

**ASIGNACIÓN DE RECURSOS
DISTRIBUIDOS DE UNA MICRORED
ELÉCTRICA DESTINADA AL
AUTOCONSUMO DE UNA CLÍNICA
UTILIZANDO EL ALGORITMO DE
COLONIA DE HORMIGAS**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ASIGNACIÓN DE RECURSOS DISTRIBUIDOS DE UNA MICRORED
ELÉCTRICA DESTINADA AL AUTOCONSUMO DE UNA CLÍNICA
UTILIZANDO EL ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de INGENIERO ELÉCTRICO

AUTOR: STEVEN FITZGERALD RIOS MEDINA
TUTOR: EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES

**Quito – Ecuador
2024**

Steven Fitzgerald Ríos Medina

ASIGNACIÓN DE RECURSOS DISTRIBUIDOS DE UNA MICRORED ELÉCTRICA DESTINADA AL AUTOCONSUMO DE UNA CLÍNICA UTILIZANDO EL ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS

Universidad Politécnica Salesiana
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Steven Ríos (Y'1991). Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se fundamenta en la Asignación de Recursos Distribuidos de una Microred Eléctrica Destinada al Autoconsumo de una Clínica Basado en el Algoritmo de Colonia de Hormigas.

sriosm@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Edwin Marcelo Garcia Torres (Y'1978 -SM10). Se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana y de Master en Gestión de Energía. Actualmente, cuenta con un doctorado en Ingeniería con la Universidad Pontificia Bolivariana. Área de interés: respuesta a la demanda, sistemas de automatización. En la actualidad es miembro del Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group).

egarcia@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS
©2024 Universidad Politécnica
Salesiana QUITO-ECUADOR

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Steven Fitzgerald Ríos Medina con documento de identificación N° 1719884783 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y autorizo, a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 29 de febrero del año 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'S. Fitzgerald Ríos Medina', is written over a horizontal line. The signature is fluid and cursive.

Steven Fitzgerald Ríos Medina

1719884783

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Steven Fitzgerald Ríos Medina, con documento de identificación N° 1719884783, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Asignación de recursos distribuidos de una microred eléctrica destinada al autoconsumo de una clínica utilizando el algoritmo de colonia de hormigas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de febrero del año 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'S. Fitzgerald Ríos Medina', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Steven Fitzgerald Ríos Medina

1719884783

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edwin Marcelo García Torres con documento de identificación N° 1803087400, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación ASIGNACIÓN DE RECURSOS DISTRIBUIDOS DE UNA MICRORRED ELÉCTRICA DESTINADA AL AUTOCONSUMO DE UNA CLÍNICA UTILIZANDO EL ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS, realizado por Steven Fitzgerald Ríos Medina, con documento de identificación N° 1719884783, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 29 de febrero del año 2024

Atentamente,



.....
Ing. Edwin Marcelo García Torres, PhD

1803087400

Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
1. Introducción.....	3
2. Marco Teórico	5
3. Problema	11
4. Caso de estudio	12
5. Análisis de resultados.	20
6. Conclusiones.....	21
7. Trabajos futuros.	22
8. Referencias.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Paridad de Red	7
Fig. 2 Diagrama Sistema fotovoltaico.	7
Fig. 3 Inicialización y distribución de hormigas según la función y aptitud	9
Fig. 4 Limitación del intervalo de búsqueda	10
Fig. 5 Las hormigas se mueven hacia el lugar de optimización.....	10
Fig. 6 Flujograma del algoritmo de optimización por colonia de hormigas.	11
Fig. 7 Esquema unifilar clínica	12
Fig. 8 Perfil de consumo diario comercial	13
Fig. 9 Proceso Gráfico del Algoritmo	14
Fig. 10 Esquema Unifilar con Generación Fotovoltaica para la Clínica	15
Fig. 11 Tiempo vs Angulo de incidencia.	16
Fig. 12 Potencia de salida fotovoltaica en función del tiempo	17
Fig. 13 Consumo de la red eléctrica convencional.....	18
Fig. 14 Producción de energía renovable de la Microred.	19
Fig. 15 Porcentaje de penetración de energía renovable.	19
Fig. 16 Inserción de energía renovable sobre la demanda requerida.....	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Total Energía Clínica.....	13
Tabla 2 Variables pseudo código.	13
Tabla 3 Pseudo Código Implementación de algoritmo de colonia de hormigas para generación fotovoltaica.	13

ASIGNACIÓN DE RECURSOS DISTRIBUIDOS DE UNA MICRORED ELÉCTRICA DESTINADA AL AUTOCONSUMO DE UNA CLÍNICA UTILIZANDO EL ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS

Resumen

La mala calidad de la energía, es una problemática que sigue abordando a la industria y comercios en general, los constantes huecos de tensión que además de privar de un servicio continuo al consumidor, amenazan con causar daños a los equipos, esto ha creado la necesidad de buscar fuentes de generación alternativas, amparadas en algoritmos o sistemas que permitan un aprovechamiento al máximo del recurso. En el contexto de una clínica, la Microred eléctrica busca optimizar la distribución de recursos, en este caso la generación, para mejorar la confiabilidad y eficiencia del suministro eléctrico. La implementación del algoritmo de colonia de hormigas implica la simulación de comportamientos de hormigas para encontrar la mejor configuración de recursos. Las hormigas virtuales exploran diferentes combinaciones de asignación de recursos, dejando feromonas que representan la calidad de las soluciones encontradas. A medida que las hormigas encuentran soluciones más eficientes, las feromonas aumentan, guiando a otras hormigas hacia configuraciones similares. Este proceso iterativo continúa hasta converger hacia una solución óptima o subóptima para la asignación de recursos en la Microred. El algoritmo de colonia de hormigas se emplea para optimizar la asignación de recursos en una Microred eléctrica de una clínica con problemas de calidad de energía, buscando mejorar la eficiencia y la confiabilidad del sistema

Abstract

The poor quality of energy remains a problem for industries and businesses in general. The constant voltage gaps not only disrupt continuous service for consumers but also pose a threat of damage to equipment. This has led to a need for alternative generation sources, supported by algorithms or systems that maximize resource utilization. In the context of a clinic, the electrical microgrid aims to optimize the distribution of resources, specifically generation, to enhance the reliability and efficiency of the electrical supply.

The implementation of the ant colony algorithm involves simulating ant behaviors to find the best resource configuration. Virtual ants explore different resource allocation combinations, leaving pheromones that represent the quality of the solutions found. As ants discover more efficient solutions, pheromone levels increase, guiding other ants toward similar configurations. This iterative process continues until converging towards an optimal or suboptimal solution for resource allocation in the microgrid.

The ant colony algorithm is employed to optimize resource allocation in an electrical microgrid of a clinic facing energy quality issues, aiming to improve efficiency and reliability of the electrical system by simulating ant-inspired behaviors. Proper implementation of this algorithm enables the user to transition

eléctrico mediante la simulación de comportamientos inspirados en las hormigas. La correcta implementación de este algoritmo, permite al usuario convertirse ya no solo en consumidor, sino en productor de energía, capaz de suplir sus necesidades y administrar el excedente energético.

Palabras Clave: Demanda de energía; Generación solar; Metaheurística; Métodos de optimización; Microred; Optimización de colonia de hormigas; Paneles Solares; Sistemas Fotovoltaicos.

from being just a consumer to a producer of energy, capable of meeting their needs and managing energy surplus.

Keywords: Microgrid; Photovoltaic systems; Solar panels; Metaheuristics; Optimization methods; Ant colony Optimization; Power demand; Solar power generation.

1. Introducción

El continuo avance tecnológico, aplicado a la generación, transmisión y distribución eléctrica, logró un aumento del 5% en la demanda energética mundial durante el 2021 y está cumpliendo el con el 8% estimado para el 2022, a tal punto que, para dicho año, existió un incremento de 1674GW en cuanto a energías renovables (excluyendo las hidroeléctricas) contabilizando 825GW en parques eólicos y 849GW en sistemas fotovoltaicos [1].

El avance del cambio climático, se debe al uso de recursos naturales no renovables, para generación de energía eléctrica, mismo que se ve representado por los dos tercios de las emisiones de carbono. Para lograr mermar este impacto, es imprescindible, empezar a migrar paulatinamente de los tipos de generación centralizados tradicionales, hoy en día se ve necesario la implementación de redes bidireccionales, capaces de abarcar diferentes fuentes energéticas, según amerite el momento y la situación [2].

Esto ha fomentado la intención de uso de pequeñas plantas con energía renovable, cada vez más grandes. Plantas combinadas con microredes eléctricas, en las cuales el consumidor, es quien tiene el control de la producción y consumo energético [3][4] brindando numerosos beneficios al usuario [5], tales como:

- Mejorar la confiabilidad energética.
- Producción de energía idónea para cubrir las horas pico, reduciendo las sobrecargas y los cortes eléctricos.
- Participación constante en la producción de electricidad, que permita generar la energía suficiente para cumplir las necesidades del usuario.

Actualmente, el mercado eléctrico busca el ahorro y la eficiencia eléctrica, además de reducir la dependencia de combustibles

fósiles, valiéndose principalmente de las energías renovables [6].

El desarrollo de las energías renovables, era un tema que trataban únicamente las empresas eléctricas, mediante la construcción e implementación de enormes unidades generadoras, el constante desarrollo energético ha logrado democratizar el uso de las mismas, llevándolas al alcance del usuario final con fuentes de generación de menor escala, pero con la misma eficiencia, creando la figura del prosumidor, que no es más que la capacidad que tiene el usuario para, a partir de su infraestructura, producir su propia energía, aprovechando los recursos que su entorno le brinda, tanto para su beneficio propio, como para distribuir a otros consumidores [5].

