

**ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA NO UTILIZADA
EN MICRO-REDES MEDIANTE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS BASADO EN
ÁRBOLES DE DECISIÓN.**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA NO UTILIZADA
EN MICRO-REDES MEDIANTE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS BASADO EN
ÁRBOLES DE DECISIÓN.**

**AUTOR:
Galo Alexander Larco Rodríguez**

**TUTOR:
Edwin Marcelo García Torres**

Quito, febrero 2021

Galo Alexander Larco Rodríguez

ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA NO UTILIZADA EN MICRO-REDES MEDIANTE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS BASADO EN ÁRBOLES DE DECISIÓN.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito- Ecuador 2021

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Galo Alexander Larco Rodríguez (Y'1994). Estudiante de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Áreas de interés: Generación distribuida, respuesta a la demanda, micro-redes, energía renovable.

glarcor@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Edwin Marcelo García Torres (Y' 1978). Se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana y de Master 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. Actualmente es miembro del Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group). egarcia@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

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

DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Edwin Marcelo García Torres, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA NO UTILIZADA EN MICRO-REDES MEDIANTE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS BASADO EN ÁRBOLES DE DECISIÓN* realizado por Galo Alexander Larco Rodríguez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito DM., febrero 2021



.....

Edwin Marcelo García Torres

C.C.:180308740-0

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Galo Alexander Larco Rodríguez, con documento de identificación N° 1720102365, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA NO UTILIZADA EN MICRO-REDES MEDIANTE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS BASADO EN ÁRBOLES DE DECISIÓN, 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.

Quito, D.M., febrero de 2021



.....
Galo Alexander Larco Rodríguez

C.C.: 172010236-5

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Micro redes de energía renovable	4
2.2. Generación Distribuida	5
2.3. Gestión de la energía.....	6
2.4. Asignación de recursos repartidos	7
2.5. Despacho Económico.....	8
2.6. Respuesta de la demanda	8
2.7. Árboles de escenarios.....	9
2.8. Árbol de Cart.....	9
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
3.1. Micro-red tipo Caso Galápagos Floreana	10
3.2 Aceite Piñón.....	12
3.3 Demanda eléctrica isla Floreana.....	12
3.4 Escenario1, escenario2.....	12
4. PSEUDOCÓDIGO	13
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
5.1 Despachos Estocásticos	15
5.2 Comparación despacho convencional y despacho estocástico.....	18
6. COSTOS DE LA ENERGÍA NO SUMINISTRADA.....	19
7. DISCUSIÓN MICRO-RED FLOREANA	20
8. CONCLUSIONES.....	21
9. TRABAJOS FUTUROS	22
10. REFERENCIAS.....	22

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema General – Microred	4
Figura 2. Esquema general de un árbol de escenarios [25].	10
Figura 3. Diagrama unifilar Isla Floreana	10
Figura 4. Arquitectura Sistema Híbrido térmico-fotovoltaico.	11
Figura 5. Curva de la demanda de potencia pico año 2019.....	12
Figura 6. Curva de la demanda día lunes.....	13
Figura 7. Curva de la demanda día domingo.....	13
Figura 8. Despacho diario - día lunes(a)	14
Figura 9. Despacho diario - día domingo(b)	14
Figura 10. Comparación despacho convencional del día lunes con el día domingo ..	15
Figura 11. Árbol de decisión estocástico día lunes	16
Figura 12. Árbol de decisión estocástico día domingo	16
Figura 13. Despacho estocástico día lunes(a)	17
Figura 14. Despacho estocástico día domingo(b)	17
Figura 15. Comparación despacho estocástico día lunes vs día domingo.....	17
Figura 16. Comparación despacho convencional y despacho estocástico día lunes	18
Figura 17. Comparación despacho convencional y despacho estocástico día domingo ..	18
Figura 18. Costos de la energía no suministrada día lunes	19
Figura 19. Costos de la energía no suministrada día domingo	20
Figura 20. Costos de la energía no utilizada lunes.....	20
Figura 21. Costos de la energía no utilizada domingo	20
Figura 22. Comparación despacho convencional y despacho estocástico micro-red Floreana.....	21
Figura 23. . Resumen e indicador de la temática - Estado del arte	31
Figura 24. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	31
Figura 25. Indicador de solución - Estado del arte.....	31

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de Generación	5
Tabla 2. Especificaciones generales del sistema de energía híbrido.....	10
Tabla 3. Algoritmo para el despacho económico convencional y estocástico	13
Tabla 4. Matriz de estado del arte	28

ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA NO UTILIZADA EN MICRO-REDES MEDIANTE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS BASADO EN ÁRBOLES DE DECISIÓN

Resumen

El crecimiento de la población y el desarrollo industrial a obligado a un aumento en la demanda de energía, lo que a obligado a las empresas generadoras de energía a incrementar su infraestructura de producción de energía, la cual es muy costosa, por lo que se busca implementar políticas para atender la demanda, incluida la generación distribuida (GD). De esta forma, se consigue un consumo de energía más eficiente, porque la carga que no representa el tiempo de consumo máximo de energía se puede transferir a otros períodos de tiempo. Además, se puede implementar un sistema de gestión energética (GE), es decir, la estrategia de formular un plan óptimo de consumo energético y aplicarlo a toda la industria o al sistema eléctrico completo ayudará a la empresa a mejorar su competitividad porque tiene más eficiencia.

Este documento plantea estimar los costos de la energía no utilizada en una micro-red aislada, utilizando programas de respuesta de la demanda para lo cual se va analizar el comportamiento de la demanda en dicha micro-red para posteriormente estimar los costos asociados de la energía no utilizada y para finalmente implementar precios mediante procesos estocásticos a los usuarios de la micro-red y venta de energía.

Palabras Clave: Árbol de Decisión, Gestión Energética GE, Despacho económico

Abstract

Population growth and industrial development have forced an increase in energy demand, forcing energy-generating enterprises to increase their very expensive energy production infrastructure. Therefore, it seeks to implement policies to meet demand, including distributed generation (GD). In this way, a more efficient energy consumption is achieved, because the load that does not represent the maximum energy consumption time can be transferred to other periods of time.

In addition, an energy management system (GE) can be implemented, that is, the strategy of formulating an optimal energy consumption plan and applying it to the entire industry or to the entire electrical system will help the company to improve its competitiveness because it has more efficiency.

This document proposes to estimate the costs of energy not used in a micro-grid order to assess the behaviour of demand in the micro-grid, to estimate the associated costs of unused energy and finally to implement prices through stochastic processes users of the micro-network and sale of energy

Keywords : Decision Trees, Energy Management GE, Economic Dispatch

1. Introducción

La demanda de energía eléctrica sigue creciendo de forma dinámica y el aumento de la demanda ha ocasionado cambios en el sistema de distribución, por lo que el reto no es solo buscar atender la carga actual, sino también la carga creciente en el futuro [1]-[2] por lo cual, para satisfacer la demanda de carga máxima, realizar un seguimiento de las fluctuaciones diarias y estacionales y garantizar un funcionamiento confiable del sistema de energía, las empresas de servicios públicos mantienen inadvertidamente una gran cantidad de capacidad de energía subutilizada [3], [4].

Solo cuando la generación de energía es más cara que detener el suministro de esta energía a los clientes, la respuesta de la demanda se ejecuta para reducir los costos de la red eléctrica. Un ejemplo de esto es la apertura de centrales térmicas a altos costos de producción solo durante las horas pico de demanda [5].

La respuesta de la demanda (RD) se explica como la tarifa o plan que promueve cambios en el consumo de energía de los usuarios en el plan del mercado eléctrico [6]. ISO (La Organización Internacional de Normalización) en los Estados Unidos ofrece dos planes principales de recuperación ante desastres: planes de reducción de la demanda y planes de demanda sensibles al precio [7], [8]. En la operación del sistema eléctrico, es importante el equilibrio que existe de la potencia activa y reactiva entre la generación y la demanda.

Generalmente, la mayoría de los sistemas de energía en el mundo operan de esta manera, es decir, siguiendo los cambios en la demanda y equilibrando a través de la generación de energía, lo que se denomina "seguimiento de carga". No obstante, la capacidad del generador para alcanzar la demanda fluctuante está limitada por sus

limitaciones físicas inherentes (por ejemplo, limitación de rampa, tiempo mínimo de encendido / apagado, etc.) [9],[10].

Por otro lado, debido a la preocupación de que los principales recursos de combustibles fósiles (como petróleo, carbón, gas natural) puedan ser escasos, el mercado energético se concentra actualmente en las energías limpias o renovables no convencionales y el empleo adecuado de combustibles fósiles para producir electricidad provoca un efecto invernadero debido a las emisiones de gases. Muchos países / regiones centran su investigación en otros métodos de obtención de energía de forma limpia y renovable[11].

Las fluctuaciones de los precios del mercado y la presión de la red durante los picos de demanda se atribuyen principalmente a los clientes nacionales y las pequeñas empresas [12], con la apertura del mercado eléctrico, los consumidores se enfrentarán a precios de la electricidad más volátiles y podrán decidir modificar su situación de demanda para reducir sus facturas de electricidad[13]-[14].

En [15] se propone un modelo basado en el despacho estocástico para despachar energía y reservas en el tiempo cuando el mercado energético es incierto, determina la cantidad de energía que los productores deben comprar de las reservas y los recursos de respuesta a la demanda para minimizar los costos en circunstancias inciertas.

Mientras que en [16] Dubái, disponen de un nuevo mecanismo de mercado eléctrico con un pool de RD concentrado que avala una distribución justa de los beneficios de RD, reflejados en el esquema de facturación individual, el cual permite predefinir la contribución de cada consumidor para lograr los objetivos del sistema.

En [17] Irlanda, la respuesta a la demanda puede participar como una unidad del lado de la demanda y puede

realizar pagos por capacidad en un mercado único de la electricidad . Recientemente, la respuesta a la demanda también puede proporcionar servicios de sistema DS3 para TSO. Para verificar la respuesta de la demanda, el DSU debe presentar la demanda total estimada para el día siguiente de todos los sitios que componen el DSU cada media hora [17],[18].

En [19] se propone la optimización de la respuesta energética a la demanda en el sector residencial. En el sector residencial, el sistema eléctrico proporciona la energía necesaria para satisfacer la demanda. También[20], el autor desarrolló una estrategia de recuperación ante desastres para usuarios residenciales. Se propone un problema de optimización basado en la incomodidad del usuario y las facturas de la luz para determinar el mejor tiempo de puesta en marcha y uso de los aparatos eléctricos. El sistema de gestión de energía permite manejar a la carga de descarga del sistema eléctrico, especialmente cuando hay una respuesta de demanda pico y cuando el costo de la energía es alto, para proporcionar energía al paquete de baterías.

En [21] define al Negawatt como la energía eléctrica escatimada por el consumidor en contestación a un cuidado de la empresa de distribución eléctrica, según este concepto, se puede concluir que la respuesta de la aplicación de las técnicas de gestión de la demanda es Negawatt.

La energía generada en la pequeña red local (micro-redes), se obtienen de ciertas fuentes renovables cuyo almacenamiento es la “generación de Negawatt”, que es la distribución de la unidad de energía ahorrada por cada usuario según los requisitos de energía de la empresa

En Ecuador se realiza un proyecto que motiva a los consumidores para la generación de Negawatts, lo que

significa que si consigue incentivar al consumidor final a cambiar racionalmente su uso de consumo reduciendo o modificando el tiempo de uso, la estrategia aplicada por el lado del consumidor es exitosa [21]. Debido a la existencia de contadores inteligentes, actualmente se pueden aplicar precios dinámicos de la energía a los clientes finales, los cuales permiten un flujo de información bidireccional entre los usuarios y las empresas de distribución.

En [22] habla de la respuesta a la demanda (RD) su objetivo es reducir los picos de demanda y fomentar el consumo de electricidad en labor de los costos del mercado y / o la disponibilidad de energía durante un período de tiempo en el que haya energía renovable disponible. Los planes de eficiencia energética y respuesta a la demanda tienen un sin número de ventajas, principalmente porque están en funcionamiento. Las medidas de ahorro de energía a menudo pueden reducir permanentemente muchas horas de consumo de energía. De hecho, una vez instaladas, normalmente no requieren la intervención del usuario o del operador del sistema [23].

Para el sector vivienda, se puede analizar según el tipo de situación demográfica, porque el consumo de la clase alta y el consumo de la clase baja no son lo mismo, por lo que se puede decir que la recuperación ante desastres se puede implementar en el medio y alto estatus de usuarios. Al llevar a cabo precios graduales, los consumidores con mayores posibilidades económicas disminuirán su consumo, pues cuanto más energía consuman, más energía tendrán que pagar, lo que hará que los usuarios sean más conscientes de su consumo energético.[24]. Por lo tanto, la carga y los tipos de usuarios deben determinarse antes de implementar el generador virtual [25].

