

**“Factibilidad para el diseño de una Micro-red basado en la economía circular en el proceso de extracción de petróleo.”**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**  
**INGENIERA ELÉCTRICA**

**TEMA:**  
**“FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA MICRO-RED BASADO EN LA**  
**ECONOMÍA CIRCULAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE**  
**PETRÓLEO.”**

**AUTOR:**  
**Erika Gabriela Bustillos Loachamin.**

**TUTOR:**  
**Edwin Marcelo García Torres**

**Quito, Febrero 2021.**

Erika Gabriela Bustillos Loachamin

**“FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA MICRO-RED BASADO EN LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO.”**

Universidad Politécnica Salesiana

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



**Erika Gabriela Bustillos Loachamin** (Y'1989-M'31). Estudiante de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Áreas de interés: Generación distribuida, respuesta a la demanda, micro-redes, energía renovable.

[ebustillos@ups.edu.ec](mailto:ebustillos@ups.edu.ec)

Dirigido por:



**Edwin Marcelo García Torres** (Y'1978 -SM10). Se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana y de Máster en Gestión de Energía. Actualmente se encuentra trabajando para su doctorado en Ingeniería con la Universidad Pontificia Bolivariana. Área de interés: respuesta a la demanda, sistemas de automatización – Scada, microgrids, sistemas de energía renovable, generación distribuida y smart grid. Actualmente es miembro del Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group). [mgarcia@ups.edu.ec](mailto:mgarcia@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

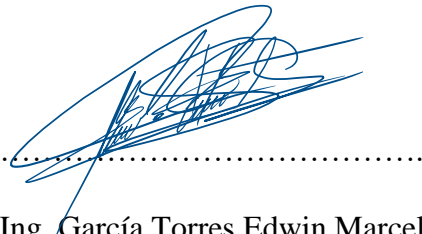
©2021 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO-ECUADOR

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A**

Yo, García Torres Edwin Marcelo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación "*Factibilidad para el diseño de una Micro-red basado en la economía circular en el proceso de extracción de petróleo*", realizado por Erika Gabriela Bustillos Loachamin, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, Febrero, 2021.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edwin Marcelo García Torres', is written over a horizontal dotted line.

Ing. García Torres Edwin Marcelo

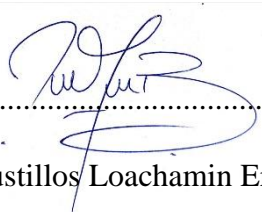
Cédula de identidad: 1803087400

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Erika Gabriela Bustillos Loachamin, con documento de identificación N° 1724469802, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: *“Factibilidad para el diseño de una Micro-red basado en la economía circular en el proceso de extracción de petróleo ”*, mismo que 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 aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....

Bustillos Loachamin Erika Gabriela

CI: 1724469802

Febrero, 2021.

## INDICE GENERAL

1. Resumen .....	1
2. Introducción .....	2
3. Marco teórico .....	5
3.1. Recursos distribuidos .....	5
3.2. Sistema fotovoltaico .....	5
3.3. Banco de Baterías .....	7
3.4. Aerogenerador .....	7
3.5. Energía a combustión (CHP – Gas – diésel) .....	8
3.6. Micro-redes Aisladas .....	8
3.7. Sistemas de gestión despacho de generadores .....	9
3.8. Respuesta de la demanda .....	9
3.9. Economía circular .....	9
4. Problema .....	10
4.1. Definición del Problema .....	10
4.2. Sistema de gestión para una Micro-red .....	10
4.3. Variables de decisión .....	10
4.4. Función Objetivo .....	11
4.5. Costo Anual Equivalente (CAE): .....	11
4.6. Costo de generación de energía: .....	11
4.7. Restricciones de operación .....	11
5. Pseudocódigo .....	12
6. Introducción a Casos de estudio .....	12
6.1 Generación diésel .....	13
6.2 Generación diésel +PV .....	14
6.3 Generación + PV+CHP .....	14

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tecnología Solar .....	11
Tabla 2. Costos de operación por cada caso .....	16



# FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA MICRO-RED BASADO EN LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO

## Resumen

Dentro del artículo se determinó la factibilidad de implementación de un diseño basado en micro-redes y economía de combustible en el proceso de extracción de petróleo. La problemática principal se enfoca en la emisión de gases que tienen un impacto negativo en el medioambiente y son generados por las empresas petroleras. La economía circular juega un papel muy importante en este diseño, la integración de paneles fotovoltaicos y generadores diésel permitieron la reducción de costos operativos y la adecuada utilización de recursos energéticos. Bajo el escenario de una planta petrolera con operación de 24 horas el sistema propuesto en este estudio se considera factible dado que el algoritmo de optimización demuestra la reducción anual del consumo de diésel en un 56% y un decrecimiento respecto a los costos de operación con un 16%, de esta forma se disminuye la huella de emisión de gases contaminantes en el sector objeto de estudio.

**Palabras clave:** Micro-redes, recursos energéticos, economía de combustible.

## Abstract

This article determined the feasibility of implementing a design based on micro-networking and fuel economy in the oil extraction process. The main problem is focused on the emission of gases that have a negative impact on the environment and are generated by oil companies. The circular economy plays a very important role in this design, the integration of photovoltaic panels and diesel generators allowed the reduction of operational costs and the adequate use of energy resources. Under the scenario of an oil plant with 24-hour operation, the system proposed in this study is considered feasible since the optimization algorithm shows an annual reduction of diesel consumption by 56% and a decrease in operating costs by 16%, thus reducing the footprint of pollutant gas emissions in the sector under study.

**Keywords:** Micro-grid, energy resources, fuel economy.



## 1. Introducción

Con el transcurso del tiempo los medios tecnológicos se han desarrollado y con ello se ha buscado cambiar el modelo tradicional de generación de electricidad y buscar nuevas formas de generar electricidad cuidando el medio ambiente por esa razón se está implementando la tecnología Micro-red (MR).

La tecnología MR es un sistema totalmente independiente que se encuentra distribuido en pequeñas escalas ya que utiliza la tecnología eléctrica moderna, se encuentran aislados de la red eléctrica tradicional y son independientes ya que generan energía eléctrica para el consumo directo a la carga.

Las micro-redes (MRs) al instalarse por debajo de los sistemas eléctricos tradicionales satisfacen la demanda de diversificación es decir tiene beneficios como mantener la estabilidad del voltaje, aumenta la confiabilidad del sistema eléctrico, disminuye las pérdidas de transmisión. [1]

Por otro lado, la extracción de petróleo es un proceso que históricamente ha proporcionado al Ecuador uno de sus principales ingresos, sin embargo, varias empresas petroleras se han visto vinculadas a litigios por contaminación ambiental, en consecuencia, la industria petrolera ha generado tecnologías más sostenibles con el ecosistema, no obstante, aún hay muchos conceptos que pueden seguir implementándose para evitar la degradación ecológica, uno de estos conceptos es la economía circular. En este sentido, la polución al ambiente causada por el proceso agresivo de extracción de petróleo ha generado la necesidad de implementar sistemas basados en economía circular, dado que ésta se relaciona con las MRs manteniendo un bajo consumo energético. [2]

En este sentido la economía circular está directamente relacionada a las MRs, ya que la economía circular busca aminorar los restos que se producen llegando a formar parte de los recursos primarios dirigidos a la producción cerrando los movimientos financieros y derivados de ecología de las fuentes [2], haciéndose necesario articular todo esto al proceso de extracción de petróleo, para evitar más contaminación al ambiente.

Por lo tanto, con lo mencionado anteriormente nos proporciona los elementos suficientes para adaptarnos a las necesidades y cambio que se presentan en la actualidad en este caso la tecnología MR que ayuda a la generación de electricidad aprovechando las fuentes renovables en este caso la energía producida por el sol que es captada por paneles solares o fotovoltaicos.

Es importante destacar que mediante la fuerza solar fotovoltaica llega a abastecer gran proporción de la potencia solicitada, además que geográficamente la locación del Ecuador facilita la presencia del sol a lo largo del año con una radiación de 4.574,99 W/m<sup>2</sup>/día [3]. Con estos datos obtenidos de la radiación solar en el Ecuador podemos ver la factibilidad de establecer un régimen de producción de MR que ayudaría a satisfacer la necesidad de energía eléctrica que requiera el campo petrolero.

En las últimas décadas, se han realizado varios estudios que observan la optimización de MRs energéticas (operación, estructura y diseño) bajo criterios de sostenibilidad ambiental, energética y económica [4].

Los cambios también se basan desde el ámbito económico es así que en Ecuador en los últimos años se ha buscado contribuir con el medio ambiente por lo tanto disminuir el consumo de gas licuado de petróleo es un objetivo de los gobiernos actuales con este objetivo se busca

disminuir la contaminación ambiental y aprovechar los recursos renovables que tiene el ambiente es así que se busca cambiar a cocinas eléctricas aprovechando MRs no solo en el ámbito residencial sino también en el ámbito industrial si es bien la demanda de generación de electricidad aumentara en gran proporción pero se tiene los recursos naturales para poder suplir esta demanda aprovechando la tecnología MR. [5]

En Norteamérica se ha estudiado la mejor elección de los productores eléctricos renovables y los métodos en que se almacenan en MRs con interconexión a red juntamente con la agilización de la operación de los elementos estableciendo una conexión a la red con el objetivo que la MR también contribuya a suministrar energía a la red esto provocaría que la energía eléctrica que llegue a la carga o al consumidor final sea optima disminuyendo las pérdidas que se generan en el conductor, esto ha implicado un significativo decrecimiento en el costo durante el tiempo de utilidad de la MR y un descenso de manifestaciones relacionadas al ambiente. [6]

En Europa, podemos ver cómo se ha incursionado en el modelado y la optimización de sistemas de generación de electricidad con fuentes renovables, gas natural (combustibles fósiles), calefacción de distrito, logrando métodos que permiten la mejora del boceto y accionar de los procesos energéticos que componen diversos recursos y vectores energéticos, los modelos se basan en un enfoque conceptual para la inclusión de recursos distribuidos. El flujo de potencia y la conversión entre las diferentes infraestructuras energéticas se describe como acoplamiento de múltiples entradas y múltiples salidas, lo que permite un análisis sencillo y la optimización de los

flujos [7] [8]. Los científicos europeos desde hace muchos años que están desarrollando estos sistemas no sólo con fuentes renovables sino no renovables, por consiguiente, tienen sistemas muy avanzados de MRs y cada uno óptimos.

