



Factibilidad técnica y económica de un sistema eléctrico híbrido aislado para el Centro de Operaciones Espaciales Cotopaxi, por medio del software iHOGA

<https://doi.org/10.53358/ideas.v3i1.533>

Rosalía Revelo¹, Andrés Cuasapaz², Ricardo Rosero²

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Maestría en electricidad Mención Sistemas Eléctrico en Potencia. Quito, (Ecuador)

²Instituto Superior Tecnológico Sucre, Carrera de Electricidad Av. 10 de Agosto N26-27 y Luis Mosquera Narváez, Quito, Ecuador.

¹rrevelos@est.ups.edu.ec, ²rrosero@tecnologicosucre.edu.ec, dcuasapaz@tecnologicosucre.edu.ec

RESUMEN

Este documento establece una base metodológica para el diseño de un sistema híbrido aislado de red para el Centro de Operaciones Espaciales Cotopaxi del Instituto Espacial Ecuatoriano, utilizando el software iHOGA Hybrid Renewable Optimization by Genetic Algorithms, para la optimización de componentes y la estrategia de control. Además, presenta un estudio de demanda y de los recursos renovables presentes en la estación Cotopaxi, utilizando las mediciones de la Estación M120 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, mediciones de la Nasa de radiación solar y de recurso eólico, los mapas de radiación solar del CONELEC y el mapa Eólico del MEER. Se finaliza con el procedimiento y análisis para la evaluación financiera escogiendo la mejor solución técnica y económica de diferentes escenarios de simulación.

Palabras Claves: iHOGA, Sistema Híbrido, Fotovoltaico, Eólica, Algoritmos Genéticos

Abstract. This document establishes a methodological basis for the design of an isolated hybrid network system for the Cotopaxi Space Operations Center of the Ecuadorian Space Institute, using the iHOGA Hybrid Renewable Optimization by Genetic Algorithms software, for the optimization of components and the control strategy. In addition, it presents a study of demand and the renewable resources present at the Cotopaxi station, using measurements from Station M120 of the National Institute of Meteorology and Hydrology INAMHI, NASA measurements of solar radiation and wind resources, and radiation maps. CONELEC solar and the MEER Wind map. It ends with the procedure and analysis for the financial evaluation, choosing the best technical and economic solution from different simulation scenarios.

Keywords: iHOGA, Hybrid System, Photovoltaic, Wind, Genetic Algorithms

Introducción

Se presenta una base metodológica para el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico con banco de batería aislado a la red para el COEC (Centro de Operaciones Espaciales Cotopaxi) del Instituto Espacial Ecuatoriano. Con el respectivo análisis de viento, de radiación solar y de carga.

El diseño y la optimización del sistema híbrido se realizó, utilizando el software iHOGA (Improved Hybrid Optimización Genetic Algoritm), que incluye modelos avanzados de optimización por medio de algoritmos genéticos, logrando establecer diferentes escenarios de simulación, en sistemas de baja o alta potencia, los que pueden estar aislados o conectados a la red, con o sin consumo propio, logrando obtener casos de autoconsumo con Balance Neto (Net Metering) o Facturación Neta (Net Billing).

En el software se puede realizar la simulación y optimización de recursos, considerando el tiempo de vida útil de los equipos como son: paneles fotovoltaicos, aerogeneradores y baterías. La simulación se la puede realizar en pasos temporales de hasta un minuto, análisis de sensibilidad, análisis de probabilidad, etc. Utiliza modelos muy detallados de los componentes, obteniendo simulaciones y estimaciones del funcionamiento del sistema.

iHOGA proporciona un coste total actualizado del sistema que se desea realizar, lo que se consigue comparar distintas combinaciones de componentes y estrategias de control y obtener el óptimo. En el diseño se plantea escenarios de simulación, para demanda máxima, media y mínima. Con los resultados de optimización entregados por iHOGA se realiza un análisis desde el punto de vista técnico, financiero, y se selecciona un escenario definitivo.

Antecedentes y Planteamiento del Problema

Reseña histórica y descripción del sistema eléctrico actual

En 1957 la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio), instaló la Estación de Rastreo de Satélites. Actualmente el COEC se encarga del mantenimiento de instalaciones y equipos. [1]



*Fig. 1. Vista panorámica estación Cotopaxi 1973
Fuente: Archivos del Instituto Espacial Ecuatoriano*

Una vista panorámica de la estación Quito en 1973. La estación se encuentra a 3.650 metros (12.000 pies) de altura 69 kilómetros (43 millas) al sur de la línea ecuatorial (Fotografía de Charles Force)

El COEC obtiene información satelital de la superficie terrestre en un radio de 2 500 km, cubriendo 25 países de Centro América, Sur América y el Caribe. En el COEC se desarrolla geoinformación, para futuros estudios con temas relacionados al manejo de cuencas hidrográficas, planificación y ordenamiento territorial, gestión de recursos naturales, monitoreo ambiental, degradación de los recursos naturales, entre otros.

El suministro de energía eléctrica del COEC, llega a través de una red aérea de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) de medio voltaje trifásica de 22,8 kV que parte del sector el Chaupi a 11 km. Se dispone de una generación emergente, por medio de motores a diésel marca Caterpillar, modelo 3208T (160 kVA) y con modelo D379 (350 kVA).

Consumo energético y costo de la energía

El consumo histórico registrado, de la red aérea de la Empresa Eléctrica Quito, establece con un máximo de 472,27 MWh/año en el año 2002 y un mínimo de 283,67 MWh/año para el año del 2012. El pago de energía eléctrica registra su valor máximo en el año 2002 con 36 386,19 USD anuales.

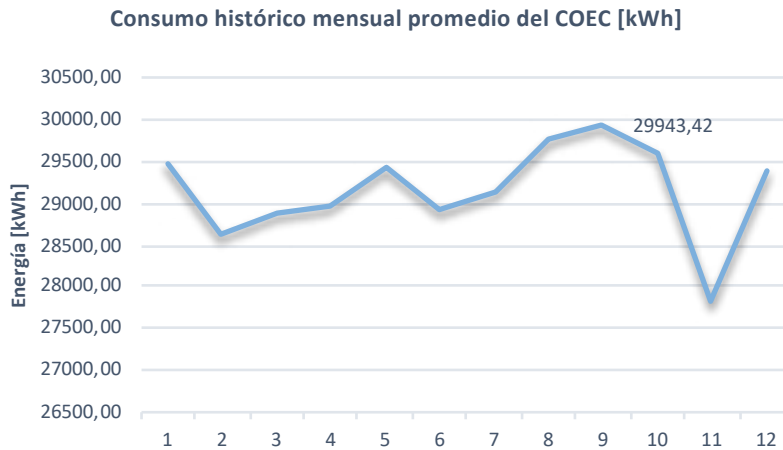


Fig. 2. Consumo histórico mensual promedio del COEC

Los galones totales consumidos desde el año 2008 hasta el año 2013 son 4 465 (46 475kg de CO₂ equivalentes).