En este artículo se propone estimar los costos de la energía no utilizada mediante procesos estocásticos en una micro-red aislada, para lo cual se empleará la técnica de árboles de toma de decisiones, se realizará un despacho económico y estocástico para finalmente conocer los costos de energía no suministrada en la red.

A continuación el artículo se ha estructurado de la siguiente forma: en la sección II se pretende realizar una revisión en torno a las micro-redes de energía renovables, su generación distribuida, la gestión energética en una micro-red, así como también la asignación de recursos repartidos, el despacho económico, respuesta a la demanda y para así implementar los árboles de decisiones. En la sección III se desarrolla el planteamiento del problema en torno a la micro red- caso

Floreana, incluyendo características de generadores, demanda eléctrica y su respectivas curvas de demanda. En la sección IV se detalle el pseudocódigo utilizado para el despacho convencional y estocástico. En la sección V se realiza los resultados y discusiones acerca de los despachos convencionales y estocásticos en la micro-red Floreana y los respectivos árboles de decisiones.

En la sección VI se realiza el análisis de los costos de la energía no suministrada en la micro red obtenidos para los casos de estudio. En la sección VII se hace una discusión de los despachos económicos de la micro red Floreana en base a un artículo y se los compara con los resultados presentados. En último lugar, en la sección VIII se establecen las conclusiones y XI los trabajos futuros.

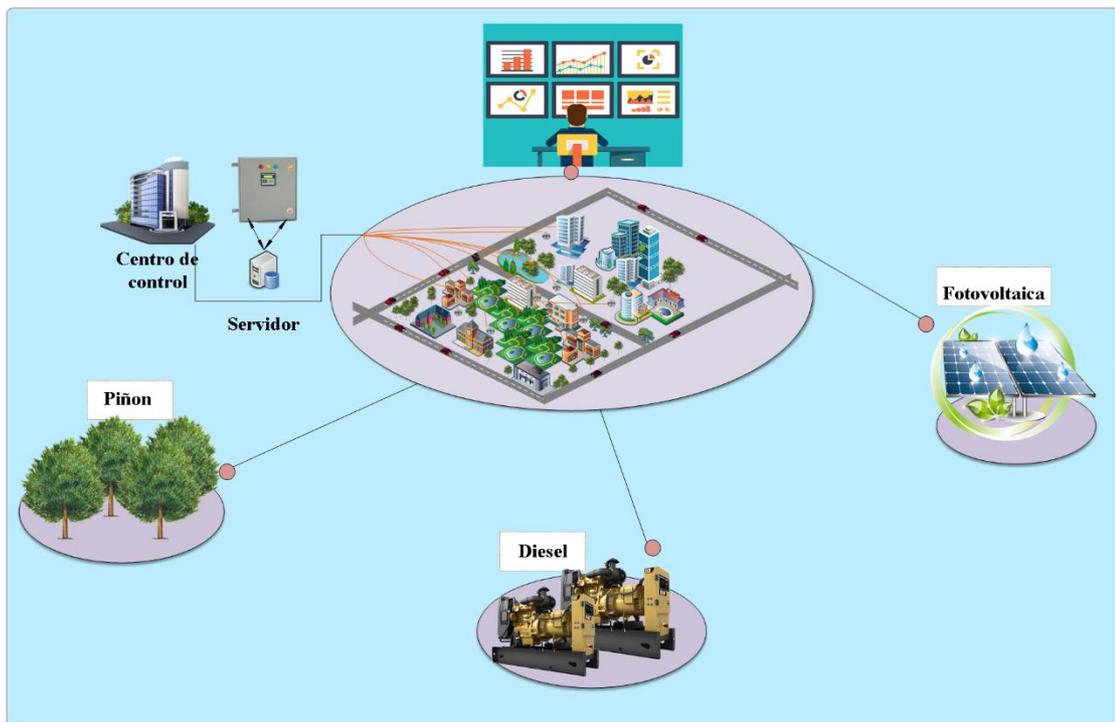


Figura 1. Esquema General – Microred

2. Marco Teórico

2.1. Micro redes de energía renovable

La micro-red incluye varios recursos de generación de energía (generalmente energía renovable) y varios tipos de

almacenamiento, que estos pueden trabajar en modo aislado y conectarse a una única red principal[26]. La micro-red trabaja a un voltaje de nivel bajo y esta puede considerarse como la estructura básica de una nueva red eléctrica llamada

red. De esta manera, la red eléctrica permite a la micro-red como un elemento principal que rebote a las señales de agente adecuadas, es decir, puede hallarse como un conjunto grande consumidores y generadores. Además, este trabaja como un único sistema controlable. La red principal debe permanecer encendida al sistema principal por medio del punto de ajuste principal en modo de conexión de red (On Grid) o de forma autónoma (Off Grid) a través del punto de conexión público. Cuando MR trabaja en el modo "conectado a la red", siempre que la potencia consumida sea menor que la potencia de la fuente de transmisión, tiene la ventaja de intercambiar energía con la red principal[27][28]. Cuando MR trabaja en modo fuera de la red, generalmente las fuentes de energía renovables y convencionales satisfacen plenamente la demanda. Estas clases de sistemas almacenan la energía excesiva en baterías para igualar la producción y los picos de demanda [25][29].

La micro-red tiene un gran desempeño ambiental y da una confiabilidad del suministro de energía eléctrica. La micro-red en sí es mucho más pequeña que una red normal o convencional y puede trabajar de forma independiente[30][31]. En sí una red pequeña es diseñada para alimentar pequeñas cargas. La red principal suministra energía eléctrica a través de una sola conexión, mientras que la micro-red es una red de distribución en la que la generación, el almacenamiento y las cargas de energía se distribuyen y administran mediante una red de transmisión más grande [25][32].

2.2. Generación Distribuida

Al producir energía a un nivel bajo en el puesto de utilización del consumidor final se denomina generación distribuida (GD). Una de las ventajas de generar electricidad cerca del punto de consumo es que mejora la eficiencia del sistema porque no hay pérdida de distribución de energía y se mejora la curva de voltaje,

por lo tanto, la congestión de la red generalmente se puede reducir mejorando la confiabilidad del sistema impacto positivo, es necesario realizar una exploración y planificar cuál es la mejor ubicación para dicha planta; de lo contrario, puede tener un impacto negativo en la red, como una sobretensión en el sistema, por lo que se requiere una inspección exhaustiva. Se requiere análisis antes de la implementación en la planta.[33][34]. Para simular GD se debe considerar varias características tal como es el sistema de tuberías la cual ejerce presión el agua, en donde este sistema cuenta con una ecuación diferencial para el respectivo flujo transitoria que esta posee[35][36]. Además, se debe tener en consideración que, para la generación eléctrica por medio de GD, es necesario las potencias máximas y mínimas, su rango puede tomar un valor partir de 1kW, y llegar hasta 100MW, restringiendo a 10MW en una situación de generación a través de energía renovable. Teniendo presente los rangos de generación, la GD se puede clasificar en cuatro tal y como se describe en la tabla1:

Tabla 1.Rangos de Generación

Rangos de Generación	Capacidad
Micro Generación	Capacidad menor a 5kW
Mini generación	Rangos desde 5kW a 5 MW
Generación Media	Rangos desde 5MW a 50MW
Gran Generación	Rangos desde 50MW a 100MW

El rango de aplicación de GD incluye la generación de energía básica y la generación de energía pico. También se puede usar para hacer el avance en la condición del abastecimiento como

apoyo y base para la red de transmisión y distribución [37]. Hay dos clases de GD, a saber, generación distribuida incorporada y generación distribuida no centralizada. El GD integrado solamente se emplea en la red de distribución local, y se debe tener presente que la potencia del GD es menor a 50 MW.

Una GD que no está programada centralmente es una GD que no está controlada ni programada de ninguna forma, y se estudia una GD con una potencia menor o igual a 10MW. GD se puede utilizar en algunas aplicaciones como:

Generación de energía básica.- Generalmente se emplea para proporcionar una fracción de la energía primordial o agrandar el valor de voltaje en el sistema eléctrico, lo que favorece a disminuir las pérdidas y perfeccionar la calidad de la energía [37].

Demanda durante las horas pico. - Contribuye al uso de energía durante las horas pico, porque los costos de energía aumentarán o disminuirán según el consumo durante un determinado período de tiempo, por causa de las necesidades de las fábricas que necesitan utilizar combustibles fósiles se pueden satisfacer durante las horas pico. Para proporcionar la energía requerida, GD puede proporcionar industria con las fábricas cercanas al distrito proporcionan estos picos [37].

Reserva. - En industrias u hospitales, donde hay cortes de energía, se puede aprovechar como reserva de energía para cargas especiales [27].

Zonas aisladas. - Su uso es para suministrar electricidad a zonas remotas o zonas de difícil acceso donde la red de transporte es inaccesible [37].

Al tratar con GD, se debe tener en consideración la clase de energía la cual se esté produciendo y el lapso de tiempo del suministro del mismo así como, por ejemplo, las turbinas de gas tienen que entregar suministro de energía en un

tiempo extenso y facilitar P y Q para sistemas eléctricos, en tanto que sistemas como de energía eólica o fotovoltaica, la generación depende de la climatología, el período de suministro puede ser medio o corto [37][38].

De tal manera, se logra establecer que GD posee la capacidad de otorgar varios beneficios al sistema eléctrico. Estos beneficios son: minimizar las pérdidas de transmisión y distribución, con tal de que se coloque en la mejor optimización, puede mejorar la calidad de la energía, ayudar a cumplir horas pico de uso de energía, mejorar la contribución de un sistema de energía estable y también puede ayudar económicamente, debido a que puede reducir la cantidad de infraestructura de energía requerida [37].

2.3. Gestión de la energía

Una peculiaridad los sistemas eléctricos actualmente es que están forzados por las diferentes cotizaciones de costos tanto de combustibles como del consumo de energía, esto afectada de primera mano por la inestabilidad o fenómenos provocados por los seres humanos o al ambiente en todo el mundo, por tanto, es fundamental formular políticas de gestión energética (GE)[39]. El uso eficiente de la energía significa optimizar la ejecución de procesos o actividades con la mínima parte de energía, incrementando así la rentabilidad de la empresa [37][40]. Para la gestión energética de hogares, empresas e industrias, existen básicamente dos objetivos a alcanzar: aumentar la eficiencia del proceso de transformación energética se mejora en formas más utilizables de una manera menos utilizada; mejorar la eficiencia energética al reducir los equipos que pueden ser ineficaces o innecesarios. [41][42]. Una vez determinado los trabajos esenciales para aplicar GE, es necesario precisar las diferentes maneras para conseguir estos

propósitos, entre estos se nombra por ejemplo, un proyecto de edificio apropiado que maximiza el uso de energía al reducir la iluminación artificial innecesaria, determinar la carga que se puede transferir en otros momentos, también se debe llevar a cabo las debidas pautas que ponen los fabricantes de dicha instalación y desempeño para que de esta manera los diferentes equipos funcionen de manera eficaz [41][43]. El sistema (GE) está conformada, de las diferentes técnicas, los avances y los medios esenciales para la debida implementación, por lo consiguiente disponer de energía denota contar con la suficiencia de distinguir y valorar tanto de una manera procedimental y económicamente diversas maneras para ahorrar energía mediante protocolos de mantenimiento para implementar sistemas de gestión energética.