Asia que ha considerado especialmente la mejora termo-económica de un proceso energético organizado Combined Heat, Power (CHP) para el suministro energético. Han realizado metodologías considerando aspectos económicos, termodinámicos y de repercusión ambiental relacionados a las manifestaciones de CO<sub>2</sub> y NO. Tecnologías como turbina de gas, motor de combustión interna, enfriador de absorción y caldera de gas se consideran opciones de configuración óptima. Las configuraciones óptimas se encuentran considerando la configuración, diseño y operación del sistema en diferentes contextos de legislación económica y ambiental [9].

Para África, un continente que históricamente se ha visto limitado de medios de vida necesarios, el desarrollo de un sistema de electricidad descentralizado y a bajo costo ha sido de gran beneficio, es así como este continente ha aprovechado el desarrollo de las MRs sobre todo con la incorporación de fuentes renovables. Adicional están surgiendo nuevos modelos comerciales que pueden permitir que incluso los consumidores más pobres accedan a la electricidad, a menudo mediante pagos basados en teléfonos móviles, hecho en el que muchas empresas han ido incursionando. Estas MRs pueden diseñarse para adaptarse a cada aplicación en función de los recursos disponibles para la generación, el perfil de demanda y las entradas económicas de los clientes [10] Además, África se ha enfocado en pequeños procesamientos agrícolas y pequeñas cargas industriales y comerciales. Todo esto es importante para

que el continente pueda a diseñar programas para cumplir sus objetivos individuales de MRs y apoyar al desarrollo de estas priorizando África rural [11].

Australia tiene cerca de 100 años de práctica en cuanto a la gestión de las demandas de energía variable, el suministro de electricidad a lugares remotos, las fuentes energéticas de tipo renovable incorporadas en las redes eléctricas y la planificación para el futuro. Con una población relativamente pequeña distribuida en áreas geográficas vastas y remotas, las redes eléctricas en Australia deben cubrir largas distancias. En consecuencia, muchas comunidades regionales tienen sus propias MRs. Las temperaturas extremas, incluidos los períodos de mucho calor, también imponen cargas muy variables en las redes. En respuesta a estos desafíos, muchas empresas australianas han desarrollado soluciones para MRs, redes inteligentes, reducción de picos y almacenamiento de energía. Con fuentes de generación intermitentes como la energía eólica y solar desempeñando un papel cada vez mayor en el suministro, estas capacidades están apareciendo en nuevas aplicaciones y están configurando a Australia como líder mundial en el diseño de redes eléctricas del futuro [12].

Por otro lado, en Latinoamérica la producción emitida y las MRs se muestran como un nuevo reto que enfrenta la región. Esta región ha buscado el acceso que las zonas más alejadas de los sistemas convencionales de electricidad obtengan un suministro de energía eléctrica, con medidas para asegurar la calidad, confianza y resistencia mediante las diversas fuentes energéticas renovables convencionales y no convencionales de tipo distribuidas, que han sido perfeccionadas en los últimos años [13]. Los primeros proyectos se ejecutan asimismo para disminuir el porcentaje de

apagones, por lo que se ha trabajado en la sistematización de las subestaciones ubicando dispositivos inteligentes actuales [14].

Esta revisión del estado del arte evidencia cómo los científicos están trabajando fuertemente en la configuración y gestión que se van desarrollando acorde a la metodología de MRs. En su mayoría, los artículos revisados toman en cuenta el rendimiento económico como principio elemental, mientras que se considera la sostenibilidad ambiental (emisiones de CO<sub>2</sub>) como criterio secundario. Es evidente el desarrollo de las MRs en los últimos años, enfatizando principalmente el uso de fuentes como la energía fotovoltaica y eólica, sin embargo, queda pendiente seguir ampliando el campo de sistemas de MRs con fuente no renovables, a excepción de continentes como Europa y Australia que si han incursionado en estos procesos, es así que, Sudamérica y especialmente Ecuador apenas han empezado a introducirse en las metodologías del desarrollo de MRs con fuentes combinadas con fuentes renovables (sol, aire) y no renovables como los combustibles fósiles (gas residual), por estos motivos el aporte del presente proyecto es de gran relevancia en el ámbito regional y local. [15]

La información necesaria se obtendría realizando las respectivas pruebas de campo para comprobar que la cantidad de generación que se necesita así conoceríamos la potencia que debe suministrar nuestra MR. En segundo lugar, se debe recabar información de radiación solar, temperatura del aire de la NASA en su respectiva base de datos, de esta manera se puede diseñar un método de producción fotovoltaico que contiene paneles solares, inversores; inversores-cargadores y sistema de baterías [16].

El sistema de apoyo existe para cuando las condiciones climáticas son desfavorables; se lleva a cabo el dimensionamiento de un proceso estructurado mediante un generador Sistema combinado de calor y energía (CHP) de gas residual de la extracción de petróleo. Cuando ya se definan los equipos que formarán parte de la MR; se elabora un esquema que explique las conexiones y funcionamiento de todos los elementos. Por último, se elabora un presupuesto económico, para determinar la viabilidad económica, técnica y medioambiental [16].

Adicional a todo esto es importante tomar en cuenta el despacho de los recursos distribuidos que, al repartir la carga entre los generadores y sistemas de almacenamiento, decidiendo el punto de operación de cada micro generador para que funcionen en todo momento se consigue reducir los costos de operación, esta optimización de precios incluye la maximización del beneficio [17].

Para concluir, con todo lo anterior se establece la importancia de una MR que permita aprovechar los recursos energéticos distribuidos en el proceso de extracción del petróleo basado en la economía circular ya que esta quiere reducir en lo más posible la contaminación al ambiente por lo tanto una MR independiente va a ayudar a disminuir el consumo de energía tradicional y sobre todo genera un impacto positivo ya que se evita emitir más gases de efecto invernadero al ambiente.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Recursos distribuidos**

Es importante señalar que el mecanismo de las MRs eléctricas tiene la posibilidad de funcionar de manera independiente y aislada de la red eléctrica convencional o pueden funcionar de forma interconectada

siempre y cuando cumplan con los requerimientos locales. En este sentido, las MRs buscan disminuir la dependencia de la red eléctrica convencional mediante la optimización de recursos energéticos. Las ventajas de los recursos distribuidos existentes en una MR radican en el bajo consumo energético en comparación con la red convencional, estimando así facturas con un menor costo, adicional se tiene como beneficio la notable disminución en la congestión y saturación de la red eléctrica convencional. [15]

A continuación, se detalla el fundamento matemático de los recursos energéticos distribuidos más comunes.

### **2.2. Sistema fotovoltaico**

Los sistemas fotovoltaicos son los que captan la fuerza irradiada por el sol y la convierten en electricidad que puede ser utilizada de diferentes maneras, pero para que ocurra esto debemos realizar una correcta instalación con los elementos indispensables que permitirán el correcto funcionamiento y control del sistema fotovoltaico estos son: [18]

- **Módulo fotovoltaico:** Cumple con la función de captar y convertir la radiación emitida por el sol en corriente eléctrica, los módulos logran ser conectados tanto en serie como en paralelo. Al conectar en serie los módulos fotovoltaicos el voltaje total corresponde a la adición de cada uno de los voltajes de los módulos con su respectiva corriente de salida, misma que será igual a la corriente de un módulo; en cambio al conectar en paralelo la corriente total será la suma de las corrientes individuales de cada uno de los módulos fotovoltaicos conectados pero su voltaje será el mismo en todo el sistema fotovoltaico.

- Baterías o acumuladores: Como la radiación emitida por el sol no es constante esto provoca que la energía eléctrica que se genera tampoco lo sea y hace necesario que exista baterías o acumuladores de energía para ser utilizados en los periodos que no exista generación de energía eléctrica proveniente de la captación de la radiación solar en los módulos fotovoltaicos.
- Inversor: La generación de energía fotovoltaica es en corriente continua por lo cual se utiliza el inversor para que convierta a la característica eléctrica que necesita la carga que se va alimentar con energía solar o fotovoltaica.
- Elementos de protección del circuito: Los elementos de protección tendrán la tarea de proteger el sistema fotovoltaico estos elementos de protección son el diodo de bloqueo, interruptores para desconexión, protección a tierra entre otros.

