UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

POSGRADOS

MAESTRÍA EN

ELECTRICIDAD

RPC-SO-22-No.325-2018

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL

TEMA:

ASIGNACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS CON ALTA INCERTIDUMBRE PARA EL DESPACHO EN PLANTAS VIRTUALES DE ENERGÍA BASADO EN LA ÓPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA.

AUTORA:

VERÓNICA ROSA VERGARA NARANJO

DIRECTOR:

EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES

QUITO - ECUADOR
2022

COHORTE
2018 - 2020

Autora:

Verónica Rosa Vergara Naranjo
Ingeniera Eléctrica
Candidata a Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.
vvergaran@est.ups.edu.ec

Dirigido por:

Edwin Marcelo García Torres
Magíster en Gestión de Energías
Ingeniero Eléctrico
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 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 investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS
©2022 Universidad Politécnica Salesiana.
QUITO – ECUADOR – SUDAMÉRICA
VERGARA NARANJO VERÓNICA ROSA
ASIGNACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS CON ALTA INCERTIDUMBRE PARA EL DESPACHO EN PLANTAS VIRTUALES DE ENERGÍA BASADO EN LA ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA

Allocation of Energy Resources with High Uncertainty for Dispatch in Virtual Power Plants based on the Optimal Demand Response

Verónica Rosa Vergara Naranjo *, Edwin Marcelo García Torres †
Maestría en Electricidad, Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
Email: *vvergaran@est.ups.edu.ec, †egarcia@ups.edu.ec

***Resumen*—In this document shows the analysis of the behavior of Virtual Power Plants (VPP) is carried out to be immersed in the electrical network in search of maintaining energy quality at a lower cost and with renewable energy resources through the implementation of an optimal allocation heuristic of resources based on the Hungarian model, which will allow verifying the amount of power that the VPP can exchange each hour with the electricity grid, considering and modeling high uncertainty stochastic variables such as the solar resource, wind speed and behavior of the demand to develop an optimal response to demand (DR), considering it the most profitable and reliable solution to the problems that electricity networks present today. Two case studies are proposed, the first that simulates the behavior of the electrical network on a working day and the second that simulates the behavior of the electrical network on a non-working day, thus having variation in load and the percentage of generation for different types of technology.**

***Index Terms*—Energy management, Virtual Power Plants, Demand Response, Distributed Generation, Micro grid.**

***Resumen*—En el presente trabajo se realiza un análisis del comportamiento de Plantas Virtuales de Energía (VPP) para ser inmersas en la red eléctrica en busca de mantener la calidad energética a menor costo y con recursos energéticos renovables, mediante la implementación de una heurística de asignación óptima de recursos basada en el modelo Hungariano, misma que permitirá verificar la cantidad de potencia que la VPP puede intercambiar en cada hora con la red eléctrica, considerando y modelando variables estocásticas de alta incertidumbre como el recurso solar, velocidad del viento y comportamiento de la demanda para desarrollar una respuesta a la demanda (DR) óptima, considerandose la solución más rentable y confiable a los problemas que presentan las redes eléctricas en la actualidad. Se proponen dos casos de estudio, el primero que simula el comportamiento de la red eléctrica en un día laboral y el segundo que simula el comportamiento de la red eléctrica en un día no laboral, teniendo de esta manera variación de la demanda y del porcentaje de generación debido a la incertidumbre de carga y recursos de generación para diferentes tipos de tecnología.**

***Index Terms*—Gestión Energética, Plantas Virtuales de Energía, Respuesta a la Demanda, Generación Distribuida, Micro redes.**

I. Introducción

El mercado eléctrico mundial se encuentra en constante desarrollo de nuevas tecnologías con relación a las energías renovables o no convencionales para disminuir de manera significativa el uso de recursos primarios en base a combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural para generación de energía eléctrica[1]. Es por ello que muchos países han centrado su interés en el desarrollo de nuevas metodologías para obtener energía eléctrica a partir de recursos limpios y amigables con el ambiente, debido a las altas tasas de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad[1][2], para de esta manera hacer frente al grave problema del cambio climático que se lo siente y preocupa cada vez más.

Debido a la preocupación del impacto ambiental producida por los combustibles fósiles, se ve en riesgo la seguridad energética por el aumento considerable de carga y los problemas que presenta el uso de algunos tipos de generación de energía no convencional para la red eléctrica. En muchos países el nivel de ingreso de los recursos energéticos renovables ha aumentado considerablemente, representando nuevos desafíos y permitiendo dar mayor énfasis a una futura red eléctrica inteligente[3][2][4]. El incremento considerable de la demanda de energía eléctrica provoca ineficiencia en la red del sistema energético, así como en los gastos operativos, en el incremento del valor de la construcción de nuevas plantas de generación y en la expansión de redes eléctricas[4]. Por ello la gestión de la demanda energética está ganando un campo cada vez más importante para que de esta manera se administre eficientemente los gastos.[5][6].

A medida que se busca la optimización para minimizar los costos de la generación de electricidad, también se pueden lograr beneficios mutuos cuando la energía es producida a partir de fuentes primarias bajas o libres de gases contaminantes[7]Los niveles de emisiones nocivos para el medio ambiente y la estructura de producción de electricidad dependen en gran medida de la legislación local de cada país, la estructura regulatoria y las reglas de mercado eléctrico, por lo que los resultados de estudios de desarrollo de nuevas tecnologías no pueden generalizarse[5][6][8].

Los sistemas de energía han sufrido importantes cambios debido a la desagregación de los principales componentes de sistema eléctrico que es la generación, transmisión y distribución. Estos cambios están destinados a permitir la competencia, especialmente entre las empresas de generación

y estimular la eficiencia en el funcionamiento de la red[9][10]. El respaldo de varias políticas que se promueven en todo el mundo para la generación de energía limpia, para la protección de ecosistemas y para la generación sin residuos, han permitido la integración de la generación distribuida (DG) y la gestión de la demanda en una red de distribución. Muchas de las DG son a partir de recursos renovables, como micro aerogeneradores o sistemas solares en tejados de las edificaciones eco amigables que cada día son más aceptadas por los usuarios.[11][12]. Los recursos renovables son de naturaleza estocástica, es decir no se comportan de la misma manera siempre, por lo que representa un mayor desafío para la planificación de la red y para el operador del mercado. Para abordar estos desafíos, se sugiere integrar estas unidades en las denominadas plantas virtuales de energía. Siendo una VPP un concepto para incorporar DG a la red, sistemas de almacenamiento de energía y cargas en una sola entidad flexible que sea lo suficientemente grande como para participar en el mercado de energía y/o proporcionar servicios a la red[13][14], es decir la VPP impulsa un consumo de energía inteligente lo que permite gestionar el despacho de energía de manera óptima, reduciendo costo y aprovechando los recursos locales. Al integrar varias fuentes de energía distribuida en una VPP permite que los recursos se utilicen como una planta de energía convencional, la diferencia se establece en la forma de operar de manera optimizada en aspecto económico y técnico para un beneficio, en otras palabras es un enfoque y concepto moderno de gestión energética que se lo logra mediante el avance tecnológico y desarrollo de nuevas fuentes de energía; lo que conlleva a tener un sistema más eficiente y sostenible[15][16][17].

En el presente trabajo se propone el modelamiento de una heurística de asignación óptima de recursos y energía de una VPP en base al Modelo Hungariano que pretende analizar el impacto de una VPP en la red eléctrica, se detalla en la sección de marco teórico una breve introducción a las principales características de una VPP, de las micro redes y la respuesta a la demanda, así como las generalidades del modelo de asignación óptima Hungariano para el desarrollo de la heurística planteada, en la sección de problema se detalla la problemática planteada de una VPP a través de una heurística en base al modelo Hungariano[18], en la sección de pseudocódigo se indica los pasos de la solución de la heurística aplicada para la solución y en las últimas secciones se analizan los resultados obtenidos y se finaliza con las conclusiones y referencias.