2.4. Asignación de recursos repartidos

La asignación se realizará a través de una distribución de energía basada en costos justos de generación de energía. El despacho económico es satisfacer la demanda del consumidor de una manera más económica, pero es un procedimiento complicado ya que, deben obedecer los elementos técnicos para así asegurar la confiabilidad del sistema energético[44][43]. Los sistemas eléctricos de potencia tienen una modalidad de funcionamiento que puede minimizar el costo de generación de energía[45]. Los SEP's no poseen la misma actuación uno con relación a otro, esto permite encontrar el mejor proceso frecuentativo, esto quiere decir, se va a reiterar el avance de cálculo hasta poder lograr el resultado ansiado [46][47]. Para solucionar esta clase de problemas es necesario modelar las curvas de salida y entrada de la unidad termoelectrica, este es el método más caro de generación de electricidad, estas

curvas son complicadas porque requieren una disposición de medio ambiental y de algunos factores termodinámicos, así mismo los precios de estas centrales de generación están dados, por la ecuación de optimización estocástica.

$$C(P_{Gi}) = a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 \quad (1)$$

Donde:

P_{Gi} es el generador saliente en i en kW o por unidad (p.u);

a_i, b_i, c_i son términos constantes;

El despacho económico (DE) tienen dos maneras de realización, con y sin pérdidas; el despacho económico sin pérdidas, es un evento sintético, a través de este estudio, al considerar un sistema con pérdidas, se puede alcanzar una primera interacción a la solución requerida. El despacho económico sin pérdidas se expresa de la siguiente manera[48].

$$\min = \sum_{i=1}^n C_i(P_{Gi}) \quad (2)$$

$$\text{sujeto a} \left(P_D - \sum_{i=1}^n (P_{Gi}) = 0 \right) \quad (3)$$

Donde:

P_{Gi} es el generador saliente i en MW o en p.u;

P_D es la potencia de demanda;

No obstante, en un SEP siempre va existir pérdidas, lo que complica lo antes mencionado, en este problema se debería de aumentar las pérdidas, algunas veces esto será muy preciso, mientras que otras situaciones pueden ser muy aproximada el resultado. Su expresión matemática es la siguiente[49]:

$$\min = \sum_{i=1}^n C_i(P_{Gi}) \quad (4)$$

$$\text{sujeto a} \quad (5)$$

$$\left(P_D + P_L - \sum_{i=1}^n (P_{Gi}) = 0 \right)$$

P_{Gi} es el generador saliente i en MW o en por unidad (p.u);

P_D es la potencia de demanda;

P_L la pérdida en la línea;

Inmediatamente después definido el problema, debe satisfacer la ecuación para el equilibrio del nodo, lo que se puede lograr usándola como entrada limitante, que representa el equilibrio de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) esto se detalla a continuación [49].

$$P_i + jQ_i = E_i \sum_{k=1}^n Y_{ik} E_k \quad (6)$$

Al realizar el sumatorio respectivo la ecuación queda:

$$\begin{aligned} P_i + jQ_i &= \sum_{k=1}^n |E_i||E_k|(G_{ik} - jB_{ik})e^{j(\theta_i - \theta_k)} \quad (7) \\ &= \sum_{k=1}^n |E_i||E_k|(G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) \\ &\quad + jB_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)) \\ &\quad + j(|E_i||E_k|(G_{ik} \sin((\theta_i - \theta_k) \\ &\quad - jB_{ik} \cos((\theta_i - \theta_k))) \end{aligned}$$

θ_i, θ_k Representan los ángulos de los nodos i y k respectivamente [49].

$|E_i||E_k|$ Representan las magnitudes de los voltajes nodales.

$G_{ik} + jB_{ik}Y_{ik}$ El término ik representa la matriz de admitancias del SEP[49].

2.5. Despacho Económico

En el despacho económico, considerando insumos como la disponibilidad de generación de energía, los parámetros de demanda y las limitaciones, los recursos de generación de energía se optimizan de

la mejor manera para satisfacer la demanda de SEP. Este es un proceso indispensable para cualquier mercado eléctrico porque puede aprovechar al máximo sus recursos energéticos [49].

Cuando se encuentra funcionando el SEP, tiene una única finalidad la cual es proveer electricidad hacia todas las variables eléctricas (voltaje, flujo de potencia en el elemento de transmisión, potencia reactiva del generador) dentro de los parámetros normal de funcionamiento [49]. Si la frecuencia cambia debido a la demanda de energía, se va a necesitar que todas las máquinas tengan reservas móviles y pueden afectar el ajuste de la frecuencia de energía principal.

2.6. Respuesta de la demanda

La Respuesta a la Demanda o también conocida como, “Demand Response” (DR) por sus siglas en inglés, ayuda a los usuarios finales gestionar el consumo de energía a través de incentivos para disminuir la utilización de energía a lo largo del día en especial en las horas pico de esta manera es lo mismo que la decisión de los operadores de red cuando el sistema está en peligro debido a fallas o cambios en el precio de la electricidad [50]. La actividad de realización a la instancia pueden ocurrir en algún momento, no romanza porque el sistema tiene una inscripción instancia de energía, por lo que, en contingencia de una urgencia del sistema eléctrico, su perseverancia puede ser la clave[51][52]. La eficiencia energética es un medio de reducir el consumo de energía al reducir la conciencia del cliente sin reducir la calidad del servicio y ahorrar energía[53]. Este concepto está relacionado con la demanda eléctrica porque ahorra energía y dinero [54]. Por tanto, se puede proteger el medio ambiente consumiendo electricidad de forma responsable. Contribuir a los clientes a través de incentivos y nuevos sistemas de precios de la electricidad (como reducir el

consumo de electricidad durante los picos de demanda de energía). Además, los métodos basados en precios también pueden aumentar los recursos para satisfacer la demanda de servicios auxiliares prestados a través de la distribución, promoviendo así los intereses empresa distribuidora [54][55]. La respuesta a la demanda se encarga del consumo de energía requerido por los usuarios de energía, de esta manera, la energía disponible se puede distribuir sin agregar nueva capacidad de generación de energía al sistema. [55][56]. Una de las más importante característica de la respuesta a la demanda es la reducción de los costes eléctricos, que convierte el consumo en horas cuando los precios de la electricidad alcanzan su punto más bajo[56]. La puesta en marcha de la respuesta a la demanda aporta a la flexibilidad de los sistemas eléctricos. La particularidad de esto ha sido reconocida por muchos países alrededor del mundo para mejorar sus mercados eléctricos, hacerlos eficientes, confiables y reducir el uso de fuentes de generación de energía, evitando así altos costos marginales[57], además de facilitar el trabajo del sistema al reducir la sobrecarga en la línea de transmisión, lo que estabiliza las fluctuaciones de los costos, también se refiere a un aumento significativo en los ingresos del sistema eléctrico.

2.7. Árboles de escenarios

Para los experimentos de simulación estocástica, analiza la apertura de los árboles de decisión definidos como métodos analíticos, proporciona alternativas en forma de diagramas esquemáticos y facilita la determinación adecuada de las diferentes decisiones, exclusivamente cuando están comprendidos por amenazas, costos, utilidades u otras variante [58]. La técnica del árbol de escenarios tiene una característica principal la cual se utiliza para problemas de codificación,

pronóstico, emparejamiento y selección de funciones [58].

El árbol de decisión permite construir un modelo basado en un conjunto de datos de entrenamiento, por lo que las condiciones organizacionales desde el nodo raíz hasta el nodo hoja pueden usarse para determinar la decisión final [59].

Según [60] los algoritmos más importantes y significantes en árboles de decisión son, C4.5, ID3 (Interactive Dichotomiser 3) y Cart (Classification and regression tree) [25].

2.8. Árbol de Cart

En este documento se utiliza el método Cart para construir un árbol de decisiones aleatorio para optimizar, clasificar y predecir los costos de generación de energía [25].

El árbol de Cart es un algoritmo fundamental de árbol de toma de decisión, que es dinámico para variables numéricas como terminantes [59].

El árbol consta de un gráfico que parte de un punto común (raíz), los nodos internos (atributos) asociados a las ramas a otro nodo del árbol, y finalmente los nodos terminales (nodos hoja) (las salidas que representan) toman las posibles decisiones [59].

La figura (2) muestra un diagrama esquemático del árbol de Cart y describe los pasos del algoritmo de manera general [25].

Inicia todos los datos de entrada formando un conjunto único de variables para cada atributo y verifica todas las posibles divisiones binarias en cada valor predicho.

Se utiliza métodos estocásticos para analizar el comportamiento de los procesos aleatorios de radiación solar, que son parámetros de gran interés a la hora de obtener soluciones cercanas a los valores reales [25].

Todo proceso estocástico tiene sus propias características diferentes y se

puede seleccionar el método de probabilidad más conveniente.

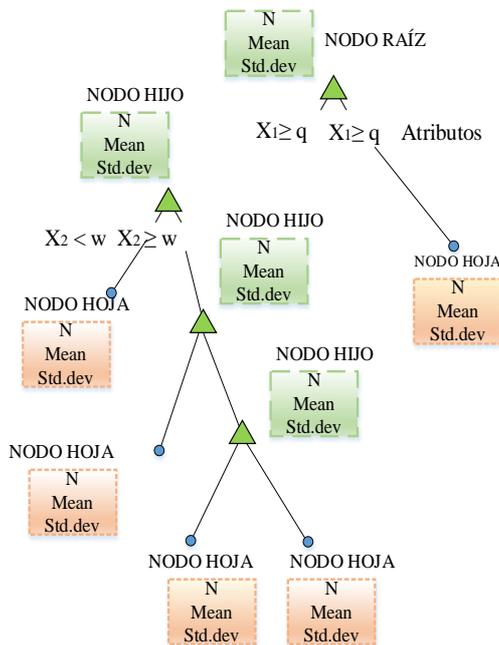


Figura 2. Esquema general de un árbol de escenarios [25].

3. Planteamiento del problema

El problema planteado en el presente artículo es estimar los costos de la energía no utilizada mediante procesos estocásticos en una micro-red aislado, para lo cual se empleará la técnica de árboles de toma de decisiones, los recursos distribuidos a emplearse dependen del emplazamiento seleccionado como Galápagos, la Isla Floreana la cual poseerá generación convencional y no convencional renovable, además se analizará diferentes mecanismos de respuesta a la demanda. Además, se va a analizar el comportamiento del RD en la micro-red para luego analizar los distintos tipos de usuarios y su comportamiento en cuanto al consumo eléctrico. Una vez examinado el comportamiento de la demanda se va a estimar los costos asociados a la energía no utilizada en la micro red, para finalmente implementar los precios a los usuarios de la micro red y posteriormente su respectiva venta de energía.

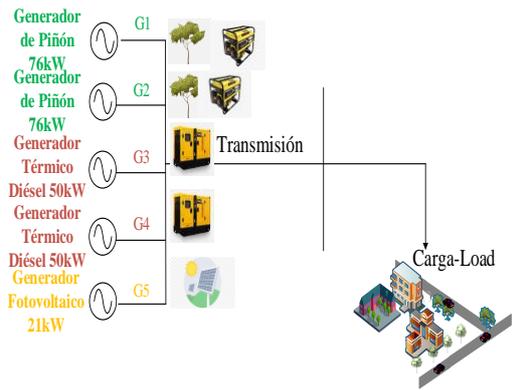


Figura 3. Diagrama unifilar Isla Floreana

En la figura (3) se presenta el diagrama unifilar del sistema de distribución, conformada por 5 fuentes de generación 2 de ellas de aceite de piñón, 2 térmicos a diésel y 1 fotovoltaico con baterías conectadas al bus para el abastecimiento de una demanda diaria.

3.1. Micro-red tipo Caso Galápagos Floreana

El envío continuo de combustibles fósiles al archipiélago ha aumentado la probabilidad de accidentes y derrames. Asimismo, debido al uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad, se emitirán gases contaminantes al medio ambiente, los cuales tendrán un impacto significativo en el medio ambiente en áreas de alto tráfico, convirtiendo esta zona en un área biogeográfica, un refugio único y atracciones turísticas [61]. La Tabla 2 enumera las especificaciones generales del sistema de energía híbrido esperado [62].

Tabla 2. Especificaciones generales del sistema de energía híbrido.

Generadores	Especificaciones
2 Generadores Térmicos	Potencia Nominal: 50kW y 100kW Factor de planta: 0.0197954 y 0.0960374

2 Generadores Térmicos (aceite piñón)	Uso de aceite puro de Jatropha Potencia Nominal: 76kW y 76kW Factor de planta: 0.1598057 y 0.1409907
1 Generador Solar Fotovoltaico	Potencia Nominal: 21kW Factor de planta: 0.1291

La generación en las Islas Galápagos consta de un sistema de bastecimiento para cada isla. Estos sistemas están compuestos principalmente por plantas de energía térmica, plantas de energía generadas a partir de recursos renovables, como parques eólicos, plantas de energía fotovoltaica y el uso de biocombustibles(aceite de piñón) [61]. En el caso específico del sistema híbrido Floreana, posee dos generadores térmicos y una planta fotovoltaica, pero al día de hoy estos no están trabajando juntos ni optimizados. La optimización del sistema se realizará introduciendo la red para formar un inversor, el inversor tiene el funcionamiento de gestionar la red y controlar la generación/distribución de energía en función de la demanda y los recursos que se disponga.

La isla Floreana, actualmente tiene las siguientes centrales de generación, dispone de una planta fotovoltaica perla solar, esta planta cuenta con una potencia instalada de 0,021 MWp, que está operando desde el mes de junio del 2014. Dispone también de un sistema de almacenamiento de energía lo cual lo hace atreves de baterías recargables de plomo-ácido: 0.069kW y 0.38 MWh, que pueden acumular y distribuir posteriormente la energía de las plantas fotovoltaicas.

De la misma forma cuenta con una central térmica dual que dispone de una potencia

instalada de 0,29 MW y una potencia efectiva de 0,23 MW. La instalación se inició en 2010 [61].