Un sistema fotovoltaico PV y un convertidor CC/CC unificados componen el sistema DMPPT o MPP (Massively Parallel Processing) distribuido. [19] Con respecto al modelo matemático del PV demostrado en la siguiente ecuación se identifica que IPV es la corriente del módulo, la cual depende de la corriente de cortocircuito ( $I_{SC}$ ), el voltaje del módulo ( $V_{PV}$ ) y los parámetros  $A_0$  y  $B_0$ . [20]

$$E = Irr * \eta_{pre} * \eta_{aci} * \eta_{sis} [Wh/m^2] \quad (1)$$

En la ecuación (1) se calcula el valor de  $E$  rendimiento de energía

Donde:

$Irr$  = Irradiación solar [ $Wh/m^2$ ]

$\eta_{pre}$  = Pérdidas de pre-generador

$\eta_{aci}$  = Pérdidas de captura de arreglo

$\eta_{sis}$  = Pérdidas del sistema

Para realizar instalar de manera adecuada los sistemas fotovoltaicos es preciso tener en cuenta el consumo de energía. Esto está dado por la potencia nominal de los dispositivos, equipo o lo que se quiere conectar a la red fotovoltaica.

$$C_{total} = C_{DC} + \frac{C_{AC}}{F_{perdidas}} \quad (2)$$

Donde:

$C_{total}$  = Consumo de energía en [W-h/día]

$C_{DC}$  = Consumo DC en [W – h/día]

$C_{AC}$  = Consumo AC en [W – h/día]

$F_{perdidas}$  = Factor de perdidas entre 85% y 90%

La potencia más alta que llega a darse en watt o vatios puede llegar a representarse con la suma de las potencias en AC (corriente alterna) y en DC (corriente continua). Al tener conocimiento de estos valores se puede determinar la corriente mediante cálculos aplicando un elemento de seguridad que generalmente está entre 1.0 y 1.5. la corriente que se requiere en AC está dada por la siguiente expresión:

$$I_{Req} = \frac{(P_{AC} + P_{DC}) * F_{SEF}}{V_N} \quad (3)$$

Donde:

$I_{Req}$  = Corriente requerida por el sistema en [A]

$P_{AC}$  = Potencia AC en [W]

$P_{DC}$  = Potencia DC en [W]

$V_N$  = Voltaje nominal del sistema [V]

$F_{SEF}$  = Factor de seguridad

Calcular la corriente requerida en corriente continua deberá de realizarse mediante la siguiente expresión:

$$I_{ReqDC} = \frac{(C_{TOTAL}) * F_{SEF}}{V_N} \quad (4)$$

Donde:

$I_{ReqDC}$  = Corriente requerida por el sistema en [A]

$C_{TOTAL}$  = Consumo energético en [A – h/día]

$V_N$  = Voltaje nominal del sistema [V]

$F_{SEF}$  = Factor de seguridad

Para realizar el cálculo de la energía eléctrica que genera el conjunto de paneles solares o fotovoltaicos, se tiene la siguiente expresión:

$$I_{RPF} = \frac{I_{total}}{G_p} \quad (5)$$

Donde:

$I_{RPF}$  = Corriente requerida por los paneles solares o fotovoltaicos.

$I_{total}$  = Corriente total calculada por sistema en [A – h/día]

$G_p$  = Horas sol en [h/día]

Para conocer el número de paneles deseados en serie y paralelo, se tiene las siguientes expresiones:

$$n_s = \frac{V_N}{V_{NPF}} \quad (6)$$

$$n_p = \frac{I_{RPF}}{I_M} \quad (7)$$

Donde:

$n_s$  = Numero de paneles en serie

$n_p$  = Numero de paneles en paralelo

$I_{RPF}$  = Corriente requerida por los paneles solares o fotovoltaicos.

$I_M$  = Corriente nominal del panel a potencia máxima.

$V_N$  = Voltaje nominal

$V_{NPF}$  = Voltaje nominal del panel solar o fotovoltaico.

## 2.3. Banco de Baterías

Actualmente, ante la necesidad de generar energía mediante recursos renovables, el almacenamiento estacionario es una de las alternativas para las baterías de ion-litio. Los modelos de baterías reflejan las características de las baterías reales, y llegan a ser utilizadas para antelar su conducta sin importar las diferentes situaciones de carga/descarga, ayudando a mejorar el diseño de los componentes de la batería y su utilización. [21] Es indispensable acotar que los diversos modelos de baterías existentes tienen ventajas y desventajas, dado que no se puede predecir la vida útil de las mismas. [22] A continuación, se muestra el modelo de circuito equivalente Thévenin como referencia del modelo matemático del circuito eléctrico correspondiente.

Para poder entender este circuito es indispensable hacer énfasis en la fundamentación matemática, misma que se refleja en la siguiente ecuación que sirve para la obtención de SoC diseñada por varios autores. [23] Adicional, para obtener una mejor precisión de resultados se deben considerar los parámetros de temperatura y velocidad de descarga. [24]

$$SoC = SoC_0 - \int \frac{i(t) * 100}{Q^u(i) * 3600 * \beta(T)} dt \quad (8)$$

Donde:

$SoC_0$  = SoC inicial

$i(t)$  = Corriente de carga/descarga

$Q^u(i)$  = Capacidad útil

$\beta(T)$  = factor de temperatura

## 2.4. Aerogenerador

La energía del viento no se aprovecha en su totalidad, sin embargo, ésta es muy elevada y constituye una alternativa para obtener un rendimiento óptimo de la

energía cinética del viento, este enunciado se presenta de acuerdo con el teorema de Betz. [25] En este sentido, la potencia que puede ser extraída del viento mediante un aerogenerador se da por la siguiente fórmula. [26] [27]

$$P = C_p \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V^3 \quad (9)$$

Donde:

$C_p$  = Coeficiente de potencia.

$\rho$  = Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = Velocidad del viento (m/s)

$D$  = Diámetro de las hélices (m)

## 2.5. Energía a combustión (CHP – Gas – diésel)

Con respecto al CHP y la generación de diésel, el efecto de la conmutación de la relación aire combustible y la correlación de compresión en la eficiencia térmica al freno, la presión pico y la temperatura pico son elementos muy necesarios en el cilindro de un motor sustentado con biodiésel de semilla de caucho, diésel convencional y mezcla de diésel con 20% vol. de biodiésel. [28] [29]

$$E_{DIESEL} = CE \cdot \beta \cdot H_m \quad (10)$$

$$E_{CHCP} = CE \cdot \beta \cdot H_m \quad (11)$$

Donde:

$CE$  = Capacidad efectiva [W]

La capacidad generada en la planta se encuentra en Watts

$\beta$  = Disponibilidad y combustible

El rango de disponibilidad de la planta de generación esta entre 0 y 1

$H_m$  = Tiempo de Operación [h]

## 2.6. Micro-redes Aisladas

Una MR es una red eléctrica integrada que hace uso de fuentes de energía esparcidas y equipos de retención de energía para proveer la demanda a nivel local. [30] Mediante las MRs aisladas se plantea un modelo de gestión energético para estimular en consumidores una respuesta favorable a la demanda, teniendo en cuenta que, los usuarios están conectados a una MR, con todos los aspectos beneficiosos que conlleva. [31]

La implementación de las Redes Locales (MGs) en conjunto con fuentes energéticas, podría posibilitar al Ecuador proveer de energía eléctrica a sectores donde llega a ser dificultosa la conexión a la red de distribución. La Red Local (MG) es una red local que puede trabajar de manera solitaria, interconectada a la red o híbrida, mantenida por fuentes de energía renovables, con pocas herramientas de control avanzado. [32] En diferentes naciones se desarrolla las MGs debido a que ofrece beneficios, como una mejor calidad de la energía y ser amigable con el medio ambiente. Las MGs pueden brindar o receptor energía, siempre que se dé cumplimiento a definidos lineamientos y normativas de calidad de potencia [33]

Es importante recalcar que el acceso al monitoreo constante y control de la generación de energía en conjunto con la demanda con relación al tiempo es una de las ventajas del diseño de una MR, ya que la categoriza como óptima en los sistemas existentes; normalmente se considera como un sistema a pequeña escala, sin embargo, sus ventajas de ahorro y utilización de energías renovables hacen de la MR un sistema funcional con funcionamiento en isla.

## 2.7. Sistemas de gestión despacho de generadores

El objetivo principal de los sistemas de despacho de generadores es determinar la potencia producida en cada unidad con el costo mínimo por kWh. [34] Actualmente existen varias tecnologías a este nivel de generación de energía y la relación predispuesta se aproxima mediante la siguiente ecuación: [35]

$$C_i \frac{a_i}{2} * P_i^2 + b_i * P_i + c_1 \quad (12)$$

Donde:

$C_i$  = es el costo ene \$/h del generador  $i$ .  
 $P_i$  = es la potencia producida por el generador  $i$ .

$a_i, b_i, c_i$ : son constantes tipologías y propias de la ecuación de cada generador  $i$ .

Es importante denotar que, al derivar la ecuación (11) se consigue el costo unitario por kWh (\$/kWh), o costo incremental ( $\lambda_i$ ), el cual se refleja en la siguiente ecuación: [34]

$$\lambda_i = \frac{dC_{gi}}{dP_{gi}} = a_i * P_{gi} + b_i \quad (13)$$

Las ecuaciones (11) y (12) refieren para una central que genera energía eléctrica, sin embargo, el despacho económico se forma por algunas unidades.

$$P_{gi} = \frac{\lambda_i - b_i}{a_i} \quad (14)$$

El despacho económico tiene como limitación que la sumatoria de las fuerzas de salida de las centrales ( $P_{gi}$ ), debe ser semejante a la potencia de la carga ( $P_{carga}$ ). Así también, cuando una central tiene despacho preferencial, su

potencia de salida ( $P_{preferencial}$ ) se resta de la potencia de carga, tal y como se muestra en la siguiente ecuación. [36]

$$\sum_{i=1}^N P_{gi} = P_{carga} - P_{preferencial} \quad (15)$$

## 2.8. Respuesta de la demanda

Ante la creciente demanda de la población enfocada a mejorar la calidad de vida y por ende el incremento del consumo de energía eléctrica es indispensable tener en consideración que el ambiente sufre un impacto significativo. Este aumento del consumo de energía eléctrica se debe a: [37]

- Mejoras económicas de la población.
- Incremento del parque comercial e industrial.
- Aumento de la población.

