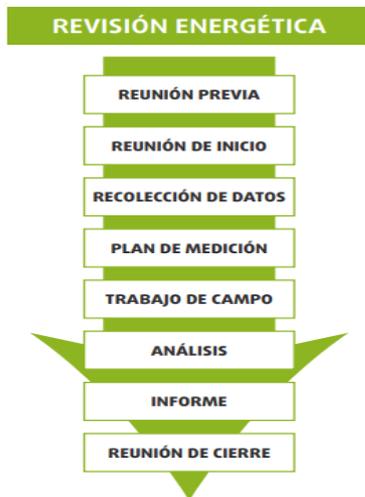


Fig. 1. Etapas de la metodología para la revisión energética. Fuente: Elaboración propia.

III. RESULTADOS

A. Caracterización energética y productiva

La empresa caso de estudio, único de su tipo en Cuba, es la encargada de producir Nauplios y Postlarvas, y de esta forma abastecer el resto de las camarónicas de nuestro país. Está compuesto por dos áreas: Edificio Administrativo y Centro de Producción.

El Edificio Administrativo es considerablemente inferior, referido a consumo energético, con respecto al Centro de Producción. En un análisis más detallado se tiene que para el año 2023, el primero presenta un consumo total de electricidad de 67 995 kWh, mientras que el otro 794 676 kWh. Significando que el 92 % del consumo total referido a electricidad está dado por el Centro de Producción.

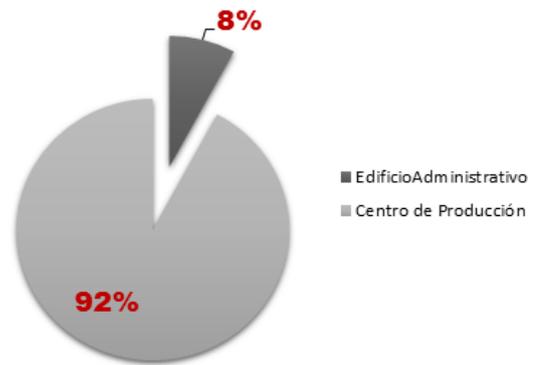


Fig. 2 Consumo de electricidad del año 2023 para el caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

El Centro de Producción trabaja de forma tal que garantiza un proceso continuo caracterizado por la existencia de cinco áreas que laboran teniendo en cuenta procedimientos de trabajo establecidos para el cultivo del camarón.

La figura 3 presenta el diagrama energético- productivo del centro de producción. Dicho centro de producción consta fundamentalmente del banco de progenitores, maduración, cría de larvas y carisombra, así como seis UEB adscritas a dicho centro de producción.

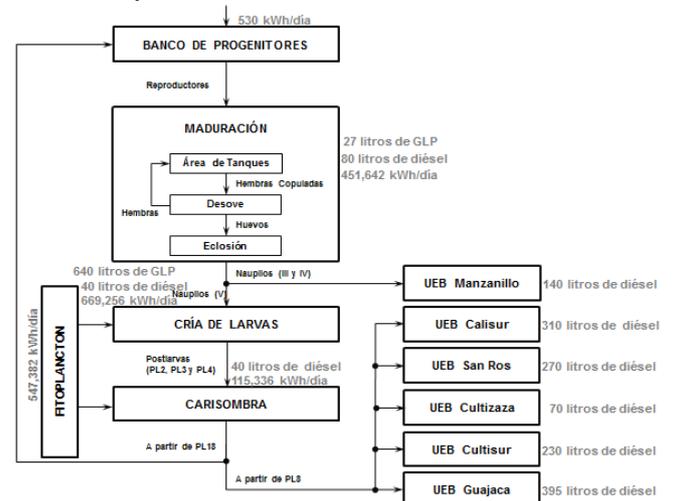


Fig. 3- Diagrama energético- productivo del Centro de Producción en la empresa caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de flujo energético de la empresa permite identificar el consumo de energía por áreas siendo el criadero de larvas el de mayor consumo energético con 669,256 kWh/día y 640 litros de GLP.