Sistema concebido para una operación en diésel-off, que tiene como objetivo la reducción del consumo de combustible fósil (diésel) mediante el máximo aprovechamiento de la energía solar [61]. El diseño incluye una central fotovoltaica de 0,952 MWp, con 2 inversores de 500kW y un banco de baterías de 333 kWh. La planta comenzó a operar en junio del 2018, admitiendo un ahorro significativo de aproximadamente 36.980 galones de diésel con corte al 31 de diciembre del 2018 [61]. La instauración de una central fotovoltaica de 90 KWp generará una media de 0,16 GWh de energía al año, que podrá sustituir 13.000 galones de combustible y reducir 140 toneladas de CO₂ / año. El costo del proyecto en las Islas Galápagos es de 0,31 MUSD y se prevé su puesta en funcionamiento en 2020 [61]. Teniendo en cuenta que, en pocas horas del día, el funcionamiento del sistema no requiere la participación de unidades de generación de energía dual (piñón-aceite de motor diésel), la arquitectura del sistema híbrido térmico-fotovoltaico se puede concebir haciendo un mejor uso de la energía fotovoltaica. En la Figura 4 se propone la arquitectura del sistema híbrido térmico-fotovoltaico[62].

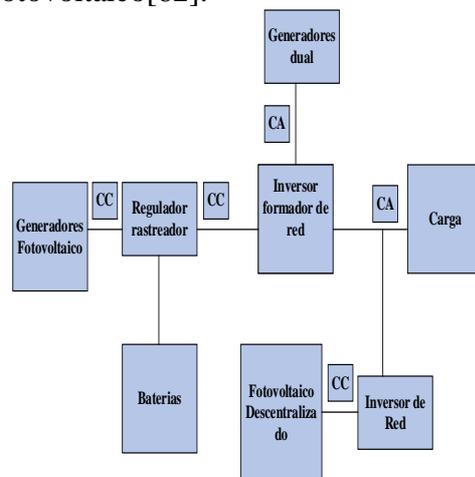


Figura 4. Arquitectura Sistema Híbrido térmico-fotovoltaico.

El sistema de almacenamiento será responsable de almacenar el exceso de energía de las plantas de energía fotovoltaica producido durante el día y que se puede suministrar en horas de la noche. La energía almacenada será la energía necesaria para evitar que el segundo grupo de calor se inicie durante las horas pico (demanda pico). Sin embargo, dependiendo de la modalidad de operación, el tamaño del banco de baterías varía [62].

3.2 Aceite Piñón

El piñón es una planta que tiene características duraderas, estas crecen en lugares secos cuyas tierras son consistencia degradadas, además poseen un nivel bajo de productividad y no son apropiadas para otras siembras. En Ecuador estas plantas se las puede encontrar a partir del nivel del mar hasta llegar los 1500 metros.

Actualmente el costo de los combustibles fósiles ha venido en aumento, se ha realizado diversas investigaciones que tratan acerca del uso de nuevos combustibles verdes a escala global, estudiando los combustibles fósiles y su impacto ambiental. En este sentido, el aceite de piñón como nuevo combustible tiene grandes expectativas. El nombre científico del piñón es *Jatropha*, que tiene propiedades físicas y químicas, y el calor mínimo está entre 36-39 MJ / kg (diésel: 45,10 MJ / kg). Esta planta ya antes mencionada se puede proliferar por semillas. El cultivo del piñón se puede llevar a cabo en la tierra o mediante plántulas que estas se siembran en vivero y se trasplantan a los 30 o 45 días de edad. Las semillas del aceite de piñón tardan de 6 a 10 días en germinar.

3.3 Demanda eléctrica isla Floreana

El desarrollo del mercado eléctrico de Ecuador en términos de energía y demanda eléctrica ha venido disminuyendo durante muchos años. Actualmente en la isla de Floreana, el

100% de la electricidad en el puerto de Velasco Ibarra se genera mediante la operación de equipos térmicos duales. Debido a la ausencia de industria y comercio que la isla Floreana tiene actualmente, la curva de carga diaria es similar para todos los días de la semana, donde el intervalo pico de demanda es entre 17h00 a 21h00, siendo el máximo pico a las 16h00 tal y como se muestra en la figura (5). Esto se debe principalmente a que a esas horas los usuarios vuelven a sus hogares en donde hacen uso de equipos eléctricos y por ende la carga va a tener un incremento en estos intervalos de tiempo.

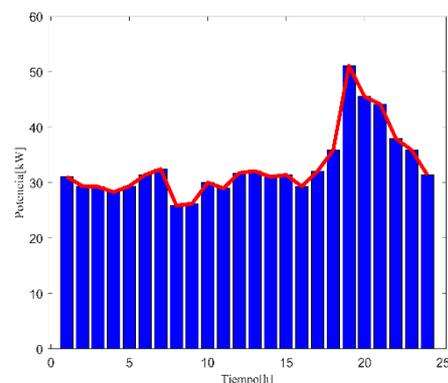


Figura 5. Curva de la demanda de potencia pico año 2019

3.4 Escenario1, escenario2

En las figuras (6) y (7), se muestra la curva de la demanda del año del 2019 del día lunes y domingo respectivamente. Durante estos dos días se presenta el consumo de potencia durante todo un día ,en donde se puede observar que el consumo pico del día lunes es inferior al día domingo, lo que significa que existen niveles de consumo de energía eléctrica mayores durante el fin de semana. Por otro lado, también se puede evidenciar que el consumo de energía comienza en ambos escenarios a partir de las 06:00 horas obteniendo valores casi similares hasta las 08:00 horas , con esto podemos decir que el usuario empieza sus actividades habituales en estas horas de la mañana. Con respecto al medio día se puede observar que el pico de la demanda del

día domingo es mayor a la del día lunes. Durante las horas de la tarde desde las 14:00 hasta las 17:00 horas el consumo tanto del día lunes como el domingo son similares.

Al analizar el consumo en la noche se puede evidenciar que el pico de demanda tanto, el día lunes como el domingo es a las 19:00 horas, siendo de mayor consumo el día lunes con un pico de 43 kWh con respecto al día domingo con 40 kWh. Finalmente por horas de la noche hasta las 00:00 horas se puede observar que el consumo es mayor el día lunes a diferencia del día domingo, esto se debe a que el consumidor durante la semana tiene labores cotidianos a diferencia de un fin de semana.

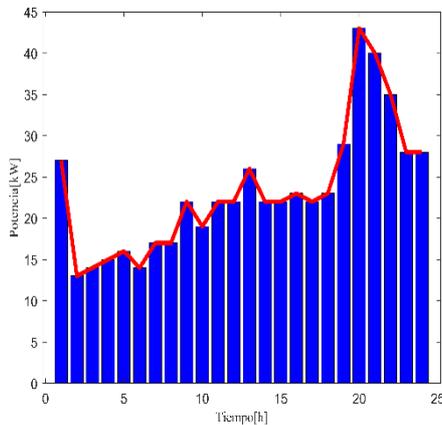


Figura 6. Curva de la demanda día lunes

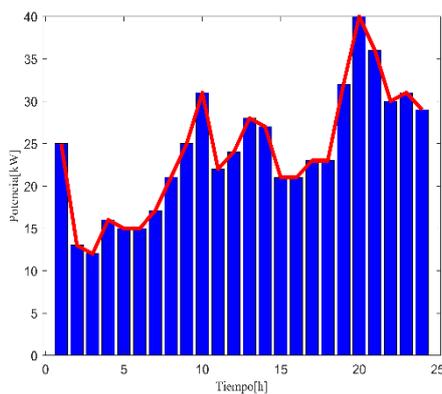


Figura 7. Curva de la demanda día domingo

4. Pseudocódigo

En la tabla 3 se puede observar el pseudocódigo donde se detalla el despacho convencional y estocástico

Tabla 3. Algoritmo para el despacho económico convencional y estocástico.

Algoritmo para el despacho económico convencional y estocástico.

Paso 1: Declaraciones de variables

$P_1 \rightarrow$ Potencia generador1

$P_2 \rightarrow$ Potencia generador2

$P_3 \rightarrow$ Potencia generador3

$P_4 \rightarrow$ Potencia generador4

$P_5 \rightarrow$ Potencia generador5

Paso 2: Asignación de Pmax, Pmin, costos, para todas las fuentes de energía

$P_1 \text{ Max}$

$P_2 \text{ Max}$

$P_3 \text{ Max}$

$P_4 \text{ Max}$

$P_5 \text{ Max}$

$P_1 \text{ Min}$

$P_2 \text{ Min}$

$P_3 \text{ Min}$

$P_4 \text{ Min}$

$P_5 \text{ Min}$

$CG_1 \rightarrow$ Costo Generador1

$CG_2 \rightarrow$ Costo Generador2

$CG_3 \rightarrow$ Costo Generador3

$CG_4 \rightarrow$ Costo Generador4

$CG_5 \rightarrow$ Costo Generador5

$PD \rightarrow$ Potencia demanda

Paso 3: Ecuaciones para el despacho sin pérdidas

$eqOF$

eqO

$$eqOF = e = \sum P_1 * CG_1 + P_2 * CG_2 + P_3 * CG_3 + P_4 * CG_4 + P_5 * CG_5$$

$$eqO = PD = \sum P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$$

Paso 4: Asignación de restricciones

$P_1 \cdot l_o = P_1 \text{ Min}$

$P_2 \cdot l_o = P_2 \text{ Min}$

$P_3 \cdot l_o = P_3 \text{ Min}$

$$P_4 \cdot l_o = P_4 \text{ Min}$$

$$P_5 \cdot l_o = P_5 \text{ Min}$$

$$P_1 \cdot up = P_1 \text{ Max}$$

$$P_2 \cdot up = P_2 \text{ Max}$$

$$P_3 \cdot up = P_3 \text{ Max}$$

$$P_4 \cdot up = P_4 \text{ Max}$$

$$P_5 \cdot up = P_5 \text{ Max}$$

5. Resultados y Discusión

En este apartado se presentan e interpretan los resultados obtenidos, a partir de los datos tomados de demanda diaria del caso lunes y domingo. Cabe mencionar que se realizó un despacho económico diario los cuales se han seleccionado dos días que son el lunes y el domingo respectivamente.

En base a los datos de potencia diaria del caso de estudio para el día lunes y domingo se realizó un despacho diario que tiene por objetivo establecer una forma óptima de los recursos de generación eléctrica para satisfacer la demanda de la micro red de isla Floreana al menor costo posible.

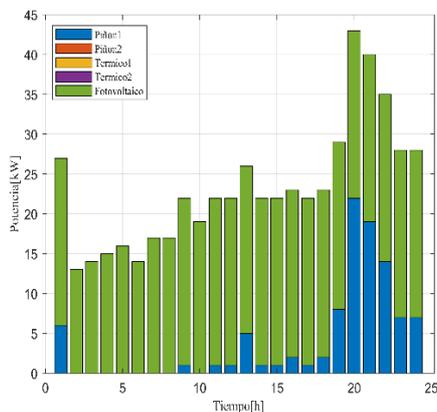


Figura 8. Despacho diario - día lunes(a)

En la figura (8) se puede visualizar el despacho diario del día lunes en la cual se analiza la potencia en kW de cada hora del día con respecto al precio de cada generador.

Al realizar el despacho económico para cada hora se puede observar que para las 01:00 horas se consume 13kW, el menor consumo de todo el día la cual tiene un

precio de despacho de 1.784 cUSD/kWh, siendo este valor el más bajo con respecto a todo el día lunes. Por otro lado, al analizar la mayor potencia consumida en este día es a las 20:00 que se consume 43kW, el precio a despachar en esta hora es de 8.099 cUSD/kWh. Con respecto al medio día el consumo es de 26kW y tiene un despacho de 4.255 cUSD/kWh siendo este valor la media de costo que tiene el día lunes a despachar.

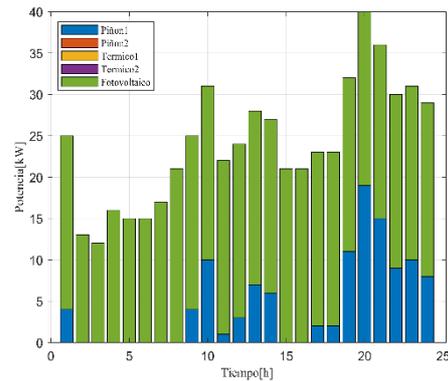


Figura 9. Despacho diario - día domingo(b)

De manera similar a la gráfica anterior, en la figura (9) se analiza el despacho diario del día domingo en la cual se tiene la potencia en kW con respecto al costo de cada generador. Al analizar el despacho económico para cada hora, de igual manera como el caso del día lunes se puede observar que para las 01:00 horas se consume 13kW con un precio de 1.784 cUSD/kWh igual que el caso del día lunes. En cambio, si se analiza a las 02:00 horas, se puede ver que el despacho económico para la menor potencia consumida de 12kW es de 1,647 cUSD/kWh, siendo el precio más económico comparado con los dos casos analizados. Por otra parte, si se analiza la mayor potencia consumida del día domingo es a las 19:00 horas con un consumo de 40kW, el precio a despachar en esta hora es de 8,099 cUSD/kWh. De igual forma con respecto al medio día el consumo es de 28kW y tiene un despacho de 4,804 cUSD/kWh siendo este valor el menor costo a despachar a esta hora del día.

