

**ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES
FÓSILES A ENERGÍAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES
FÓSILES A ENERGÍAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC**

**AUTOR:
KEVIN GEOVANNY VILLACIS GUILLEN**

**TUTOR:
ALEXANDER ÁGUILA TÉLLEZ**

Quito, septiembre 2021

Kevin Geovanny Villacis Guillen

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES FÓSILES A ENERGÍAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito-Ecuador 2021
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Kevin Geovanny Villacis Guillen (Y'1997 – M'01) Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio Particular Los Ilinizas de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en análisis multicriterio para el cambio de combustibles fósiles a energías renovables de la empresa Reybanpac. kvillacisg@est.ups.edu.ec

Dirigido por



Alexander Águila Téllez (Y'1981 – M'09) recibió el título de Ingeniero Eléctrico y el de Máster en Eficiencia Energética en los años 2005 y 2010 respectivamente. En 2019 Recibió el título de Magíster en Ingeniería y 2021 el título de Doctor en Ingeniería, ambos, en la Universidad Pontificia Bolivariana - Colombia-Medellín. Es miembro del Grupo de Investigación GIREI. Sus principales intereses de investigación incluyen la compensación VOLT-VAR en redes de distribución eléctrica, redes inteligentes, minimización de pérdidas de energía, las energías renovables y la eficiencia energética. Es profesor investigador de la Universidad Politécnica Salesiana- Ecuador. aaguila@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

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

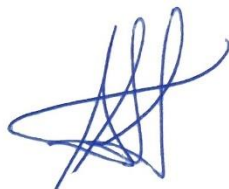
DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Alexander Águila declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES FÓSILES A ENERGÍAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC realizado por Kevin Geovanny Villacis Guillen, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre 2021



.....

Alexander Águila Téllez

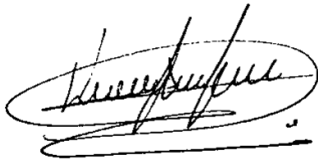
175598318-4

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Kevin Geovanny Villacis Guillen, con documento de identificación N° 172654727-4, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES FÓSILES A ENERGÍAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, D. M., septiembre 2021



.....
Kevin Geovanny Villacis Guillen

CI: 172654727-4

Índice de Contenido

Resumen	11
Abstract	11
1. Introducción	13
2. Marco teórico.....	15
2.1 Descripción del sistema de bombeo con Motobomba en operación	15
2.2 Consumo, huella de carbono y costo.....	16
2.3 Análisis de sistemas proyectados	17
2.4 Consideraciones en sistemas de bombeo alimentados por la red pública.....	17
2.4.1 Factor de potencia.....	17
2.4.2 Pérdidas de potencia en nodo de consumo	18
2.4.3 Eficiencia en sistemas eléctricos	18
2.5 Consideraciones en sistemas de bombeo alimentados por energía FV.....	18
2.5.1 Masa de aire según la posición geográfica.....	19
2.5.2 potencia y energía disponible por unidad de área.	19
2.5.3 Eficiencia de celdas solares.....	19
2.5.4 Corriente-Tensión en sistemas fotovoltaicos	19
2.6 Visión general.	20
3. Optimización multicriterio.	20
3.1 Construcción del marco jerárquico.	21
3.2 Estimación de pesos.....	21
3.3 Verificación de consistencia.	22
3.4 Normalización de eventos.....	23
3.5 Determinación de preferencia.....	23
3.6 Procedimiento lógico de resolución.....	24
3.7 Indicador Costo-Beneficio.....	24
4. Análisis de resultados para la toma de decisiones	25
4.1 Modelo jerárquico aplicado	25
4.2 Comparación pareada matricial	25
4.3 Normalización de eventos.....	26
4.4 Costo-Beneficio resultante	27
5. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico electo	28
5.1 Características de diseño	28
5.2 Especificaciones necesarias.....	29

5.3 Detalle de pérdidas	30
5.4 Resultados obtenidos por la herramienta computacional Pvsyst	31
6.Conclusiones	33
7.Trabajos Futuros.....	34
8. Referencias	34
9. Estado del Arte	38
10. Anexos.....	47

Índice de Figuras

Figura 1. Soluciones para la migración energética en zona de estudio	12
Figura 2. Sistema de riego N°2 de la hacienda San Alejandro, vista superior.	15
Figura 3. Sistema de riego N°2 de la hacienda San Alejandro, vista frontal.....	15
Figura 4. Sistema de riego N°2 de la hacienda San Alejandro, vista lateral.....	16
Figura 5. Representación de variables influyentes por triangulo de potencias	18
Figura 6. Comportamiento I-V en función de la irradiancia incidente	20
Figura 7. Comportamiento I-V en función de la temperatura de la celda.....	20
Figura 8. Ordenamiento jerárquico del AHP	21
Figura 9. Costo anual por obtención de insumos energéticos	25
Figura 10. misiones de CO2 anuales de los sistemas considerados	25
Figura 11. Marco jerárquico para reducción del uso de combustibles fósiles	25
Figura 12. Diagrama de flujo para proceso analítico jerárquico	27
Figura 13. Óptima inclinación para el sistema FV propuesto.....	31
Figura 14. Óptimo azimut para el sistema FV propuesto.....	31
Figura 15. Distribución de la generación por hora.....	32
Figura 16. Energía incidente en el plano colector	32
Figura 17. Producciones normalizadas por kWp instalado	32
Figura 18. Proporción de rendimiento	32
Figura 19. Distribución de la potencia del conjunto FV	32
Figura 20. Perspectiva del campo FV y escena de sombreado circundante	33
Figura 21. Renderización de la instalación FV proyectada	33
Figura 22. Curvas iso-sombreado obtenidos	33
Figura 23. Disposición de los elementos del sistema propuesto	33
Figura 24. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.....	44
Figura 25. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	45
Figura 26. Indicador de solución - Estado del arte	46
Figura 27. Balances y resultados principales.....	47
Figura 28. Diagrama de flujo y pérdidas de energía.....	48

Índice de Tablas

Tabla 1. Especificaciones técnicas de motobomba en operación.....	16
Tabla 2. Peso de criterios y soluciones según su importancia.	16
Tabla 3. Variables empleadas en el algoritmo analítico jerárquico.....	21
Tabla 4. Peso de criterios y soluciones según su importancia	21
Tabla 5. Evaluación de la inconsistencia aleatoria medida	22
Tabla 6. Pseudocódigo de resolución para modelo propuesto.....	24
Tabla 7. Matriz de comparación pareada de juicios	25
Tabla 8. Matriz pareada del criterio de eficiencia.....	26
Tabla 9. Matriz pareada del criterio ambiental	26
Tabla 10. Matriz pareada del criterio económico	26
Tabla 11. Matriz pareada del criterio social.	26
Tabla 12. Consistencias medidas de los eventos planteados.....	26
Tabla 13. Matriz normalizada de juicios	26
Tabla 14. Matriz normalizada del criterio de eficiencia.....	26
Tabla 15. Matriz normalizada del criterio ambiental	26
Tabla 16. Matriz normalizada del criterio Económico.....	26
Tabla 17. Matriz normalizada del criterio social.....	26
Tabla 18. Matriz de preferencias	27
Tabla 19. Vector de preferencias de la matriz de juicios	27
Tabla 20. Vector total de preferencias	27
Tabla 21. Costos fijos anuales expresados en USD.....	28
Tabla 22. Especificaciones de la bomba sumergible	29
Tabla 23. Especificaciones del módulo FV a implementar.....	29
Tabla 24. Horas solares equivalentes, en la zona de estudio.....	30
Tabla 25. Variables empleadas para el dimensionamiento del sistema FV.....	30
Tabla 26. Pseudocódigo asociado al dimensionamiento FV	31

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES FÓSILES A ENERGÍAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC

Resumen

Este documento presenta una solución al alto costo operativo de uno de los sistemas de riego bananero de la empresa Reybanpac.

Mediante la aplicación del proceso analítico jerárquico del análisis multicriterio y debido a las necesidades del recurso hídrico en la zona de estudio, como solución al presente caso de estudio se considera la implementación de un sistema de bombeo alimentado por un conjunto solar FV, la red pública o un sistema a combustión de bajo consumo.

En el proceso de selección se da prioridad a tecnologías amigables con el medio ambiente y que permitan la minimización del uso de combustibles fósiles, este procedimiento se realizó bajo la evaluación de los criterios de eficiencia, ambientales, económicos y sociales. La corroboración del sistema electo se optó por la aplicación del indicador económico de costo beneficio.

Para una correcta operación y dimensionamiento del sistema electo se optó por la ayuda de la herramienta computacional PVsyst, ya que esta además de proporcionar una correcta evaluación de la energía disponible en la zona de estudio permitió verificar que los valores de los parámetros eléctricos sean correctos.

Palabras Clave: Análisis multicriterio, generación renovable, sistemas

Abstract

This document presents a solution to the high operating cost of one of the banana irrigation systems of the Reybanpac company.

Through the application of the hierarchical analytical process of the multicriteria analysis and due to the needs of the water resource in the study area, as a solution to the present case study, the implementation of a pumping system powered by a solar PV system, the public network or a low consumption combustion system.

In the selection process, priority is given to technologies that are friendly to the environment and that allow the minimization of the use of fossil fuels, this procedure was carried out under the evaluation of efficiency, environmental, economic and social criteria. To corroborate the elected system, the application of the economic cost-benefit indicator was chosen.

For a correct operation and sizing of the chosen system, the help of the PVsyst computational tool was chosen, since this in addition to providing a correct evaluation of the energy available in the study area allowed to verify that the values of the electrical parameters are correct.

Keywords: Multi-criteria analysis, renewable generation, photovoltaic systems, cost benefit, off-Grid systems.

fotovoltaicos, costo beneficio, sistemas off-Grid.

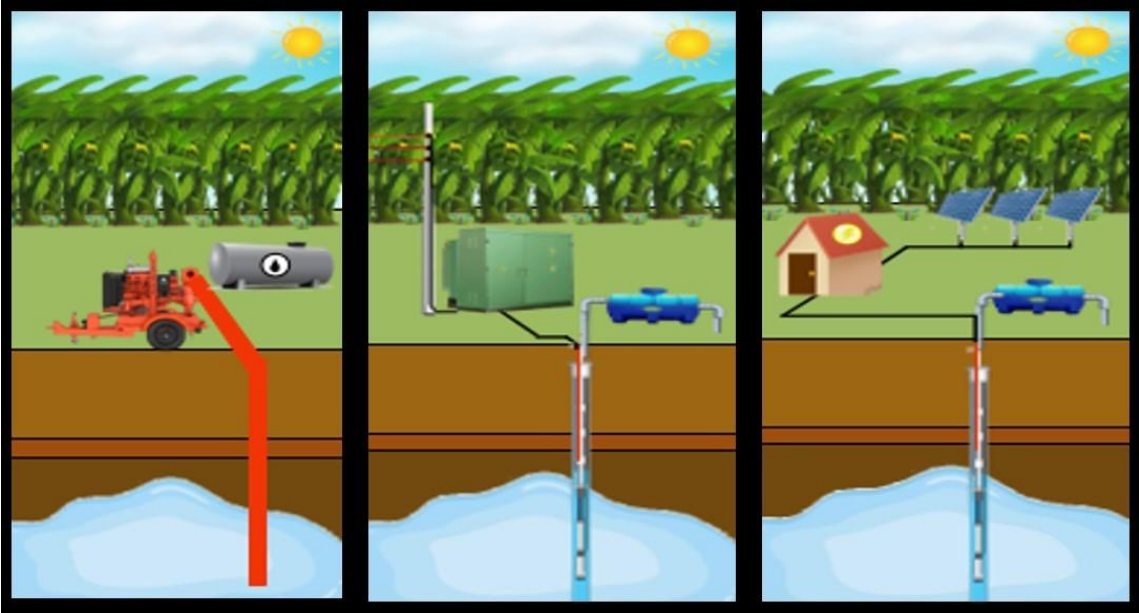


Figura 1. Soluciones para la migración energética en zona de estudio.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

1. Introducción

Actualmente la energía eléctrica juega un papel fundamental en el desarrollo de todas las actividades de la humanidad, además que esta mejora su calidad de vida. Pero la voluminosa emanación gases de efecto invernadero que deja la generación de este insumo, por medio de ciertas tecnologías, ha hecho que el sector eléctrico sea uno de los sectores con mayor aportación de dióxido de carbono, casi alrededor de un 66,73% [1] del total de las emanaciones globales. Esta excesiva contaminación ambiental ha desatado un arduo desarrollo de tecnologías de generación amigable con el medio ambiente, ya que la alta liberación de GEI en la atmósfera está provocando un grave daño al medio ambiente, comprometiendo seriamente al sector eléctrico con este irreparable perjuicio.

El constante crecimiento de la demanda [2] significa mayores emisiones de CO₂. La inclusión de diferentes tecnologías para la generación eléctrica ha provocado un notable cambio en la matriz energética mundial ya que se ha puesto gran énfasis en la aplicación de tecnologías de tipo renovable y así poder contribuir a la lucha contra el cambio climático.

La generación energética de tipo renovable recibió un gran respaldo gracias a los diferentes acuerdos entre naciones en donde más de 190 naciones están comprometidas a reducir sus emisiones contaminantes y aportar en conjunto a la estabilización de la temperatura global [3] tratados como el Acuerdo de París, realizado en la Cumbre Mundial del Clima y otros apoyos como el de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) [4].

La energía proveniente de fuentes renovables [5] son una tendencia inevitable [6] ya que estas son consideradas como inagotables y crecientemente competitivas. Las diferentes tecnologías de generación no contaminantes comúnmente usadas pueden ser de tipo mareomotriz, geotermia, biomasa, biogás, solar térmica, etc. Siendo las principales la eólica y solar fotovoltaica [7], a pesar del desarrollo tecnológico en la actualidad aun no todas las tecnologías de generación renovable son muy accesibles económicamente, ya que en algunas de ellas los costos de implementación y operación son elevados, a pesar de estos altos costos y en algunos casos la baja eficiencia una pequeña parte de la demanda de muchos países del mundo ya es cubierta por este tipo de tecnología. Este tipo de energía limpia se diferencia de la energía proveniente de combustibles fósiles, por su diversidad, su abundancia, pero sobre todo por su potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta [8]–[10].

En nuestro país la satisfacción de la demanda se la realiza principalmente por el funcionamiento de termo e hidroeléctricas, pero al igual que otras naciones ya se ha implementado sistemas de este tipo, siendo las más emblemática la central eólica Villonaco, la misma que se encuentra ubicada en la provincia de Loja. Esta generadora cuenta con una capacidad instalada de 16,5 MWp y se caracteriza por contar con el factor de planta más alto del mundo [7]. Existen otros sistemas que aún siguen en proceso como la planta fotovoltaica El Aromo, la misma que se plantea edificarla en la provincia de Manabí con una capacidad instalada de 200 MWp.