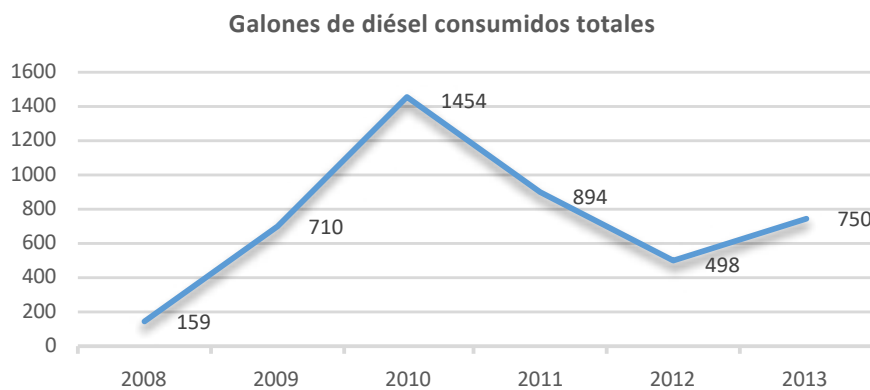


Fig. 3. Galones de diésel totales consumidos en el COEC

Diseño del Sistema Híbrido Utilizando Software iHOGA [2]

Para el diseño se utilizó el software iHOGA, que utiliza algoritmos genéticos para hallar el coste y las emisiones de CO₂, permitiendo establecer diferentes escenarios hasta encontrar una solución óptima del número y tipo de paneles, el número y tipo de aerogeneradores, el tipo de inversor, la potencia del rectificador, la corriente del regulador de carga de las baterías y la estrategia de operación de la instalación.

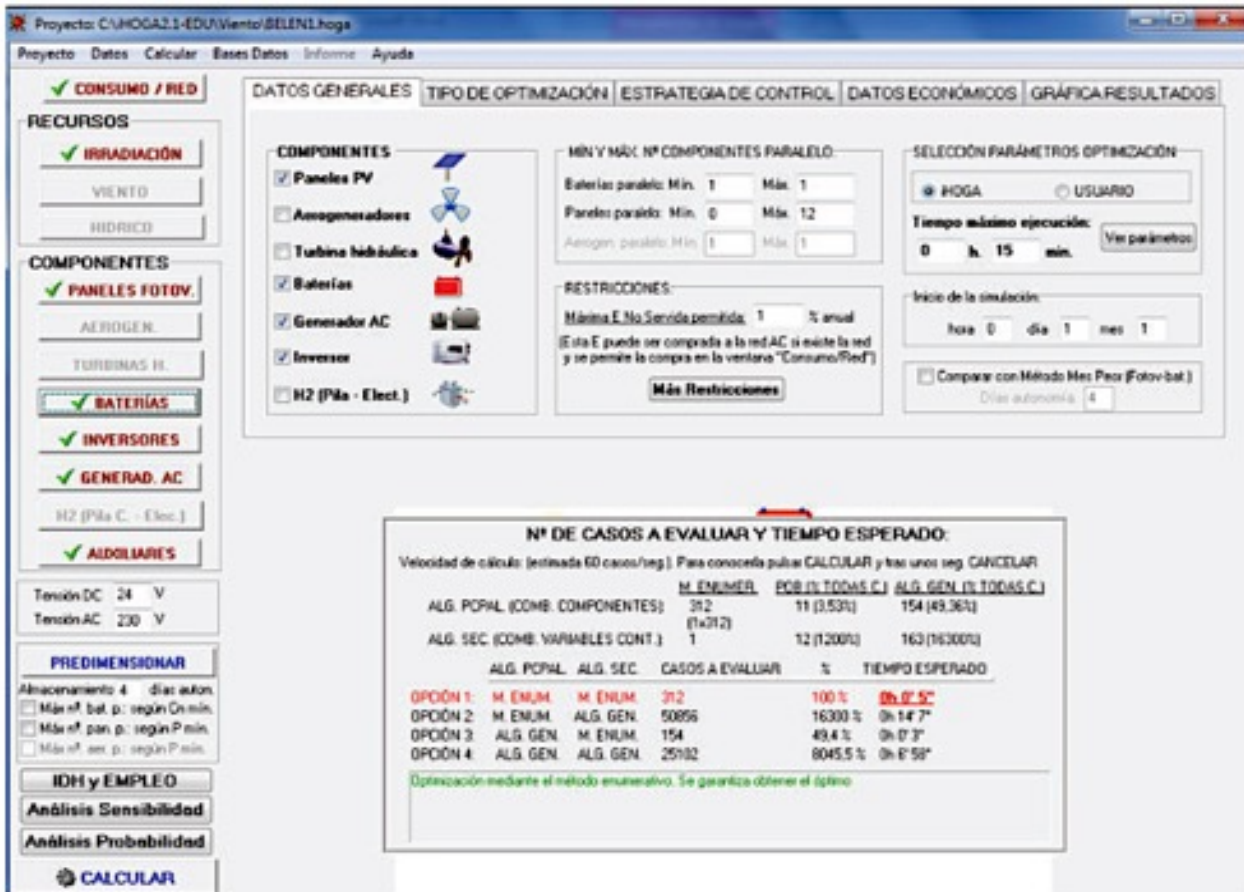


Fig. 4. Pantalla principal de ingreso software iHOGA

Algoritmo principal (optimización de componentes)

Para la optimización de los componentes, el número de casos que se evaluarán son:

Al optimizar con "método enumerativo" El número de combinaciones posibles será:

$$\begin{aligned}
 \text{Combinaciones}_{(alg_pcpal)} = & N^{\circ}tipos_paneles * (1 + N^{\circ}max_paneles_paralelo - \\
 & N^{\circ}min_paneles_paralelo) * N^{\circ}tipos_aerogen * (1N^{\circ}max_aerogen_paralelo - \\
 & N^{\circ}min_aerogen_paralelo) * N^{\circ}tipos_baterias * (1 + N^{\circ}max_baterias_paralelo - \\
 & N^{\circ}min_baterias_paralelo) * N^{\circ}tipos_gen_AC * N^{\circ}tipos_turbinas_hid * \\
 & N^{\circ}tipos_electroliz * N^{\circ}tipos_pilas * \text{Combinaciones}_{alg_secundario}
 \end{aligned}$$

(1)

Algoritmo secundario

El genotipo del algoritmo secundario consta de 12 genes, todos ellos variables de control del sistema y números enteros. Plímite_Carga, P1gen, P1pila, P2, Pmin_gen, Pmin_pila, SOCmin, Pcrítica_gen, Pcrítica_pila, SOCstp_gen, SOCstp_pila, H2TANKstp.