En la figura (10) se puede observar la comparación del despacho diario del día lunes con el despacho diario del día domingo en donde se puede ver que el día domingo tiene mayor pico de consumo y por ende los costos de despacho van hacer mayores a diferencia del día lunes.

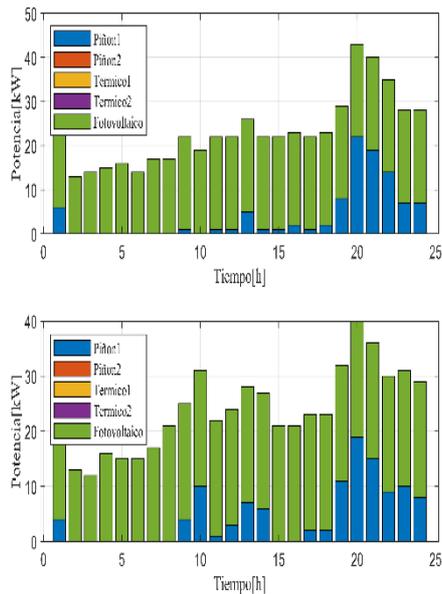


Figura 10. Comparación despacho convencional del día lunes con el día domingo

5.1 Despachos Estocásticos

En esta sección de igual forma se presentan e interpretan los resultados obtenidos, a partir de los datos tomados de demanda diaria del caso lunes y domingo.

Cabe mencionar que se realizó un despacho económico diario estocástico los cuales se han seleccionado dos días que son el lunes y el domingo respectivamente. Además, se hizo una sanción en los precios, en donde los precios de diésel han aumentado y en los precios de piñón y fotovoltaica se disminuyeron.

En base a los datos de potencia diaria del caso de estudio para el día lunes y domingo se realizó un despacho diario estocástico en donde los datos de costos van variando aleatoriamente para que si en la asignación de los generadores de piñón y fotovoltaico tengan menores costos y los generadores a diésel tenga mayores costos.

En esta sección además se presenta a través del árbol de decisiones en donde se puede ver el comportamiento estocástico de lo anteriormente mencionado en la figura (11) (12).

El árbol realizado denota las diferentes divisiones con los respectivos triángulos y las hojas de esta misma, con los respectivos puntos [25]. Además, este árbol fue realizado mediante las potencias que se consume cada hora del día con respecto al despacho económico diario del caso del día lunes y domingo respectivamente.

Este árbol de decisiones estocástico nos ayuda a optimizar, clasificar y predecir los costos de generación de energía.

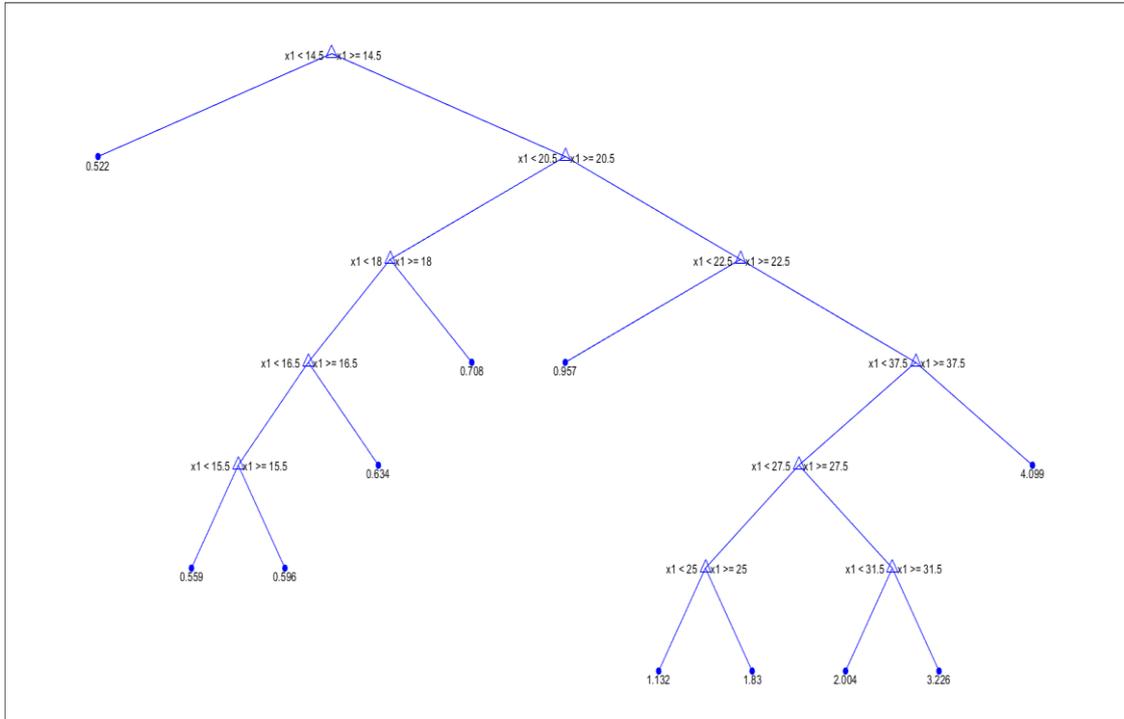


Figura 11. Árbol de decisión estocástico día lunes

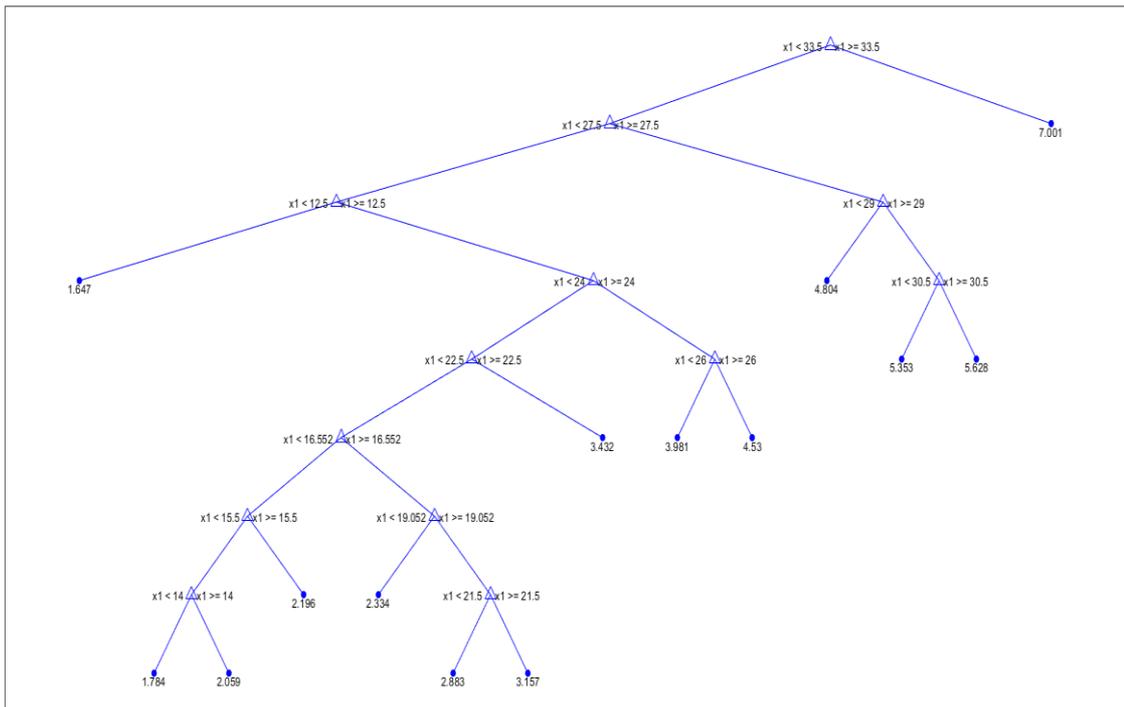


Figura 12. Árbol de decisión estocástico día domingo

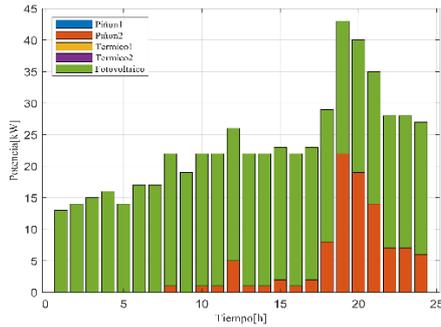


Figura 13. Despacho estocástico día lunes(a)

En la figura (13) se puede observar el despacho estocástico diario del día lunes en donde se tiene un pico de demanda de 40kW a las 20:00 horas. Al realizar el despacho económico estocástico para cada hora se puede observar que para las 01:00 horas se consume 13kW el menor consumo de todo el día la cual tiene un precio de despacho de 1.394 cUSD/kWh, siendo este valor el más bajo con respecto al día lunes. Además, a diferencias del despacho convencional se ve un menor costo en estas mismas horas y la misma demanda.

Por otro lado, al analizar la mayor potencia consumida en este día es a las 20:00 que se consume 40kW, el precio a despachar en esta hora es de 4,934 cUSD/kWh. De igual forma hay una mejoría en cuanto al costo con respecto al despacho convencional.

Con respecto al medio día el consumo es de 26kW y tiene un despacho de 2,958cUSD/kWh que es el menor costo a despachar a estas horas del día. De igual manera hay un decremento en el costo a despachar comparado al despacho convencional analizado anteriormente.

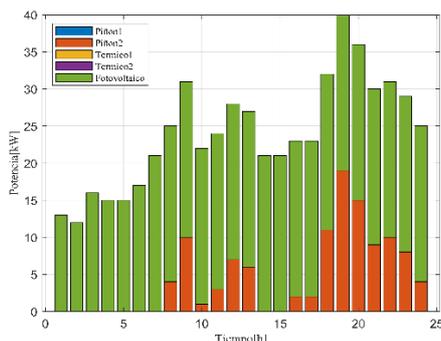


Figura 14. Despacho estocástico día domingo(b)

De manera similar a la gráfica anterior, en la figura (14) se analiza el despacho estocástico diario del día domingo en la cual se tiene la potencia en kW con respecto al costo de cada generador. Al analizar el despacho económico estocástico para cada hora, de igual manera como el caso del día lunes se puede observar que para las 01:00 horas se consume 13kW con un precio de 1.784 cUSD/kWh igual que el caso del día lunes. En cambio, si se analiza a las 02:00 horas, se puede ver que el despacho económico estocástico para la menor potencia consumida de 12kW es de 1,287cUSD/kWh, siendo el precio más económico comparado con los dos casos analizados. Por otro parte si se analiza la mayor potencia consumida del día domingo es a las 19:00 horas con un consumo de 40kW, el precio a despachar en esta hora es de 4,934 cUSD/kWh, siendo este valor casi a la mitad comparado con el caso del despacho convencional del día domingo. De igual forma con respecto al medio día el consumo es de 28kW y tiene un despacho de 3,241cUSD/kWh, siendo de igual manera este valor el menor costo a despachar comparado con el despacho convencional del día domingo respectivamente.

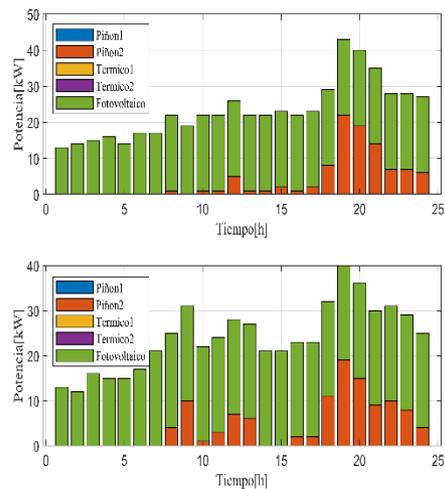


Figura 15. Comparación despacho estocástico día lunes vs día domingo

En la figura (15) se puede observar la comparación del despacho diario

estocástico del día lunes con el despacho diario del día domingo en donde se puede ver que el día domingo tiene mayor pico de consumo y por ende los costos de despacho van hacer mayores a diferencia del día lunes. De la misma manera al realizar el despacho estocástico se puede visualizar que en la parte de costos existe valores muy bajos, esto se debe a que se le asignaron mayores valores de costos a los generadores de diesel y menores costos a los generadores de piñon y fotovoltaico, en consecuencia al realizar el despacho estocástico se toman los generadores a menor costos para minimizar los costos de producción.

5.2 Comparación despacho convencional y despacho estocástico

En la Figura (16) se puede observar la comparación del despacho convencional con respecto al despacho estocástico del día lunes, en donde se puede identificar que en el despacho convencional se despacha los generadores que tienen un costo por la media y bajo a lo que se refiere al costo de producción como se detalló anteriormente. En este caso, en el despacho convencional se ve que mayormente se despacha por el generador de costo promedio y el más barato como es el primer generador de piñon y el generador fotovoltaico respectivamente.

