

Microrredes de Generación de Potencia Eléctrica para la Autosuficiencia de las Unidades Remotas de las Fuerzas Armadas

Electric Power Generation Microgrids for the Self-Sufficiency of Remote Units of the Armed Forces

Galo Guarderas Burbano

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, 171103, Sangolquí, Ecuador.
gfguarderas@espe.edu.ec

Resumen

El presente artículo propone la aplicación de múltiples técnicas de generación de energía eléctrica para la implementación de un sistema combinado de fuentes de energía renovable (FER), con características como escalabilidad, eficiencia, sostenibilidad, resiliencia y amigabilidad con el medio ambiente, instaladas en unidades de frontera o unidades cuya localización dificulte la conexión con el sistema eléctrico nacional. Este concepto conocido como microrredes de generación de potencia eléctrica de corriente alterna, son sistemas que permiten aprovechar todos los medios existentes de generación eléctrica. En esta propuesta, se considera únicamente recursos renovables como sol, viento, agua, biomasa, etc., para generar y posteriormente controlar la distribución de la energía de manera óptima y eficiente. Desde el punto de vista militar, estas microrredes permiten optimizar el cumplimiento de las misiones asignadas, en especial, en unidades de frontera o instalaciones militares con déficit de potencia eléctrica. La propuesta se basa en unidades energéticamente autosuficientes existentes en todas las fuerzas armadas (FA) del mundo, cuyos sistemas de generación de potencia eléctrica (GPE), funcionan de forma autónoma, como navíos, aviones, unidades de ultramar o que, por su localización o función, se encuentran aisladas del sistema energético nacional. La orografía de nuestro país generalmente ofrece muchas ventajas para la GPE, lo que permite aprovechar los recursos naturales existentes para la generación de potencia eléctrica, la evaluación de las FER en lugares donde se han instalado destacamentos, repetidoras de telecomunicaciones, sistemas de vigilancia aérea y/o marítima, es imprescindible para la implementación de las microrredes.

Palabras clave: *Microrredes, generación de potencia eléctrica, instalaciones militares, aisladas, recursos renovables*

Abstract

The purpose of this article is to propose the application of multiple electric power generation techniques for the implementation of a combined system of renewable energy sources (RES), with characteristics such as scalability, efficiency, sustainability, resilience, and environmental friendliness, installed in frontier units or units whose location complicates the connection to the national electric system. This concept, known as alternating current electric power generation microgrids, is a system that allows for the utilization of all existing means of electric generation. In this proposal, we will consider only renewable resources, such as sunlight, wind, water, and biomass, for power generation and subsequently optimize and efficiently control the distribution of the generated power. From a military perspective, these microgrids enable the optimization of mission fulfillment, particularly in border units or military installations with power deficits. The proposal is based on energetically self-sufficient units that exist in all the Armed Forces (AF) of the world, whose electrical power generation systems (EPG) operate autonomously, such as ships, airplanes, and overseas units or those that, due to their location or function, are isolated from the national energy system. The orography of our country generally offers many advantages for the EPG, which allows taking advantage of the existing natural resources for the generation of electric power, the evaluation of the RES in places where detachments, telecommunications repeaters, aerial and/or maritime surveillance systems have been installed, is essential for the implementation of microgrids.

Keywords: *Microgrids, electric power generation, military installations, isolated, renewable resources.*



Fecha de Recepción: 25/10/2024 - Aceptado: 20/12/2024 – Publicado: 31/12/2024
ISSN: 2477-9253 – DOI: <http://dx.doi.org/10.24133/RCS.D.VOL09.N04.2024.03>

I. Introducción

Desde al menos 3 décadas el mundo ha observado el avance de las tecnologías de GPE, actualmente es evidente que estos sistemas son tendencia y tienen un futuro prometedor, el mundo consume aproximadamente 28.5 TW con una tasa de crecimiento promedio del 2.6%, de los cuales 3.8 TW son generadas mediante recursos renovables (IRENA, 2024). Por otro lado, la preocupación mundial por los efectos del calentamiento global obligan a pensar en alternativas para generar electricidad aprovechando recursos que sean amigables con el medio ambiente (UN, 2024).