La energía producida y suministrada al consumidor está estrictamente regulada por rigurosas normas, pero la alta penetración de energía renovable en el

SEP [11] aumenta la complejidad en la gestión y control de la energía [12], para esto el desarrollo y el funcionamiento de la electrónica de potencia [7] juega un papel fundamental en el manejo de las contingencias energéticas producidas como: la oscilación de la frecuencia, baja inercia del sistema, inestabilidad transitoria, insuficiencia de reactivos por factor de potencia unitario [12] [13], problemas que no son de gran impacto en pequeños sistemas aislados, debido a la menor complejidad y facilidad con la que maneja su electrónica de potencia las contingencias mencionadas.

En el Ecuador debido a su posición geográfica, los niveles incidentes de radiación solar están entre los más altos de la región, haciendo que sea posible instalar sistemas fotovoltaicos de alto rendimiento [14], ya que la cantidad de potencia generada está directamente relacionada con la cantidad de irradiancia solar disponible [15]. A pesar de que en nuestro país se cuenta con las condiciones geográficas óptimas para un buen aprovechamiento de la luz solar, muchas industrias y poblaciones remotas aún mantienen su dependencia a sistemas de generación que no aportan a al desarrollo sustentable [16] [17]. La pronta y paulatina eliminación de la subvención a la energía eléctrica y de los combustibles [18], ha causado gran alarma en los sectores productivos que dependen de dichos insumos para realizar sus actividades, exponiendo a las industrias a mermar la rentabilidad de su producción [19].

Debido a los acontecimientos mencionados estas industrias deben considerar seriamente la posibilidad de reestructurar las fuentes energéticas que alimentan a sus sistemas, siendo el objetivo principal utilizar fuentes no contaminantes [4] pero sobre todo que sean a bajo coste, esto sería posible

mediante el aprovechamiento de recursos como el viento o la radiación solar, donde su disponibilidad no es continua, pero son relativamente inagotables.

Parte del sector agrícola en nuestro país ya cuenta con pequeños sistemas de energía renovable para la satisfacción de su demanda, suministro indispensable que es ocupado principalmente para sistemas riego de agua y nutrientes en sus plantaciones, para esto se han visto en la obligación de satisfacer su consumo, mediante la aplicación de sistemas compuestos en su mayoría por motobombas [20] pero gracias al avance tecnológico en los últimos años ha sido mediante la aplicación de bombas solares [21]. La actividad agrícola, es una de las actividades económicas del país que más requiere de recurso hídrico, para lo cual se deben tener sistemas de riego eficientes, no solo por el uso óptimo que se le da a este líquido vital, sino también por no dejar un impacto negativo al ecosistema.

Este proyecto se enfoca en analizar bajo diferentes criterios la mejor solución para optimizar un sistema de bombeo de agua, específicamente del sector bananero, esto por medio del ordenamiento lógico de los factores que deberán ser tomados en cuenta en base a la meta planteada [22].

La presente investigación se estructura de la siguiente manera; en el capítulo I se presenta una breve introducción a la investigación, en el capítulo II se presenta el modelo de optimización multicriterio, el capítulo III contiene la descripción del caso de estudio y la aplicación del método planteado, en donde por medio del AHP se facilita el proceso de toma de decisiones para alcanzar la minimización del uso de combustibles fósiles en la zona de estudio, en el capítulo IV se encuentra el dimensionamiento del sistema proyectado y para finalizar en los capítulos V y VI se analizan los resultados

obtenidos y se presentan conclusiones respectivamente.

2. Marco Teórico

En el sector agrícola los sistemas de bombeo son los encargados de la succión y descarga del recurso hídrico, recurso que es de vital importancia para una producción de calidad. Estos sistemas poseen diferentes características según su fuente energética, los mismos que deben cumplir que ciertos requerimientos de impactos ambientales que hoy en día son estrictamente normados.

El proceso de análisis para la selección de los sistemas mencionados es un proceso que depende de múltiples criterios, debido a que estos sistemas presentan diferentes principios de funcionamiento, huella de carbono, costo de operación, superficie requerida. En esta sección se describen conceptual y matemáticamente las características principales de los sistemas considerados para minimizar del uso de combustibles fósiles en la hacienda San Alejandro. Se identifica y se presenta la problemática existente en la consideración de la posible implementación de las tecnologías propuestas.

2.1 Descripción del sistema de bombeo con Motobomba en operación.

El presente estudio es realizado en el pozo de riego N°2 de la hacienda bananera San Alejandro ubicada a 46 msnm en el cantón Valencia, provincia de Los Ríos. En las coordenadas 1°05'15.26"S 79°26'43.53"W, la vista superior de este sistema se muestra a continuación en la figura 2.



Figura 2. Sistema de riego N°2 de la hacienda San Alejandro, vista superior [23].

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Google Earth Pro.

La demanda de recurso hídrico se la realiza gracias al funcionamiento de un gran tracto bomba a base de gasoil, la vista lateral y frontal de este sistema se presentada a continuación en las figuras 3 y 4.



Figura 3. Sistema de riego N°2 de la hacienda San Alejandro, vista frontal

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.



Figura 4. Sistema de riego N°2 de la hacienda San Alejandro, vista lateral.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Las características del sistema de bombeo mencionado se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de motobomba en operación.

Características	Especificación
Marca	John Deere PT
Modelo	CTM 301
Motor	24 l
Combustible	Diésel
Pot. Motor	300 HP
Caudal	200-1000 GPM
Succión	40 m

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Catálogo de John Deere PT.

El insumo hídrico se lo obtiene a partir de acuíferos subterráneos, debido al alto nivel de la zona freática y no saturada dichas y extracción se la realiza a 25 metros de profundidad y TDH total de 32 metros. Este sistema de bombeo cubre una totalidad de 2ha de cultivo de banano verde, con un promedio de trabajo anual de 1455 horas (3.9863 horas por día), promedio que varía dependiendo de las condiciones meteorológicas de la zona. El suministro se realiza bajo la modalidad de aspersión, con la finalidad de evitar encharcamientos y propagaciones de enfermedades en la zona.

2.2 Consumo, huella de carbono y costo.

La proyección del uso de gasoil por el tracto bomba en funcionamiento ha sido determinada en base a las características de su motor, al promedio de trabajo del mismo y a 8 años, ya que estos son los años que el fabricante garantiza un óptimo rendimiento. Por simplicidad de los cálculos y por las características del motor utilizado en dicho sistema, se ha considerado un factor de consumo máximo, obteniéndose la proyección de consumo de combustible mostrada a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Peso de criterios y soluciones según su importancia.

TIEMPO	CONSUMO
HORA	6,3403 [gal]
DÍA	24,051 [gal]
MES	721,53 [gal]
AÑO	8778,61 [gal]
8 AÑOS	70228,92 [gal]

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

La cuantificación del total de GEI emanados a la atmosfera a causa de la operación de este sistema se lo puede realizar a través del índice conocido como huella de carbono, índice que varía en función de la cantidad de combustible o recurso energético utilizado [24]. Por el tipo de combustible a estos sistemas se les atribuye un FE de 2,59 kg de CO₂ por litro de gasoil, la norma ISO 14064:2006 establece la cuantificación de GEI a través de la ecuación mostrada a continuación.

$$Emission\ Total\ (GEI) = ACT * FE \quad (1)$$

Donde:

- FE Factor de emisión del combustible
- ACT Combustible consumido
- GEI Gases de efecto invernadero

El valor del costo del combustible utilizado es una de las mayores preocupaciones en muchos de los sectores productivos del país, ya que gracias a reformas gubernamentales el costo de estos está en constante incremento gracias a la eliminación a la subvención del sector hidrocarburiífero. El costo final de estos se proyecta a un valor igual al del mercado internacional, el combustible de interés en la presente investigación alcanzara un precio final de 2,032 dólares americanos por galón de gasoil. El redimensionamiento de su motor por uno de menor consumo obtiene una baja preferencia en la presente investigación debido a que no contribuye a eliminar la dependencia al uso de combustibles

fósiles, además que estos sistemas mecánicos requieren constantes mantenimientos.

2.3 Análisis de sistemas proyectados.

En la exhaustiva revisión bibliográfica se destaca trabajos de diferentes autores en este tipo de sistemas, proponen el recambio de las fuentes energéticas de los sistemas de bombeo a combustión por sistemas de bombeo sumergibles alimentadas por parte de la red eléctrica o por algún conjunto fotovoltaico.

2.4 Consideraciones en sistemas de bombeo alimentados por la red pública.

La alimentación de un sistema de bombeo alimentado por la red pública, al igual que otros sistemas no solo implica el considerar aspectos económicos de inversión y operación, si no implica también implica un análisis en la de huella de carbono por consumo de energía de la red, impacto en la calidad de la salud de los trabajadores y las afectaciones a la red pública por la inclusión de este tipo de cargas.

Gracias al alto consumo requerido por este tipo de bombas de agua para su operación, la implementación de este tipo de sistemas es visto por la red como la entrada de una fuerte carga inductiva provocando una alteración al perfil de voltaje del nodo de consumo, además se ve afectada la calidad y la confiabilidad de la red.

La implementación de dispositivos inteligentes de compensación reactiva no solo podría controlar y mejorar las contingencias de perfiles de voltaje presentadas en el sistema [25], estos elementos tienen la capacidad de optimizar el flujo de potencia reactiva minimizando las pérdidas de potencia útil además de mantener índices aceptables de calidad. Diferentes trabajos han propuesto la implementación SVC's como los

elementos de compensación en la distribución de la energía, estos elementos tienen la particularidad de comportarse como carga inductiva o capacitiva según se presenten las necesidades y las variables eléctricas medias por este elemento.

Estos sistemas de bombeo de agua pueden llegar a tener altas eficiencias, incluso por encima del 70%, pero al ser un estudio proyectado, la consideración de esta tecnología seguramente implicara la inclusión de dispositivos de compensación, además de la extensión de 3,1km de tendido eléctrico trifásico desde el primerio más cercano hasta la estación de bombeo analizada. Estos altos costos provocan un considerable aumento en la inversión inicial y una prologada tasa de retorno.

Otro aspecto que es de gran preocupación y no se debe dejar pasar es el costo de la energía eléctrica requerida, la misma que al igual que los combustibles están en análisis para la paulatina eliminación de la subvención a su sector. Debido a las decisiones gubernamentales nombradas, en el Ecuador se tendrá una tarifa al consumo eléctrico de 0,12 centavos por kilo vatio hora.

2.4.1 Factor de potencia.

En sistemas eléctricos se define como el factor de potencia a la magnitud que puede dar una idea de energía útil aprovechada, a esta también se la puede describir como el desfase entre la tensión y la intensidad. Algunas empresas reguladoras determinar que este valor debe ser mayor a 0,8, y su determinación se la puede realizar mediante la aplicación mostrada a continuación [26], [27].

$$FP = \cos(\theta) \quad (2)$$

Donde:

FP Es el Factor de Potencia.

Las potencias intervenidas se pueden observar en la figura 5 mostrada a continuación.

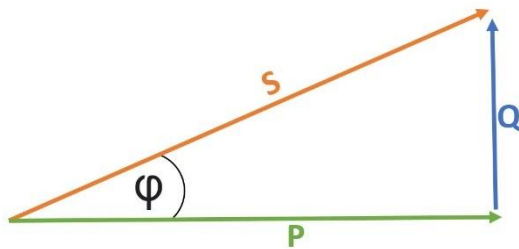


Figura 5. Representación de variables influyentes por triángulo de potencias
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Donde:

- S Es la Potencia Aparente [kVA].
- P Es la Potencia Activa [kW].
- Q Es la Potencia Reactiva [kVAr].

2.4.2 Pérdidas de potencia en nodo de consumo.

Las pérdidas asociadas a la potencia eléctrica están sujetas a disipación de energía en calor [28], la mismas que suceden debido al paso de la corriente por algún elemento resistivo. Estas pérdidas se pueden determinar por la ecuación (3) presentada a continuación [29]–[31].

$$\Delta P = R \times I^2 \quad (3)$$

Donde:

- ΔP Son las pérdidas.
- R Resistencia en ohmios.
- I^2 Intensidad a través del elemento.

2.4.3 Eficiencia en sistemas eléctricos.

La eficiencia de los elementos que forman parte de estos sistemas suele ser dadas por el fabricante. sin embargos este valor puede ser obtenida por la ecuación (4).

$$\eta = \frac{POT_{sal}}{POT_{ent}} * 100\% \quad (4)$$

Donde:

- η Es la eficiencia.
- POT_{ent} Es la potencia de salida.

POT_{sal} Es la potencia de salida.

2.5 Consideraciones en sistemas de bombeo alimentados por energía FV.

Los sistemas fotovoltaicos son conjuntos de paneles solares unidas entre sí en cadenas de serie y paralelo, estos elementos son los principales autores en la captación de la energía lumínica proveniente del sol y para transformarla en energía eléctrica, a este fenómeno se le conoce como efecto fotovoltaico.

Su avanzada electrónica de potencia permite trabajar a estos sistemas de bombeo trabajar a distintas frecuencias, a pesar de que el conjunto fotovoltaico genera únicamente P para lograr el correcto trabajo deseado en la dimensión del sistema se debe considerar mantener siempre un valor extra de potencia a los dispositivos variadores de frecuencia para poder mantener la potencia útil después de su desfase, a este proceso se le conoce como Clipping.

Este tipo de sistemas caracterizan por su bajo costo de producción, además que a este elementos no se le atribuye ningún tipo de emisión de huella de carbono por contaminación directa [32], pudiendo obtenerse muchas ventajas de este sistema y una producción limpia. Las principales variables y consideraciones de los sistemas fotovoltaicos se presentan a continuación

2.5.1 Masa de aire según la posición geográfica.

La energía solar antes de ser medida en la superficie terrestre a traviesa una determinada masa de aire, la cual varía según la posición geográfica de la zona de estudio, debido a que la longitud de tiene que atravesar está energía en la atmosfera es mayor según se aleje se la zona ecuatorial. La masa de aire puede ser obtenida con la ecuación (5) presentada a continuación.

$$AM = \frac{1}{\cos(\beta)} \quad (5)$$

Donde:

AM Masa de aire.
 β Es la latitud en grados.

2.5.2 Potencia y energía disponible por unidad de área.

La cuantificación de trabajo aprovechable proveniente de la energía solar conocida como Irradiancia, en este estudio se la denota con la letra I y se la puede cuantificar con cantidad de potencia por unidad de área, tal como se representa a continuación en la ecuación (6).

$$I = \frac{W}{m^2} \quad (6)$$

Donde:

I Es la Irradiancia.
W Potencia disponible.
 m^2 Unidad de superficie.

Esta potencia consumida dentro de un instante de tiempo se la conoce con el nombre de Irradiación, se la denota con la letra H y se la cuantifica en las unidades mostradas a continuación en la ecuación (7).

$$H = \frac{Wh}{m^2} \quad (7)$$

Donde:

H Es la Irradiación.
Wh Energía disponible.
 m^2 Unidad de superficie.