El número de combinaciones será:

$$\text{Combinaciones}_{alg_secundario} = \text{Población}_{sec} + (\text{Generaciones}_{sec} - 1) * \text{Población}_{sec} * (\text{Tasa}_{cruce}_{sec}/100 + \text{Tasa}_{mutación}_{sec} * \text{long}_{cadena}/100) \quad (2)$$

Al optimizar la estrategia con método enumerativo

En ese caso, el número de combinaciones posibles es:

$$\text{Combinaciones}_{alg_secundario} = (\text{Precisión}_{variables} + 1) * N^{\circ}_{variables_a_optimiza} \quad (3)$$

Seguimiento de máxima potencia (mppt):

Con esta estrategia el voltaje fijado por las baterías (tensión del bus DC), de forma que el voltaje sobre el generador fotovoltaico será la nominal del sistema (V_{busDC}), es decir, la de un panel multiplicada por el número de paneles en serie:

$$V_{bus\ DC} = V_{npanel} * N_{paneles_serie} \quad (4)$$

En este caso la potencia que suministra el generador fotovoltaico se calcula:

$$P = I_{sc} * G * V_{n_panel} * N_{paneles_serie} * N_{paneles_paralelo} / FS \quad (5)$$

G es la irradiación sobre la superficie de los paneles, en kW/m² y FS el factor de seguridad elegido.

Sin seguimiento de máxima potencia MPPT

En este caso el regulador de carga de las baterías dispone de seguimiento del punto de máxima potencia, por lo que en cada instante los paneles generan la máxima potencia posible, dependiendo de la irradiación.

La potencia se calcula con la siguiente ecuación, si no se tiene en cuenta el efecto de la temperatura ambiente:

$$P = P_n * G * N_{paneles_serie} * N_{paneles_paralelo} / FS \quad (6)$$

P_n es la potencia nominal (potencia pico, W_p) de los paneles fotovoltaicos.

Cálculo del número de paneles en serie teniendo en cuenta el voltaje de máxima potencia en lugar de la nominal de los paneles

En sistemas de pequeña potencia fotovoltaica con almacenamiento (baterías), el número de paneles necesario se calcula según:

$$p_{paneles\ serie} = \frac{V}{V_{n_panel}} \quad (7)$$

Efecto de la temperatura ambiente:

El efecto de la temperatura ambiente T_{amb} (°C) puede considerarse. La temperatura interna de la célula T_c se calcula según:

$$T_c = T_{amb} + G * (TONC - 20)/800 \quad (8)$$

Una vez calculada la temperatura interna de la célula, la potencia generada por el generador fotovoltaico se calcula según:

$$P = P_n * G * (1 + C_t/100 * (T_c - 25)) * N_{paneles_serie} * N_{paneles_paralelo} / FS \quad (9)$$

Estudio de Demanda y Recursos Energéticos

Curva de demanda del COEC

Las mediciones se obtuvieron con el Power Quality Analyzer, clase A, este equipo tomó mediciones con una frecuencia de 10 minutos, durante 9 días.

El gobierno nacional en conjunto con PLANIFICA ECUADOR, viene desarrollando un proyecto de generación de geo información para la gestión del territorio a Nivel Nacional para lo cual ha creado la Coordinación General del Sistema de Información Nacional (CGSIN).

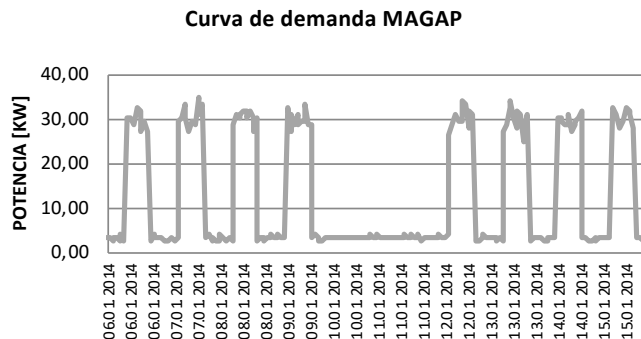


Fig. 5. Curva de demanda MAGAP

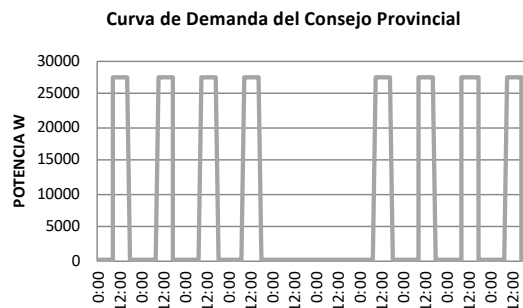


Fig. 6. Curva de demanda Consejo Provincial

Curva de demanda IGM

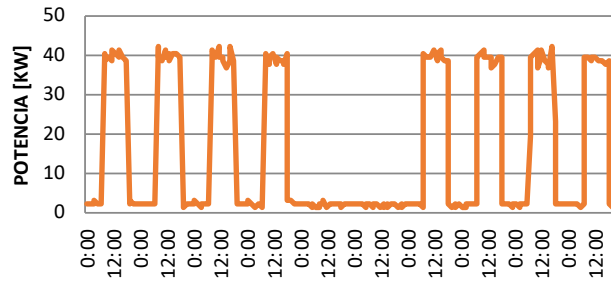


Fig. 7. Curva de demanda IGM

Fig. 7. Curva de demanda IGM
Proyección de demanda de la Estación Cotopaxi año 2015

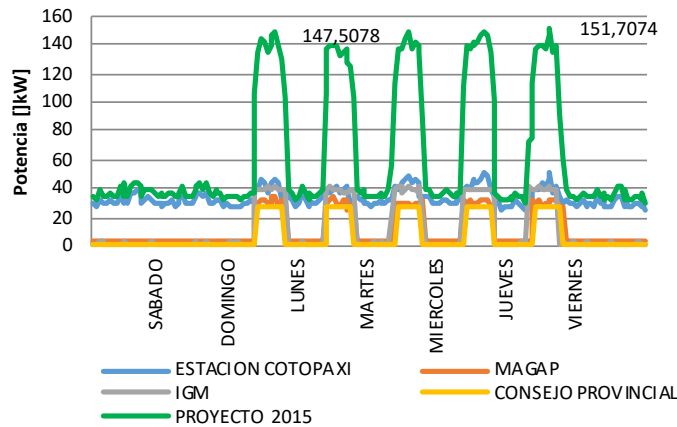


Fig. 8. Curva de demanda unificada COEC

Análisis del recurso eólico [3] [4]

Para tratamiento de datos y análisis del viento se utilizó tres fuentes de información, las mediciones del INAMHI del sitio, se tiene además las mediciones mundiales de la NASA, y finalmente el atlas eólico del MEER.