Las operaciones militares exigen una gran cantidad de esfuerzo logístico, esto implica la optimización del mismo mediante el levantamiento de procesos, su programación y/o automatización si fuera posible, y el uso de recursos con el menor desperdicio posible, por lo tanto, obliga a explorar alternativas que permitan reducir la logística sin sacrificar las tareas a ser cumplidas en el cumplimiento de la misión en todo nivel. Si se plantea la discusión acerca de cuál es el recurso de mayor importancia en una operación militar, indiscutiblemente se concluiría que es la energía en cualquiera de sus formas. En esta propuesta se consideran dos casos de estudio, ambas en instalaciones militares remotas o destacamentos, cuya característica común es su localización en las fronteras del país o en lugares con accesos complicados. Están servidas por vías de transporte terrestre y fluviales, peligrosas y generalmente restringidas, limitando la cantidad y clase de soporte logístico a ser entregado, dejando a la vía aérea como único medio de transporte viable.

El primer caso, un hipotético destacamento en la frontera amazónica, cuyas características generales son que están cercanos a un curso de agua, tienen obviamente luz solar por 12 horas diarias, vientos con velocidades suficientes para generar energía por medio de mini turbinas eólicas, siempre limitados por la altura de la vegetación y mucha biomasa. El segundo caso, un destacamento hipotético localizado en la frontera sur con características ambientales similares a las mencionadas en el anterior caso, exceptuando el curso de agua (pveducation.org, 2024), (ingenieríaverde.org, 2024).

Considerando a estos hipotéticos destacamentos como unidades terrestres extremadamente remotas, lo óptimo deseable es que sean autosuficientes en todos los recursos posibles, bajo la premisa inicial, siendo el recurso energético la prioridad facilita la consecución de varios otros recursos importantes, de tal manera que, la implementación de sistemas de GPE son necesarios para lograr la meta propuesta, con el fin de que sean autosustentables y en consecuencia viabilizando todos sus recursos considerados en las misiones de un destacamento de frontera, incrementando su eficiencia, autogestión en telecomunicaciones y monitoreo en tiempo real de las instalaciones, otras como, bombeo y potabilización de agua para consumo y su tratamiento para el sistema hidrosanitario, iluminación y suministro de energía para sistemas de seguridad como cercas eléctricas, alarmas y otras que se puedan incrementar, por ejemplo, la dotación de canoas con motores eléctricos o la instalación de motores eléctricos en las canoas existentes, cuyas baterías podrían cargarse con esta potencia eléctrica generada propia, minimizaría o en el mejor de los casos solucionaría el inconveniente del transporte fluvial cuando no existe combustible, y a la vez estas baterías se convertirían en elementos emergentes de almacenamiento de energía.

Por otro lado, en lo que respecta a bienestar del personal, al tener la energía constante se podría implementar policlínicos con mejor atención, más y mejor equipados que garanticen funcionalidad a los profesionales médicos. De igual importancia es que el personal tenga tiempo de ocio de calidad con medios de entretenimiento y actividades culturales. Adicionalmente, es frecuente que las unidades militares en especial las que están alejadas de las ciudades, se convierten en focos de desarrollo humano, ya que pueden ofrecer entre otras cosas, seguridad, atención médica, educación y una alternativa para que los habitantes de dichas comunidades alejadas, tengan acceso a las modernidades de las urbes actuales en consecuencia a este fenómeno

social, se traduce en mayor presencia de personal civil o comuneros los cuales desarrollan sus actividades en las cercanías de las unidades y forman lazos fuertes entre la población civil y militar generando fronteras vivas garantizando la soberanía nacional.

Finalmente, pero no menos importante es que, la implementación y operación de estas microrredes que por principio son amigables con el medio ambiente dejan una huella de carbono mínima lo que beneficia a la imagen de la institución militar.

Este artículo está organizado en cinco secciones, I. Introducción, II. Microrred, se da una breve explicación conceptual de las redes de generadores distribuidos y sus métodos de control, III. Escenarios, donde se propone la implementación de las mismas en dos tipos de unidades remotas existentes en nuestras FA, IV. Presupuesto, una estimación aproximada, del costo de la implementación de estas infraestructuras, donde se consideran costos reales actuales de equipos, mas no de mano de obra, transporte y otros insumos, y V, finalizamos con conclusiones.