II. Marco Teórico

Las fuentes de energía renovable son la clave para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y a su vez impulsar el desarrollo sostenible de la sociedad actual. El desafío se concentra en mantener la calidad, un menor costo y aumentar la confiabilidad en estas nuevas fuentes de generación de energía ante su comportamiento intermitente y las limitaciones para su almacenamiento. Las micro redes y las VPP comparten características para integrar una respuesta a la demanda, son dos soluciones destacadas para la entrega de un suministro más confiable, dado que tanto las micro redes como las VPP son estructuras que incluyen el análisis de recursos energéticos distribuidos (DER)[19][20]. La gestión de la demanda (DSM), tal como fue introducida por primera vez por el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) en la década de 1980, ha demostrado el potencial de ser un buen recurso complementario para las unidades de generación[21][22]. Sus campos de aplicación incluyen configuración de carga, maximización de beneficios, confiabilidad, etc. La respuesta de demanda es un proceso que se basa o interfiere directamente en la gestión de la demanda, donde los usuarios de DR cambian su patrón de comportamiento de uso eléctrico como respuesta a incentivos o cambios en los precios de la electricidad. Anteriormente, las principales barreras de implementación de la DR eran los problemas tecnológicos. Sin embargo, con el desarrollo de la red inteligente, las instalaciones de la infraestructura de medición avanzada y las comunicaciones bidireccionales se han extendido en gran medida.[23][24][25].

II-A. Micro Redes

La micro red es un pequeño sistema de energía con una mayor confiabilidad, sostenibilidad y que proporciona una mayor penetración de los recursos renovables, se puede operar tanto conectado a la red y en un modo autónomo[26]. El equilibrio entre la demanda y la oferta se debe cumplir en todos los posibles escenarios, donde el operador de la red es responsable de todas las instalaciones y participantes que intervienen en el sector. Una de las principales preocupaciones de los operadores es la asignación óptima de los recursos en una micro red[27]. El desarrollo de tecnología de una micro-red y la avance en tecnología en procesos de operación óptimos se han convertido en una garantía importante para la operación de las micro redes, ya que existen requisitos estrictos mínimos para la conexión de las micro redes con las redes de distribución eléctricas.[27]. Las características principales de una micro red son varias, entre las que destacan la capacidad de operar de forma aislada o en sincronía con la red, utiliza energía renovable, recursos distribuidos, tiene una disponibilidad del 99,99 % es decir cubren su demanda en casi la totalidad, tiene una capacidad menor a 10 MW y realiza gestión, control y monitoreo en su funcionamiento [19].

Las micro redes se presentan como un modo eficiente de suministro de energía, que integra los recursos distribuidos y las cargas en un solo sistema para el consumo o despacho de energía. La gestión de la demanda puede permitir que diferentes tipos de cargas participen activamente en el funcionamiento óptimo de la red eléctrica, lo que es un punto importante para el funcionamiento óptimo de la micro red [28][7]. De tal forma la Respuesta a la Demanda guía a los usuarios a participar en el despacho de la red eléctrica a través del precio de la electricidad y la información de incentivos, lo que hace que la economía y la estabilidad de la micro red se maneje de forma efectiva[6]. En la figura 1, se muestra uno de los nuevos modelo de negocio que nace a partir de la integración de varias micro redes, dando el origen a las VPP, lo cual es el principal objeto de análisis del presente trabajo.

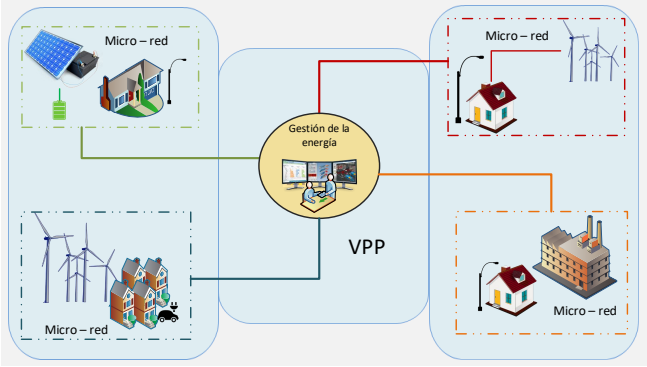

Figura 1. Integración de micro redes en una VPP.

II-B. Respuesta a la Demanda (DR)

La red inteligente continúa evolucionando y se ha desarrollado innumerables métodos para mejorar la eficiencia energética y su infraestructura, así también se presenta como la solución más rentable y confiable para aliviar la curva de demanda en horas pico[12]. La DR se refiere a un procedimiento de tal forma que motive a los cambios en los hábitos energéticos de los usuarios finales mediante incentivos relacionados con el precio de la energía eléctrica[15][25].

La DR es un cambio en el patrón de comportamiento de la demanda mediante un control del recurso energético por parte de un titular o un tercero, bajo este concepto por ejemplo en la red eléctrica urbana, con mayor frecuencia se construyen edificios inteligentes diseñados para satisfacer su demanda propia de energía, partiendo de la reducción de al menos el 40 % del consumo de energía, siendo un claro ejemplo de un programa de DR que se implementa con mayor frecuencia. La estrategia de respuesta a la demanda de la micro red inteligente puede ahorrar representativamente el costo de construcción de la misma y reducir significativamente el nivel de carga en horas pico. La programación del sistema no solo hace que el costo sea mínimo, sino que también el usuario no se ve afectado en el confort de vida[23].

II-C. Plantas Virtuales de Energía

Una VPP se define como una plataforma de negociación de la generación distribuida que se utiliza para realizar contratos en el mercado eléctrico mayorista. Los DER, las cargas y las unidades de almacenamiento (BESS) operan como una sola planta de energía donde la gestión de la energía (EMS) es el corazón de dicho sistema. La VPP se define como un conjunto de varios DER a nivel de medio voltaje de las redes de distribución. La VPP es uno de los conceptos más prometedores y atractivos para la gestión de la energía en el sistema eléctrico, que permite el comercio de energía con el precio deseado a través de herramientas y dispositivos inteligentes.

Las VPP se caracterizan por combinar varios recursos de generación distribuida y operar como un recurso unificado en un mercados eléctrico, dónde el principal el objetivo es brindar una alternativa económica y competitiva a la generación distribuida basada en energía renovable como es la fotovoltaica, mini hidráulicas o eólica, ya que dichas unidades de generación puede construir un conjunto de recursos renovables en el mercado mayorista de electricidad[28]. El aumento de la población conlleva a un mayor factor de frecuencia de uso de dispositivos eléctricos, aumentando de esta manera la demanda de energía eléctrica en gran nivel. Para solucionar este tipo de problemas, se deben analizar diferentes alternativas para satisfacer la demanda de energía eléctrica a nivel local, esto se puede dar a través de una VPP y de generación distribuida [22],[29],[15]. Como se observa en la Figura 1, la VPP es un conjunto de micro redes con unidades de generación distribuida de diferentes tecnologías para funcionar como una planta de energía única que tiene la capacidad de administrar el flujo de energía eléctrica entre estas unidades para obtener un mejor funcionamiento del sistema [4]. El concepto de VPP a veces puede ser similar con la micro red, a continuación se indican ciertos criterios entre ambos conceptos para diferenciarlos:

- Tecnología: la VPP y la micro red tienen un conjunto de varios tipos de generación con diferentes recursos, disponen de almacenamiento y control.
- Ubicación: la VPP tiene una amplia cobertura que conecta múltiples recursos energéticos en diferentes ubicaciones geográficas, mientras que una micro red tiene una misma ubicación geográfica en la que puede funcionar de forma autónoma y puede ser parte de un gran sistema de recursos energéticos.
- Propósito: por un lado la VPP sirve como un recurso de suministro a la red, otorgando confiabilidad para los operadores de la red y es un sistema robusto; por otro lado, la micro red sirve como un sistema autónomo para una comunidad específica.

Una VPP tiene un sistema central de control, el EMS, y recursos de energía distribuidos así como también usuarios que son de comportamiento estocástico. Al conectarse en red todas las unidades que participan a través de una unidad de control remoto, se establece una transferencia de datos entre el sistema de control central de la VPP y demás unidades participantes. El sistema de control central puede entonces monitorear, pronosticar y despachar las unidades en red, siendo el EMS la parte principal de la VPP, está encargado de recopilar los datos de generación y demanda [13]. A su vez es el que proporciona el precio en base a la demanda en el mercado eléctrico en función a la disponibilidad energética en el tiempo.

El objetivo comercial de las VPP es maximizar la ganancia de la generación distribuida, teniendo en cuenta algunas incertidumbres como es el precio de mercado y la producción de energía renovable en base a sus recursos. Una VPP como tal es una combinación de unidades generadoras dispersas, tanto renovable como convencional, BESS y una demanda controlable, la misma que está habilitada para participar en los mercados mayoristas de energía como una planta de

energía independiente con el fin de intercambiar su energía eléctrica para minimizar el costo [29].