B. Caracterización energética del centro de producción

Para establecer la comparación sobre la misma base energética se acude al uso de las toneladas equivalentes de petróleo (tep), donde se hace necesario multiplicar por un factor de conversión establecido por la agencia internacional de la energía para los diferentes portadores energéticos, 1 kWh (quilowatt-hora): $0,86 \cdot 10^{-4}$ tep, 1 tonelada de diésel: 1,035 tep, 1 tonelada de gas licuado: 1,1500 tep, 1 tonelada de aceites lubricantes: 1,0557 tep.[14]

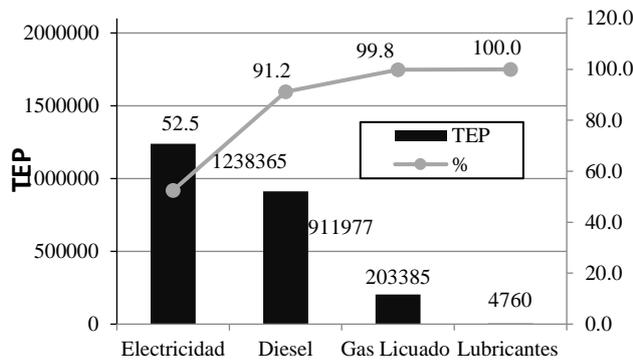


Fig. 4. Consumo de portadores energéticos en TEP para la empresa en el 2023. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los consumos de cada portador energético, se deduce que la adecuada planificación en este aspecto constituye un eslabón de gran importancia para la empresa, debido a su influencia en las ganancias y por ende en su competitividad. El portador energético de mayor influencia con el 52,5 % es la electricidad, a partir de lo cual es necesario en particular el estudio para dicho portador.

Dentro de los equipos de uso final de la energía, las bombas y los sopladores resultan ser los mayores consumidores (Fig.5). Esto está dado porque la oxigenación del agua en el centro se realiza a partir del suministro propio de oxígeno al agua (mediante sopladores) y del recambio de agua (mediante sistemas de bombeo).

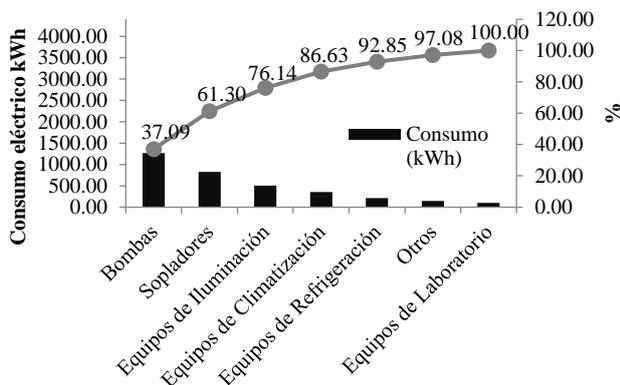


Fig. 5. Consumo eléctrico para los equipos de uso final en el 2023. Fuente: Elaboración propia.

En la fig. 6 se analiza el comportamiento de dicha energía eléctrica con respecto a la producción alcanzada en el periodo 2020-2023, en donde esta última toma en cuenta la suma entre los valores de producción de Postlarvas y Nauplios (en millones), lo que representa el producto final.

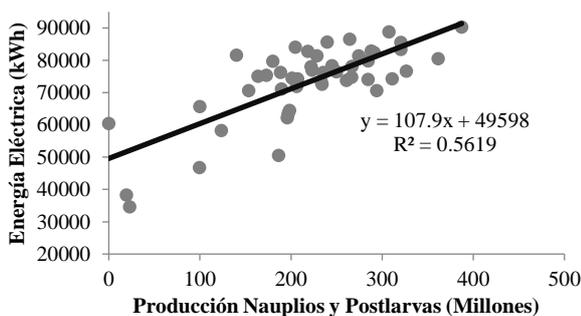


Fig. 6. Correlación entre la energía eléctrica y producción para el periodo 2020-2023. Fuente: Elaboración propia.

La línea recta obtenido a partir de la Fig.6 no resulta ser un modelo de ajuste adecuado a los puntos reales debido a que R^2 es inferior a 0,75. Se procede a realizar un filtrado de datos mediante la siguiente herramienta (ecuación 1).

$$R^2 = \frac{V_e}{V_{ne} + V_e} \quad (1)$$

$$V_e = (\text{consumo estimado} - \text{consumo promedio})^2 \quad (2)$$

$$V_{ne} = (\text{consumo observado} - \text{consumo estimado})^2 \quad (3)$$

Donde:

V_e es la variación explicada;

V_{ne} variación no explicada

El consumo observado se refiere al consumo real de electricidad; mientras que para el estimado se sustituye cada valor de producción en la ecuación de la recta.

Pueden ser eliminados todos aquellos valores con un coeficiente R^2 inferiores a 0,6 (Fig.7). No obstante se eliminaron solo algunos con el objetivo de dejar una muestra representativa, en este caso 14 valores que representan el 29 %.