Estas nuevas fuentes de generación, se basan principalmente en la instalación de generadores fotovoltaicos (GFV), ya que representan una mayor facilidad de instalación, permiten el aprovechamiento de espacios muertos y han venido experimentando disminución en los costos de implementación, lo que las convierte en una alternativa atractiva tanto para entidades públicas, como privadas, pues pueden sin ningún problema enfrentarse a las plantas generadoras tradicionales en la producción de energía en el orden de los Mega voltamperios, esto sumado a la leve dificultad que presentan los estudios de ingeniería y casi nulos problemas de calidad de energía e impactos ambientales [7]. El autoconsumo como tal, ayuda al usuario a remediar de cierta forma, cualquier inconveniente suscitado con la demanda energética, de una forma amigable con el medio ambiente [8], esto, junto con lo antes mencionado, ha impulsado la instalación de cada vez más microredes con GFV,

obligando a los estados a realizar esta transición energética, creando reglamentos y recompensas que flexibilicen el mercado eléctrico, como sucede ya en otros países con una mayor incurrencia en el uso de estas tecnologías, demostrando que el correcto funcionamiento y beneficio mutuo (operador eléctrico – usuario) depende totalmente de la creación de una correcta legislación [9]. Sin embargo, estas facilidades no implican que la GFV sea siempre la mejor opción a elegir en el ámbito económico [10], para esto, será necesario analizar si el proyecto cumple con el concepto de paridad de red, es decir se debe analizar (en determinada unidad de tiempo) si el generador alternativo, produce energía eléctrica a un costo económico igual o menor que el que supone la compra de energía a la red tradicional, tomando el caso específico de la GFV, esto ocurre al momento que el coste energético nivelado (LCOE), está a la par o en niveles inferiores a la tarifa regular de la comercializadora eléctrica [11].

Una vez hecho este análisis, depende de cada entidad reguladora del mercado eléctrico, definir el mecanismo económico y de incentivos a implementarse [12], tales como Feed-in Tariff (FiT), Balance neto de Energía (NMe -Net Metering) y Balance neto de Facturación (NBi -Net Billing) [13]. Cabe aclarar que en su mayoría estos mecanismos están orientados al consumo residencial, con posibilidad de adaptación al medio comercial.

En Ecuador, la entidad encargada de marcar las directrices en el área de las energías renovables, es la ARC, es decir la entidad que regula y controla los recursos energéticos no renovables, dicha agencia se ha encargado de crear varias resoluciones y regulaciones que abordan el tema del

autoconsumo, dentro de las mismas, se encuentran normativas e incentivos que permitan una adecuada vinculación con la red tradicional, con el fin de alentar el autoconsumo [14].

La ubicación geográfica del país, lo convierte en candidato excepcional para la implementación de GFV, puesto que, al estar en el centro del planeta, la incidencia de los rayos solares, es de manera perpendicular, además de tener una mínima variación posicional del sol. Esto es fácilmente observable en el Balance Nacional de Energía Eléctrica, que con corte septiembre 2022, contabiliza una potencia nominal de 202.42 MW, es decir el 2.3% atribuido a energías renovables (sin tomar en cuenta la generación hidráulica), de donde la energía fotovoltaica aporta el 0.33% del total [10], esto sumado al 39.04% de energías no renovables, abastecen la demanda eléctrica nacional, conformada por un 32.98% de consumo residencial, 6.30% de alumbrado público, 11.39% de otros servicios, 25.38% industrial y 16.56% comercial, siendo estos últimos, los que de a poco van apostando a la creación de fuentes de generación alternativas para su propio uso [15].

La Unión Europea, siempre ha sido precursora en la modernización eléctrica y más aún si tiene que ver con la conservación del medio ambiente, tanto así que para el 2020, lograron cumplir su proyección de aumentar en un 20% su cuota de energías renovables [16], obligando a sus estados a la creación de políticas que simplifiquen la tramitología e incentiven al usuario a optar por el autoconsumo, sin embargo, no existe uniformidad en los mercados eléctricos de los países miembros, puesto que hay unos enfocados más en el ámbito residencial, montados sobre tejados y con una capacidad

limitada, que cuentan con un mayor enfoque de subsidio, mientras las instalaciones industriales, tienen a óptica [17].

A continuación, se tratará acerca de la asignación de recursos distribuidos para una Microred eléctrica fotovoltaica, basada en el algoritmo de optimización por colonia de hormigas, destinada al autoconsumo eléctrico en una clínica de especialidades de la ciudad de Quito-Ecuador, la que ha venido experimentando diferentes fallos eléctricos en sus instalaciones, atribuidos entre otros a la mala calidad de energía del sector. Con el fin de precautelar los equipos médicos de la clínica, así como la salud de los pacientes que ingresan en quirófano, se analizará factibilidad de una desconexión total o parcial de la red eléctrica pública, tomando en cuenta la logística y costos de inversión que esto implica y que vayan acorde con la capacidad por la que se puede optar. Todo esto con el fin de crear un precedente en usuarios comerciales, aprovechando los bajos costos de implementación que existen en la actualidad, a consecuencia de la modernización de esta tecnología, así, paulatinamente lograr que la ciudad, por lo menos en su parte comercial [18], migre a un tipo de energía más limpia y moldeable a las necesidades del usuario que además le brinde leyes e incentivos adecuados que permitan una relación de simbiosis entre la empresa distribuidora y el usuario final.

2. Marco Teórico

2.1. Autoconsumo

En forma general, se lo define como el consumo que determinada entidad realiza de los bienes que este mismo ha creado, energéticamente hablando, es la demanda eléctrica que el consumidor supe haciendo uso de plantas de generación propias, sean estas de elementos renovables o no renovables. [19]

Dependiendo de la magnitud y necesidad del usuario, se puede optar por un autoconsumo total o parcialmente aislado de la red eléctrica tradicional. Esto quiere decir, en el caso del total, que el usuario cubrirá toda su demanda energética, con el total de la producción eléctrica de su planta, mientras que, con la parcial, solo destinará áreas definidas o tiempos exactos en los que se alimentará de su planta. [20]

Para cada uno de los escenarios descritos, debe crearse una legislación que maneje el uso de la arquitectura eléctrica, su conexión con la red y el manejo que se dará al déficit y excedentes energéticos [21]. También se deben tratar los incentivos otorgados, tanto en el campo residencial como para el industrial.

Muchos países esperan que sean cada vez más los ciudadanos o comercios que opten por generar su propia energía, no obstante, es necesario que el usuario realice un análisis previo, tanto logístico como económico de la factibilidad que le representa instaurar una planta de generación eléctrica destinada al autoconsumo, esta deberá lograr satisfacer la demanda requerida, acoplándose fácilmente a la red, brindando tanta fiabilidad como calidad de suministro eléctrico [22]. Y primordialmente la paridad de red.

En Ecuador, durante el 2018, se emitió la regulación *Arconel-003/18*, bajo el nombre de “*Generación Fotovoltaica para Autoabastecimiento de Consumidores Finales de Energía Eléctrica*” cuya principal tarea es establecer las condiciones idóneas para que exista una participación de consumidores que puedan implementar la microgeneración fotovoltaica (μ SFV). Estos podrán estar ubicados sobre techos o superficies de edificaciones que consten en el pliego tarifario de medio y bajo voltaje, previo cumplimiento de requisitos detallados en la normativa vigente, operando en

sincronía con la red eléctrica y que además todo aquello que produzca sea consumido por el mismo productor, aportando eventualmente la energía excedente a la red eléctrica tradicional [23]. La regulación fue actualizada en 2021, sustituida por la “Regulación de Participación de Autogeneradores y Cogeneradores en el Sector Eléctrico” que, entre otras cosas, amplía los usuarios que pueden aplicar a dicho sistema, las habilitaciones, obligaciones y costos [14].

2.2. Paridad de red.

Existe paridad en el sistema, cuando el costo nivelado de electricidad para generadores fotovoltaicos, LCOE por sus siglas en inglés, en igual o menor que la tarifa eléctrica de la red tradicional [24].

El LCOE contrasta el valor de costo – beneficio, obtenido entre la implementación y operación del GFV en función de la energía obtenida durante su vida útil. [25]. Tomando en cuenta lo anterior, el cálculo de LCOE está indicado por

$$\sum_{t=0}^T (AEP_t P_E (1+r)^{-t}) = \sum_{t=0}^T (CAPEX_t + OPEX_t) (1+r)^{-t} \quad (1)$$

Donde

AEP_t es la producción de electricidad durante el año; PE es el costo de la electricidad; $(1+r)^{-t}$ es el valor de descuento para t; r es la tasa de descuento; $CAPEX_t$ inversión en el año t; $OPEX_t$ inversión por operación y mantenimiento durante t y T la vida útil de la central (dependerá del tipo de central utilizada).

Para realizar este cálculo, se debe iniciar desde t=0, para tomar en cuenta los gastos de implementación con producción cero.

A continuación, se puede analizar de manera gráfica, el comportamiento de LCOE y de la tarifa eléctrica convencional, aplicada a la demanda energética del usuario. Claramente, se puede ver que el costo eléctrico incrementa en función al costo de los combustibles fósiles. No de la misma forma que sucede con la GFV, pues conforme se desarrolla tecnológicamente el sector, decremantan los costos de uso e implementación, por ende, el LCOE tendrá una reducción, logrando equiparar el costo a comparación con la generación tradicional, es decir que en el momento que ocurra la intersección en la gráfica de ambas tendencias, será el momento en que se puede prescindir de la red eléctrica y optar por la autogeneración [26].

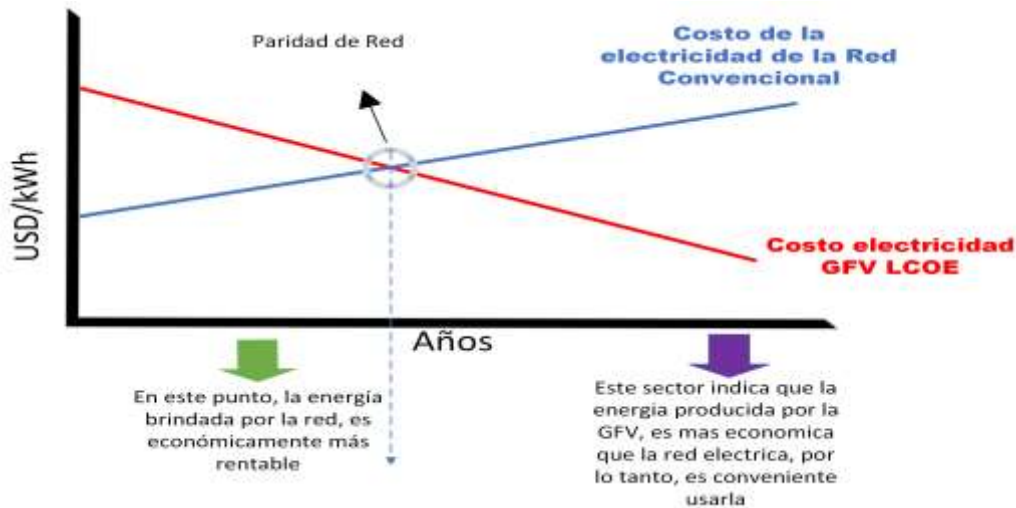


Fig. 1 Paridad de Red

Matemáticamente, LCOE en kWh se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$LCOE = \frac{C_{inv} - B_0 + \sum_{t=1}^N \left(\frac{AC_1 - B_1}{(1+r)^t} - \frac{R_N}{(1+r)^t} \right)}{\sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+r)^t}} + AC_{O\&M} \quad (2)$$

Donde:

AC_1 representa los costos fijos de operación, es decir mantenimiento, operación, impuestos, etc.