En esta instancia, se requiere tener en consideración el cambio del factor de calificación (FC), para el cual se debe emplear la siguiente ecuación: [38]

$$FC = \frac{EAHPmes}{MDmes \times HPmes} \quad (16)$$

Donde:

$EAHPmes$  = Energía activa consumida en horas punta del mes.

$MDmes$  = Máxima demanda del mes (en HP o FHP)

$HPmes$  = Número de horas punta del mes.

## 2.9. Economía circular

La definición de economía circular constituye una perspectiva en la que el valor económico de los materiales se optimiza en el tiempo. En este sentido, se considera imprescindible la minimización



de extracción de materiales para promover la economía circular donde el reaprovechamiento de los recursos funciona de manera continua en todas sus etapas, sin embargo, existe limitación con los elementos que terminan en el vertedero. La dinámica de transición de la economía circular permite nuevas configuraciones de activos relacionados a micro-redes con gestión activa y una demanda latente. [39]

La economía circular representa un ámbito innovador en la generación de energía eléctrica y ha recibido diferentes nombres como bioeconomía, crecimiento verde o economía verde denotando características auténticas y propias en base a las metas de carácter social, ambiental y económica con direccionalidad sostenible. Ésta señala a un tipo de economía eficaz y eficiente en torno a la utilización de los recursos o biomasa mediante la utilización de materia prima que permita el funcionamiento del sistema durante el mayor tiempo posible. La visión integral de esta bioeconomía en este estudio radica en la utilización de los recursos biológicos para lograr generar energía eléctrica autosustentable. [40]

A pesar de no existir un modelo exacto de recursos distribuidos, éstos evolucionan a modelos de optimización energética como el desarrollo de micro-redes, donde la electrificación del consumo de energía es el principal factor influyente en la descarbonización de la economía y de un modelo energético sostenible en el largo plazo. [39]

### 3. Problema

#### 3.1. Definición del Problema

Es imprescindible mencionar que en Ecuador no existe un estudio enfocado en la utilización de fuentes renovables como fotovoltaicas, además de generadores CHP de gas residual teniendo como base la

economía circular para la optimización de recursos.

La aplicación de este tipo de proyectos permitirá mejorar la industria petrolera a través de la reutilización de recursos como gas residual, que actualmente son arrojados al ambiente, causan contaminación y a su vez representa un desperdicio energético, de igual forma la implementación de sistemas fotovoltaicos ayudarán a reducir el consumo de otras fuentes de energía como diésel, cuyo uso predomina en el sector petrolero.

Un estudio de factibilidad para la aplicación de MR basado en economía circular para el sector petrolero es preciso, ya que permitirá aprovechar las posibles fuentes de energía existentes y reducir el impacto ambiental.

#### 3.2. Sistema de gestión para una Micro-red

El sistema de gestión se requiere de lo siguiente:

#### 3.3. Variables de decisión:

Para realizar el sistema se deberán tomar en cuenta las siguientes variables:  $\sum_{pv}$ , número de aerogeneradores  $\sum_{WIND}$ , número de turbinas hidro  $\sum_{HIDRO}$ , número de plantas de biomasa  $\sum_{BIO}$ , número de plantas diésel  $\sum_{DIESEL}$ , número de baterías  $\sum_{BAT}$ , las cuales se encuentran representadas en la siguiente ecuación. [29]

$$x = [ \sum_{pv} \cdot \sum_{WIND} \cdot \sum_{HIDRO} \cdot \sum_{BIO} \cdot \sum_{DIESEL} \cdot \sum_{BAT} ] \quad (17)$$

La variable  $N_{WIND}$  no es considerada dado que la velocidad del viento es despreciable, por lo tanto

$$x = [\sum_{pv} \cdot \sum_{HIDRO} \cdot \sum_{BIO} \cdot \sum_{DIESEL} \cdot \sum_{BAT}] \quad (18)$$

### 3.4. Función Objetivo:

Optimizar los gastos dada la producción de electricidad  $COE$  la cual está dado por:

$$f = \frac{\min(COE)}{x} \quad (19)$$

Esta función objetivo se encuentra representada por  $C$  (vectores de coeficientes) y  $x$  (variables a determinar) representados en la siguiente ecuación:

$$COE = (C_{PV} \cdot x1) + (C_{HIDRO} x2) + (C_{BIO} \cdot x3) + (C_{DIESEL} \cdot x4) + (C_{BAT} \cdot x5) \quad (20)$$

### 3.5. Costo Anual Equivalente (CAE):

Para calcular el CAE tenemos la siguiente formula:

$$CAE = VAN \cdot \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (21)$$

Donde:

$i$ =Corresponde a la tasa de interés de amortización de la deuda.

$n$ =Número de periodos a evaluar

$VAN$ =Costo unitario tecnológico

### 3.6. Costo de generación de energía:

Los costos de generación se han considerado a partir de los costos de inversión y los gastos que lo administra su operación y mantenimiento los cuales se han realizado partiendo de la energía neta generada, horas de operación y sus actividades detallado en la siguiente ecuación.

$$G_a = \frac{I_a + AOM_a}{EG_a} \quad (22)$$

Donde:

$G_a$ =Costo de generación de energía eléctrica en \$/kWh.

$I_a$  = Costo anualizado de la inversión en generación de energía eléctrica en \$.

$AOM_a$  = Costo administrativo, operación y mantenimiento de la generación de energía eléctrica en \$.

$EG_a$  = Energía generada en [kWh].

### 3.7. Restricciones de operación

Se han considerado las restricciones de cada fuente de generación que conforman la MR los cuales se encuentran en límites operacionales positivos y también deben cumplir los establecidos. [29]

Tabla 1 Tecnología Solar

Tecnología Solar	
RESTRICCIÓN	VALOR
<b>Potencia</b>	300 W
<b>Número de horas</b>	$0 \leq hr \leq 5$ h

Por lo que se plantea las dos restricciones de desigualdad, por lo que la primera permite satisfacer la demanda energética de la zona definida:

$$E_{PV} \cdot X1 + E_{HIDRO} \cdot X2 + E_{BIO} \cdot X3 + E_{DIESEL} \cdot X4 + E_{BAT} \cdot X5 \leq DE \quad (23)$$

Donde:

$DE$ =Demanda energética [kWh].

Cada uno de los coeficientes de las variables de decisión corresponden a kWh/día de cada fuente de generación que se encuentran afectadas por el factor de eficiencia.

#### 4. Pseudocódigo

Basado en la investigación mediante programación se detalla el pseudocódigo donde se detalla el proceso el cual podemos optimizar:

---

##### Algoritmo de optimización

---

###### Paso 1: Inicializar

- *Iniciar*

$i \leftarrow 1, j \leftarrow 1, t \leftarrow 1$

- Datos de Generación

**Leer:**  $c, \sigma, I, Carga$

**Calcular:**

$$x = [ \Sigma_{pv} \cdot \Sigma_{WIND} \cdot \Sigma_{HIDRO} \cdot \Sigma_{BIO} \\ \cdot \Sigma_{DIESEL} \cdot \Sigma_{BAT} ]$$

**Guardar:**

$$x = [ \Sigma_{pv} \cdot \Sigma_{WIND} \cdot \Sigma_{HIDRO} \cdot \Sigma_{BIO} \\ \cdot \Sigma_{DIESEL} \cdot \Sigma_{BAT} ]$$

###### Paso 2: Iteraciones

**WHILE**  $i \leq i_{max}$  **DO**

**WHILE**  $j \leq j_{max}$  **DO**

**Calcular:**  $\Delta P^{(i,j)}, \Delta P$

**Guardar:**  $\Delta P, \Sigma_{pv}, \Sigma_{wt}$

**Calcular:**  $S_{space}$

$j \leftarrow j + 1$

**END WHILE**

$i \leftarrow i + 1$

**END WHILE**

---



---

##### *Búsqueda reducida*

**WHILE**  $j \leq j_{max} + 1$  **Do**

**WHILE**  $i \leq i_{max} + 1$  **Do**

**Calcular:**  $\Delta P_{min}^j + \Sigma_{pvmin}^j + \Sigma_{wtmin}^j$

$i \leftarrow i + 1$

**END WHILE**

**Calcular:**  $\Delta P_{min}, \Sigma_{pvmin}, \Sigma_{wtmin}$

$j \leftarrow j + 1$

**END WHILE**

**Calcular:**  $RS_{space}$

###### Paso 3: Finalización

---

#### 5. Casos de estudio

En este campo petrolero se realizará la optimización teniendo como base fundamental la economía circular, con una asignación de los recursos de cogeneración que emiten de acuerdo con el estudio realizado.

Esta MR estaría conformada por paneles fotovoltaicos en un área de piso utilizable del campamento de  $120 \times 75 m^2$  y adicional se colocará en estructuras de techos libres alcanzando una potencia de 3MW por sistema fotovoltaico.

Con el fin de reducir costos de inversión no se contemplará banco de baterías, bajo este concepto la unión de generación actual disponible, paneles fotovoltaicos y CHP obtendremos la MR en estudio.

Estos son los recursos energéticos distribuidos para los cuales encontraremos los siguientes casos de estudio

## 5.1. Generación actual diésel - (Caso Base)

Este caso de estudio hace referencia al estado actual del sistema, cuyo despacho y demanda servirán como referencia para los siguientes casos de análisis donde se integrará sistema fotovoltaico y CHP.

El caso base tiene una demanda variable que va desde los 5600 kW hasta los 2600 kW aproximadamente y cuyo perfil de carga se representa en la (Figura 1).