Con respecto al despacho estocástico se puede observar que se realiza el despacho por los generadores más baratos como son el segundo generador de piñon y el fotovoltaico, siendo este despacho el más barato en cuanto al costo de producción. Además, en el despacho estocástico se gestiona mejor el recurso, siendo mucho más barato al despachar, escogiendo los generadores más baratos y optimizando los costos.

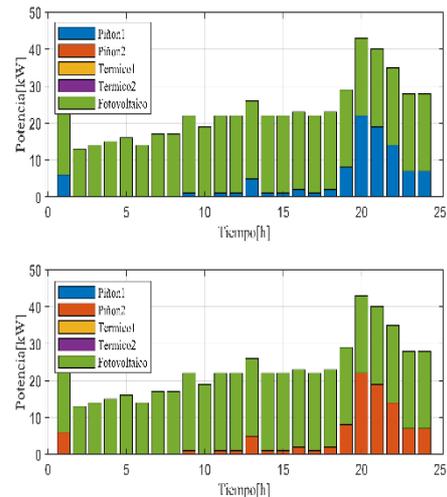


Figura 16. Comparación despacho convencional y despacho estocástico día lunes

De igual forma en la figura (17) se muestra la comparación del despacho convencional con respecto al despacho estocástico del día domingo, la cual se puede observar que en el despacho convencional se despacha de igual forma los generadores de costos medios y costos bajos como son los del primer generador de piñon y el generador fotovoltaico respectivamente. De manera similar al realizar el despacho convencional se puede evidenciar que se realiza el despacho por los generadores más baratos como se mencionó anteriormente que son el segundo generador de piñon y el generador fotovoltaico siendo de igual forma siendo este despacho el más barato en cuanto al costo de producción.

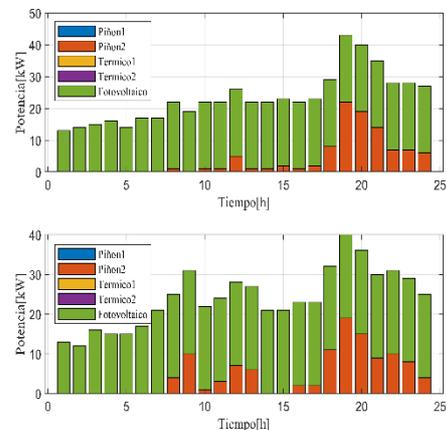


Figura 17. Comparación despacho convencional y despacho estocástico día domingo

6. Costos de la energía no suministrada

Los costos de la energía no suministrada corresponden a los costos que pueden afectar a los usuarios, cuando el suministro de electricidad no puede ser realizado por causa o eventos en la red de transmisión eléctrica, que a su vez ocasionan indisponibilidad de activos en el sistema y que no permiten el adecuado transporte de energía.

Para analizar los costos de la energía no suministrada se lo realiza en un diagrama de cajas y bigotes, estos son representaciones intuitivas que describen simultáneamente varias características importantes y a su vez muestra una gran cantidad de datos en cinco medidas descriptivas, además de comprender su forma y simetría. Los rectángulos que representan las cajas están divididos por diferentes segmentos horizontales que estos señalan en donde se va a posicionar la mediana y en consecuencia su conexión con las partes del primero y tercero.

Además, esta caja se ajusta al segmento de línea cuyos puntos del extremo son los números mínimos y máximos de la variable respectiva. Las líneas que se encuentran fuera de esta caja se llaman bigotes. Estos bigotes poseen un límite de distancia, por tanto, los datos o números que no se encuentre dentro de los parámetros se puede marcar e identificar de manera única.

Para determinar el costo de la energía no suministrada fue obtener el costo del despacho convencional del sistema y luego el costo estocástico del sistema para luego realizar una diferencia entre estos dos. De la diferencia de estos dos despachos se obtiene los costos de la energía no suministrada.

En la figura (18) se puede observar los costos de la energía no suministrada del día lunes presentada en cajas y bigotes en donde a las horas de la madrugada desde las 01:00 horas hasta 7:00 horas no existe un costo que se pueda ahorrar

debido que a estas horas no hay mucha demanda en el sistema eléctrico. Al medio día existe un ahorro de costo máximo del 5 cUSD/kWh. De igual forma a las 18:00 horas donde ya existe una demanda de 29 kW se tiene un ahorro del 8 cUSD/kWh. A las 19:00 horas donde existe una demanda máxima de 43 kW, se tiene un ahorro en el costo de la energía de 22 cUSD/kWh. De igual forma a las 20:00 horas se tiene una demanda de 40kW, se tiene un ahorro del costo de la energía de 19cUSD/kWh. Al analizar este tipo de gráficas se puede ver que a medida que crece la demanda diaria se va a tener un ahorro en el costo de la energía no utilizada.

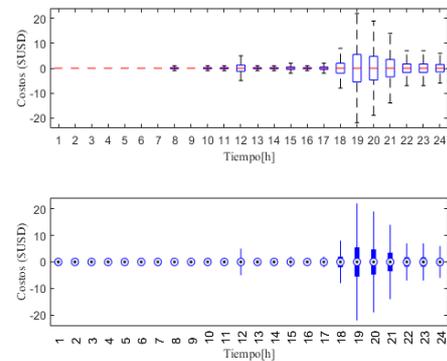


Figura 18. Costos de la energía no suministrada día lunes

En la figura (19) se puede observar los costos de la energía no suministrada del día domingo presentada en cajas y bigotes en donde a las horas de la madrugada desde las 01:00 horas hasta 7:00 horas no existe un costo que se pueda ahorrar debido que a estas horas no hay mucha demanda en el sistema eléctrico. Al medio día existe un ahorro de costo máximo del 7 cUSD/kWh. De igual forma a las 18:00 horas existe una demanda de 32 kW se tiene un ahorro del 11 cUSD/kWh. A las 19:00 horas existe una de 40 kW, se tiene un ahorro en el costo de la energía de 22 cUSD/kWh. De igual forma a las 20:00 horas se tiene una demanda máxima de 40kW, se tiene un ahorro del costo de la energía de 19cUSD/kWh. De igual

manera al comparar los costos de la energía no utilizada en estos dos casos se puede evidenciar que en donde exista mayor demanda energética va a existir un mayor ahorro del costo.

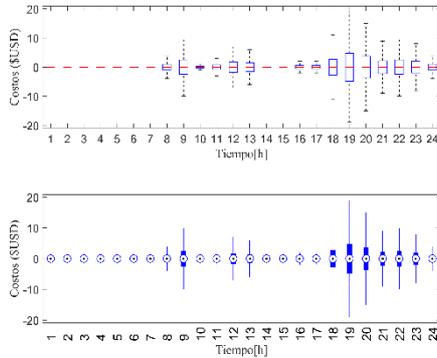


Figura 19. Costos de la energía no suministrada día domingo

En la figura (20) se puede observar los costos de la energía no utilizada para el día lunes en donde se puede analizar hora a hora la energía no utilizada con su costo que se puede ahorrar. En las horas de la madrugada a partir de las 01:00 horas se puede ver que no se tiene ningún ahorro de costos ya que a esa hora no existe mucha demanda energética. En cambio, a las 8:00 hora existe un ahorro de costo de la energía , de la misma manera como a partir de las 11:00 hora hasta las 24:00 horas hay un ahorro significativo en el costo de la energía. El máximo ahorro se tiene a las 20:00 horas, donde se tiene una demanda de 40kW y su ahorro es de 22 cUSD/kWh.

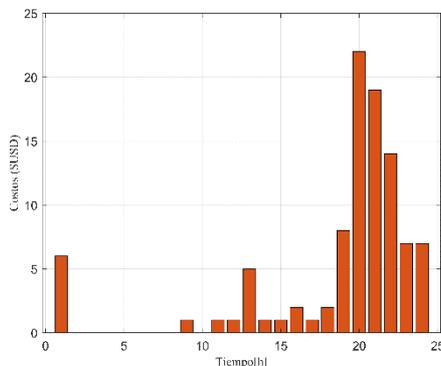


Figura 20. Costos de la energía no utilizada lunes

De la misma manera en la figura (21) se puede observar los costos de la energía

no utilizada para el día domingo en donde se puede analizar hora a hora la energía no utilizada con su costo que se puede ahorrar. En las horas de la madrugada a partir de las 01:00 horas se puede ver que no se tiene ningún ahorro de costos ya que a esa hora no existe mucha demanda energética. En cambio, a partir de las 9:00 horas hasta las 14:00 horas existe un ahorro de costo de la energía.

De la misma manera como a partir de las 17:00 hora hasta las 24:00 horas hay un ahorro significativo en el costo de la energía. El máximo ahorro se tiene a las 20:00 horas, donde se tiene una demanda de 36kW y su ahorro es de 19 cUSD/kWh.

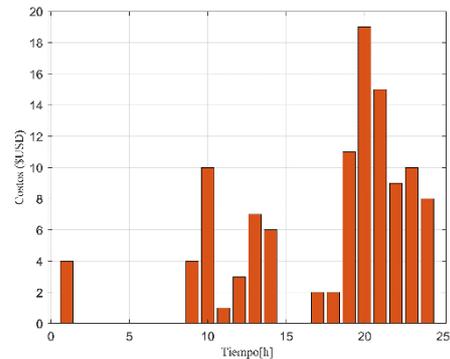


Figura 21. Costos de la energía no utilizada domingo

7. Discusión micro-red Floreana

Al comparar los resultados logrados en el presente trabajo con los informes de rendición de cuentas que lo hace anualmente el ministerio de electricidad y energía renovable conjuntamente con la empresa de distribución Elecgalápagos[61] se llega a concluir que el despacho económico que ellos realizan se despacha principalmente generación térmica y por ende los costos de producción van hacer mucho más elevados , en cambio en este trabajo se realizó un despacho económico estocástico en donde los costos de los generadores de aceite piñón y fotovoltaicos van hacer mucho menor y por tanto van a despachar a partir de

estos generadores y el costos finales va hacer mucho más baratos

En la figura (22) se presenta la comparación del despacho convencional con respecto al despacho estocástico en donde se puede visualizar que en el despacho convencional primero se despacha los dos generadores de aceite piñón, el primer generador tiene un costo de producción de 76 cUSD/kWh , el segundo generador (aceite piñón) tiene un costo de 3 cUSD/kWh ,el tercer generador (térmico) tiene un costo de producción de 0 cUSD/kWh , el cuarto generador de (diésel) tiene un costo de 100 cUSD/kWh y el quinto generador (fotovoltaico) tiene un costo de producción de 21 cUSD/kWh.

Al analizar esta gráfica se puede ver que en el despacho convencional se despacha un generador térmico, esto quiero decir que el costo de producción de ese generador va ser mayor, además se tiene generadores como el aceite de piñón y el fotovoltaico que su costo de producción va hacer mucho menor.

Por otro lado, en el despacho estocástico primero se despacha los dos generadores de aceite piñón, el primer generador tiene un costo de producción de 76 cUSD/kWh, el segundo generador (aceite piñón) tiene un costo de 76 cUSD/kWh, el tercer generador (térmico) tiene un costo de producción de 0 cUSD/kWh , el cuarto generador de (diésel) tiene un costo de 27 cUSD/kWh y el quinto generador (fotovoltaico) tiene un costo de producción de 21 cUSD/kWh.

Comparando las dos gráficas vemos que en el despacho convencional se despacha una generadora térmica a muy alto costo de producción, en cambio en el despacho estocástico se puede ver que primero se despacha las generadoras más baratas como son las de aceite piñón y las fotovoltaicas, con un costo de producción muy bajo, y por último se despacha una generadora térmica que

tiene un costo menor con respecto a la del despacho convencional.

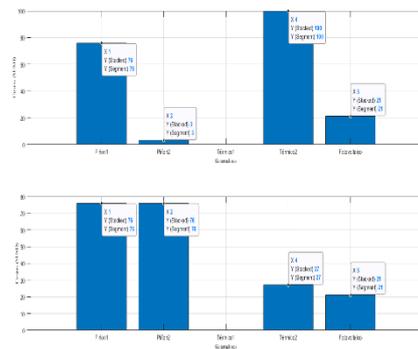


Figura 22.Comparación despacho convencional y despacho estocástico micro-red Floreana

8. Conclusiones

Al implementar respuesta a la demanda nos propicia administrar de forma óptima y adecuada el consumo de energía eléctrica de los usuarios finales, así mismo se logró que el despacho económico se optimizara haciendo que el costo generación eléctrica disminuya, y por tanto se va a tener una generación más económica. Además, al implementar respuesta de la demanda se puede disminuir el consumo de energía eléctrica en las horas pico.

Al analizar el comportamiento de la respuesta de la demanda en la isla Floreana se puede concluir que se llega a optimizar los recursos en cuanto al consumo eléctrico, ya que al despachar los generadores más económicos se logra gestionar energía y recursos económicos.