B_0 indica los incentivos en dólares que percibirá el prosumidor; B_t representa el beneficio en dólares durante “t” años; C_{inv} es el costo de inversión de la GFV tomando en cuenta impuestos y tarifas de conexión; R_N es el valor residual para el enésimo año;

E_t es el total de energía que se ha producido durante “t” años; $AC_{O\&M}$ representan los costos variables anuales que implican la operación y mantenimiento; r es la tasa interés en dólares; t será el tiempo durante el cual está destinado el análisis durante el periodo N [11].

2.3. Diseño de sistema fotovoltaico.

Previo a la instalación de la GFV, es necesario realizar el respectivo diseño con el dimensionamiento de la red, tomando en cuenta principalmente la demanda, a partir de esto, elegir los paneles en función al espacio disponible, calcular la potencia que se podrá entregar con los equipos que se utilizaran y la decisión de usar o no un banco de baterías de respaldo.



Fig. 2 Diagrama Sistema fotovoltaico.

1) *Potencia instalada en función del área útil.* El primer punto a tomar en cuenta, es la disponibilidad de espacio físico y la calidad de irradiación solar que se puede obtener en este punto, para poder determinar una potencia máxima a entregar [27].

2) *Selección y disposición del panel fotovoltaico en función del área dispuesta.* Elegir un panel, depende de los factores que otorguen el área de instalación y del presupuesto. Lo idóneo es buscar paneles que ofrezcan la mayor eficiencia y se acoplen a la logística, para esto se usan las dimensiones de los posibles paneles para realizar una posible distribución.

Se procede a ubicar los paneles de manera horizontal y vertical para ver en qué posición se aprovechará de mejor manera el área disponible, una vez contemplado cada escenario, se procede a sumar y multiplicar por el área del módulo fotovoltaico y se elegirá la que mejor resultados arroje [28].

3) *Máxima potencia disponible.* La generación máxima se calcula a través de la potencia nominal del módulo solar y de la cantidad que se dispondrá de los mismos, recolectada esta información se procede al uso de la siguiente fórmula [29].

$$P_{GMAX} = N_{pan} * P_{max} \quad (3)$$

Donde:

P_{GMAX} representa la máxima potencia de generación en kWp; N_{pan} representa la cantidad de paneles que van a ser instalados; P_{max} la máxima potencia nominal del panel.

Dicho cálculo no termina siendo definitivo, pero permite tener un estimado muy seguro, para dimensionar el tipo de inversor.

4) *Dimensionamiento del inversor.* Para elegir el inversor, es necesario calcular las potencias nominales partiendo de la máxima

potencia generada. Esta potencia debe oscilar entre el 0.8 y 0.9 de la máxima potencia generada disponible [30].

Un inversor nunca debe estar dimensionado al 100% de la máxima potencia de generación, puesto que para que esto suceda, los módulos solares deberían trabajar en sus condiciones estándar y es algo que no sucede con frecuencia y así el inversor trabajaría sobredimensionado.

5) *Arreglo Fotovoltaico, distribución en serie de paneles fotovoltaicos y de los ramales paralelos.*

Una vez escogido el inversor, un arreglo fotovoltaico, permite hacer una selección idónea de los paneles, ya sea un arreglo en serie o un arreglo paralelo, hasta conseguir los niveles adecuados de voltaje y corriente.

A continuación, se precisan las ecuaciones empleadas para calcular el número de paneles solares en distribuidos en serie y la cantidad de total de ramales.

La cifra máxima de paneles en serie se calcula relacionando el valor menor entre (4) y (5). La primera tomando en cuenta el máximo voltaje que soporta el inversor y para la segunda se toma el máximo voltaje suministrado por el arreglo fotovoltaico en el punto de potencia máxima [31].

$$N_{Smax} = \frac{V_{in \max inv}}{V_{oc} + \frac{V_{oc} * CTV_{oc}}{100} * (-35)} \quad (4)$$

$$N_{Smax MPPT} = \frac{V_{MPPT \max}}{V_{mpp} + \frac{V_{oc} * CTV_{oc}}{100} * (-35)} \quad (5)$$

La cantidad mínima de paneles fotovoltaicos conectados en serie se calcula mediante.

$$N_{SminMPPT} = \frac{V_{MPPT \min}}{V_{mpp} + \frac{V_{oc} * CTV_{oc}}{100} * (-35)} \quad (6)$$

Por último, se procede a calcular la cantidad máxima de ramales que puede tener el arreglo fotovoltaico. Al obtener estos resultados se puede comprobar la factibilidad de conectar los ramales que el inversor permita.

$$Nr_{max} = \frac{I_{in\ max\ inv}}{I_{sc} + \frac{I_{sc} * CT_{isc}}{100} * (45)} \quad (7)$$

6) Cálculo de generación de Energía.

Para interconectar una GFV con la red eléctrica, se tiene que realizar un estudio de producción energética anual, para tener una estimación del rendimiento de la generación.

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha\beta) * P_{Gmax} * PR}{G_{CEM}} \quad (8)$$

Donde

E_p es la energía en [kWh/día] inyectada a la red; $G_{dm}(\alpha\beta)$ la irradiación media mensual sobre el generador, Este valor representa el promedio diario de energía solar disponible, tomando en cuenta la inclinación, y sombras del panel solar.

P_{Gmax} está representando por el pico de potencia alcanzado por el generador en [kWp]; PR es el rendimiento general del arreglo fotovoltaico y G_{CEM} el valor estándar de la irradiancia (CEM) en [kW/m²] [31].

7) Colonia Artificial de Hormigas.

Se han realizado bastos estudios del comportamiento de las hormigas en la búsqueda y transporte de su alimento, la forma en la que se organizan al momento de ejecutar sus labores, la disposición de sus cementerios y la logística empleada en su cotidianidad, dentro de estos estudios, ha destacado el modelamiento basado en la gestión de la alimentación, debido a su

complejidad y alta eficiencia[32].

La comunicación que se mantiene entre las hormigas, es de forma indirecta, es decir que no mantienen una comunicación física, sino que lo hacen a través de la secreción de sustancias químicas llamadas feromonas, estas se encargan de marcar el camino por el cual han transitado, mostrando al resto de hormigas, cuál es la mejor ruta, es decir la más corta para transitar desde la colonia hasta la fuente de alimento [33].

Para la asignación de recursos en un modelo fotovoltaico, el algoritmo se encarga de inicializar los pasos de una forma descriptiva, con un determinado valor de voltaje. Estos valores se generan de manera aleatoria dentro del intervalo [0, VOC], siendo VOC un voltaje en circuito abierto. Se realizan varios cálculos de potencia, tomándose cada uno de estos como solución, el algoritmo acumula este conjunto de resultados y genera nuevas soluciones compatibles con nuevas hormigas [34].

Gráficamente, se puede representar de la siguiente manera:

- a. Las hormigas son distribuidas de manera aleatoria en búsqueda de la mejor opción de voltaje.

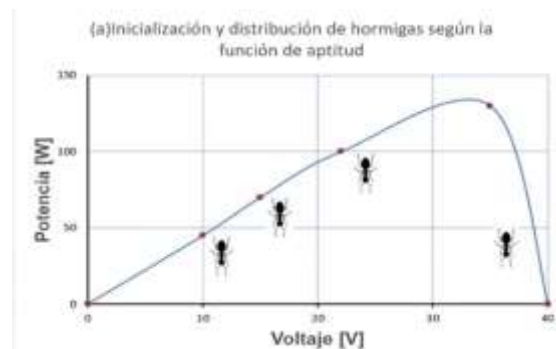


Fig. 3 Inicialización y distribución de hormigas según la función y aptitud

- b. Dentro de esta búsqueda

proceden a delimitar la zona con mejores recursos, guiándose en el rastro de feromonas (zona marcada) dejado por sus antecesoras.

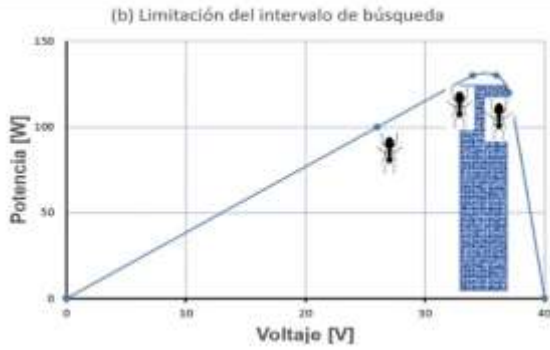


Fig. 4 Limitación del intervalo de búsqueda

c. Finalmente, existirá aglomeración en el lugar con mayor presencia de feromonas, es decir, los recursos serán destinados a este punto específico para obtener un mejor aprovechamiento energético.

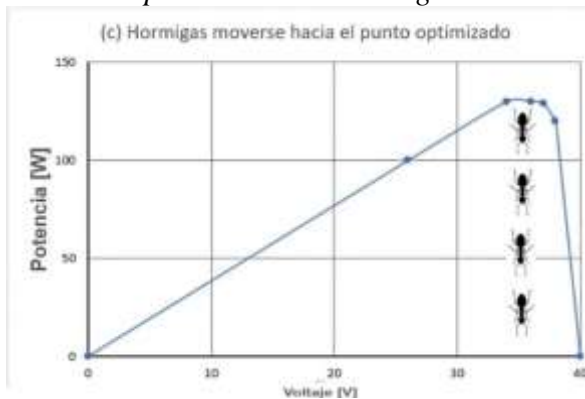


Fig. 5 Las hormigas se mueven hacia el lugar de optimización

Matemáticamente, los problemas de optimización se encuentran dados por el conjunto $[S, f, \Omega]$, donde S representa las posibles soluciones, f es la función que asigna un costo para cada posible solución y $\Omega(t)$ son las restricciones. Para el caso de una Microred fotovoltaica, la solución candidata se conforma por la operación del

conjunto de paneles conectados a la misma.