La cantidad de energía diaria dependerá de la cantidad de irradiancia disponibles y las horas solares aprovechable al día, esta puede ser afectada por las condiciones meteorológicas del lugar, este factor es de vital importancia en el desarrollo del dimensionamiento en caso de ser la solución electa.

2.5.3 Eficiencia de celdas solares.

La eficiencia de estos elementos se mide por la cantidad de potencia aprovechada por unidad de área. La eficiencia depende de las diferentes tecnologías comerciales de paneles fotovoltaicos, las mismas que pueden ser de tipo monocristalino, policristalino y bifacial. Estos elementos pueden a llegar eficiencias en el rango del 15 al 21%, su baja eficiencia debe ser con mayor superficie de captación fotovoltaica. Con el uso de la tecnología de tipo bifacial se puede lograr obtener un 3% de generación extra, esto gracias a sus características de producción por el reverso y anverso del panel [33]. A pesar esto en el presente estudio se debería considerar la implementación de la tecnología de tipo monocristalina ya que la tecnología bifacial requiere ser instalada sobre suelos más reflectantes como arena blanca o concreto para lograr el extra de producción mencionado, sin este tipo de suelos la junta monocristalina genera mayor potencia por unidad de área

2.5.4 Corriente-Tensión en sistemas fotovoltaicos.

La corriente y el voltaje en estos sistemas varían en función de su disposición y por las condiciones meteorológicas. Por su disposición por los principios de serie y paralelo, en serie se suman sus tensiones, pero se mantiene la corriente mientras que en conexión paralelo se sumaran las corrientes, pero se mantiene el voltaje a la salida de los módulos.

Los valores la tensión y corriente además de varias por su disposición, estas también cambian en función de la irradiancia y de la temperatura de trabajo de la celda. Por una parte, la intensidad se ve más afectada por la irradiancia, todo lo contrario a lo que pasa con la tensión, ya su variación depende de la temperatura, esta variación se muestra en las figuras 6 y 7.

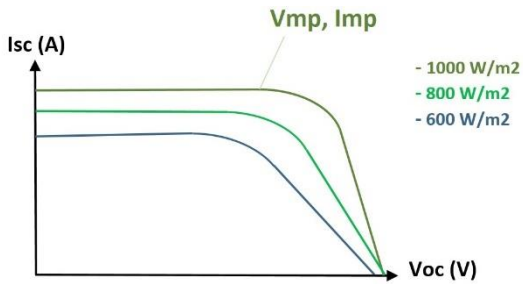


Figura 6. Comportamiento de I-V en función de la irradiancia incidente

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Catálogo de paneles solares (varios)

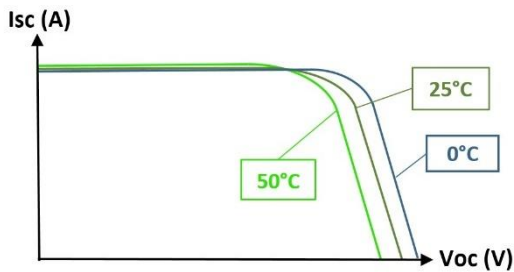


Figura 7. Comportamiento I-V en función de la temperatura de la celda.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Catálogo de paneles solares (varios)

Con la consideración de la variación V-I en estos sistemas se evita sobre pasar los valores máximos de tensión y corriente admitidos por los elementos del sistema de bombeo solar.

2.6 Visión general.

La presente investigación tiene como objetivo minimizar el uso de combustibles fósiles como fuente energética para la operación de los sistemas de bombeo en la empresa beneficiada, específicamente de Diésel, es por eso que el recambio o la implementación de un motor con menor consumo obtendrá una muy baja preferencia en el análisis multicriterio, ya que con estos sistemas se mantendrá la dependencia al uso de este insumo y esto contradice los ideales de la investigación. El costo de operación y el nivel de huella de carbono producida en el lugar dependen directamente de la cantidad de combustible usado, esto hace que los

aspectos económicos y ambientales sean de mayor importancia en los criterios del análisis multicriterio.

3. Optimización Multicriterio

La optimización multicriterio es una metodología que está enfocada a facilitar procesos de toma de decisiones [34], [35], apoyando a muchos sectores como el académico, industrial, empresarial, político y en este caso al agrícola. Distintos trabajos proponen para casos de estudios mono objetivos similares, la optimización multicriterio a mediante la aplicación del AHP. Este método fue propuesto por Thomas Saaty en 1980 [36], el cual consiste en ponderar juicios personales en forma de comparaciones matriciales, esto se lo hace con la finalidad de cuantificar de manera eficiente y subjetiva la importancia de metas, criterios y soluciones planteadas [34] [37].

Los juicios subjetivos nacen a partir de amplia experiencia y conocimiento del autor en el tema, la aplicación del método se realiza siguiendo el orden detallado a continuación:

- 1) Primero se define el problema y la meta general deseada, se especifican los criterios en los que se basará la evaluación y posterior elección de la solución que permitirá cumplir con los ideales del caso de estudio.
- 2) Presentar por niveles las posibles soluciones y criterios, dentro de un enfoque general llamado marco jerárquico.
- 3) Cuantificar los juicios de los diferentes criterios y soluciones según su importancia subjetiva, en una serie de matrices llamadas matrices de comparación pareada.
- 4) Verificar el índice de consistencia de cada una de las matrices pareadas obtenidas.

- 5) Repetir el paso 2 y 3 a nivel global de la investigación.
- 6) Obtener el peso total de las soluciones mediante el producto cruz entre matriz de prioridades y el vector de decisión total.

Para el entendimiento de la presente investigación la simbología empleada se presenta a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Variables empleadas en el algoritmo analítico jerárquico

Simbología	Significado
<i>AHP</i>	Proceso analítico jerárquico.
<i>A</i>	Matriz comparación pareada de criterios.
<i>B^m</i>	Matriz comparación pareada de juicios del m-esimo criterio
<i>m_i</i>	Criterios considerados.
<i>CI_i</i>	Índice de consistencia.
\vec{w}_i	Vectores de prioridad.
\vec{t}	Vector prioridad total.
$x_{(i,j)norm}$	Elementos normalizados de las matrices de comparaciones pareadas.
<i>C</i>	Matriz de criterios <i>i</i>

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

3.1 Construcción del Marco jerárquico.

En el marco jerárquico se tiene como objetivo representar de manera global y ordenada [36] [38] los diferentes criterios y soluciones que conlleva el caso de estudio, en donde la cúspide representa el objetivo o meta al que queremos llegar u optimizar, en el segundo nivel están los criterios en los que se basará la evaluación de las soluciones planteadas. Las mismas que se encuentran en el tercer y último nivel, este proceso se lo realiza para facilitar la comprensión general del problema [39], así como se indica en la figura 8.

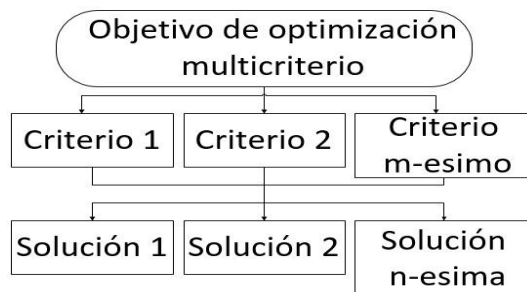


Figura 8. Ordenamiento jerárquico del AHP.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Thomas L. Saaty.

3.2 Estimación de pesos.

Luego de ordenar jerárquicamente al problema, el autor debe cuantificar la importancia subjetiva [40] de los diferentes criterios y soluciones planteados, los mismos que deberán ser representados en varias matrices conocidas como matrices de comparación pareada [41]. La cuantificación de los juicios y criterios mencionados dependen de la importancia relativa que tienen unas opciones con otras, es decir estos juicios personales se transforman a juicios cuantitativos [34] [42] en una escala del 1 al 9 [39] la cual es mostrada en la tabla 4.

Tabla 4. Peso de criterios y soluciones según su importancia.

Intensidad	Definición
1	Igual importancia
3	Moderada importancia
5	Fuerte importancia
7	Importancia muy fuerte
9	Absoluta importancia
2,4,6,8	Valores intermedios

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Thomas L. Saaty.

La primera matriz en obtenerse deberá ser la matriz de comparación pareada de juicios en base a la meta general, es decir los criterios planteados son evaluados en base al nivel superior del marco jerárquico [36], tal y como se indica a continuación.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & A_{1,2} & \dots & A_{1,m} \\ 1/A_{2,1} & 1 & \dots & A_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/A_{m,1} & 1/A_{m,2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\forall A_{i,j} = \frac{1}{A_{j,i}} \quad (9)$$

Donde m representa el m-esimo criterio [40] y debido al ordenamiento de los elementos en la matriz se produce una propia evaluación de los elementos, generando siempre una diagonal unitaria. Conociendo esto se procede a plantear diferentes matrices de similares características, llamadas matrices de comparación por pares de las soluciones en base a los criterios planteados, matriz que será de orden nxn, donde n será la n-esima solución del m-esimo criterio.

$$B^m = \begin{bmatrix} 1 & B_{1,2}^m & \dots & B_{1,n}^m \\ 1/B_{2,1}^m & 1 & \dots & B_{2,n}^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/B_{n,1}^m & 1/B_{n,2}^m & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\forall B_{i,j}^m = \frac{1}{B_{j,i}^m} \quad (11)$$

3.3 Verificación de consistencia.

La medición de la consistencia es un procedimiento que se debe efectuar antes de la normalización de las mismas, ya que esta sección permite evaluar si el caso de estudio posee conexión lógica y dependiendo del orden de la matriz de comparación por pares se esperará obtener un valor igual o menor a los que se presentan a continuación en la tabla 5.

Tabla 5. Evaluación de la inconsistencia aleatoria medida

Orden de la matriz	Inconsistencia aleatoria medida
1	0.00
2	0.00
3	0.52
4	0.89
5	1.11
6	1.25
7	1.35
8	1.40
9	1.45
10	1.49

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Proceso analítico jerárquico, Thomas L. Saaty.

La metodología propuesta aconseja que, si el orden de las matrices obtenidas supera el orden 10, debe considerarse otra metodología ya que dichos casos de estudio manejan una mayor complejidad de solución y mayor consistencia en el ordenamiento lógico de las ideas. Para conocer y determinar del valor de consistencia de cada matriz primeramente se necesita conocer el valor de λ_{\max} . La obtención de este valor se da mediante la aplicación del producto cruz entre la matriz de comparación por pares y el vector de prioridades, para dar como resultado el vector total como se muestra en las ecuaciones (12) (13) y (14), ecuación que deberá ser aplicada a las matrices de juicios y criterios.

$$A x \vec{w} = \vec{x} \quad (12)$$

$$B^m x \vec{w}^m = \vec{x}^m \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & B_{1,2}^m & \dots & B_{i,n}^m \\ 1/B_{2,1}^m & 1 & \dots & B_{2,n}^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/B_{n,1}^m & 1/B_{n,2}^m & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_{1,1} \\ w_{2,1} \\ \vdots \\ w_{i,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1,1} \\ x_{2,1} \\ \vdots \\ x_{i,1} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Una vez conocido el vector fila total, se procede al dividir cada elemento del vector de prioridades para su correspondiente del vector de prioridad, esto se muestra en las ecuaciones (15) y (16), siendo λ_{\max} el promedio del vector resultante.

$$\begin{bmatrix} x_{1,1}/w_{1,1} \\ x_{2,1}/w_{2,1} \\ \vdots \\ x_{i,1}/w_{i,1} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_i^n \frac{x_{i,1}}{w_{i,1}}}{N} \quad (16)$$

Conocido el valor de λ_{\max} , este se lo aplica en la ecuación (17) para determinar el índice de consistencia de la matriz planteada.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (17)$$

Si la consistencia no está dentro de los valores establecidos por el método de AHP [43] mostrados en la tabla 2, se procede a reformular los juicios planteados en las matrices de comparación pareada para lograr a consistencia deseada.

3.4 Normalización de Eventos.

Una vez comprobado que los índices de consistencia cumplen con los valores determinados se procede a normalizar cada una de las matrices obtenidas esto se lo hace con la finalidad de obtener valores

unitarios, los mismos permitirán observar con mayor claridad la importancia subjetiva que tiene cada solución y criterio con respecto a los demás, esto es posible fraccionando cada elemento perteneciente a la matriz para la sumatoria total de su columna, representada por la ecuación (18) y (19).

$$[a_{(i,j)norm}] = \frac{A_{i,j}}{\sum_{i=1}^n A_{i,j}} \quad (18)$$

$$[b_{(i,j)norm}] = \frac{B_{i,j}}{\sum_{i=1}^n B_{i,j}} \quad (19)$$

Normalizadas las matrices planteadas se calcula la media de cada una de las filas de dichas matrices, para la obtención del llamado vector de prioridades [39], tal y como se indica en la ecuación (20) y (21).

$$\vec{w}^m = \begin{bmatrix} w_{1,1} \\ w_{2,1} \\ \vdots \\ w_{i,1} \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$[w_{i,j}] = \frac{\sum_{j=1}^N b_{i,j}}{N} \quad (21)$$

3.5 Determinación de preferencias.

En esta sección se logra conocer el peso e importancia de cada solución del caso de estudio planteado, para esto se reagrupan todos los vectores de prioridad obtenidos de las matrices de comparación pareada de soluciones para dar forma a la matriz de prioridad. La matriz mencionada es multiplicada con el peso de los criterios propuestos, gracias a este proceso se puede obtener la solución con mayor preferencia, tal y como se indican en las ecuaciones (22) y (23) a continuación.

$$\begin{bmatrix} b_{1,2}^1 & b_{1,2}^2 & \dots & b_{i,n}^m \\ b_{1,2}^1 & b_{1,2}^2 & \dots & b_{2,n}^m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{1,2}^m & b_{1,2}^m & \dots & b_{1,2}^m \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$C \times \vec{a} = \vec{t} \quad (23)$$

Los valores del vector resultante deberán ser llevados a la forma porcentual, para una visión más clara de los resultados obtenidos.

3.6 Procedimiento lógico de resolución.

Gracias al eficiente y fácil manejo de los conceptos empleados por el método de análisis multicriterio este proceso se lo puede aplicar sin la necesidad de ayuda de alguna herramienta computacional, en donde los datos iniciales serán los juicios personales y el amplio conocimiento del autor. A continuación, en la tabla 6 se presenta el procedimiento lógico para resolución del modelo planteado.