El instrumento de medición utilizado fue la veleta o aspa de wild ubicada en Estación Cotopaxi a 10 metros de altura, la frecuencia de la toma de datos fue de 1 hora.

Para obtener la curva diaria de viento, se utilizó la fuente de datos diaria cuyos valores se registraron a las 7h00, a las 13h00 y a las 19h00.

En el presente proyecto se utilizó las mediciones históricas de viento, tomadas por la estación M120 del INAMHI por un periodo de 4 años que va desde el año 2008 hasta el año 2012.

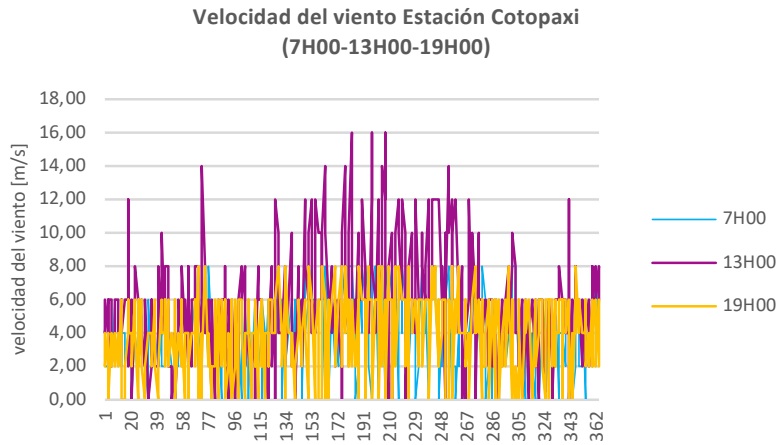


Fig. 9. Velocidad del viento Estación Cotopaxi

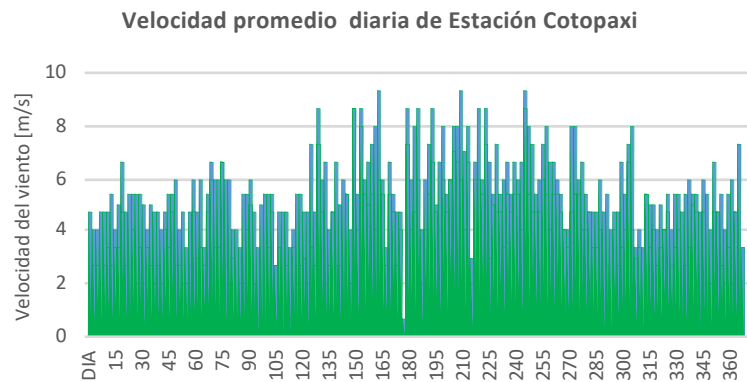


Fig. 10. Velocidad de viento promedio diaria COEC

Las mayores frecuencias se presenta alrededor de los 7 m/s de velocidad y su porcentaje llega al 33%.

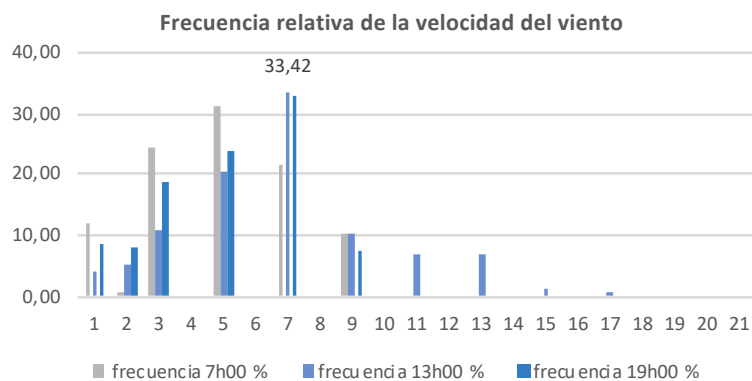


Fig. 11. Frecuencia relativa de la velocidad del viento COEC

Dirección del viento Estación Cotopaxi

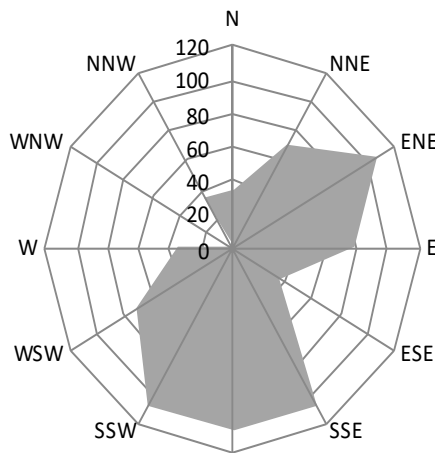


Fig. 12. Dirección de la velocidad del viento COEC

La dirección predominante del viento está en entre el sur este (150°) y sur oeste (210°). [5]

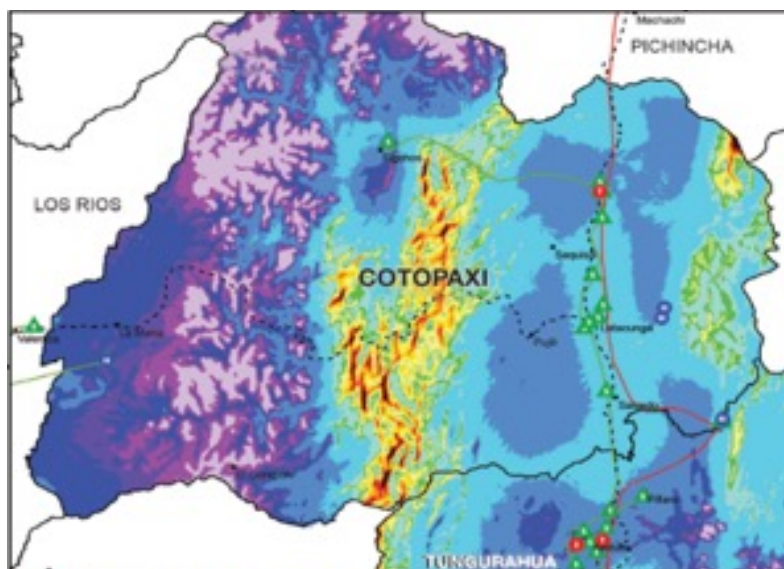


Fig. 13. Velocidad del viento según atlas eólico
Fuente: Atlas eólico oficial MEER [6]

Según el Atlas eólico del MEER la velocidad promedio mensual para el COEC del Instituto Espacial Ecuatoriano está entre los valores de 5m/s a 5.5m/s (18 a 19.5km/h).

