

**“DESPACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS
INTELIGENTE BASADO EN LA ÓPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA”**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
“DESPACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS
INTELIGENTE BASADO EN LA ÓPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA”**

**AUTOR:
YELA JARAMILLO PATRICIO RAMIRO**

**TUTOR:
GARCÍA TORRES EDWIN MARCELO**

Quito, D.M. enero 2021

Patricio Ramiro Yela Jaramillo

“DESPACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS INTELIGENTE BASADO EN LA ÓPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA”

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2021

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Patricio Ramiro Yela Jaramillo (Y'1992). Realizó sus estudios de nivel secundario en Instituto Tecnológico Superior Central Técnico de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el estudio de despacho estocástico de una micro-red tipo campus inteligente basado en la óptima respuesta de la demanda. pyela@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Edwin Marcelo García Torres (Y'1978). Se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana y de Máster en Gestión de Energía en la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2016. Actualmente se encuentra trabajando para su doctorado en Ingeniería con la Universidad Pontificia Bolivariana. Área de interés: respuesta a la demanda, sistemas de automatización - Scada, microgrids, sistemas de energía renovable, generación distribuida y smart grid. Actualmente es miembro del Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group). egarcia@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

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

DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Edwin Marcelo García Torres declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “*DESPACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS INTELIGENTE BASADO EN LA ÓPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA*” realizado por Patricio Ramiro Yela Jaramillo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito D.M., enero de 2021



.....
Edwin Marcelo García Torres

C.C.: 1803087400

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Patricio Ramiro Yela Jaramillo, con documento de identificación N° 1716343098, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “*DESPACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS INTELIGENTE BASADO EN LA ÓPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA*”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, D.M., enero de 2021



.....
Patricio Ramiro Yela Jaramillo

C.C.: 1716343098

1. ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Marco teórico	4
2.1	Micro-redes eléctricas	4
2.2	Planta Fotovoltaica	4
2.3	Bancos de baterías	4
2.4	Banco de Baterías BESS	6
2.5	Capacidad nominal	6
2.6	Estado de carga (State of Charge - SOC)	6
2.7	Profundidad de descarga (Depth of Discharge - DOD)	6
2.8	Neutralidad de carbono o Carbono cero	6
2.9	Árbol de decisión	7
2.10	Sistema de gestión	7
2.11	Respuesta a la demanda	8
3	Formulación del problema	9
3.1	Pseudocódigo	10
4	Casos de estudio	10
4.1	Diseño de la micro-red	12
5	Resultados	18
5.1	Resultados Caso 1	18
5.2	Resultados Caso 2.	19
5.3	Resultados Caso 3.	20
6	Discusión	23
7	Conclusiones	23
7.1	Trabajos futuros	24
8	Referencias	24
9	Estado del arte	29
10	Resumen de indicadores	33

2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema energético con respuesta a la demanda.....	3
Figura 2. Vista de un árbol de decisión esquemático.[32].	7
Figura 3. Plano del caso de estudio Universidad Politécnica Salesiana campus SUR.	10
Figura 4. Diagrama Unifilar de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.	11
Figura 5. Curva de la demanda real de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.	11
Figura 6. Diagrama Unifilar de los bloques A, B, G, bombas y ascensores	11
Figura 7. Curva de la demanda de los bloques A, B, G, bombas y ascensores.....	12
Figura 8. Diagrama Unifilar de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.	12
Figura 9. La curva de la demanda de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.	12
Figura 10. Plano con la colocación de los paneles fotovoltaicos.	12
Figura 11. Curva de radiación solar.	13
Figura 12. Diagrama Unifilar con el sistema fotovoltaico de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.....	13
Figura 13. Diagrama Unifilar con el sistema fotovoltaico de los bloques A, B, G, bombas y ascensores.....	14
Figura 14. Diagrama Unifilar con el sistema fotovoltaico de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.....	14
Figura 15. Comportamiento Fotovoltaico bloques A, B, G, bombas y ascensores.....	14
Figura 16. Comportamiento Fotovoltaico bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.	15
Figura 17. Comportamiento Fotovoltaico bloques I, E, bloque automotriz y CNC.	15
Figura 18. Comparativa entre generación y demanda bloques A, B, G, bombas y ascensores.....	15
Figura 19. Comparativa entre generación y demanda bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.....	15
Figura 20. Comparativa entre generación y demanda bloques I, E, bloque automotriz y CNC.	15
Figura 21. Árbol de decisión de una óptima respuesta a la demanda de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.....	16

Figura 22. Árbol de decisión de una óptima respuesta a la demanda de los bloques A, B, G, bombas y ascensores.	17
Figura 23. Árbol de decisión de una óptima respuesta a la demanda de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.	18
Figura 24. Despacho óptimo de la energía de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.	18
Figura 25. Verificación del despacho óptimo de la energía de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.	19
Figura 26. Emisiones de CO2 reducidas con el sistema fotovoltaico implementado en los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.	19
Figura 27. Despacho óptimo de la energía en los bloques A, B, G, bombas y ascensores.	19
Figura 28. Verificación del despacho óptimo de la energía en los bloques A, B, G, bombas y ascensores.	20
Figura 29. Emisiones de CO2 reducidas con el sistema fotovoltaico implementado en los bloques A, B, G, bombas y ascensores.	20
Figura 30. Despacho óptimo de la energía en los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.	20
Figura 31. Verificación del despacho óptimo de la energía en los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.	21
Figura 32. Emisiones de CO2 reducidas con el sistema fotovoltaico implementado en los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.	21
Figura 33. Proyección económica de los casos de estudio.	22
Figura 34. Rentabilidad económica de cada caso.	22
Figura 35. Entradas y salidas de dinero de cada caso.	22
Figura 36. Comparación de demanda entre UPB Co y UPS UIO.	23
Figura 37 . Indicador de la temática.	33
Figura 38 . Indicador de formulación del problema.	34
Figura 39 . Indicador de solución.	35

3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Algoritmo para el despacho óptimo de base de la respuesta a la demanda.....	10
Tabla 2. Cantidad de paneles fotovoltaicos en el caso 1	13
Tabla 3. Cantidad de paneles fotovoltaicos en el caso 2	13
Tabla 4. Cantidad de paneles fotovoltaicos en el caso 3	13
Tabla 5. Gasto anual en energía eléctrica.....	21
Tabla 6. Valores de la inversión inicial y detalle agorzomado de los equipos	21

“DESPACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS INTELIGENTE BASADO EN LA ÓPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA”

Resumen

En el presente trabajo se enfoca en el estudio de la instalación de varios sistemas fotovoltaicos en un campus universitario, ya que este tipo de sistemas permite que el campus tenga una huella de carbono neutro, lo que se busca con la instalación de este sistema fotovoltaico es reducir el consumo energético por medio de la red pública de energía eléctrica.

El trabajo está enfocado en realizar un despacho energético óptimo por medio de árboles de decisión para lograr una óptima respuesta a la demanda.

Se pone en funcionamiento en este trabajo varias políticas que deberá ejecutar con una poca flexibilidad la institución y así poder lograr el objetivo principal que es reducir el consumo de la red eléctrica pública y ser autosuficiente frente a cualquier adversidad o actividad normal de la institución.

Con la instalación de los sistemas fotovoltaicos también se busca reducir la huella de carbono que la institución genera este enfoque es primordial en cada una de las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos que se ponen en funcionamiento en el mundo, así también se quiere demostrar que el sistema fotovoltaico planteado en este trabajo llega a ser viable en la ejecución de este.

Palabras Clave: Árbol de Decisión, Campus inteligente, Energía Renovable, Despacho Estocástico, Micro-red, Respuesta de a la Demanda.

Abstract

This paper focuses on the study of the installation of several photovoltaic systems on a university campus, since this type of system allows the campus to have a neutral carbon footprint, what is sought with the installation of this photovoltaic system is to reduce energy consumption through the public power grid.

The work is focused on making an optimal energy dispatch through decision trees to achieve an optimal response to demand.

In this work, several policies are put into operation that the institution must execute with little flexibility in order to achieve the main objective, which is to reduce the consumption of the public electricity network and be self-sufficient in the face of any adversity or normal activity of the institution.

With the installation of photovoltaic systems also seeks to reduce the carbon footprint that the institution generates this approach is essential in each of the installations of photovoltaic systems that are put into operation in the world and wants to demonstrate that the photovoltaic system proposed in this work becomes viable in the implementation of this.

Keywords: Decision Tree, Intelligent Campus, Renewable Energy, Stochastic Dispatch, Micro-grid, Demand Response.

1 Introducción

La optimización del sistema es proporcional de acuerdo a la administración de energía, el administrador de energía utiliza información sobre necesidades locales de electricidad y requisitos de calidad energética, requerimientos de gestión por parte de la demanda, nivel de gestión de la demanda, etc. para determinar la cantidad de energía que la micro-red debe extraer del sistema de distribución [1].

Para optimizar la demanda de energía, es decir; planes de mejora en el uso de energía por parte de los consumidores, es transcendental implementar medidores inteligentes u otros sistemas que reduzcan la demanda máxima y por lo tanto mejora la eficiencia y confiabilidad de la red eléctrica [2].

Varios países del mundo se encuentran investigando el potencial de las micro-redes mediante proyectos piloto para promover su integración a la red eléctrica creando un sistema menos frágil a interrupciones, entre otros objetivos [2][3], se tiene claros ejemplos como: iSare Gipuzkoa en España, Huatacondo en Chile, Bella Coola en Canadá, The Navy Yard en Estados Unidos entre otros.

Todos estos proyectos buscan el desarrollo de una red menos agrupada, esto implica grandes transformaciones en la tecnología, así como el desarrollo de los estándares y de políticas [4], [5].

Sin embargo, las micro-redes simbolizan una pequeña parte de la red, por ejemplo, en Estados Unidos se estima que hay 230 GW de centrales renovables instaladas de un sistema que genera 37.234368 GW. Evidencia principal en diversos lugares del mundo, las micro-redes están siendo muy importantes, puesto que las redes eléctricas llegan a ser el punto fuerte frente a las perturbaciones, aumentando su resiliencia [6].

Uno de los caso más notables ocurrió durante el terremoto y posterior tsunami en Japón en el año 2011 en la región de Tohoku, donde la micro-red operó por 48

horas en Tohoku Fukushi University de 1MW en modo aislado sin abastecimiento del sistema ya que fue gravemente dañado por los eventos que tuvo que afrontar Japón, mientras que en sus alrededores permanecieron sin suministro eléctrico [7].

Dicha micro-red se mantuvo operativa a un alto nivel de rendimiento, proporcionando así la carga. En este caso, la micro-red tiene un cometido muy importante. Un rasgo esencial de las micro-redes es que contienen diversos medios y cargas de generación de energía [1][8]. Se trata de proyectos de micro-redes operables y activos mundialmente, que incluyen la prueba y evaluación de conceptos que se utilizarán en redes futuras, y que actualmente se están desarrollando en muchos países [9].

Dinamarca, la isla danesa de Bornholm representa aproximadamente el 1 % de la población del país. El porcentaje de consumo eléctrico también es el mismo, con una demanda máxima de 63 MW. Es una de las plataformas de prueba del programa de microrredes de la Comisión Europea *More Microgrids*[10]. Debido a la gran cantidad de turbinas eólicas, cuando este método de generación de energía tiene una alta tasa de penetración, puede probar de forma independiente el funcionamiento de la micro-red. Cuenta con 14 conjuntos de generadores diésel de 34 MW, una turbina de vapor de combustible de 25 MW, una turbina de petróleo, carbón y astillas de madera de 37 MW, 35 conjuntos de turbinas eólicas de 29 MW y 2 conjuntos de 2 MW. La red de distribución de la isla está dividida en dos niveles de tensión, 60 kV y 10 kV, y está controlada por dos sistemas SCADA. Así también Países Bajos. La primera micro-red del país se ubicó en la ciudad de Brownsbergen a unos 100 kilómetros al oeste de Ámsterdam. Estas instalaciones incluyen 208 casas de verano, 108 de las cuales se utilizan paneles fotovoltaicos, con una capacidad máxima instalada de

315 kWp [10]. Consiguente, se han instalado dos paquetes de baterías que pueden almacenar la carga adicional que genera el sistema fotovoltaico. El objetivo de investigación del sistema se centra en permitirle operar de manera continua durante 24 horas aislado de la red. Además, también se planea monitorear la batería para maximizar su vida útil, reducir los problemas de armónicos y mantener la batería.

Se debe considerar que la misión de los proyectos que se están implantando en todo el mundo, provocan una reducción significativa en la huella de carbono, porque esto ayuda al medio ambiente y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

A la par existe un mercado el cual maneja las emisiones de carbono y así incentiva a las empresas para lograr ingresar al mismo [11]. Asimismo, poder reducir drásticamente las emanaciones de GEI en todo el mundo.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) redactó un manual con el fin de ejecutar el diseño y desarrollo de universidades con neutralidad de carbono o huella de carbono cero, en el cual motiva a las universidades a ser parte de un cambio en beneficio para el mundo [10], ya que es en las universidades en donde se debe fomentar en los futuros

profesionales, el diseño e implementación de proyectos sostenibles y el poder ejecutar los mismos, el también llamado Kit de herramientas para universidades ecológicas (Greening Universities Toolkit). Incentiva a mejorar el desempeño en la sustentabilidad de la universidad a nivel mundial.

Esto es la antesala al paradigma de la “economía verde” que participa activamente en cada institución que mantiene la huella de carbono en cero; con la finalidad de que el mundo sea más sostenible, la universidad debe catalizar la ayuda en mejorar la sostenibilidad y así generar el objetivo que tiene el kit de herramientas para universidades ecológicas [12].

Con base en este precedente se procede a trabajar en la implementación virtual de plantas fotovoltaicas en todo el campus para reducir el consumo energético de nuestra red de distribución de energía eléctrica (EEQ). Así también se podrá dar paso a la reducción de GEI con la disminución de consumo de la red eléctrica.

Existen procedimientos que ayudan a mejorar el trato energético, así como nos menciona la normativa ISO 50001. La cual trata de sistemas de gestión energética.

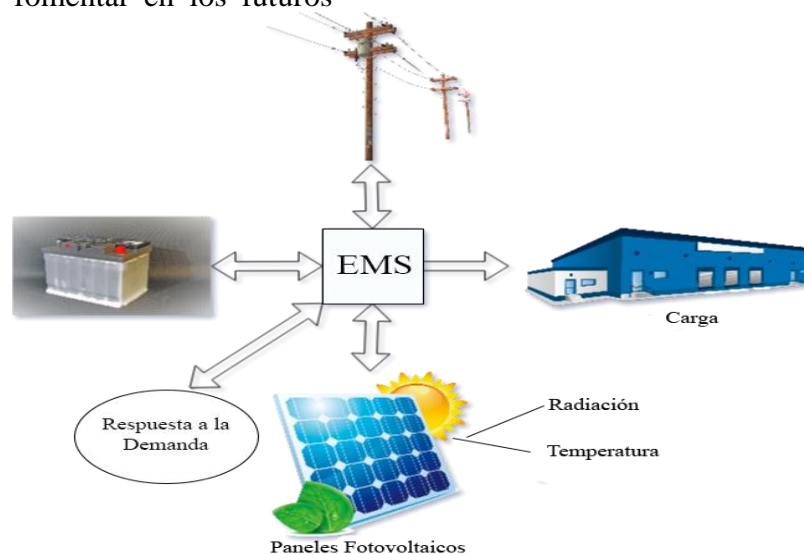


Figura 1. Esquema energético con respuesta a la demanda.

2 Marco teórico

2.1 Micro-redes eléctricas

Las micro-redes se ven de tal manera que pueden favorecer a varios segmentos de la población, ya sea que no tengan acceso por el tipo geográfico o que no quieran depender al cien por ciento de la red eléctrica por altos costos de instalación de la red. Con esto tenemos un punto de generación distribuida, para la cual este nuevo modelo llega a ser el complemento, ese decir que provoca una mejora de la eficiencia energética, y que la producción de la energía sea de mayor calidad y a menor costo para todos los consumidores [13], [14].

Los elementos de la micro-red contienen sistema de generación de energía distribuida, sistema de almacenamiento de energía, tecnología de administración de carga, sistema de control y monitoreo de flujo de energía, tecnología y procedimientos de mantenimiento preventivo [15], [16], [10].