Tabla 6. Pseudocódigo de resolución para modelo propuesto	
Proceso Analítico Jerárquico	
Paso 1	Ingreso de matrices: $\{A : B^m\}$;
	Normalización de eventos
Paso 2	$[a_{(i,j)norm}] = \frac{A_{i,j}}{\sum_{i=1}^n A_{i,j}}$ Hacer para todo m= 1, ...M $[b_{(i,j)norm}] = \frac{B_{i,j}^m}{\sum_{i=1}^n B_{i,j}^m}$
Paso 3	Determinación de vectores de prioridades $[w_{i,j}] = \frac{\sum_{j=1}^N b_{i,j}}{N}$
Paso 4	Verificación de la consistencia Comprobar para todo $\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \leq CI$
Paso 5	Validación: CI Converge: Continuar No converge: Volver a paso 1
Paso 6	Cálculo vector prioridad total $[\vec{t}] = C \times \vec{a}$
Paso 7	Fin de proceso

3.7 Indicador Costo-Beneficio.

En este punto del método se conoce la solución preferencial electa bajo preferencias subjetivas, la corroboración de esta elección puede apoyarse en la aplicación de diferentes indicadores económicos [44], los mismos que permiten observar de manera estadística [45] el flujo y el rendimiento monetario de ciertas inversiones. Los indicadores comúnmente utilizados por el AHP pueden ser varios como; el periodo de recuperación de capital, valor presente neto, tasa interna de retorno o relación costo beneficio, en donde dependiendo las necesidades y características del problema se escogerán unos u otros.

Por las características del presente caso de estudio se optó por el análisis costo beneficio, indicador económico que nos permitirá conocer si la inversión del sistema propuesto es económicamente atractiva, es decir la solución electa será corroborada bajo este análisis económico. La determinación del índice mencionado se la obtiene por medio de la relación entre el costo de operación del sistema actual con el costo del sistema proyectado [46], así como se lo indicada en la ecuación (24).

$$\begin{aligned} C/B \\ = \frac{\text{Costo operación sistema actual}}{\text{Costo operación sistema propuesto}} \end{aligned} \quad (24)$$

Siempre y cuando el valor resultante sea mayor a la unidad se entenderá que existe beneficio alguno, caso contrario la inversión del sistema propuesto no es conveniente.

4. Análisis de resultados para la toma de decisiones

El costo de operación y el nivel de huella de carbono producida en el lugar dependen directamente de la cantidad de

combustible usado, esto hizo que los aspectos económicos y ambientales sean de mayor relevancia para cumplir con la meta planteada.

Para una correcta evaluación multicriterio determinan los niveles de costo por operación y huella de carbono demandados por los sistemas analizados, el costo anual por obtención de recurso energético se presentada a continuación en la figura 9.

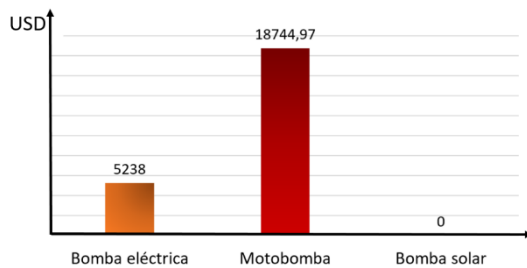


Figura 9. Costo anual por obtención de insumos energéticos.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Se optó por un promedio de las emisiones de CO₂ entre el año 2004 a 2014 [47] como FE atribuido al consumo de energía eléctrica en el Ecuador, emisiones proyectadas mostradas a continuación en la figura 10.

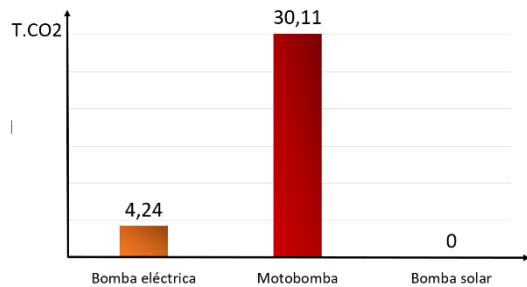


Figura 10. Emisiones de CO₂ anuales de los sistemas considerados.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

4.1 Modelo jerárquico aplicado.

La visión general del problema o más conocida como marco jerárquico consta en su en su objetivo la minimización del uso de combustibles fósiles, la elección o el descarte de las soluciones consideradas

(EB, MB, BS) respectivamente, se lo hace por medio de la evaluación de estas bajo los criterios de eficiencia (CEF), ambientales (CA), económicos (CE) y sociales (CS) [48], su ordenamiento se presenta en la figura 11.

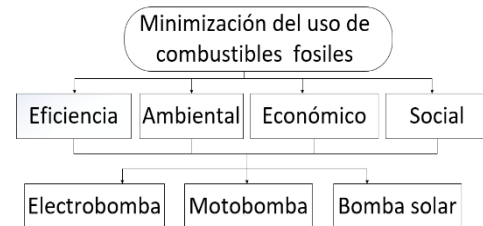


Figura 11. Marco jerárquico para reducción del uso de combustibles fósiles.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

$$\forall m = 1, 2, 3, 4 \quad (25)$$

4.2 Comparación pareada matricial.

Siguiendo la ecuación (8) y los valores de la tabla 7 se colocaron las preferencias subjetivas en la matriz propuesta, siendo la matriz de juicios la primera en ser obtenida, en esta se puede destacar la mayor preferencia de los criterios económicos y ambientales ya que estos permiten directamente reducir el uso de combustibles fósiles. En esta se evalúa los criterios en base el objetivo planteado, la misma que será de orden m.

Tabla 7. Matriz de comparación pareada de juicios

[A]	CEF	CA	CE	CS
CEF	1	1/4	1/7	1/2
CA	4	1	1/2	5
CE	7	2	1	5
CS	2	1/5	1/5	1

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Bajo el mismo concepto de la matriz de juicios las preferencias deberán ser colocadas en las diferentes matrices de comparación pareada representada por la ecuación (10), en este punto se busca evaluar las posibles soluciones en base beneficios y perjuicios ofrecidas por estas

en sus respectivos criterios, así como se indica en las tablas (8-11).

Tabla 8. Matriz pareada del criterio de eficiencia

$[B^{m1}]$	EB	MB	BS
EB	1	4	6
MB	1/4	1	3
BS	1/6	1/3	1

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Tabla 9. Matriz pareada del criterio ambiental

$[B^{m2}]$	EB	MB	BS
EB	1	3	1/4
MB	1/3	1	1/7
BS	4	7	1

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Tabla 10. Matriz pareada del criterio económico

$[B^{m3}]$	EB	MB	BS
EB	1	2	1/3
MB	1/2	1	1/5
BS	3	5	1

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Tabla 11. Matriz pareada del criterio social

$[B^{m4}]$	EB	MB	BS
EB	1	3	1/4
MB	1/3	1	1/5
BS	4	5	1

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Para continuar con el método se deben de verificar que los índices de consistencia de cada uno de los eventos planteados, estén dentro de los valores permitidos según el orden de la matriz, los mismos que se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Consistencias medidas de los eventos planteados

EVENTO	Orden	CI
[A]	4	0,2875 < 0,89
$[B^{m1}]$	3	0,0269 < 0,52
$[B^{m2}]$	3	0,0158 < 0,52
$[B^{m3}]$	3	0,0018 < 0,52
$[B^{m4}]$	3	0,0431 < 0,52

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

4.3 Normalización de eventos.

Para la normalización de las matrices obtenidas se debe tomar en cuenta que la suma de cada columna no debe ser mayor a 1, normalización que debe ser aplicada de manera global a la investigación, así como se muestran en las tablas (13-17).

Tabla 13. Matriz normalizada de juicios

$[a_{norm}]$	CEF	CA	CE	CS
CEF	0,0714	0,0303	0,0775	0,0435
CA	0,2857	0,1212	0,2713	0,4348
CE	0,5000	0,2424	0,5426	0,5426
CS	0,1429	0,6061	0,1085	0,0870

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Tabla 14. Matriz normalizada del criterio de eficiencia

$[b_{norm}^{m1}]$	EB	MB	BS
EB	0,7059	0,7500	0,6000
MB	0,1765	0,1875	0,3000
BS	0,1176	0,0625	0,1000

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Tabla 15. Matriz normalizada del criterio ambiental

$[b_{norm}^{m2}]$	EB	MB	BS
EB	0,1875	0,2727	0,1724
MB	0,0625	0,0909	0,1026
BS	0,7500	0,6364	0,7179

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Tabla 16. Matriz normalizada del criterio económico

$[b_{norm}^{m3}]$	EB	MB	BS
EB	0,2222	0,2500	0,2174
MB	0,1111	0,1250	0,1304
BS	0,6667	0,6225	0,6522

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Tabla 17. Matriz normalizada del criterio social

$[b_{norm}^{m4}]$	EB	MB	BS
EB	0,1875	0,3333	0,1724
MB	0,0625	0,1111	0,1379
BS	0,7500	0,5556	0,6897

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

La matriz de decisión se formaron la reagrupación de los vectores de decisión, obteniéndose la tabla 18.

Tabla 18. Matriz de preferencias

[C]	$[\vec{w}_{m1}]$	$[\vec{w}_{m2}]$	$[\vec{w}_{m3}]$	$[\vec{w}_{m4}]$
EB	0,6853	0,2132	0,2299	0,2311
MB	0,2213	0,0853	0,1222	0,1038
BS	0,0934	0,7014	0,6479	0,6651

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Los pesos de la matriz de comparación pareada de criterios normalizada se presentan en la tabla 19, producto de la ponderación se puede destacar que el peso del criterio económico tiene más peso con respecto al resto.

Tabla 19. Vector de preferencias de la matriz de juicios

CRITERIOS	$[\vec{a}]$
Eficiencia	0,0662
Ambiental	0,3204
Económico	0,5143
Social	0,0991

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Una vez aplicada la ecuación 23 y llevada a forma porcentual se obtiene el peso o la preferencia total de las soluciones propuestas, estos resultados son presentados en la tabla 20.

Tabla 20. Vector total de preferencias

SOLUCIONES	Preferencia
Electrobomba	25,61%
Motobomba	11,79%
Bomba solar	62,64%

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Los resultados obtenidos a partir del análisis multicriterio en el vector total de preferencias denotan una mayor preferencia al uso e implementación de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para alcanzar la minimización de combustibles fósiles, el diagrama de flujo asociado a la solución del presente método se presenta a continuación en la figura 12. La corroboración de esta decisión se lo hizo mediante la utilización de indicadores económicos.

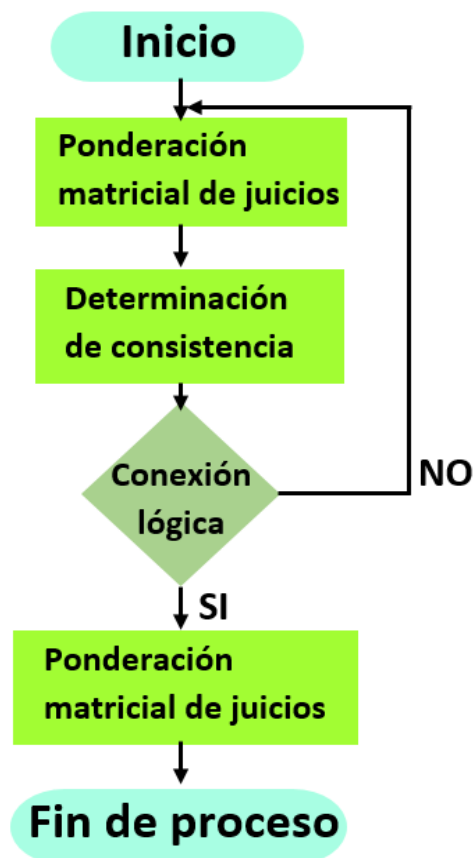


Figura 12. Diagrama de flujo para proceso analítico jerárquico.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

4.4 Costo Beneficio resultante.

Para llevar a cabo e indicador económico se tomó en cuenta los costos por compra de recurso energético del sistema actual, el mismo que es de aproximadamente 18744,97 dólares americanos. Para los sistemas proyectados se toma en cuenta los niveles de consumo según el tipo de tecnología y un valor de compra de recurso energético sin subvención. Debido a la obtención del recurso solar a 0 costo, se considera un valor de 2000 USD por mantenimiento anual del sistema, con el fin de no lograr una indeterminación en el costo beneficio, como se muestra a continuación en la tabla 21.

Tabla 21. Costos fijos anuales expresados en USD

	MB	BE	BS
Año	\$17413,97	\$16004,99	\$2000

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

La relación costo beneficio entre el sistema a combustión actual y un sistema del mismo tipo con motor de menor consumo se presenta en la ecuación (26).

$$\frac{C}{B} = \frac{18744,97}{17413,97} = 1,0764 \quad (26)$$

La relación costo beneficio entre el sistema a combustión actual y el sistema alimentado por la red eléctrica publica se presenta en la ecuación (27).

$$\frac{C}{B} = \frac{18744,97}{16004,99} = 1,1711 \quad (27)$$

La relación costo beneficio entre el sistema a combustión actual y el sistema alimentado por un conjunto fotovoltaico se presentan en la ecuación (28).

$$\frac{C}{B} = \frac{18744,97}{2000} = 9,3724 \quad (28)$$

Por los resultados obtenidos del análisis costo beneficio se corrobora los resultados obtenidos por el AHP, obteniéndose un beneficio de 9,37 veces del costo actual. Se puede determinar que el sistema solar propuesto es el más eficiente económicamente dicho, ya que este permitirá un ahorro de 16744,97 dólares americanos por año por compra de combustible.

En un tiempo de vida promedio de las celdas solares, la misma que es de 25 años se estima un ahorro por compra de combustible de 418623,5 dólares americanos, para este tiempo también evitara la emisión de casi 752 toneladas de dióxido de carbono. Por lo que se propone plenamente el dimensionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para el abastecimiento de recurso hídrico en la hacienda San Alejandro.

5. Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico Electro

El dimensionamiento del sistema de generación solar para para la alimentación del sistema de bombeo de agua de la hacienda San Alejandro, se ha optado por hacerlo con la ayuda de la herramienta computacional PVsyst, debido que este software permite un completo análisis de todos los factores que influyen en el comportamiento y la eficiencia de un sistema fotovoltaico como la temperatura, irradiancia incidía, orientación de los módulos, pérdidas, proyección de sobras y los valores máximos de tensión, intensidad y potencia admitidos por cada uno de los equipos asociados. Este completo estudio por parte de la herramienta electa es posible gracias al uso de diferentes bases de datos como Meteororm 8.0, NASA-SSE, PVGIS TMY, NREL/ NSRDB TMY y Solcast TMY.

5.1 Características de diseño.

Se conoce que debido a las exigencias de los cultivos y su extensión de cultivo se precisa de un caudal aproximado de 250 GPM, por estudios hidrológicos anteriores según las características propias del sitio se conoce que gracias al tiempo de recuperación del pozo es posible la extracción de los niveles de recurso hídrico mencionados.

Una vez conocida la cantidad de recurso hídrico necesario, se propone la sustitución del sistema de bombeo actual por un sistema de bombeo solar de alto rendimiento, dicho bombeo de agua con las especificaciones dadas sería posible mediante la implementación de una bomba sumergible para pozo de la serie SSI de 6" proporcionadas por el fabricante y distribuidor Franklin Electric. La gama de bombas de agua

sumergibles mencionadas tienen la capacidad de bombear desde 225GPM hasta los 360GPM, con una potencia de trabajo desde 10 hasta 75 HP dependiendo del modelo y las necesidades, demás que estas bombas permiten trabajar con perfiles bajos de tensión y frecuencia.

