

**ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS ENERGÉTICOS A TRAVÉS DE
ALGORITMO HÚNGARO Y BIPARTITE MATCHING PARA RESPUESTA A
LA DEMANDA EN MICROREDES**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS ENERGÉTICOS A TRAVÉS DE
ALGORITMO HÚNGARO Y BIPARTITE MATCHING PARA RESPUESTA A
LA DEMANDA EN MICROREDES**

**AUTOR:
JHONNY RAÚL CORREA LÓPEZ**

**TUTOR:
LUIS FERNANDO TIPAN VERGARA**

Quito, enero 2019

Jhonny Raúl Correa López

ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS ENERGÉTICOS A TRAVÉS DE ALGORITMO HÚNGARO Y BIPARTITE MATCHING PARA RESPUESTA A LA DEMANDA EN MICROREDES.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2018
Ingeniera Eléctrica

Reseña de autores e información de contacto:



Jhonny Raúl Correa López (Y'1989, D'05) nació en Quito, Ecuador, el 05 de julio de 1989. Se graduó de bachiller con especialización de físico matemático en la Unidad Educativa FAE N°1 Quito-Ecuador 2007. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo consiste en realizar la comparación de dos modelos de asignación para un despacho energético óptimo y a su vez que sea eficiente para la respuesta a la demanda en una microred.

jcorreal@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Luis Fernando Tipán Vergara (Y'1982, J'21) nació en Quito, Ecuador, el 21 de junio de 1982. Se graduó de la Facultad de Ingeniería Eléctrica Como Ingeniero en Electrónica en Control en la Escuela Politécnica Nacional. sus estudios de postgrado los hizo en la Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica, obteniendo el grado de Magister en eficiencia Energética.

ltipan@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

©2018 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Luis Fernando Tipan Vergara declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Asignación óptima de recursos energéticos a través de algoritmo húngaro y bipartite matching para respuesta a la demanda en microrredes* realizado por Jhonny Raúl Correa López, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero 2019



Luis Fernando Tipan Vergara
Cedula de identidad: 1717329005

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jhonny Raúl Correa López, con documento de identificación N° 1719045898, 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: “Asignación óptima de recursos energéticos a través de algoritmo húngaro y bipartite matching para respuesta a la demanda en microrredes”, 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 impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



Jhonny Raúl Correa López
Cédula: 1719045898
Fecha: enero 2019

1. ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	2
2. Marco teórico	4
2.1 Energía Convencionales.....	4
2.2 Energías no convencionales	5
2.3 MicroRedes	6
2.4 Asignación óptima de recursos	7
2.5 Algoritmo Húngaro	8
2.6 Algoritmo de coincidencia bipartita (Algorithm Bipartite Matching)	11
3. Planteamiento del Problema.....	13
3.1 Clasificación de las centrales por su potencia.....	13
3.2 Clasificación de las centrales por sus costos.....	14
3.3 Análisis de la curva de demanda horaria.....	14
4. Análisis y Resultados	14
4.1 Análisis Económico	14
4.2 Análisis por su máxima potencia	16
4.3 Análisis en factor de tiempo.....	16
4.4 Análisis de costos en forma horaria	16
5 Conclusiones	17
6 Trabajos Futuros.....	17
7 Referencias.....	18
7.1 Estado del Arte.....	22

2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de un sistema de distribución de una MicroRed.....	3
Figura 2: Diagrama de central Hidro	4
Figura 3: Diagrama de central térmica.....	4
Figura 4: Diagrama de central fotovoltaica.....	5
Figura 5: Diagrama de central eólica	6
Figura 6: Diagrama de MicroRed	6
Figura 7: Clasificación de microredes según el tipo de potencia (AC o DC)	7
Figura 8: Diagrama de flujo del Algoritmo Húngaro.....	8
Figura 9: Diagrama de flujo del Algoritmo de coincidencia bipartita	11
Figura 10: Curva de carga diaria.....	14
Figura 11: Diagrama de asignación al costo mínimo.....	15
Figura 12: Diagrama al costo óptimo en función de la asignación	15
Figura 13: Diagrama de máxima potencia.	16
Figura 14: Diagrama de comparación de tiempos de procesamiento de los algoritmos	16
Figura 15: Diagrama de los modelos en forma horaria.....	17

3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Pseudocódigo de heurística del modelo húngaro.....	10
Tabla 2: Pseudocódigo de heurística del modelo bipartite matching.....	12
Tabla 3: Datos de potencia efectiva de cada central	13
Tabla 4: Datos de costos por cada central	14
Tabla 5: Costos de minimización por cada modelo	15
Tabla 6: Resultados de tiempos de procesamiento.....	16

ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE ALGORITMO HÚNGARO Y BIPARTITE MATCHING PARA RESPUESTA A LA DEMANDA EN MICROREDES

Resumen

En el presente documento, se implementó dos modelo matemático para encontrar en forma óptima un despacho energético al menor costo, en base a un sistema de microred de distribución eléctrica, que permita reducir el costo de energía hacia la demanda, se considera analizar los resultados de dichos algoritmos para realizar una comparación de cual modelo matemático asigna de forma más óptima al menor costo posible en comparación a un despacho convencional, se plantea el problema en base a centrales eléctricas de energías renovables y no renovables, mediante una heurística en base al modelo húngaro y el modelo bipartite matching para tener una óptima respuesta a la demanda, en conclusión en este trabajo se pretendió conseguir la mejor heurística para la asignación de los recursos energéticos y que se observe un ahorro significativo en el consumo de energía. La solución se conseguirá en base a programación lineal implementando los algoritmos que serán desarrollados en la plataforma de MATLAB para obtener la mejor respuesta en optimización. La respectiva contribución es analizar y describir un algoritmo de asignación y equilibrio en base a costos de energía para consumidores.

Palabras Clave: Algoritmo Húngaro, Algoritmo de Emparejamiento Bipartito, Respuesta a la demanda, Red Inteligente, Energías Renovables, MicroRed

Abstract

In this document, two mathematical models were implemented to optimally find an energy dispatch at the lowest cost, based on a microgrid reductive distribution system, which allows to reduce the energy cost towards the demand, it is considered to analyze the results of these algorithms to make a comparison of which mathematical model allocates more optimally at the lowest possible cost compared to a conventional dispatch, the problem arises based on renewable and non-renewable power plants, using a heuristic based on the Hungarian model and the bipartite matching model to have an optimal response to demand, in conclusion in this work we tried to achieve the best heuristic for the allocation of energy resources and to observe a significant saving in energy consumption. The solution will be achieved based on linear programming by implementing the algorithms that will be developed in the MATLAB platform to obtain the best response in optimization. The respective contribution is to analyze and describe an allocation and equilibrium algorithm based on energy costs for consumers.

Keywords: Hungarian Algorithm, Algorithm Bipartite Matching, Demand Response, Intelligent Network, Renewable Energies, MicroGrid.

1. Introducción

La escasez de energía eléctrica y los problemas ambientales han trasladado a los esfuerzos sociales a encontrar abastecimientos alternos de energía para remplazar a las fuentes tradicionales más comunes que son de energía convencional como el carbón, el petróleo y el gas natural[1][2]. La decisión correcta es fomentar el uso completo de los recursos energéticos distribuidos (DER) alimentados por energía limpia, como la energía eólica, las pilas de combustible y la energía solar fotovoltaica (PV), e incorporar aún más estas DER en los sistemas de energía eléctrica existentes.

Las microredes (MG) proveen un diseño efectivo de interconectar tipos diversificados de DER y cargas eléctricas[3][4]. En el tiempo presente, la red eléctrica bajo el funcionamiento de gas natural, está ampliamente distribuida, y los generadores en las plantas industriales de gas natural, tienen la ventaja hacia el medio ambiente de la baja contaminación por emisiones, por lo que la red industrial de gas natural y la red de energía eléctrica están estrechamente incluidas en los marcos populares a nivel mundial[5].

En el presente documento se establece una heurística para la asignación óptima de recursos basándose en el modelo húngaro y el bipartite matching dentro de un periodo de tiempo para el análisis de un día, con fuentes de energía convencional y no convencional. De acuerdo con lo descrito anteriormente, el modelo propuesto permitirá modelar un sistema óptimo de respuesta a la demanda que minimice costos para un menor impacto a la red eléctrica en un sistema de distribución.

La demanda mundial de electricidad va en constante crecimiento, para

responder a tal problema, existen centrales eléctricas de funcionamiento térmico, estas no son tan favorables, ya que podría generar un aumento en el precio de la electricidad y emitir emisiones de gases de efecto invernadero. Para poder resolver estos problemas, se ha tomado iniciativa de optar por fuentes de energía sostenibles como la energía solar, la energía eólica y la energía de biomasa que se encuentran actualmente recibiendo una mayor atención[6].

En la primera sección se describe a las fuentes de energía convencional y no convencional las cuales son amigables con el medio y están sujetas lo más posible al suministrar energía al sistema de microred. A continuación, se encuentra un breve concepto sobre lo que es una microred y algunas de sus características conceptuales de cómo funciona el sistema. Para resolver el problema se llevará a cabo el suministro de energía con fuentes eléctricas ya mencionadas.

En la segunda sección se describe los algoritmos los cuales resolverán y realizarán una asignación óptima en el despacho energético así logrando ahorrar lo mejor posible en costos. La asignación tiene como objetivo maximizar una suma ponderada de la potencia total y minimizar el costo de generación sobre las asignaciones de la carga, sujeto al rango de la curva horaria de la demanda energética[7]. La técnica de coordinación propuesta utiliza una formulación bipartita ponderada basada en la coincidencia para resolver este problema[8]. El problema se basa en fuentes de energía renovable para solventar el problema de minimizar las emisiones tóxicas al ambiente y reducir el gran consumo de combustibles fósiles y reducir el impacto climático.