Para todo esto es necesario saber que la red debe ser bidireccional, para poder tener una mejor distribución desde los proveedores hasta los consumidores, de esta manera también tenemos la posibilidad de incrementar la eficiencia energética, reducir costes e incrementar la fiabilidad del sistema [17],[18].

La micro-red se puede colocar cerca de la demanda para reducir la distancia física y eléctrica entre la carga y la generación de energía, mejorando así la confiabilidad y reduciendo las pérdidas de transmisión. Otra gran ventaja es que puede funcionar independientemente del sistema de alimentación [19], [20].

En condiciones de funcionamiento normales y de emergencia, la micro-red debe poder reconectarse y desconectarse de la red. La capacidad de aislar y operar de manera autónoma significa que esto beneficiará la calidad y confiabilidad del suministro de energía, porque incluso si el suministro de energía se interrumpe

debido a fallas y mantenimiento, el usuario final aún puede garantizar la continuidad del suministro de energía[21], [22]. Siempre que se sigan las regulaciones de operación de cada sistema o el rango de voltaje, frecuencia y ángulo de fase especificado en el estándar ANSI C84.1-2006 la micro-red y el sistema de energía se pueden volver a conectar.

2.2 Planta Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica emplea una tecnología basada en el efecto fotovoltaico que nos permite transformar la luz solar en energía eléctrica. La diferencia de potencial que existe entre dos superficies es provocada por la radiación solar, este efecto genera que los electrones generen corriente eléctrica útil [9].

Los paneles solares fotovoltaicos se dividen en tres tipos, a saber, paneles de generación de energía que satisfacen las necesidades del usuario que, aunque se ven afectados por las condiciones climáticas, pueden absorber directamente el calor a través de la luz solar y la termodinámica, aunque estos paneles tienen ciertas ventajas. La capacidad de potencia no divide la noche. Llave o truene [23].

Inicialmente, la tecnología fotovoltaica se utilizó como fuente de energía para reemplazar los satélites de energía [24],[25].

La Ec. (1) representa el modelo matemático de los módulos fotovoltaicos, donde I_{PV} es la corriente del módulo, que depende de la corriente de cortocircuito (I_{SC}), la tensión del módulo (V_{PV}) y los parámetros A_0 y B_0 [26].

$$I_{PV} = I_{SC} - A_0 \cdot (e^{B_0 \cdot V_{PV}} - 1) \quad (1)$$

2.3 Bancos de baterías

Existen diversas propuestas en varios casos de los modelos matemáticos que

representan los procesos de carga y descarga en las baterías electroquímicas desde un punto de vista externo. Generalmente, estos modelos apuestan por el ajuste de cierta función relativamente sencilla, a los datos experimentales obtenidos de la medida de los valores de corriente I , el voltaje V y la temperatura T a distintos regímenes de carga y de descarga. Los modelos más completos incluyen ecuaciones que involucran otros parámetros importantes, como la resistencia interna R , la capacidad del acumulador C , o tratan de describir procesos más complejos como la sobre descarga. Uno de los objetivos finales de estos modelos es la predicción del comportamiento de la batería en sistemas más complejos, así actúa como elemento acumulador de energía, tal como es el caso de los sistemas fotovoltaicos.

De hecho, este estudio está basado en el comportamiento y datos experimentales obtenidos de baterías electroquímicas de uso en el campo fotovoltaico.

Entre estos modelos matemáticos, podemos señalar como más significativos los de Shepherd [27], Monegon [28], Biscaglia-Mayer [29] o el de Biancon-Chenlo [30], [31]. Prácticamente, todos estos modelos están basados en una ecuación que relaciona los valores de tensión y corriente durante la carga o la descarga que, de forma esquemática, puede escribirse como se presenta a continuación.

$$V = V_{eq} \pm IR \quad (2)$$

En el presente estudio pretendemos abrir una vía alternativa para el modelado de las baterías y acumuladores electroquímicos que, aunque todavía en fase de desarrollo, presenta algunas innovaciones que creemos pueden resultar interesantes. El modelo aquí

expuesto apunta al empleo de ecuaciones integrales para simular los procesos de carga y descarga, siguiendo la expresión general:

$$V(t) = V_0 \pm \int_0^t f(t') dt' \quad (3)$$

Donde V_0 es el voltaje inicial (V_{oc} para la carga, V_{OD} para la descarga), t representa el tiempo; y $f(t)$ es una función que deberemos determinar (que denominar función objetivo) y que, en principio, puede depender de los parámetros anteriormente señalados (I, R, T, C). El signo (\pm) depende, como en el caso general (2), del proceso concreto (positivo para la carga, negativo para la descarga). La función objetivo puede, en principio, ser distinta para la carga, $f_c(t)$, y la descarga f_D .

La ecuación (3) se asemeja a la expresión más común (2), en cuanto existe un cierto voltaje inicial constante al que se le suma o resta un término específico para la carga o la descarga. Sin embargo, el término aditivo aparece como la integral fraccionaria o acumulativa de una cierta función por el momento desconocida. Lo que se está sugiriendo matemáticamente con esta integral, es que en el proceso de carga se acumulan pequeñas cantidades de energía en cada intervalo infinitesimal de tiempo en la batería. De forma análoga, en el proceso de descarga la batería entrega esas cantidades de energía en cada intervalo de tiempo. Cada incremento o disminución de carga (energía) se suma o acumula sobre los anteriores, de forma que, en función del régimen establecido para la transferencia de energía (dado, principalmente, por la corriente que fluye hacia o desde el acumulador), la duración de la carga o la descarga varía (a mayor corriente, menor duración).

2.4 Banco de Baterías BESS

Las baterías son componentes básicos compuestos por celdas electroquímicas, estas baterías tienen la característica de convertir energía química en energía eléctrica [19], [32]. Para las micro-redes, la función principal de BESS es almacenar energía cuando hay excedente, lo que significa que es de bajo costo y se utiliza cuando la energía renovable no puede producir suficiente energía para satisfacer la demanda [20], [33], [34].

Para definir el costo, la capacidad de almacenamiento, el tamaño de las tecnologías de almacenamiento y su vida útil se toma en cuenta la expansión y la operación de la micro-red. Para determinar las condiciones de funcionamiento de la batería se definen variables de diseño, que se caracterizan por un comportamiento aleatorio, mediante el cual se pueden determinar fuentes de energía renovables no convencionales y cargas conectadas a la micro-red [19], [23], [32].

2.5 Capacidad nominal

Esta capacidad nominal es la cantidad de energía que puede brindar a una carga, ésta depende de tres factores primordiales: régimen de descarga, temperatura y tensión final [34].

Se la puede calcular como: total de Amperios-horas disponibles al momento que la batería se descarga. Para calcular la capacidad (C_p) es multiplicando la corriente de descarga (I_d) por el tiempo de descarga (t_d).

$$C_p = I_d \times t_d \quad (4)$$

2.6 Estado de carga (State of Charge - SOC)

La capacidad de la batería se denota como porcentaje de la capacidad máxima. SOC es uno de los parámetros más importantes de la batería [19], [32], [35]. El SOC de una batería es la definición de la relación

entre su capacidad actual $Q(t)$ y la capacidad nominal Q_n . La capacidad nominal la obtiene el fabricante y representa la potencia máxima que se puede almacenar en la batería.

El SOC se puede definir de la siguiente manera:

$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{Q_n} \quad (5)$$

2.7 Profundidad de descarga (Depth of Discharge - DOD)

Es el porcentaje en su capacidad total de la batería que se utiliza en el proceso de descarga. Cabe recalcar que existen dos posibilidades como son, la descarga superficial que llega a ser el 20% de la descarga de capacidad nominal, y la descarga profunda, la cual llega a ser del 60 al 80% de la descarga de la capacidad nominal.

Para tener una tensión final de descarga se depende de la velocidad de descarga de la batería, mientras la descarga se realice más rápido, menor será la tensión final de descarga.

$$DOD = 1 - \left(\frac{Q(t)}{Q_n} \right) \quad (6)$$

2.8 Neutralidad de carbono o Carbono cero

Carbono neutro o también llamado huella de carbono cero, se refieren a que las emisiones de dióxido de carbono sean iguales a cero, es decir que al ser liberado el CO_2 a la atmósfera tienda a equilibrarse, lo que genera el efecto invernadero y provoca un cambio climático drástico [25]. El término "huella de carbono cero" o carbono cero se utiliza para procesos relacionados con las emisiones de dióxido de carbono y el uso de combustibles fósiles para producir energía [37].

El concepto de carbono cero puede ampliarse para incluir otros gases de efecto invernadero, el impacto de estos en la atmósfera se expresa en cantidades equivalentes de CO₂ [38], [39].

El primer paso para las organizaciones y las personas que buscan lograr la neutralidad de carbono es evitar o reducir significativamente la cantidad de emisiones de GEI, de modo que solo se necesiten compensar las emisiones inevitables [40].

Existen dos maneras de conseguir la neutralidad de carbono:

Una de ellas es la compensación de carbono, ya sea pagando a otros para capturar y almacenar la totalidad del dióxido de carbono emitido, o comprando créditos de carbono, que en la práctica son derechos para emitir gases de efecto invernadero, la práctica de este tipo de compensaciones recibe varias críticas [37], [40].

La otra manera de hacerlo es utilizando solamente energías renovables, que no llegan a producir dióxido de carbono, a esta práctica la llaman economía postcarbono o economía baja en carbono.

2.9 Árbol de decisión

Una forma de aprendizaje inductivo es el árbol de decisiones. Para un conjunto de datos previamente ingresados, el objetivo es construir un modelo para capturar el mecanismo que condujo a los datos. El proceso de construcción del modelo es un problema de aprendizaje supervisado. Porque el entrenamiento está supervisado por variables de resultado llamadas objetivos [41].

La figura 2 muestra un diagrama esquemático del árbol de decisiones. Este crece a través de un método llamado partición binaria recursiva. Se necesita una pregunta continua de sí o no para dividir el espacio muestral [41]–[44].

El proceso comienza desde el nodo raíz alrededor de la muestra de aprendizaje. En cada nodo, la muestra se

divide en dos subconjuntos, los mismos que se ubican, uno a la derecha y otro a la izquierda [44].

El proceso de división se repite hasta que se alcance el nodo terminal, es decir, el nodo que no se puede dividir más. La decisión de clasificación se toma en el nodo terminal [38].

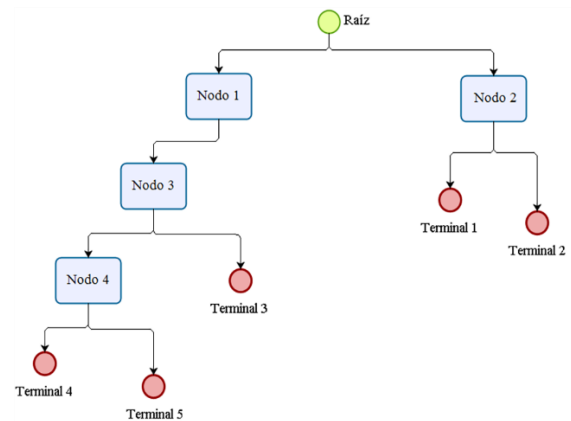


Figura 2. Vista de un árbol de decisión esquemático [43].

2.10 Sistema de gestión

A escala global, la implementación de sistemas de gestión integrados ayuda a mejorar la competitividad de las organizaciones actualmente inmersas en un entorno altamente competitivo y global [45].

Para el ámbito energético tenemos que tomar en cuenta la utilización de las normativas ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 y ISO 50001:2011. Con el propósito de mejorar la instalación y ejecución de cada proyecto energético de energías renovables no convencionales se incluye cada una de estas normativas, siempre queda a criterio del ejecutor [46].

El sistema de gestión energética ISO 50001: 2011 y la eficiencia energética involucran diferentes funciones desplegadas por los departamentos de la empresa, y por tanto afectan los costes energéticos, se despliegan el consumo energético y todos los aspectos de su seguimiento, control y planificación.

Con este fin, el objetivo es mejorar el rendimiento energético, ahorrando y mejorando la eficiencia energética, lo

cual nos lleva a la reducción los costes [46], [47].

Sin duda alguna la importancia de la tecnología en el desempeño energético, junto con el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) define en gran medida el nivel de mejora a alcanzar.

No se trata de comparar métodos con puntos de referencia, sino de mejorar continuamente el rendimiento o la eficiencia energética [48].

Este estándar se encuentra está estrechamente relacionado con las energías renovables y el cambio climático (estándares ambientales), la eficiencia energética es una clave indispensable para este proceso. En su propio prólogo, ha establecido dos objetivos principales para promover la disminución de las emisiones de GEI y otros impactos ambientales y costos de energía relacionados. La relación con ISO 14001: 2004 es obvia, cuando una organización busca su acreditación ISO 50001 y ha implementado previamente ISO 14001 o incluso ISO 9001, también se establece una gran sinergia [47].

Para la implementación de estos sistemas de gestión se va a obtener:

- El consumo de energía se minimiza.
- Optimiza la potencia de instalación y empleo.
- Mejora en el rendimiento energético optimizando el uso de los equipos.
- Cooperación de empleados
- Actividades de control y mantenimiento mejoradas.

2.11 Respuesta a la demanda

La respuesta a la demanda es el cambio de la utilización de energía eléctrica de los clientes, esto indica la relación directa al precio y estímulos, en ciertas ocasiones la empresa eléctrica tiene una intervención directa [49], [50].

Los mecanismos para la respuesta de la demanda que actualmente existen son los siguientes:

Para poder ser implementados deben contar con la aprobación del cliente, en otros casos son efectuados de forma unilateral por la empresa eléctrica, como los relacionados al precio [32], [51]. Cabe recalcar que el servicio de energía eléctrica en el Ecuador es público y contiene principios como el de la universalidad, eficiencia, calidad, entre otros; en otras palabras, no se puede reducir la carga sin el consentimiento del cliente [52].

Para contribuir en el mejoramiento de la fiabilidad y estabilidad de todo el sistema eléctrico requerimos de la participación del equilibrio de la potencia [53].

También, reduce o aplaza la ejecución o construcción de una infraestructura nueva de transmisión y distribución [54], [55].

Mediante los perfiles de carga, se realizan diseños rentables indispensables de programas que proporcionan la información necesaria, como los patrones de consumo eléctrico de cada uno de los clientes [56].

Los cambios en el consumo de energía están pensados para aplicarse durante períodos críticos de demanda máxima o cuando las reservas del sistema de energía son insuficientes.

Darse cuenta de la respuesta a la demanda es una forma de cumplir con los requisitos de flexibilidad de los sistemas eléctricos [57].

De hecho, en algunos países se ha reconocido e implementado la importancia de la respuesta a la demanda para mejorar los mercados de electricidad confiables y eficientes [58]. La respuesta a la demanda puede reducir la carga durante los períodos de máxima demanda y, en algunos casos, puede reducir la subutilización de generadores con costos marginales más altos [59], [60].

Uno de los beneficios de responder a las necesidades del cliente es que puede reducir los costos de electricidad y convertirlo en horas más baratas.

Además de participar en el mercado energético, los avances en la tecnología de control y medición (AMI) y la tecnología de la comunicación también brindan la posibilidad para participar como fuentes de reservas de energía y en algunos casos como reservas de emergencia [61], [62].

Los beneficios globales de la flexibilidad de programación introducida ayuda, a la operación del sistema eléctrico, generando un aumento significativo en los beneficios del cliente, esto implica la disminución en el flujo de líneas de transmisión y el equilibrio de las fluctuaciones en los precios.

Es necesario que las empresas operadoras proporcionen de manera correcta los datos detallados de consumo eléctrico, para obtener una mejor comprensión en el comportamiento de los consumidores [63].

Estas empresas son llamadas Entidades de prestación de Servicios de Carga (LSE) [54], [59], Las entidades encargadas de proporcionar estos servicios clasifican a sus clientes como residenciales, comerciales e industriales, pero estos consumidores no tienen el mismo patrón de consumo eléctrico por lo cual generan un problema que se resuelve mediante perfiles de carga que ayuda a determinar el patrón de consumo eléctrico durante un período de tiempo.

Esto les permite tanto a los clientes como a las empresas distribuidoras tener una mejor comprensión y una gestión personalizada mediante una interacción directa entre el distribuidor y el consumidor final.