Para el presente estudio se contempla que para suplir las necesidades de los cultivos la bomba de agua ideal para este trabajo sería la bomba de modelo 360SSI15F66-0264, las características de dicha bomba trifásica se detallan en la tabla 22.

Tabla 22. Especificaciones de la bomba sumergible

Especificaciones	[\vec{t}]
Caudal	225-360GPM
HP	72
Diámetro de motor	6"
Diámetro de descarga	4"
Motor	2 etapas
Frecuencia de trabajo	30-60HZ
Potencia de trabajo	1-11kW

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Catálogo Franklin Electric.

Los modelos proporcionados por el fabricante mencionado incluyen sus interruptores termomagnéticos para el lado de DC y AC, su motor síncrono de alta eficiencia, el filtro de salida propio del modelo y VDF de serie P en gabinete de modelo CIE3R-SUBP015-P4-3 el mismo que acepta hasta 860V en la entrada de DC, Para el suministro de potencia deseado se debe tomar en cuenta que la potencia suministrada desde el array fotovoltaico debe ser mayor a la potencia de salida, a esto se lo conoce como Clipping, esto se lo realiza para lograr del desfase del FP unitario entregado por el lado de DC y mantener la potencia deseada en el lado de AC.

El modelo de bomba mencionado anteriormente puede operare desde el 1kW de potencia suministrada siendo el punto ideal de trabajo en los 11kW, este

suministro de potencia se plantea hacerlo mediante la aplicación de paneles solares de 345W de la marca Trina Solar, las características de este modelo se detallan en la tabla 23.

Tabla 23. Especificaciones del módulo FV a implementar

PARAMETROS	MEDICION
Máxima potencia	345Wp
Vmp	35,4V
Imp	7,26A
Voc	43,2V
Isc	7,71A
Dimensión	992mmx2000mm

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Catálogo Trina Solar.

Se precisan conocer los datos presentados anterior mente debido a que algunos de ellos deberán ser tomados en cuenta por la herramienta computacional propuesta.

5.2 Especificaciones necesarias.

Lac correcta simulación del sistema depende de sus datos de ingreso, por la posición geográfica determinada se obtienen las horas solares aprovechables en la zona de estudio son detalladas en la tabla 24.

Tabla 24. Horas solares equivalentes, en la zona de estudio

MES	HORAS SOLARES
ENERO	4,59
FEBRERO	4,63
MARZO	4,90
ABRIL	4,85
MAYO	4,40
JUNIO	4,80
JULIO	4,71
AGOSTO	4,56
SEPTIEMBRE	4,79
OCTUBRE	4,76
NOVIEMBRE	4,51
DICIEMBRE	4,81

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

Para el dimensionamiento también se debe tomar en cuenta que la instalación y colocación del arreglo fotovoltaico no se debe ocupar ni mucho menos deforestar ni un solo metro cuadrado de cultivo, ya que la deforestación de estos cultivos se ve representado directamente en pérdidas de producción. La potencia mínima desea por el conjunto fotovoltaico será el dato de la potencia máxima consumida por la bomba. Esto se realiza con la finalidad de mantener en Clipping a la entrada y salida del variador controlador.

5.3 Detalle de Pérdidas.

Para un óptimo dimensionamiento del sistema propuesto se incluyó los principales factores que son causantes de constantes pérdidas en un sistema fotovoltaico, como las pérdidas por factor térmico, pérdidas óhmicas, por la calidad de modulo, por la degradación inducida de luz, por suciedad y por sombreado externo. Las pérdidas por factor térmico son todas aquellas asociadas a la temperatura, el software electo propone diferentes valores para la pérdida de factor constante según el tipo de instalación, para este caso comercial se indica un valor de 20 [W/m²k]. Las pérdidas óhmicas son todas aquellas relacionados a los circuitos de conexión tanto como en DC y en AC siendo 1,5% el valor a ingresar en el software como límite máximo de pérdidas en ambos. La calidad de los módulos y la degradación inducida por luz desde que este se expone a la misma, pueden ser obtenidas por el catálogo del fabricante del módulo solar fotovoltaico, para este estudio se determina un LID de 2,5%. Las pérdidas producidas por suciedad suelen ser hasta del 4%, para esto se debe considerar en su mantenimiento constantes limpiezas para poder reducir este porcentaje de pérdidas a un 2,5%. Además, se toma en cuenta que la

producción de energía de cada string de módulos FV se ve seriamente afectada cuando esta se encuentra bajo alguna sombra, siendo esto sumamente perjudicial para la instalación ya que los módulos producen energía en función del panel averiado o con sombra, en otras palabras, la cadena de paneles trabaja en función del panel con menor producción, a esto se le conoce como pérdidas por factor de sombra. El seudocódigo y las principales variables empleadas para el dimensionamiento del conjunto FV se presentan a continuación en las tablas 25 y 26.

Tabla 25. Variables empleadas para el dimensionamiento del sistema FV.

Simbología	Significado
<i>coord_bs</i>	Coordenadas del lugar en estudio
<i>azimut_sol</i>	Azimut del módulo FV
<i>incli_mod</i>	Inclinación de los nódulos FV
<i>long_mod</i>	Longitud del panel FV en mm
<i>vmax_var</i>	Voltaje máximo admitido por el VDF
<i>pmax_var</i>	Potencia máxima admitid por el VDF
<i>voc_mod</i>	Voltaje en circuito abierto del módulo FV
<i>vcmx_mod</i>	Voltaje a máxima carga del módulo FV
<i>isc_mod</i>	Isc del módulo FV
<i>pmax_mod</i>	Potencia máxima del módulo FV
<i>imax_mod</i>	Corriente en máxima potencia del módulo FV
<i>wp_des</i>	Vatios picos deseados mínimo por la instalación
<i>per_somb</i>	Perdidas por sombreado max
<i>per_factor</i>	Perdidas por factor térmico
<i>per_ohm</i>	Perdidas óhmicas admitidas en el sistema
<i>cal_mod</i>	Calidad de los nódulos
<i>lid_ind</i>	Perdidas por degradación a la exposición de luz
<i>drt_loss</i>	Perdidas por suciedad
<i>num_mfv</i>	Número de módulos fotovoltaicos necesarios

<i>num_prll</i>	Número de elementos FV en paralelo
<i>num_ser</i>	Número de elementos FV en serie
<i>det_iss</i>	Detalle de pérdidas
<i>GlobHor</i>	Irradiación horizontal global
<i>GlobEff</i>	Global efectivo y sombras
<i>E_avail</i>	Energía solar disponible
<i>Eunused</i>	Energía no utilizada
<i>E_User</i>	Energía suministrada al usuario
<i>SolFrac</i>	Fracción solar

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Tabla 26. Pseudocódigo asociado al dimensionamiento FV

Dimensionamiento Solar Fotovoltaico	
Paso 1	Inicio de variables: {coord_bs; azimut_sol; incli_mod; long_mod; vmax_var; pmax_var; voc_mod; vcmx_mod, isc_mod; pmax_mod; imax_mod; wp_des; per_somb; per_factor; per_ohm; cal_mod; lid_ind; det_loss; GlobHor; GlobEff; E_avail; Eunused; E_User; SolFrac};
Paso 2	Inicio recorrido solar
	¿Cumple?
Paso 3	No: print ('Error, Reingresar datos'); Si: print ('num_mfv; num_prll; num_ser; det_iss');
Paso 4	Fin de proceso

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

5.4 Resultados obtenidos por la herramienta computacional Pvsyst

Las simulaciones proporcionadas por la herramienta computacional propuesta determinan que para mantener una potencia de salida de 11 kW para la alimentación de la bomba sumergible electa se necesita realizar una instalación fotovoltaica con una potencia instalada de 14,5kWp. Esta potencia que será obtenida con la instalación un total de 42 módulos fotovoltaicos de 345W, los mismos que serán organizados en 3 cadenas de 14 módulos en serie por cada una. La tensión de salida en circuito abierto por cadena será de 604,8 V, la inclinación y azimut

óptimos para estos elementos se presentan en las figuras 13 y 14.

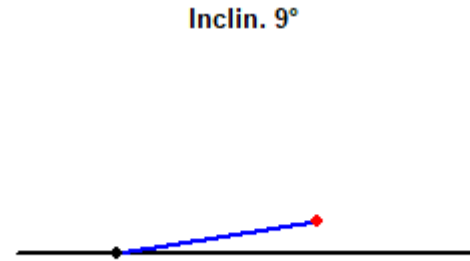


Figura 13. Óptima inclinación para el sistema FV propuesto.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Pvsyst.

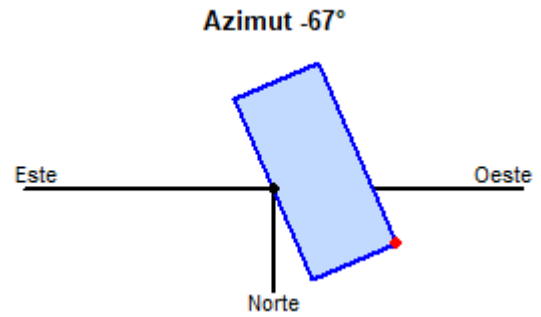


Figura 14. Óptimo azimut para el sistema FV propuesto.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: Pvsyst.

Estos módulos deberán ser colocados sobre una estructura de plano fijo inclinado, debido a que estructuras con seguimiento al recorrido solar aumenta considerablemente la inversión inicial. La distribución horaria en donde se espera obtener una óptima generación, es mostrada en la figura 15.

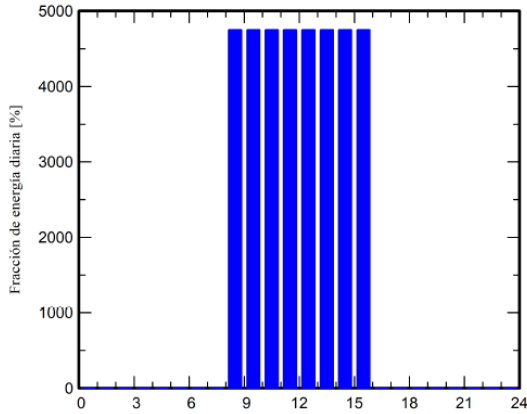


Figura 15. Distribución de la generación por hora.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

En la figura 16 mostrada a continuación, se puede destacar por mes la energía incidente dentro del plano colector. En la que se puede destacar la menor producción en los meses de octubre y noviembre, esta es una de las razones para que los sistemas solares obtengan una mayor potencia instalada.

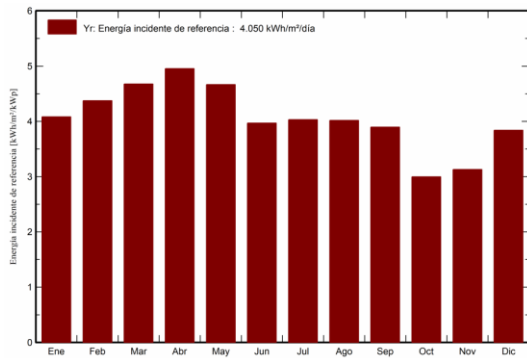


Figura 16. Energía incidente en el plano colector.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

La proporción de rendimiento y las producciones normalizadas para los diferentes meses del año se presentan en la figura 17 y 18 respectivamente.

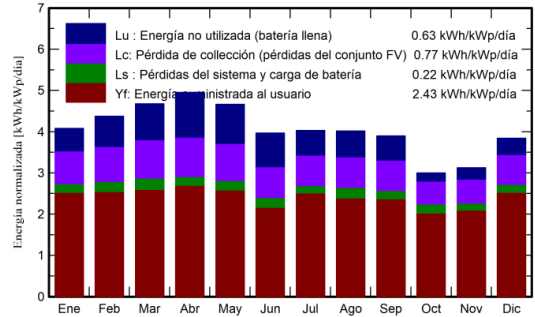


Figura 17. Producciones normalizadas por kWp instalado.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

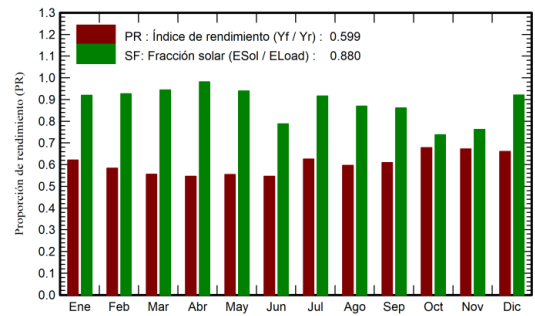


Figura 18. Proporción de rendimiento.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

La distribución de potencia se muestra en la figura 19.

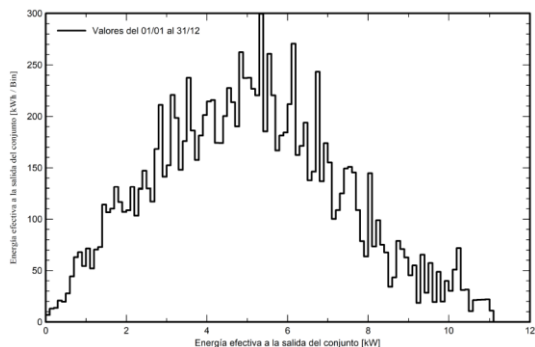


Figura 19. Distribución de la potencia del conjunto FV.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

Para la renderización del lugar de estudio se ha tomado una pequeña distancia de 4 metros entre el arreglo fotovoltaico y el terreno cultivado, esto se lo ha hecho para tratar de minimizar las pérdidas por sombreado. Los módulos fotovoltaicos se

planean montarlos sobre una estructura fija al suelo, la renderización del lugar de estudio se muestra en la figura 20.

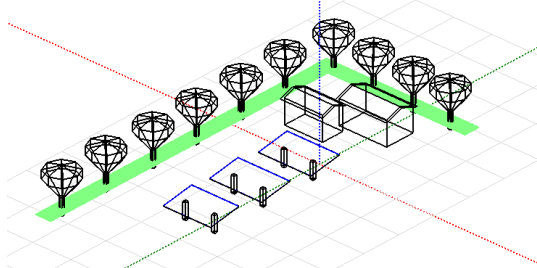


Figura 20. Perspectiva del campo FV y escena de sombreado circundante.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

La vista realista del sistema proyectado se muestra en la figura 21.

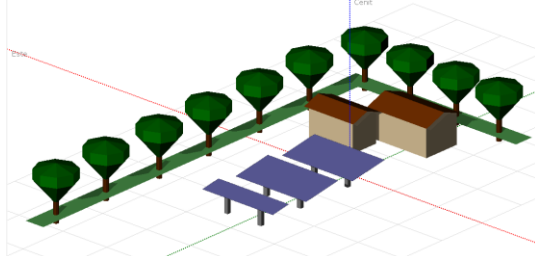


Figura 21. Renderización de la instalación FV proyectada.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

Las pérdidas por sombreado pueden mejorarse mediante la implementación de una estructura con seguimiento solar en eje horizontal, en zona cercana a la zona ecuatorial no es necesario por las altas horas solares equivalentes y la alta irradiación incidida. Las curvas iso-sombreados para la ubicación determinada se presentan en la figura 22.