En esta misma sección se observa los respectivos modelamientos de como los algoritmos funcionan, sus funciones objetivas y sus debidas restricciones los cuales resultaran de gran apoyo para una respectiva asignación de energía. Así también se menciona como se realizó el levantamiento del problema para la respectiva asignación de los recursos energéticos para un despacho horario en base a una curva de demanda, con respecto a los datos ingresados para tener resultados prometedores se han tomado del documento del ARCONEL llamado estadísticas anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano para potencias y de la regulación No. conelec – 009/06, Precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales para los respectivos

costos de las fuentes eléctricas. Los resultados se observan en su totalidad para una minimización de costos, usando los respectivos algoritmos y realizando la debida comparación para encontrar cuál de ellos asigna de la mejor forma y en su calidad para optimizar costos. Sin embargo, la gran utilidad de energía renovable tanto para el medio ambiente como para la demanda energética, se requiere una estabilización de la red mucho mayor a partir del equilibrio de las fuentes energéticas, esto se requiere para equilibrar y optimizar la carga y para que no se agresiva con el sistema de distribución, de este modo se podría minimizar de manera representativa la utilización de combustibles que contaminen la atmósfera a largo plazo.

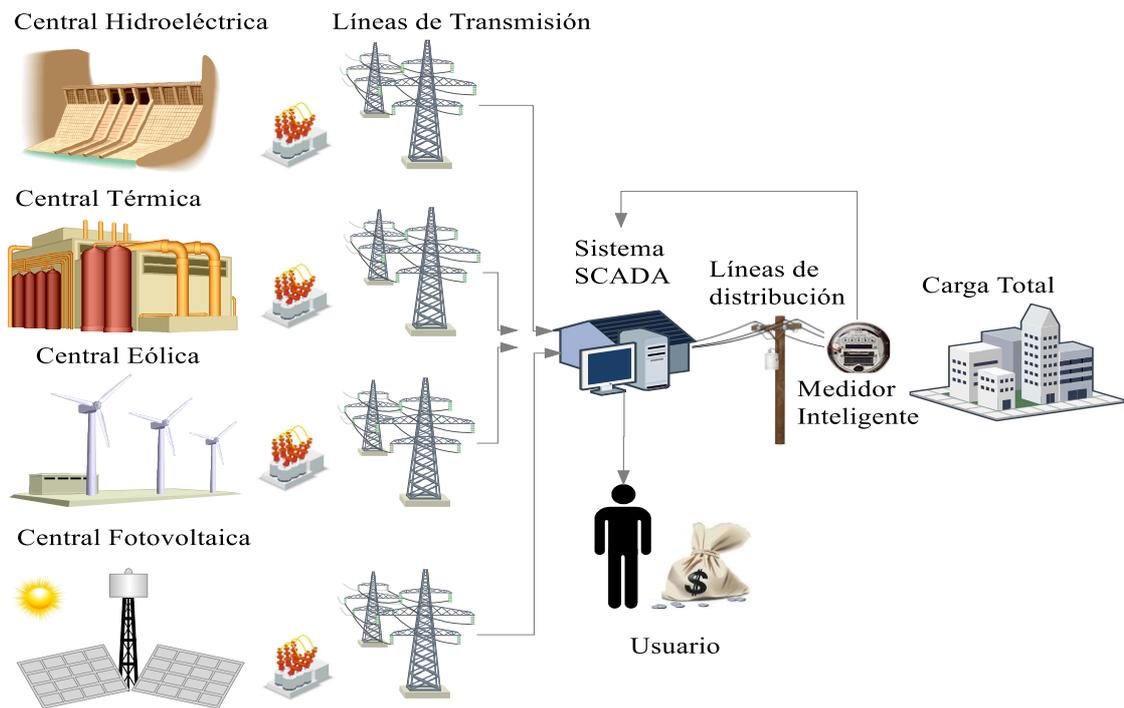


Figura 1: Diagrama de un sistema de distribución de una MicroRed [12].

2. Marco teórico

La importancia de la producción de energía limpia se desarrolla en centrales eléctricas no convencionales, y estas deben adaptarse al sistema de distribución de consumo eléctrico, dada el inconveniente de dichas centrales que no almacenan la electricidad. Los centros de consumo (carga) debe de estar lo más cercano posible a la ubicación de las centrales de producción (generación), además, los centros de generación están interconectados entre sí para poder llevar a cabo intercambios de energía desde las zonas sobrantes de producción hacia aquellas en que la producción no cubre el consumo. Los elementales tipos de centrales de generación de energía eléctrica son convencionales y no convencionales[9][10].

2.1 Energía Convencionales

Las fuentes de energía existentes, en la actualidad han suministrado la mayor parte de la demanda de la sociedad industrial moderna. Algunas fuentes de energía más comunes son nombradas a continuación: combustibles minerales (carbón-mineral, petróleo y sus derivados y gas natural); termo electricidad (generada por combustibles de uno u otro de estos combustibles) e hidroelectricidad[11]. Las energías convencionales a las que acabamos de mencionar cubren, a un 95% del total de la demanda de energía a nivel mundial[12].

2.1.1 Energía Hidro

Una instalación donde su principal misión es convertir la energía cinética y la energía potencial gravitacional en energía eléctrica se denomina central hidroeléctrica[13]. Un recurso limpio y reproducible se menciona al recurso hidráulico ya que es la primera opción para los equipos de generación de energía. Con la evolución de la economía mundial y el crecimiento de la demanda energética, la elaboración de una gran planta de energía hidráulica sigue siendo

una idea viable dentro de un período a futuro. Como primordiales equipos de generación de energía hidroeléctrica, tenemos a grandes generadores hidroeléctricos de gran envergadura, han experimentado un continuo progreso y desarrollo tecnológico a largo plazo[14].

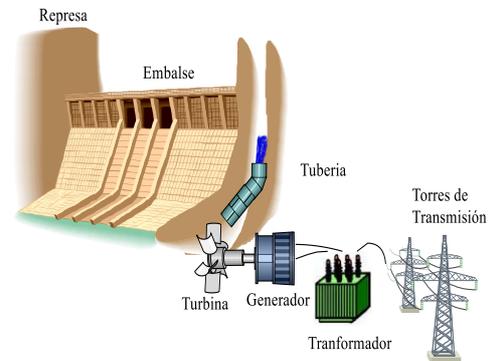


Figura 2: Diagrama de central Hidro[15]

2.1.2 Energía Térmica

La principal función de una central termoeléctrica se basa en la generación de electricidad a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de algún componente fósil. El calor se emplea para adquirir vapor; y este, a su vez, llega a mover una turbina que se encuentra enlazada a un generador que finalmente, produce grandes cantidades de energía eléctrica[16]. Los consecuencias de generar energía eléctrica a base de centrales termoeléctricas clásicas sobre el medio ambiente tienen un espacio fundamental, a través de las emisiones efectuadas a la atmósfera, como consecuencia del retroceso de combustión y por vía térmica[17].

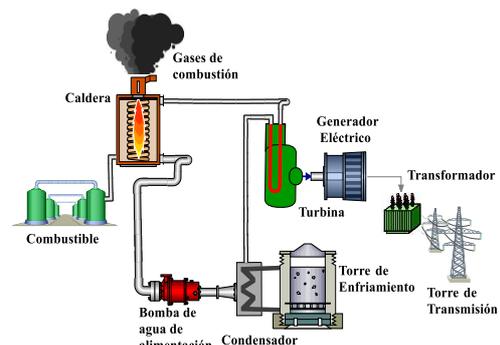


Figura 3: Diagrama de central térmica[15].

La generación termoeléctrica ha interesado considerablemente la atención como uno de los métodos de generación de energía que recupera el calor residual de las instalaciones funcionales porque la fuente de calor no se limita al tamaño, el calor se convierte en forma directa en electricidad, la estructura es simple y la durabilidad es confiable[18]. En las centrales térmicas, los métodos de diseño y construcción, las experiencias de mantenimiento y la fabricación de equipos están bien desarrolladas en sistemas de alta o muy alta temperatura, y la eficiencia integral del sistema es bastante alta[18].

2.2 Energías no convencionales

El aprovechamiento de los recursos de energía renovable ha tomado bastante interés ya que debido al levantamiento significativo en el costo de los combustibles fósiles y las diferentes leyes contemporáneas para reducir la emisión de CO₂. Las principales tecnologías de energía renovable son: la célula de combustible, la energía eólica y la fotovoltaica (PV) [19].

2.2.1 Energía fotovoltaica

La generación renovable para un entorno de red de baja tensión, se aprovecha cada vez más, en especial los paneles fotovoltaicos (PV). Para las instalaciones fotovoltaicas están disminuyendo constantemente los costos nivelados de la electricidad (LCOE) y esto se debe gracias a los avances en la tecnología [20]. El primordial problema con las granjas fotovoltaicas son las fuertes rampas en la obtención de energía, que se debe explícitamente a las fluctuaciones de intensidad de la irradiación solar. En general las redes de distribución de energía siempre requieren establecer un equilibrio entre la potencia necesaria y la energía producida, en consideración la cantidad de energía que la instalación eléctrica vende a la red debe definirse anticipadamente en función de un

contrato mutuo entre la red y la planta de energía. En caso de cualquier aumento en la potencia entregada a la red en relación con el valor descrito en el contrato, la planta fotovoltaica será sancionada financieramente[21].

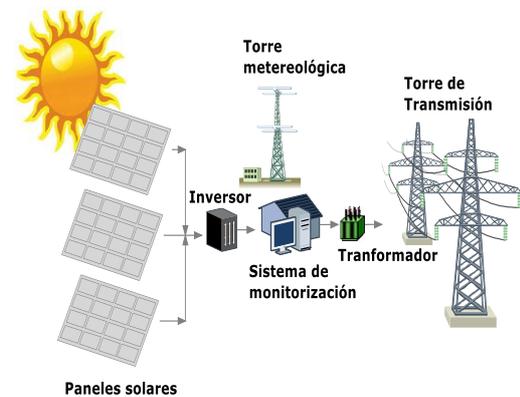


Figura 4: Diagrama de central fotovoltaica[15].