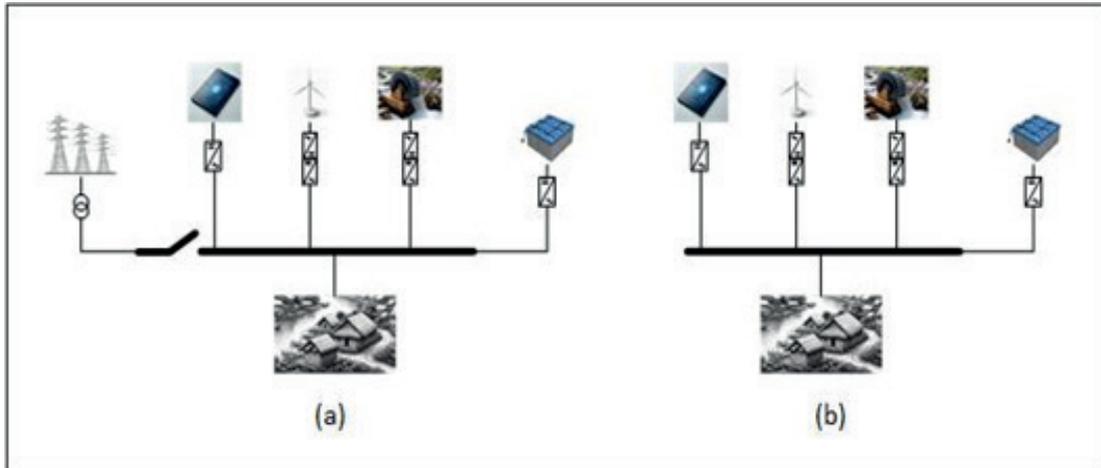
II. Materiales y Métodos

2.1. Microrred

Una microrred de GPE es un sistema compuesto por al menos una fuente de energía, en nuestro caso, renovable (FER): fotovoltaica, eólica, hídrica, etc., un sistema de almacenamiento de energía (SAE) que se compone de un banco de baterías con autonomía suficiente para cubrir parte o la totalidad de la potencia eléctrica requerida por la instalación. Regulador de carga, el cual es un elemento de control que mide, registra y monitorea los niveles de voltaje que tiene el banco de baterías y en función del cual, se activa o no, el ciclo de carga de las baterías. El controlador de la microrred, igualmente mide, registra y monitorea la generación del FER con el fin de optimizar la energía producida, el uso de la potencia eléctrica mediante una correcta distribución y equilibrio de cargas alimentadas por la microrred. Estas instalaciones pueden funcionar en dos modos: modo isla o aislado, es decir, sin conexión con la red eléctrica, también llamado “off-grid” y el modo conectado a la red u “on-grid”, ambos modos se ilustran en la Fig. 1. (a) y (b) respectivamente.

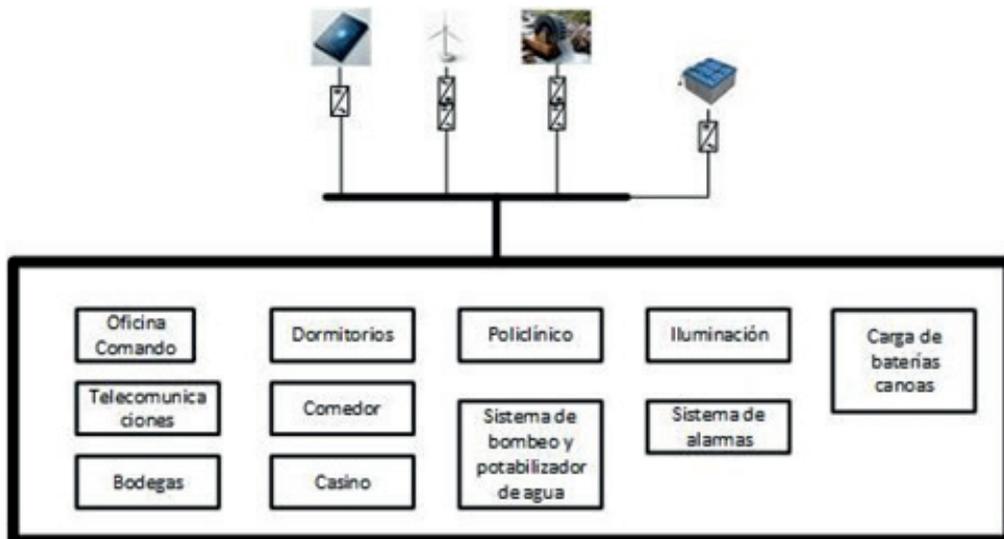
En nuestro caso se planteará una microrred en modo isla para alimentar al destacamento, esta deberá componerse por al menos dos FER y un SAE, pudiendo incrementarlas dependiendo de los recursos renovables primarios existentes en el sector y la necesidad o demanda del usuario. Existe una relación directa entre recursos energéticos renovables locales y la capacidad de generación de potencia eléctrica no interrumpida, no obstante, garantizar la condición de no interrumpida implica mayor gasto, ya que se debe evaluar alternativas como: analizar todos los recursos renovables existentes con potencial aprovechable, incrementar la autonomía del SAE y aunque no deseado pero necesario, observar la posibilidad de incluir un generador térmico a la microrred.