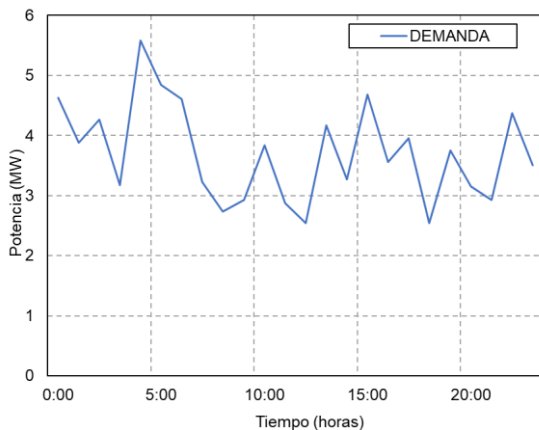


Figura 1. Curva de demanda

En la Figura 2 se representa el sistema actual, el cual está formado por 6 generadores diésel Leroy Somer los mismos que tienen una potencia nominal de 1135kW y una carga de  $96000 \frac{kWh}{día}$ .

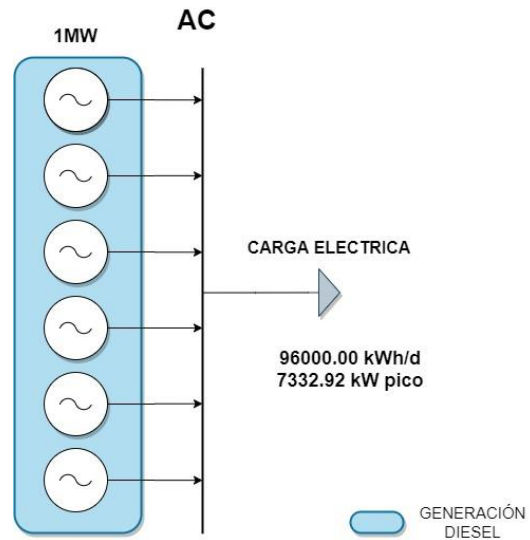


Figura 2. Sistema eléctrico de potencia con generación diésel.

Bajo las condiciones anteriores como se refleja en la Figura 2. el despacho de generación para abastecer la necesidad del sistema se presenta en la Figura 3.

En esta Figura 3 de despacho encontramos a un sistema determinado por generación diésel, de los 6 generadores en un periodo de 24 horas de producción, este modelo de despacho es el convencional en el campo petrolero indicando la funcionalidad de cada uno de los generadores especificados con su color respectivo.

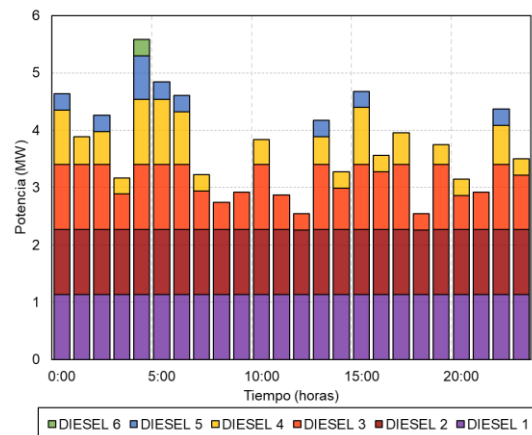


Figura 3. Despacho de energía

## 5.2. Generación diésel + sistema fotovoltaico – (Caso 1)

Para la optimización del sistema en el campo petrolero se ha realizado la integración de paneles fotovoltaicos en conjunto con los generadores diésel Leroy Somer como se muestra en la Figura 4 .

Es necesario resaltar que en el sistema de paneles fotovoltaicos disminuye notablemente el uso de generadores diésel, lo que se ve reflejado en una disminución de costos operativos asociados directamente a los combustibles fósiles, en este caso costos de diésel.

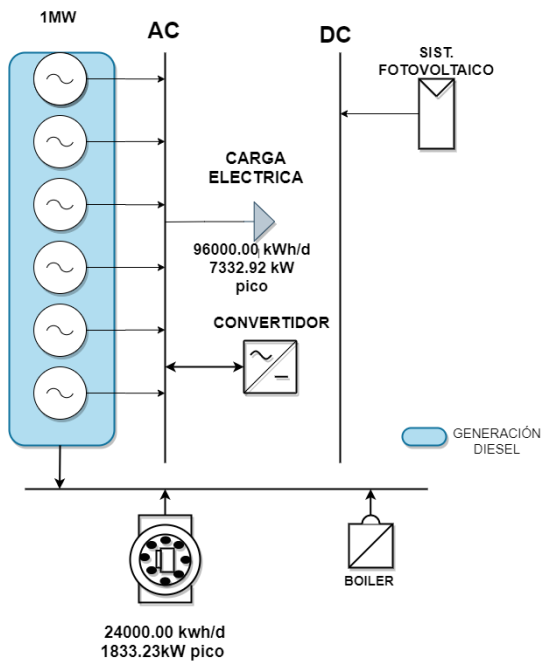


Figura 4 Sistema eléctrico de potencia con generación diésel con conexión a fotovoltaico.

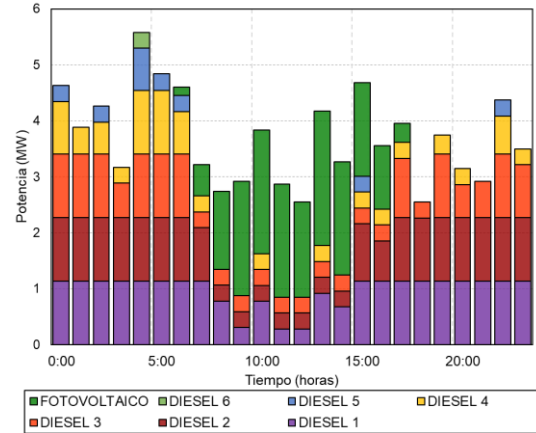


Figura 5. Despacho de energía incluido sistema fotovoltaico

En el despacho que se aprecia en la Figura 5, el color verde es indicativo del aporte de energía solar que entrega al sistema de generación eléctrica en un periodo de mañana y tarde debido a los índices de radiación en una zona horaria de 8:00 y 12:00, reduciendo la operación de la generación diésel, de este sistema fotovoltaico se obtiene una potencia máxima de 2.4MW que ayuda a cubrir la demanda del sistema.

Al incluir energías renovables en el sistema se minimiza costos de operación y a su vez se reduce la emisión de gases el cual ha sido una problemática en campos de producción afectando el ecosistema.

## 5.3. Generación + fotovoltaico + CHP (Caso final)

En este caso de estudio la implementación de generación CHP en conjunto con los paneles fotovoltaicos y la generación diésel inicial, ha mejorado significativamente los costos operativos y de producción de la planta.

Para este escenario de operación, el sistema incluye 2 generadores CHP los mismos que tienen una potencial nominal

de 1MW conectado al boiler de 2400kWh/día.

Bajo el escenario de la planta industrial petrolera con operación continua durante las 24 horas, el sistema propuesto es propicio para que los gases anteriormente emitidos al ambiente sean direccionados a un proceso de combustión a través de un boiler, los cuales se han transformado en energía térmica para el funcionamiento a los generadores CHP, dando paso a la cogeneración en la planta y disminuyendo la huella de emisión de gases que pueden afectar el medio ambiente.

Este sistema de generación se considera una de las formas más eficiente para conseguir generación eléctrica y térmica a partir de la emisión de calor.

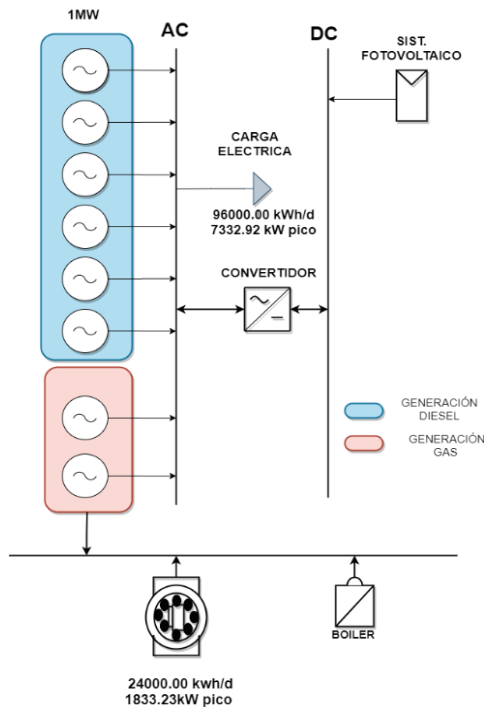


Figura 6. Sistema eléctrico de potencia con generación diésel con conexión a sistema fotovoltaico y CHP.

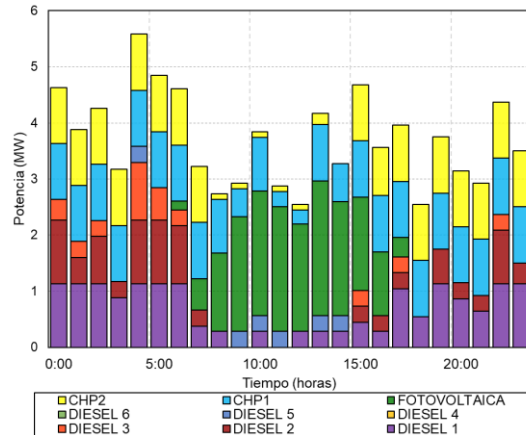


Figura 7. Despacho de energía incluido sistema fotovoltaico + CHP

Los colores celeste y amarillo que se aprecian en la Figura 7. representan el aporte de energía CHP hacia el sistema, que en conjunto con la generación fotovoltaica color verde, reducen al mínimo el uso de los generadores diésel.