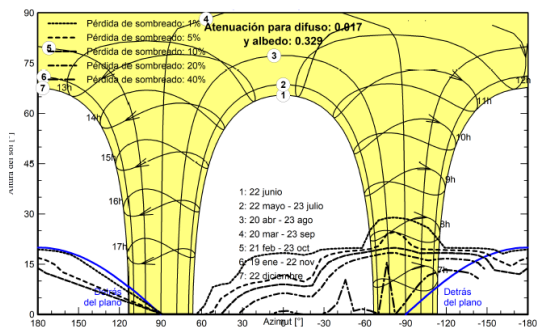


Figura 22. Curva iso-sombreado obtenidos.

Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

La disposición de sus principales elementos se presenta a continuación en la figura 23.

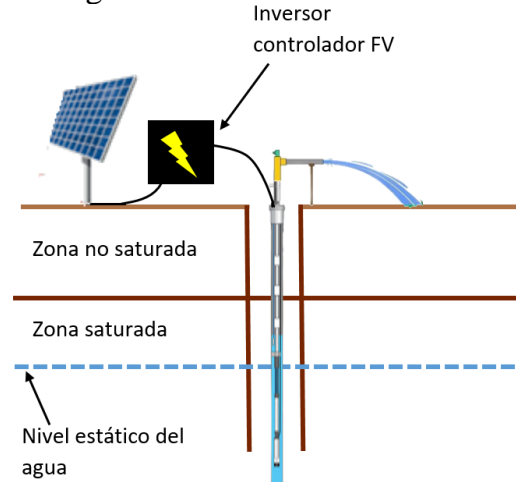


Figura 23. Disposición de los elementos del sistema propuesto.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

Por las dimensiones de los módulos seleccionados el área total ocupada por el array fotovoltaicos será de $82m^2$, el diagrama de pérdidas y demás resultados son presentados en la sección de anexos.

6. Conclusiones

Gracias al desarrollo de este caso práctico se pudo conocer que el uso de sistemas de bombeo a combustión para el riego de agua en el sector agrícola ecuatoriano representa un alto costo operativo. Los resultados obtenidos del análisis multicriterio proceso analítico jerárquico detallan una preferencia del 62,64%, por lo que se infiere sin menor duda la implementación del sistema electo con el fin de lograr una producción amigable y migrar de los combustibles fósiles como fuente energética.

En los resultados obtenidos a partir de la aplicación del indicador económico de costo beneficio se destaca la relación entre el costo de operación del sistema

actual con el propuesto por el AHP, en donde se pudo conocer que se podría obtener un beneficio de hasta 9,37 veces con respecto al costo del sistema actual. Debido a los resultados mencionados se determina y enfatiza la aplicación del sistema de riego solar fotovoltaico propuesto.

Gracias a la no utilización de combustibles fósiles para la producción de energía en la tecnología solar FV se asegura una producción de energía amigable con el medio ambiente y a menor costo, por ende, una mayor rentabilidad en sus cultivos.

Con la implementación de este proyecto se garantiza un suministro eficiente y confiable de energía eléctrica, ya que con la ayuda de la herramienta computacional PVsyst se identificó y se tuvo en cuenta los valores de trabajo nominales y máximos que soportaran cada uno de los equipos que forman parte del sistema de bombeo propuesto.

7. Trabajos Futuros

Gracias al aporte de la presente investigación se espera generar nuevos proyectos como:

La migración de combustibles fósiles a energías renovable de estaciones de bombeo localizadas en diferentes zonas del país.

Gracias al gran beneficio económico que ofrecen estos sistemas también se ha planteado instalar este tipo de tecnología en el sector avícola debido a que se ha podido entablar acercamientos con la empresa Ambahuevo, para la iluminación, ventilación, alimentación, bombeo de agua y secado de abono de un galpón proyectado de 100 mil aves, el mismo que se planea implementar en la parroquia rural Cotaló. Adicional a esto se espera contribuir con el desarrollo

sustentable de sectores como el minero, ganadero, acuícola, petrolero, etc.

8. Referencias

- [1] S. Ganesan, U. Subramaniam, A. A. Ghodke, R. M. Elavarasan, K. Raju, and M. S. Bhaskar, "Investigation on Sizing of Voltage Source for a Battery Energy Storage System in Microgrid With Renewable Energy Sources," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 188861–188874, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3030729.
- [2] K. Eyuboglu and U. Uzar, "Examining the roles of renewable energy consumption and agriculture on CO2 emission in lucky-seven countries," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, no. 36, pp. 45031–45040, 2020, doi: 10.1007/s11356-020-10374-2.
- [3] S. Lazarou, C. Christodoulou, and V. Vita, "Global Change Assessment Model (GCAM) considerations of the primary sources energy mix for an energetic scenario that could meet Paris agreement," *2019 54th Int. Univ. Power Eng. Conf. UPEC 2019 - Proc.*, 2019, doi: 10.1109/UPEC.2019.8893507.
- [4] R. Satymov, D. Bogdanov, and C. Breyer, "The Value of Fast Transitioning to a Fully Sustainable Energy System: The Case of Turkmenistan," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 13590–13611, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3050817.
- [5] I. Akhtar, S. Kirmani, M. Jameel, and F. Alam, "Feasibility Analysis of Solar Technology Implementation in Restructured Power Sector with Reduced Carbon Footprints," *IEEE Access*,

- vol. 9, pp. 30306–30320, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3059297.
- [6] G. Yujun and Z. H. Yongzhang Huang, Wu Qianyu, L. Chenyan, “Isolation and Protection of the Motor-Generator Pair System for Fault Ride-Through of Renewable Energy Generation Systems,” *IEEE Access*, vol. 8, p. 8, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2965773.
- [7] J. R. Constante, G. E. Guerrón, and E. M. García, “Modeling, Limits and Baseline of Voltage Interharmonics Generation in Andean Wind Farms,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 3, pp. 1271–1278, 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7459609.
- [8] K. G. Villacis, “Optimal Location of Investors in Large-Scale Photovoltaic Generators using Clustering Techniques,” *Int. J. Sci. Res.*, vol. 9, no. 10, pp. 487–490, 2020, doi: 10.21275/SR20731174102.
- [9] E. M. García 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),” in *Power Engineering Conference (UPEC), 2016 51st International Universities*, 2016, no. Mcmc, pp. 1–6, doi: 10.1109/UPEC.2016.8114092.
- [10] F. A. Castillo Munoz, A. Aguila Tellez, and J. W. Gonzalez Sanchez, “Analysis of Stability of Tension and Losses of Electric Power in Distribution Networks with Distributed Generation,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 11, pp. 4491–4498, 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7795819.
- [11] T. Mai *et al.*, “Renewable electricity futures for the United States,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 5, no. 2, pp. 372–378, 2014, doi: 10.1109/TSTE.2013.2290472.
- [12] A. Xue *et al.*, “A New Quantitative Analysis Method for Overvoltage in Sending End Electric Power System with UHVDC,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 145898–145908, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3015267.
- [13] S. Eftekharnjad, G. T. Heydt, and V. Vittal, “Optimal Generation Dispatch With High Penetration of Photovoltaic Generation,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 1013–1020, 2015, doi: 10.1109/TSTE.2014.2327122.
- [14] P. Benalcazar, J. Lara, and M. Samper, “Distributed Photovoltaic Generation in Ecuador: Economic Analysis and Incentives Mechanisms,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, no. 3, pp. 564–572, 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9082728.
- [15] A. Al Hadi, C. A. S. Silva, E. Hossain, and R. Chaloo, “Algorithm for demand response to maximize the penetration of renewable energy,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 55279–55288, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2981877.
- [16] J. Aganiyaz, “Possibilities of Using Solar Energy in the Regions of Turkmenistan,” *2020 IEEE 61st Annu. Int. Sci. Conf. Power Electr. Eng. Riga Tech. Univ. RTUCON 2020 - Proc.*, vol. 2, 2020, doi: 10.1109/RTUCON51174.2020.9316475.
- [17] J. Meyer and S. Von Solms, “Solar Powered Water Security: An Enabler for Rural Development in

- Limpopo South Africa,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 20694–20703, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2805367.
- [18] Z. M. Amin, A. I. Maswood, M. N. A. Hawlader, E. A. Al-Ammar, J. Orfi, and H. A. Al-Ansary, “Desalination with a solar-assisted heat pump: An economic optimization,” *IEEE Syst. J.*, vol. 7, no. 4, pp. 732–741, 2013, doi: 10.1109/JSYST.2012.2192757.
- [19] S. Gorjian, H. Ebadi, M. Trommsdorff, H. Sharon, M. Demant, and S. Schindele, “The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations,” *J. Clean. Prod.*, vol. 292, p. 126030, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126030.
- [20] S. Angadi, “Comprehensive Review on Solar, Wind and Hybrid Wind-PV Water Pumping Systems-An Electrical Engineering Perspective,” *CPSS Trans. Power Electron. Appl.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–19, 2021, doi: 10.24295/cpsstpea.2021.00001.
- [21] D. FRENCH, “THE ECONOMICS OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS FOR DEVELOPING COUNTRIES,” *Nat. Resour. Forum*, vol. 4, no. 1, pp. 19–42, 1980, doi: 10.1111/j.1477-8947.1980.tb00960.x.
- [22] D. G. B. Souza, C. E. S. Silva, and N. Y. Soma, “Selecting Projects on the Brazilian RD Energy Sector: A Fuzzy-Based Approach for Criteria Selection,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 50209–50226, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2979666.
- [23] K. G. Villacis, “Sistema de riego N°2 de la hacienda San Alejandro, vista superior- Google Earth Pro.” Google Earth Pro, 2021.
- [24] A. Q. Jakhrani, A. R. H. Rigit, A. K. Othman, S. R. Samo, and S. A. Kamboh, “Estimation of carbon footprints from diesel generator emissions,” *Proc. 2012 Int. Conf. Green Ubiquitous Technol. GUT 2012*, pp. 78–81, 2012, doi: 10.1109/GUT.2012.6344193.
- [25] Y. Sun, L. Li, G. Shi, X. Hou, and M. Su, “Power factor angle droop control - A general decentralized control of cascaded inverters,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 36, no. 1, pp. 465–468, 2021, doi: 10.1109/TPWRD.2020.3009842.
- [26] G. Gutierrez, A. Aguila, D. González, and L. Ortiz, “Optimum location and sizing of capacitor banks using VOLT VAR compensation in micro-grids,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, no. 3, pp. 465–472, 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9082717.
- [27] S. M. Medina and A. Aguila, “Óptima Compensación de Potencia Reactiva en Redes de Distribución Radiales considerando periodo de diseño Optimal Compensation of Reactive Power in Radial Distribution Networks considering design period,” *2019 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci.*, pp. 108–115, 2019, doi: 10.1109/INCISCOS49368.2019.00026.
- [28] A. A. Téllez and J. G. Lopez, “OPTIMIZACIÓN MULTICRITERIO DE FLUJOS DE POTENCIA REACTIVA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, p. 6, 2021.
- [29] A. A. Téllez, A. Robayo, I. Isaac, G. López, and J. González, “Optimal sizing of distribution

- transformers using exhaustive search algorithm,” *2019 FISE-IEEE/CIGRE Conf. - Living energy Transit.*, 2019, doi: 10.1109/FISECIGRE48012.2019.8984965.
- [30] A. A. Tellez, D. F. C. Galarza, and L. O. Matos, “Analysis of power losses in the asymmetric construction of electric distribution systems,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, no. 7, pp. 2190–2194, 2015, doi: 10.1109/TLA.2015.7273776.
- [31] A. Aguila and J. Wilson, “Technical and Economic Assessment of the Implementation of Measures for Reducing Energy Losses in Distribution Systems,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 73, no. 1, p. 012018, Jul. 2017, doi: 10.1088/1755-1315/73/1/012018.
- [32] M. Tu, W. H. Chung, C. K. Chiu, W. Chung, and Y. Tzeng, “A novel IoT-based dynamic carbon footprint approach to reducing uncertainties in carbon footprint assessment of a solar PV supply chain,” *2017 4th Int. Conf. Ind. Eng. Appl. ICIEA 2017*, pp. 249–254, 2017, doi: 10.1109/IEA.2017.7939216.
- [33] J. E. Castillo-Aguilella and P. S. Hauser, “Multi-Variable Bifacial Photovoltaic Module Test Results and Best-Fit Annual Bifacial Energy Yield Model,” *IEEE Access*, vol. 4, pp. 498–506, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2518399.
- [34] D. P. Bernardon, M. Sperandio, V. J. Garcia, L. N. Canha, A. D. R. Abaide, and E. F. B. Daza, “AHP decision-making algorithm to allocate remotely controlled switches in distribution networks,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 26, no. 3, pp. 1884–1892, 2011, doi: 10.1109/TPWRD.2011.2119498.
- [35] A. Águila Téllez, G. López, I. Isaac, and J. W. González, “Optimal reactive power compensation in electrical distribution systems with distributed resources. Review,” *Heliyon*, vol. 4, no. 8, p. e00746, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.heliyon.2018.e00746.
- [36] H. K. Chan, S. Member, X. Wang, G. Reginald, T. White, and N. Yip, “An Extended Fuzzy-AHP Approach for the Evaluation of Green Product Designs,” *IEEE Trans. Eng. MENEGAMENT*, vol. 60, no. 2, pp. 327–339, 2013, doi: 10.1109/TEM.2012.2196704.
- [37] J. Yan, T. Dagang, and P. Yue, “Ranking environmental projects model based on multicriteria decision-making and the weight sensitivity analysis,” *J. Syst. Eng. Electron.*, vol. 18, no. 3, pp. 534–539, 2007, doi: 10.1016/S1004-4132(07)60125-X.
- [38] T. L. Saaty, “Priority Setting in Complex Problems,” *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. EM-30, no. 3, pp. 140–155, 1982, doi: 10.1109/tem.1983.6448606.
- [39] O. Cooper, S. Yang, and Q. Dong, “An Extension of the AHP Dummy Pivot Modeling Applied to the Restructuring of the Iron and Steel Industry in China,” *IEEE Trans. Eng. MENEGAMENT*, vol. 61, no. 2, pp. 370–380, 2014, doi: 10.1109/TEM.2014.2305662.
- [40] N. Yaraghi, P. Tabesh, P. Guan, and J. Zhuang, “Comparison of AHP and Monte Carlo AHP under different levels of uncertainty,” *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 62, no. 1, pp. 122–132, 2015, doi:

- 10.1109/TEM.2014.2360082.
- [41] L. Zhang, L. Zhou, and K. Yang, "Consistency analysis and priorities deriving for pythagorean fuzzy preference relation in the 'computing in memory,'" *IEEE Access*, vol. 8, pp. 156972–156985, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3018263.
- [42] S. L. Decai Huang, "New Method for Constructing Comparison Matrix Based on the Proportion Scales in the AHP," *J. Syst. Eng. Electron.*, vol. 14, no. 601076, pp. 8–13, 2003.
- [43] L. Wang, Y. Ali, S. Nazir, and M. Niazi, "ISA Evaluation Framework for Security of Internet of Health Things System Using AHP-TOPSIS Methods," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 152316–152332, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3017221.
- [44] A. Ferramosca, D. Limon, and E. F. Camacho, "Economic MPC for a changing economic criterion for linear systems," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 59, no. 10, pp. 2657–2667, 2014, doi: 10.1109/TAC.2014.2326013.
- [45] Y. Tan, P. Wu, G. Zhou, Y. Li, and B. Bai, "Combining Residual Neural Networks and Feature Pyramid Networks to Estimate Poverty Using Multisource Remote Sensing Data," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 13, pp. 553–565, 2020, doi: 10.1109/JSTARS.2020.2968468.
- [46] G. T. Heydt, "A Probabilistic Cost/Benefit Analysis of Transmission and Distribution Asset Expansion Projects," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 32, no. 5, pp. 4151–4152, 2017, doi: 10.1109/TPWRS.2017.2656019.
- [47] R. Parra Narváez, "Factor de emisión de CO₂ debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2014," *ACI Av. en Ciencias e Ing.*, vol. 7, no. 2, 2015, doi: 10.18272/aci.v7i2.269.
- [48] L. A. Marks, E. G. Dunn, J. M. Keller, and L. D. Godsey, "Multiple criteria decision making (MCDM) using fuzzy logic: an innovative approach to sustainable agriculture," *Annu. Conf. North Am. Fuzzy Inf. Process. Soc. - NAFIPS*, no. Mcdm, pp. 503–508, 1995, doi: 10.1109/isuma.1995.527746.