La función objetivo, representada por la ecuación 9, establece un costo de operación normalizado al generar 1Kw de potencia en determinado tiempo.

La optimización, en términos generales, busca dar una solución eficaz y global que implique un mínimo costo. Así, el algoritmo proporcionará un grupo de puntos, en los cuales se considera existirá el menor costo de operación, dentro de las restricciones propuestas (Ecuación 10 y 11) [35].

$$f = \frac{\sum_{i=1}^m C_i}{\sum_{i=1}^m P_i} \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} = 1, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m P_i > D - L_c \quad (11)$$

Donde P representa la potencia entregada por la fuente de generación i , C es el costo con el que opera la fuente i a una potencia P , m es el total de fuentes conectadas a la Microred, n es la cantidad de puntos operativos para cada fuente P , D es la demanda actual de potencia y L_c es el límite de demanda entregado.

El algoritmo está dado por:

$$P_{ij}^k = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} * n_{ij}^{\beta}}{\sum_{j \in N_i^k} \tau_{ij}^{\alpha} * n_{ij}^{\beta}} \quad (14)$$

Donde

N_i^k es el área que pueden cubrir las hormigas, cuando k se halla en el nodo i ;

α representa al factor de escala de la feromona; β factor de visibilidad; τ_{ij} es el valor de la feromona comprendida en el intervalo de los nodos i y j ; n_{ij} como función de visibilidad.

Resumidamente, en cada iteración, una hormiga k , elije salir de un nodo i hacia un nodo j , con una probabilidad de P_{ij}^k .

Una característica fundamental del algoritmo, es la constante actualización de los rastros de feromona, dado por la ecuación (15) [35].

$$t_{ij} \leftarrow (1 - \Phi) * t_{ij} + t_0 \quad (15)$$

Donde el valor inicial de la feromona está dado por t_0 y $\Phi \in [0:1]$ indica el decremento de las feromonas.

Finalmente, se realiza una actualización de feromona, de manera global, dejando únicamente aquellos que conforman la mejor solución.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - p) * \tau_{ij} \forall a_{ij} \in S_{mejor-global} \quad (16)$$

A continuación, mediante el uso de un flujograma, se precisa la operación del algoritmo de optimización por colonia de hormigas [36].

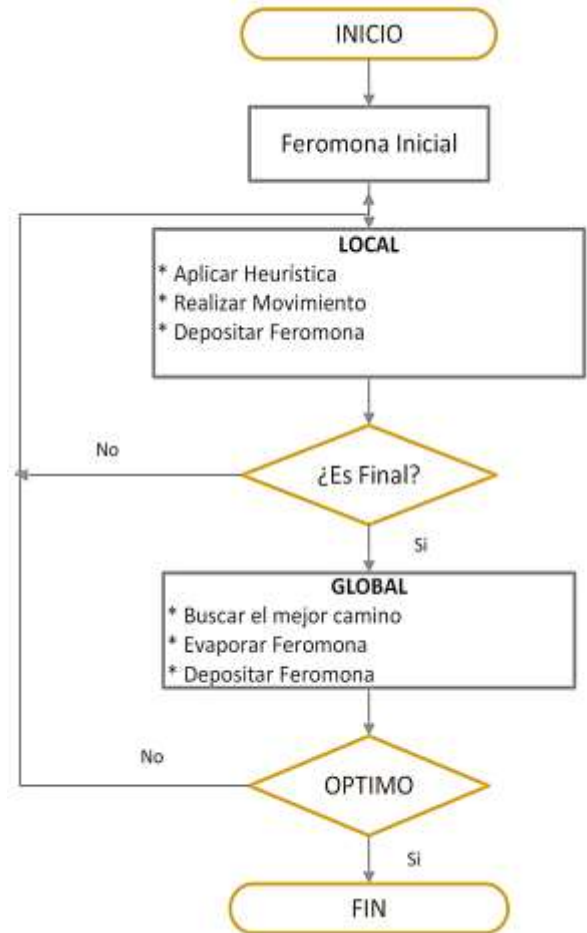


Fig. 6 Flujograma del algoritmo de optimización por colonia de hormigas.

3. Problema

3.1. Planteamiento del Problema

La administración energética se orienta hacia la consecución de la eficiencia, considerando tanto el costo óptimo como el menor impacto ambiental, sin apartarse de las directrices del mercado eléctrico. Este último debe proporcionar normativas e incentivos que la hagan atractiva para los usuarios.

Debido al crecimiento desordenado, a la presencia de comercios o industrias en lugares residenciales, la ciudad experimenta problemas que alteran la calidad de la energía suministrada, causando problemas en equipos. Con este antecedente, se evalúa cuál es el aspecto más importante para el

usuario, es decir cuál es la principal carencia que debe suplir la generación a implementarse, en este caso específico, lo primordial es brindar al usuario energía de calidad y altos niveles de confiabilidad, de la mano de un método heurístico que permita aprovechar al máximo los recursos seleccionados y de esta forma obtener un rédito económico.

La propuesta radica en la implementación de una Microred fotovoltaica destinada al autoconsumo, la cual hará la asignación de recursos usando el método heurístico basado en la solución del algoritmo de la colonia de hormigas, esto sin desconectarse de la red eléctrica.

4. Caso de estudio

La Microred en cuestión, tiene como ubicación la ciudad de Quito,

específicamente para el uso de una clínica oftálmica y dermatológica.

Como primer paso, se ha realizado un levantamiento eléctrico en el inmueble, tabulando la cantidad y potencia de cada equipo. El edificio está dividido en 6 pisos, por lo que el levantamiento se ha realizado considerando los siguientes centros de carga (CC):

- **CC1.-** PB, Local 1, Consultorios y parqueaderos.
- **CC2.-** Máquinas de limpieza y esterilizador quirófono.
- **CC3.-** Servicios Generales
- **CC4.-** Otorrinolaringología y habitaciones
- **CC5.-** Quirófono
- **CC6.-** Vivienda

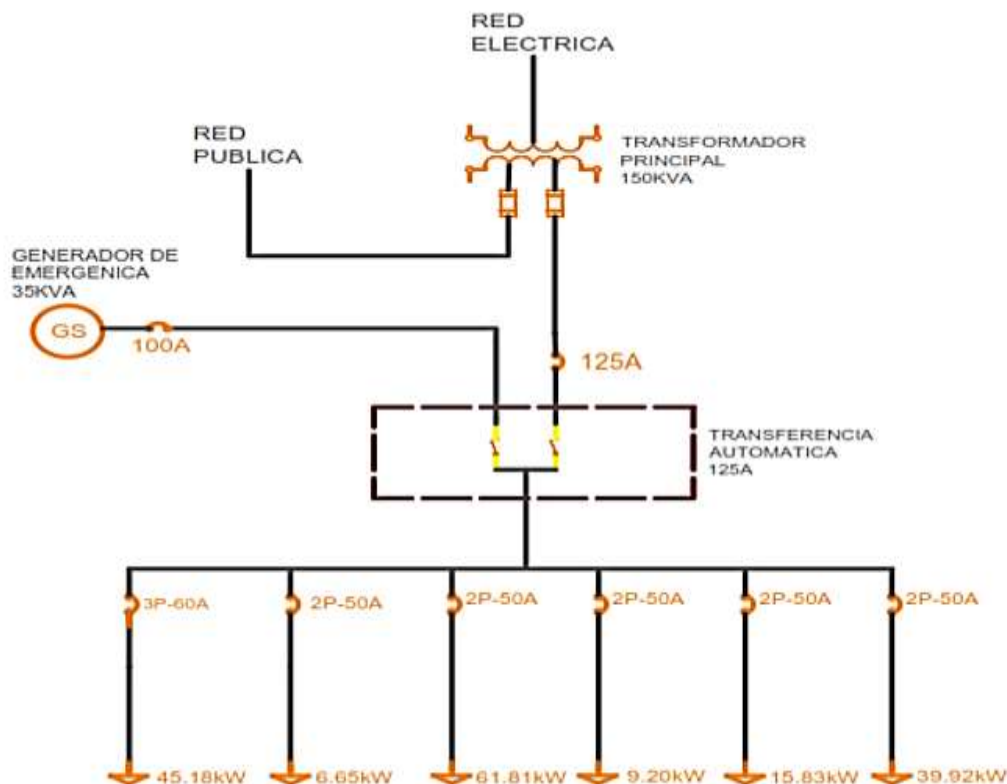


Fig. 7 Esquema unifilar clínica

El consumo de potencia, basado en la placa técnica de cada equipo y su nivel de uso, se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1 Total Energía Clínica

Cargas Eléctricas Clínica	Energía diaria [Wh//día]	E. Promedio semanal [Wh/sem]
TOTAL, ENERGIA (Wh)	1008.042	940.129
TOTAL, ENERGIA MENSUAL [Kwh/mes]	28203	
TOTAL, ENERGIA ANUAL [kWh/año]	338447	

Con base a los datos recabados, se dimensiona la potencia a obtenerse en función a la cantidad de paneles disponibles, además, y se modela como un consumo de tipo comercial.



Fig. 8 Perfil de consumo diario comercial

En este caso, la implementación de la Microred, no contempla el uso de un banco de baterías.

La clínica no cuenta con un amplio espacio para la implementación varios paneles fotovoltaicos, es por esta razón que no se contempla la idea de una desconexión total de la red eléctrica tradicional, el proyecto va encaminado a complementar el consumo, tratando de brindar estabilidad en la alimentación además de representar un alivio económico al usuario.

Si bien, al ser una instalación hospitalaria, la normativa exige la presencia de un grupo electrógeno para emergencias, se analizará la red con la presencia del mismo (no como

elemento de emergencia sino como fuente de alimentación) así como su ausencia total en la red. Esto con el fin de hacer una comparativa entre el costo de la GFV y su posible combinación con un grupo electrógeno.

Finalmente, se hace el despacho de energía, usando el ACO, con el objetivo de obtener un aprovechamiento más idóneo del recurso solar.

4.1. Pseudocódigo.

En este inciso se describirá el pseudocódigo aplicado en la metodología, para lo cual se describe a continuación la tabla con las variables que intervienen.

Tabla 2 Variables pseudo código.