Figura 1: Modos de operación de las microrredes: (a) conectado a la red “on-grid”, (b) modo isla “off-grid”.



Las microrredes aisladas son sistemas de GPE independientes, cuyo sistema de control mantiene el voltaje y frecuencia nominal en los valores requeridos y dentro de sus tolerancias, niveles que podrían variar por varios factores, en especial por la capacidad nominal de cada generador y de su generación instantánea dependiente del comportamiento aleatorio de los recursos renovables locales aprovechables. Por otro lado, aunque en forma general la carga en un destacamento es constante, eventualmente podría variar en más o menos, por lo que, la necesidad de potencia eléctrica también variará; normalmente la tendencia es que la carga aumente, por lo tanto, la microrred deberá tener la capacidad de crecer, aplicando en el concepto de escalabilidad del sistema. La Fig. 2 ilustra una microrred tipo estándar que podría instalarse en los destacamentos, tomando en cuenta su estructura básica.

Figura 2: Microrred estándar en un destacamento militar



Cabe mencionar que los destacamentos actualmente carecen de varios elementos descritos en la Fig. 2., por lo tanto, existirán variaciones en sus estructuras, esta propuesta toma en cuenta elementos básicos o mínimos que un destacamento debería tener para su óptimo desempeño.

Respecto a la distribución de potencia eléctrica, el diseño deberá considerar una clasificación de cargas en función de la prioridad en el funcionamiento del destacamento estas cargas deberán ser: eventuales, normales y críticas.

Cargas eventuales son los dispositivos eléctricos que se alimentan y activan por momentos determinados, por ejemplo: maquinaria eléctrica, la misma que se alimentará y encenderá solo en ciertas condiciones u horarios y bajo el criterio del comandante. Cargas normales son las que deben estar alimentadas siempre, pero son encendidas en función de la necesidad del usuario, por ejemplo, iluminación en áreas comunales, dormitorios, etc. Finalmente, cargas críticas, las mismas que deberán estar siempre alimentadas y encendidas, es decir que, en caso de emergencia o carencia de potencia eléctrica, estas cargas serán prioritarias y solo serán desconectadas con orden del comandante bajo prelación, por ejemplo, los equipos de telecomunicaciones y otros vitales en caso de existir, como podría ser un sistema de iluminación y alarmas perimetrales.

2.2. Escenarios

Esta propuesta plantea una hipotética unidad militar remota localizada en frontera, la misma que, por su localización es muy complejo acceder a ella, este factor obliga a que dicha instalación sea autosustentable en todos los recursos posibles, maximizando su eficiencia y minimizando el esfuerzo logístico de servidumbre de la unidad. Desde este punto de vista, la implementación de una microrred se convierte en una inversión y resuelve en gran medida el problema de eficiencia energética planteada, logrando autosuficiencia energética y alivio en el esfuerzo logístico. Actualmente los destacamentos son dotados como fuente de potencia eléctrica con un generador térmico, el mismo que quema combustibles fósiles, diésel o gasolina, los mismos que deben ser transportados periódicamente hacia las mencionadas unidades. Para entender mejor el problema de autoconsumo se lo plantea como una analogía, con las características mencionadas ante la unidad terrestre, llámese destacamento o unidad de frontera; localizada en lugares remotos se la puede considerar como un navío, es decir, que debe generar su propia potencia eléctrica para energizar su carga total, esto supone que en algún momento deberá cubrir o alimentar a la carga total del destacamento y administrar la generación y el consumo de forma inteligente.