2.2.2 Energía Eólica

Se trata de energía renovable de la que más se espera a corto plazo[12]. La energía eólica es una técnica de producción de energía variable e incontrolable[22]. En las redes que se encuentran conectadas a centrales de energía eólica de alta potencia, esto puede originar dificultades para mantener el equilibrio del consumo de producción[23]. El principal problema de la integración de la energía eólica es implicar a tener una estabilidad de voltaje. La potencia eólica varía con la velocidad del viento. En su gran mayoría de los parques eólicos están integrados en el extremo de la red, que es relativamente débil. Por lo que, la estabilidad del voltaje y la calidad de la energía se verán obligadamente afectadas por la energía eólica en funcionamiento[24]. La energía eólica, utiliza una tecnología desarrollada y tiene una perspectiva de crecimiento comercial y tiene un rápido desarrollo en todo el mundo[25]. En consecuencia, cuanto mayor es la integración de la energía eólica en el sistema de energía de una microrred, más energía de reserva se necesita para equilibrar la red durante condiciones de viento débil[23].

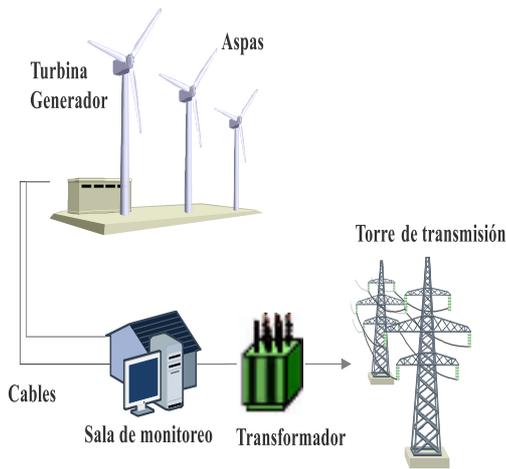


Figura 5: Diagrama de central eólica[15].

2.3 MicroRedes

Una microred es un sistema de generación eléctrica bidireccional que otorga la distribución de electricidad a partir de los proveedores hasta los consumidores, empleando tecnología digital y respaldando la integración de fuentes de generación de origen renovable, con el propósito de ahorrar energía, reducir costos e incrementar la confiabilidad[26][27].

2.3.1 Definición de MicroRedes de distribución eléctrica

El concepto de microred se define como un sistema eléctrico conformado por distintas fuentes de energía, espacialmente distribuidas, donde en su gran mayoría de éstas provienen de fuentes renovables. Por otra parte una microred puede contener sistemas de almacenamiento que permitan aportar al suministro de energía de forma local junto a las empresas proveedoras[28]. Las agrupaciones de micro-generadores y cargas distribuidos a nivel de distribución, en sistemas de microred, pueden generar grandes beneficios potenciales para los consumidores, como una mejor calidad, confiabilidad del suministro, y una conveniente utilización de los recursos frente a la equiparación con los sistemas de energía convencionales[29]. El incremento de la demanda de energía y la importancia del impacto negativo hacia el medio

ambiente ha sido inevitable para los ingenieros a buscar una solución para incluir más energía renovable distribuida de manera confiable, sostenible y eficiente. La microred con generación distribuida (energía renovable, almacenamiento de energía y generación de respaldo) y carga, puede trabajar tanto en modo conectado a la red como en modo islanded, y así llegar al objetivo teniendo así un impacto mínimo en la red masiva[29].

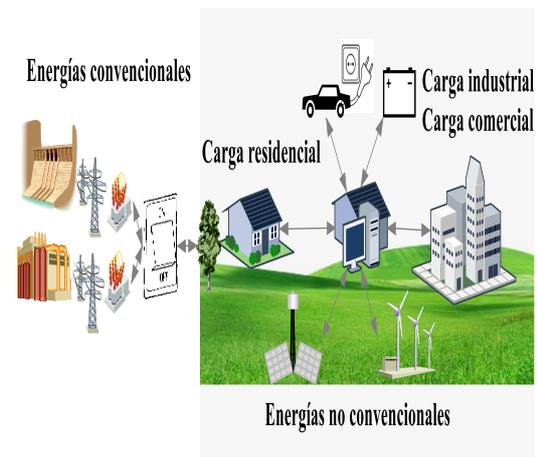


Figura 6: Diagrama de MicroRed[15].

2.3.2 Componentes de una MicroRed Eléctrica

La arquitectura de una microred básica, se considera que el sistema eléctrico es radial con diversos alimentadores y un conjunto de cargas. El sistema radial está conectado al sistema de distribución a través de un dispositivo de separación, que es un conmutador estático, llamado punto de acoplamiento[30]. El sistema asimila una red de bajo voltaje con sistemas de generación de energía renovable, dispositivos de almacenamiento eléctrico-térmico (baterías, almacenamiento térmico, volante de inercia), micro-ordenadores controlables y no controlables, cargas (varias de ellas interrumpibles) y una infraestructura de comunicaciones SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) utilizada para monitorear y controlar micro-orígenes y cargas[31].

2.3.3 Clasificación de MicroRedes

Las microredes se pueden clasificar de varias maneras como se muestra a continuación:

- En términos de tipo de potencia (ya sea AC o DC), la Figura 7 muestra los tipos de potencia de una microred[32][33].
- En términos de la aplicación utilizada, pueden ser organizados en tres categorías:
 - a) MicroRedes de utilidad (un distrito de la ciudad opera como microred).
 - b) MicroRedes comerciales e industriales.
 - c) MicroRedes aisladas[34].
- En términos de estructura del sistema, se pueden clasificar de 2 formas, dependiendo del número de etapas de procesamiento de potencia:
 - a) sistemas de conversión de potencia de una sola etapa.
 - b) sistemas de conversión de potencia de dos etapas[35][32][36].
- En términos de control de supervisión, pueden ser centralizados o descentralizado[34].
- También se pueden encontrar sistemas monofásicos o trifásicos o estar conectadas a redes de distribución de baja o media tensión [40]; su forma de operación está aislada o conectada a la red; cada modo tiene sus propios requisitos de operación y requiere una estrategia de control distinta[32].

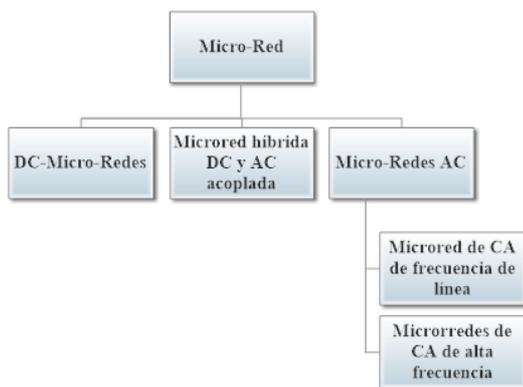


Figura 7: Clasificación de microredes según el tipo de potencia (AC o DC)[34].

2.4 Asignación óptima de recursos

La optimización mediante el modelo en base al algoritmo húngaro y el modelo matemático bipartite matching se presenta en una construcción de una matriz cuadrada, en el presente documento se plantea un análisis en la curva de la demanda a una hora específica y en base a la potencia suministrada de seis centrales eléctricas para la comparación de cual modelo es más efectivo ante la minimización de costos y maximización de potencia suministrada[37][38]. El modelo matemático bipartite matching proporciona la maximización de los recursos energéticos y nos promueve una asignación de los mismos de manera total, en la cual al disponer de recursos sobrantes los asigna de una manera en la cual no se desaproveche[39]. De otra manera el modelo matemático basado en la heurística del algoritmo húngaro nos lleva asignar los recursos de una forma equitativo y equilibrado, obteniendo en nuestro caso el mínimo costo[39]

$$P_{ij} = M_{ij} * F_{ij} \quad (1)$$

Donde:

P_{ij} : Asignación de recursos con la que va a contar el sistema microred.

M_{ij} : Costo de generación de cada central eléctrica en USD/MWh.

F_{ij} : Potencia nominal suministrada al sistema en MWh.

En la ecuación (1) se representó a P_{ij} , el cual es la asignación de recursos con la que llevara a cabo el sistema de microred, para luego construir una matriz de costos y optimizar hasta llegar a encontrar el mínimo costo con los diferentes modelos propuestos.

$$s.t \begin{cases} M_{ij} > 0, \forall ij \in Cost_{centr} \\ F_{ij} \geq 0, \forall ij \leq Pot_{nom_centr} \end{cases} \quad (2)$$

A continuación, se muestra en (2) las diferentes restricciones que con llevan a (1) a estabilizar el llenado de la matriz.

2.5 Algoritmo Húngaro

El algoritmo húngaro es un algoritmo analítico. Por su simplicidad y facultad para encontrar la solución óptima sin requerir validación, el algoritmo húngaro es considerablemente utilizado para resolver problemas de asignación. El algoritmo húngaro entre otros (algoritmo de colonia de hormigas, algoritmo de enjambre de partículas, algoritmo de recocido simulado y algoritmo genético) se incluyen para solucionar problemas de asignación. Los problemas de asignación de alta complejidad generalmente se resuelven utilizando algoritmos heurísticos[40]. Las decisiones tomadas en base a los problemas tienden a ser subóptimas, debido a la falta de información completa, Por lo tanto, existe la necesidad de hallar algoritmos que sean competitivos y robustos que asignen de manera inmediata y definitivo los recursos a las solicitudes en tiempo real a un mínimo costo[41][38].

- Paso 1: Se forma la matriz de eficiencias del problema de asignación, esta será M_1 , la cual será la misma que se detallara la eficiencia que tiene cada individuo para desarrollar todas las tareas. Esta matriz por obligación debe ser de dimensiones $n \times n$.
- Paso 2: Todos los elementos de cada fila de la matriz M_1 se restarán para el mínimo elemento de cada fila, creando una nueva matriz llamada M_2 .
- Paso 3: Todos los elementos de cada columna de la matriz M_2 se restarán para el mínimo elemento de cada columna, creando una nueva matriz llamada M_3 .
- Paso 4: Deben ser trazados por líneas rectas, todos los elementos cero existentes de la matriz M_3 , cubriendo la mayor cantidad de ceros con la menor cantidad de líneas, si el número de líneas rectas es igual al tamaño de la matriz M_3 , continuar al

paso 6, caso contrario se debe seguir al paso 5.