Estas mediciones de velocidad de viento tienen similitud con las mediciones presentadas y medidas en sitio a una altura de 10m por el INAMHI, por lo que, para el software iHOGA se utilizará como la fuente oficial las mediciones del INAMHI.

Análisis del recurso solar [2]

Se utilizó mediciones de la Estación Meteorológica M120 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, las mediciones históricas de radiación datan desde el año 2007. Para el estudio se tomó valores promedio desde el año 2007 hasta el año 2012.

[8]

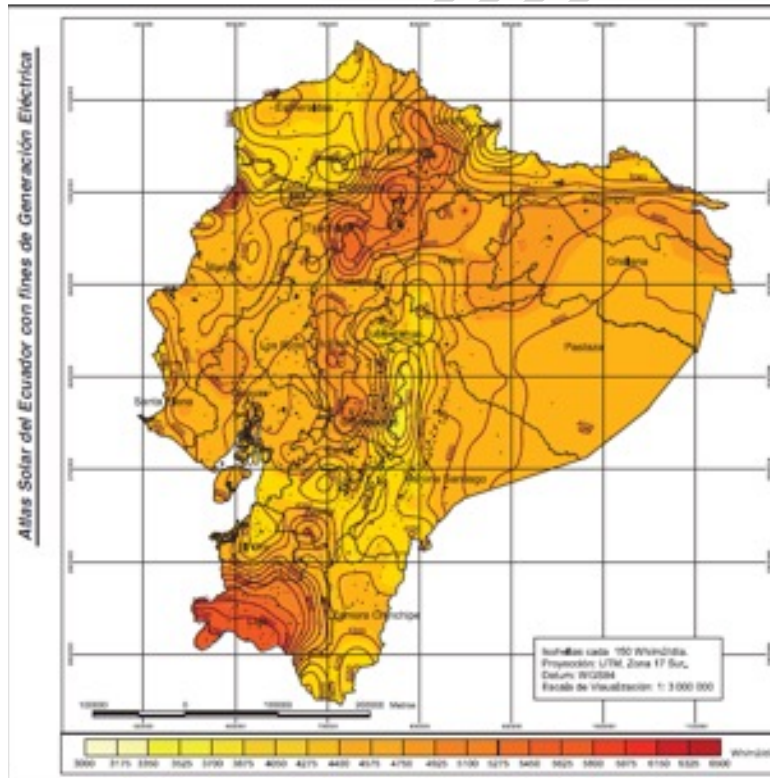


Fig. 14. Mapa de insulación global según CONELEC
Fuente: Atlas solar oficial del CONELEC [7]

La fuente considerada para el software iHOGA, fueron las mediciones de la NASA.

Tabla 1. Mediciones de radiación total

mes	Fuente INAMHI (kWh/m2/día)	Fuente NASA (kWh/m2/día)
Enero	3.44	4.13
Febrero	3.76	4.08
Marzo	3.22	4.2
Abril	3.68	4.13
Mayo	3.17	4.13
Junio	3.26	4.2
Julio	3.37	4.29
Agosto	3.55	4.38
Septiembre	3.55	4.4
Octubre	3.52	4.42
Noviembre	3.48	4.34
Diciembre	3.38	4.15

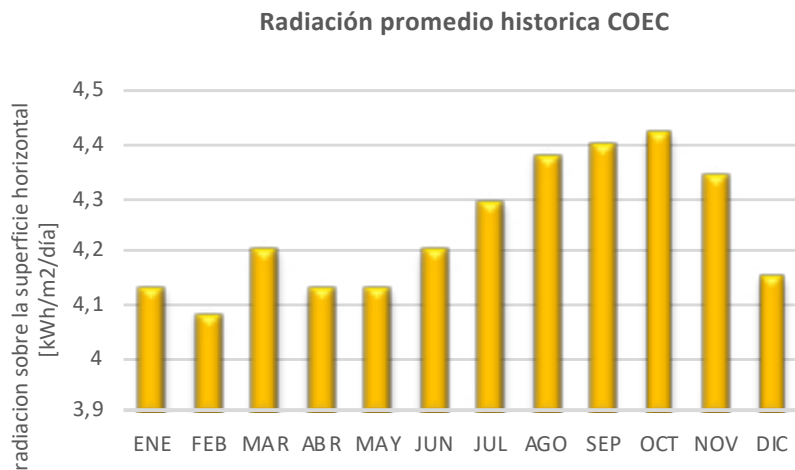


Fig. 15. Radiación promedio histórica COEC

Escenarios de simulación

El dimensionamiento óptimo se ha dividido en cuatro escenarios, las diferentes posibilidades contemplan variaciones de consumo para (100%; 50% y 25%) de demanda.

Tabla 2. Resultados simulación iHOGA

No escenario Descripción	Comparación consumo y componentes			
	1 Sistema fotovoltaico	2 Sistema fotovoltaico eólico	3 Sistema fotovoltaico eólico	3 Sistema foto eólico
% demanda	100	50	25	100
Nº total de paneles solares	2636	1086	632	700
Pot pan(Wp)	135	250	250	250
P total, Fotov,(Wp)	355860	271500	158000	171000
Nº total de baterías	1584	1440	1380	2880
Cap, Bat(Ah)	390	250	250	250
Cap total, Bat,(Wh)	1235520	720000	690000	1372000
Reg, carga, Bat,(A)	14102	5810	3381	3893,63
Inversor(W)	60000	60000	60000	60000
Nº Aer, serie	0	1	1	16
Pot, Aer (Wp)	0	1600	1600	1600
P total Aer,(Wp)	0	1600	1600	25600