Suponiendo que la mencionada unidad consuma 500 Wh de energía, se plantean dos escenarios en función de la orografía del país. El primer escenario es que esté localizada en la región amazónica, donde como recursos energéticos renovables locales aprovechables son la energía fotovoltaica, considerando un promedio de irradiancia de 4,5 kW/m² (INGENIERIAVERDE.ORG, 2024).

El biogás producto de la descomposición de la materia orgánica o biomasa, la cual es abundante en la región y no supone un problema de suministro de materia prima, es correcto pensar que su potencial de generación sobrepasa la necesidad de potencia eléctrica de la unidad en estudio, teniendo en cuenta que en promedio se puede producir 0.3 m³ de biogás por kg de materia vegetal (UBA, 2024).

En lo referente al potencial hidráulico, la mayoría de las unidades de oriente están situadas a orillas de un curso de agua, esto permite el uso de generadores pico hidráulicos, estos sistemas tienen turbinas cuya característica es que no necesitan ríos caudalosos o caídas de agua para generar la suficiente potencia eléctrica, lógicamente, si existieran cualquiera de los dos factores anotados serían de mayor utilidad, el caudal promedio necesario para que una pico turbina genere energía eléctrica es de 0.05 m³/s, pudiendo ser menor si existe una caída de agua y del tipo de turbina que se utilice, los pequeños ríos en la amazonia ecuatoriana en general tienen caudales promedio que sobrepasan con holgura el caudal anotado (WORLDBANK.ORG, 2020).

En lo que se refiere a la generación eólica, a pesar de ciertos criterios en contra, es igualmente muy aprovechable, el uso de mini turbinas eólicas funcionando como un arreglo podrían generar una importante cantidad de potencia eléctrica, en este caso puntual, tomando en cuenta potencias de las mini turbinas de 10 kW, sería suficiente. El inconveniente con esta técnica de generación en la región amazónica son los altos árboles existentes, siendo la tala no recomendada, se podría utilizar ciertas infraestructuras tipo puente sobre los ríos, donde se coloquen arreglos de mini turbinas eólicas, las cuales puedan generar la potencia eléctrica suficiente, la Fig. 3, ilustra la estructura planteada (INSPENET, 2024).

Figura 3: Estructura de un arreglo de mini turbina eólicas



El segundo escenario que se configura es un destacamento en las fronteras norte o sur, o en cualquier otro lugar remoto del país, sea continental o en las islas Galápagos, donde pueden ser aprovechadas todas las tecnologías de generación, inclusive podría incrementarse la generación mareomotriz para la región costa y Galápagos. En este segundo escenario, el pico hidráulico es poco probable de ser aplicado, ya que los destacamentos en estas regiones no tienen ríos cercanos, no obstante, donde los hubiera deberán ser considerados.

Con base en los dos escenarios descritos, supondremos ahora una microrred típica, es decir, una que conste con al menos un FER y obligadamente el SAE, el control de la microrred en este caso no es complejo, ya que, al tener un solo generador, su inversor regula la frecuencia y el voltaje a ser entregado a las cargas, además un controlador de nivel de voltaje de las baterías, mediante el cual se discrimina si es o no necesario iniciar el ciclo de carga de las mismas. No obstante, este enfoque sencillo no cumple con el objetivo de implementar una microrred conceptualmente hablando, para ello es necesario que, al menos dos FER y el SAE interactúen en el sistema de generación, por lo tanto, el control se torna más complejo, debiendo utilizarse técnicas de control como las de formación de red o “grid forming” (Guarderas, 2017), (Rocabert, 2012), (Zeineldin, 2006), donde la FER más estable, marca y controla la frecuencia y el nivel de voltaje de la red mediante su inversor.

La estabilidad estimada de los FER se define mediante un análisis extenso e histórico de las condiciones ambientales del sector, pues estas determinan el comportamiento de cada uno de ellos, no obstante, al ser el recurso hídrico el más constante, la generación hídrica es la más estable. En el caso que no estuviere disponible, se deberá definir otra FER que manifieste un comportamiento que estadísticamente refleje mayor estabilidad, con el fin de que sea la referencia de la microrred.

Por otro lado, se debe considerar la potencia eléctrica que genera cada FER en un ciclo de tiempo determinado, es aconsejable obtener y registrar los datos del comportamiento de los FER durante el lapso de un año,

tiempo en que se considera que todas las condiciones climáticas han variado en el transcurso del mismo, y por lo tanto, se tiene un conocimiento más certero del comportamiento de los generadores.