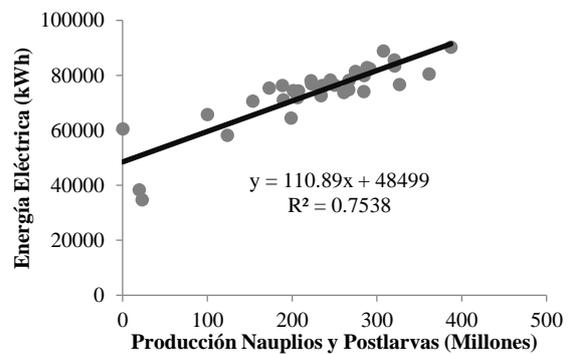


Fig. 7. Correlación entre la energía eléctrica y producción para el periodo 2020-2023 aplicada la técnica de filtrado de datos. Fuente: Elaboración propia.

Se puede afirmar que la línea recta es un modelo de ajuste adecuado a los puntos reales dado que R^2 es superior a 0,75 indicando como bueno en procesos energéticos. De ahí que, si se planifica una producción cualquiera para un mes determinado, se pudiera estar planificando además el consumo de energía eléctrica.

El intercepto con el eje Y normalmente significa la energía consumida no asociada a la producción, en este caso, dada fundamentalmente por el consumo del edificio administrativo. También se tiene que se trabaja con un sistema atípico en el que se produce en un mes y se vende en otro. Significando que se tienen gastos justificados porque sí se tiene producción, solo que no está terminada.

La fig.8 muestra el comportamiento del Indicador de Desempeño Energético (IDEn), tanto teórico como real. Para el caso del IDEn teórico se tiene en cuenta la ecuación dada por la recta obtenida en la Fig.7. A partir de esta se consideran valores supuestos a la variable producción y se sustituyen en la misma. En cuanto al IDEn real se toman los valores de energía contra producción real.

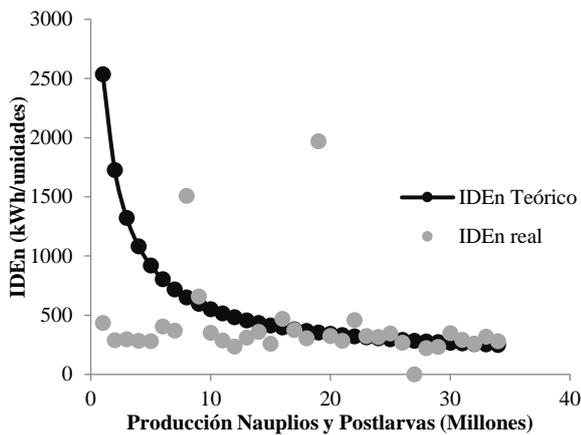


Fig. 8. IDEn teórico vs IDEn real para el periodo 2020-2023. Fuente: Elaboración propia.

Se encuentran por encima de la línea los valores correspondientes a Diciembre 2021 y 2022; Septiembre de 2023, en donde ocurrió un evento meteorológico que dio lugar a la rotura del grupo electrógeno con que se trabajaba y por ende a la pérdida de producción.

Válido aclarar que se trabaja con seres biológicos, lo que significa que se planifica una producción que puede variar en dependencia de cualquier enfermedad que puedan presentar los animales. Ejemplo, lo típico en estos meses de Mayo-Agosto es el desove de cangrejo en las costas, lo que trae consigo la aparición del hongo en las larvas y donde, en la mayoría de los casos no existe respaldo para atacar la enfermedad. También cobra gran auge el tipo de alimentación, los animales se sustentan según el estado con alimentos específicos que de no ser aplicados varía su rendimiento.

A partir de que la energía eléctrica para dicho caso de estudio refleja un papel fundamental, se decide dado que el 52,5 % del consumo de los portadores energéticos puede estar suplido por un sistema solar fotovoltaico, considerar esta oportunidad de ahorro como una alternativa que no impide la paralización del proceso de producción.

Para determinar el potencial fotovoltaico se analiza la ubicación de Cuba y el nivel de radiación solar en la zona donde se encuentra la empresa (Fig.9).