VARIABLE	REPRESENTACIÓN
Matriz de feromonas	τ
Matriz de visibilidad	V
Matriz de probabilidad	P
Solución inicial	S
Mejor solución	S_{Best}
Número de hormigas seleccionado	k
'i' - 'j'	Nodo de la solución actual
Control de feromona	α
Control de visibilidad	β
Suma probabilidades de transición	Σ
Taza de evaporación de feromona	ρ
Cantidad de feromona depositada	$\Delta\tau$

Tabla 3 Pseudocódigo Implementación de algoritmo de colonia de hormigas para generación fotovoltaica.

IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS PARA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

PASO 1

Inicialización de matrices

- Inicializar la matriz de feromonas τ .
- Inicializar la matriz de visibilidad V.
- Inicializar la matriz de probabilidad P.
- Inicializar solución inicial S.

PASO 2

Para cada hormiga k
 Calcular la probabilidad de transición P (i, j, k)
 con la fórmula.

$$P(i, j, k) = \frac{[\tau(i, j)^\alpha \times V(i, j)^\beta]}{\sum [\tau(i, j)^\alpha \times V(i, j)^\beta]}$$

Seleccionar el siguiente nodo j
 Actualizar la solución S, después de agregar el
 nodo j.
 Actualizar la matriz de feromonas τ , con la
 siguiente fórmula.

$$\tau(i, j) = (1 - \rho) * \tau(i, j) + \rho * \Delta\tau(i, j)$$

PASO 3

Actualizar la mejor solución S_{Best} .

PASO 4

Regresar al PASO 2, hasta cumplir el criterio
 seleccionado.

PASO 5

Devolver la mejor solución S_{Best}

probabilidad de transición para cada hormiga k, para así, asignar nuevos nodos mediante el uso de “la regla de la ruleta” que no es sino la selección probabilística basada en la calidad relativa de cada resultado. La regla de la ruleta se utiliza para aleatoriamente seleccionar los mejores valores de voltaje y su respectiva potencia, con esto el sistema realiza un análisis de las distancias euclidianas recorridas, normaliza valores y actualiza la feromona para actualizar la matriz de feromonas. La constante actualización se consigue repitiendo todos los pasos, buscando una solución que cumpla con el criterio establecido, seleccionando el punto en el que se aprovecha de mejor manera el recurso y la potencia es la óptima requerida como se puede analizar en el siguiente gráfico.

Como primer paso, se tiene la denominada fase de construcción de soluciones, donde se procede a inicializar las matrices, esto para empezar con la generación y evaluación de calidad de posibles soluciones. A partir de esto, se calcula la

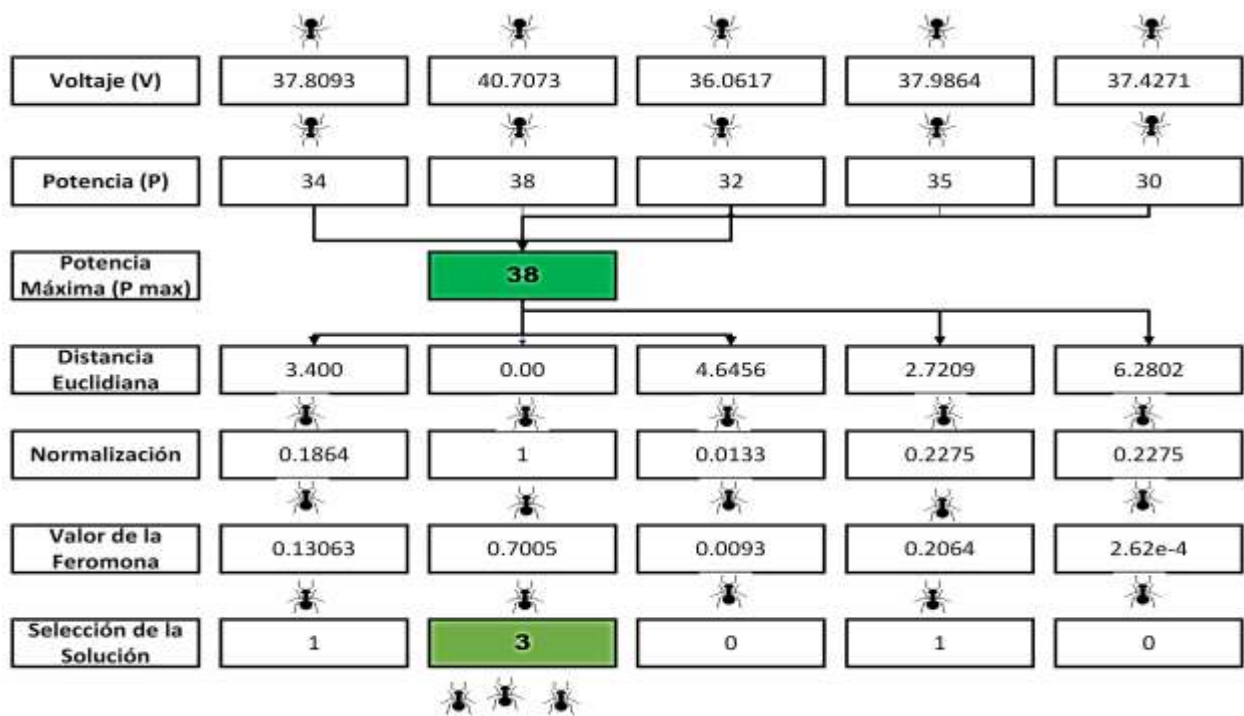


Fig. 9 Proceso Gráfico del Algoritmo

4.2. Caso 1.- Microred interconectada sin grupo electrógeno

En el caso en mención, se analiza el GFV trabajando en conjunto con la red eléctrica local.

Ambas fuentes abastecerán la demanda requerida al mismo tiempo, es decir los paneles fotovoltaicos, despacharán la potencia máxima aprovechada por el

algoritmo y el faltante será absorbido directamente de la empresa comercializadora de energía. Con este arreglo es posible establecer una diferenciación entre el costo del kW/h normal en comparación al costo de autogeneración.

En la Fig. 9 se puede observar la configuración de la Microred, con la inclusión del componente fotovoltaico.

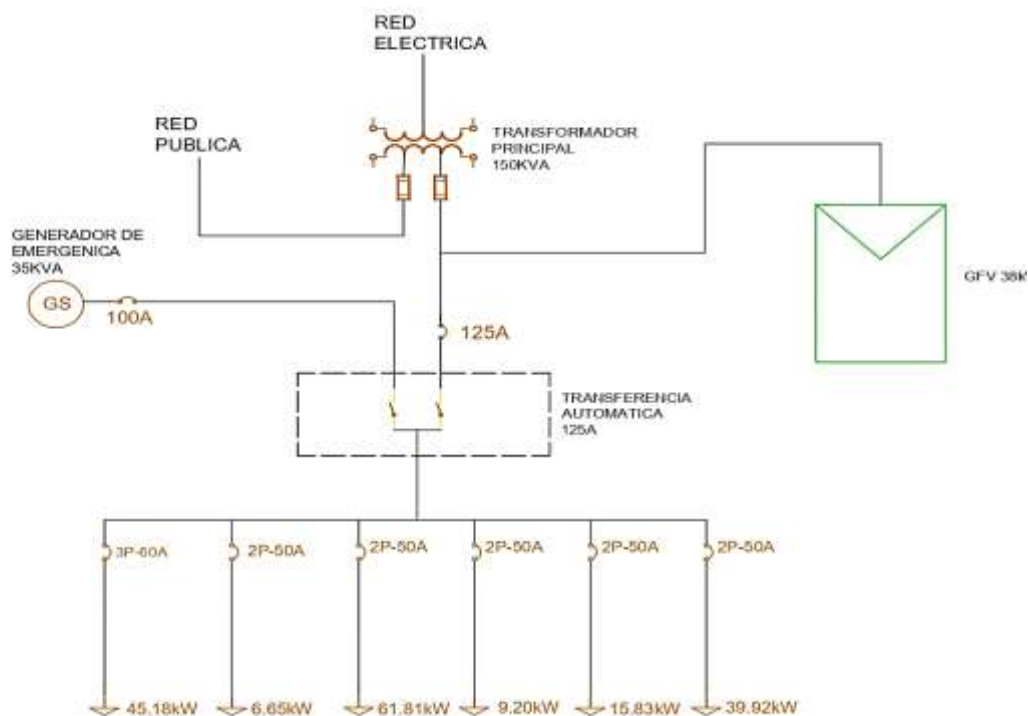


Fig. 10 Esquema Unifilar con Generación Fotovoltaica para la Clínica

El análisis comparativo se hace partiendo de un costo de \$0.09 para la energía aportada por la red eléctrica tradicional, para el cálculo del valor de LCOE, es necesario cuantificar el costo del producir cada W de energía, esto incluye el costo de inversión y reposición (\$1600.00), operación y mantenimiento (\$0.10) valores contemplados para un proyecto de 30 años.

Con el máximo aprovechamiento de los recursos, otorgado por el algoritmo de colonias de hormigas, se llega a obtener 28

kW, lo que se traduce a un LCOE de \$0.09, valor similar al costo de energía convencional. Un panel fotovoltaico puede tener cualquier posición e inclinación sobre la superficie, esto conlleva la variación del ángulo de incidencia, en la fig. 11, es posible distinguir como el algoritmo busca el ángulo idóneo para el aprovechamiento del recurso.