Adicionalmente se evidencia que el aporte de energías CHP + fotovoltaico dentro del sistema, alcanza una potencia 3.6MW cuando los paneles fotovoltaicos captan los más altos índices de radiación; cuando el sistema opera únicamente con energía CHP, estos tienen un aporte promedio de 2.0MW, con lo cual se logra el máximo rendimiento de costos operativos, haciendo que el sistema global sea un modelo factible de generación bajo los estándares de una economía circular.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Comportamiento de Sistema optimizado

En la Figura 8 se presenta los costos operativos de cada unidad de generación usados en los 3 casos de análisis, en esta gráfica se evidencia que existe una diferencia considerable entre los costos

operativos del caso base y el caso final, esta diferencia se debe principalmente a la forma de despacho de las unidades de generación; en el caso base se opera únicamente con unidades diésel por lo que el costo operativo es alto, en comparación al caso 1 y caso final.

Conforme se introduce nuevas fuentes eficientes de energía, paneles fotovoltaico y CHP al sistema, el despacho de las unidades diésel disminuye considerablemente, a tal punto que, para ciertos casos la generación alternativa desplaza toda la energía proveniente de las unidades diésel.

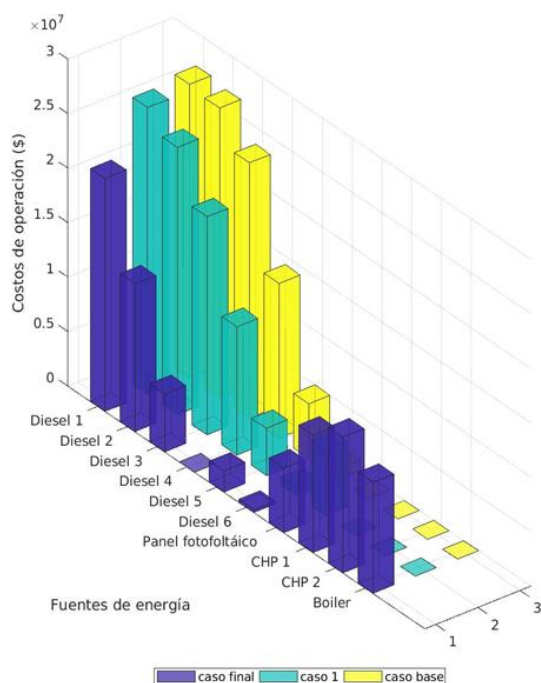


Figura 8. Costos de Operación.

En la Tabla 2. se detalla los costos totales de operación, de los cuales se desglosa según el tipo de energía.

Con el valor de diésel de 0,75 ctvs. podemos visualizar en la Tabla 2. Los valores de costo diésel en los diferentes

casos los cuales han sido evaluados y representados según su tipo de energía.

Tabla 2. Costos de operación por cada caso

Tipos de energía	Caso base (M\$)	Caso1 (M\$)	Caso Final (M\$)
Diésel	\$ 97,03	\$ 87,71	\$ 42,44
Fotovoltaico	\$ -	\$ 6,10	\$ 5,91
CHP	\$ -	\$ -	\$ 33,40
<b>Total Operación</b>	<b>\$ 97,03</b>	<b>\$ 93,81</b>	<b>\$ 81,76</b>

El impacto económico de este tipo de generación en los costos de operación es claramente evidente, de la evaluación entre los casos planteados, se obtiene una diferencia de \$15,274 (M\$) lo que representa un 16% menos, entre el de costo operativo del caso base y costo operativo con cogeneración, caso final.

Como se mencionó anteriormente, la diferencia entre costos operativos está ligado principalmente al despacho de unidades diésel y unidades de cogeneración que se maneja en cada uno de los casos de análisis (

Figura 9. Despacho de generación según caso de estudio

), donde se puede observar cómo el sistema fotovoltaico a su máxima potencia y la generación CHP ha reemplazado a la generación diésel.

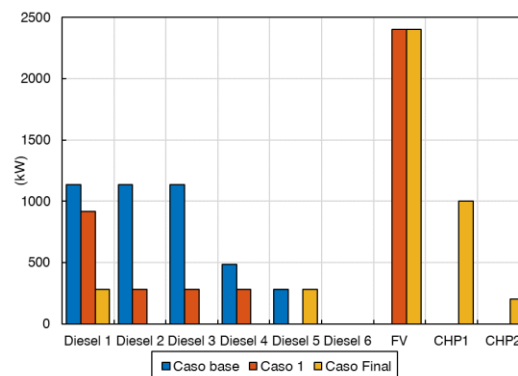


Figura 9. Despacho de generación según caso de estudio

## 6.2. Emisiones

Una de las claves dentro del proyecto, es la reducción de emisiones al medioambiente, no solo porque estos tienen un alto nivel de contaminación sino porque pueden ser aprovechados para optimizar el sistema energético tal como se plantea en los casos de análisis.

La integración de generadores CHP en el sistema ha optimizado la exposición de gases, lo que se manifiesta en la reducción principalmente de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>, gases que generan grandes impactos ambientales, ya que aportan al efecto invernadero entre otras consecuencias para medio ambiente.

Al optimizar el sistema como se plantea en el Caso final, se deja de emitir al ambiente alrededor de 5000 Ton. de CO<sub>2</sub> anualmente, cantidad relevante para la magnitud del proyecto.

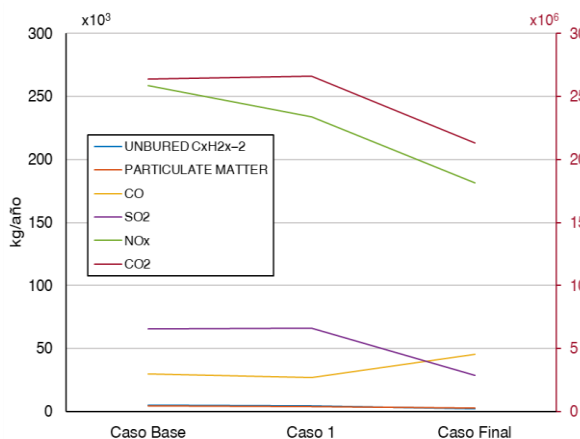


Figura 10. Emisión de gases

## 6.3. Tesorería final

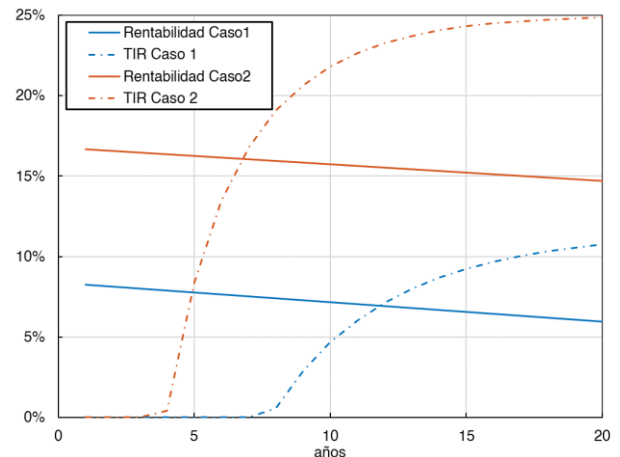


Figura 11 TIR. Rentabilidad.

Para analizar la factibilidad del proyecto se ha podido verificar el flujo de caja, (VAN) valor actual neto y (TIR) tasa interna de retorno, para el Caso 1 se obtiene una TIR de alrededor del 12% mientras que para el caso final se obtiene una TIR del 25% Figura 11 TIR. Rentabilidad.

Para el sistema fotovoltaico 8 años es el tiempo de recobro de la inversión, mientras que el sistema combinado de generación fotovoltaico y CHP consta de 4 años para la recuperación de la inversión, lo que muestra una alta rentabilidad y una tasa de retorno viable para esta MR.

La alta rentabilidad de este proyecto en el Caso final se debe principalmente el no haber tomado en cuenta el valor de gas para producción de energía eléctrica, ya que estos recursos eran desperdiciados y enviados al medio ambiente y por ahora mediante una economía circular han sido tratados para optimizar el sistema global.

Considerando todo el análisis económico y los beneficios ambientales se puede deducir que este proyecto es viable económicamente y será beneficioso para la



reducción de emisiones de gases al medio ambiente.

## **Conclusiones**

Ante la problemática en donde se emiten gases de gran impacto al medioambiente se planteó en este estudio una solución mediante un algoritmo de optimización de recursos, éste se considera rentable y viable debido a que se reduce de manera significativa el consumo de diésel en el esquema de una empresa petrolera con un funcionamiento de 24 horas, también se refleja la reducción de los costos operativos anuales mediante la integración de paneles fotovoltaicos y generadores diésel.

La economía circular representa el factor clave para esta optimización expuesta, además, la utilización de energías renovables ha sido el instrumento clave para mejorar los sistemas de energía eléctrica y a su vez la mejor forma de mitigar las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, desacelerando los cambios climáticos, mejorando la calidad de vida y de ecosistema.

Para bastecer la demanda energética y los sistemas de paneles fotovoltaicos no han alcanzado su eficiencia máxima. Para lograr aquello cuando la irradiancia no sea suficiente se plantea un sistema de CHP para cubrir la demanda. El sistema de CHP será el que cubre la demanda con un aporte de 2MW cuando el sistema fotovoltaico no alcance la potencia necesaria debido a la disminución de irradiancia en temporada invernal. Se destaca el aporte de energías renovables a nivel fotovoltaico y CHP dentro del sistema, ya que alcanza el 90.3% de demanda mínima de aportación

al sistema y hasta el 35.8% en máxima demanda.

Finalmente, el proyecto diseñado es rentable y se refleja en, la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) como indicadores claves para la implementación de este diseño en el campo petrolero, dado que la inversión se recuperará con un sistema fotovoltaico en un lapso de 8 años y con un sistema de generación combinada de sistema fotovoltaico y sistema CHP dentro de 4 años condicionados al cumplimiento de máxima rentabilidad e inversión en este sistema de MRs.