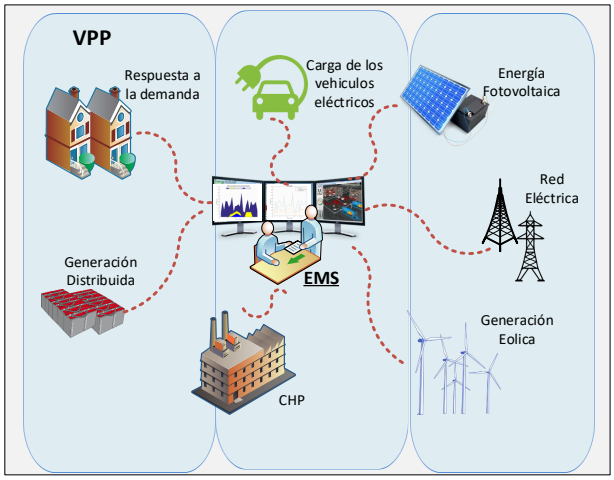

Figura 2. Elementos de una VPP.

El objetivo principal de la VPP es optimizar su despacho y obtener ganancias, para lograr este objetivo, la VPP comercializa su excedente de energía en un mercado eléctrico y a su vez maneja su DR internamente con los consumidores en su territorio[17]. Cuando el precio de la electricidad en el mercado eléctrico es bajo, la VPP puede comprar energía en el mercado eléctrico y cargar energía en los BESS. Pero cuando el precio de la electricidad en el mercado eléctrico es alto, la VPP disminuye la potencia obtenida de la carga controlada y la potencia de descarga de los BESS. Es importante mencionar que los generadores de VPP podrían utilizar combustibles fósiles y fuentes de energía renovables[20][14].

A demás la participación de una VPP en el mercado eléctrico tiene la figura de un generador adicional. Otro de los objetivos de una VPP es aliviar la carga en la red eléctrica mediante la distribución inteligente de la energía generada por las unidades individuales de la VPP durante los períodos de alta carga [10][25].

Por un lado, las VPP pueden reducir la demanda de unidades de generación tradicionales y resolver el problema de la aleatoriedad de la nueva energía integrada en la red eléctrica debido a las características estructurales. Por otro lado, pueden reducir la pérdida de generación de energía y la carga máxima, mejorar la confiabilidad del suministro de energía, minimizar la contaminación ambiental y optimizar el despacho de recursos como una nueva tecnología[16]. Para la red de distribución, la VPP tiene 4 funciones:

1. Elaborar planes de generación de energía a corto, mediano y largo plazo y resolver los eventos no programados según sea necesario.
2. Pronosticar la producción incierta de la VPP según los datos del entorno meteorológico, y llevar a cabo la simulación y evaluación de factibilidad sobre la base del plan de generación anticipado.
3. Verificar la finalización del plan diario de generación de energía y realizar la optimización y el ajuste del día siguiente de acuerdo con la situación en tiempo real.
4. Regulación de demandas picos y frecuencias[22][5].

A nivel mundial con la entrada de más energías renovables, las fluctuaciones en la red eléctrica de distribución han aumentando. Al pronosticar, monitorear y controlar de manera inteligente la alimentación y el consumo de carga, las VPP puede equilibrar las fluctuaciones de frecuencia en la red[12]. Como ejemplo si la frecuencia de la red se vuelve inestable, un grupo de activos flexibles se activa y proporciona energía en segundos, es decir la VPP actúa como un sistema eléctrico de potencia independiente.

II-D. Fuentes Renovables de la VPP

La VPP dispone de recursos renovable con incertidumbre para la generación de energía, se ha analizado de diferente forma a cada una de las fuentes de energía que se detallan a continuación:

II-D1. Central fotovoltaica: Los datos del recurso solar se recomienda que sea de una muestra de al menos 11 meses de diferentes zonas con alta capacidad para la generación de energía fotovoltaica. El valor de la capacidad de generación de energía eléctrica depende de diferentes factores de comportamiento incierto, dichos factores son la irradianza, temperatura ambiente y caracteristicas de fabricación propias de cada tipo de tecnología de paneles solares.

$$T_{\text{celda}} = T_{\text{ambiente}} + G\left(\frac{NOCT - 20C}{0{,}8kWm^{-2}}\right) \tag{1}$$

$$n = P_{\text{cell}}\,(G)\,(1+\alpha)\,(T_{\text{celda}} - 25C) \tag{2}$$

Donde:

T_{celda}	Temperatura de celda [ºC]
T_a	Temperatura ambiental [ºC]
T_{nom}	Temperatura nominal [ºC]
G	Irradiación del sol [W/m^{-2}]
$NOCT$	Temperatura de la celda en operación normal
n	Rendimiento de la celda
α	Constante según el tipo de panel solar

El NOCT se aconseja un valor de 45° C, la temperatura de la celda va cambiando de acuerdo a la temperatura e irradiación de cada hora de acuerdo a sus condiciones. El rendimiento de la celda esta expresada mediante (2) y depende de la potencia de la celda, la irradiación, la temperatura de la celda y la constante según el tipo de panel solar.

$$PFV = (n)\,(G)\,(A) \tag{3}$$

La ecuación (3) indica la potencia del panel fotovoltaico y la misma está dado por el rendimiento, la irradiación y el área del panel solar.

II-D2. Central Eólica: Para el modelo de la central eólica de la VPP se consideró datos de la velocidad del viento a través del análisis en base a la distribución de Weibull, se calcula la probabilidad de ocurrencia de cada velocidad en la hora analizada. De esta manera se determina la cantidad del recurso eólico para la producción de energía en cada hora para su posterior asignación.

$$P_{\text{eólico}} = \frac{1}{2}(\rho)(A)\left(V^3\right) \tag{4}$$

La potencia eólica está dada por el área del rotor, la densidad del aire y la velocidad del viento como se lo expresa en la ecuación (4).

II-D3. Central de Cogeneración (CHP): Las centrales de energía que utilizan la cogeneración son aquellas que producen simultáneamente electricidad y calor para diferente utilidades en pro de su beneficio. Su principal caracterítica es su alta eficiencia (rendimiento) en la transformación energética con impacto ambiental muy leve.

$$P_{\text{CHP}} = \frac{(TBG)(CV)(n)}{(860)(hpd)} \tag{5}$$

Donde:

P_{CHP}	Potencia del CHP
hdp	Horas de operación
n	Eficiencia
TGB	valor calorífico

II-D4. Generación Distribuida: La generación distribuida es la clave para la aplicación de los programas de DR en horas picos para de esta manera aliviar de carga al sistema, los banco de baterías son esenciales para dicho trabajo, ya que almacenan energía y su descarga comienza en las horas de mayor demanda. La ecuación (6) indica el comportamiento de las baterías.

$$SOC = (SOC(t-1))\frac{(E)}{(Vb)(Cb)} \tag{6}$$

$$Pb = (Ew)(Es)(EL) \tag{7}$$

Donde:

Vb	Voltaje de Bateria
Cb	Capacidad
E	Capacidad almacenada en las baterias

La potencia de la VPP es fundamental para el análisis del presente trabajo, es la suma de todos las potencias de los recursos generados por cada central durante todo el día expresado en la ecuación (8).

$$PVPP = \sum_{i=1}^{24} PFV1 + PFV2 + Peolica + PCHP + Pb \tag{8}$$

A través de la disponibilidad del recurso energético en cada hora, cada central obtiene el total de producción de la VPP y con ello se puede determinar los excedentes de la planta virtual y el comportamiento de la misma.

II-E. Algoritmo del Modelo Hungariano

El modelo Hungariano es un modelo creado para resolver problemas de asignación, en base al teorema sobre elementos ceros de una matriz, considerandose un plan de asignación óptimo que asigna un trabajo único de un conjunto finito de diferentes trabajos a un solo individuo de un grupo de individuos, considerando principalmente las cualidades que posee cada individuo para ejecutar cada trabajo [18]. Existen diferentes heurísticas y modelos matemáticos que son utilizados para resolver problemas de asignación de solución compleja, entre estos destacan el Algoritmo de Colonia de Hormigas, el Algoritmo de Enjambre de Particulas (PSO), algoritmo genético y el Algoritmo Hungariano, este último se basa en la teoría de que un plan de asignación óptimo no cambiará más que un número constante de columnas o filas de una matriz de eficiencia o matriz de asignación óptima, siendo además un algoritmo en base a un proceso de solo seis pasos, siempre que los parámetros de ingreso sean adecuados [18].