Análisis y comparación de escenarios

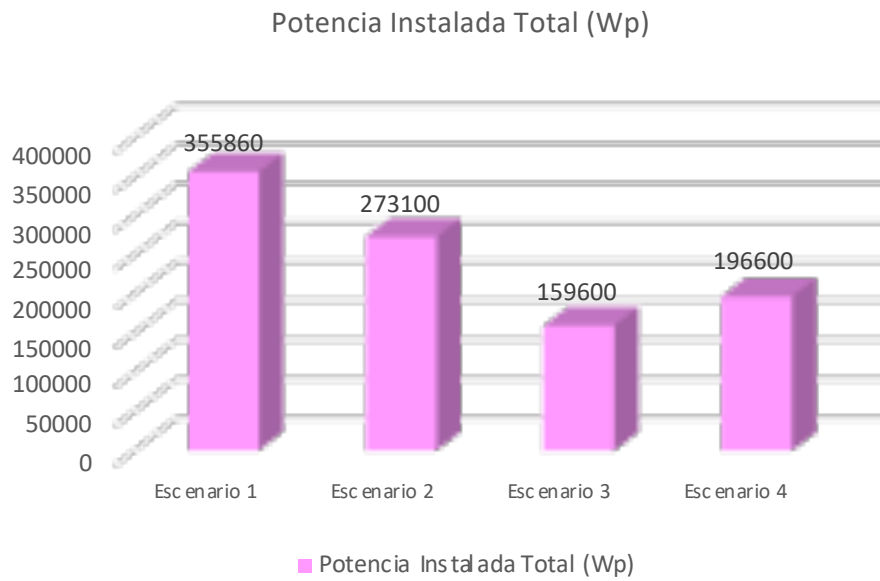


Fig. 16. Potencia instalada Total

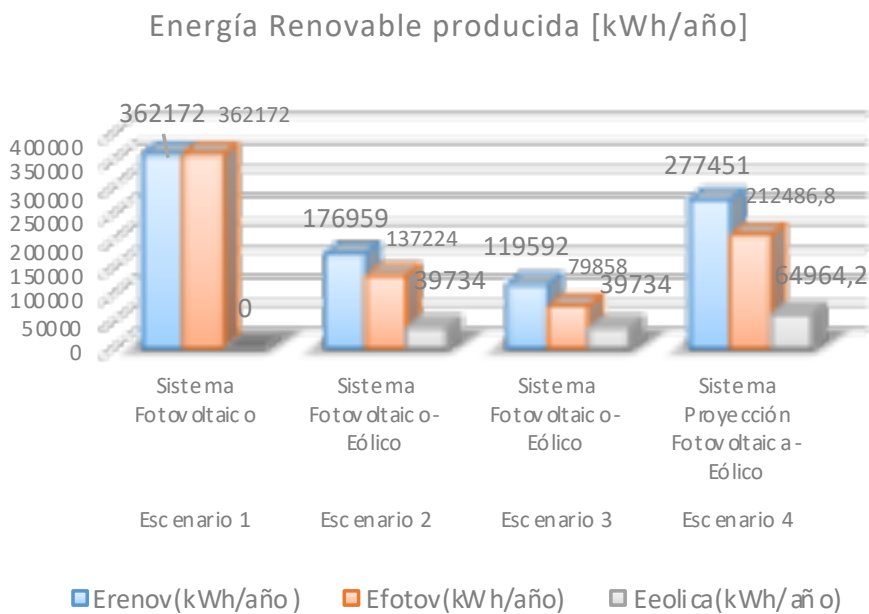


Fig. 17. Producción energética

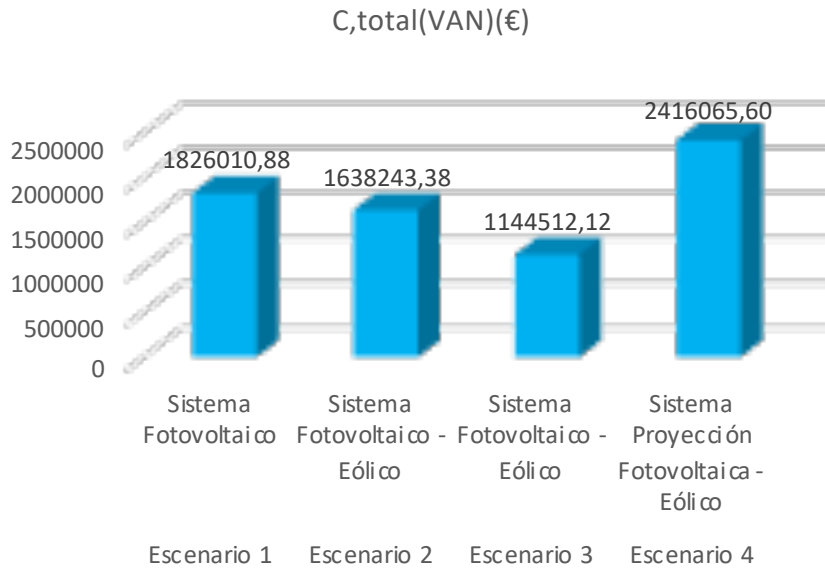


Fig. 18. Costo total Valor Actual Neto

Aporte porcentual de Costos de inversión (VAN) \$

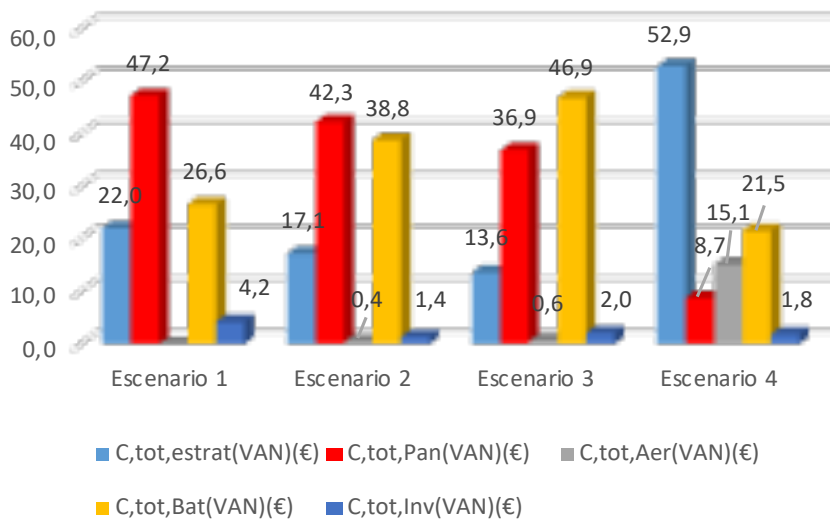


Fig. 19. Aporte porcentual de los costos de inversión

De los cuatro escenarios simulados en el software iHOGA, el escenario 1, es el que tiene mayor potencia instalada 355 860 W presenta con 2 636 paneles utilizados de 135 W, su producción de energía renovable es de 362172kWh/año de origen fotovoltaico.

Tiene además un excedente de energía de 3815,5 kWh/año. El escenario 1 tiene un banco de baterías de 1 235,52 kWh. La energía fotovoltaica cubre el 22,34% con energía fotovoltaica y el 77,64% es cubierto con energía del banco de baterías.

En el escenario 1 la inversión es de 1 826 010 USD., y está distribuida en un 47,2% para el costo del parque fotovoltaico, el 26,6% de la inversión total corresponde al costo de banco de baterías, el 22% corresponde al costo del sistema de control o estrategia de optimización, y el 4,2% corresponde al costo de inversor.

El área mínima requerida para la ubicación de 2636 paneles solares incluidas conexiones y espacio para la sombra es de 4057,68 metros cuadrados. El banco de baterías requiere un área de 150 metros cuadrados para la ubicación de 1584 baterías. El COEC dispone de 4500 m² aproximadamente de área verde libre.