Con estos factores definidos y teniendo una estimación más certera de la capacidad de potencia que puede generar realmente cada FER, se implementa un algoritmo de control con el que se selecciona o prioriza cuál o cuáles de los generadores entrega la potencia eléctrica para su distribución y uso, y cuál se encarga de mantener al SAE siempre alimentado para efectos de carga de sus baterías en función de su ciclo de carga. Este proceso de monitoreo y selección se ejecuta periódicamente, ya que los sensores climáticos revelarán cambios en las condiciones climáticas del sector en relación con la época del año seca o lluviosa, usualmente la FER que alimenta el banco de baterías es la que menos potencia produce, pero suficiente para cumplir el cometido de la carga, el resto de generadores con mayor potencia eléctrica producida alimentan las cargas.

III. Evaluación de resultados

3.1. Presupuesto

Se mencionó antes que el costo de una microrred depende de los resultados del análisis de los recursos primarios renovables existentes en la zona, para luego seleccionar cuál de ellos son los que tienen mayor potencial aprovechable, seguidamente, el dimensionamiento y diseño que determina la potencia pico hora en condiciones estándar de laboratorio a ser instalada, y en consecuencia, la potencia nominal de sistema de generación. El paso a seguir es la selección de equipos adecuados para la implementación de la microrred. La Tabla 1 muestra el presupuesto estimado.

Tabla 1: “Presupuesto estimado de una microrred en ambos escenarios”

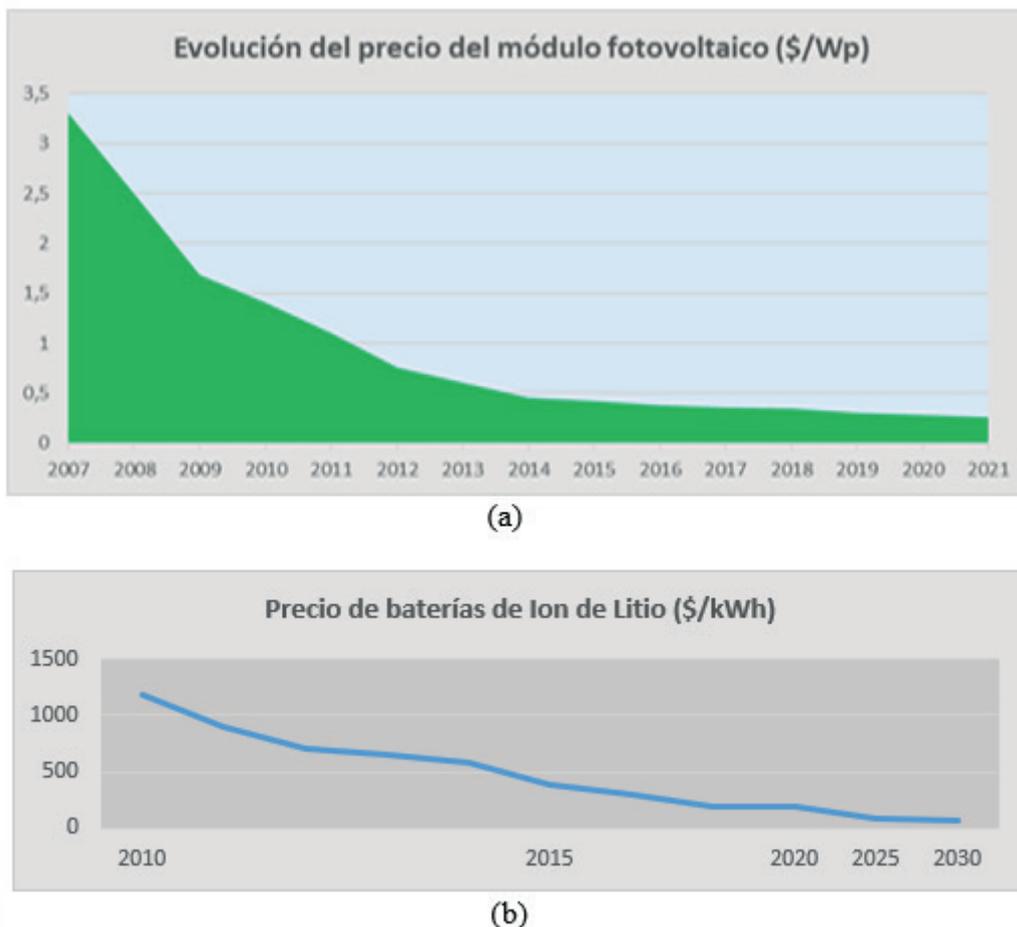
| ESCENARIO 1 | | | | |
|--------------|-------------|--------------|-----------------|-------|
| Una sola FER | | | | |
| Tipo de FER | Potencia kW | Costo FER \$ | Presupuesto* \$ | |
| Solar | 10 | 8000 | 1 | 19500 |
| Eólico | 10 | 20000 | 2 | 31500 |
| SAE | 10 | 7500 | | |
| Instalación* | 1 | 3000 | | |
| Transporte* | 1 | 1000 | | |
| ESCENARIO 2 | | | | |
| Varias FER | | | | |
| Solar | 10 | 8000 | 1 | 29500 |
| Eólico | 10 | 20000 | 2 | 39500 |
| Picohidro | 10 | 10000 | 3 | 44500 |
| Biogas | 10 | 15000 | | |
| SAE | 10 | 7500 | | |
| Instalación* | 1 | 3000 | | |
| Transporte* | 1 | 1000 | | |