Los pasos para la formación del algoritmo Húngaro se indican a continuación:

1. La matriz de asignación de recursos se construye en (A0), en la misma que se detalla las potencias de las centrales de generación y la demanda que tiene que cubrir.
2. Los elementos de cada fila de la matriz A0 restar para el valor mínimo de cada fila, creando una nueva matriz A1.
3. Los elementos de cada columna de la matriz A1 restar para el mínimo de cada columna, formando la matriz A2.
4. Todos los valores de cero de la matriz A2 deben ser cubiertos por líneas rectas, es decir, se cubre la mayor cantidad de ceros con la menor cantidad de líneas, si el número de líneas es igual al tamaño de la matriz A2, saltar el paso 5 e ir directo al paso 6.
5. Todos los elementos que no estén cubiertos por líneas restar para el mínimo de los elementos que no estén cubiertos; formando una nueva matriz A3. Reemplazar la matriz A3 por la matriz A2 y regresar a paso 4.

6. El plan de asignación óptimo de recursos se puede obtener asignando las potencias disponibles para cada demanda, en base a la ubicación de elementos cero de la matriz A2.

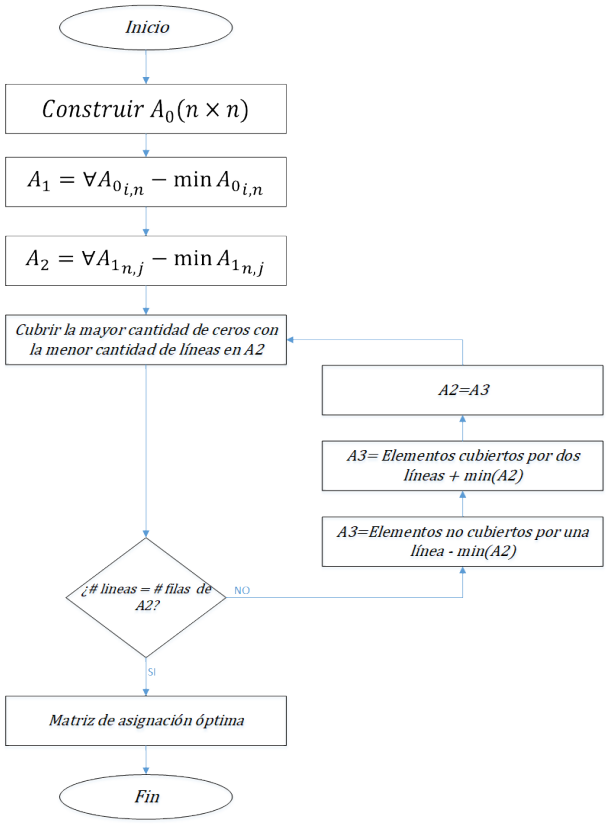

Figura 3. Diagrama de flujo del Algoritmo Hungariano

En la figura 3 se muestra de manera sintetizada el diagrama de flujo del Algoritmo Hungariano acorde lo antes descrito.

III. Problemática

La razón de estudio de este trabajo es la asignación de recursos energéticos de la VPP, para esto se consideraron ciertas particularidades como es la aleatoriedad del conjunto de datos de los recursos naturales tales como la velocidad del viento y la irradiación, también se considero una desviación estándar de los datos de la demanda del 15 %, con el fin de buscar aletoriedad e incertidumbre en las mismas y por último se considero, que la asignación de recursos tenga con corte horario. En otras palabras se pretende realizar el despacho de la VPP de 24 horas, utilizando la generación interna de la VPP para cubrir con su demanda, considerando la aletoriedad de sus variables y beneficios para la VPP y la red. Se propuso un modelo de VPP con caracteríticas propias de generación y carga, sin olvidar que la VPP es el conjunto de varias micro redes que se unen para un beneficio mayor

En la figura 4 se detalla las conexiones de las micro redes de la VPP para el caso de estudio, como se observa la VPP tiene en cada barra una micro red y el conjunto de ellas forman la VPP para el análisis del presente trabajo. La VPP tiene

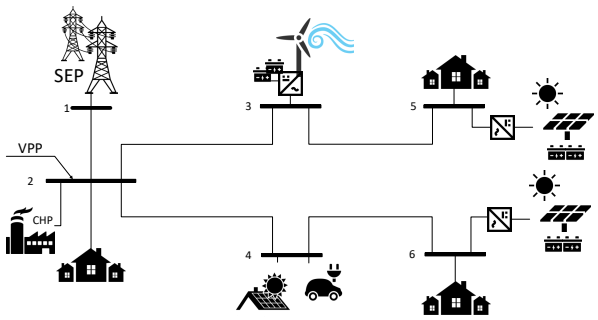

Figura 4. Configuración de la VPP en este estudio.

cuatro tipos de generadores, eólico, fotovoltaico, térmico y generación distribuida; y sus características de cada una de ellas se detallan en la tabla 1. El análisis de la VPP se lo realiza en la barra 2, la misma que es el punto de intercambio de energía con el sistema eléctrico, ya sea entrega de energía del SEP a la VPP o viceversa. La VPP está conformada por 5 barras, cada una de las barras expresa una micro red diferente con su propia ubicación y características diferentes de capacidad de generación.

Tabla I
Capacidad de Generación de la VPP

Tipo de tecnología	Potencia Instalada
Cogeneración - CHP	10 [MW]
Fotovoltaica 1	7 [MW]
Fotovoltaica 2	7 [MW]
Eólica	10 [MW]
Generación Distribuida	3 [MW]

En la Tabla I se expresan los tipos de generación que predomina en cada micro red de la VPP, es decir en la micro red 2 conectada en la barra 3 existe una importante generación de tipo eólico.

La asignación de los recursos de la VPP se programó en función al modelo Hungariano, el cual es un modelo de optimización que se basa en una matriz de nxn dimensiones, el algoritmo adaptado a las necesidades de este trabajo, identifica el número de barras que la VPP con las características de cada una, es decir, la capacidad máxima de generación y la demanda para armar la matriz. Al ser un análisis horario asignará la cantidad de potencia de cada central de generación hasta cubrir con la demanda de la VPP e indicara el excedente disponible en cada hora que será puesta en consideración del mercado eléctrico. En base a la aleatoriedad y disponibilidad de los recursos naturales y demanda, el algoritmo irá despachando en un periodo horario a cada una de las tecnologías instaladas en la VPP, con lo antes mencionado se garantiza un análisis genérico ya que el modelo es capaz de identificar la capacidad de generación en función del recurso y la desviación de la demanda a cubrir en cada hora.

III-A. Heurística para la asiganción de recursos

La Heurística planteada para la asignación de recursos se la realizo en base al modelo Hungariano para posterior despacho óptimo acorde a flujos óptimos de potencia, en la tabla II se detalla el pseudocódigo en la cual se indica el proceso para la asignación de los recursos de la VPP, mediante las potencias del conjunto de las micro redes que conforman la VPP.
El fin de esta heurística del despacho de energía de la VPP es garantizar que la demanda interna este cubierta siempre por la generación propia y aportar a la red eléctrica con el excedente de energía producido en la VPP, de esta manera se realiza una gestión de la demanda aplanando la curva en horas pico y utilizando recursos renovables. Se analizará también el flujo óptimo de potencia de la VPP para garantizar la confiabilidad y viabilidad del sistema.
La función objetivo propuesta en la heurística es maximizar el porcentaje de potencia despachada con la VPP para cubrir con su demanda interna.

$$max \rightarrow Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{24} PD_{ij} \times D_{\mathrm{ij}} \tag{9}$$

Donde:

PD_{ij} porcentaje de potencia que entrega cada central
D_{ij} Demanda

s.t.

$$\sum_{i=1}^{n} D_{\mathrm{ij}} = 1, j \qquad = 1,2,...,n \tag{10}$$

$$\sum_{j=1}^{n} D_{\mathrm{ij}} = 1, i \qquad = 1,2,...,n \tag{11}$$

En (12) se muestra el porcentaje de potencia que es capaz de entregar cada central de la VPP en diferentes periodos de tiempo (cada hora) para cubrir su demanda propia.

$$PD_{\mathrm{ij}} = \frac{Pn_{\mathrm{ij}}}{Dmax_{\mathrm{i,j}}} \tag{12}$$

Donde:

Pn_{ij} potencia generada en cada barra
$Dmax_{\mathrm{ij}}$ potencia demanda máxima en cada barra

En la ecuación (13) se representa la cantidad de potencia excedente que la VPP puede generar para entregar a la red a través del punto de entrega en la barra 2, considerando que debe primero cubrir con toda la demanda propia de la VPP.