- Paso 5: Se debe restar el mínimo valor de los elementos no cubiertos a todos los elementos de la matriz M_3 que no estén trazados por líneas; todos los elementos de la matriz M_3 que están trazados por dos líneas, en conclusión, si se encuentran en la intersección de dos líneas se deben sumar con el mínimo valor de los elementos no cubiertos formándose una nueva matriz M_4 . Luego se sustituye la matriz M_4 por la matriz M_3 y se vuelve a la comparación del paso 4.
- Paso 6: El plan de asignación óptimo se puede obtener mediante la asignación de tareas a cada individuo en base a la ubicación de elementos cero de la matriz M_3 .

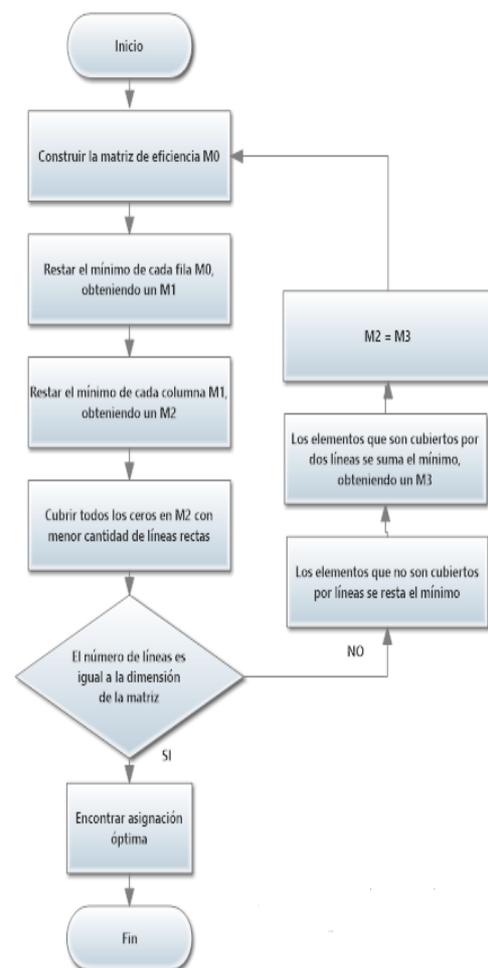


Figura 8: Diagrama de flujo del Algoritmo Húngaro[40].

2.5.1 Modelamiento del algoritmo húngaro

El algoritmo húngaro es un modelo de optimización que se basa en una matriz cuadrada ($n \times n$), conociendo que el número de centrales eléctricas es de seis y la potencia de la carga será de 600MW, se llenará la matriz con sus potencias nominales de cada central independientemente en forma diagonal y el restante de elementos vacíos se llenará hasta llegar a la carga propuesta, así obteniendo una matriz cuadrada. Un modelo clásico como lo es el algoritmo húngaro esta referenciado en base a una matriz cuadrada que se basa en desarrollar n tareas para n individuos con una eficacia de tiempo, con similitud al modelo propuesto la heurística realiza una asignación de recursos energéticos, mediante la cual se logra maximizar la potencia del sistema de microred propuesto con las centrales escogidas, así como minimizar los costos de dichas centrales y realizar la comparación de cual heurística realiza mejor la optimización.

La función objetivo en (3) sujeto a (4) es la propuesta mediante la heurística, y es la que minimizara los costos mediante la asignación de recursos de tipo convencional y no convencional de producción de energía.

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{ij} * G_{ij} \quad (3)$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^n G_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n G_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (4)$$

Donde P_{ij} será la asignación de los recursos que sea necesario en nuestro sistema energético, ya que después serán distribuidas en las diferentes centrales independientemente por su carga y G_{ij}

representa si cada central i se asignado a una carga establecida.

Se debe tener presente el costo de producción de energía y la potencia a suministrar, en base a la curva de demanda horaria, para el análisis del sistema energético propuesto y así llenar la matriz principal, encontrando el mínimo costo de producción de generación de energía en base a la potencia que se inyecta para cubrir la demanda energética propuesta a cada hora. Incluso que viene siendo una matriz cuadrada de dimensiones fijas de seis por seis, se establecerá que si la potencia suministrada al sistema no existe se completa con ceros, en el caso de centrales fotovoltaicas en horas nocturnas, ya que el modelo húngaro admite solo únicamente matrices cuadradas.

$$Cost_{hora} = Cost_{gen} * Pot_{sum} \quad (5)$$

Donde:

$Cost_{hora}$: Costo por cada hora de las centrales independientemente.

$Cost_{gen}$: Costo de generación de cada central eléctrica en USD/MWh.

Pot_{sum} : Potencia nominal suministrada al sistema en MWh.

En la ecuación (5) se observa, que dependerá el costo por cuanto potencia suministrada se añadirá al sistema de microred para abastecer la carga, para luego construir una matriz de costos y poder optimizar al mínimo costo.

$$A. R = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

En la ecuación (6) se nota como se construye nuestra matriz principal de asignación de recursos, basado en las potencias a inyectar a la red energética de nuestro sistema donde P_{ij} es el costo eficiente de la central i para cubrir la

demanda en ese lapso de tiempo j , determinadamente se toma en cuenta a las columnas con el promedio de tiempo de una hora (h) y a las filas con el tipo de central sea convencional y no convencional.

$$P_{ij}^1 = P_{ij} - \min(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in}) \quad (7)$$

En la ecuación (7) como se indica se realiza la respectiva resta del menor valor de cada fila, a todos los elementos de dicha fila así alterando la matriz A.R (Asignación de Recursos) para obtener una nueva matriz A.R1 como nos muestra P_{ij}^1 exponiendo los nuevos elementos de la nueva matriz.

$$P_{ij}^2 = P_{ij} - \min(P_{1j}^2, P_{2j}^2, \dots, P_{nj}^2) \quad (8)$$

Después a los elementos de las columnas de la nueva matriz A.R1, se realiza la respectiva resta del mínimo valor de la columna, a todos los elementos de dicha columna, como nos muestra en la ecuación (8). Se obtiene una matriz A.R2 en la que P_{ij}^2 , serán los dichos elementos de la nueva matriz. Así tratando de adquirir una matriz con una gran cantidad de ceros al llenado, para que permitiera implantar un método, en la que se gestionara de cubrir la mayor cantidad de ceros con la menor cantidad de líneas. Si las líneas implementadas es igual a la dimensión de la matriz, entonces directamente se obtendrá una solución concreta, entretanto si no ocurriese lo dicho anteriormente se ejecuta a restarles el mínimo valor a los números diferentes de cero de la matriz A.R2, y si existe una intersección de dos líneas y se halla un cero se deberá sumar el mismo valor, lo que se genera una matriz nueva que tendrá una solución como indica en la ecuación (9).

$$\begin{cases} P_{ij_NC}^3 = P_{ij_NC}^2 - P_{\min_NC} \\ P_{ij_2C}^3 = P_{ij_2C}^2 - P_{\min_NC} \end{cases} \quad (9)$$

Donde $P_{ij_NC}^2$, son los elementos distintos de cero de la matriz A.R2, así mismo $P_{ij_2C}^2$ son los ceros que cruzan el par de líneas de la matriz A.R2, y por otro lado P_{\min_NC} , llegaría a dar los elementos mínimos diferentes de cero en la matriz A.R2.

2.5.2 Pseudocódigo del modelo húngaro.

Tabla 1: Pseudocódigo de heurística del modelo húngaro.

Algoritmo húngaro
Paso 1: Inicio
Paso 2: Ingreso de los datos del sistema de #centrales, Carga
Paso 3: Asignación de valores Inicializa con sus respectivos valores de la matriz y las variables $t, A.R, Cost_{gen}, Pot_{sum}, Cost_{hora}$
Paso 4: Desarrollo y cálculo para la asignación de recursos $Cost_{hora} = Cost_{gen} * Pot_{sum}$
Paso 4.1: Desarrollo la matriz A.R for 1-24: $i=i+2$
$A.R = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}$
Paso 4.2: Genero la matriz A.R1 $P_{ij}^1 = P_{ij} - \min(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in})$
Paso 4.3: Genero la matriz A.R2 $P_{ij}^2 = P_{ij} - \min(P_{1j}^2, P_{2j}^2, \dots, P_{nj}^2)$
Paso 5: Genera matriz solución $P_{ij_NC}^3 = P_{ij_NC}^2 - P_{\min_NC}$ $P_{ij_2C}^3 = P_{ij_2C}^2 - P_{\min_NC}$ end for
Paso 5.1: Grafica Grafica ($t, A.R(i)$)
Paso 6: Fin

2.6 Algoritmo de coincidencia bipartita (Algorithm Bipartite Matching)

La coincidencia de gráficos bipartitos es un problema clásico en la teoría de grafos y la optimización combinatoria. La coincidencia máxima de cardinalidad bipartita también se emplea acostumbradamente en solucionadores lineales dispersos para observar si la matriz de coeficientes adjuntas se puede reducir; de ser así, se pueden lograr ahorros primordiales[42]. Es un problema conocido en la optimización combinatoria con varias aplicaciones [1]. En especial, el algoritmo presentado para localizar coincidencias perfectas de peso máximo puede emplear para encontrar coincidencias perfectas de peso mínimo, de la misma manera que, coincidencias de peso máximo y mínimo a su vez[43]. Buscar coincidencias en un gráfico frecuentemente se usa como un paso de preprocesamiento para solucionar sistemas dispersos de ecuaciones lineales[44]. Los algoritmos de coincidencia máxima evalúan una coincidencia con cardinalidad al menos la mitad de la coincidencia máxima[45].

2.6.1 Matching

Una M respectiva en un gráfico dado, $G = (V_R \cup V_C, E)$ es un subconjunto de los bordes E donde un vértice en $V_R \cup V_C$ está como máximo en una abertura en M . Asignado una coincidencia M , se expone que un vértice V se empareja con M , si V está en un borde de M ; de lo contrario, V se denomina inigualable. Si todos los vértices coinciden con M , entonces M se dice que es una coincidencia perfecta[46].

2.6.2 Grafo Bipartito

Se dice que es un grafo bipartito aquel grafo en el cual los vértices pueden dividirse en dos subconjuntos, y todas las líneas están entre pares de vértices pertenecientes a diferentes subconjuntos[47].