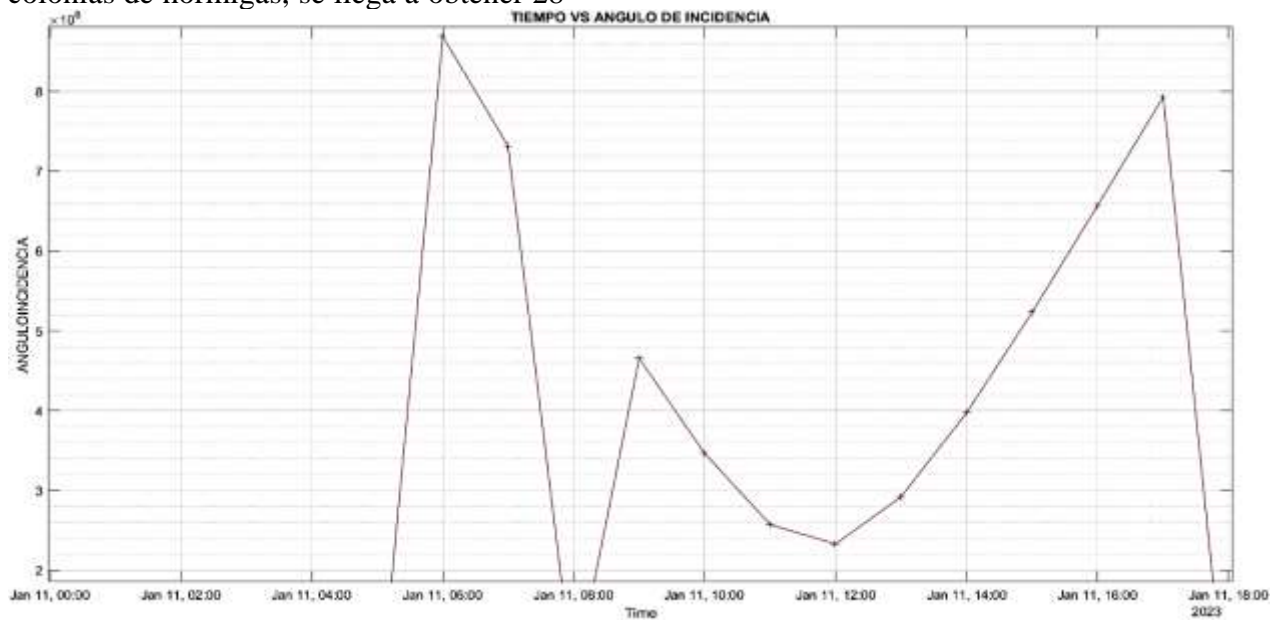


Fig. 11 Tiempo vs. Angulo de incidencia.

El algoritmo modificará el ángulo, de la manera más perpendicular posible, según la variación de radiación solar durante el día. El manejo de la potencia es esencial para el correcto aprovechamiento de la energía fotovoltaica, conforme el día avanza, también lo hace la radiación solar. En

fig.12, se puede observar que gracias a la gestión óptima del algoritmo, los máximos niveles de potencia emitidos por el arreglo fotovoltaico, coinciden en un 50% con la demanda indicada en la Fig. 9, en función del mismo horario.

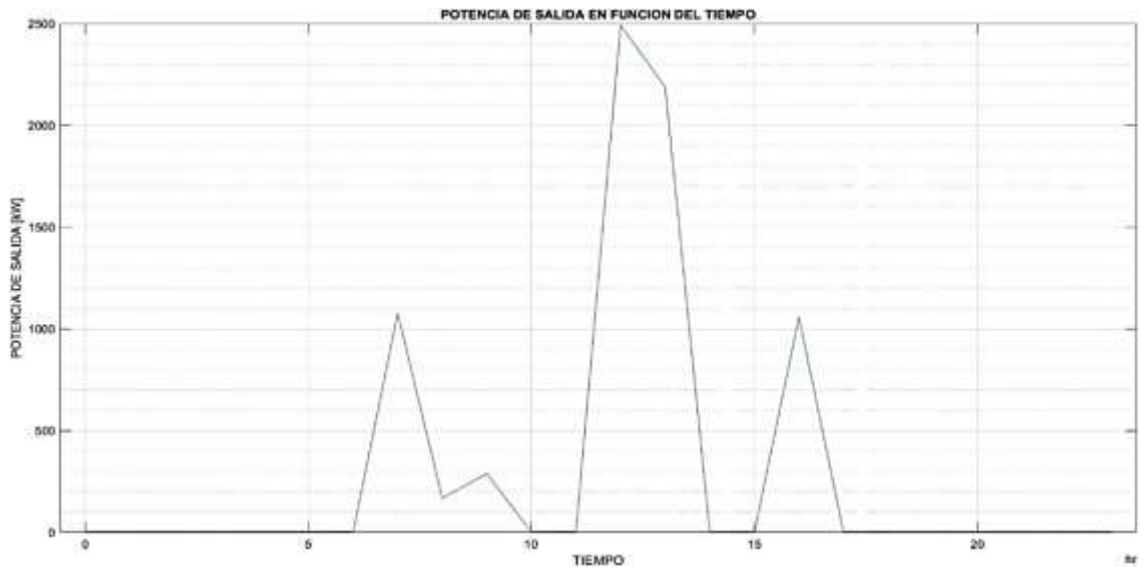


Fig. 12 Potencia de salida fotovoltaica en función del tiempo

La intención de integrar una Microred al consumo de energía, es depender en un menor porcentaje de

la red eléctrica convencional. El siguiente esquema de barras indica el decremento de la dependencia de la red eléctrica externa, teniendo un solo momento en el día en la que más del 75% de la demanda es absorbida de la red eléctrica.

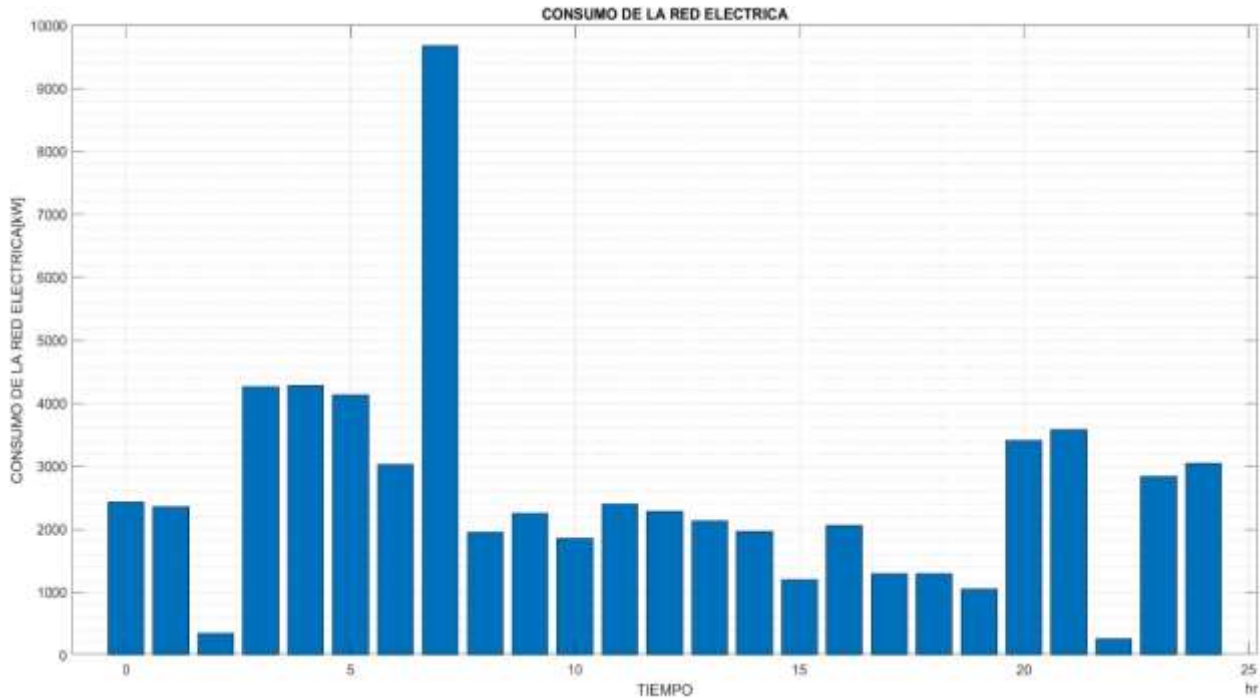


Fig. 13 Consumo de la red eléctrica convencional

4.3. Caso 2.- Microred interconectada con grupo electrógeno.

Para este caso se tienen dos fuentes de generación actuando al mismo tiempo con la red eléctrica. Nuevamente, el algoritmo se encarga de gestionar la potencia máxima de los paneles e inclusive del grupo electrógeno, la intención es obtener la potencia máxima de ambas generaciones,

con el fin de disminuir el consumo de la red pública, tomando como base los costos del mercado.

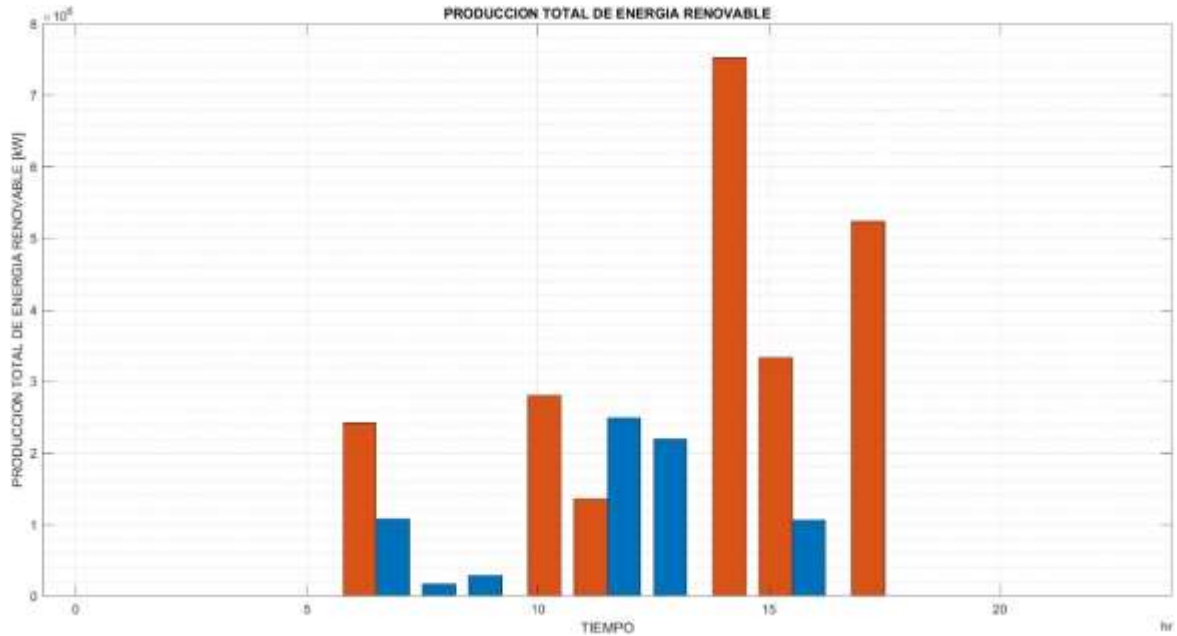


Fig. 14 Producción de energía renovable de la Microred.