En el mercado eléctrico, las cargas responden al precio de la electricidad como:

$$P'_{LD,t} = P_{LD,t} + k \times (pr'_{B,t} - pr_{B,t}) \quad (7)$$

Donde $pr'_{B,t}$ y $pr_{B,t}$ representan el precio de la electricidad en tiempo real y el precio de referencia, respectivamente, $P'_{LD,t}$ y $P_{LD,t}$ representan cargas bajo $pr'_{B,t}$ y $pr_{B,t}$ respectivamente, y k representa el coeficiente elástico del precio [8], [19].

Como los precios de la electricidad son fluctuantes e inciertos, las cargas también son estocásticas.

3 Formulación del problema

Con base al crecimiento del consumo eléctrico que mantiene la sociedad actual se ha contemplado la necesidad de efectuar nuevos métodos de generación amigable con el ambiente, los cuales reducen drásticamente la generación de GEI.

El problema para esta investigación se basa en el diseño de una micro-red tipo campus universitario en la cual se implementará una heurística que permita realizar el óptimo despacho estocástico de los recursos energéticos distribuidos que tiene esta.

Los recursos energéticos renovables distribuidos determinados como principal fuente son los sistemas fotovoltaicos, la implementación de programas de respuesta a la demanda que permita la optimización y el consumo desde el enfoque del medidor frontera, es decir que el despacho nos facilite tener mayor cantidad de recursos energéticos disponibles para entregar a la red eléctrica en el cual incluye plantas fotovoltaicas y bancos de baterías.

En conjunto es necesario implementar políticas de respuesta a la demanda que permita la generación de un óptimo consumo energético en la barra de conexión al sistema de distribución de energía, y así tener todo el sistema en un óptimo funcionamiento con la micro-red, además que nos permita el intercambio energético bidireccional con la red eléctrica.

En el caso de estudio tenemos que el consumo energético es muy grande, ya que el campus universitario está en permanente uso lo cual implica un mayor consumo de energía.

Se llegó a la conclusión de que, para disminuir los gastos por consumo de energético se necesita la implementación de un sistema fotovoltaico que ayudara a mitigar el consumo energético dentro el campus universitario.

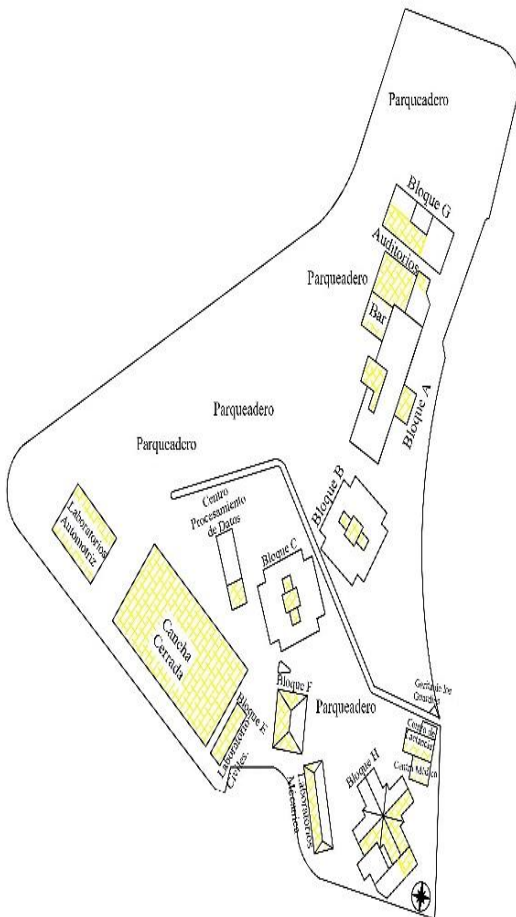


Figura 3. Plano del caso de estudio Universidad Politécnica Salesiana campus SUR.

3.1 Pseudocódigo

En la tabla 1 podemos observar el pseudocódigo donde se detalla claramente el proceso de despacho y la optimización con respuesta a la demanda.

Tabla 1 Algoritmo para el despacho óptimo de base de la respuesta a la demanda.

Algoritmo para el despacho óptimo de base de la respuesta a la demanda

Lectura de datos: Demanda, Radiación_solar

Paso 1: *Demanda del sistema*

$P_{genFV} = RED + Dmd_Alimentador$

Paso 2: *Realiza las decisiones*

If $L \geq 4$ horas $L \leq 8$

RD1=1

else

If $L \geq 15$ horas $L \leq 19$

RD1=1

else

RD1=0

End if

End if

if $L \geq 4$ horas $L \leq 9$

BT=1

else

if $L \geq 15$ horas $L \leq 23$

BT=1

else

BT=0

End if

End if

$$x = \min_x f^T x \text{ such that } \begin{cases} A \cdot x \leq b, \\ Aeq \cdot x = beq, \\ lb \leq x \leq ub, \end{cases}$$

Paso 3: *Designación de manera óptima de recursos*

Caso1= Alimentador 1

Caso2= Alimentador 2

Caso3= Alimentador 3

Paso 4: *Generación de árbol de decisión*

If RED \leq nodo \geq RD

Nodo=1

Else

Nodo=0

End if

View(tree)

Paso 5: *Calculo de emisiones*

$Em = 0.6629 * 9449.28$

$EmFV = \sum [Caso1; Caso2;$

$Caso3] * 0.5591$

$EmT = EmFV - Emi$

Paso 11: *Grafica de emisiones*

Grafico

4 Casos de estudio

Según los análisis realizados y la separación de bloques que se establecieron por el diseño que mantiene la red eléctrica del campus universitario se dividen en casos de estudio para mejorar el análisis individual de la siguiente manera:

Caso 1: Que mantiene en el alimentador de los Bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

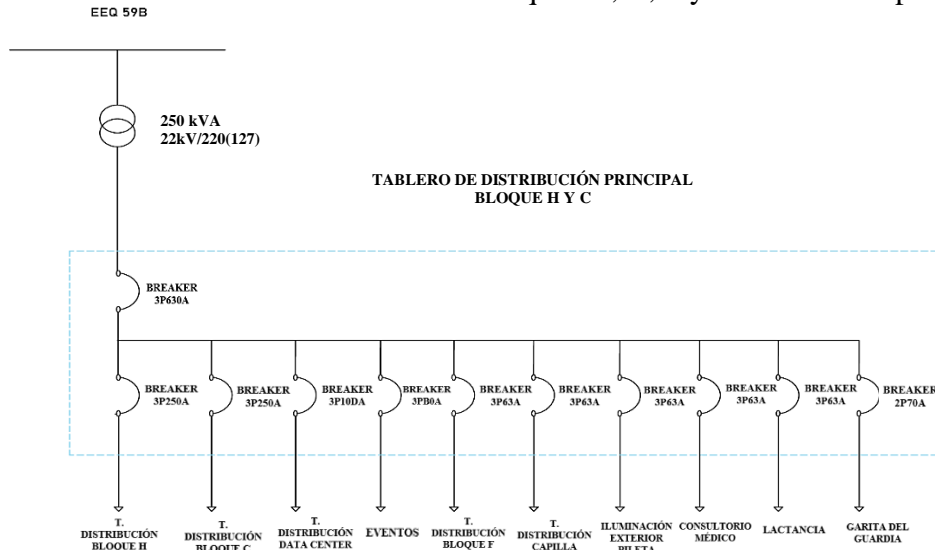


Figura 4. Diagrama Unifilar de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

Su estudio energético en el alimentador que mantienen los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero se muestra la curva de la demanda que tiene plasmada en la figura 5.

Esta curva de la demanda nos ayuda a visualizar cual será la demanda que el sistema fotovoltaico deberá abastecer y así lograr mantener una autonomía, así también permitirá lograr un objetivo más el cual consiste en mantener las emisiones de GEI se mantenga neutras.

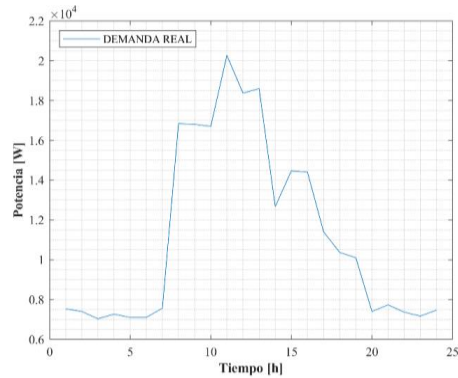


Figura 5. Curva de la demanda real de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

- **Caso 2:** Que mantiene en el alimentador los Bloques B, A, G, D, bombas y ascensores.

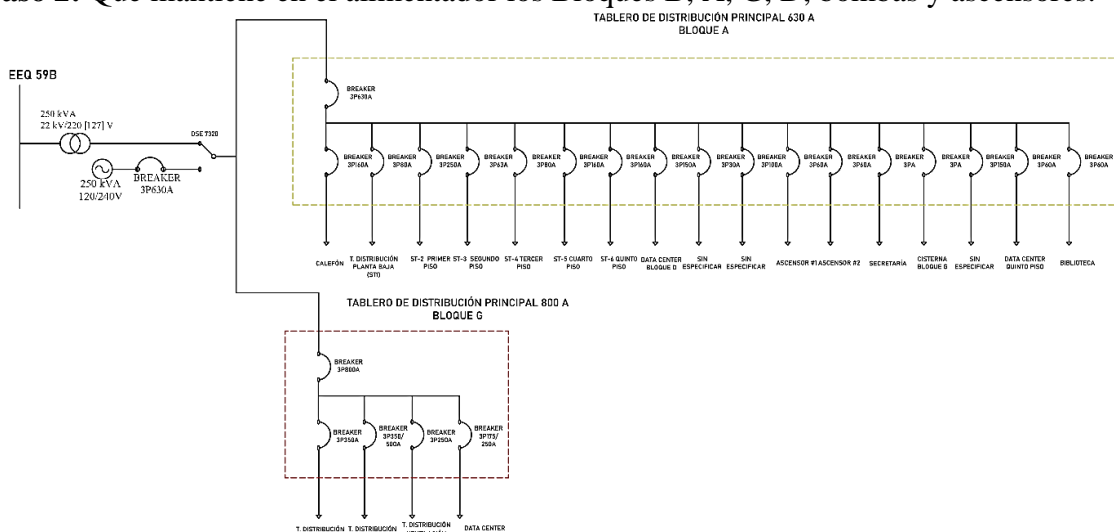


Figura 6. Diagrama Unifilar de los bloques A, B, G, bombas y ascensores.

En este caso también se realizó el respectivo análisis en el alimentador para obtener la curva de la demanda y como resultado se obtuvo lo siguiente, el crecimiento de la demanda es mucho más alto que el caso anterior, ya que este alimentador mantiene mayor cantidad de tráfico por su infraestructura.

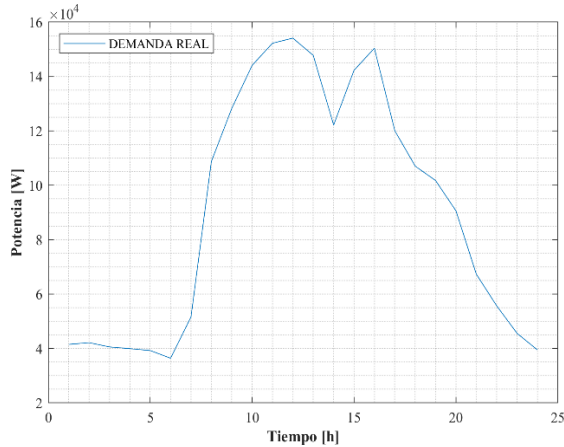


Figura 6. Curva de la demanda de los bloques A, B, G, bombas y ascensores.

- **Caso 3:** Que mantiene en el alimentador de los bloques I, E, bloque Automotriz y CNC.

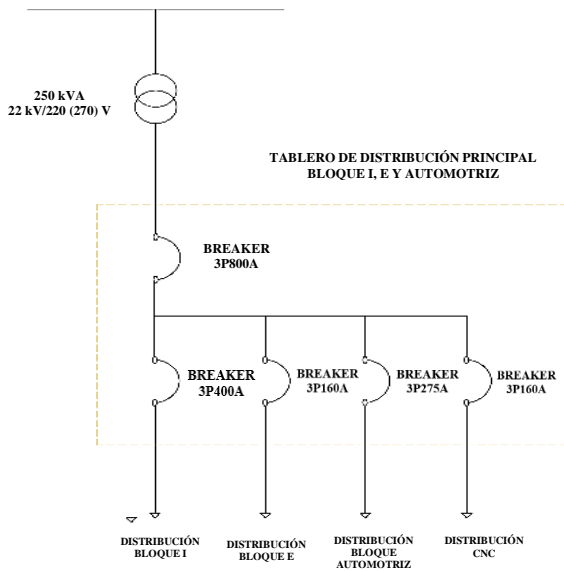


Figura 7. Diagrama Unifilar de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

La curva de la demanda que nos arrojó este caso en el análisis es el siguiente.

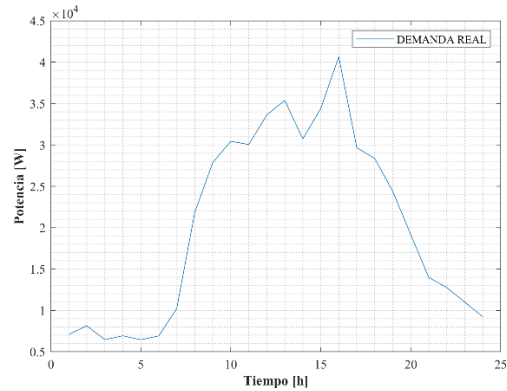


Figura 8. La curva de la demanda de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

4.1 Diseño de la micro-red

En base a los diagramas unifilares se realizó el estudio de cada uno de los casos, se verificó de la forma óptima la ocupación de cada una de las terrazas de los bloques disponibles, llegando a la conclusión de que es viable la instalación de paneles fotovoltaicos.

Con la implementación de este sistema se puede reducir los gastos que genera el consumo de energía suministrada por la red eléctrica, la distribución quedó de esta manera:

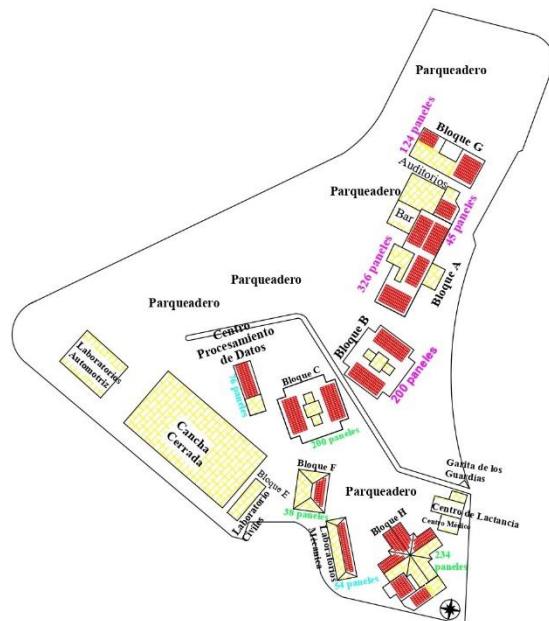


Figura 9. Plano con la colocación de los paneles fotovoltaicos.

Con base a estas demandas, el estudio de los paneles fotovoltaicos debe cubrir el consumo energético ya que se establece la producción de cada una de las demandas, los bancos de baterías que se recomiendan cubren mayor cantidad de la energía que no está dentro del horario de la producción de los paneles fotovoltaicos.

Según la figura 10. Los paneles fotovoltaicos de 300 W que están colocados en las terrazas no permiten cubrir la demanda del campus, en la tabla 1 podemos verificar cuantos paneles entran en cada una de las terrazas.

Tabla 2. Cantidad de paneles fotovoltaicos en el caso 1

Bloque	Número de paneles fotovoltaicos	Potencia de los paneles en total (Kw)
H	234	70.2
F	38	11.4
C	200	60
Total	472	141.60

En el caso 1 se pensó en un banco de baterías de 10 Kw.

Tabla 3. Cantidad de paneles fotovoltaicos en el caso 2

Bloque	Número de paneles fotovoltaicos	Potencia de los paneles en total (Kw)
A	326	97.8
B	200	60
Auditorios	45	13.5
G	124	37.2
Total	695	308.5

En el caso 2 se pensó en un banco de baterías de 30 Kw.