9. Estado del Arte

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES FOSILES A ENERGÍAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC																													
DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA										
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Impacto de la generación renovable	Mejoramiento del perfil del voltaje	Pérdidas de potencia	Sistemas aislados	Óptima ubicación de sistemas FV	Pérdidas de potencia	Minimización de costos	Flujos de potencia	Optimización multicriterio	Insuficiencia reactiva	Costos	Potencia reactiva y activa	Estabilidad	Almacenamiento de la energía	Alta contaminación	Proceso analítico jerárquico	Algoritmo de optimización	Flujo de potencia	Ubicación de sistemas FV	compensación reactiva	Confiabilidad y estabilidad	Minimización de costos	Minimización de pérdidas	Mejoras de perfil de voltaje		
1	2020	Investigation on Sizing of Voltage Source for a Battery Energy Storage System in Microgrid With Renewable Energy Sources	6	☒	☒	☒			☒		☒				☒	☒	☒				☒		☒		☒		☒		☒
2	2020	Examining the roles of renewable energy consumption and agriculture on CO2 emission in lucky-seven countries	2	☒		☒		☒					☒			☒	☒	☒					☒		☒				
3	2019	Global Change Assessment Model (GCAM) considerations of the primary sources energy mix for an energetic scenario that could meet Paris agreement	2	☒					☒						☒	☒		☒					☒		☒		☒		
4	2021	The Value of Fast Transitioning to a Fully Sustainable Energy System: The Case of Turkmenistan	0	☒		☒			☒					☒		☒	☒	☒							☒		☒		
5	2021	Feasibility Analysis of Solar Technology Implementation in Restructured Power Sector with Reduced Carbon Footprints	0	☒	☒					☒	☒		☒		☒		☒					☒			☒		☒		☒
6	2020	Isolation and Protection of the Motor-Generator Pair System for Fault Ride-Through of Renewable Energy Generation Systems	5	☒	☒	☒	☒							☒	☒			☒				☒		☒		☒		☒	☒
7	2016	Modeling, Limits and Baseline of Voltage Interharmonics Generation in Andean Wind Farms	7			☒			☒		☒			☒						☒		☒	☒	☒			☒		

ITEM	DATOS		TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Generación renovable	Impacto de la energía renovable	Estabilidad	Gestión de la energía	Emissiones de GEI	Minimización de costos	Gestión de la energía	Minimización de pérdidas	Alta contaminación	Optimización multicriterio	Oscilación de frecuencia	almacenamiento de energía	Optimización de costos	Efectos transitorios	Alta contaminación	Proceso analítico jerárquico	Óptima ubicación de sistemas FV	Algoritmo de Optimización	Control de potencia	Fiabilidad de energía	Reducción de emisiones de GEI	Sistemas híbridos	Aprovechamiento de recursos naturales	Flujo de potencia
8	2014	Renewable electricity futures for the United States	122	☒		☒			☒		☒					☒				☒		☒			☒	☒	
9	2020	A New Quantitative Analysis Method for Overvoltage in Sending End Electric Power System with UHVDC	2		☒					☒				☒							☒						☒
10	2015	Optimal Generation Dispatch With High Penetration of Photovoltaic Generation	44	☒		☒				☒								☒									☒
11	2020	Distributed Photovoltaic Generation in Ecuador: Economic Analysis and Incentives Mechanisms	2	☒	☒			☒	☒		☒		☒	☒				☒		☒		☒		☒	☒	☒	☒
12	2020	Algorithm for demand response to maximize the penetration of renewable energy	12		☒	☒				☒		☒		☒		☒				☒	☒		☒				
13	2020	Possibilities of Using Solar Energy in the Regions of Turkmenistan	0	☒				☒		☒					☒			☒					☒	☒			
14	2018	Desalination with a solar-assisted heat pump: An economic optimization	13	☒		☒		☒	☒		☒		☒		☒					☒		☒			☒	☒	☒

ANALISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES FOSILES A ENERGIAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Impacto de la generación renovable	Mejoramiento del perfil del voltaje	Pérdidas de potencia	Sistemas aislados	Óptima ubicación de sistemas FV	Pérdidas de potencia	Minimización de costos	Flujos de potencia	Optimización multicriterio	Insuficiencia reactiva	Costos	Potencia reactiva y activa	Estabilidad	Almacenamiento de la energía	Alta contaminación	Proceso analítico jerárquico	Algoritmo de optimización	Flujo de potencia	Ubicación de sistemas FV	compensación reactiva	Confiabilidad y estabilidad	Minimización de costos	Minimización de pérdidas	Mejoras de perfil de voltaje	
8	2020	Optimal Location of Investors in Large-Scale Photovoltaic Generators using Clustering Techniques	0					☒		☒	☒						☒		☒	☒	☒					☒		
9	2014	Renewable electricity futures for the United States	12	☒	☒	☒		☒		☒					☒				☒		☒	☒			☒	☒	☒	
10	2020	A New Quantitative Analysis Method for Overvoltage in Sending End Electric Power System with UHVDC	2	☒	☒				☒							☒				☒				☒				☒
11	2015	Optimal Generation Dispatch With High Penetration of Photovoltaic Generation	44		☒	☒			☒	☒					☒		☒			☒								☒
12	2020	Distributed Photovoltaic Generation in Ecuador: Economic Analysis and Incentives Mechanisms	2		☒			☒	☒		☒			☒		☒	☒			☒	☒			☒		☒		☒
13	2020	Algorithm for demand response to maximize the penetration of renewable energy	12					☒	☒	☒		☒		☒	☒					☒	☒			☒				
14	2020	Possibilities of Using Solar Energy in the Regions of Turkmenistan	0	☒				☒			☒			☒	☒		☒					☒		☒	☒	☒		
15	2018	Solar Powered Water Security: An Enabler for Rural Development in Limpopo South Africa	0	☒			☒	☒		☒				☒	☒		☒			☒	☒	☒		☒		☒		

ANALISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES FOSILES A ENERGIAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA								
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Impacto de la generación renovable	Mejoramiento del perfil del voltaje	Pérdidas de potencia	Sistemas aislados	Óptima ubicación de sistemas FV	Pérdidas de potencia	Minimización de costos	Flujos de potencia	Optimización multicriterio	Insuficiencia reactiva	Costos	Potencia reactiva y activa	Estabilidad	Almacenamiento de la energía	Alta contaminación	Proceso analítico jerárquico	Algoritmo de optimización	Flujo de potencia	Ubicación de sistemas FV	compensación reactiva	Confiable y estabilidad	Minimización de costos	Minimización de pérdidas	Mejoras de perfil de voltaje	
16	2013	Desalination with a solar-assisted heat pump: An economic optimization	13			☒			☒	☒		☒	☒		☒		☒	☒	☒		☒		☒	☒		☒		☒
17	2021	The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations	2			☒	☒	☒		☒	☒			☒	☒		☒		☒					☒	☒			
18	2021	Comprehensive Review on Solar, Wind and Hybrid Wind-PV Water Pumping Systems-An Electrical Engineering Perspective	0	☒	☒					☒	☒			☒	☒				☒	☒					☒			
19	1980	THE ECONOMICS OF RENEWABLE ENERGY SYSTEMS FOR DEVELOPING COUNTRIES	25	☒						☒		☒				☒	☒		☒	☒				☒	☒	☒		
20	2020	Selecting Projects on the Brazilian RD Energy Sector: A Fuzzy-Based Approach for Criteria Selection	10 0	☒							☒	☒		☒			☒		☒		☒			☒	☒			
21	2012	Estimation of carbon footprints from diesel generator emissions	51	☒							☒			☒			☒				☒							
22	2021	Power factor angle droop control - A general decentralized control of cascaded inverters	4				☒								☒									☒		☒		
23	2021	OPTIMIZACIÓN MULTICRITERIO DE FLUJOS DE POTENCIA REACTIVA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN	0		☒					☒	☒			☒					☒	☒		☒				☒	☒	☒

ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES FÓSILES A ENERGÍAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC

ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	DATOS				TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
				Impacto de la generación renovable	Mejoramiento del perfil del voltaje	Pérdidas de potencia	Sistemas aislados	Óptima ubicación de sistemas FV	Pérdidas de potencia	Minimización de costos	Flujos de potencia	Optimización multicriterio	Insuficiencia reactiva	Costos	Potencia reactiva y activa	Estabilidad	Almacenamiento de la energía	Alta contaminación	Proceso analítico jerárquico	Algoritmo de optimización	Flujo de potencia	Ubicación de sistemas FV	compensación reactiva	Confiabilidad y estabilidad	Minimización de costos	Minimización de pérdidas	Mejoras de perfil de voltaje
24	2017	A novel IoT-based dynamic carbon footprint approach to reducing uncertainties in carbon footprint assessment of a solar PV supply chain,	5	☒				☒				☒			☒					☒			☒	☒	☒		
25	2016	Multi-Variable Bifacial Photovoltaic Module Test Results and Best-Fit Annual Bifacial Energy Yield Model	60	☒									☒		☒					☒			☒				
26	2011	AHP decision-making algorithm to allocate remotely controlled switches in distribution networks	10 4	☒				☒												☒	☒		☒				
27	2013	An Extended Fuzzy-AHP Approach for the Evaluation of Green Product Designs	13	☒																☒	☒						
28	2007	Ranking environmental projects model based on multicriteria decision-making and the weight sensitivity analysis	27	☒											☒								☒	☒	☒		
29	1982	Priority Setting in Complex Problems	56 6																								
30	20114	An Extension of the AHP Dummy Pivot Modeling Applied to the Restructuring of the Iron and Steel Industry in China	13																								
31	2015	Comparison of AHP and Monte Carlo AHP under different levels of uncertainty	63																								
32	2020	Consistency analysis and priorities deriving for pythagorean fuzzy preference relation in the 'computing in memory	0																								
33	2003	New Method for Constructing Comparison Matrix Based on the Proportion Scales in the AHP	14																								

ANALISIS MULTICRITERIO PARA EL CAMBIO DE COMBUSTIBLES FOSILES A ENERGIAS RENOVABLES DE LA EMPRESA REYBANPAC

ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
				Impacto de la generación renovable	Mejoramiento del perfil del voltaje	Pérdidas de potencia	Sistemas aislados	Óptima ubicación de sistemas FV	Pérdidas de potencia	Minimización de costos	Flujos de potencia	Optimización multicriterio	Insuficiencia reactiva	Costos	Potencia reactiva y activa	Estabilidad	Almacenamiento de la energía	Alta contaminación	Proceso analítico jerárquico	Algoritmo de optimización	Flujo de potencia	Ubicación de sistemas FV	compensación reactiva	Confiabilidad y estabilidad	Minimización de costos
24	2017	A novel IoT-based dynamic carbon footprint approach to reducing uncertainties in carbon footprint assessment of a solar PV supply chain,	5	☒				☒				☒			☒				☒			☒	☒	☒	
25	2016	Multi-Variable Bifacial Photovoltaic Module Test Results and Best-Fit Annual Bifacial Energy Yield Model	60	☒									☒		☒				☒			☒			
26	2011	AHP decision-making algorithm to allocate remotely controlled switches in distribution networks	10 4	☒				☒			☒								☒	☒					
27	2013	An Extended Fuzzy-AHP Approach for the Evaluation of Green Product Designs	13	☒						☒					☒				☒	☒					
34	2020	ISA Evaluation Framework for Security of Internet of Health Things System Using AHP-TOPSIS Methods	9							☒									☒	☒					
35	2014	Economic MPC for a changing economic criterion for linear systems	61							☒		☒							☒	☒				☒	
36	2020	Combining Residual Neural Networks and Feature Pyramid Networks to Estimate Poverty Using Multisource Remote Sensing Data	0									☒							☒						
37	2017	A Probabilistic Cost/Benefit Analysis of Transmission and Distribution Asset Expansion Projects	5									☒							☒						
38	2015	Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001-2014	8							☒					☒										
39	1995	Multiple criteria decision making (MCDM) using fuzzy logic: an innovative approach to sustainable agriculture	31							☒									☒						