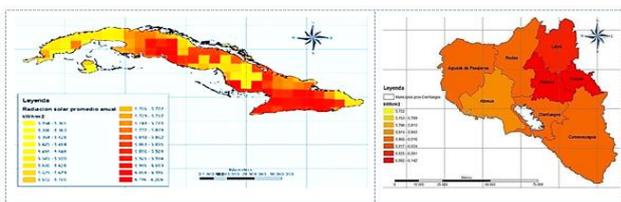


Fig. 9. Mapa de radiación solar. [15]

Como se muestra en la figura 9 se presentan valores con un promedio anual de 5-6 kWh/m². La provincia de Cienfuegos representa una de las principales potencias con una radiación de 6 a 6,5 kWh/m²/día [14] [15]. En el caso específico del municipio Cumanayagua, donde está ubicado el Centro de Producción se tiene que la potencia solar promedio oscila entre 5,96-6,01 kWh/m² .[15]

La instalación de los paneles solares se realizará sobre las cubiertas de las naves que conforman el Centro de Producción. La figura 10 muestra su ubicación y estructura. La entidad se

encuentra en Carretera a Trinidad, km 63 ½, Yaguanabo, Cumanayagua, Cienfuegos. Las coordenadas geográficas son: 21,8530° de latitud Norte y 80,2040° de longitud Oeste a 5 m sobre el nivel del mar. Cuenta con diez naves (b) de similares características constructivas con techos de zinc soportados sobre vigas canal y paredes de hormigón armado. Los mismos son de dos aguas con inclinación al noreste (NE) y suroeste (SW) (c).

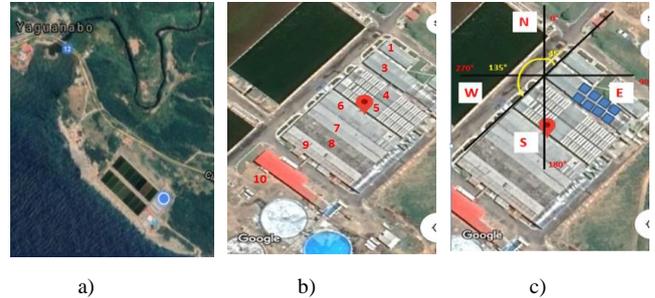


Fig 10 (a, b, c)- Ubicación de la empresa, naves y coordenadas geográficas. [15]

La carga instalada es de 295,67 kW y depende de la potencia de cada uno de los equipos existentes. Mientras que la demanda de energía es de 3 419,90 kWh/día, como fue analizado anteriormente.

C. Selección del módulo fotovoltaico e inversor

El módulo fotovoltaico seleccionado para la instalación es el DSM-270. En la tabla 1 se presentan las características que lo conforman. Está compuesto por 60 celdas solares del formato 156,75 mm x 156,75 mm, con dimensiones incluyendo el marco de 1 650 mm x 990 mm x 40 mm conectadas en serie.

El arreglo de celdas solares se encuentra encapsulado en el interior de dos láminas de EVA (Etilen Vinil Acetato), insertado a la vez entre un vidrio templado con un espesor de 3,2 mm por la parte frontal y por el dorso una lámina multicapas con excelentes propiedades eléctricas, químicas y mecánicas, la cual garantiza la protección del módulo y una adherencia perfecta con el EVA. La tabla 2 resume las principales características del inversor a utilizar modelo UNO-7,6-OUTD-US-S-A (208 V)

Tabla 1. Características técnicas del módulo fotovoltaico DSM-270

Modelo	DSM-270	
Celda	Silicio Multicristalino	
Dimensiones	1650 mm x 990 mm x 40 mm	
Cubierta Frontal	Vidrio templado	
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado	
Peso	18,1 kg	

Tabla 2. Características técnicas del inversor UNO-7,6-OUTD-US-S-A (208 V)

Modelo	UNO-7,6-OUTD-US-S-A (208 V)	
Fabricante	ABB	
Tensión Mín. para Pnom (V)	200	
Lado de Salida-Frecuencia	Monofásica-60 Hz	
Potencia Nominal CA (kW)	7,60	
Corriente CA nominal (A)	36,0	

En la fig.11, se muestra las principales dimensiones de las naves en el Centro de Producción, así como orientación cardinal. Todos los techos son de dos aguas y se consideran aptos para la instalación de paneles solares. En este caso no existen sombras que intervengan en el funcionamiento de los paneles, pues se tuvo en cuenta la distancia entre ellos.

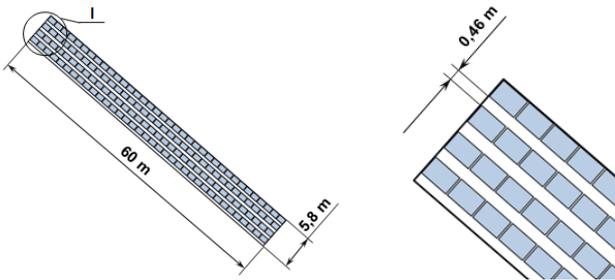


Fig. 11- Principales dimensiones de los techos existentes a dos aguas. Fuente: Elaboración Propia.