$$PE_{VPP} = \sum_{j=1}^{24} \sum_{i=1}^{n} P_{max_{i,j}} - P_{max_{i,j}} \times PD_{\mathrm{i,j}} \tag{13}$$

En la ecuación (14) se muestra como se debe ir formando la matriz de porcentaje de potencia en base a la demanda para posteriormente optimizar la asignación de recursos en cada barra mediante el algoritmo Hungariano.

$$PD_0 = \begin{pmatrix} PD_{11} & PD_{12} & PD_{1\mathrm{n}} \\ PD_{21} & PD_{22} & PD_{2\mathrm{n}} \\ PD_{\mathrm{n}1} & PD_{\mathrm{n}2} & PD_{\mathrm{nn}} \end{pmatrix} \tag{14}$$

A todos los elementos de las filas de la matriz de la ecuación (14) se tiene que restar el mínimo de cada fila, consiguiendo alterar la matriz principal como se muestra en la ecuación (15). La matriz P0 contiene las potencias de todos los generadores y las demandas registrada en cada una de las horas, el análisis se los hace para las 24 horas.

$$PD^1_{\mathrm{ij}} = PD_{\mathrm{ij}} - min\left(PD_{\mathrm{i}1}, PD_{\mathrm{i}2}, ..., PD_{\mathrm{in}}\right) \tag{15}$$

La ecuación (15) son los elementos de la matriz principal alterada P1. Posteriormente a todos los elementos de cada columna de la matriz P1 se debe restar el mínimo de cada columna, nuevamente alterando la matriz P1 como se muestra en la ecuación (16).

$$PD^2_{\mathrm{ij}} = PD_{\mathrm{ij}} - min\left(PD^2_{\mathrm{i}1}, PD^2_{\mathrm{i}2}, ..., PD^2_{\mathrm{in}}\right) \tag{16}$$

La ecuación (16) son los elementos que conforman la matriz P2. Referidos en el paso 5 explicado anteriormente. Para el final del modelo la matriz de la solución se muestra en la ecuación (17) y (18).

$$PD^3_{\mathrm{ijNC}} = PD^2_{\mathrm{ijNC}} - PD_{\mathrm{minNC}} \tag{17}$$

$$PD^3_{\mathrm{ij2C}} = PD^2_{\mathrm{ij2C}} + PD_{\mathrm{minNC}} \tag{18}$$

En la ecuación (17) hace referencia a los elementos diferentes de cero de la matriz formada en la ecuación (16), la ecuación (18) son los ceros que intersecan en las líneas de la matriz P2, representando la asignación única a cada grupo generador de cubrir con la demanda específica en cada hora.

III-B. Pseudocódigo

Partiendo del modelo matemático de la heurística propuesta en base al modelo de asignación óptima Hungariano se puede determinar la cantidad de recurso necesario para cubrir con la demanda de una VPP, así como el excedente de potencia que puede generar para poner a disposición del mercado

eléctrico. Obteniendo de esta manera un modelo de asignación de recursos y despacho óptimo.

Tabla II
PSEUDOCÓDIGO PARA LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS

Heurística basada en el Modelo Hungariano para la Asignación de Recursos

Primero: INICIO
Inicializa t (0:1:24)
Inicializa Pd, Pij, Pmax, Pn

Segundo: genera aleatoriedades de recursos solar, viento y demanda y calcula la potencia

$$PD_{ij} = \frac{Pn_{ij}}{\text{Pmax}}$$

Tercero: construir la matriz de afectación Po para t
For t 0:1:24

$$P_0 = \begin{bmatrix} PD_{11} & PD_{12} & PD_{1n} \\ PD_{21} & PD_{22} & PD_{2n} \\ PD_{n1} & PD_{n2} & PD_{nn} \end{bmatrix}$$

Cuarto: construir la matriz A1

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

Quinto: matriz solución

$$PD_{ij}^{2} = PD_{ij} - min(PD_{1j}^{2}, PD_{2j}^{2}, \dots, PD_{nj}^{2})$$
$$PD_{ij_NC}^{3} = PD_{ij_NC}^{2} - PD_{min_NC}$$
$$PD_{ij_2C}^{3} = PD_{ij_2C}^{2} + PD_{min_NC}$$

end For

Sexto: Gráfica Asignación recursos en la VPP

Plot (t, Po(i))

En la tabla 2 se detalla el pseudocódigo de la heurística propuesta e implementada.

IV. CASOS DE ESTUDIO

Los casos de estudio propuestos en el presente trabajo tienen como objetivo analizar la asignación de potencia en la VPP y determinar el excedente para el intercambio con la red del mercado eléctrico, mediante el despacho óptimo en base al algortimo Hungariano como se detalló en la sección III.
La VPP está conformada por un total de 6 micro redes, un total de 37 MW de potencia máxima instalada entre las que se utilizan recursos renovables, generación distribuida y cogeneración; y tiene alrededor de 14.5 MW de demanda máxima en horas puntas, en base al análisis estocástico de un histórico de demanda de una red de distribución. En base a los antecedentes descritos se entiende que la generación de la VPP cubre sin problemas la demanda interna, sin embargo se debe considerar la incertidumbre de los recursos de la velocidad del viento e irradiación solar.
Para el análisis se propuso 2 casos de estudio para la asignación de la VPP, el primero es un caso en día laboral y el otro en un día no laboral.
A la problemática descrita en las secciones anteriores se incorporó el análisis de un flujo óptimo de potencia de la VPP para cada uno de los casos de estudio, para tener una heurística óptima.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V-A. Caso de estudio 1: día no laboral

En la Figura 5 se detalla el despacho de potencia de la VPP durante las 24 horas, en la cual se despacha principalmente la potencia de la cogeneración CHP, ya que este tipo de tecnología es muy eficiente y siempre mantiene la misma potencia y no depende del recursos natural, le sigue la central eólica en una cantidad considerable ya que el recurso de la velocidad del viento es bueno en la zona de la cuál se tomo la base de datos históricos, las centrales fotovoltaicas empiezan a generar desde la hora 7 hasta la hora 18, debido a que son las horas que se posee recurso solar y la generación distribuida completa el despacho en las horas pico. De esta manera el EMS de la VPP abastece a su demanda interna por completo. Adicionalmente en esta gráfica se puede comprobar el correcto dimensionamiento de las dos centrales fotovoltaicas ya que aportan en las horas donde se encuentra el recurso solar y por otro lado el programa de DR entra en operación en las horas de demanda punta a través del almacenamiento en las baterías. La suma de todas las potencias de la VPP es igual a la carga interna.

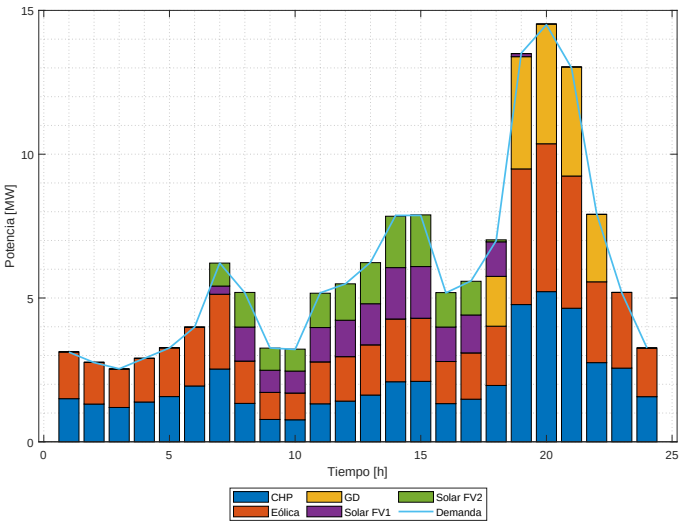

Figura 5. Despacho demanda interna de la VPP caso día no laboral.

La micro red 1, conectada a la barra 2 del diagrama de la VPP en donde se encuentra el CHP aporta para cubrir la demanda entre 1 MW a 5 MW en cada hora. La micro red 2, conectada a la barra 3 contiene la central eólica con una generación entre 0.5 y 5 MW de aporte por hora a la VPP. La micro red 3 y micro red 4 conectados en las barras 5 y

6 respectivamente tienen una generación fotovoltaica similar, sin embargo se observa que la central de generación solar FV2 tiene una mayor participación, esto se debe a que su recurso solar es mejor; y por último la micro red 5, conectada a las barra 4 es una de las más importantes ya que dispone de un sistema de almacenamiento el cual sirve en las horas de demanda máxima, donde interviene la DR. Se debe notar que si no se tuviera las baterías para el aporte de potencia entre las 18 y 22 horas, la VPP no pudieran cubrir con la demanda, ya que en dichas horas la generación fotovoltaicas es nula y la capacidad entre CHP y la central eólica no logran abastecer su propia demanda, especialmente cuando el recurso de la velocidad del viento disminuya y por ende la capacidad de generación de la VPP.