## **Trabajos futuros**

Para trabajos futuros es importante tener en consideración el sistema con adiciones innovadoras e implementación en otros sitios que generen problemas significativos al ambiente tales como fábricas, pequeñas hidroeléctricas, entre otras. También se propone implementar un controlador para el sistema y así gestionar el deslastre de cargas en el mismo. De igual manera, se sugiere que el diseño incluya un control sobre el flujo de carga, particularmente en los voltajes que operan en la microrred. Por último, el sistema puede ampliarse tomando en cuenta el aislamiento del sistema y determinando el comportamiento ante las variaciones de frecuencia y perturbaciones mecánicas.

## **Referencias**

- [1] S. Zekun, «Biblioteca de Ingenieria,» 10 Mayo 2016.
- [2] Y. Barragán y M. Barragán, «Economía circular y desarrollo sostenible: retos y oportunidades de la Ingeniería

- Ambiental.,» *Universidad Estatal de Milagro*, p. 21, 2017.
- [3] CONELEC, «Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica,» *Conelec*, p. 51, 2008.
- [4] T. Tolón Martín, «Operación y Gestión de Microrredes energéticas urbanas en un entorno de sostenibilidad energética y ambiental,» *Universidad Politécnica de Cataluña*, 2013.
- [5] J. Riofrio, «Repositorio Institucional UPS,» 19 Febrero 2015.
- [6] G. J. M. S. R. E. Carvajal, «Optimización de la operación de una microgrid considerando el costo de operación, la vida útil de las baterías y el costo de incertidumbre de energía eólica,» *Entre Ciencia e Ingeniería*, 2019.
- [7] A. J. S.-M. y. J. D. B.-R. Carlos A. Ramos-Paja, «Cargador de baterías fotovoltaico con control por modos deslizantes y limitación de la derivada de corriente de carga,» *Tecnológicas*, 2018.
- [8] B. D. K. E. & C. D. Arballo, «OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICANDO CONFORT TÉRMICO ADAPTATIVO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS PÚBLICO EN SAN JUAN-ARGENTINA.,» *Revista hábitat sustentable*, 2019.
- [9] V. R. G. R. d. L. E. d. F. R. L. E. P. d. & C. S. E. G. d. Silva, «Gestión energética en industrias intensivas en energía: desarrollo de un mapa conceptual,» *Archivos Brasileños de Biología y Tecnología*, 2019.
- [10] G. Chown, T. Fry, C. Mcnaught y N. Ash, «Microgrids with renewables – Lessons for Africa from international experience,» 2018.
- [11] S. Booth, X. Li, I. Baring-Gould, D. Kollanyi, A. Bharadwaj y P. Weston, «Productive Use of Energy in African Micro-Grids : Technical and Business Considerations,» *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, 2018.
- [12] Austrade, «Microgrids, storage and energy smart grids solutions,» *Australia Government*, 2017.
- [13] L. Paredes, B. R. Serrano y M. G. Molina, «Nuevo paradigma de los sistemas eléctricos: generación distribuida y microrredes eléctricas. un vínculo de accesibilidad a la electricidad en América Latina y el Caribe,» *ENERLAC*, vol. 3, nº 2, pp. 88-110, 2020.
- [14] E. Inga, «Redes de Comunicación en Smart Grid,» *INGENIUS*, vol. 7, pp. 36-55, 2012.
- [15] A. Díaz, «El Rol de las Energías Renovables en las Microrredes.,» *Ingeniería*, 2019.
- [16] C. Guamán Sánchez, «Diseño De Una Microrred Basada En Renovables Para Suministrar Electricidad a Un Área De Concesión De La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur,» *Universidad Politécnica de Valencia*, p. 83, 2017.
- [17] C. Bordons, F. García-Torres y L. Valverde, «Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable,» *RIAI - Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, pp. 117-132, 2015.
- [18] J. Mesa y A. M. y. R. Hincapie, «DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL

- EFFECTO FOTOVOLTAICO EN LA REGIÓN,» *Scientia Et Technica*, vol. XV, pp. 327-331, 2009.
- [19] A. Trejos, D. González y a. C. Ramos, «“Modeling of Step-up Grid-Connected Photovoltaic Systems for Control Purposes”»,» *Energies*, vol. 5, no. 12, pp. 1900– 1926., 2012.
- [20] C. A. S.-G. S. I. y. G.-M. D. Ramos-Paja, «Sistema de conversión de energía para almacenamiento híbrido de batería y condensador.» *Ingeniería* , 25 (2), 194-211., 2020.
- [21] L. M. A. S. P. S. &. M. B. M.F.B. Binelo, «Battery Charge and Discharge Behavior Prediction Using Electrical Mathematical Models,» *Advances in Mathematics*, 2017.
- [22] I. , B. X. B. L. L. C. Y. L. W. Z. H. W. a. W. W. Ruifeng Zhang, «State of the Art of Lithium-Ion Battery SOC,» *Energies*, 2018.
- [23] M. F. B. S. A. T. Z. R. S. P. S. &. B. M. O. Binelo, «Mathematical Modeling and Parameter Estimation of Battery Lifetime using a Combined Electrical Model and a Genetic Algorithm,» *TEMA (São Carlos)*, 20(1), 149-167. , 2019.
- [24] S. C. R. G. M. A. Gabriel García, «Modelado y caracterización de una batería ión-litio en una microrred Iñigo Pellejero.» *Dpto. de Integración en Red de CENER (Centro Nacional de Energías Renovables) ENERGÉTICA XXI* , 2015.
- [25] Y. y. M. R. Villanueva, «Análisis estructural y modal de la hélice de un aerogenerador de 3kW de potencia mediante simulación numérica computacional.» *Pontificia Universidad Católica del Perú.*, 2016.
- [26] F. E.-R. E. P. D. y. M. C. Eraso-Checa, «Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres - Nariño,» *Revista Científica*, 2018.
- [27] F. E.-R. E. P. D. y. M. C. Eraso-Checa, « Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres-Nariño.» *Revista Científica*, 31(1), 19-31., 2018.
- [28] G. F. C. V. J. L. &. C. G. A. García Sánchez, «Modelado de la combustión en motores Diésel: revisión del estado del arte.» *Revista ION*, 26(1), 41-54. , 2013.
- [29] F. A. G. CATAÑO, «Metodología de optimización para microrredes eléctricas en zonas no interconectadas,» Santiago de Cali, 2018.
- [30] A. F. R. L. M. G. F. S. y. C. W. Guacaneme, «Desarrollo de un prototipo de micro-red residencial a baja,» *TecnoLógicas*, vol. 21, no. 43, pp. 107-125., 2018.
- [31] E. Garcia, « Gestión Energética en Micro-Redes basado en la Optima Respuesta de la Demanda por Precio Real de la Energía.» *International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, 2019.
- [32] a. Momoh, «Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis,» 2012.
- [33] F. Jiménez y A. y. M. L. Restrepo, «Estado de la investigación en energía en Colombia: una mirada.» *Revista Facultad de Ingeniería* , 2019.
- [34] D. Arango y R. y. R. S. Urrego, «Despacho económico en microrredes

con penetración de energía renovable usando algoritmo de punto interior y restricciones lineales.,» *Ingeniería y ciencia*, 2017.

- [35] J. D. Glover, «Power System Analysis and Design,» *Fifth edit*, 2012.
- [36] Y. P. A. a. B. C. P. C. Battistelli, «Probabilistic Dispatch of Remote Hybrid Microgrids Including Battery Storage and Load Management,» *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. *PP*, no. *99*., 2016.
- [37] J. C. & P. Á. D. & G. J. A. & P.-G. N. A. & T. J. M. & R. J.-E. Hernández, «Nuevas Estrategias para un Plan de Uso Eficiente de la Energía Eléctrica.,» *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 28 (54), 75-99, 2017.
- [38] J. C. C. L. R. & B. E. J. Cuisano, «Eficiencia energética en sistemas eléctricos de micro, pequeñas y medianas empresas del sector de alimentos. Simulación para optimizar costos de consumo de energía eléctrica.,» *Información tecnológica*, 31(2), 267-276. , 2020.
- [39] R. y. F. J. Hermana, «Oportunidades de la transición energética en la economía. El caso de la CAPV.,» *Orkestra*, 2019.
- [40] A. W. R. T. T. Aguilar, « Perspectives on bioeconomy.,» *New Biotechnology*. 40: 181-184., 2018.