El área del techo para ambas orientaciones en las naves desde la 3 hasta la 9 es de 348 m². Considerando que un módulo FV posee un área superficial de 1,63 m², se cuenta con un área disponible de 237,6 m²; la cual representa el 68 % del área total del techo. Similar resultado se obtiene para la orientación noroeste (NW) en la nave 10 (Tabla 3). En cuanto a la distancia entre paneles se tiene que, se realiza una distribución en la que se deja un pasillo intermedio que posibilita el montaje, la limpieza y mantenimiento de estos.

Tabla 3. Dimensiones principales de las naves disponibles.

Número de nave	Orientación cardinal	Largo total (m)	Ancho total (m)	Ancho pasillos (m)	Área a techo (m ²)	Área disponible (m ²)
1 - 2	NE	20	5,8	1,84	116	79,2
	SW	20	5,8	1,84	116	79,2

3 - 9	NE	60	5,8	1,84	348	237,6
	SW	60	5,8	1,84	348	237,6
10	NE	60	5,8	1,84	348	237,6
	SW	35	5,8	1,84	203	138,6

En la tabla 4 se tienen los resultados obtenidos a partir de la modelación analítica realizada. En las orientaciones NE y SW se necesitan 48 módulos para cada nave analizada, representando una superficie total ocupada de 78 m²; por lo que el área disponible en las naves 1 y 2 permite la ubicación de 96 módulos, respectivamente.

Tabla 4. Resultados obtenidos a partir de la modelación analítica.

Número de nave	Orientación cardinal	Área disponible (m ²)	Número de módulos	Superficie de módulos (m ²)
1	NE	79,2	48	78
1	SW	79,2	48	78
2	NE	79,2	48	78
2	SW	79,2	48	78

Se necesitarán 12 módulos en serie y 4 cadenas para cada orientación y nave, generándose 13 kWp.

D. Modelación de las naves en el PVSyst versión 7.1

A partir de que el área para este caso es de 237,6 m² se decidió modelar en dos mitades dicha orientación, por lo que el área a introducir en este momento es 118,8 m².

Cada orientación requiere de 144 módulos fotovoltaicos; por lo que de manera independiente para las naves desde la 3 hasta la 9 se necesitan 288 módulos. Un resumen se muestra en la tabla 5 en la que se tiene que la superficie ocupada por los módulos representa el 99,3 % del área disponible.

Tabla 5. Resultados de la modelación en el PVSyst versión 7.1

Número de nave	Orientación cardinal	Área disponible (m ²)	Número de módulos	Superficie de módulos (m ²)
3-10	NE	237,6	144	236
3-9	SW	237,6	144	236
10	SW	138,6	78	127

En este caso se necesitan 2 inversores del tipo señalado en la tabla 2, en un arreglo de 13 módulos en serie y 6 cadenas, los cuales cuentan con una potencia instalada de 21,1 kWp.

E. Evaluación Económica

La evaluación económica se realiza con el objetivo de conocer si es viable o no ponerlo en marcha el sistema fotovoltaico. Para ello se tiene en cuenta los ingresos que están dados por el ahorro y exportación o venta de energía al sistema eléctrico;

los gastos referidos a mantenimiento y reemplazo de la instalación a lo largo de su vida útil; costos de la inversión donde se tienen en cuenta el precio de los paneles, inversores, mesas de fijación, cableado, tornillería, entre otros; además de tener en consideración los siguientes factores como: tasa de impuesto, inflación y descuento, margen de riesgo proporcionados por el banco, y el período de vida útil de los paneles, para así poder conocer de forma más certera el período de tiempo en que se recuperará la inversión y las ganancias que traerá consigo.

Ingresos estimados

Para el cálculo de ingresos [16] plantea las ecuaciones 4, 5, 6 y 7.

$$\text{Ing. T} = \text{Ing. A} + \text{Ing. V} \quad (4)$$

Donde:

Ing.T – Ingresos totales

Ing.A- Ingreso por ahorro

Ing.V-Ingreso por venta

En la ecuación 5 se estiman los ahorros por el sistema fotovoltaico que es la relación entre la energía generada por horas y los días de trabajo del sistema.

$$\text{Ing. A} = \text{EGSSFV} * \text{PEDT} \quad (5)$$

Donde:

Ing.A-Ingreso por ahorro

PEDT - Precio de la Energía por Días de Trabajo

EGSSFV: Energía Generada por el Sistema Solar Fotovoltaico, donde [19] plantea:

$$\text{EGSSFV} = 0,80\text{kWp} * \text{PRS} * \eta_{\text{inv}} * \text{Fred} \quad (6)$$

$$\text{EGSSFV} = 0,80 * 655,1 \text{ kW} * \frac{6\text{h}}{\text{día}} * 0,95 * 0,78$$

$$\text{EGSSFV} = 2 330,06 \text{ kWh/día}$$

η_{inv} : Eficiencia del inversor. En este caso se considera de un 95 %.