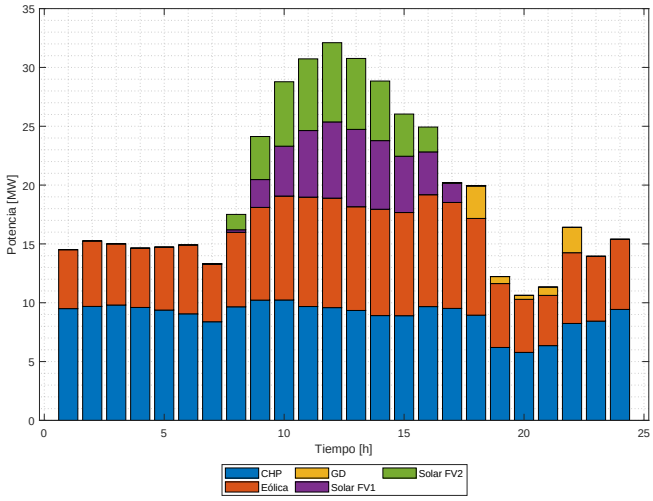

Figura 6. Excedente de la VPP caso día no laboral.

Tabla III
GENERACIÓN POR TIPO DE TECNOLOGÍA EN LA VPP

Hora	CHP	Eolico	RD	FV1	FV2
1	9.464	5.245	0	0	0
2	9.666	5.659	0	0	0
3	9.805	5.336	0	0	0
4	9.534	5.058	0	0	0
5	9.366	5.344	0	0	0
6	8.992	5.828	0	0	0
7	8.438	4.928	0	0	0
8	9.671	6.351	0	0.216	1.312
9	10	7.837	0	2.363	3.658
10	10	5.058	0	4.242	5.481
11	9.673	8.965	0	5.653	6.088
12	9.585	9.198	0	6.476	6.734
13	9.326	8.762	0	6.566	6.026
14	8.899	9.143	0	5.824	5.055
15	8.901	8.797	0	4.785	3.588
16	9.675	9.598	0	3.639	2.115
17	9.512	9.080	0	1.635	0.058
18	9.051	8.110	2.776	0.015	0
19	6.238	5.355	0.605	0	0
20	5.812	4.410	0.354	0	0
21	6.312	4.096	0.721	0	0
22	8.197	6.119	2.154	0	0
23	8.402	5.516	0	0	0
24	9.374	6.129 8	0	0	0

Una vez que la VPP ha cubierto el 100 % de la demanda interna y se registra una disponibilidad adicional en las centrales de generación, el EMS de la VPP procede con el despacho del excedente al sistema eléctrico externo, de esta manera se contribuye no solo con el alivio de carga de la demanda propia de la VPP, si no también con potencia para abastecer la demanda de la red del mercado eléctrico. Como se puede observar en la figura 6, se muestra la cantidad de potencia que puedo generar cada tipo de tecnología en cada hora del día en base a sus recursos. En la tabla 3 se detalla la cantidad de potencia de cada central que aporta para el excedente y en la tabla 4 se indica el flujo de potencia de la VPP de acuerdo a las conexiones de las barras detalladas en la figura 4.

Tabla IV
FLUJO DE POTENCIA VPP CASO NO LABORAL

Hora	DE 1 A 2	DE 2 A 3	DE 3 A 5	DE 2 A 4	DE 4 A 6
1	-14.71	-5.25	0	0	0
2	-15.33	-5.66	0	0	0
3	-15.14	-5.34	0	0	0
4	-14.59	-5.06	0	0	0
5	-14.71	-5.34	0	0	0
6	-14.82	-5.83	0	0	0
7	-13.37	-4.93	0	0	0
8	-17.55	-6.57	-0.22	-1.31	-1.312
9	-23.86	-10.20	-2.36	-3.66	-3.66
10	-28.69	-13.21	-4.24	-5.48	-5.48
11	-30.61	-14.85	-5.65	5-6.09	-6.09
12	-31.85	-15.53	-6.48	-6.73	-6.73
13	-30.68	-15.33	-6.57	-6.03	-6.03
14	-28.92	-14.97	-5.82	-5.06	-5.06
15	-26.07	-13.58	-4.79	-3.59	-3.59
16	-25.03	-13.24	-3.64	-2.12	-2.12
17	-20.28	-10.71	-1.63	-0.06	-0.06
18	-19.95	-8.12	-0.02	-2.78	0
19	-12.20	-5.35	0	-0.60	0
20	-10.58	-4.41	0	-0.35	0
21	-11.13	-4.10	0	-0.72	0
22	-16.47	-6.12	0	-2.15	0
23	-13.92	-5.52	0	0	0
24	-15.50	-6.13	0	0	0

En la tabla 4 se indica los valores de potencia en MW que registra cada línea que conectan a las barras, es decir, en la conexión “ DE 1 A 2” la cual es el punto de intercambio con el SEP nos indica el valor de potencia que la VPP entrega a la red externa, el valor negativo que se muestra se debe a que el flujo va de la barra 2 a la barra 1, por consiguiente la VPP entrega potencia.

De la capacidad instalada en la VPP el 72 % corresponde a energía limpia que proviene de recursos naturales amigables para el ambiente y solo el 27 % constituye otro tipo de generación, la cual no es energía libre de efectos contaminantes. En la figura 7 se muestra el resumen del análisis realizado en las figuras 5 y 6, se puede observar claramente cuál es el propósito de una VPP, por un lado es cubrir con su demanda garantizando las mejores condiciones para sus abonados y por otro lado aliviando la carga del sistema en horas punta y entrega de energía a la red gracias a su excedente. En la parte superior de la figura se detalla la asignación de recursos de la VPP de acuerdo a sus capacidades y recursos disponibles hora a hora, mientras que en la parte inferior se indica la demanda

de la VPP y el excedente, se observa adicionalmente que la mayor parte de aportación que se puede dar a la red se registra cuando los recursos de las centrales fotovoltaicos están en sus niveles máximos, es decir entre la hora 8 y la hora 18.

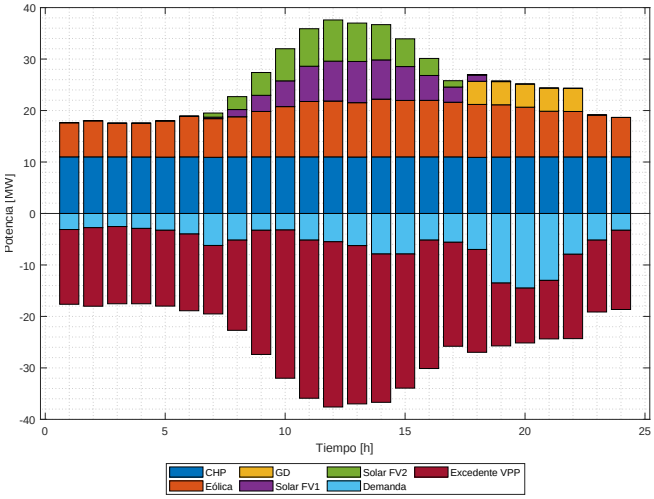

Figura 7. Análisis de potencia de la VPP caso día no laboral.

V-B. Caso de estudio 2: día laborable

Unos de los casos de estudio propuesta para este trabajo es el de conocer como es el comportamiento de la VPP en un día laborable, en el que las actividades y producción en fábricas se desarrollan de manera normal. Como es de conocimiento la demanda por su condición de aleatoriedad no sigue un mismo perfil como es el caso de una central de generación, en este sentido los operadores y planificadores del SEP se les complica el poder determinar la demanda con un bajo nivel de error.