Al estimar los costos asociados a la energía no utilizada se puede concluir que hay generadores que no aportan energía al sistema eléctrico, la cual esa energía puede ser almacenada en banco de baterías como sería en el caso de fotovoltaico y así se estaría optimizando los recursos y nos permitirá gestionar mejor el consumo eléctrico en los consumidores.

Al concluir este trabajo se pudo analizar que el ahorro significativo en el costo de

la energía del día lunes comienza a partir de las 19:00 horas hasta las 24:00 horas, teniendo porcentajes del 7%, 14%, 19%, 22% y 8%, por otro lado, el ahorro significativo en el costo de la energía del día domingo comienza a partir de las 19:00 horas hasta las 24:00 horas, teniendo porcentajes del 7%, 9%, 8%, 14%, 17% y 10% respectivamente. Estos resultados demuestran que al implementar precios en los costos de los generadores mediante despacho estocástico se puede observar una minimización de costos de producción al momento de despachar energía ya que se despacha los generadores más baratos como es el aceite piñón y el fotovoltaico y se logra una gran gestión en cuanto a recursos.

9. Trabajos futuros

Los resultados del presente trabajo permiten plantear a futuro nuevas investigaciones, entre ellas se destacan las siguientes:

Implementación de una micro-red, que esté directamente conectada a la red principal de una manera que permite una gestión óptima de la energía.

Una investigación sobre métodos para minimizar las pérdidas de potencia y mejoras del perfil de voltaje en las micro redes.

Realización de despachos económicos utilizando diferentes métodos estocásticos y heurísticos para la obtención de los costos de la energía no suministrada en micro-redes.

10. Referencias

[1] B. Arias, C. Patino, D. Toro, J. Valencia, "Impacto de los vehículos eléctricos en los concesionarios del Poblado en Medellín en el 2019 | Correa Arias | Revista CIES Escolme," pp. 129–142, 2020, [Online]. Available: <http://www.escolme.edu.co/revi>

ta/index.php/cies/article/view/285.

[2] Luis David Catagnia Chicaiza, "Estimación de costos de energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos basado en la óptima respuesta de la demanda," p. 47, 2020.

[3] M. Muratori and G. Rizzoni, "Residential Demand Response: Dynamic Energy Management and Time-Varying Electricity Pricing," pp. 1–10, 2016.

[4] U. Akram, M. Khalid, and S. Shafiq, "A strategy for residential demand response management in modern electricity markets," *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, vol. 2018-Febru, pp. 1138–1142, 2018, doi: 10.1109/ICIT.2018.8352338.

[5] G. Jáuregui and E. García, "Programación de recursos para una óptima respuesta a la demanda por la penetración de energía renovable en micro-redes," p. 31, 2018, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15089>.

[6] A. D. W. 4. . Open, "What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international perspective," 2016.

[7] Q. Duan, "A Price-Based Demand Response Scheduling Model in Day-Ahead Electricity Market," no. 201411159052, 2016.

[8] U S Department of Energy, "Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them," *U.S. Dep. Energy*, no. February, p. 122, 2016.

[9] M. . IEEE Power & Energy Society. General Meeting (2016 : Boston and Institute of

- Electrical and Electronics Engineers., “2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM) : date, 17-21 July 2016.,” no. 201411159052, 2016.
- [10] X. Fang, Q. Hu, F. Li, B. Wang, and Y. Li, “Coupon-Based Demand Response Considering Wind Power Uncertainty: A Strategic Bidding Model for Load Serving Entities,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 31, no. 2, pp. 1025–1037, 2016, doi: 10.1109/TPWRS.2015.2431271.
- [11] P. Moreno and M. García, “Respuesta a la Demanda para Smart Home Utilizando Procesos Estocásticos,” *I+D Tecnológico*, vol. 12, no. 2, pp. 7–17, 2016.
- [12] A. Safari, M. Tahmasebi, and J. Pasupuleti, “Smart Buildings Aggregator Bidding Strategy as a Negawatt Demand Response Resources in the Spinning Reserve Electricity Market,” *Proc. 2019 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Eur. ISGT-Europe 2019*, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/ISGTEurope.2019.8905471.
- [13] E. Akhavan-Rezai, M. F. Shaaban, E. F. El-Saadany, and F. Karray, “Managing Demand for Plug-in Electric Vehicles in Unbalanced LV Systems with Photovoltaics,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 13, no. 3, pp. 1057–1067, 2017, doi: 10.1109/TII.2017.2675481.
- [14] P. Moreno and E. M. Garcia Torres, “Gestión energética mediante procesos estocásticos para la respuesta a la demanda,” p. 26, 2017.
- [15] M. H. Firouz and A. Alemi, “Optimal energy and reserve scheduling of wind power producers in electricity market considering demand response,” *PECON 2016 - 2016 IEEE 6th Int. Conf. Power Energy, Conf. Proceeding*, pp. 652–656, 2017, doi: 10.1109/PECON.2016.7951641.
- [16] A. Mnatsakanyan, A. H. AlMazrooqi, E. B. Muruaga, and P. A. Banda, “Electricity Market Structure with Individual Pricing Mechanism,” *2018 9th IEEE Int. Symp. Power Electron. Distrib. Gener. Syst. PEDG 2018*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/PEDG.2018.8447757.
- [17] A. Ramos, “Consumer Access to Electricity Markets: The Demand Response Baseline,” *Int. Conf. Eur. Energy Mark. EEM*, vol. 2019-Septe, no. 646426, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/EEM.2019.8916212.
- [18] P. Bertoldi, P. Zancanella, and B. Boza-Kiss, *Demand Response status in EU Member States*. 2016.
- [19] E. Garcia and I. Isaac, “Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users,” *2016 IEEE Ecuador Tech. Chapters Meet. ETCM 2016*, 2016, doi: 10.1109/ETCM.2016.7750818.
- [20] S. Bahrami and M. Parniani, “Game Theoretic Based Charging Strategy for Plug-in,” pp. 1–8, 2014.
- [21] W. Hidalgo and E. M. Garcia, “Óptima Respuesta De La Demanda Residencial, Usando Tarifas Dinámicas Basadas En El Negawatt,” 2018.
- [22] Z. Wang and R. Paranjape, “Optimal Residential Demand Response for Multiple Heterogeneous Homes with Real-Time Price Prediction in a Multiagent Framework,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 3, pp. 1173–1184, 2017, doi:

- 10.1109/TSG.2015.2479557.
- [23] B. J. Barahona Quelal, “Respuesta de la demanda de electricidad de una red de área industrial basada en alta incertidumbre,” p. 27, 2017, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13540/1/UPS-KT00188.pdf>.
- [24] V. Orejuela, D. Arias, and A. Aguila, “Response of Residential Electricity Demand Against Price Signals in Ecuador,” *Proc. 2015 IEEE Thirty Fifth Cent. Am. Panama Conv.*, no. Concapan XXXV, pp. 373–378, 2015, doi: 10.1109/CONCAPAN.2015.7428500.
- [25] G. B. A. Escobar, “Óptima respuesta a la demanda y despacho económico de energía eléctrica en micro redes basados en árboles de decisión estocástica,” 2018.
- [26] E. M. Garcia Torres and I. Isaac, “Optimal demand response for the recharging of electric vehicles in micro-networks type of service station by allocation of energy resources,” *Proc. - 3rd Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci. INCISCOS 2018*, vol. 2018-Decem, pp. 150–157, 2018, doi: 10.1109/INCISCOS.2018.00029.
- [27] E. M. GARCIA TORRES, “Estimated cost of electricity with time horizon for micro grids based on the policy response of demand for real price of energy,” *Enfoque UTE*, vol. 11, no. 1, pp. 41–55, 2020, doi: 10.29019/enfoque.v11n1.579.
- [28] D. J. Trujillo Sandoval and M. E. Torres García, “Respuesta de demanda de energía por introducción de vehículos eléctricos : estado del arte Response of demand for energy by electric vehicles introduction : state of the art,” *Revisa I+D tecnologico*, vol. 16, no. 1, 2020.
- [29] E. M. Garcia Torres and I. Isaac, “Multi-objective optimization for the management of the response to the electrical demand in commercial users,” *INCISCOS 2017 - Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 14–20, 2017, doi: 10.1109/INCISCOS.2017.25.
- [30] G. Jáuregui and E. García, “Programación de recursos para una óptima respuesta a la demanda por la penetración de energía renovable en micro-redes,” p. 31, 2018.
- [31] J. F. Meza Cartagena and E. M. Garcia Torres, “Óptima Asignación de Recursos Energéticos Para Respuesta De La Demanda Por Vehículos Eléctricos Usando Algoritmo Húngaro,” Universidad Politecnica Salesiana, 2018.
- [32] E. M. Garcia Torres, B. D. Benalcazar Lopez, and I. M. Idi Amin, “Analysis of the Voltage Profile by the Insertion of Electric Vehicles in the Distribution Network Considering Response to Demand,” *2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 7–13, 2017, doi: 10.1109/INCISCOS.2017.26.
- [33] M. B. Jannat and A. S. Savić, “Optimal capacitor placement in distribution networks regarding uncertainty in active power load and distributed generation units production,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 10, no. 12, pp. 3060–3067, 2016, doi: 10.1049/iet-gtd.2016.0192.
- [34] E. M. García, A. Águila, I. Isaac,

- J. W. González, and G. López, “Analysis of voltage profile to determine energy demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC),” *Proc. - 2016 51st Int. Univ. Power Eng. Conf. UPEC 2016*, vol. 2017-Janua, no. Mcmc, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/UPEC.2016.8114092.
- [35] E. M. Garcia Torres, I. Amin, I. Millan, J. Gonzales, and G. Lopez, “Efficient scheme model for electric power tariffs with distributed generation , based on demand response,” 2019.
- [36] W. M. Viñán Robalino and E. M. García Torres, “Review of Electricity Markets for Smart Nano-Grids,” *Ing. Y Compet.*, vol. 21, no. 2, pp. 1–9, 2019, doi: 10.25100/iyc.v21i2.7462.
- [37] H. Xiaojing, W. Lei, J. Ning, J. Honggang, and Y. Na, “Load forecasting techniques for networks with distributed generation (DG) sources,” *Proc. 28th Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2016*, pp. 6232–6237, 2016, doi: 10.1109/CCDC.2016.7532119.
- [38] J. F. Meza Cartagena and E. M. Garcia Torres, “Asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta a la demanda,” *I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. 66–73, 2018, doi: 10.33412/idt.v14.2.2075.
- [39] D. Jarrín and E. M. Garcia Torres, “Gestión energética para una óptima respuesta a la demanda en micro redes inteligentes,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [40] E. M. Garcia Torres, “Gestión Energética en Micro-Redes basado en la Optima Respuesta de la Demanda por Precio Real de la Energía Energy Management in Micro Grids based on the Optima Demand Response by Real Price of Energy,” 2019.
- [41] Y. J. Lee and E. K. Kim, “Smart device based power generation facility management system in smart grid,” *Int. Conf. Adv. Commun. Technol. ICACT*, vol. 2015-Augus, no. 5, pp. 526–532, 2015, doi: 10.1109/ICACT.2015.7224919.
- [42] J. Velasco and E. M. Garcia Torres, “Óptima respuesta de la demanda de energia para integrar sistemas híbridos de pequeñas escala y sistemas tradicionales,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [43] W. Tushar, J. A. Zhang, C. Yuen, D. B. Smith, and N. Ul Hassan, “Management of Renewable Energy for a Shared Facility Controller in Smart Grid,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 4269–4281, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2592509.
- [44] E. Toro and E. M. Garcia Torres, “Óptima Respuesta a La Demanda Basado En Localización De Recursos En Redes Eléctricas Inteligentes Aisladas,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [45] G. Guerrón, E. M. Garcia Torres, and A. Montero, “Influencia de las ráfagas de viento en la calidad de la energía de los parques eólicos (Influence of wind gusts in power quality on wind farms),” *Enfoque UTE*, pp. 25–44, 2014.
- [46] S. Yang, D. Zeng, H. Ding, J. Yao, K. Wang, and Y. Li, “Stochastic security-constrained economic dispatch for random responsive price-elastic load and wind power,” *IET Renew. Power*