Fred: Factor de reducción. La eficiencia de los módulos se reduce a medida que pasan los años, a tal punto que al cabo de los 25 años se puede llegar a reducirse hasta 80 % de su valor inicial. Se debe considerar un factor de envejecimiento de 0,87 y un factor de suciedad óptica de 0,9, cuya multiplicación da origen a este valor. En este caso 0,78.

PRS: Horas de Radiación Solar. Como fue tratado con anterioridad Cienfuegos presenta valores de 6 a 6,5 h. En este caso se toma el valor mínimo.

Para obtener el precio en CUP se multiplica el USD por 24 que es la tasa de cambio en el momento de la investigación.

\$/kWh: La venta del kWh a la UNE se considerará como el costo en \$USD en la Central Termoeléctrica a 0,24 \$USD/kWh=5,76 cup/kWh.

Días de trabajo: Se consideran los 365 días del año por tratarse de un proceso continuo.

$$\text{Ing. A} = 2 330,06 \text{ kWh/día} * 5,76 \text{ cup/kWh} * 365 \text{ día/Año}$$

$$\text{Ing. A} = 4 898 718,14 \text{ cup/Año}$$

Los ingresos por venta al SEN están dados por la diferencia entre lo generado por el sistema y la demanda de electricidad. En este caso el sistema solo abastece el 68 % de lo requerido. De ahí que no existen ventas y, por tanto:

$$\text{Ingresos totales} = \text{Ingresos por ahorro}$$

$$\text{Ingresos totales} = 4 898 718,14 \text{ cup/Año}$$

Gastos

Se considerarán los gastos anuales como el 25 % de los ingresos.

$$\text{Gastos} = 0,25 * \text{Ingresos totales} \quad (7)$$

$$\text{Gastos} = 0,25 * 4 898 718,14 \text{ cup/Año}$$

$$\text{Gastos} = 1 224 679,59 \text{ cup/Año}$$

Costo de Inversión

Los costos referidos a inversión se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de los costos asociados

Elementos	Cantidad	Costo por unidad	Precio Total (USD)	Precio Total (CUP)	Fuente Bibliográfica
Paneles	2430	351	852930	20470320	[18]
Inversores	70	1569	109830	2635920	[23]
Otros Costos	-	-	143860,69	3452656,56	[20]
Total			1 106 620,69	26 558 896,56	-----

Los otros costos se encuentran asociados a: mesa de fijación, cableado tornillería y otros.

Se considera un 35 % de tasa de impuesto, 5 % tasa de inflación, 8 % tasa de descuento, y 3 % de margen de riesgo [17] [18].

Estos datos son introducidos en una hoja de cálculo Excel para realizar el análisis económico. En la fig.12 se muestran los resultados.

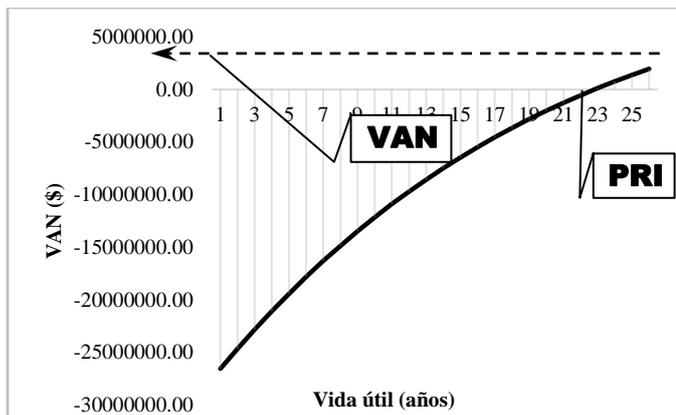


Fig. 12- VAN y PRI para el análisis económico. Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar la inversión es recuperada al cabo de 22 años (Fig.12). Es por ello que se analizan otras variantes en donde se consideran otros costos de inversión. Para ello se considera la variante siguiente:

Costo de la Inversión

$$1kWp = 1\,130\text{ USD} [19] [20]$$

$$\text{Costo de la Inversión} = 1\,130\text{ USD/kW} \cdot kWp$$

$$\text{Costo de la Inversión} = 1\,130\text{ USD/kW} \cdot 655,1\text{ kW}$$

$$\text{Costo de la Inversión} = 740\,263\text{ USD} = 17\,766\,312\text{ cup}$$

Se considera un 35 % de tasa de impuesto, 5 % tasa de inflación, 8 % tasa de descuento, y 3 % de margen de riesgo [17] [18].