Contrastación de Resultados

Cálculo del consumo

$$E_d \text{ promedio} = 794.88 \text{ kWh / día} \quad (10)$$

$$\text{Perdidas del sistema } 5\% = 39.74 \text{ Wh / día} \quad (11)$$

$$E_d = 834.63 \text{ kWh / día} \quad (12)$$

Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador

La irradiación media mensual se calcula tomando en cuenta la orientación de los paneles, el ángulo de inclinación, el factor de incidencia y el factor de sombra. Y se calcula con la siguiente ecuación.

$$Gdm_{(10)} = Gdm_{(0)} * FI * FS * K \quad (13)$$

$$FI = 1 - [1,2 * 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})]^2 \quad (14)$$

Si $15 < \beta < 90$ $15 < \beta < 90$

$$K = \frac{Gdm(\alpha=0; \beta_{opt})}{Gdm(0)} \quad (15)$$

Tabla 3. Cálculo de la irradiación media mensual sobre el plano del generador

Cálculo de irradiación media mensual		
alfa	180	Paneles orientados sur
beta (Angulo de inclinación)	10	Ángulo de inclinación
gdm(0) Ecuador según nasa	4.02	kWh/m ²
FS factos de sombra	0.8	Zona nublada
k constante	1.15	por Tabla
fi	-0,62	latitud en grados
Beta opt	-10.62	fi-10
gdm(10)	3.61	kWh/m ² /día

$$Gdm_{(10)} = 3.61 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$

Potencia mínima del generador en base al rendimiento energético

$$PR = \frac{E_d * G_{CEM}}{G_{dm(\alpha, \beta)} * P_{mp}} \quad (16)$$

$$0.6 = \frac{834.63 \text{ kWh / dia} * 1 \text{ kW / m}^2}{3.61 \text{ kWh/m}^2/\text{día} * P_{mp}}$$

$$P_{mp} = 384,98 \text{ kWp}$$

Selección del tamaño del acumulador

$$A = \frac{C_{20} * PD_{max}}{L_D} n_{inv} * n_{rb} \quad (17)$$

Cálculo del número de Paneles, número de Baterías, y número de inversores

$$\text{número de paneles} = \frac{\text{potencia del generador}}{\text{potencia del panel}} \quad (18)$$

$$\text{número de paneles} = \frac{384,98 * 1000}{135}$$

$$\text{número de paneles} = 2581,75$$

$$N_s = \frac{V \text{ nominal}}{V \text{ panel}}$$

$$N = \frac{600V}{12V} = 50 \quad (19)$$

$$\text{número de paneles paralelo} = 1.2 * \left[\frac{\frac{P_{mp}}{V_n}}{NS * Imp \text{ Modulo}} \right]$$

$$\text{número de paneles paralelo} = 1.2 \left[\frac{\frac{384,98 * 1000W}{600V}}{50 * 8} \right]$$

Número de paneles paralelo = numero entero mayor a 2

$$\text{número de baterías} = \left[\frac{\text{Potencia del acumulador}}{\text{Capacidad de la batería}} \right]$$

$$\text{número de baterías} = \left[\frac{1952348,95 \text{ Wh}}{780 \text{ Wh}} \right]$$

$$\text{numero de baterías} = 2503$$

$$\text{número de inversores} = \left[\frac{\text{Potencia del acumulador}}{\text{Capacidad de la batería}} \right]$$

$$\text{número de inversores} = \left[\frac{432,70kW}{60kW} \right]$$

$$\text{número de inversores} = 7,2$$

Tabla 4. Cálculo generación eólica

comparación de escenarios calculados vs escenarios de iHOGA fotovoltaica

ESCENARIO 1 - CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS		
Parámetros de comparación	FOTOVOLTAICO BATERÍAS	
	iHOGA	CALCULADO
Consumo anual	290 133	290 133
energía diaria kWh/día	794,88	794,88
pérdidas del sistema	39,74	39,74
azimut	180	180,00
Gdm	3,61	3,61
Pmp kWp	355,86	384,98
numero de paneles	2 636	2 851,74
paneles serie	50	50,00
paneles paralelos	52,72	57,00
Capacidad del banco	1 235 520	1 952 348,95
numero de baterías	1584	2503,01
baterías serie	300	300,00
baterías paralelos	5,28	8,34
numero de inversores	5	7,21
Costo del Proyecto	1 826 010,88	1 726 014,00
Costo del kW instalado	5 131,26	4483,33