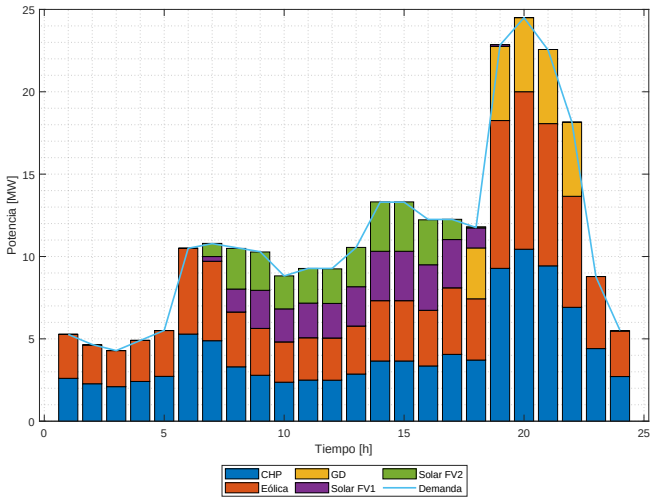

Figura 8. Despacho demanda interna de la VPP caso día laboral.

Para este caso de estudio se escogió una curva de demanda de un día laborable, en la que la demanda registra un incremento, reduciendo el porcentaje de aporte de excedente a la red externa, ya que lo principal para el EMS de la VPP es cubrir su demanda interna, lo descrito anteriormente se visualiza en la figura 8.

En la figura 9 observamos el excedente de la VPP para el caso de estudio de un día laborable, en este caso de estudio se registra un incremento en la demanda interna especialmente en las horas pico por lo que los valores de excedentes para dichas horas disminuyen respecto al caso anterior, lo que indica que la VPP cubrió en su totalidad la demanda interna, sin necesitar compra a la red externa pero reduce su potencia para poner a disposición de la red. En las horas puntas la VPP tiene una participación de DR.

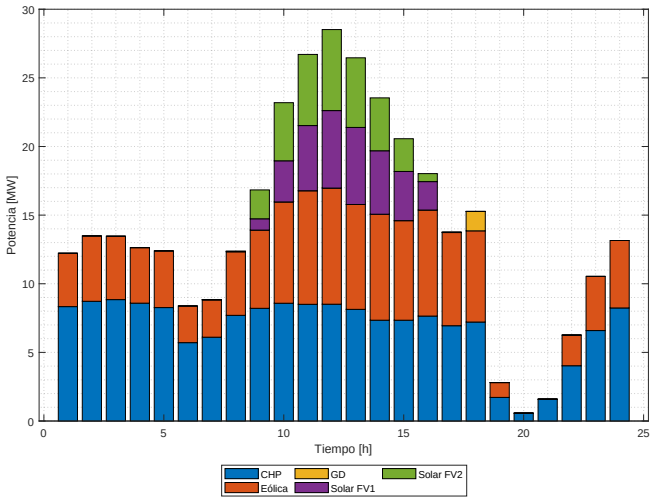

Figura 9. Excedente de la VPP Caso de estudio: día laborable.

Tabla V
GENERACIÓN POR TIPO DE TECNOLOGÍA EN LA VPP

Hora	CHP	Eolico	RD	FV1	FV2
1	8.40	4.25	0	0	0
2	8.68	4.72	0	0	0
3	8.91	4.50	0	0	0
4	8.59	4.10	0	0	0
5	8.28	3.98	0	0	0
6	5.69	2.69	0	0	0
7	6.06	2.67	0	0	0
8	7.70	4.65	0	0	0.04
9	8.14	6.07	0	0.82	2.10
10	8.56	7.71	0	2.99	4.23
11	8.49	8.13	0	4.74	5.18
12	8.51	8.35	0	5.64	5.90
13	8.07	7.612	0	5.61	5.07
14	7.36	7.70	0	4.63	3.86
15	7.34	7.44	0	3.58	2.39
16	7.64	7.48	0	2.07	0.58
17	6.94	6.57	0	0.02	0
18	7.25	6.75	1.43	0	0
19	1.77	1.32	0	0	0
20	0.54	0.01	0	0	0
21	1.71	0.17	0	0	0
22	4.04	2.02	0	0	0
23	6.59	3.89	0	0	0
24	8.28	4.94	0	0	0

En la tabla 5 se detalla la cantidad de potencia de cada

central que aporta para el excedente y en la tabla 6 se indica el flujo de potencia de la VPP de acuerdo a las conexiones de las barras detalladas en la figura 4.
En la tabla 6 se indica los valores de potencia en MW resultado del flujo óptimo de potencia que registra cada línea que conectan a las barras, se puede observar que en las horas 19 a 21, la VPP dispone de muy poco excedente ya que su demanda tuvo incremento considerable.

Tabla VI
FLUJO DE POTENCIA VPP CASO LABORAL

Hora	DE 1 A 2	DE 2 A 3	DE 3 A 5	DE 2 A 4	DE 4 A 6
1	-12.65	-4.25	0	0	0
2	-13.39	-4.72	0	0	0
3	-13.41	-4.50	0	0	0
4	-12.69	-4.10	0	0	0
5	-12.26	-3.98	0	0	0
6	-8.37	-2.69	0	0	0
7	-8.73	-2.67	0	0	0
8	-12.40	-4.65	0	-0.04	-0.04
9	-17.12	-6.89	-0.82	-2.10	-2.10
10	-23.49	-10.70	-2.99	-4.23	-4.23
11	-26.54	-12.87	-4.74	-5.18	-5.18
12	-28.40	-14.00	-5.64	-5.90	-5.90
13	-26.36	-13.22	-5.61	-5.07	-5.07
14	-23.54	-12.33	-4.63	-3.86	-3.86
15	-20.75	-11.02	-3.58	-2.39	-2.39
16	-17.76	-9.54	-2.07	-0.58	-0.58
17	-13.53	-6.59	-0.02	0	0
18	-15.43	-6.75	0	-1.43	0
19	-3.10	-1.32	0	0	0
20	-0.55	-0.01	0	0	0
21	-1.88	-0.17	0	0	0
22	-6.06	-2.02	0	0	0
23	-10.48	-3.89	0	0	0
24	-13.22	-4.94	0	0	0

Las condiciones de la VPP se mantienen para los dos casos de estudio, en la figura 9 se puede observar que la demanda incrementa en 10 puntos de potencia lo que representan un 20 % de la demanda versus el caso de estudio: día laborable. Esto conlleva a que el EMS de la VPP disponga de una mayor

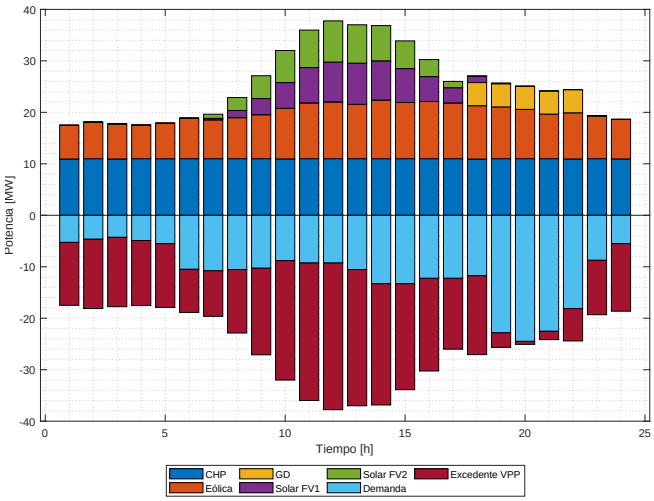

Figura 10. Análisis de potencia de la VPP caso día laboral.

cantidad de potencia para poner a disposición de la red, sin embargo en estos días de análisis la red tampoco va a tener una exigencia mayor en carga, por ello en estos días la VPP debería considerarlo en la planificación de los mantenimientos de sus instalaciones.

En la figura 10 se observa que la demanda en horas de demanda pico sube y prácticamente la VPP cubre la carga con todos los recursos que disponen a esa hora y los excedente son practicamente nulos, durante la hora 20 se despacha la generación del CHP, eolica y RD.

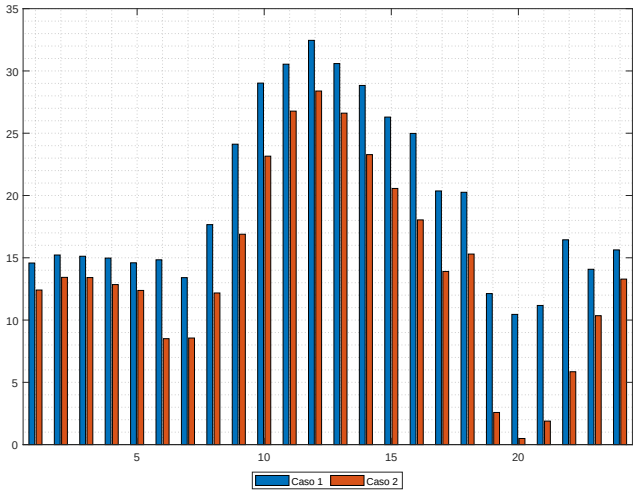

Figura 11. Análisis de comparación de potencia de la VPP de los casos de estudio.