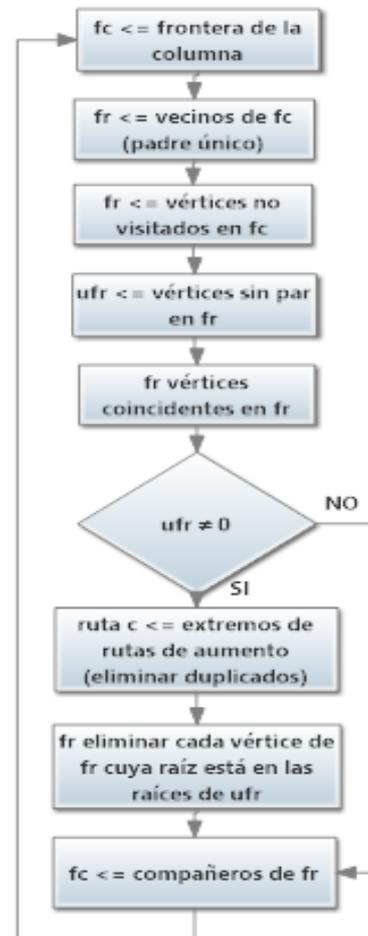


Figura 9: Diagrama de flujo del Algoritmo de coincidencia bipartita[44]

2.6.3 Modelamiento del algoritmo de emparejamiento bipartito.

En este artículo, nos centramos en los emparejamientos en gráficos bipartitos, el algoritmo de emparejamiento bipartito de máxima cardinalidad es un problema particular del flujo máximo que puede formularse de la siguiente manera:

$$G = (V1 \cup V2, A) \quad (10)$$

Donde:

$V1$ y $V2$, son dos conjuntos disjunt

A , son las aristas

En el caso de estudio a realizar el primer subconjunto será de potencias suministradas de cada central en función tiempo en una hora siendo que $A \subseteq V1 \times V2$ como se muestra en la ecuación (10). Una concordancia se define como un subconjunto de arcos $M \subseteq A$, de tal forma que no haya dos arcos

en M que tengan un mismo vértice, en otros términos, si $(i, j) \wedge (i', j') \in M$ con $(i, j) \neq (i', j') \Rightarrow i \neq i' \wedge j \neq j'$ [48]

Sea G una matriz asociada a un grafo bipartito $G(S, T; A)$ y $A = \{(i, j): M_{ij} = 1\}$, con peso w_{ij} en $arc(i, j)$. Definimos $x_{ij} = 1$ si y solo si se elige la arista $(i, j) \in A$.

$$\max \sum_{i \in S} \sum_{j \in T} w_{ij} x_{ij} \quad (11)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} \sum_{j \in T} x_{ij} \leq 1, \forall i \in S \\ \sum_{i \in S} x_{ij} \leq 1, \forall j \in T \\ x_{ij} \geq 0, \forall i \in S, j \in T \end{cases} \quad (12)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall (i, j) \in E$$

con cada variable x_{ij} toma el valor cero o uno, independientemente de los coeficientes en la función objetivo de la ecuación (11). Las respectivas restricciones se observan en (12) donde x_{ij} es la concordancia entre j e i .

$$T \begin{cases} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{cases} \begin{matrix} a & b & c & d \\ \begin{bmatrix} w_{1a} & w_{1b} & w_{1c} & w_{1d} \\ w_{2a} & w_{2b} & w_{2c} & w_{2d} \\ w_{3a} & w_{3b} & w_{3c} & w_{3d} \\ w_{4a} & w_{4b} & w_{4c} & w_{4d} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (13)$$

Donde:

S contiene a todos los u_i

T contiene a todos los v_j

Se construirá la matriz con las respectivas potencias de cada central implementada, esta sea de energía convencional y no convencional respectivamente, como se visualiza en (13), para cubrir la demanda en el intervalo de tiempo de una hora.

El problema dual de programación lineal es:

$$\min \sum_i u_i + \sum_j v_j \quad (14)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} u_i + v_j = w_{ij} \\ u_i \geq 0 \\ v_j \geq 0 \end{cases} \quad (15)$$

Se observa en (14) las óptimas condiciones para resolver la matriz, sujeto a las ecuaciones en (15), para obtener la asignación óptima y así el máximo valor de la potencia del sistema. Nos basaremos en el teorema de la holgura complementaria que propone lo siguiente:

$$\begin{cases} \text{if } x_{ij} > 0, \text{ then } u_i + v_j = w_{ij} \\ \text{if } u_i \geq 0, \text{ then } \sum_j x_{ij} = 1 \\ \text{if } v_j \geq 0, \text{ then } \sum_i x_{ij} = 1 \end{cases} \quad (16)$$

En (16) si en el segundo y tercer paso se establece lo que dice el teorema el nodo estará cubierto. Se debe llevar al problema a condiciones iniciales y esto se observará en (17)

$$\begin{cases} x_{ij} = 0, \forall i, j \\ u_i = \max_j \{w_{ij}, 0\}, \forall i \in S \\ v_j = 0, \forall j \in T \end{cases} \quad (17)$$

Encontramos un emparejamiento de peso máximo, que esta sea una asignación óptima de la potencia del sistema de centrales convencionales y no convencionales, para localizar el faltante o el sobrante de la potencia en una microred.

2.6.4 Pseudocódigo del modelo de emparejamiento bipartito

Tabla 2: Pseudocódigo de heurística del modelo bipartite matching

Algoritmo Bipartite Matching

Paso 1: Inicio

Paso 2: Ingreso de los datos del sistema de #centrales, Carga

Paso 3: Asignación de valores
Inicializa con sus respectivos valores de la matriz y las variables

$t, A.R, Cost_{gen}, Pot_{sum}, Cost_{hora}$

$$u_i = \max_j \{w_{ij}, 0\}, \forall i \in S$$

$$v_j = 0, \forall j \in T$$

Paso 4: Desarrollo y cálculo para la asignación de recursos

$$Cost_{hora} = Cost_{gen} * Pot_{sum}$$

Paso 4.1: Desarrollo de la matriz M

$$M = \begin{bmatrix} w_{1a} & w_{1b} & w_{1c} & w_{1d} \\ w_{2a} & w_{2b} & w_{2c} & w_{2d} \\ w_{3a} & w_{3b} & w_{3c} & w_{3d} \\ w_{4a} & w_{4b} & w_{4c} & w_{4d} \end{bmatrix}$$

Paso 4.1: Minimizar elementos de la matriz

$$\min \sum_i u_i + \sum_j v_j$$

Paso 4.2: Restricciones para la minimización

$$u_i + v_j = w_{ij}$$

$$u_i \geq 0$$

$$v_j \geq 0$$

Paso 4.3: Función Objetivo

$$\max \sum_{i \in S} \sum_{j \in T} w_{ij} x_{ij}$$

Paso 4.4: Restricciones

$$\sum_{j \in T} x_{ij} \leq 1, \forall i \in S$$

$$\sum_{i \in S} x_{ij} \leq 1, \forall j \in T$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall i \in S, j \in T$$

Paso 5: Genera matriz solución

Paso 5.1: Grafica
Grafica (t, M)

Paso 6: Fin

3. Planteamiento del Problema

Como planteamiento del problema de asignación de energía, se propone una heurística basada en el algoritmo húngaro y bipartite matching, los cuales nos ayudaran a encontrar el mínimo costo para un despacho horario y el máximo beneficio de la potencia generada para un sistema de distribución. Para obtener resultados emblemáticos en el proceso de optimizar recursos se realiza la presente investigación de potencia generada y el valor USDkW/h de cada central independientemente y se realiza el análisis en base a la curva de demanda en el punto de carga de 600MW, a una hora específica y con los datos de seis generadoras eléctricas, estas ya sean de energía convencional y no convencional para el análisis de los resultados encontrando la mejor respuesta en comparación con los diferentes algoritmos a utilizar y obteniendo los respectivos casos de estudio.

3.1 Clasificación de las centrales por su potencia

La capacidad de cada centrales se puede clasificar de acuerdo a la potencia que genera independientemente como se muestra en la Tabla 1[49]:

Tabla 3: Datos de potencia efectiva de cada central

Central	Potencia [MW]
Sopladora	487
Mazar	170
Termo-Esmeraldas	132.50
Quevedo II	95.20
Villanaco	16.50
Salinas	2

3.2 Clasificación de las centrales por sus costos

Los costos de producción de energía esta dado por cada kilovatio generado en cada hora como se muestra en la Tabla 2[50], [51]:

Tabla 4: Datos de costos por cada central

Central	Costos [USDkW/h]
Sopladora	5
Mazar	5
Termo-Esmeraldas	9.67
Quevedo II	9.67
Villanaco	9.39
Salinas	52.04

3.3 Análisis de la curva de demanda horaria

Para cubrir la demanda eléctrica de una microred con el parque generador disponible de fuentes de energía convencional y no convencional, se ejecutan proyectos de eficiencia energética a mayor escala con el fin de reducir la demanda en horas pico, optimizando la energía eléctrica[52][30]. La microred tiene como fuente propia de generación, la energía renovable proveniente del sol, el viento entre otros a través de la conversión mediante equipos para la obtención de energía limpia[53][54]. La microred estará conectada también a la red de distribución para abastecerse de ahí cuando no se logre satisfacer la demanda con la generación propia, es decir, se trata de un sistema híbrido[55][56]. Actualmente el parque generador produce energía eléctrica de fuentes renovables tales como generación hidráulica, solar, eólica, y térmica y fuentes de energías no renovable como

generación térmica, Turbo-gas y Turbo-vapor[52][57].

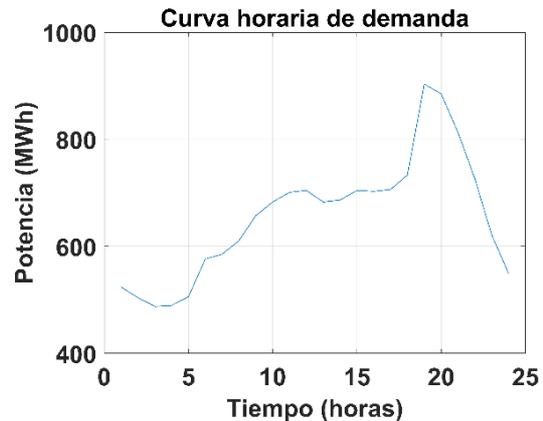


Figura 10: Curva de carga diaria[52].