Tabla 4. Cantidad de paneles fotovoltaicos en el caso 3

Bloque	Número de paneles fotovoltaicos	Potencia de los paneles en total (Kw)
Laboratorio de mecánica	54	16.2
Centro de procesamiento de datos	76	22.8
Total	130	39

En el caso 1 se pensó en un banco de baterías de 10 Kw.

Con base a las tablas 2, 3 y 4 se tomó en consideración la radiación solar que tiene el predio las mediciones nos arrojaron los resultados que se muestran en la figura 11.

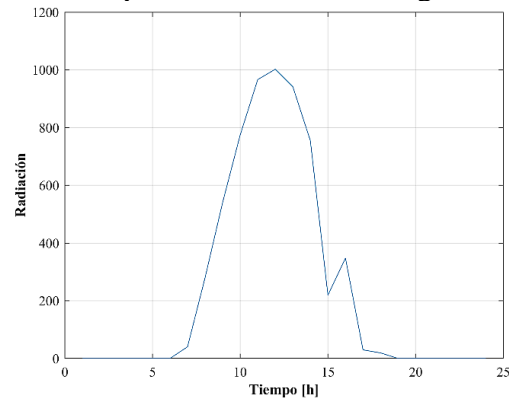


Figura 10. Curva de radiación solar.

Las instalaciones quedan de la siguiente manera como se muestran en los diagramas unifilares.

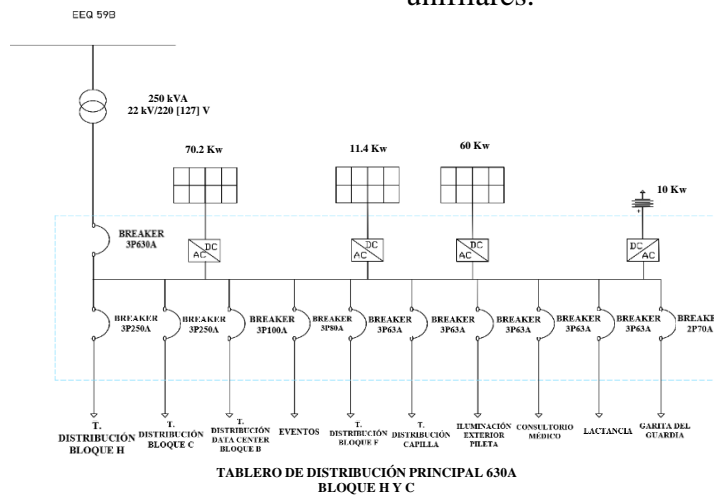


Figura 11. Diagrama Unifilar con el sistema fotovoltaico de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

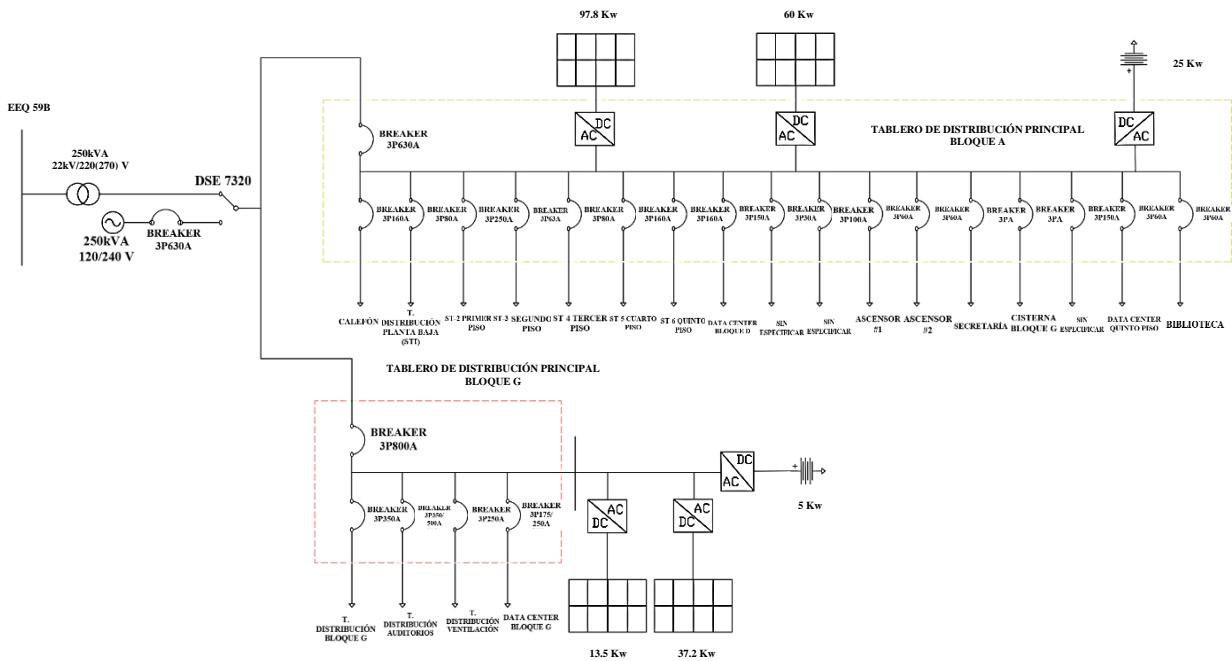


Figura 12. Diagrama Unifilar con el sistema fotovoltaico de los bloques A, B, G, bombas y ascensores.

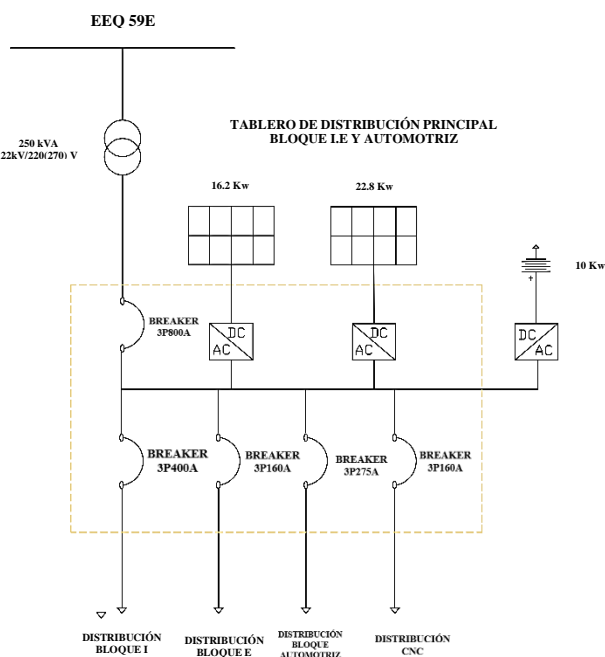


Figura 13. Diagrama Unifilar con el sistema fotovoltaico de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

Teniendo este dato establecido se realizó el análisis con los paneles fotovoltaicos para verificar cuanta energía podrían generar si ya estuvieran instalados en cada uno de los bloques, los resultados fueron de forma

individual para tener un mejor entendimiento de la producción de cada alimentador que tiene el campus.

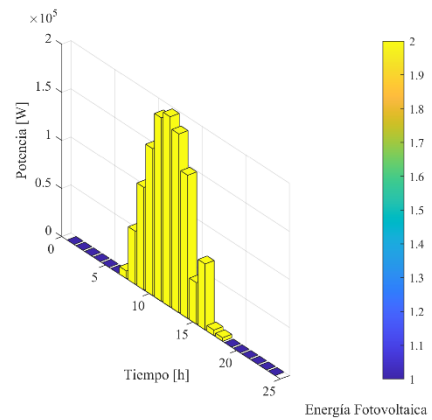


Figura 14. Comportamiento Fotovoltaico bloques A, B, G, bombas y ascensores.

En el caso 1 que consta del bloque H, F, C y exteriores del parqueadero se realizó la simulación con un total de 135 paneles fotovoltaicos con una potencia de 300 W y los resultados del estudio se muestra en la figura 16.

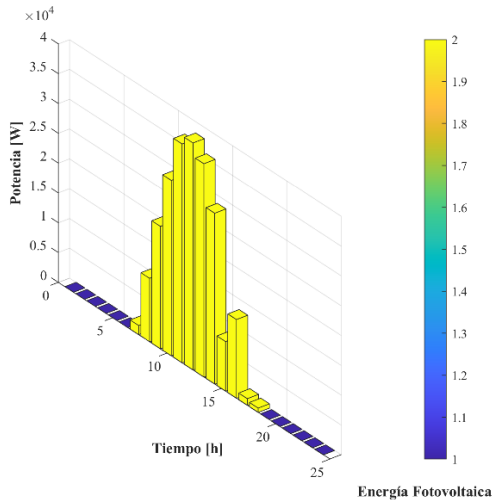


Figura 15. Comportamiento Fotovoltaico bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

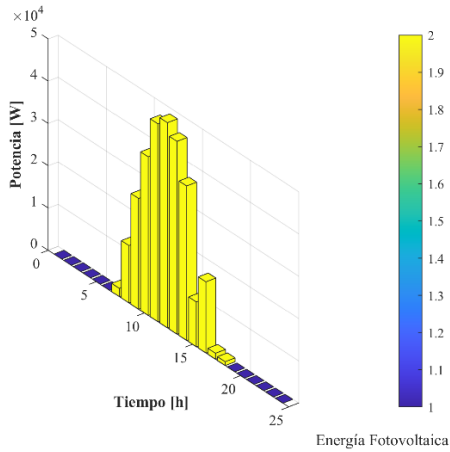


Figura 16. Comportamiento Fotovoltaico bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

Como se puede observar el comportamiento fotovoltaico de cada uno de los casos es diferente en función de los paneles fotovoltaicos instalados en las terrazas de cada uno de los bloques.

La inversión económica que representa la implementación del sistema de energía renovable es significativa, más sin embargo los aportes benéficos que traerá para el campus son mayores, ya que esto implica una notable disminución en gastos generados por el consumo de energía eléctrica y por otra parte que el campus se convierte paso a paso en un campus con huella de carbono neutro y más autónomo energéticamente. Tenemos la

comparación entre generación energética y demanda.

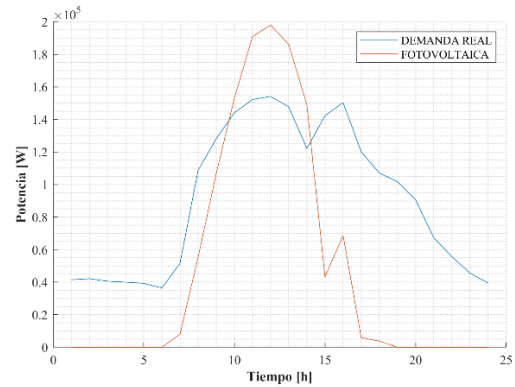


Figura 17. Comparativa entre generación y demanda bloques A, B, G, bombas y ascensores.

Así también tenemos la comparativa de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero que es el caso 1.

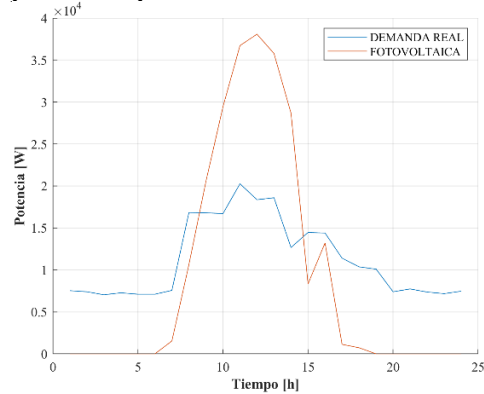


Figura 18. Comparativa entre generación y demanda bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

En el caso 3 de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC la comparativa resultó así.

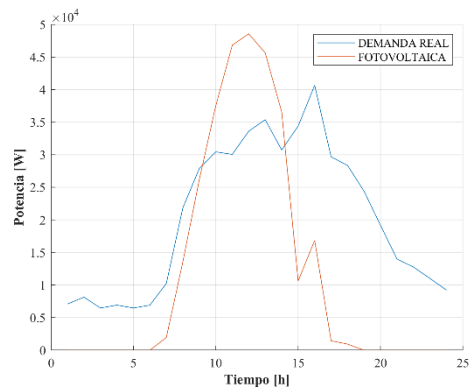


Figura 19. Comparativa entre generación y demanda bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

En el caso 1 de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero; las políticas serán de la siguiente.

- El manejo de la producción energética va a tener un respaldo de un banco de baterías de 10 Kw el cual entrara en funcionamiento en los horarios de 4:00 a 7:00 horas y de 16:00 a 23:59 horas cubriría un margen de con sumo energético.
- En cuanto la respuesta a la demanda quedaría cubierta con la producción

generada durante el día en los horarios de 7:00 a 17:00 horas.

- Así también la energía sobrante de generación estará distribuida de la siguiente manera, de 7:00 a 8:00 horas y de 15:00 a 19:00 horas como lo permite el ARCONEL y el CENACE.

Tenemos en cuenta que para el despacho óptimo de la energía se realizó una heurística representada en un árbol de decisión que se muestra en la figura 21.

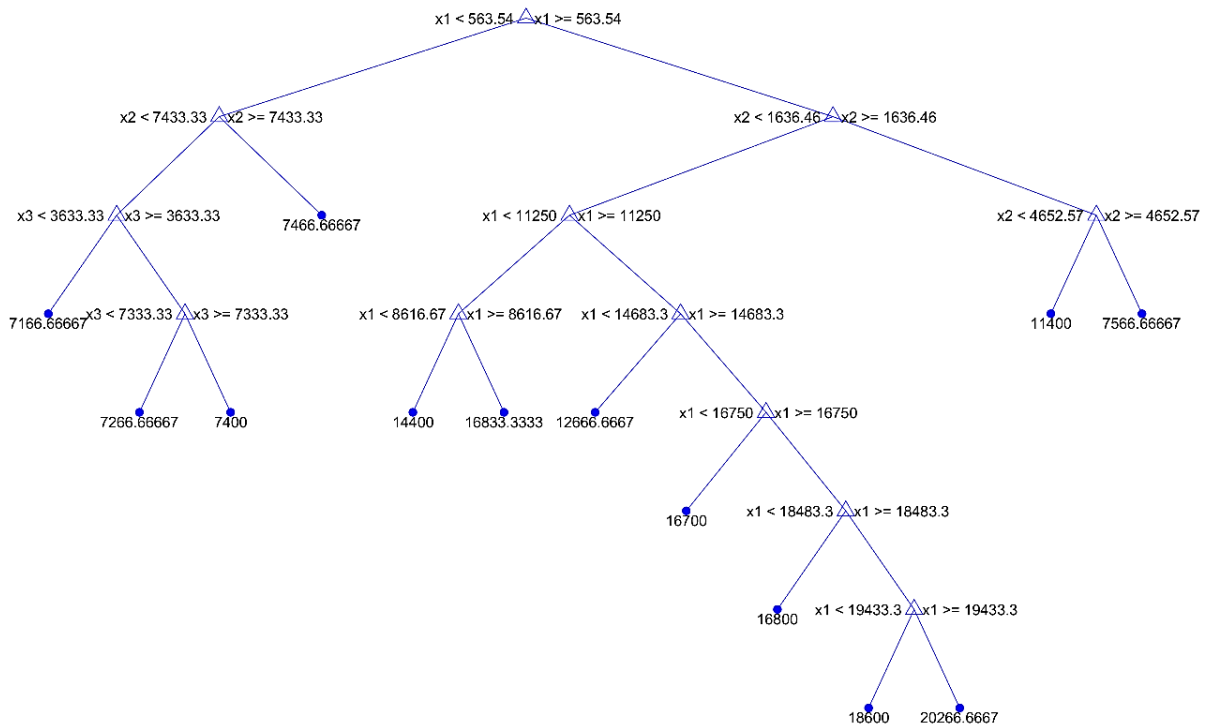


Figura 20. Árbol de decisión de una óptima respuesta a la demanda de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

Con el objetivo de cubrir cada una de las demandas que tenemos se crean políticas para poder abastecer el consumo energético de cada uno de los casos previamente estudiados.

Las políticas a implementar son las siguientes:

- Política desplazamiento de potencia.
- Política de respuesta de la demanda.
- Política de manejo y desplazamiento energético.

En el caso 2 de los bloques A, B, G, bombas y ascensores; las políticas serán de la siguiente.