Diagrama Unifilar general

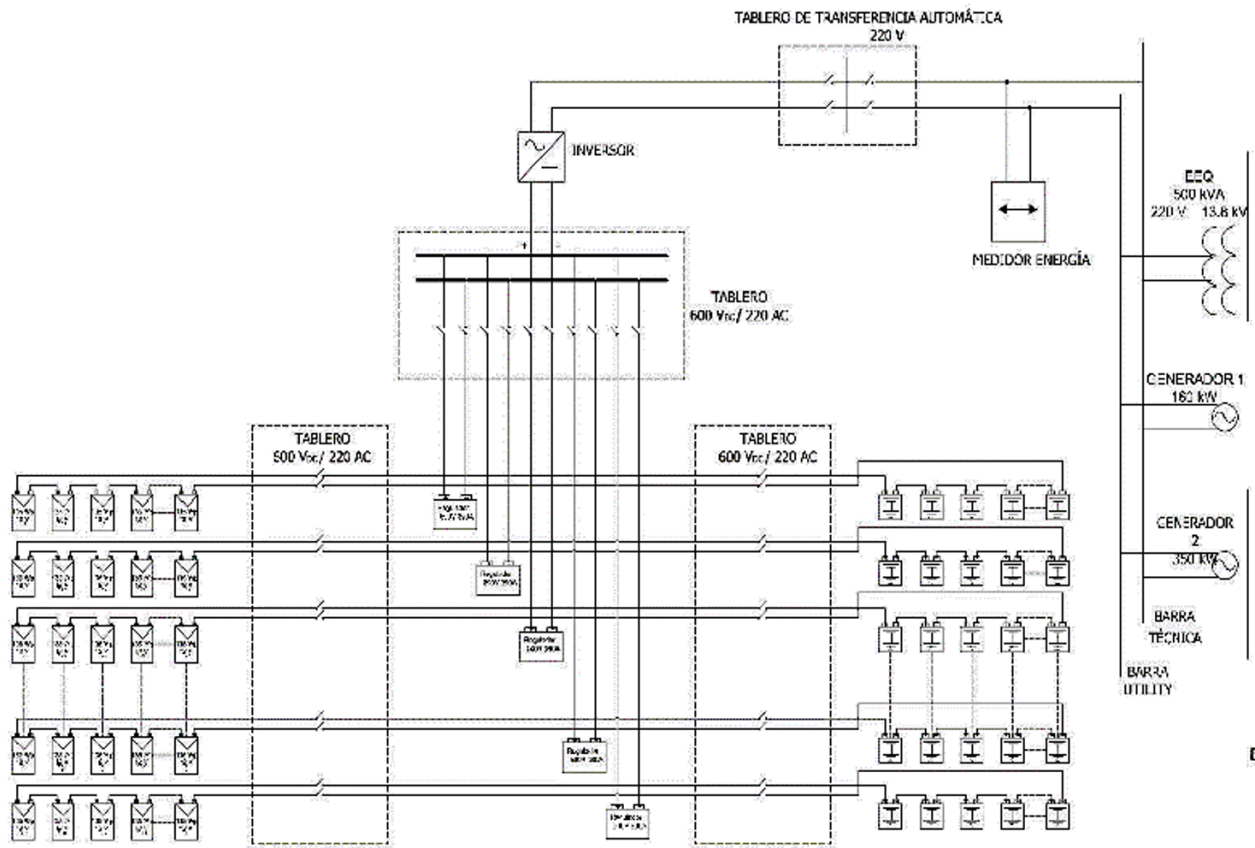


Fig. 20. Diagrama unifilar general

Evaluación financiera

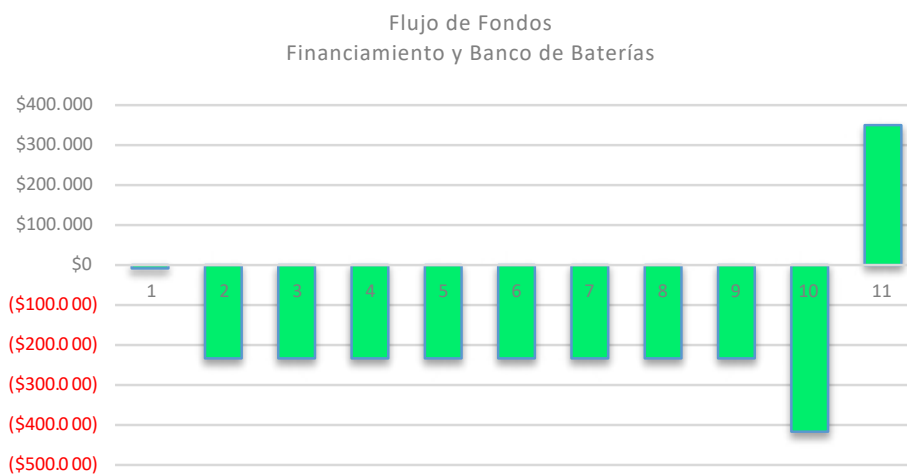


Fig. 21. Flujo de fondos

En el flujo de fondos se concluye que la inversión no se recupera en los primeros 10 años, pues el ingreso para el inversionista es negativo, desde el año 1 hasta el año 10.

El valor actual neto es (\$ -1 387 055,37) Económicamente no es viable para el COEC. Pues en ningún año los ingresos superan los egresos el top es igual.

El valor del VAN negativo me indica que pierdo al realizar la inversión. El valor máximo de pérdidas se registra en el año 10 con un valor de 415 000 dólares con novecientos 41 dólares, a partir del año 11 se registra un valor positivo, debido a que los equipos tienen una vida útil de 15 a 25 años.

Tabla 5. Indicadores financieros

Índices financieros	
TOP	8%
TIR	-10%
VAN	(\$ 1.387.055,37)

Conclusiones

Financieramente el proyecto no es rentable, pues con el sistema de energía alternativa no convencional el Valor Actual Neto (VAN) es de -1 826 010,88 USD, la inversión no se recupera en el tiempo de vida del proyecto. Además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) es menor al 10%.

Se recomienda al COEC, continuar con el suministro de energía suministrado por la Empresa Eléctrica Quito, pues los costos actuales de las energías renovables no convencionales, en este caso energía fotovoltaica no son competitivos. Sin embargo, queda claro que técnicamente es factible aislarse de red y autoabastecerse en su totalidad la demanda con energías limpias. Es necesario considerar en estudios futuros la posibilidad de vender energía a la red.

Dentro del estudio de recursos energéticos se determina que, para el sector del Boliche se registra vientos con una velocidad promedio de 5,1 m/s, una velocidad máxima de 5,68 m/s para los meses de agosto y septiembre y la velocidad mínima de 4,68 m/s en el mes de abril. La dirección del viento está entre 150 y 210° al sur.

La radiación solar global, tiene un valor promedio anual de 4,24 kWh/m²/día. Los meses de mayor radiación son agosto, septiembre y octubre con valores de 4,38 kWh/m²/día.

En base a los análisis de resultados de optimización de iHOGA se concluye que el escenario 1, es el que cumple con las mejores condiciones técnicas y financieras es el sistema fotovoltaico con banco de baterías aislado de red para la demanda máxima, con una potencia instalada de 355 860 W compuesta por 2 636 paneles de 135 Wp, su producción de energía renovable es de 36 2172 kWh/año de origen fotovoltaico. Tiene además un excedente de energía de 3 815,5 kWh/año. El banco de baterías de 1 235,52 kWh. El sistema híbrido cubre la demanda de energía en un 22,34% con energía fotovoltaica y el 77,64% es cubierto con energía del banco de baterías.

El área mínima requerida para la ubicación de 2 636 paneles solares incluidas conexiones y espacio para la sombra son de 4 057,68 metros cuadrados. El banco de baterías requiere un área de 150 metros cuadrados para la ubicación de 1584 baterías. El COEC dispone de 4 500 m² aproximadamente de área verde libre.

Este proyecto en caso de construirse desplazará de la atmósfera 30,8 toneladas de CO₂ por año y un total de 461,94 toneladas totales de CO₂.

Referencias

M. Muñoz, Documentación Histórica COEC, QUITO, 2013.

DUFO, HYBRID OPTIMIZATION GENETIC ALGORITHM, España: Universidad de Zaragoza, 2006.

J. Mera, Estudio de sistemas híbridos (eólico-solar) para la iluminación y bombeo en la escuela y viviendas de la comunidad Pitiur en el oriente ecuatoriano, primera ed., E. P. Nacional, Ed., Quito: Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica, 2006.

N. Rohatgi, An Analysis for the Generation of Wind Power, primera ed., Texas, 1994.

"J. Pramod , Wind Energy Engineering, Primera ed., New York, Chicago San Francisco: Mc GrawHill, 1976.

MEER, atlas eólico, Quito: Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2012.

CONELEC, Atlas solar, Quito: Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2012.

INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2012.