Para el análisis del problema propuesto se realizará un estimado de la carga basado en la curva de demanda como se observa en la Figura 10 a una cierta hora en un día en base a seis centrales de tipo convencionales y no convencionales para en un sistema de microred.

4. Análisis y Resultados

La finalidad del presente trabajo fue analizar los resultados de una asignación óptima al menor costo para un despacho energético en base a un sistema de microred, y los resultados obtenidos de los diferentes modelos matemáticos, compararlos y encontrar cual heurística resulto mejor para un despacho económico, así obteniendo un ahorro comparativo en costos y obtener una óptima respuesta a la demanda que se realizó en base a las centrales establecidas en el presente documento, el análisis de los resultados del estudio propuesto, se hace notar en los diferentes casos de estudio que se observa a continuación.

4.1 Análisis Económico

Para este tipo de análisis se enfocará en la comparación de los dos modelos heurísticos mencionados anteriormente, los cuales nos optimizará de tal forma de minimizar lo más posiblemente los costos totales, en conjunto obtenidos del

sistema para cubrir la demanda propuesta, basados en fuentes de energía convencionales y no convencionales, y se realizara la perspectiva comparación en base a un despacho convencional, obteniendo por resultado el mínimo costo de despacho para una carga establecida con las centrales enunciadas, al igual que cual heurística obtiene un menor valor de costo con una asignación más certera.

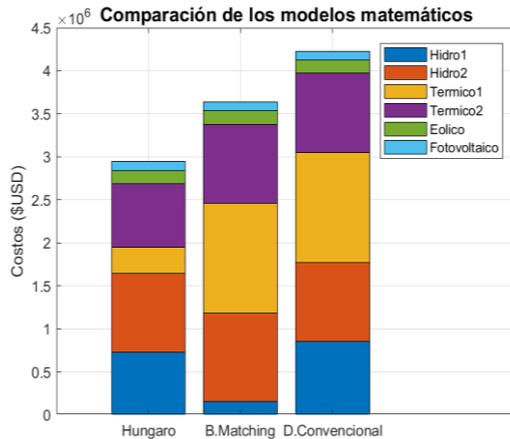


Figura 11: Diagrama de asignación al costo mínimo.

En la Figura 11 nos representa la forma como fue asignando cada modelo las centrales enunciadas, observando que el algoritmo húngaro minimiza de forma óptima con un 35% de ahorro en los costos, en comparación con el modelo bipartite matching que resulto con un porcentaje del 20% de ahorro comparado con un caso base que es el modelo de despacho convencional.

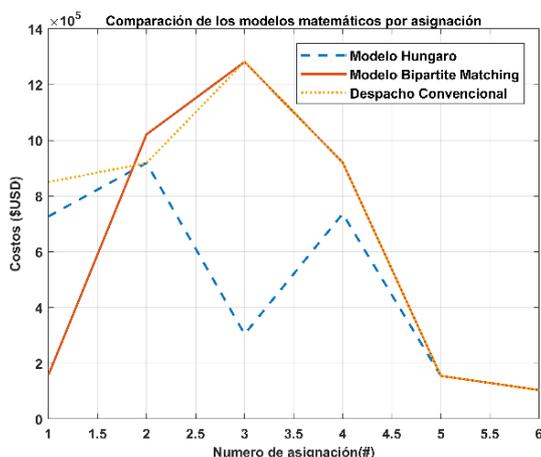


Figura 12: Diagrama al costo óptimo en función de la asignación

En la Figura 12 se representa en forma de grafica de líneas los costos en función de la asignación de las fuentes energéticas utilizadas, se observa como el área del algoritmo húngaro será menor en comparación al algoritmo bipartite matching y por lo tanto también a un modelo de despacho convencional. Dado que la energía producida por las seis centrales en nuestro entorno varía independientemente de acuerdo con la potencia a suministrar a la red, la combinación de energía también incluye la costosa energía del minorista. El precio resultante en un punto particular en el tiempo (horas) depende, por lo tanto, de:

- el entorno climático de las energías no convencionales
- la disponibilidad de las centrales para abastecer la carga
- el análisis de la curva de demanda.

Para analizar comparativamente el precio de la producción de energía del sistema y optar por una mejor asignación optimizada de bajos costos, se realiza la comparación de los modelos propuestos optando cual es el mejor para una minimización como se nota en la Figura 11.

Tabla 5: Costos de minimización por cada modelo

Modelo	Costo(\$USD)
Húngaro	2.9459372×10^4
Bipartite Matching	3.639374×10^4
Despacho Convencional	4.513554×10^4

Los resultados obtenidos de costos se visualizan en la Tabla 5. Se observa en los valores de costos, que los modelos han realizado el procesamiento hasta llegar a un resultado de minimizar lo mejor posible, se observa el valor de minimización del modelo húngaro que es comparable con el modelo bipartite

matching y por lo tanto con un modelo de despacho convencional, así teniendo una optimización de mejor forma posible.

4.2 Análisis por su máxima potencia

Al tener un sistema de microred lo fundamental es tener en funcionamiento las fuentes de energía renovable, al analizar con los respectivos modelos entramos en conclusión de encontrar la máxima potencia que nos puede brindar el sistema, conociendo que los modelos propuestos en el estudio, además de minimizar con cierto cambio se logran que los mismos maximicen. En la Figura 13 se observa cómo han tomado los valores máximos de las potencias nominales de las centrales convencionales y no convencionales.

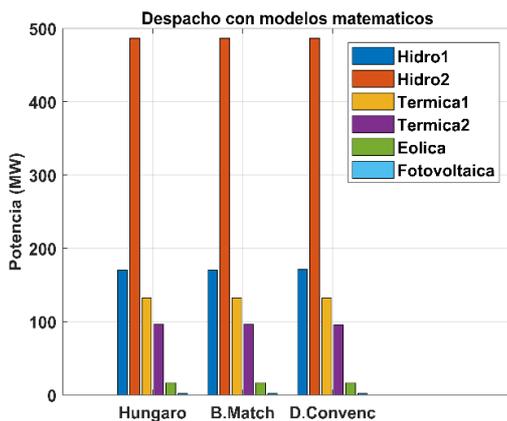


Figura 13: Diagrama de máxima potencia.

Se observa tanto el modelo húngaro como el bipartite matching obtienen los mismos resultados y se compara con un modelo de despacho convencional, concluimos que para cubrir una máxima demanda de 903.2MW la máxima carga, las centrales deberán de funcional al 100% con su potencia nominal.

4.3 Análisis en factor de tiempo

En comparación de tiempos de corrida de codificación de los diferentes modelos realizados en la plataforma de MATLAB veremos los siguientes resultados:

- El tiempo transcurrido es de 0.019068 segundos en el algoritmo húngaro.
- El tiempo transcurrido es de 0.030250 segundos en el algoritmo bipartite matching.

Tabla 6: Resultados de tiempos de procesamiento

Modelo	Tiempo (seg)
Húngaro	0.019068
Bipartite Matching	0.030250

En factor de tiempos el modelo húngaro es más ligero para una maximización como se puede apreciar en la Figura 14.

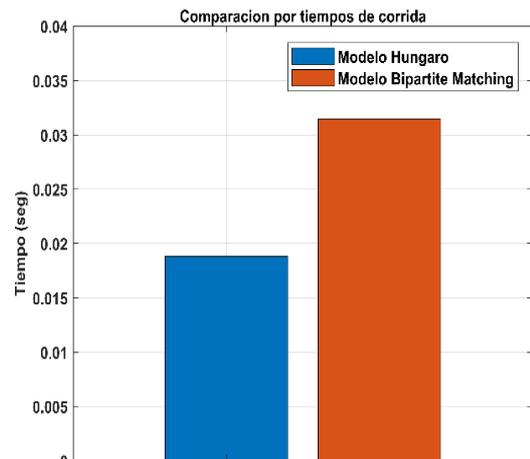


Figura 14: Diagrama de comparación de tiempos de procesamiento de los algoritmos

4.4 Análisis de costos en forma horaria

En esta parte se analizará a lo largo del tiempo de 24 horas corridas, encontrando la mejor asignación y con esto llegar a minimizar costos de la mejor forma posible para un despacho eléctrico diario. Se analizará la respectiva comparación de los resultados de los modelos matemáticos mencionados para evaluar cuál de ellos asigna de forma óptima a lo largo del

tiempo, así también reducir la mayor parte de costos.

En la Figura 15 se observa gráficamente que el modelo que mejor minimiza costos será el húngaro con respecto a la comparación de los resultados del modelo bipartite matching, para un despacho energético.

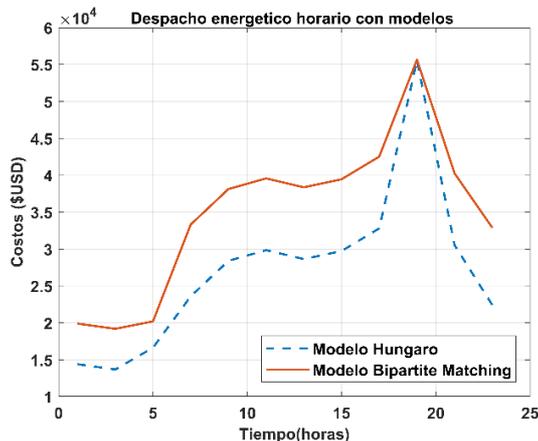


Figura 15: Diagrama de los modelos en forma horaria

5 Conclusiones

En el presente artículo se propone la implementación de un algoritmo de asignación para solucionar un despacho eléctrico óptimo en base a un sistema de microred, cumpliendo con un criterio de restricción de mínimo costo posible. Los resultados obtenidos permitieron concluir el mejor modelo para minimizar, reduciendo costos en comparación a un caso base de un modelo de despacho convencional, resaltando una mejoría en asignación, minimizando costos de producción de energía en base a un modelo de despacho convencional, con una diferencia que resultó en \$15676.168 en porcentaje resultara un 35% de ahorro con el modelo húngaro y un costo de \$8741.8 y un porcentaje de 20% de ahorro con el modelo bipartite matching, mostrando que existe un ahorro bastante comparable con el modelo húngaro, sin embargo también son efectivos en cuanto a tiempo de ejecución del algoritmo, pero no llegan requeridamente a un óptimo global, argumentando que el método propuesto

de optimización por modelo húngaro presento resultados satisfactorios ante la comparación del modelo bipartite matching en el análisis al sistema planteado.