Estos datos fueron procesados y presentados en la fig. 13

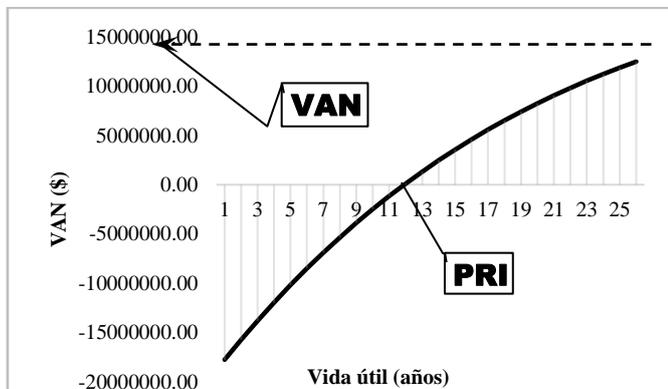


Fig. 13- VAN y PRI para el análisis económico considerando la inversión de 740 263 USD. Fuente: Elaboración Propia.

Los ingresos por concepto de ahorro de combustible considerando la energía dejada de entregar por el grupo electrógeno, equivalente a la entregada por el SSFV están dados en la ecuación 8.

$$G_{\text{comb}} = E_{\text{gelec}} * 365\text{ día/año} * g_{\text{esp gelec}} \quad (8)$$

Donde:

E_{gelec} - Energía eléctrica generada por el grupo electrógeno.
 $g_{\text{esp gelec}}$ - Consumo específico del grupo electrógeno. Es considerado un valor de los equipos más modernos (0,236 kg/kWh) al no tener el valor real del equipo en funcionamiento.

Sustituyendo valores en la ecuación 8

$$G_{\text{comb}} = \frac{2\,330,1\text{ kWh}}{\text{día}} * 365 \frac{\text{día}}{\text{año}} * \frac{0,236\text{ kg}}{\text{kWh}} = 200\,707,1 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Considerando el valor de la densidad del diésel ($\rho_{\text{diésel}}$) de 850 kg/m³ el flujo volumétrico de diésel es de 236 125,9 litros/año.

El valor del litro de diésel para Cuba dado en [17].

1 litro = 1 \$ USD; 0,831 €

El ingreso por ahorro de combustible en CUP es:

$$\text{Ingreso ahorro diésel} = 236\,125,9\text{ litros} * 1\text{ \$USD/litro} * 24\text{ \$CUP/\$USD} = 5\,667\,022,9\text{ \$CUP}$$

IV. CONCLUSIONES

El Centro de Producción está compuesto por cinco áreas en donde el proceso productivo requiere del cumplimiento de parámetros físico-químicos que originan el consumo de 2 313,62 kWh, 667 litros de GLP y 160 litros de diésel diarios.

El portador energético de mayor consumo es la electricidad siendo las bombas, sopladores e iluminación con el 76,14% los equipos más representativos del consumo total en la empresa.

La energía no asociada a la producción presenta un valor elevado en el entorno de 48 499 kWh relacionado a que el proceso requiere mínimo de 16 días para finalizar y la existencia de un Edificio Administrativo.

En la modelación mediante software PVSyst el número de paneles solares esta alrededor de 2430 para garantizar una potencia nominal de 655,1 kWp con aproximadamente 70 inversores y el modelo fotovoltaico seleccionado es DSM-270, y el inversor del tipo ABB UNO-7,6-OUTD-US-S-A (208 V).

La entidad demanda un total de 3 419,90 kWh/día la cual puede ser abastecida hasta el 68 % por el SSFV a instalar, sin embargo, este no se considera económicamente rentable ya que la inversión demora un tiempo considerable para recuperarse, debido fundamentalmente a los altos precios de los elementos que conforman el SSFV.

REFERENCIAS

- [1] R. Zhang, T. Chen, Y. Wang, and M. Short, "Systems approaches for sustainable fisheries: A comprehensive review and future perspectives," *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 41, no. August, pp. 242–252, 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.08.013.
- [2] FAO, *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul.* 2022.
- [3] D. Erdemir and I. Dincer, "Development of renewable energy based green hydrogen and oxygen production and electricity generation systems for sustainable aquaculture," *J. Clean. Prod.*, vol. 434, no. November 2023, p. 140081, 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.140081.
- [4] D. Bögner, M. Bögner, F. Schmachtl, N. Bill, J. Halfer, and M. J. Slater, "Hydrogen peroxide oxygenation and disinfection capacity in recirculating aquaculture systems," *Aquac. Eng.*, vol. 92, no. May 2020, 2021, doi: 10.1016/j.aquaeng.2020.102140.
- [5] L. N. Jescovitch and C. E. Boyd, "A case study: Impacts of deviating from model research design to