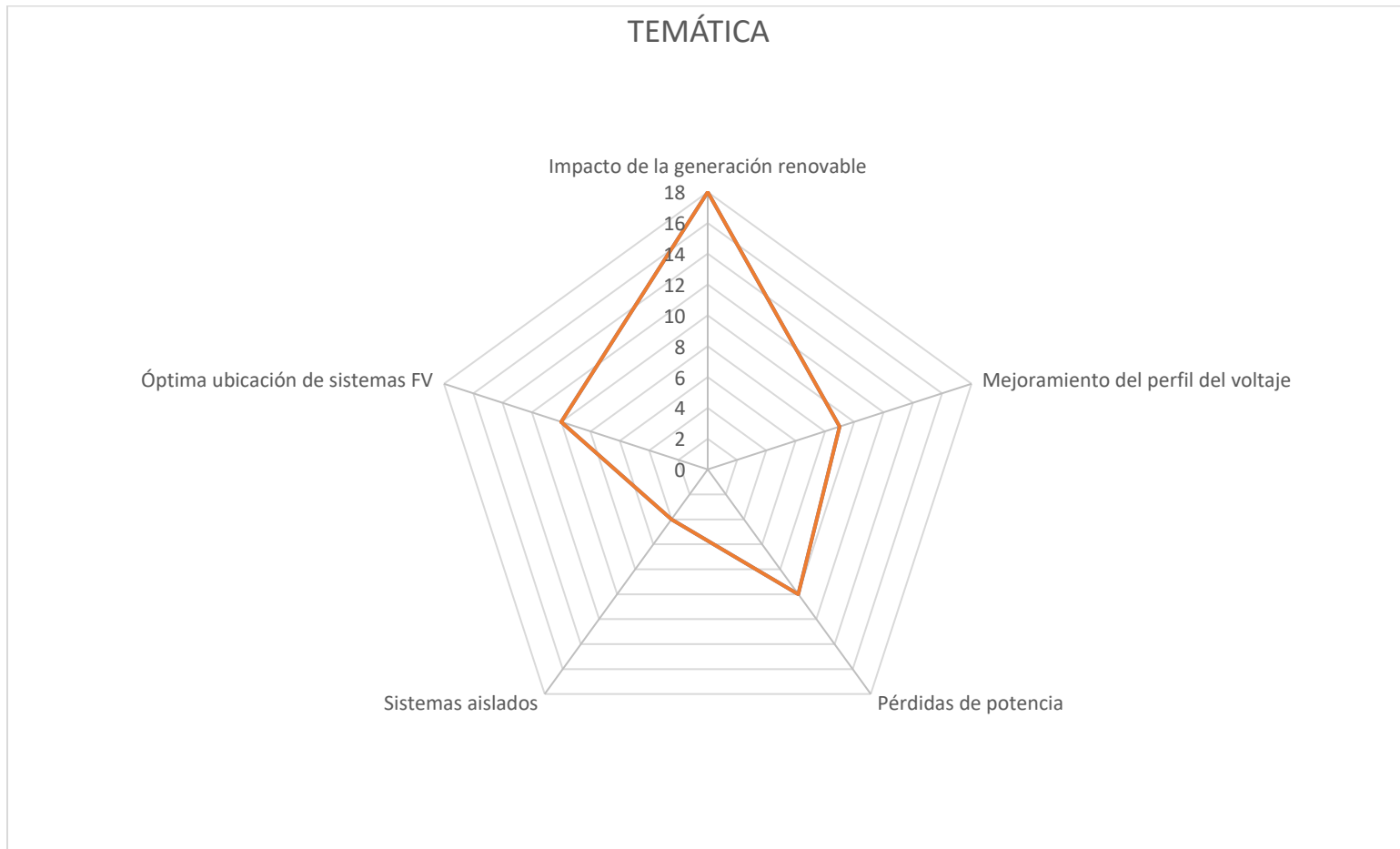


Figura 24. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.
 Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

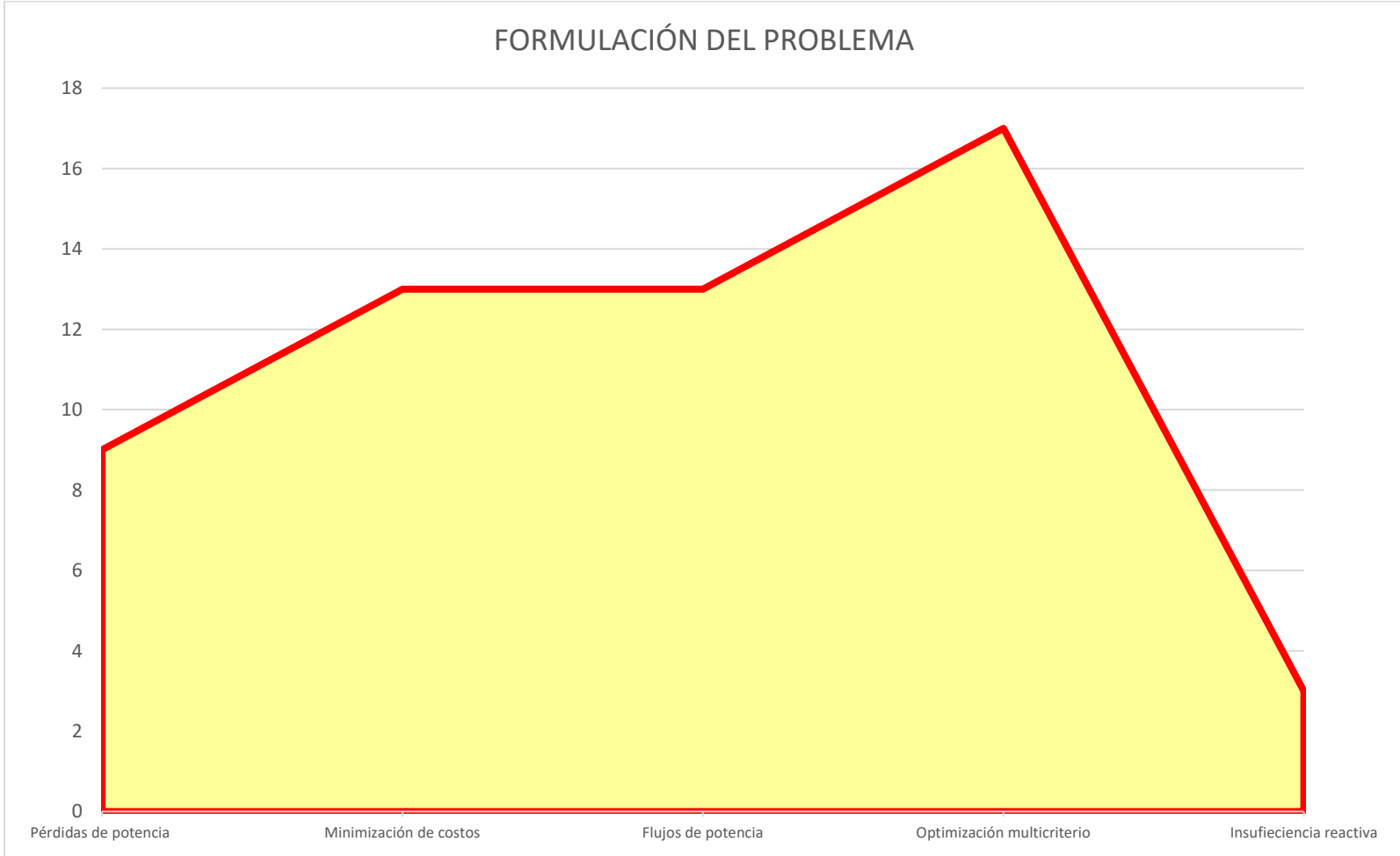


Figura 25. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

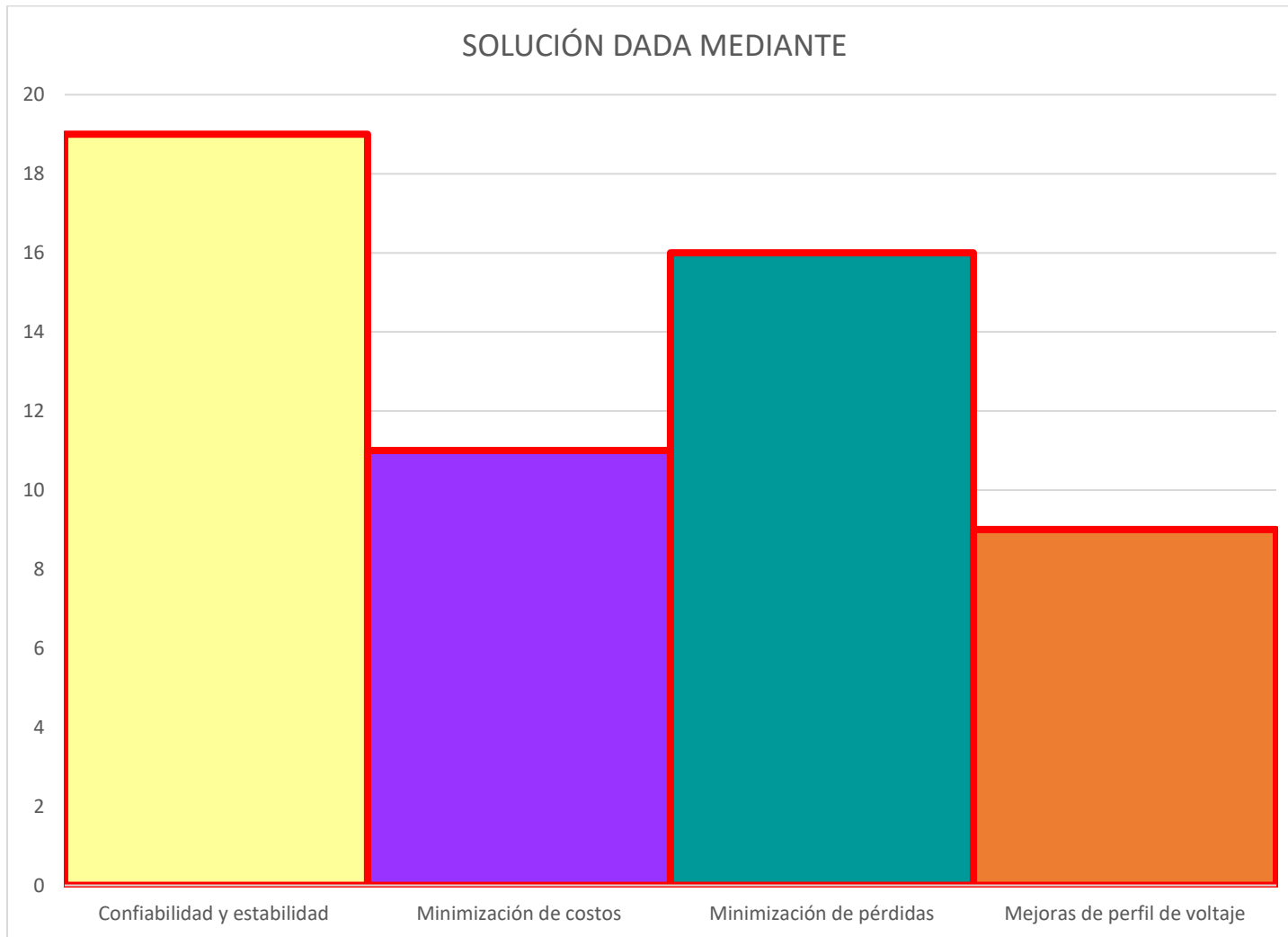


Figura 26. Indicador de solución - Estado del arte.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis.

10. Anexos

Balances y resultados principales

	GlobHor KWh/m ²	GlobEff KWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_load kWh	SolFrac proporción
Enero	133,1	118,5	1350	233,3	95,1	1084	1179	0,919
Febrero	126,2	115,0	1314	280,7	78,3	986	1065	0,927
Marzo	146,5	136,4	1549	371,2	66,3	1112	1179	0,944
Abril	146,8	140,1	1607	448,8	21,1	1220	1141	0,981
Mayo	139,8	136,7	1559	404,0	71,6	1107	1179	0,939
Junio	113,7	112,3	1280	335,4	242,6	898	1141	0,787
Julio	121,1	117,3	1356	254,4	99,3	1079	1179	0,916
Agosto	122,7	117,1	1346	266,2	153,5	1025	1179	0,870
Septiembre	117,3	109,9	1256	242,5	157,8	983	1141	0,862
Octubre	94,5	87,1	984	81,2	309,4	869	1179	0,738
Noviembre	97,1	87,7	1000	114,1	270,8	870	1141	0,763
Diciembre	124,2	111,2	1277	166,1	93,5	1085	1179	0,921
Año	1483,1	1389,2	15880	3198,0	1659,3	12219	13879	0,880

Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobEff	Global efectivo, corr.para IAM y sombreados	E_Load	Necesidad energética del usuario (carga)
E_Avail	Energía solar disponible	SolFrac	Fracción solar (Utilizada/Ecarga)
Eunused	Energía no utilizada (batería llena)		
E_Miss	Energía faltante		

Figura 27. Balances y resultados principales.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.

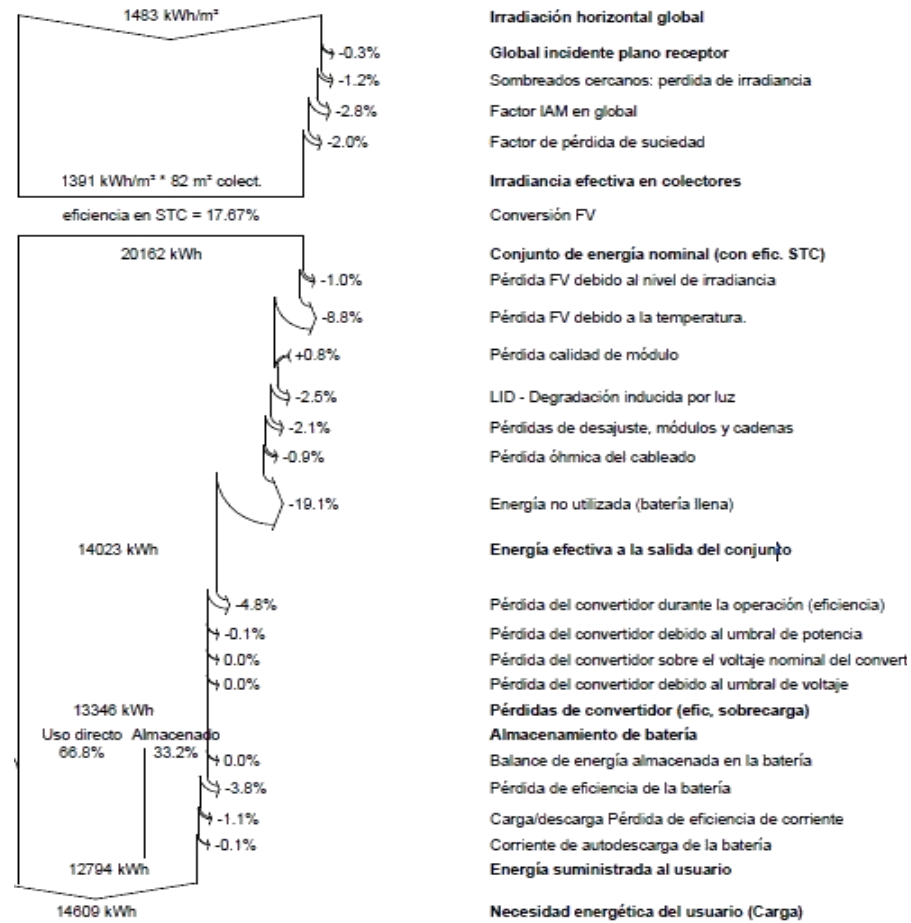


Figura 28. Diagrama de flujo y pérdidas de energía.
Elaborado por: Kevin Geovanny Villacis. Fuente: PVsyst.