El algoritmo se encarga de seleccionar la mejor opción de generación, tomando en cuenta parámetros de potencia y costo final. En la Fig. 14, se observa una diferenciación entre el uso de energía convencional vs. la energía fotovoltaica, que, si bien ambas funcionan a la par, en determinados momentos del día, se dará preferencia a la producción fotovoltaica.

La correcta asignación de recursos eléctricos, gracias al uso de las feromonas que conlleva la aplicación del ACO, ha logrado que la energía verde, tenga una mayor participación en la Microred, es decir a lo largo del día, las zonas de la clínica, destinadas a este consumo, superaran el 50% de consumo de energía solar fotovoltaica.

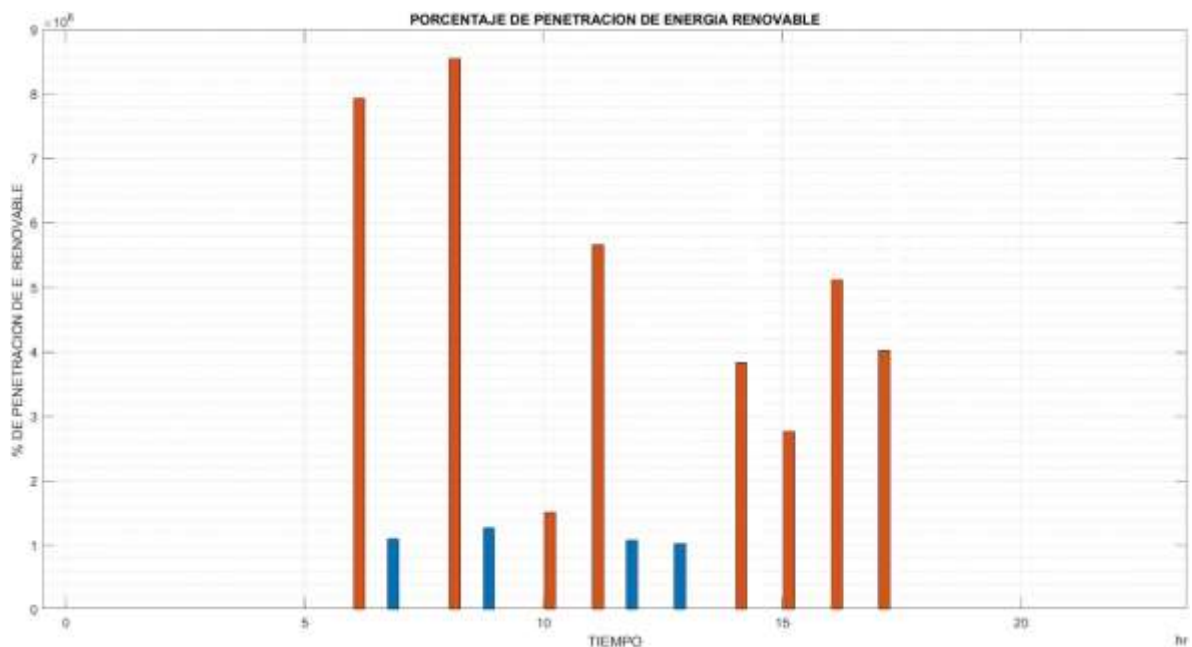


Fig. 15 Porcentaje de penetración de energía renovable.

5. Análisis de resultados.

Los resultados que se esperan obtener al aplicar el algoritmo, es una correcta asignación de recursos energéticos, esto también dependerá del tipo de configuración de la Microred, es decir, la combinación entre red eléctrica convencional, generación fotovoltaica y la planta generadora.

El algoritmo de colonia de hormigas, busca optimizar recursos en función a un grupo de objetivos que brinden eficiencia, autonomía y una buena relación costo-beneficio.

Este método heurístico va a permitir al usuario disminuir la dependencia de la red eléctrica convencional, con una amplia eficiencia operativa, es decir, la Microred apuntará a limitar las pérdidas para fortalecer su eficiencia y confiabilidad, esto gracias a la flexibilidad que presenta a adaptarse a eventos cambiantes, ya sean cambios en la demanda energética o variaciones climáticas, lo que le da un plus para la planeación a largo plazo. La Microred eléctrica, tiene la capacidad y facultad de operar de manera aislada o en conjunto con la red eléctrica convencional. Una vez establecidos mecanismos y los niveles de demanda, este debe tener la suficiencia para entregar energía de manera ininterrumpida dentro del rango de la demanda en función de las cargas. El algoritmo en función, debe tener la capacidad de controlar las cargas, tanto que lo que genere, pueda suplir lo asignado o incluso la demanda total de la Microred.

Tomando en cuenta que este caso de estudio no tiene como finalidad el remplazo total de la red eléctrica pública, sino la alimentación parcial de la potencia total requerida, el algoritmo se enfoca únicamente en suplir la carga programada,

más sin embargo, por su naturaleza este método heurístico permite una generación de potencia local mayor a la requerida, es decir capaz de cubrir la demanda que la red eléctrica convencional no puede otorgar en ese momento, creando una combinación de estados de potencia idóneos para que el sistema siempre obtenga el mejor costo-beneficio, incluso capaces de destinar cierto excedente al almacenamiento de energía en bancos de baterías.

En ambos casos de estudio, se puede observar picos de potencia, especialmente en horas cercanas al medio día, e incluso una generación un poco más baja pero importante, entre 4 y 5 pm. Este es un comportamiento esperable, pues son horas con mayor índice de radiación solar, sin embargo, como indica la Fig.14, existen momentos dentro del rango de tiempo antes mencionado, en los cuales la penetración de energía renovable, no llega ni siquiera al 40%, esto debido a que, durante la interacción del algoritmo, la cantidad de feromona artificial generada, determina que, en ese preciso momento, resulta más económico el uso de la generación convencional,

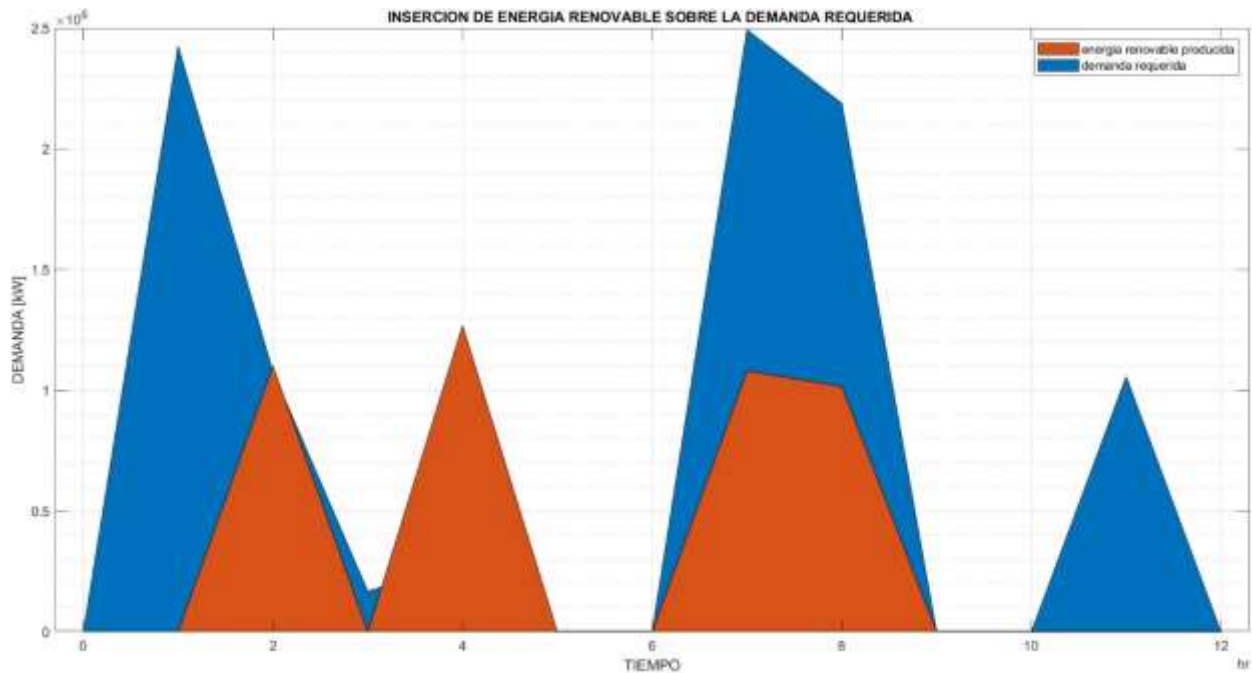


Fig. 16 Inserción de energía renovable sobre la demanda requerida

La Fig. 16 es la muestra clara de que, si bien no se destina la producción fotovoltaica en su totalidad, esta logra cubrir un buen porcentaje de la potencia que requiere la clínica para operar de manera ininterrumpida, la distribución de recursos que realiza la colonia de hormigas, permite cubrir hasta cerca del 50% de la demanda neta, fluctuando entre el uso del arreglo fotovoltaico, la red eléctrica convencional y los sistemas de generación tradicional.

6. Conclusiones.

- Mantener cubierta la demanda establecida para la clínica, se puede lograr mediante la construcción de una Microred eléctrica, esto en conjunto con la aplicación del algoritmo de colonia de hormigas, pues este logra asignar los recursos energéticos de una manera idónea y eficaz. La respuesta a la demanda, fue óptima, pues gracias a este

método heurístico, se logra suplir cerca del 50% de las necesidades energéticas de la clínica, teniendo en cuenta que además crea un ahorro económico, pues realiza la elección entre la red eléctrica, el arreglo fotovoltaico y el generador, en función del costo minuto a minuto.

- La asignación de recursos, no será constante día tras día, pues esta depende en gran instancia de las condiciones climáticas e incluso financieras, sin embargo, la constante actualización e implementación de las feromonas artificiales, indicara cuál es la mejor opción, ya sea económicamente hablando o la que logre entregar la mayor cantidad de energía posible.
- Para el diseño de la Microred, usando el algoritmo de colonia de hormigas, se debe realizar el levantamiento de la topografía de la red eléctrica de media y baja tensión, la correcta selección y dimensionamientos de las tecnologías a implementar, la ubicación, un análisis multicriterio

que priorice la demanda y la estabilidad de voltaje.