- El manejo de la producción energética va a tener un respaldo de un banco de baterías de 30 Kw el cual entrara en funcionamiento en los horarios de 4:00 a 9:00 horas y de 15:00 a 23:00 horas cubriría un margen significativo de con sumo energético.
- En cuanto la respuesta a la demanda quedaría cubierta con la producción

generada durante el día en los horarios de 7:00 a 16:00 horas.

- Así también la energía sobrante de generación estará distribuida de la siguiente manera, de 4:00 a 8:00 horas y de 15:00 a 19:00 horas como lo permite el ARCONEL y el CENACE.
- Se recomienda que en cada uno de los bloques de este caso 2 se realice la

instalación de sensores de movimiento en cada pasillo para mantener una óptima utilización de la energía.

Tenemos en cuenta que para el despacho óptimo de la energía se realizó una heurística representada en un árbol de decisión que se muestra en la figura 22.

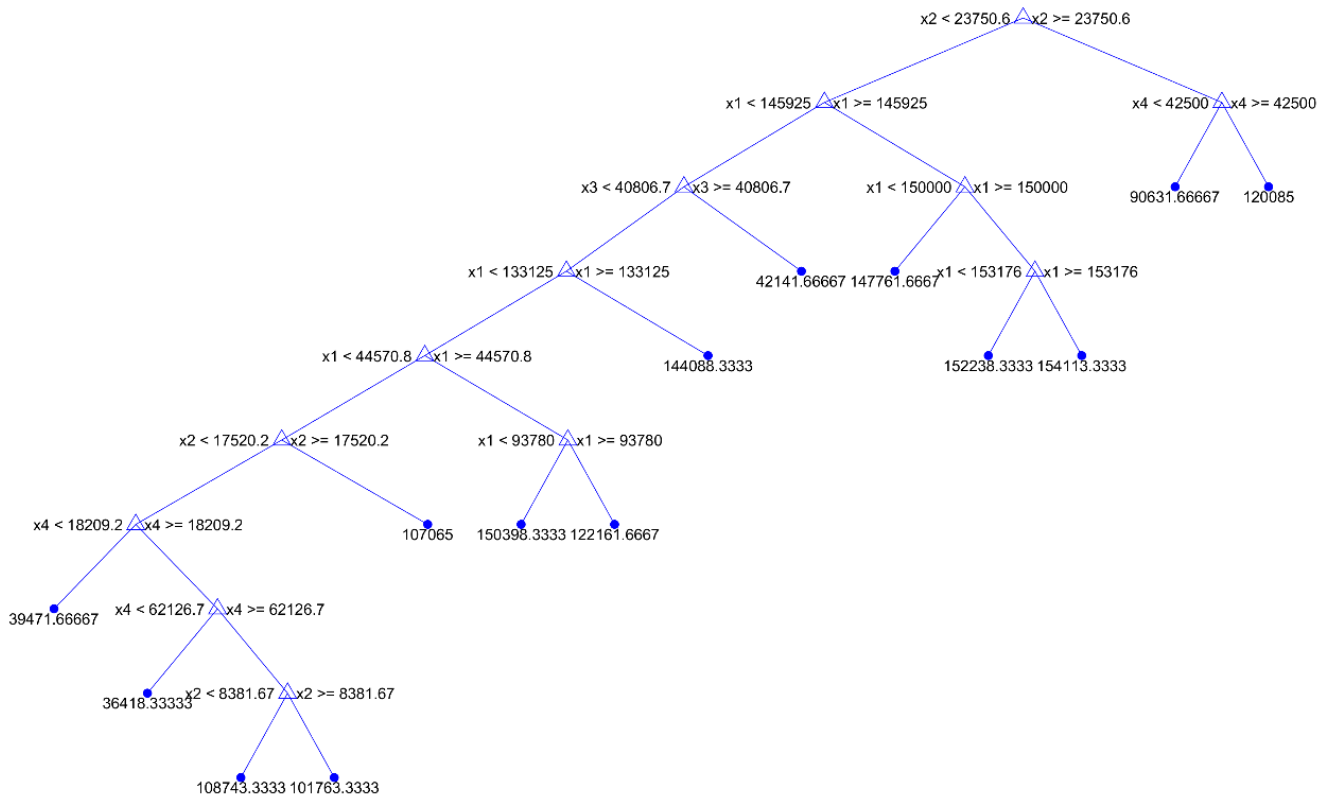


Figura 21. Árbol de decisión de una óptima respuesta a la demanda de los bloques A, B, G, bombas y ascensores.

En el caso 3 de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC; las políticas serán de la siguiente.

- El manejo de la producción energética va a tener un respaldo de un banco de baterías de 10 Kw el cual entrara en funcionamiento en los horarios de 5:00 a 7:00 horas y de 15:00 a 23:59 horas cubriría un margen de con sumo energético.
- En cuanto la respuesta a la demanda quedaría cubierta con la producción

generada durante el día en los horarios de 6:00 a 17:00 horas.

- Así también la energía sobrante de generación estará distribuida de la siguiente manera, de 7:00 a 8:00 horas y de 14:00 a 19:00 horas como lo permite el ARCONEL y el CENACE.

Tenemos en cuenta que para el despacho óptimo de la energía se realizó una heurística representada en un árbol de decisión que se muestra en la figura 23.

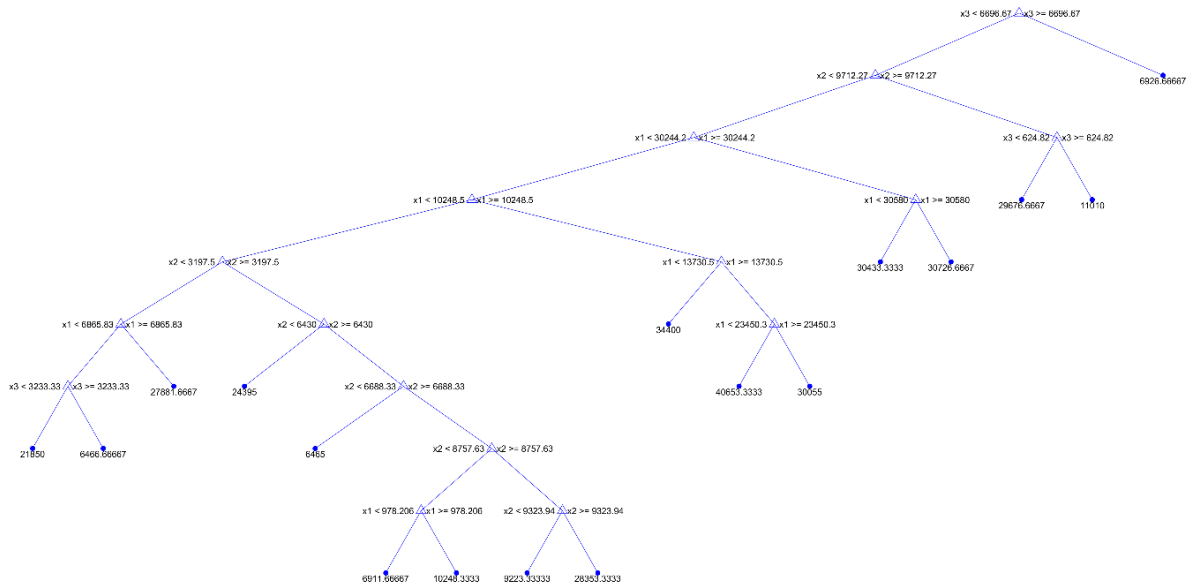


Figura 22. Árbol de decisión de una óptima respuesta a la demanda de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

5 Resultados

Como resultado en cada uno de los casos se tiene que el despacho por medio de las políticas y la heurística establecida es completamente óptima.

Podemos observar que la generación que se mantiene cumple con las demandas generadas en cada uno de los casos del caso de estudio.

5.1 Resultados Caso 1

Tenemos que el sistema cumple exitosamente el cometido de abastecer la demanda que mantiene el caso 1 de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero. Aquí en la figura 24, se puede visualizar como el banco de baterías entra en funcionamiento a partir desde las 4:00 hasta las 6:00 horas, también se observa que el desplazamiento energético llega a cubrir un parte de la demanda en la hora 7:00, así también se puede verificar que el sistema de generación fotovoltaica cumple con los requerimientos necesarios para abastecer la demanda de las horas pico hasta las 14:00 hora que es cuando interviene el desplazamiento energético y el banco de baterías.

El banco de baterías comienza su funcionamiento total a partir desde las 19:00 hasta las 23:59 horas, eso nos indica que el dimensionamiento de la generación fotovoltaica es totalmente óptima y en el caso de ejecutar correctamente las políticas que se establecen.

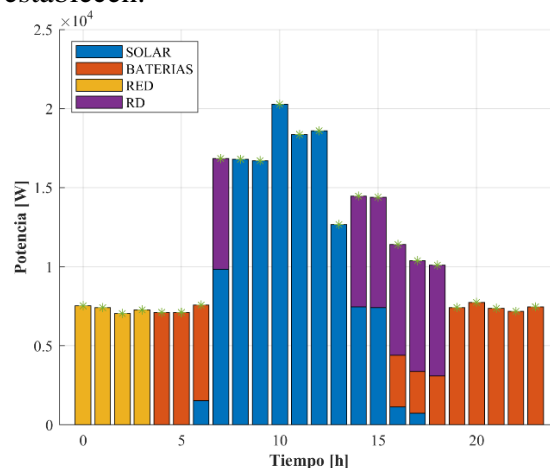


Figura 23. Despacho óptimo de la energía de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

Para poder visualizar de mejor manera el tratamiento energético en la figura 25 se muestra como el consumo de la red eléctrica se reduce drásticamente, esto se debe al buen manejo de la distribución energética por medio del despacho, el desplazamiento

energético y la puesta en marcha del banco de baterías.

Así también se comprueba que el despacho estocástico que se pone en funcionamiento nos da la ventaja de lograr hacer el cruce energético, el cual es beneficioso para la institución.

Tenemos que el consumo energético vs. la generación que tiene el sistema fotovoltaico satisface la demanda con el sobrante de 1.5 Kw diarios que se podría vender.

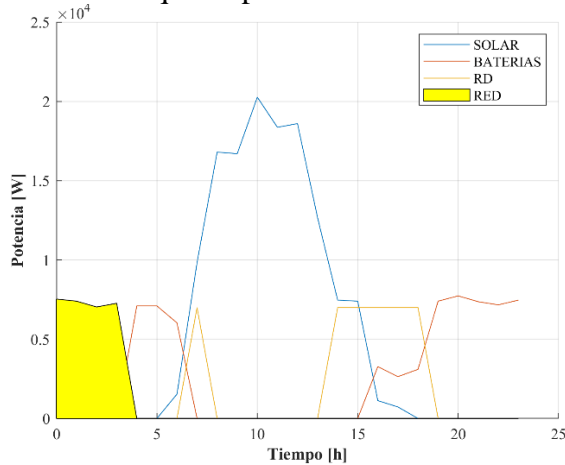


Figura 24. Verificación del despacho óptimo de la energía de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

En los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero, así también tienen una reducción significativa de 144.19 toneladas de GEI en total que se observa en la figura 26.

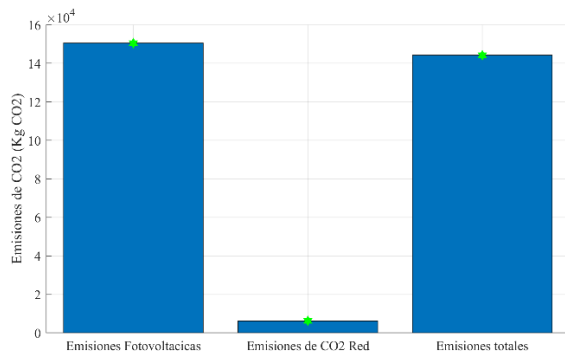


Figura 25. Emisiones de CO2 reducidas con el sistema fotovoltaico implementado en los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.

5.2 Resultados Caso 2.

Como está establecido el despacho energético y cumple con toda la demanda que

mantiene el alimentador de los bloques A, B, G, bombas y ascensores claramente se verifica que la política que menciona el ingreso del banco de baterías comienza el funcionamiento comienza desde las 4:00 hasta 9:00 horas en caso que el desplazamiento energético no llegue a satisfacer la cantidad de la demanda requerida en ese horario, así también tenemos que la generación de fotovoltaica cubre la demanda que tenemos en las horas pico del alimentador de los bloques A, B, G, bombas y ascensores, observamos el comportamiento energético a partir desde las 14:00 que interviene el banco de baterías y el desplazamiento energético para lograr satisfacer la demanda generada en ese horario específico, a partir desde las 19:00 horas vemos que el banco de baterías comienza su funcionamiento independientemente de cualquier otro factor energético establecido para el apoyo de las demandas.

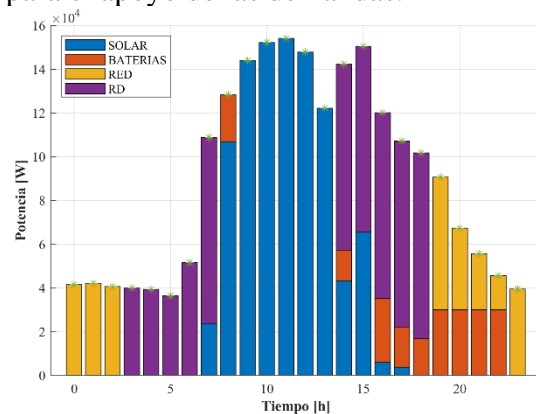


Figura 26. Despacho óptimo de la energía en los bloques A, B, G, bombas y ascensores.

En este caso se puede observar como la red eléctrica está presente en dos intervalos, a pesar de eso se reduce drásticamente el consumo energético, esto se debe al buen manejo de la distribución energética por medio del despacho, el desplazamiento energético y la puesta en marcha del banco de baterías.

Al igual que en el caso 1 el extra de energía durante la generación del sistema fotovoltaico tiene un sobrante de aproximado

de 10 Kw diarios que se podrían vender a la empresa eléctrica.

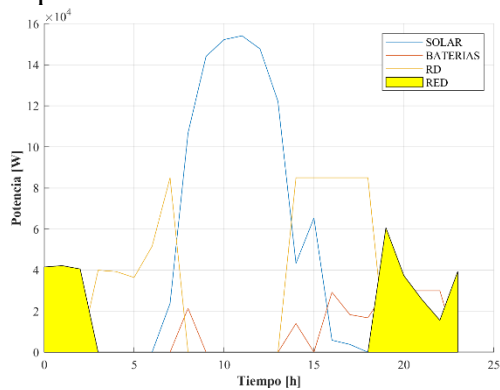


Figura 27. Verificación del despacho óptimo de la energía en los bloques A, B, G, bombas y ascensores.

Sabiendo que la utilización este tipo de sistemas fotovoltaicos implican que las emisiones de CO2 se reduzcan drásticamente el resultado es muy favorable para el ambiente ya que tenemos un margen muy considerable de la reducción 1206.4 toneladas de GEI en total.

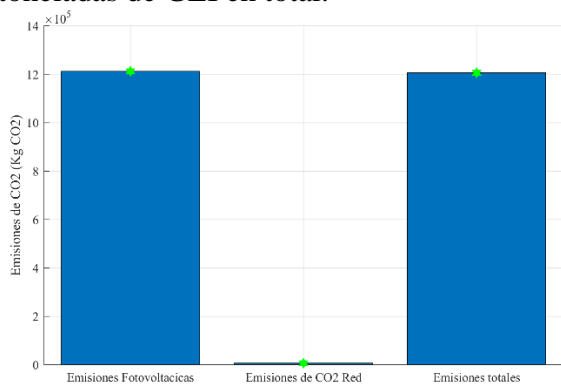


Figura 28. Emisiones de CO2 reducidas con el sistema fotovoltaico implementado en los bloques A, B, G, bombas y ascensores.

5.3 Resultados Caso 3.

Claramente se puede observar en la figura 30 un funcionamiento similar a los anteriores casos, este alimentador compuesto por los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

Al momento de ejecutar un despacho óptimo en una red con un sistema de energía no convencional, es necesario utilizar varias herramientas como las que se pusieron en ejecución para lograr abastecer toda la demanda que se requiere para un

funcionamiento óptimo con independencia de la red eléctrica.