La asignación de recursos planteada resulto de grandes beneficios hacia la red, por consiguiente, a que éste proporciona efectivamente los recursos destinados a la carga de la microred, con fuentes de energía no convencional, de tal forma que en horas específicas que la carga sea mayor a la potencia suministrada de las fuentes no convencionales se utilicen las fuentes de energía convencional para así no afectar de manera abrupta al suministro eléctrico.

El factor tiempo que resulta en la optimización, en base a los algoritmos se nota que es casi insignificante en la comparación de ambos, ya que se ingresa datos de solo dos centrales hidroeléctricas, dos centrales térmicas, una central fotovoltaica, y una central eólica, para esto la diferencia entre los tiempos es de 0.011182. Si al analizar con un extenso número de datos, y se realiza la comparación de tiempos resultantes de corrida del procesamiento de dichos algoritmos, será más óptimo el algoritmo húngaro ya que en retrospectiva el tiempo de procesamiento estará en función del número de datos a ingresar.

6 Trabajos Futuros

Se recomienda para trabajos futuros trabajar en conjunto con variaciones en la carga basándose en la curva de la demanda y teniendo en cuenta las pérdidas simultáneas en la red de distribución, de esta manera completar más a fondo la investigación. Otro aspecto que se puede considerar es realizar una investigación con dichos modelos en base a estaciones climáticas en sistemas de microred ya que varía la potencia de generación de fuentes renovables con la estación climática.

7 Referencias

- [1] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A. V. Timbus, "Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 5, pp. 1398–1409, 2006.
- [2] L. Barragan and E. M. Garcia, "Modelo multiobjetivo de planificación de transmisión bajo incertidumbre basado en una óptima respuesta de la demanda," Universidad Politecnica Salesiana, 2016.
- [3] P. Lin, P. Wang, J. Xiao, J. Wang, C. Jin, and Y. Tang, "An Integral Droop for Transient Power Allocation and Output Impedance Shaping of Hybrid Energy Storage System in DC Microgrid," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 7, pp. 6262–6277, 2018.
- [4] D. Tasinchana and E. M. Garcia, "Predicción con series de tiempo para la optimización de la demanda eléctrica residencial," Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [5] I. R. U. D. V Hohfwulflw *et al.*, "\$q ,qwhuydo %dvhg &rvw hplvvlrqv 2swlpl]dwlrq 6wudwhj\ iru *dv hohfwulflw\ ,qwhjudwhg (qhuj\ 6\vwHPv 8qghu 8qfhuwldqw\ dqg 'hpdqg 5hvsrqvh," pp. 1–6.
- [6] S. Pholboon, M. Sumner, and P. Kounnos, "Community power flow control for peak demand reduction and energy cost savings," *2016 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. Eur.*, pp. 1–5, 2016.
- [7] P. You, Y. Sun, J. Pang, S. Low, and M. Chen, "Battery Swapping Assignment for Electric Vehicles," *ACM SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.*, vol. 45, no. 2, pp. 85–87, 2017.
- [8] A. Dutta and P. Dasgupta, "Bipartite graph matching-based coordination mechanism for multi-robot path planning under communication constraints," *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, pp. 857–862, 2017.
- [9] Energia Electrica, "La energia electrica," no. 41, pp. 1–6, 2004.
- [10] G. Ayala and E. M. Garcia, "Respuesta de la demanda eléctrica basado en el modelo Markoviano," Universidad Politecnica Salesiana, 2016.
- [11] E. Amorocho and G. Oliveros, "SC DEF BT3 Apuntes sobre energía y recursos energéticos - Enrique Amorocho Cortés - Google Books," 2000. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=HHZYm0mp3ZcC&pg=PA3&lpg=PA3&dq=apuntes+sobre+energía+y+recursos+energéticos+libro&source=bl&ots=g0-oNh57EK&sig=X2nfMXF4C0CzezbxcTtHyN19INY&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEWjd2K-N7PHcAhUNuVkKHaqVDXEQ6AEwA3oECAgQAQ#v=onepage&q&>.
- [12] F. Calvo, A. López, and L. Alonso, "Energías y medio ambiente - Google Books," 2004. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=h_ujoW5p4v4C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false.
- [13] J. Sanz, "Energía hidroeléctrica - José Francisco Sanz Osorio - Google Books," 2008. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=okGwHH1TePoC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- [14] Y. Sun and Q. Gao, "700mw c," pp. 501–508, 2009.

- [15] C. Jhonny, "AutorPropio.pdf." Quito, pp. 1–2, 2018.
- [16] M. Zuk, V. Garibay, R. Iniestra, M. López, L. Rojas, and I. Laguna, "Introducción a la evaluación de los impactos de las termoeléctricas de México." pp. 1–117, 2006.
- [17] M. Ramon, "Electrotecnia - Ramón María Mujal Rosas - Google Books." Edición UPC, pp. 1–303, 2002.
- [18] U. B. E. Industries *et al.*, "Case study on thermoelectric generation system utilizing the exhaust gas of interal-combustion power plant," *Power*, no. 1, pp. 473–478, 1998.
- [19] M. Al Mamun, A. K. M. Kamrul Hasan, and A. Al Mahfazur Rahman, "Non Isolated DC-DC Step Up Converter with High Voltage Gain for Renewable Energy Applications," *2017 2nd Int. Conf. Electr. Electron. Eng.*, no. December, pp. 1–4, 2017.
- [20] S. Bessler, "An algorithm for renewable energy allocation and trading in a microgrid," *2018 IEEE Power Energy Soc. Innov. Smart Grid Technol. Conf.*, pp. 1–5.
- [21] A. Moallemi, L. Machado, R. N. N. Koury, and F. J. P. Pujatti, "The effect of energy efficiency increase on a PV plant with a non-conventional energy storage system income," *7th Power Electron. Drive Syst. Technol. Conf. PEDSTC 2016*, no. Pedstc, pp. 457–463, 2016.
- [22] G. Gök, "Development of a Prototype of Renewable Source (Wind) Prediction-based Modular Multi-purpose Energy Conversion System with Energy Storage," pp. 178–182, 2018.
- [23] M. Swierczynski, R. Teodorescu, C. N. Rasmussen, P. Rodriguez, and H. Vikelgaard, "Overview of the energy storage systems for wind power integration enhancement," *2010 IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, pp. 3749–3756, 2010.
- [24] L. Wei, Y. Li, Y. Chi, Z. Wang, and H. Bai, "Research on market mechanism of wind power accommodation based on power bidding," *POWERCON 2014 - 2014 Int. Conf. Power Syst. Technol. Towar. Green, Effic. Smart Power Syst. Proc.*, no. Powercon, pp. 2623–2628, 2014.
- [25] H. A. N. Zifen *et al.*, "Study on Calculation Methods of Wind Farm ' s Abandoned Energy Ey LEini i = !," pp. 1996–1999, 2011.
- [26] Javi, "3. ¿Qué es una microrred?.pdf," pp. 14–17.
- [27] E. M. García, "Diagnóstico de la demanda de consumo de energía eléctrica en un smart home, enfocado en el sector residencial de Quito, durante el año 2015, Barrió la Kennedy. Caracterización y optimización del consumo de energía eléctrica," Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2016.
- [28] J. L. Espinoza, L. G. Gonzalez, and R. Sempertegui, "Micro grid laboratory as a tool for research on non-conventional energy sources in Ecuador," *2017 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2017*, vol. 2018–Janua, no. Ropec, pp. 1–7, 2018.
- [29] D. Manna, S. K. Goswami, and P. K. Chattopadhyay, "Droop control for micro-grid operations including generation cost and demand side management," *CSEE J. Power Energy Syst.*, vol. 3, no. 3, pp. 232–242, 2017.
- [30] E. Inga, D. Carrión, A. Aguila, E. M. García, and R. Hincapié, "Minimal Deployment and Routing Geographic of PMUs on Electrical Power System based on MST Algorithm," *IEEE Lat. Am.*

- Trans.*, vol. 14, no. 5, pp. 2264–2270, 2016.
- [31] M. S. Mahmoud, “Microgrid: advanced control methods and renewable energy system integration,” 2006. [Online]. Available: <https://www.elsevier.com/books/microgrid/mahmoud/978-0-08-101753-1>.
- [32] X. Wang, J. M. Guerrero, F. Blaabjerg, and Z. Chen, “A review of power electronics based microgrids,” *J. Power Electron.*, vol. 12, no. 1, pp. 181–192, 2012.
- [33] X. Xu and X. Zha, “Overview of the Researches on Distributed Generation and Microgrid,” *Int. Power Eng. Conf. (IPEC 2007)*, pp. 966–971, 2007.
- [34] B. M. Eid, N. A. Rahim, J. Selvaraj, and A. H. El Khateb, “Control methods and objectives for electronically coupled distributed energy resources in microgrids: A review,” *IEEE Syst. J.*, vol. 10, no. 2, pp. 446–458, 2016.
- [35] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, and F. Blaabjerg, “A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 41, no. 5, pp. 1292–1306, 2005.
- [36] N. A. Rahim and A. M. Omar, “Three-phase single-stage high-voltage.”
- [37] M. Simbaña and E. M. Garcia, “Optimización mediante el método de Montecarlo de la demanda eléctrica residencial,” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [38] E. M. Garcia and I. Isaac, “Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users,” in *Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), IEEE*, 2016.
- [39] “Óptima Asignacion de recursos energeticos para espuesta a la demanda para vehiculos electricos usando algoritmo hungaro.pdf.”
- [40] L. Tingpeng, L. Yue, and Q. Yanling, “Improved Hungarian algorithm for assignment problems of serial-parallel systems,” *J. Syst. Eng. Electron.*, vol. 27, no. 4, pp. 858–870, 2016.
- [41] K. Nayyar and S. Raghvendra, “An input sensitive online algorithm for the metric bipartite matching problem,” *Annu. Symp. Found. Comput. Sci. - Proc.*, vol. 2017–Octob, pp. 505–515, 2017.
- [42] M. Deveci, K. Kaya, B. Ucar, and U. V. Catalyurek, “A push-Relabel-based maximum cardinality bipartite matching algorithm on GPUs,” *Proc. Int. Conf. Parallel Process.*, pp. 21–29, 2013.
- [43] P. Sankowski, “Maximum weight bipartite matching in matrix multiplication time,” *Theor. Comput. Sci.*, vol. 410, no. 44, pp. 4480–4488, 2009.
- [44] A. Azad and A. Buluc, “Distributed-Memory Algorithms for Maximum Cardinality Matching in Bipartite Graphs,” *Proc. - 2016 IEEE 30th Int. Parallel Distrib. Process. Symp. IPDPS 2016*, pp. 32–42, 2016.
- [45] A. Azad, A. Buluc, and A. Pothén, “A Parallel Tree Grafting Algorithm for Maximum Cardinality Matching in Bipartite Graphs,” *Proc. - 2015 IEEE 29th Int. Parallel Distrib. Process. Symp. IPDPS 2015*, pp. 1075–1084, 2015.
- [46] F. Dufossé, K. Kaya, and B. Uçar, “Bipartite matching heuristics with quality guarantees on shared memory parallel computers,” *Proc. Int. Parallel Distrib. Process. Symp. IPDPS*, pp. 540–549, 2014.
- [47] Wasserman Stanley and Faust Khaterine, “Análisis de redes sociales.” Madrid, pp. 1–853,