- El diseño de la Microred para autoconsumo, debe fundamentarse en la normativa REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-005/21, para lograr ofrecer una respuesta óptima a la demanda energética. La implementación de esta estructura no solo se limita a las directrices establecidas por la regulación, sino que aspira garantizar eficiencia y sostenibilidad, para obtener un aprovechamiento más inteligente de los recursos disponibles
- Al aprovechar el comportamiento colectivo de las hormigas, esta heurística puede adaptarse dinámicamente a las variaciones de la demanda, el clima, cambios en el mercado eléctrico y la disponibilidad de recursos. Este enfoque no solo cumple con los objetivos de autoconsumo, sino que también abre nuevas posibilidades para el diseño de sistemas energéticos distribuidos, más eficientes y sostenibles.

7. Trabajos futuros.

Para futuros trabajos, se puede analizar el comportamiento y eficacia del método metaheurístico, aplicado a industrias y comercios más grandes, que demanden mayores potencias, incluso con la vinculación de bancos de baterías. Por otro lado, al tratarse de una Microred, es imprescindible combinar la energía fotovoltaica con diferentes tipos de generación renovable, es decir, una combinación de la energía fotovoltaica y generación eólica que presentan mayor factibilidad de instalación en espacios dentro de la ciudad.

Por otro lado, la vinculación de tecnologías emergentes, como la

inteligencia artificial y el aprendizaje automático, pueden mejorar la capacidad de predicción y adaptación del algoritmo en tiempo real, lo que mejorara la seguridad y fiabilidad del sistema, poniendo en consideración escenarios emergentes, capaces de garantizar la continuidad del servicio eléctrico en zonas críticas.

8. Referencias

- [1] IEA, “Electricity Market Report, July 2021,” *Electricity Market Report, July 2021*, no. July, 2021, doi: 10.1787/f4044a30-en.
- [2] S. Döbelt and M. Kreußlein, *Peer-to-Peer Traded Energy: Prosumer and Consumer Focus Groups about a Self-consumption Community Scenario*, vol. 1224 CCIS. 2020. doi: 10.1007/978-3-030-50726-8_17.
- [3] A. Ghafouri, J. Milimonfared, G. B. Gharehpetian, and S. Member, “Coordinated Control of Distributed Energy Resources and Conventional Power Plants for Frequency Control of Power Systems,” *IEEE Trans Smart Grid*, pp. 1–11, 2014.
- [4] A. C. Chapman and G. Verbic, “Dynamic distributed energy resource allocation for load-side emergency reserve provision,” *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe*, pp. 1189–1194, 2016, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2016.7796554.
- [5] P. Chiradeja, “Benefit of distributed generation: A line loss reduction analysis,” *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, vol. 2005, pp. 1–5, 2005, doi: 10.1109/TDC.2005.1546964.

- [6] D. J. Trujillo Sandoval, F. I. Mosquera Velásquez, and E. M. García Torres, “Análisis de viabilidad de microrredes eléctricas con alta penetración de recursos renovables en zonas urbanas: caso de estudio condominios residenciales,” *Enfoque UTE*, vol. 12, no. 2, pp. 19–36, Apr. 2021, doi: 10.29019/enfoqueute.734.
- [7] F. Katiraei and J. R. Agüero, “Solar PV integration challenges,” *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 9, no. 3, pp. 62–71, 2011, doi: 10.1109/MPE.2011.940579.
- [8] U. Enfoque, “Estimated Cost of Electricity with time horizon for Micro Grids Based on the Policy Response of Demand for Real Price of Energy,” vol. 1, no. 2020, pp. 41–55, [Online]. Available: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- [9] S. E. Ordóñez A. J., “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL AUTOCONSUMO ELÉCTRICO EN ECUADOR Y ESPAÑA.” CIES 2020, Loja - Ecuador, 2020. doi: <https://doi.org/10.34637/cies2020.3.5160> RESUMEN.
- [10] E. M. Garcia Torres and I. A. Isaac Millan, “Energy Management in Micro Grids Based on the Optima Demand Response by Real Price of Energy,” in *Proceedings - 2019 International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2019, pp. 124–130. doi: 10.1109/INCISCOS49368.2019.00028.
- [11] G. E. Coria and M. E. Samper, “Evaluation of incentive mechanisms for distributed solar power generation in San Juan, Argentina,” *Ingeniare*, vol. 30, no. 3, pp. 551–563, 2022, doi: 10.4067/S0718-33052022000300551.
- [12] W. M. ; Viñán, E. M. García, and W. M. Viñán, “Review of Electricity Markets for Smart Nano-Grids Review of Electricity Markets for Smart Nano-Grids Mercados Eléctricos para Nano-Redes Inteligente,” 2019, doi: 10.25100/iyc.v21v2i.8230.
- [13] A. Orioli and A. Di Gangi, “The recent change in the Italian policies for photovoltaics: Effects on the payback period and levelized cost of electricity of grid-connected photovoltaic systems installed in urban contexts,” *Energy*, vol. 93, pp. 1989–2005, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.10.089.
- [14] A. de regulacion y control de energia y recursos naturales no Renovables, “Regulación de ‘Participación de Autogeneradores y Cogeneradores en el Sector Eléctrico.’” pp. 1–28, 2021.
- [15] AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE ENERGIA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, “Balance Nacional de Energía Eléctrica,” 2022.
- [16] EUROPEAN COMMISSION, “2020 climate & energy package,” The 2020 package is a set of laws passed to ensure the EU meets its climate and energy targets for the year 2020. [Online]. Available: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2020-climate-energy-package_en
- [17] D. L. Talavera, F. J. Muñoz-Rodríguez, G. Jimenez-Castillo, and C. Rus-Casas, “A new approach to sizing the photovoltaic generator in self-consumption systems based on

- cost–competitiveness, maximizing direct self-consumption,” *Renew Energy*, vol. 130, pp. 1021–1035, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.06.088.
- [18] E. M. Garcia and I. A. I. Millan, “Multi-objective Optimization for the Management of the Response to the Electrical Demand in Commercial Users,” in *Proceedings - 2017 International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2017*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jul. 2017, pp. 14–20. doi: 10.1109/INCISCOS.2017.25.
- [19] Roberto Antonio Contento.G, “Evaluación Del Autoconsumo De Energía Eléctrica En Una Red De Distribución Considerando Confiabilidad,” pp. 1–37, 2020.
- [20] A. Rodr, “Instalación solar fotovoltaica para el autoabastecimiento eléctrico en la pedanía de Las Bayas , Elche Trabajo de Fin de grado”.
- [21] P. E. Forján, “Análisis de normativa y rentabilidad del autoconsumo eléctrico en el mundo . Aplicación en el sector residencial”.
- [22] Á. Hermana, R. Larrea Basterra, M. Á. Pelegry, and E. J. De, “Autoconsumo eléctrico Normativa actual y experiencias internacionales de promoción del autoconsumo.” Orkestra, Pais Vasco, p. 157, 2018.
- [23] ARCONEL, “Regulación Nro. ARCONEL - OO3/18 MICROGENERACION FOTOVOLTAICA PARA AUTOABASTECIMIENTO DE CONSUMIDORES FINALES DE ENERGIA ELECTRICA,” *Regulaciones*, 2018.
- [24] L. Cadavid, K. S. Serna, A. V. Arias, and C. J. Franco, “The cities and the sun: The grid parity of electricity generation with photovoltaic systems in Colombian households,” *Architecture, City and Environment*, vol. 15, no. 43, pp. 1–23, 2020, doi: 10.5821/ace.15.43.8772.
- [25] A. Vazquez and G. Iglesias, “Grid parity in tidal stream energy projects: An assessment of financial, technological and economic LCOE input parameters,” *Technol Forecast Soc Change*, vol. 104, pp. 89–101, 2016, doi: 10.1016/j.techfore.2015.12.007.
- [26] SEAS, “Paridad con la red de las instalaciones Fotovoltaicas,” BLOG SEAS ENERGIA RENOVABLE. [Online]. Available: https://www.seas.es/blog/energias_renovables/paridad-con-la-red-de-las-instalaciones-fotovoltaicas/
- [27] RENSO ANDRÉS NARANJO VARGAS, “GUIA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA EL AUTOABASTECIMIENTO DE UNIDADES HABITACIONALES,” ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, 2022.
- [28] D. F. Carrión Galarza, “Análisis, modelamiento y gestión de una micro red eléctrica para edificaciones residenciales usando paneles fotovoltaicos,” p. 119, 2017.
- [29] J. Pérez Rico, “Diseño De Un Sistema Fotovoltaico De 50 Kw Con Almacenamiento De Energía En Batería De Flujo Redox De Vanadio Para Un Centro Logístico De Una Empresa De Construcción,” pp. 1–17, 2020.
- [30] A. Castejon and G. Santamaria, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*, 1st ed. Madrid: Editorial Editex S.A, 2010.

- [31] J. Quishpe, “Diseño de una central fotovoltaica para el abastecimiento de energía eléctrica del campus de La Escuela Politécnica Nacional.” pp. 1–114, 2020.
- [32] A. P. Engelbrecht, “Computational Intelligence: An Introduction,” *Studies in Computational Intelligence*, vol. 1043, pp. 411–427, 2022, doi: 10.1007/978-981-19-2519-1_19.
- [33] J. L. Deneubourg, S. Aron, S. Goss, and J. M. Pasteels, “The self-organizing exploratory pattern of the argentine ant,” *J Insect Behav*, vol. 3, no. 2, pp. 159–168, 1990, doi: 10.1007/BF01417909.
- [34] S. Titri, C. Larbes, K. Y. Toumi, and K. Benatchba, “A new MPPT controller based on the Ant colony optimization algorithm for Photovoltaic systems under partial shading conditions,” *Applied Soft Computing Journal*, vol. 58, pp. 465–479, 2017, doi: 10.1016/j.asoc.2017.05.017.
- [35] D. F. H. Joya, “Algoritmo Metaheurístico Basado En Sistemas De Hormigas Para La Administración De Energía En Microredes Industriales,” Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, 2013.
- [36] K. Dayan, R. Tolosa, J. Steven, and D. Ríos, “SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA OPTIMIZACIÓN POR ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS DE TRAYECTORIAS DE TALADRADO DE CIRCUITOS IMPRESOS (PCB) A PARTIR DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.” p. 28, 2020.