* valores variables y estimados

Tomando en cuenta los dos escenarios, se podría definir un costo aproximado de la infraestructura propuesta. La tabla 1 muestra el presupuesto por escenario para generadores de hasta 10 kW. Considerando el primer escenario, un FER más el SAE, y que los valores son aproximados y variables, el precio de una microrred podría variar de entre USD 19.500 a USD 31.500, y para el segundo escenario el precio variaría desde USD 29.500 hasta USD 44.500. Cabe mencionar aquí que actualmente la tendencia en el precio de las baterías, paneles y otros equipos de generación mediante renovables están a la baja, por lo que este presupuesto también variaría a la baja. La Fig. 4 muestra la tendencia del precio de los paneles y baterías en los últimos años.

La implementación de este tipo de infraestructura ha demostrado ampliamente que el funcionamiento y operatividad de las unidades militares son mejoradas, las ventajas son evidentes que inclusive se han instalado microrredes en unidades que no necesariamente están lejanas y tienen conexión con una red principal, es decir, que trabajan en modo conectado a la red “on grid”, lo que permite tener sistemas de potencia ininterrumpidos.

Figura 4: Tendencia mundial del precio (a) paneles solares, (b) baterías.



Las Fuerzas Armadas, con mayores y mejores sistemas logísticos, han comprobado que el tener operando estas microrredes permite que las actividades de estas unidades nunca se interrumpan, incrementa la resiliencia de la unidad en todos sus aspectos funcionales y operativos (MICROGRIDLEDGE, 2024), (MICROGRIDLEDGE, 2023).

La implementación de las microrredes en unidades remotas o alejadas incrementaría su potencial operativo, la resiliencia y entre otras ventajas reforzaría la relación con las poblaciones adyacentes, lo cual agrega

valor a estas infraestructuras y cumple objetivos en la tarea del apoyo al desarrollo que persiguen las F. A. generando potencia eléctrica, con el fin de suministrarla a las pequeñas aldeas cercanas.

Por otro lado, el ahorro en el esfuerzo logístico se convierte en liberación de recursos para ser invertidos en otros fines, lo cual permite mejorar en el bienestar del personal y mantenimiento de equipos y maquinarias.

Finalmente, las microrredes son bastante robustas, son un sistema de generadores de potencia eléctrica basados en recursos renovables, por lo tanto, son recursos ilimitados; cuando uno de ellos es escaso, otro será el que genere la potencia adecuada, configurando una estructura con respaldo y redundancia, sin embargo, existe la posibilidad de una “tormenta perfecta”, donde por alguna razón, ninguna de estas fuentes de energía renovable genere a su mínima capacidad, en ese caso, se deberá mantener como reserva un sistema térmico en perfectas condiciones funcionales con capacidad de alimentar como mínimo las cargas críticas y la carga del SAE.