En la figura 11 se realiza el análisis de comparación entre las cantidades de potencia excedente de la VPP que puede entregar a la red para cada caso de estudio, concluyendo que en el caso 1 cuando es un día no laborable, la VPP dispone de una mayor cantidad de potencia que puede entregar a la red, especialmente en las horas de demanda punta cuando la diferencia es significativamente mayor respecto al otro caso de estudio.
El otro caso de estudio se analiza el comportamiento de la VPP en un día laboral, a pesar de la condición poco estable que tiene la demanda se conoce que en estos días la demanda es significativamente mayor, debido a las actividades industriales y cotidianas, en donde se tiene mayor consumo de energía eléctrica y por ende la VPP no posee grandes cantidades de potencia para poner a disposición de la red, especialmente en las horas de mayor demanda.

VI. CONCLUSIONES

La incertidumbre de la demanda y los recursos naturales son variables en el tiempo muy importantes al momento de asignar los recursos de potencia a las centrales de generación que conforman una VPP, ya que al no estimar la demanda ni predecir la disponibilidad de los recursos, se puede asignar de manera incorrecta los mismos y disminuir la capacidad de generación de potencia. Los excendentes como tal se traducen en beneficios para los usuarios que

integran la VPP, demostrando de esta manera que a través de una óptima gestión el concepto de VPP es viable y rentable.

Las VPP y los programas de respuesta a la demanda, son importantes implementarlos ya que ayuda a aliviar carga al sistema eléctrico en las horas de operación crítica, mejorando la confiabilidad del sistema.

El concepto de VPP es nuevo para países en vías de desarrollo como es el caso de Ecuador, por lo cual es importante realizar un estudio minucioso sobre la factibilidad de implementar este concepto en las redes eléctricas existentes, aplicar las nuevas tecnologias es importante ya que con ello se puede tener un mercado eléctrico más competitivo y además mejorar la red eléctrica en calidad, eficiencia y económia, sin embargo para poder implementar se necesita de la creación de política pública que garantice seguridad jurídica para implemetar este tipo de tecnología.

REFERENCIAS

[1] H. Cui, F. Li, Q. Hu, L. Bai, and X. Fang, "Day-ahead coordinated operation of utility-scale electricity and natural gas networks considering demand response based virtual power plants," *Applied Energy*, vol. 176, pp. 183–195, 8 2016.

[2] G. Chen and J. Li, "A fully distributed admm-based dispatch approach for virtual power plant problems," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 58, pp. 300–312, 6 2018.

[3] W. Wei, F. Liu, and S. Mei, "Energy pricing and dispatch for smart grid retailers under demand response and market price uncertainty," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, pp. 1364–1374, 5 2015.

[4] Y. Wang, X. Ai, Z. Tan, L. Yan, and S. Liu, "Interactive dispatch modes and bidding strategy of multiple virtual power plants based on demand response and game theory," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, pp. 510–519, 1 2016.

[5] B. Zhou, X. Liu, Y. Cao, C. Li, C. Y. Chung, and K. W. Chan, "Optimal scheduling of virtual power plant with battery degradation cost," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 10, pp. 712–725, 2 2016.

[6] C. Huang, D. Yue, J. Xie, Y. Li, and K. Wang, "Economic dispatch of power systems with virtual power plant based interval optimization method," *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 2, pp. 74–80, 3 2016.

[7] C. Xinhe and P. We, "Deep learning based vpp active power dispatching equivalent modelling for global dispatching optimization," *IEEE APAP*, 2019.

[8] K. P. Kumar, B. Saravanan, and K. S. Swarup, "A two stage increase-decrease algorithm to optimize distributed generation in a virtual power plant," vol. 90. Elsevier Ltd, 12 2016, pp. 276–282.

[9] S. Pazouki and M.-R. Haghifam, "The impacts of virtual power plants on multiple carrier energy networks," 2014, p. 176.

[10] S. Rahmani-Dabbagh and M. K. Sheikh-El-Eslami, "A profit sharing scheme for distributed energy resources integrated into a virtual power plant," *Applied Energy*, vol. 184, pp. 313–328, 12 2016.

[11] G. Zhang, C. Jiang, X. Wang, B. Li, and H. Zhu, "Bidding strategy analysis of virtual power plant considering demand response and uncertainty of renewable energy," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 11, pp. 3268–3277, 9 2017.

[12] M. J. Kasaei, M. Gandomkar, and J. Nikoukar, "Optimal management of renewable energy sources by virtual power plant," *Renewable Energy*, vol. 114, pp. 1180–1188, 2017.

[13] H. T. Nguyen, L. B. Le, and Z. Wang, "A bidding strategy for virtual power plants with the intraday demand response exchange market using the stochastic programming," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 54, pp. 3044–3055, 7 2018.

[14] L. Tianqi, "Optimal scheduling of virtul power plants that ignore the cost of battery loss," *IEEE Control Systems*, 2018.

[15] A. G. Zamani, A. Zakariazadeh, S. Jadid, and A. Kazemi, "Stochastic operational scheduling of distributed energy resources in a large scale virtual power plant," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 82, pp. 608–620, 11 2016.

[16] J. Clavier, F. Bouffard, D. Rimorov, and G. Joos, "Generation dispatch techniques for remote communities with flexible demand," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, pp. 720–728, 7 2015.

[17] A. Khodaei, S. Bahramirad, and M. Shahidehpour, "Microgrid planning under uncertainty," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, pp. 2417–2425, 9 2015.

[18] B. Benalcazar, "Óptima respuesta a la demanda para estaciones de carga de vehÍculos elÉctricos con alta incertidumbre considerando," 2017.

[19] A. Thavlov and H. W. Bindner, "Utilization of flexible demand in a virtual power plant set-up," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, pp. 640–647, 3 2015.

[20] W. S. W. Abdullah, M. Osman, M. Z. A. A. Kadir, R. Verayiah, N. F. A. Aziz, and M. A. Rasheed, "Techno-economics analysis of battery energy storage system (bess) design for virtual power plant (vpp)–a case study in malaysia," *Journal of Energy Storage*, vol. 38, 6 2021.

[21] A. T. Al-Awami, N. A. Amleh, and A. M. Muqbel, "Optimal demand response bidding and pricing mechanism with fuzzy optimization: Application for a virtual power plant," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, pp. 5051–5061, 9 2017.

[22] A. Alahyari, M. Ehsan, and M. S. Mousavizadeh, "A hybrid storage-wind virtual power plant (vpp) participation in the electricity markets: A self-scheduling optimization considering price, renewable generation, and electric vehicles uncertainties," *Journal of Energy Storage*, vol. 25, 10 2019.

[23] E. G. Kardakos, C. K. Simoglou, and A. G. Bakirtzis, "Optimal offering strategy of a virtual power plant: A stochastic bi-level approach," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, pp. 794–806, 3 2016.

[24] M. K. Petersen, L. H. Hansen, J. Bendtsen, K. Edlund, and J. Stoustrup, "Heuristic optimization for the discrete virtual power plant dispatch problem," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, pp. 2910–2918, 11 2014.

[25] R. A. Hooshmand, S. M. Nosratabadi, and E. Gholipour, "Event-based scheduling of industrial technical virtual power plant considering wind and market prices stochastic behaviors - a case study in iran," *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, pp. 1748–1764, 1 2018.

[26] M. Vahedipour-Dahraie, H. Rashidizadeh-Kermani, A. Anvari-Moghaddam, and P. Siano, "Risk-averse probabilistic framework for scheduling of virtual power plants considering demand response and uncertainties," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 121, 10 2020.

[27] S. M. Nosratabadi, R. A. Hooshmand, and E. Gholipour, "Stochastic profit-based scheduling of industrial virtual power plant using the best demand response strategy," *Applied Energy*, vol. 164, pp. 590–606, 2 2016.

[28] A. Mnatsakanyan and S. W. Kennedy, "A novel demand response model with an application for a virtual power plant," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, pp. 230–237, 1 2015.

[29] L. Ju, H. Li, J. Zhao, K. Chen, Q. Tan, and Z. Tan, "Multi-objective stochastic scheduling optimization model for connecting a virtual power plant to wind-photovoltaic-electric vehicles considering uncertainties and demand response," *Energy Conversion and Management*, vol. 128, pp. 160–177, 11 2016.

.