El trabajo entre el banco de baterías y el desplazamiento energético tiene un papel muy importante en cada uno de los casos, así también se observa el comportamiento que mantiene el sistema con un despacho óptimo con la entrada del banco de baterías desde las 4:00 hasta las 6:00 horas, después se tiene el desplazamiento energético que cubre parte de la demanda desde las 7:00 hasta las 8:00 horas, durante de las horas pico el sistema fotovoltaico cubre la demanda que se tiene sin ningún inconveniente, a las 14:00 horas se observa que tenemos la puesta en marcha del banco de baterías, el desplazamiento energético y la planta de generación fotovoltaica para abastecer la demanda.

A partir desde las 20:00 hasta las 23:59 tenemos la puesta en marcha del banco de baterías en solitario para mantener el funcionamiento del sistema de manera independiente.

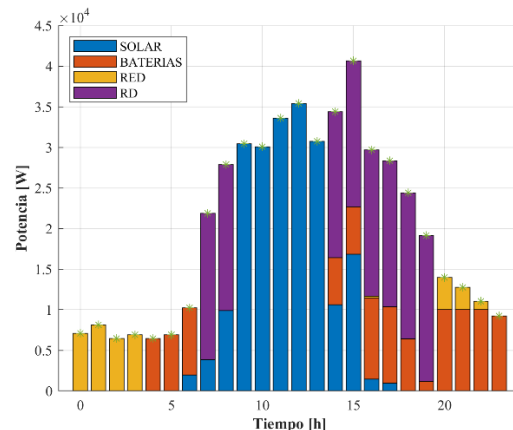


Figura 29. Despacho óptimo de la energía en los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

El buen manejo de la distribución energética por medio del despacho, el desplazamiento energético y la puesta en marcha del banco de baterías, con el estudio realizado, integrando el sistema fotovoltaico y la implementación de los programas de un óptimo despacho tenemos resultados totalmente favorables, la red eléctrica tiene un mínimo de participación en este caso.

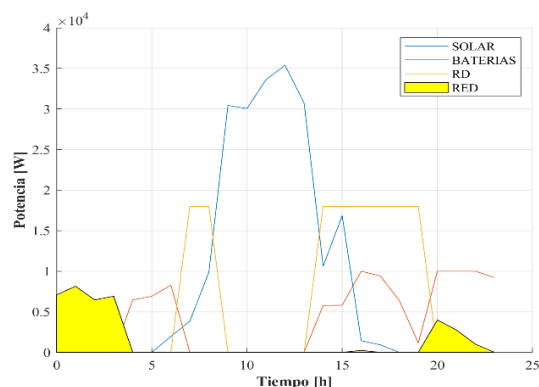


Figura 30. Verificación del despacho óptimo de la energía en los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

En los bloques I, E, bloque automotriz y CNC, se observa como las emisiones de GEI bajan considerablemente de aproximadamente 271.62 toneladas de GEI en total por la instalación y la gestión óptima del despacho energético que se estableció.

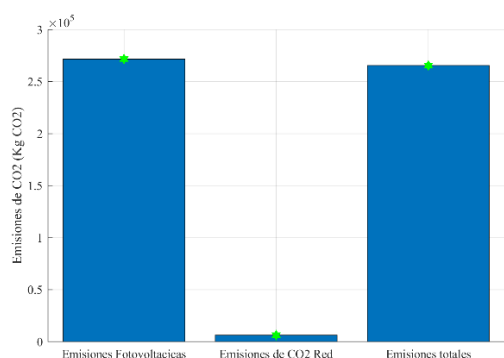


Figura 31. Emisiones de CO2 reducidas con el sistema fotovoltaico implementado en los bloques I, E, bloque automotriz y CNC.

Para poner valores económicos en la instalación del sistema fotovoltaico se tomó como referencia el gasto anual de la energía eléctrica como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Gasto anual en energía eléctrica

Casos	Gasto anual (\$)
Bloques A, B, G, Bombas y ascensores.	64547.73
Bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.	13318.41
Bloques I, E, bloque automotriz y CNC	7197.44

Basándose en la tabla 5 se realizó el análisis de inversión en la instalación del sistema fotovoltaico y los resultados que se obtuvieron son muy favorables ya que se tiene una recuperación de la inversión en un lapso de 11 años, siendo así un sistema muy favorable para el campus, ya que aparte del ahorro significativo puede ser un ejemplo de innovación.

La inversión inicial que requiere el sistema fotovoltaico se dividió en los casos que mantiene el campus así que se presentara de la misma manera.

En la tabla 6, se muestra de que consta la inversión inicial.

Tabla 6. Valores de la inversión inicial y detalle agorzomado de los equipos

Casos	Número de inversores para paneles fotovoltaicos	Potencia del campo fotovoltaico (Wp)	Producción energética estimada anual (Kwh/año)	Coste aproximado total de la instalación (\$)
Bloques A, B, G, bombas y ascensores.	21	210	378000	420000
Bloques H, C, F y exteriores del parqueadero.	4	40	72000	80000
Bloques I, E, bloque automotriz y CNC	6	60	108000	120000
Total	31	310	120.600	620000

Con estos valores que muestra la tabla 6 se realizó el análisis individual de cada caso para poder verificar como la inversión es factible.

En la figura 30. Tenemos la proyección económica de cada caso.

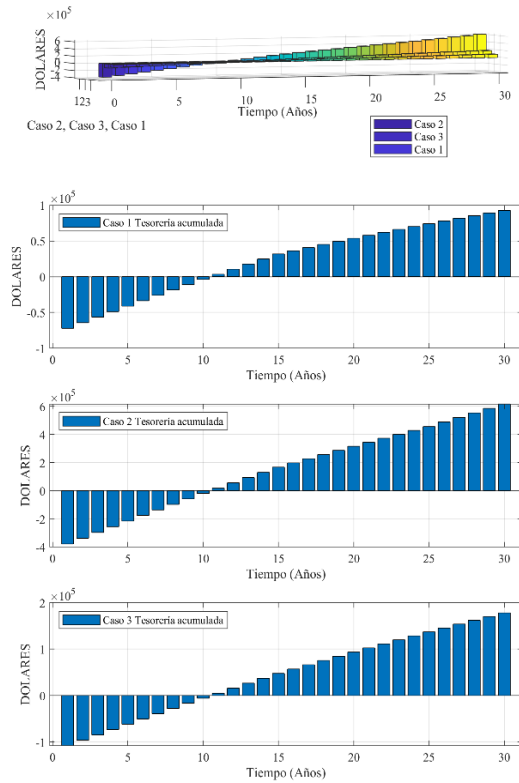


Figura 32. Proyección económica de los casos de estudio.

Claramente el resultado económico de que cada caso se puede observar que tiene un crecimiento favorable para la institución, todos los índices nos muestran como la implementación de los sistemas fotovoltaicos generan ingresos a partir de los 11 años.

Cada una de las proyecciones económicas muestran cómo sería la inversión y la recuperación de la inversión durante del tiempo, así también se tiene que la tasa de retorno (TIR) muestra que la inversión realizada en la instalación del sistema fotovoltaico es muy favorable y al cabo de 11 años se comenzará a visualizar el ahorro que puede generar.

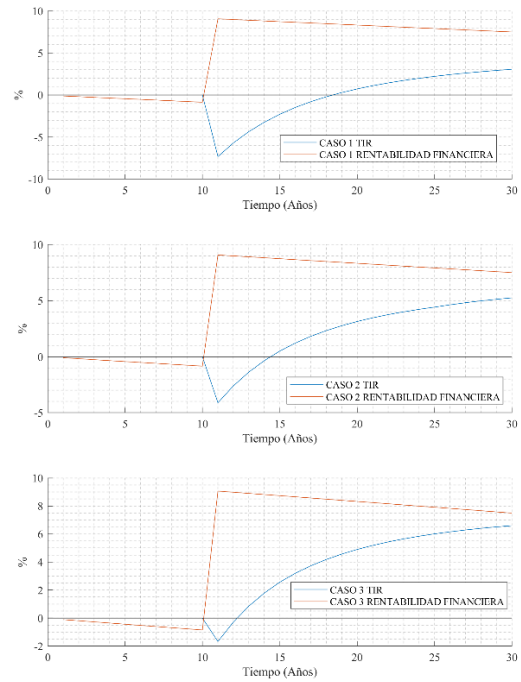


Figura 33. Rentabilidad económica de cada caso.

Esto implica que las entradas y salidas de caja serán afectadas de forma tal que se podrá ver el beneficio de adquisición del sistema y la mejora en el rendimiento energético.

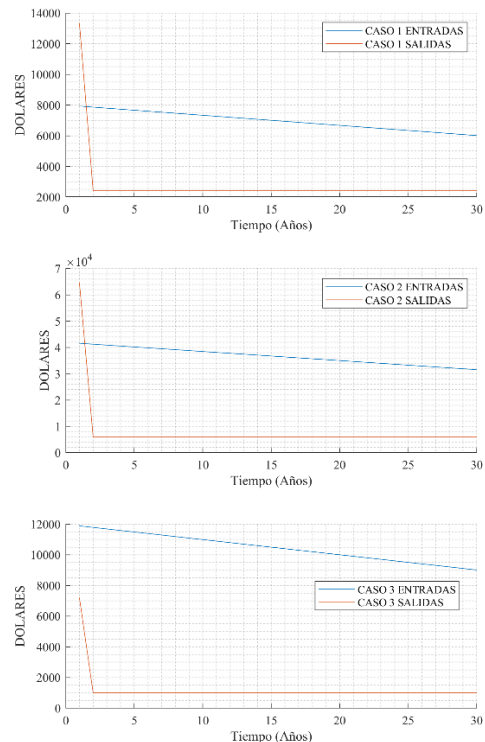


Figura 34. Entradas y salidas de dinero de cada caso.

6 Discusión

En todo caso se podría realizar un pequeña comparativa con la Universidad Pontifica Bolivariana de Colombia ya que ellos mantienen una micro-red compuesta de varios elementos de cogeneración que ayuda al abastecimiento energético necesario para la institución, la institución mantiene un margen de demanda asumida en 420 MW al año, en comparación de la Universidad Politécnica Salesiana Quito campus Sur que su demanda es de 97 MW al año esto quiere decir que la UPS UIO SUR en comparación a la UPB Co es 23.09% de su demanda.

Esto con lleva a la comparativa energética que se muestra en la figura 36.

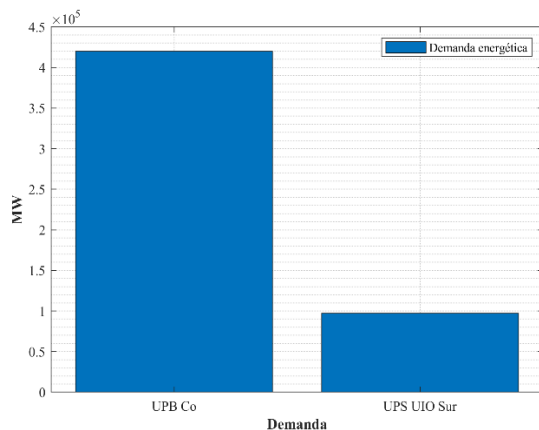


Figura 35. Comparación de demanda entre UPB Co y UPS UIO.

En este trabajo se demuestra que se puede llegar a implementar la micro-red para ayudar a la reducción de consumo energético de la red pública y así minimizar a la vez los pagos que este consumo que representa.

7 Conclusiones

Se desarrolló un despacho por medio de una heurística ocupando el programa Matlab el cual ayudo a establecer un margen admisible para ejecutar la creación de las políticas que cumplen con el objetivo de mantener la demanda abastecida por medio del sistema fotovoltaico que se propone.

Así también por medio de la creación de árboles de decisión se corrobora el despacho para la micro-red tipo campus inteligente, ya que está basado en la óptima respuesta a la demanda con la ejecución del desplazamiento energético y con la mínima ayuda de la red eléctrica local.

Con el planteamiento del sistema fotovoltaico en el campus, este tendrá un gran logro para poder reducir los GEI que tanto afectan al planeta. La puesta en marcha del planteamiento que se realiza en este trabajo daría pie a que el campus tenga mayor atención frente al público en general y serviría de ejemplo a seguir en otras instituciones similares.

En el trabajo se llega a cubrir cada uno de los puntos que se plantean al conjunto de problemas ya que las políticas implantadas son satisfactorias y a la vez son muy admisibles en el manejo energético, con el desplazamiento energético se puede llegar a contemplar como la demanda en horas de poco tráfico en los casos de estudio son altamente abastecidos, así también con la generación fotovoltaica que cubre en su totalidad en horas pico.

Con el análisis económico de la inversión del proyecto que puede llevarse a cabo se demuestra que el campus puede llegar a ver la reducción de 92 % de lo que pagaba del consumo eléctrico anual, para ser más precisos cada caso tiene su porcentaje de reducción de pago anual tal como es el caso del caso 2 de los bloques A, B, G, Bombas y ascensores con un porcentaje reducido del 91 %, en el caso 1 de los bloques H, C, F y exteriores del parqueadero con un porcentaje reducido del 82 % y así también el caso 3 de los bloques I, E, bloque automotriz y CNC con un porcentaje reducido del 86 %, el retorno de la inversión sería visible a partir del año 11, después al avanzar de los años el margen ganancia va a tener un crecimiento ya que no tendrían pago excesivo de energía eléctrica para el campus.

Con todo lo que se plasmó en el trabajo se podría decir que es un proyecto con un alto porcentaje de ayuda al campus, pero sobre todo al medio ambiente, ya que este proyecto sería pionero y ejemplo para replicar por otras instituciones no solo en el ámbito educativo, (universidades, colegios, escuelas) sino también en la población a nivel general.

7.1 Trabajos futuros

Con este trabajo se puede dar paso a la automatización de los tres puntos de unión para analizar y poder corregir la estabilidad del sistema como tal de las micro-redes.

Así también se debería poner en funcionamiento más fuentes de cogeneración, como un volante de inercia, generadores a base de bio gas o algún generador mecánico para evitar la resiliencia del sistema en general.

8 Referencias

- [1] R. H. Lasseter, "MicroGrids," in *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309)*, 2003, vol. 1, pp. 305–308.
- [2] J. Fossati, "Revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes," *Mem. Trab. Difusión Científica y Técnica*, vol. 9, no. 9, pp. 13–20, 2011.
- [3] M. Agrawal and A. Mittal, "Micro grid technological activities across the globe: A review," *Int. J. Res. Rev. Appl. Sci*, vol. 7, no. May, pp. 147–152, 2011.
- [4] S. Suryanarayanan, R. K. Rietz, and J. Mitra, "A framework for energy management in customer-driven microgrids," in *IEEE PES General Meeting*, 2010, pp. 1–4.
- [5] G. Guerrón, E. M. Garcia Torres, and A. Montero, "Influencia de las ráfagas de viento en la calidad de la energía de los parques eólicos (Influence of wind gusts in power quality on wind farms)," *Enfoque UTE*, pp. 25–44, 2014.
- [6] C. Irapuato-salamanca, C. Irapuato-salamanca, and C. Irapuato-salamanca, "Dimensionamiento óptimo con micro-redes basadas en energías renovables," no. 1.
- [7] C. Bordons, F. García-Torres, and L. Valverde, "Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable," *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 12, no. 2, pp. 117–132, Apr. 2015.
- [8] J. Shen, C. Jiang, Y. Liu, and X. Wang, "A Microgrid Energy Management System and Risk Management under an Electricity Market Environment," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 2349–2356, 2016.
- [9] R. Hernandez and C. Vargas, "Micro-redes en comunidades indígenas de Chile: análisis antropológico de estas experiencias.," *Rev. Márgenes*, vol. 12, no. 1, p. En prensa, 2016.
- [10] P. Pérez Fernández, "Descripción e infraestructura de una microrred para un entorno residencial," pp. 1–105, 2017.
- [11] B. Mundial, "Fijación del precio del carbono," *Banco Mundial*, 2017. [Online]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/carbon-pricing>. [Accessed: 14-Sep-2020].
- [12] P. Osmond, M. Dave, D. Prasad, and F. Li, "Greening universities toolkit: Transforming universities into Green and Sustainable Campuses: A Toolkit for Implementers," p. 93, 2013.
- [13] E. M. Garcia Torres and I. Isaac, "Optimal demand response for the recharging of electric vehicles in