Adicionalmente, y considerados como una reserva extra útil para casos extremos, el uso de baterías que no son parte del SAE, pero alientan a motores eléctricos, por ejemplo, en unidades de oriente, donde la principal vía de transporte es la fluvial, se cambiaría los motores a combustión de las canoas por motores eléctricos, los cuales son alimentados por baterías, estas pueden ser utilizadas también como fuente de potencia eléctrica de emergencia para alimentar las cargas críticas, esto obliga a seguir estrictamente un plan de mantenimiento de carga de las mencionadas baterías, complementado con una doctrina de uso de los generadores de energía de emergencia.

IV. Conclusiones

Los destacamentos militares por su naturaleza sufren de escasez de recursos y son muy dependientes del sistema logístico de las fuerzas armadas, por lo que es muy común que por las condiciones climáticas o daños en los transportes la servidumbre logística a estas instalaciones se interrumpa, poniendo en condiciones vulnerables el cumplimiento de la misión impuesta.

Es un hecho comprobado en otras fuerzas armadas que el implementar estas microrredes en destacamentos los convierte en unidades autosuficientes, con energía disponible suficiente, se facilita el desarrollo de actividades paralelas como la agricultura implementando pequeños huertos, crianza de animales, y permite y facilita la conservación de alimentos.

Por otro lado, operativamente, se minimiza el riesgo del fallo en los sistemas de telecomunicación, de hecho, los robustece, permitiendo monitoreo en tiempo real del destacamento por parte del escalón superior. Así como también la implementación de sistemas de apoyo en la seguridad de las instalaciones.

La administración de la potencia generada será responsabilidad del sistema de control mediante un algoritmo de control, el mismo que podrá ser gestionado por personal entrenado y supervisado por el comandante del destacamento con base a políticas dadas por el escalón superior.

Finalmente, y como se inició mencionando en este artículo, lo más importante en una operación militar es el recurso energético, sin combustible no se mueve la maquinaria, haciendo una analogía con las guerras de siglos pasados, “un ejército marcha sobre sus estómagos”, en la actualidad no ha cambiado el sentido de esta frase pensada por Napoleón, por lo tanto, los actuales ejércitos para cumplir exitosamente su misión, necesitan muchos y más recursos, entre ellos el más importante es la energía, sea eléctrica, mecánica, química,

etc. En este caso, la generación de potencia eléctrica es vital para mantener unidades remotas en condiciones óptimas para cumplir su misión, convirtiéndolas en autónomas en muchos aspectos y ahorrando en mucho el esfuerzo logístico necesario.

Referencias

- González, L. P., Morales, L. F. C., & Gaspar, G. (2019). PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: Fundamentos y parámetros. <https://doi.org/10.19136/book.191>
- Guarderas, G., Frances, A., Asensi, R., & Uceda, J. (2017). Large-signal blackbox behavioral modeling of grid-supporting power converters in ac microgrids. 2017 IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 153–158.
- Ingenieria Verde. (s. f.). https://ingenieriaverde.org/wpcontent/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf
- Ingenieria Verde. (s. f.). chrome-extension://efaidnbmninnbpcajpegclclefindmkaj/https://ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf
- INSPENET. (s. f.). <https://inspenet.com/articulo/mini-turbinas-eolicas-solucion-energetica/> Mini Turbinas Eólicas Portátiles como Solución Energética (inspenet.com)
- IRENA. (2024). Renewable energy statistics 2024. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. <https://www.irena.org/>
- J. Rocabert, A. Luna, F. Blaabjerg, & P. Rodríguez. (2012). Control of power converters in ac microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(11), 4734–4749.
- MICROGRIDKNOWLEDGE. <https://www.microgridknowledge.com/sponsored/article/55137509/revolutionizing-defense-the-crucial-role-of-microgrids-and-schneider-electric-in-department-of-defense-energy-resiliency>
- MICROGRIDKNOWLEDGE. <https://www.microgridknowledge.com/military-microgrids/article/33013118/construction-begins-on-us-armys-latest-microgrid-at-fort-campbell-ky>
- PVEDucation. (s. f.). <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/promedio-de-la-radiaci%C3%B3n-solar>
- United Nations. (s. f.). Cambio climático | Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>
- WORLDBANK. (s. f.). <https://collaboration.worldbank.org> ASL Factsheet Amazonia Ecuador 1123.pdf (worldbank.org)
- Zeineldin, H. H., El-Saadany, E. F., & Salama, M. M. A. (2006). Distributed generation micro-grid operation: Control and protection. 2006 Power Systems Conference: Advanced Metering, Protection, Control, Communication, and Distributed Resources, 105–111.