- Gener.*, vol. 10, no. 7, pp. 936–943, 2016, doi: 10.1049/iet-rpg.2015.0513.
- [47] Y. Ji, T. Zheng, and L. Tong, “Stochastic interchange scheduling in the real-time electricity market,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 32, no. 3, pp. 2017–2027, 2017, doi: 10.1109/TPWRS.2016.2600635.
- [48] A. W. Bizuayehu, A. A. Sánchez De La Nieta, J. Contreras, and J. P. S. Catalão, “Impacts of Stochastic Wind Power and Storage Participation on Economic Dispatch in Distribution Systems,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 3, pp. 1336–1345, 2016, doi: 10.1109/TSTE.2016.2546279.
- [49] F. Bahlke, Y. Liu, and M. Pesamento, “Stochastic load scheduling for risk-limiting economic dispatch in smart microgrids,” *ICASSP, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.*, vol. 2016-May, pp. 2479–2483, 2016, doi: 10.1109/ICASSP.2016.7472123.
- [50] G. Ayala and M. Garcia, “Respuesta De La Demanda Eléctrica Basado En El Modelo Markoviano,” *Tesis*, p. 27, 2016.
- [51] G. Gutiérrez-Alcaraz, J. H. Tovar-Hernández, and C. N. Lu, “Effects of demand response programs on distribution system operation,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 74, pp. 230–237, 2016, doi: 10.1016/j.ijepes.2015.07.018.
- [52] J. Chalco and E. M. Garcia Torres, “Optimización multiobjetivo del consumo eléctrico basado en la respuesta a la demanda,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [53] A. Artieda and E. M. Garcia Torres, “Optimización de tarifas de energía eléctrica para una respuesta a la demanda por medio de programación lineal,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [54] K. Christakou, “A unified control strategy for active distribution networks via demand response and distributed energy storage systems,” *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 6, no. xxxx, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1016/j.segan.2016.01.001.
- [55] O. Erdinc, N. G. Paterakis, I. N. Pappi, A. G. Bakirtzis, and J. P. S. Catalão, “A new perspective for sizing of distributed generation and energy storage for smart households under demand response,” *Appl. Energy*, vol. 143, pp. 26–37, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.01.025.
- [56] C. Sandels, J. Widen, and L. Nordstrom, “Simulating occupancy in office buildings with non-homogeneous Markov chains for Demand Response analysis,” *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, vol. 2015-Septe, pp. 1–5, 2015, doi: 10.1109/PESGM.2015.7285865.
- [57] Q. Wang, C. Zhang, Y. Ding, G. Xydis, J. Wang, and J. Østergaard, “Review of real-time electricity markets for integrating Distributed Energy Resources and Demand Response,” *Appl. Energy*, vol. 138, pp. 695–706, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.048.
- [58] H. Ding, F. Gao, K. Liu, X. Guan, and J. Wu, “An economic dispatch model in an industrial microgrid with wind power based on robust optimization,” *Dianli Xitong Zidonghua/Automation Electr. Power Syst.*, vol. 39, no. 17, pp. 160–167, 2016, doi:

- 10.7500/AEPS20140320002.
- [59] Y. Teng, T. Huo, B. Liu, J. Tang, and Z. Zhang, "Regional voltage stability prediction based on decision tree algorithm," *Proc. - 2015 Int. Conf. Intell. Transp. Big Data Smart City, ICITBS 2015*, pp. 588–591, 2016, doi: 10.1109/ICITBS.2015.150.
- [60] J. C. R. Filho, C. M. Affonso, and R. C. L. De Oliveira, "Energy price classification in North Brazilian market using decision tree," *Int. Conf. Eur. Energy Mark. EEM*, vol. 2015-Augus, pp. 1–5, 2016, doi: 10.1109/EEM.2015.7216629.
- [61] Celtec, "Expansión de la Generación." 2018.
- [62] A. Moreno and P. Carvajal, "Simulación y Análisis del Sistema Híbrido Isla Floreana en Galápagos," *Rev. Técnica "Energía,"* vol. 9, no. 1, pp. 136–142, 2016, doi: 10.37116/revistaenergia.v9.n1.2013.143.

Matriz de estado del arte

Tabla 4. Matriz de estado del arte

ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA NO UTILIZADA EN MICRO-REDES MEDIANTE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS BASADO EN ÁRBOLES DE DECISIÓN																																			
ITEM	AÑO	DATOS			TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA												
		TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	OPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA	TARIFAS DINÁMICAS PARA RD	TIPOS DE CARGA Y PERFILES DE DEMANDA	INFRAESTRUCTURA DE MEDICION AVANZADA EN SMART GRIDS	MICRO-REDES	MERCADO ELÉCTRICO	EFICIENCIA ENERGÉTICA	USO DESMESURADO DE ENERGIA	TARIFA DE USUARIO DESVINCULA CON COSTO VARIANTE DE ENERGIA	DESPACHO ECONOMICO	INESTABILIDAD DEL SEP	ALTOS COSTOS EN INFRAESTRUCTURAS DE ELECTRICIA	CARACTERÍSTICAS DE LOS GENERADORES	COSTOS DE GENERACIÓN	NIVEL DE CONFORT DEL USUARIO	HORARIO PARA USO DE CARGAS	PROGRAMACION LINEAL	PROGRAMACION NO LINEAL	MINERIA DE DATOS	MÉTODOS ESTADÍSTICOS	MÉTODOS ESTOCÁSTICOS	CONTROL AUTOMÁTICO DE CARGAS	EL ARBOL ESTOCÁSTICO PERMITE LA TOMA DE DECISIONES DE LA	TARIFAS DINAMICAS	SCHEDULING DE CARGAS	USO INTELIGENTE DE LA ENERGIA GENERADA	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA				
1	2020	Impacto de los vehículos eléctricos en los concesionarios del Poblado en Medellín en el 2019	Ecuador	19	✗	□	□	□	✗	□	□	✗	✗	□	□	□	✗	□	✗	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□		
2	2020	Estimación de costos de energía eléctrica para la recarga de vehículos eléctricos basado en la óptima respuesta de la demanda	Ecuador	1	✗	□	✗	□	□	□	✗	□	✗	□	□	□	□	✗	□	✗	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□		
3	2016	Residential Demand Response: Dynamic Energy Management and Time-Varying Electricity Pricing	EEUU	250	□	✗	□	□	✗	□	✗	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□		
4	2018	A strategy for residential demand response management in modern electricity markets	Francia	1	✗	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	
5	2018	Programación de recursos para una óptima respuesta a la demanda por la penetración de energía renovable en micro-redes	Ecuador	1	✗	✗	□	□	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	
6	2016	What is an intelligent building? Analysis of recent interpretations from an international perspective	Reino Unido	41	✗	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	
7	2016	A Price-Based Demand Response Scheduling Model in Day-Ahead Electricity Market	Hong Kong	19	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
8	2016	Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them	EEUU	20	□	□	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
9	2016	2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)	EEUU	1	✗	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

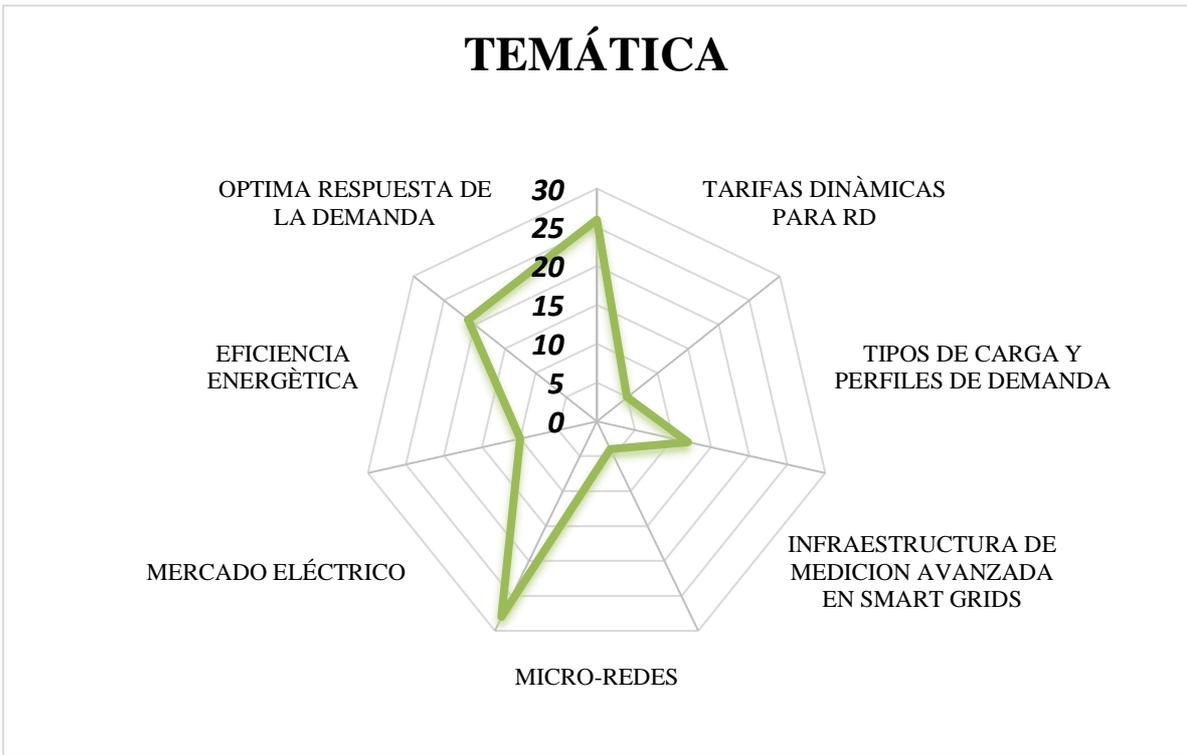


Figura 23. . Resumen e indicador de la temática - Estado del arte

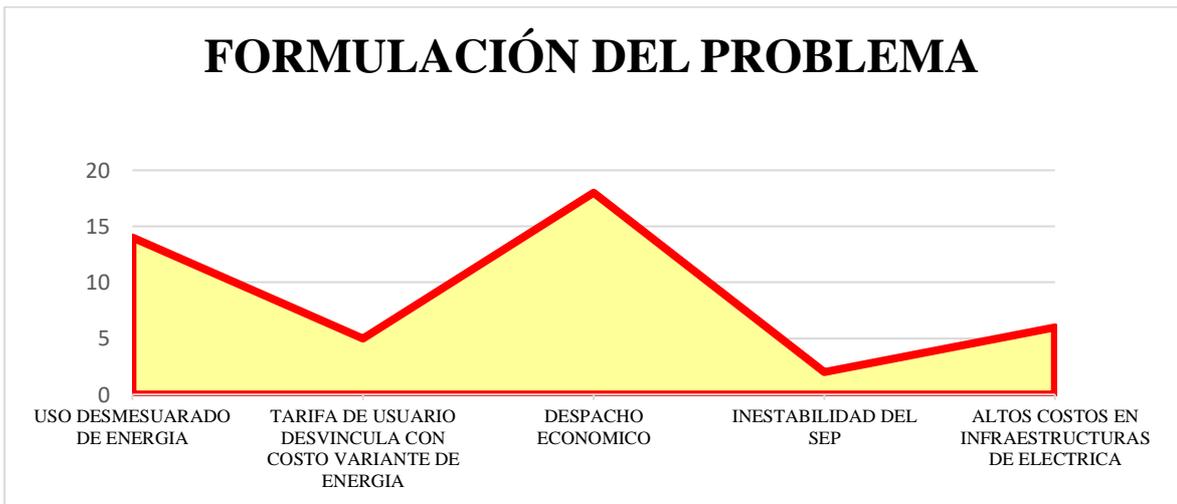


Figura 24 .Indicador de formulación del problema - Estado del arte

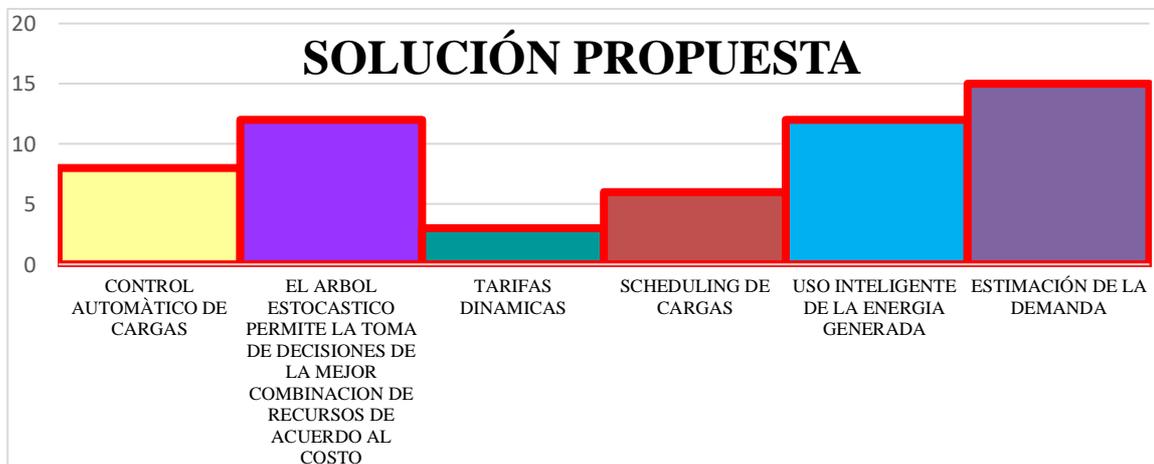


Figura 25. Indicador de solución - Estado del arte