- micro-networks type of service station by allocation of energy resources,” *Proc. - 3rd Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci. INCISCOS 2018*, vol. 2018–Decem, pp. 150–157, 2018.
- [14] Z. Bernal and E. M. Garcia Torres, “Dimensionamiento de una micro-red tipo estación de recarga para vehículos eléctricos conectados al sistema eléctrico,” Universidad Politecnica Salesiana.
- [15] Centro de estudios e investigaciones técnicas de Gipuzkoa, “iSARE MICROGRID GIPUZKOA Y EMUGI!, DOS DE LOS PROYECTOS EXPUESTOS EN EL ACTO ANUAL SOBRE POLÍTICA REGIONAL Y FONDOS EUROPEOS,” pp. 1–9, 2011.
- [16] B. P. Guzmán-Escoto, J. M. L. García, A. Pizano-Martínez, E. A. Zamora-Cárdenas, and H. J. Estrada-García, “Control de Generación de una Micro-Red Eléctrica Conformada por Fuentes Renovables de Energía,” *Jovenes en la Cienc.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [17] B. P. Guzmán-Escoto, J. M. L. García, A. Pizano-Martínez, E. A. Zamora-Cárdenas, and H. J. Estrada-García, “Control de Generación de una Micro-Red Eléctrica Conformada por Fuentes Renovables de Energía,” pp. 1–7.
- [18] W. M. Viñán Robalino and E. M. García Torres, “Review of Electricity Markets for Smart Nano-Grids,” *Ing. Y Compet.*, vol. 21, no. 2, pp. 1–9, 2019.
- [19] J. C. Cepeda, “Battery State of Charge Stochastic Model determination for Microgrids Probabilistic Power Flow computation Determinación del Modelo Estocástico del Estado de Carga de Baterías para el cómputo de Flujo de Potencia Probabilístico de Microrredes,” *Rev. Tec. “energía,”* vol. 16, no. I, pp. 35–44, 2019.
- [20] B. Benalcazar and E. M. Garcia Torres, “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,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [21] C. 21 IEEE Standards Coordinating, *IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems*, no. July. 2011.
- [22] G. R. Jáuregui Méndez and E. M. García Torres, “Programación de recursos para una óptima respuesta a la demanda por la penetración de energía renovable en micro-redes,” Universidad Politecnica Salesiana, 2018.
- [23] J. F. Meza Cartagena and E. M. García Torres, “Asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta a la demanda,” *I+D Tecnológico*, vol. 14, no. 2, pp. 66–73, Dec. 2018.
- [24] D. J. Trujillo Sandoval and M. E. Torres García, “Respuesta de demanda de energía por introducción de vehículos eléctricos: estado del arte Response of demand for energy by electric vehicles introduction: state of the art,” *Revisa I+D tecnológico*, vol. 16, no. 1, 2020.
- [25] V. Vergara and E. M. Garcia Torres, “Óptima gestión de la demanda para estaciones de recarga de vehiculos eléctricos en Micro-Redes Inteligentes,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [26] E. E. Henao-Bravo, D. A. Márquez-Viloria, J. P. Villegas-Ceballos, S. I.

- Serna-Garcés, C. A. Ramos-Paja, and D. González-Montoya, “Modelo matemático de sistemas fotovoltaicos para búsqueda distribuida del punto de máxima potencia,” *TecnoLógicas*, vol. 19, no. 37, p. 107, 2016.
- [27] C. M. Shepherd, “Design of Primary and Secondary Cells,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 112, no. 7, p. 657, 1965.
- [28] N. Achaibou, M. Haddadi, and A. Malek, “Lead acid batteries simulation including experimental validation,” *J. Power Sources*, vol. 185, no. 2, pp. 1484–1491, Dec. 2008.
- [29] D. Mayer and S. Biscaglia, “Use of the Modeling of Lead-Acid Battery Operation for the Development of a State of Charge Meter,” in *Tenth E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference*, no. April, Dordrecht: Springer Netherlands, 1991, pp. 1209–1213.
- [30] J. B. Copetti and F. Chenlo, “Lead/acid batteries for photovoltaic applications. Test results and modeling,” *J. Power Sources*, vol. 47, no. 1–2, pp. 109–118, Jan. 1994.
- [31] J. B. Copetti, E. Lorenzo, and F. Chenlo, “A general battery model for PV system simulation,” *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 1, no. 4, pp. 283–292, Oct. 1993.
- [32] Guamán Sánchez and C. Fernando, “Diseño De Una Microrred Basada En Renovables Para Suministrar Electricidad a Un Área De Concesión De La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur,” p. 83, 2017.
- [33] M. J. Piernas Muñoz and E. Castillo Martínez, “Introduction to batteries,” *SpringerBriefs Appl. Sci. Technol.*, no. December, pp. 1–8, 2018.
- [34] M. Garcia, Torres, Edwin and I. Isaac, “Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users,” in *Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), IEEE*, 2016.
- [35] W.-Y. Chang, “The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review,” *ISRN Appl. Math.*, vol. 2013, no. 1, pp. 1–7, 2013.
- [36] P. Bansal and A. Singh, “Smart metering in smart grid framework: A review,” in *2016 4th International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing, PDGC 2016*, 2016, pp. 174–176.
- [37] B. C. L. BC, “Carbon Neutral B . C . – Transforming B . C .’ s Public Sector,” 2019.
- [38] P. Moreno and M. García, “Respuesta a la Demanda para Smart Home Utilizando Procesos Estocásticos,” *I+D Tecnológico*, vol. 12, no. 2, pp. 7–17, 2016.
- [39] P. Moreno and E. M. Garcia Torres, “Gestión energética mediante procesos estocásticos para la respuesta a la demanda,” Universidad Politecnica Salesiana, 2017.
- [40] B. Johnston, “British Renewable Energy : the big picture Solar Water Heating : best practice guide,” pp. 1–12.
- [41] GISSELA BELÉN ARGUELLO ESCOBAR, “ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA Y DESPACHO ECONÓMICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MICRO REDES BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN ESTOCÁSTICA,” 2018.
- [42] M. A. Al-Gunaid, M. V. Shcherbakov, D. A. Skorobogatchenko, A. G. Kravets, and V. A. Kamaev, “Forecasting energy consumption with the data reliability estimation in the management of hybrid energy

- system using fuzzy decision trees,” *IISA 2016 - 7th Int. Conf. Information, Intell. Syst. Appl.*, pp. 1–8, 2016.
- [43] Y. Teng, T. Huo, B. Liu, J. Tang, and Z. Zhang, “Regional voltage stability prediction based on decision tree algorithm,” *Proc. - 2015 Int. Conf. Intell. Transp. Big Data Smart City, ICITBS 2015*, pp. 588–591, 2016.
- [44] J. C. R. Filho, C. M. Affonso, and R. C. L. De Oliveira, “Energy price classification in North Brazilian market using decision tree,” *Int. Conf. Eur. Energy Mark. EEM*, vol. 2015–August, 2015.
- [45] E. M. Garcia, “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, 2016.
- [46] “Sistemas de Gestión de Energía ISO 50001 | ATEC+ID.” [Online]. Available: <https://www.atecid.com/es/content/sistemas-de-gestion-de-energia-iso-50001>. [Accessed: 04-Nov-2020].
- [47] L. Igualada-González, C. Corchero-Garcia, and M. Cruz-Zambrano, “Sistema de gestión energético óptimo para edificios inteligentes con sistemas de generación renovable integrados,” *Proc. I Congr. Edif. Intel.*, no. 1, p. n.a., 2013.
- [48] E. M. Garcia Torres and I. Isaac, “Multi-objective optimization for the management of the response to the electrical demand in commercial users,” *INCISCOS 2017 - Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 14–20, 2017.
- [49] Z. Wang and R. Paranjape, “Optimal Residential Demand Response for Multiple Heterogeneous Homes With Real-Time Price Prediction in a Multiagent Framework,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 3, pp. 1173–1184, May 2017.
- [50] K. Kopsidas, A. Kapetanaki, and V. Levi, “Optimal Demand Response Scheduling With Real-Time Thermal Ratings of Overhead Lines for Improved Network Reliability,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 6, pp. 2813–2825, Nov. 2017.
- [51] E. M. Garcia and I. A. I. Millan, “Multi-objective Optimization for the Management of the Response to the Electrical Demand in Commercial Users,” in *2017 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, 2017, pp. 14–20.
- [52] E. M. Garcia Torres, B. D. Benalcazar Lopez, and I. M. Idi Amin, “Analysis of the Voltage Profile by the Insertion of Electric Vehicles in the Distribution Network Considering Response to Demand,” *2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 7–13, 2017.
- [53] E. M. Garcia Torres, A. Águila, I. Isaac, J. W. González, and G. López, “Analysis of Voltage Profile to determine Energy Demand using Monte Carlo algorithms and Markov Chains (MCMC),” *Power Eng. Conf. (UPEC), 2016 51st Int. Univ.*, no. Mcmc, pp. 1–6, 2016.
- [54] G. Gutiérrez-Alcaraz, J. H. Tovar-Hernández, and C.-N. Lu, “Effects of demand response programs on distribution system operation,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 74, pp. 230–237, Jan. 2016.
- [55] D. Carrión, E. M. Garcia Torres, J. W. González, I. Issac, G. J. López, and R. Hincapié, “Método Heurístico

- de Ubicación Óptima de Centros de Transformación y Enrutamiento de Redes Eléctricas de Distribución,” *Rev. Técnica “energía,”* vol. 13, pp. 90–96, 2017.
- [56] E. M. GARCIA TORRES, “Estimated cost of electricity with time horizon for micro grids based on the policy response of demand for real price of energy,” *Enfoque UTE*, vol. 11, no. 1, pp. 41–55, 2020.
- [57] E. M. Garcia Torres, I. Amin, I. Millan, J. Gonzales, and G. Lopez, “Efficient scheme model for electric power tariffs with distributed generation , based on demand response,” in *FISE - IEEE/CIGRE CONFERENCE 2019*, 2019.
- [58] A. Safdarian, M. Z. Degefa, M. Lehtonen, and M. Fotuhi-Firuzabad, “Distribution network reliability improvements in presence of demand response,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 8, no. 12, pp. 2027–2035, 2014.
- [59] O. Erdinc, N. G. Paterakis, I. N. Pappi, A. G. Bakirtzis, and J. P. S. Catalão, “A new perspective for sizing of distributed generation and energy storage for smart households under demand response,” *Appl. Energy*, vol. 143, pp. 26–37, 2015.
- [60] E. M. Garcia Torres, “Gestión Energética en Micro-Redes basado en la Optima Respuesta de la Demanda por Precio Real de la Energía Energy Management in Micro Grids based on the Optima Demand Response by Real Price of Energy,” in *Proceedings - 4rd International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2019*, 2019.
- [61] K. Christakou, “A unified control strategy for active distribution networks via demand response and distributed energy storage systems,” *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 6, no. xxxx, pp. 1–6, Jun. 2016.
- [62] P. Faria, Z. Vale, T. Soares, and H. Morais, “Energy and reserve provision dispatch considering distributed generation and demand response,” in *2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, 2012, pp. 1–7.
- [63] Y. Huang, Q. P. Zheng, and J. Wang, “Two-stage stochastic unit commitment model including non-generation resources with conditional value-at-risk constraints,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 116, pp. 427–438, 2014.

9 Estado del arte

DES PACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS INTELIGENTE BASADO EN LA OPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA																										
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO						RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
				MICRO-RED	GESTION DE UNA MICRO-RED	GENERACION FOTOVOLTAICA	OPTIMIZACION RESPUESTA A LA DEMANDA	DESPACHO ENERGETICO	MICRO-RED	GESTION	VENTA ENERGETICA	PRONOSTICOS DE RADIACION SOLAR	MODELOS MATEMATICOS DE POTENCIA ENTREGADA	HEURISTICAS	DISTRIBUCION DE MICRO-RED	ALMACENAMIENTO DE ENERGIA	FALTA DE RADIACION SOLAR	LIMITES DE GENERACION	DESPLAZAMIENTO DE ENERGIA	DESPACHO ENERGETICO	ARBOLES DE DECISION	IMPLEMENTACION DE MICRO-REDES	POLITICAS ENERGETICAS	DESPACHO ENERGETICO CON BASE DE LA RESPUESTA A LA DEMANDA	POLITICAS ENERGETICAS	ARBOLES DE DECISION PARA EL DESPACHO ENERGETICO
1	2013	MicroGrids	2	☒			☒						☒	☒		☒	☒	☒								
2	2011	Revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes	692	☒	☒		☒		☒				☒	☒		☒	☒	☒		☒						
3	2011	Micro grid technological activities across the globe: A review	40	☒	☒		☒						☒	☒		☒	☒	☒		☒						
4	2010	A framework for energy management in customer-driven microgrids	403	☒	☒		☒	☒						☒						☒						
5	2000	Dimensionamiento óptimo con micro-redes basadas en energías renovables	70	☒			☒	☒					☒	☒	☒					☒				☒		
6	2002	Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable	70	☒	☒		☒	☒	☒				☒	☒		☒				☒				☒		
7	2016	A Microgrid Energy Management System and Risk Management under an Electricity Market Environment	75	☒	☒		☒	☒			☒	☒		☒						☒				☒		
8	2016	Micro-redes en comunidades indígenas de Chile: análisis antropológico de estas experiencias.	100	☒		☒		☒	☒				☒	☒										☒		
9	2015	Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista Universidad Pontificia Bolivariana Escuela de Ingenierías Facultad de Ingeniería Eléctrica-Electrónica Programa de Ingeniería Eléctrica Medellín	314	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒						☒	☒	☒	☒	☒		☒
10	2017	Fijación del precio del carbono	200								☒			☒										☒		
11	2013	Greening universities toolkit: Transforming universities into Green and Sustainable Campuses: A Toolkit for Implementers	100	☒			☒	☒	☒			☒		☒	☒					☒				☒		
12	2011	¡SARE MICROGRID GIPUZKOA Y EMUGI!, DOS DE LOS PROYECTOS EXPUESTOS EN EL ACTO ANUAL SOBRE POLÍTICA REGIONAL Y FONDOS EUROPEOS	202	☒	☒		☒	☒	☒					☒	☒	☒				☒				☒		
13	2015	Control de Generación de una Micro-Red Eléctrica Conformada por Fuentes Renovables de Energía	70	☒	☒	☒	☒	☒	☒				☒	☒		☒				☒				☒		

DESPACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS INTELIGENTE BASADO EN LA OPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CTIAS	MICRO-RED	GESTION DE UNA MICRO-RED	GENERACION FOTOVOLTAICA	OPTIMIZACION RESPUESTA A LA DEMANDA	DESPACHO ENERGETICO	MICRO-RED	GESTION	VENTA ENERGETICA	PRONOSTICOS DE RADIAACION SOLAR	MODELOS MATEMATICOS DE POTENCIA ENTREGADA	HEURISTICAS	DISTRIBUCION DE MICRO-RED	ALMACENAMIENTO DE ENERGIA	FALTA DE RADIAACION SOLAR	LIMITES DE GENERACION	DESPLAZAMIENTO DE ENERGIA	DESPACHO ENERGETICO	ARBOLES DE DECISION	IMPLEMENTACION DE MICROREDES	POLITICAS ENERGETICAS	DESPACHO ENERGETICO CON BASE DE LA RESPUESTA A LA DEMANDA	POLITICAS ENERGETICAS	ARBOLES DE DECISION PARA EL DESPACHO ENERGETICO
14	2019	Battery State of Charge Stochastic Model determination for Microgrids Probabilistic Power Flow computation Determinación del Modelo Estocástico del Estado de Carga de Baterías para el cómputo de Flujo de Potencia Probabilístico de Microrredes	239	☒			☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒						☒	☒			☒	
15	2011	21 IEEE Standards Coordinating, IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems	12415			☒	☒	☒		☒				☒	☒		☒	☒			☒	☒	☒	☒		
16	2018	Asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta a la demanda	70				☒	☒		☒	☒			☒	☒	☒		☒	☒		☒	☒	☒	☒		
17	2016	Modelo matemático de sistemas fotovoltaicos para búsqueda distribuida del punto de máxima potencia	2	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒		☒					
18	1965	Design of Primary and Secondary Cells	3882				☒								☒				☒		☒					
19	2015	Optimización del Despacho Económico de una Micro Red utilizando Árboles de Decisión	314	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒
20	2008	Lead acid batteries simulation including experimental validation	104			☒	☒			☒					☒		☒									
21	1991	Use of the Modeling of Lead-Acid Battery Operation for the Development of a State of Charge Meter	46			☒				☒					☒		☒									
22	1994	Lead/acid batteries for photovoltaic applications. Test results and modeling	150											☒	☒		☒									
23	1993	A general battery model for PV system simulation	100											☒	☒		☒					☒				
24	2017	Diseño De Una Microrred Basada En Renovables Para Suministrar Electricidad a Un Área De Concesión De La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur	2	☒	☒		☒	☒	☒	☒		☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
25	2018	Introduction to batteries	5	☒				☒							☒		☒									

DESPACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS INTELIGENTE BASADO EN LA OPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA

ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO					RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
				MICRO-RED	GESTION DE UNA MICRO-RED	GENERACION FOTOVOLTAICA	OPTIMIZACION RESPUESTA A LA DEMANDA	MICRO-RED	GESTION	VENTA ENERGETICA	PRONOSTICOS DE RADIACION SOLAR	MODELOS MATEMATICOS DE POTENCIA ENTREGADA	HEURISTICAS	DISTRIBUCION DE MICRO-RED	ALMACENAMIENTO DE ENERGIA	FALTA DE RADIACION SOLAR	LIMITES DE GENERACION	DESPLAZAMIENTO DE ENERGIA	DESPACHO ENERGETICO	ARBOLES DE DECISION	IMPLEMENTACION DE MICRO-REDES	POLITICAS ENERGETICAS	DESPACHO ENERGETICO CON BASE DE LA RESPUESTA A LA DEMANDA	POLITICAS ENERGETICAS
26	2013	The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review	15	☒			☒	☒						☒		☒								
27	2016	Smart metering in smart grid framework: A review	2582	☒	☒		☒							☒	☒		☒			☒	☒	☒	☒	
28	2019	Carbon Neutral B . C . – Transforming B . C .’ s Public Sector	100	☒		☒		☒		☒					☒	☒			☒		☒		☒	
29	2007	British Renewable Energy : the big picture Solar Water Heating : best practice guide		☒		☒		☒			☒			☒	☒	☒			☒		☒	☒		☒
30	2018	ÓPTIMA RESPUESTA A LA DEMANDA Y DESPACHO ECONOMICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MICRO REDES BASADOS EN ÁRBOLES DE DECISIÓN ESTOCÁSTICA		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
31	2016	Forecasting energy consumption with the data reliability estimatation in the management of hybrid energy system using fuzzy decision trees	159		☒	☒	☒	☒				☒	☒	☒	☒				☒	☒		☒		☒
32	2016	Regional voltage stability prediction based on decision tree algorithm	193			☒	☒		☒					☒		☒	☒			☒	☒		☒	☒
33	2015	Energy price classification in North Brazilian market using decision tree	145			☒	☒	☒				☒	☒	☒			☒			☒	☒		☒	☒
34	2020	Sistemas de Gestión de Energía ISO 50001 ATEC+ID				☒			☒							☒	☒			☒	☒		☒	☒
35	2013	Sistema de gestión energético óptimo para edificios inteligentes con sistemas de generación renovable integrados	10		☒			☒	☒					☒	☒		☒			☒	☒		☒	☒
36	2017	Optimal Residential Demand Response for Multiple Heterogeneous Homes With Real-Time Price Prediction in a Multiagent Framework	2084		☒		☒	☒						☒	☒					☒	☒		☒	☒
37	2017	Optimal Demand Response Scheduling With Real-Time Thermal Ratings of Overhead Lines for Improved Network Reliability	2038				☒	☒						☒		☒	☒			☒	☒		☒	☒
38	2017	Multi-objective Optimization for the Management of the Response to the Electrical Demand in Commercial Users	97		☒		☒	☒						☒		☒	☒			☒	☒		☒	☒
39	2016	Effects of demand response programs on distribution system operation	26		☒		☒	☒						☒	☒		☒			☒	☒		☒	☒

DESPACHO ESTOCÁSTICO DE UNA MICRO-RED TIPO CAMPUS INTELIGENTE BASADO EN LA OPTIMA RESPUESTA DE LA DEMANDA																								
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA					
				MICRO-RED	GESTION DE UNA MICRO-RED	GENERACION FOTOVOLTAICA	OPTIMIZACION RESPUESTA A LA DEMANDA	DESPACHO ENERGETICO	MICRO-RED	GESTION	VENTA ENERGETICA	PRONOSTICOS DE RADIAACION SOLAR	MODELOS MATEMATICOS DE POTENCIA ENTREGADA	HEURISTICAS	DISTRIBUCION DE MICRO-RED	ALMACENAMIENTO DE ENERGIA	FALTA DE RADIAACION SOLAR	LIMITES DE GENERACION	DESPLAZAMIENTO DE ENERGIA	DESPACHO ENERGETICO	ARBOLES DE DECISION	IMPLEMENTACION DE MICRO-REDES	POLITICAS ENERGETICAS	DESPACHO ENERGETICO CON BASE DE LA RESPUESTA A LA DEMANDA
40	2014	Distribution network reliability improvements in presence of demand response	87	☒			☒				☒	☒				☒	☒				☒	☒		
41	2015	A new perspective for sizing of distributed generation and energy storage for smart households under demand response	234			☒	☒	☒				☒	☒		☒			☒		☒	☒	☒	☒	
42	2016	A unified control strategy for active distribution networks via demand response and distributed energy storage systems	21	☒		☒	☒	☒			☒	☒	☒		☒					☒	☒		☒	
43	2012	Energy and reserve provision dispatch considering distributed generation and demand response	292	☒		☒	☒	☒			☒	☒			☒	☒		☒			☒	☒	☒	
44	2014	Two-stage stochastic unit commitment model including non-generation resources with conditional value-at-risk constraints	77	☒	☒	☒	☒				☒	☒			☒	☒		☒		☒	☒	☒	☒	

10 Resumen de indicadores

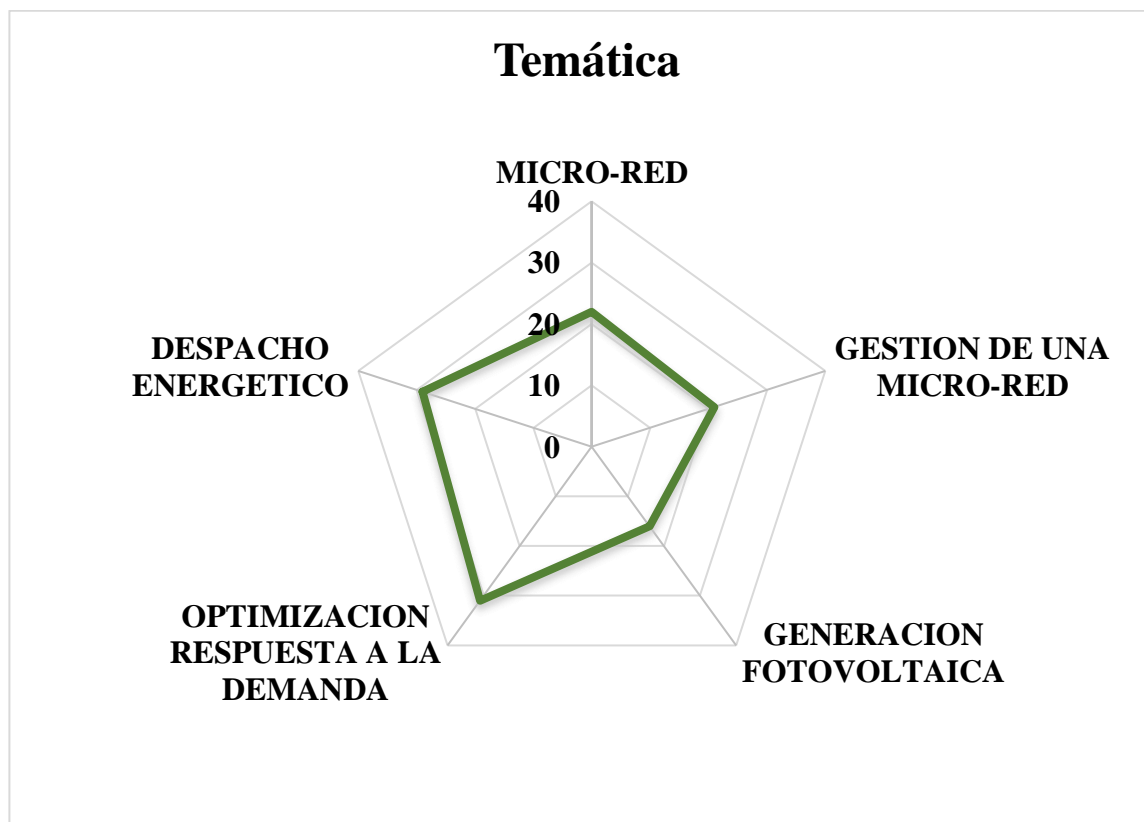


Figura 36 . Indicador de la temática.

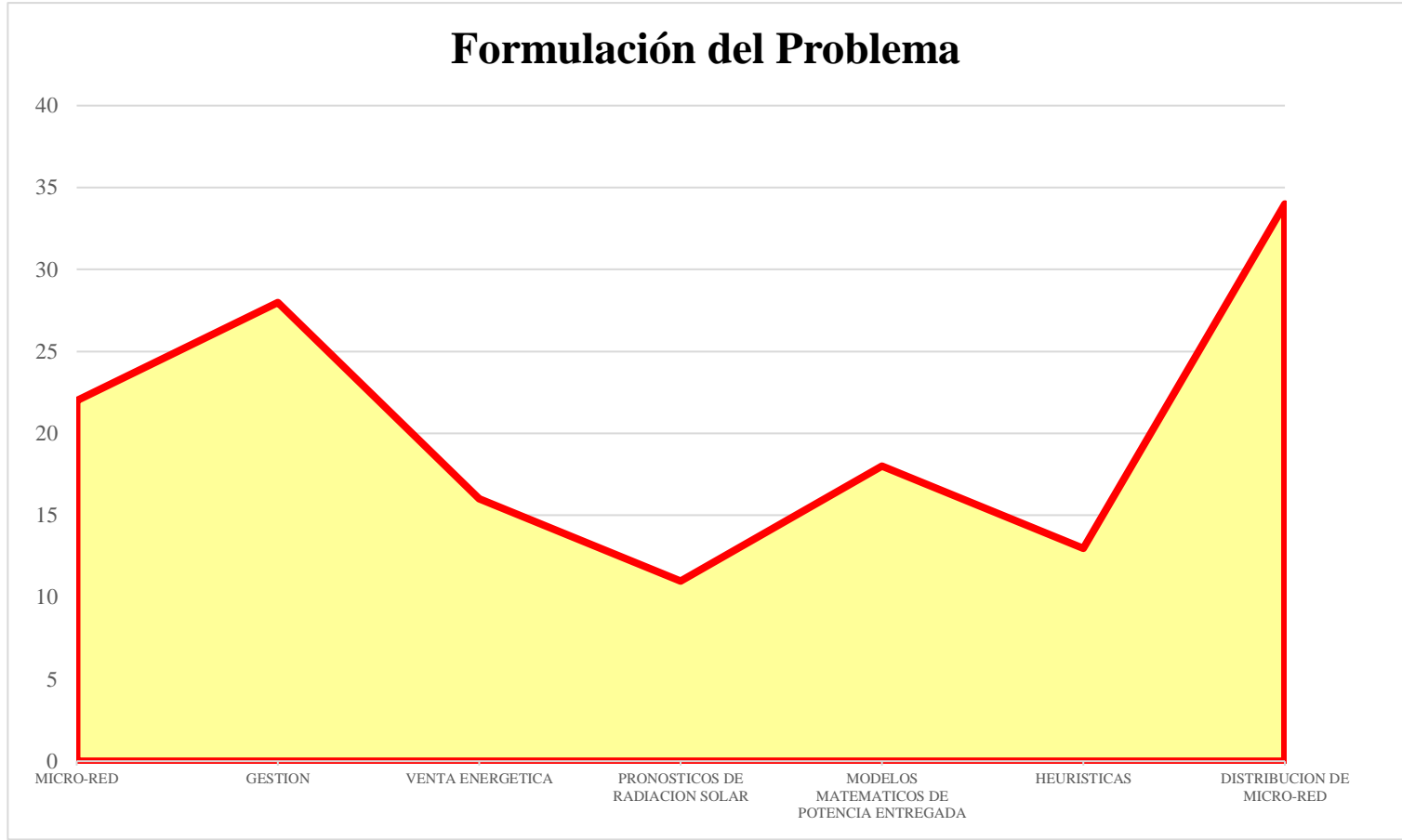


Figura 37 . Indicador de formulación del problema.

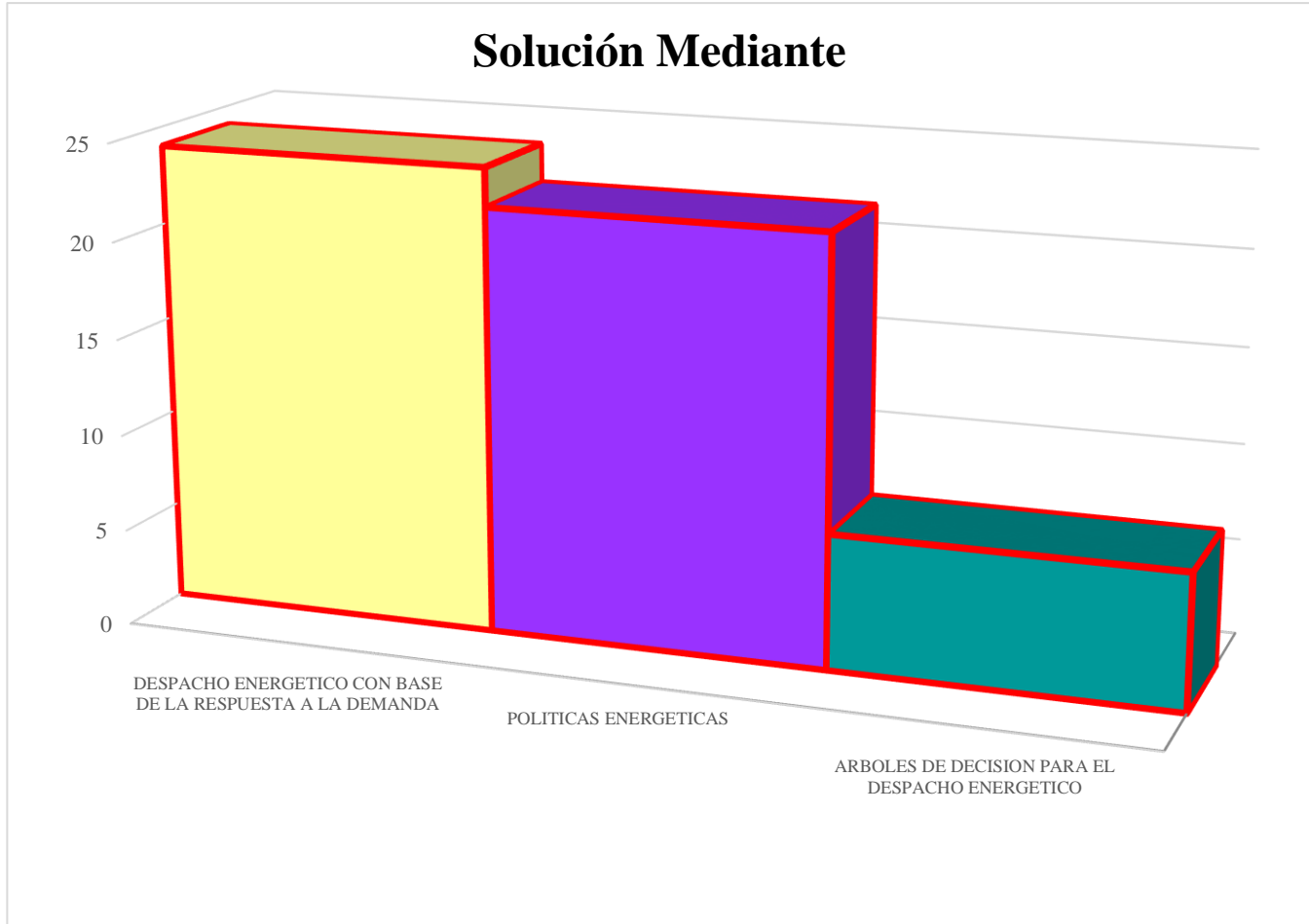


Figura 38 . Indicador de solución.