- 2013.
- [48] C. Balbuena, X. Marcote, and J. C. Valenzuela, “Grafos bipartitos extremales aplicados al diseño de estructuras de interconexión y procesamiento de información.”
- [49] T. Dalglish *et al.*, “[No Title],” *J. Exp. Psychol. Gen.*, vol. 136, no. 1, pp. 23–42, 2007.
- [50] CONELEC, “Regulación No. CONELEC 007/02 Página 1/7,” no. 2233, pp. 1–7, 2002.
- [51] F. Buñay, Francisco; Perez, “Comparacion de costos de produccion de energia electrica para diferentes tecnologias en el Ecuador,” pp. 1–150, 2012.
- [52] G. Salazar and B. Panchi, “Análisis de la Evolución de la Demanda Eléctrica en el Ecuador Considerando el Ingreso de Proyectos de Eficiencia Energética,” vol. 33, no. 3, 2014.
- [53] M. Ortiz and E. M. Garcia, “Pronóstico de la demanda eléctrica residencial basado en el modelo de regresión adaptativa multivariante spline (MARS),” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [54] P. Moreno and E. M. Garcia, “Respuesta a la Demanda para Smart Home Utilizando Procesos Estocásticos,” *I+D Tecnológico*, 2016.
- [55] A. E. Cabrera *et al.*, “Modelación dinámica de la demanda y oferta de una micro-red eléctrica,” no. December, pp. 147–162, 2014.
- [56] B. Oña and E. M. Garcia, “Uso eficiente del consumo de energía eléctrica residencial basado en el método Montecarlo,” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [57] E. M. Garcia, A. Águila, I. Isaac, J. W. González, and G. López, “Analysis of Voltage Profile to determine Energy Demand using Monte Carlos algorithms and Markov Chains (MCMC),” in *51st International Universities’ Power Engineering Conference*, 2016, no. Mcmc.

7.1 Estado del Arte

ITEM	DATOS		TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE RECURSOS ENERGÉTICOS A TRAVÉS DE ALGORITMO HÚNGARO Y BIPARTITE MATCHING PARA RESPUESTA A LA DEMANDA EN MICROREDES	CITAS	Asignación de recursos	Óptima respuesta a la demanda	Redes Inteligentes	Respuesta a la demanda	Impacto de carga en red	Eficiencia eléctrica	Óptima asignación de recursos	Minimización de costos	Maximización de eficiencia	Capacidad de recursos energéticos	Costos	Método de asignación	Algoritmo húngaro	Método emparejamiento	Óptima asignación de recursos	Ahorro energético	Uso algoritmo húngaro	Uso algoritmo bipartite matching
1	2017	Óptima respuesta a la demanda para estaciones de carga de vehículos eléctricos con alta incertidumbre considerando el perfil de voltaje en la red de distribución.	0	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	✗	□	✗	✗	✗	□	✗
2	2017	An Iterative Hungarian Algorithm Based Coordinated Spectrum Sensing Strategy		□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	✗	□	□	□	□	✗	□
3	2017	Óptima asignación de recursos energéticos para respuesta a la demanda por vehículos eléctricos usando algoritmo húngaro		✗	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	✗
4	2017	Improved Hungarian algorithm for assignment problems of serial-parallel systems		□	□	□	□	□	✗	□	✗	✗	□	□	✗	✗	□	✗	□	✗	□
5	2017	Modelos para la planeación de transporte terrestre eficiente para el sector de hidrocarburos		✗	✗	□	□	□	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	✗	□	□	□	□
6	2017	Integrate the Hungarian Method and Genetic Algorithm to Solve the Shortest Distance Problem		✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□
7	2017	A Push-Relabel-Based Maximum Cardinality Bipartite Matching Algorithm on GPUs		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□
8	2016	An Input Sensitive Online Algorithm for the Metric Bipartite Matching Problem		□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□
9	2016	Battery Swapping Assignment for Electric Vehicles: A Bipartite Matching Approach		✗	✗	✗	□	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	✗	✗	□	✗	✗	□	✗
10	2016	Bipartite Graph Matching-based Coordination Mechanism for Multi-robot Path Planning under Communication Constraints		□	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□
11	2016	Bipartite matching heuristics with quality guarantees on shared memory parallel computers		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□
12	2016	The k-Constrained Bipartite Matching Problem: Approximation Algorithms and Applications to Wireless Networks		□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	□
13	2016	Querying Similar Process Models Based on the Hungarian Algorithm		✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
14	2016	Mapping Elements with the Hungarian Algorithm: An Efficient Method for Querying Business Process Models		✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

ITEM	DATOS		TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	CITAS	Asignación de recursos	Óptima	Redes	Respuesta a la demanda	Impacto de los vehículos eléctricos	Eficiencia	Óptima asignación de recursos	Minimización de costos	Maximización de eficiencia	Capacidad de recursos energéticos	Costos	Método de asignación	Algoritmo híbrido	Método empajamiento	Óptima asignación de recursos	Ahorro	Uso algoritmo híbrido	Uso algoritmo híbrido	Uso de energía renovables
15	2016	Analysis of the Voltage Profile by the Insertion of Electric Vehicles in the Distribution Network Considering Response to Demand	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	□	□	✗
16	2016	Energy-Efficient Resource Allocation for Industrial Cyber-Physical IoT Systems in 5G Era	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	✗	□	✗	□	✗	□	□
17	2016	Modeling Shared Autonomous Electric Vehicles: potential for transport and power grid integration	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	✗	✗	□	✗	□	✗	□	✗
18	2016	A Bipartite Matching Based User Pairing Scheme for Hybrid VLC-RF NOMA Systems	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	□
19	2016	Secure Minimum Weighted Bipartite Matching	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	□	✗	□
20	2015	Multi-objective optimization for the management of the response to the electrical demand in commercial users	✗	✗	□	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	✗	✗	□	□	✗
21	2015	Optimal Allocation of Battery Energy Storage in Distribution Network Considering the Co-operation of Generalized Demand Side Resources	✗	✗	□	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	□	□	□
22	2015	Online Knapsack Problem and Budgeted Truthful Bipartite Matching	□	□	□	✗	□	□	□	□	✗	□	□	□	□	✗	□	□	□	✗	□
23	2015	Bipartite matching heuristics with quality guarantees on shared memory parallel computers	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	✗	□	□	✗	✗	□
24	2015	Optimal Scheduling of Energy Resources and Management of Loads in Isolated/Islanded Microgrids	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	□	□	✗
25	2014	Optimizing Microgrid Using Demand Response and Electric Vehicles Connection to Microgrid	□	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	✗	✗	□	□	□
26	2013	Real-Time Demand Side Management for a Microgrid Considering Uncertainties	□	✗	✗	✗	□	✗	□	✗	✗	□	✗	✗	□	□	✗	□	□	□	□
27	2013	Short-Term Scheduling of Microgrids in the Presence of Demand Response	□	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	✗	✗	□	□	✗	✗	□	□	□
28	2013	Scheduling Optimization Mode of Multi-microgrid Considering Demand Response	□	□	✗	✗	□	✗	□	✗	✗	✗	✗	□	□	□	✗	✗	□	□	□
29	2011	A Bilevel Optimization Approach to Demand Response Management for the Smart Grid	□	✗	□	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	✗	✗	□	□	□
30	2011	Application of Demand Response Programs for Residential Loads to Minimize Energy Cost	□	✗	□	✗	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	✗	✗	□	□	□
31	2011	Consumer's demand response to dynamic pricing of electricity in a smart grid	□	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	✗	✗	□	□	□
32	2010	Energy-Sharing Model With Price-Based Demand Response for Microgrids of Peer-to-Peer Prosumers	□	✗	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	□	✗	✗	□	□	✗	□	□	□	✗

ITEM	DATOS		TEMÁTICA						FORMULACIÓN DEL PROBLEMA			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN			SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	CITAS	Asignación de recursos	Óptima respuesta a la demanda	Redes Inteligentes	Respuesta a la demanda	Impacto de carga en redes de distribución	Eficiencia eléctrica	Óptima asignación de recursos	Minimización de costos	Maximización de eficiencia	Capacidad de recursos energéticos	Costos	Método de asignación	Algoritmo húngaro	Método emparejamiento	Óptima asignación de recursos	Ahorro energético	Uso algoritmo híbrido	Uso algoritmo híbrido	Uso de energía renovables
33	1999	Improved Cost Analysis Through Smart Grid Network Due to Dynamic Demand Load Response	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CANTIDAD:			13	16	15	16	13	11	13	13	19	6	13	18	13	9	19	13	12	10	8

TABLA 2.- MATRIZ DE ESTADO DEL ARTE
TABLA 3.- RESUMEN E INDICADORES DEL ESTADO DEL ARTE