- the commercial industry for split-pond aquaculture,” *Aquac. Eng.*, vol. 79, no. September, pp. 35–41, 2017, doi: 10.1016/j.aquaeng.2017.09.001.
- [6] N. T. Nguyen and R. Matsuhashi, “An Optimal Design on Sustainable Energy Systems for Shrimp Farms,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 165543–165558, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2952923.
- [7] M. Salmi, A. B. Baci, M. Inc, Y. Menni, G. Lorenzini, and Y. Al-Douri, “Desing and simulation of an autonomous 12.6 kW solar plant in the Algeria’s M’sila region using PVsyst software,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 262, no. July 2021, p. 169294, 2022, doi: 10.1016/j.ijleo.2022.169294.
- [8] C. Sánchez-Ramos, D. Jiménez-Rodríguez, C. Ruiz, and F. Márquez, “Análisis de eficiencia energética en una granja de producción acuícola,” *Iec2019*, no. November, pp. 139–146, 2019.
- [9] T. Bujas, M. Koričan, M. Vukić, V. Soldo, N. Vladimir, and A. Fan, “Review of Energy Consumption by the Fish Farming and Processing Industry in Croatia and the Potential for Zero-Emissions Aquaculture,” *Energies*, vol. 15, no. 21, 2022, doi: 10.3390/en15218197.
- [10] R. E. Scroggins *et al.*, “Renewable energy in fisheries and aquaculture: Case studies from the United States,” *J. Clean. Prod.*, vol. 376, no. March, p. 134153, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134153.
- [11] Y. Corrales Barrios *et al.*, “Effects of Fructooligosaccharides (FOS) on the Immune Response of the Shrimp *Penaeus vannamei* and on the Reduction in *Vibrio* spp. and *Pseudomonas* spp. in Cultures of Post-Larvae,” *Microbiol. Res. (Pavia)*, vol. 14, no. 3, pp. 870–882, 2023, doi: 10.3390/microbiolres14030060.
- [12] E. Casado *et al.*, “Genetic diversity and growth-related traits in *Penaeus vannamei* after ten years without introducing new stocks into Cuba,” *Aquaculture*, vol. 554, no. March, 2022, doi: 10.1016/j.aquaculture.2022.738097.
- [13] E. Gertrudis and E. Martínez, “Considerations on the Shrimp Value Chain in Cuba . Notes for a Diagnosis,” 2020.
- [14] ePA, “Calculador de equivalencias de gases de efecto invernadero,” 2024. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero#results>
- [15] R. Díaz Santos, M. Castro Fernández, A. Santos Fuentefría, and M. Vilaragut Llanes, “Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica,” *Ing. Energética*, vol. 39, no. 3, pp. 146–156, 2018.
- [16] M. De and C. Cienfuegos, “Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en la Delegación Provincial de,” no. October, 2022.
- [17] 22-abr-2024 Precios del diesel, “GlobalPetrolPrices.” https://es.globalpetrolprices.com/Cuba/diesel_prices/
- [18] González, Andrés Lorenzo Álvarez, et al., “Photovoltaic generation potentials on buildings in a hotel facility,” *University and Society*, 2022, vol. 14, no 3, p. 1. 565-573.
- [19] M. De and C. Cienfuegos, et al., “Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en la Delegación Provincial de Materiales de la Construcción. Cienfuegos,” no. October, 2022.
- [20] Álvarez González, Andrés Lorenzo, et al., “Photovoltaic generation potentials on buildings in a hotel facility,” *Journal University and Society*, 2022, vol. 14, no 3, p. 1. 565-573.
- [21] Monteagudo-Yanes, José Pedro; Jiménez-Borges, Reinier, et al., “Potentials of solar energy use at the headquarters of the University of Cienfuegos,” *UGC Magazine*, 2023, vol. 1, no 2, p. 1. 45-54.
- [22] Borges, Reinier Jiménez; GONZÁLEZ, Andrés L. Álvarez; YANES, José P. Monteagudo, et al., “Advantages of the photovoltaic generation in the University Technology Park,” *Eco Solar*, 2022, no 80, p. 18-23.
- [23] Hernández Morales, Carlos, et al., “Preliminary project of photovoltaic solar system in graduate university hotel at Cienfuegos University,” *University and Society Magazine*, 2020, vol. 12, not 6, p. 1. 163-169.