# MATRIZ DEL ESTADO DEL ARTE

ÍTEM	DATOS			TEMÁTICA										RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA										
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	RECURSOS DISTRIBUIDOS	SISTEMA DE GESTION	CARACTERIZACION DE ENERGIA SOLAR	CARACTERIZACION DE RECURSOS DISTRIBUIDOS	CARACTERIZACION DE ENERGIA EOLICA	MODELOS DE REFERENCIAS DE MICRO-REDES	CARACTERIZACION DE ENERGIA DE BANCO DE BATERIAS	MICRO-RED	GESTIÓN - MERCADOS ELÉCTRICOS	GENERACIÓN DISTRIBUIDA	CURVA DE LA DEMANDA	CARGAS DINÁMICAS	EFICIENCIA ENERGÉTICA	ESTIMAZACIÓN DE LOS RECURSOS	POLÍTICAS	TECNOLOGÍA	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	HEURÍSTICA	SISTEMAS DE GESTION	ALGORITMO ESTOCÁSTICO	CARACTERIZACION DE RECURSOS DISTRIBUIDOS	MODELOS ENERGETICOS	CARACTERIZACION DE GENERACION DISTRIBUIDA	SISTEMAS DE GESTION	RESPUESTA DE LA DEMANDA	OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA	
1	2016	Biblioteca de Ingeniería	7						☒		☒	☒								☒			☒							
2	2017	Economía circular y desarrollo sostenible: retos y oportunidades de la Ingeniería Ambiental	21		☒											☒	☒			☒										☒
3	2008	Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica	5			☒					☒		☒						☒		☒						☒	☒	☒	
4	2013	Operación y Gestión de Micro redes energéticas urbanas en un entorno de sostenibilidad energética y ambiental	54					☒		☒								☒			☒		☒					☒		
5	2015	Repositorio Institucional UPS	106					☒		☒		☒				☒			☒			☒		☒			☒		☒	
6	2019	Optimización de la operación de una microgrid considerando el costo de operación, la vida útil de las baterías y el costo de incertidumbre de energía eólica	52			☒						☒						☒					☒	☒			☒		☒	
7	2018	Cargador de baterías fotovoltaico con control por modos deslizantes y limitación de la derivada de corriente de carga	32	☒												☒	☒					☒		☒						
8	2019	OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICANDO CONFORT	112	☒												☒	☒					☒		☒						









## Resumen de Indicadores

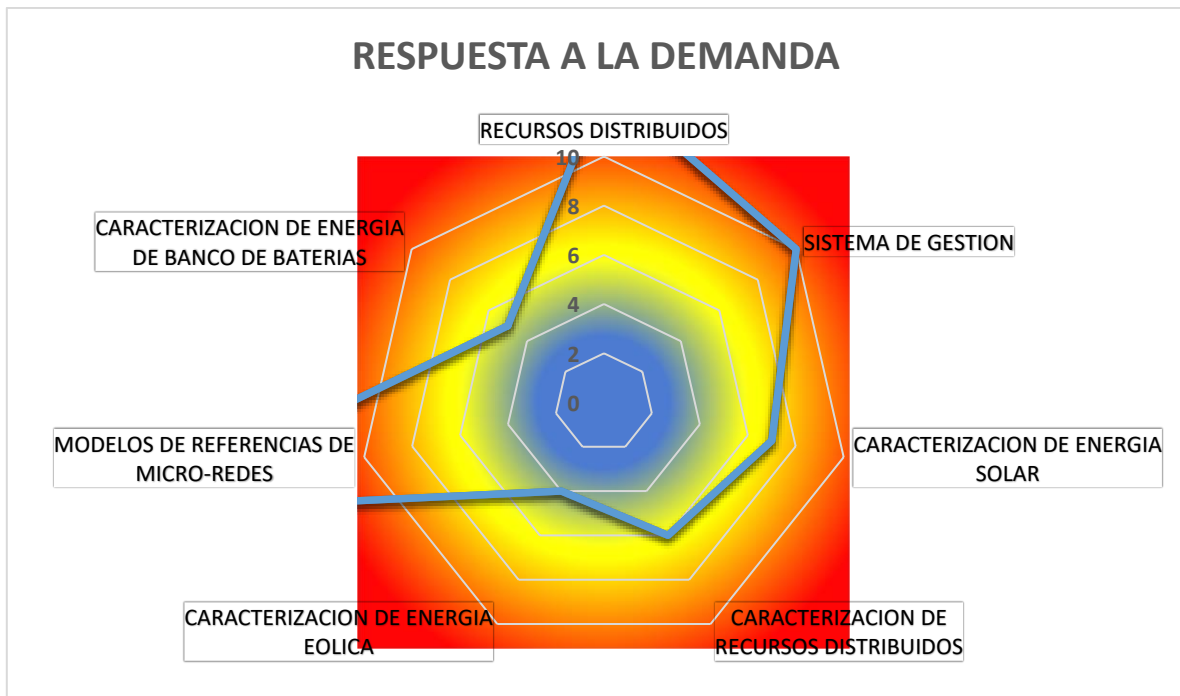


Figura 12. Respuesta a la demanda

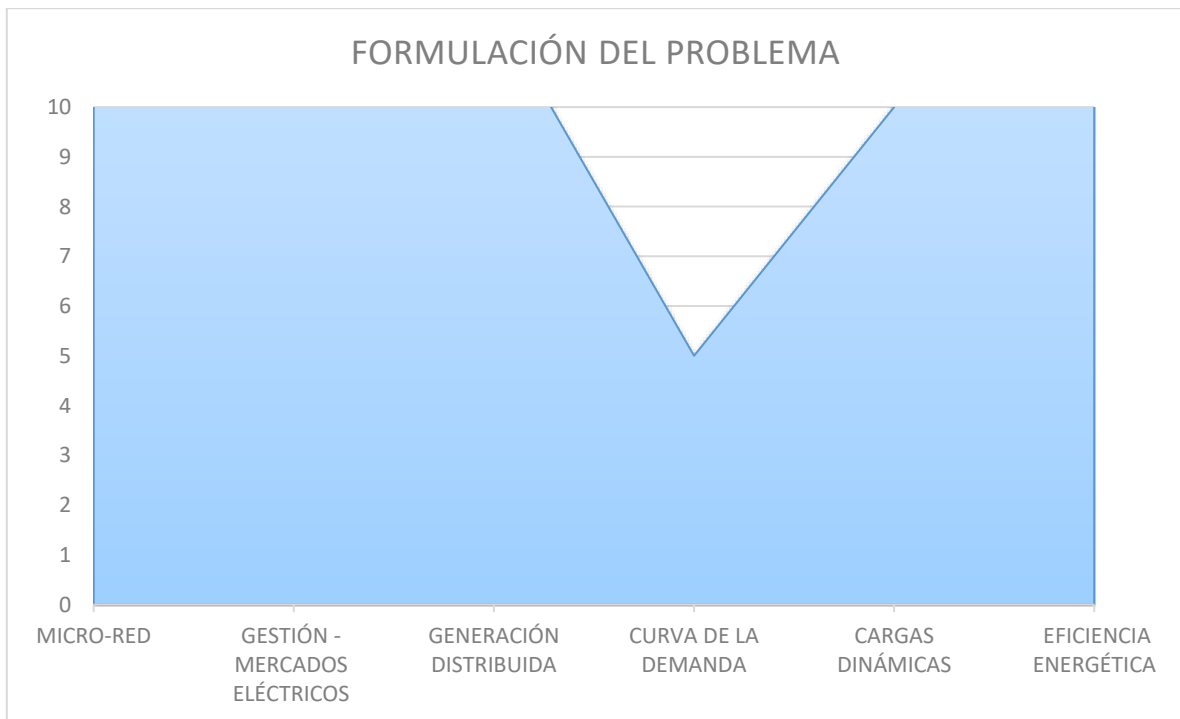


Figura 13 Formulación del problema

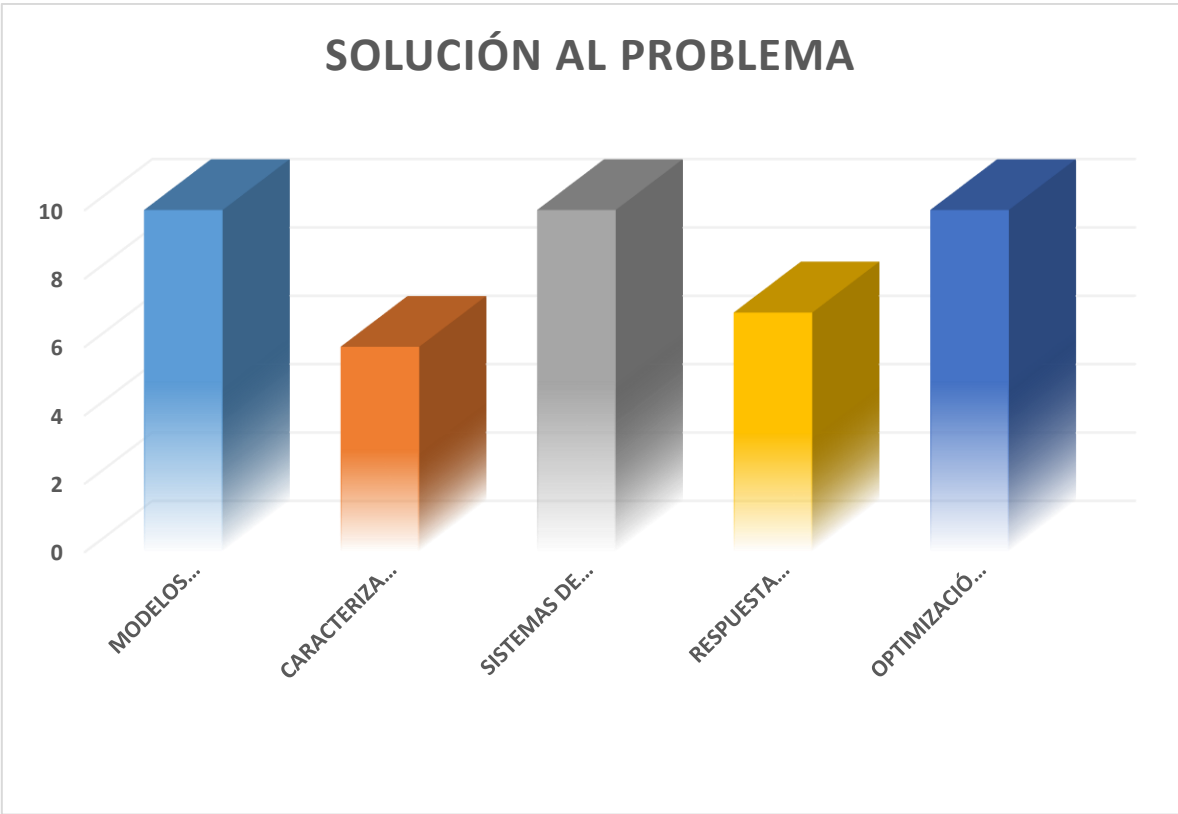


Figura 14. Soluciones del problema