



POSGRADOS

MAESTRÍA EN

ELECTRICIDAD

RPC-SO-30-No.508-2019

OPCIÓN DE
TITULACIÓN:

ARTÍCULO PROFESIONAL DE ALTO NIVEL

TEMA:

CONTROL ENERGÉTICO Y OPTIMIZACIÓN DEL TAMAÑO
DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGÍA RENOVABLE
A PEQUEÑA ESCALA CON COMBINACIÓN
DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

AUTOR:

NATALI ASTUDILLO SKLIAROVA

DIRECTOR:

JUAN CARLOS LATA GARCÍA

GUAYAQUIL - ECUADOR
2022

Autores:



Natali Astudillo Skliarova

Ingeniera en Electricidad especialización Potencia

nastudillos@est.ups.edu.ec

Director:



Juan Carlos Lata García

Licenciado en Controles Industriales

Master Universitario en dispositivos y sistemas fotovoltaicos

Master Universitario en energías renovables y eficiencia energética
especialidad sistemas eléctricos

Doctorado en energías renovables

jlatag@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

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

DERECHOS RESERVADOS

©2022 Universidad Politécnica Salesiana.
GUAYAQUIL – ECUADOR – SUDAMÉRICA
NATALI ASTUDILLO SKLIAROVA

**CONTROL ENERGÉTICO Y OPTIMIZACIÓN DEL TAMAÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGÍA
RENOVABLE A PEQUEÑA ESCALA CON COMBINACIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO**

Control energético y optimización del tamaño de un sistema híbrido de energía renovable a pequeña escala con combinación de sistemas de almacenamiento

Natali Astudillo
Universidad Politécnica Salesiana
Maestría en Electricidad
Guayaquil, Ecuador
nastudillos@est.ups.edu.ec

Juan Lata-García
Universidad Politécnica Salesiana
GIPI
Guayaquil, Ecuador
jlatag@ups.edu.ec

Abstract—Varios proyectos de electrificación rural en zonas remotas han sido implementados, sin embargo el dimensionamiento es una tarea compleja debido a las variables meteorológicas y al tipo de estrategias de control. Este artículo analiza el impacto de distintas combinaciones de almacenamiento de energía o sistemas de almacenamiento híbrido para un sistema de generación renovable a pequeña escala compuesto por generadores basados en biomasa y/o paneles fotovoltaicos respaldados por generadores diésel, se consideran tres tipos de tecnología de almacenamiento, batería de plomo ácido, litio y celdas de combustible esto con ayuda de un software de análisis para sistemas renovables con la finalidad de comprobar si este sistema híbrido podría ser más económico que un sistema de generación renovable respaldado por una única tecnología de almacenamiento. La estrategia de control de seguimiento de carga (LF) y con una sola tecnología de almacenamiento obtiene los mejores resultados, el costo nivelado de la energía es de \$ 0.152 dólares, mientras que con baterías de Li-ion y la misma estrategia de control el costo del kWh es \$ 0.326

Keywords—energías renovables, sistemas híbridos, sistemas híbridos de almacenamiento

I. INTRODUCCIÓN

Contar con acceso a energía eléctrica es indispensable, tras una década de progresos constantes, la tasa mundial de electrificación llegó al 89 %, y cada año, 153 millones de personas obtuvieron acceso a la electricidad.[1]

La mayor parte de la energía eléctrica producida es transportada por redes de distribución desde el lugar donde se produce hasta los puntos de consumo, cuando el sitio al que se debe abastecer tiene una población pequeña, o es de difícil acceso, los costos no justifican el tendido de una red, por ello se ha optado por la implementación de sistemas de generación “in situ”, basados tradicionalmente en combustibles fósiles, el problema de este tipo de generación es el costo del combustible y la emisión de gases de efecto invernadero [2], como alternativa se han desarrollado los sistemas de generación híbridos a pequeña escala que están compuestos por más de una fuente de generación, debido a las características intermitentes de los recursos renovables y el comportamiento no lineal de algunos componentes, el dimensionamiento de este tipo de sistema es una tarea compleja, los métodos de optimización tradicionales tienen dificultades para abordar problemas de esta complejidad.[3]

Para permitir el análisis y modelado de sistemas de generación renovables, algunos laboratorios e instituciones han desarrollado herramienta de cálculo computacional, estas aplicaciones incluyen ecuaciones fundamentales de cada tecnología junto con ecuaciones financieras utilizadas para analizar los costos de operación, mantenimiento y capital, que permiten la estimación de puntos operativos y parámetros de diseño adecuados para minimizar los costos de la generación de energía, así mismo permiten el análisis del impacto ambiental, un ejemplo de estos programas es HOMER [4]

Distintas combinaciones de sistemas de generación renovable se han analizado con el objetivo de determinar el tamaño ideal de un sistema híbrido de generación, considerando y sin considerar el control energético [5][6], así mismo se ha analizado el comportamiento de sistemas de generación con diferentes tipos de baterías [6], el impacto del uso de diferentes tecnología de almacenamiento es crucial para evaluar la viabilidad de una propuesta para la implementación de un sistema de generación híbrido, el almacenamiento de bajo costo es la clave para permitir que la electricidad renovable compita con la generación de energía basada en combustibles fósiles.

Las nuevas tendencias se encaminan a buscar combinaciones de tecnologías de almacenamiento que puedan trabajar conjuntamente y no de manera excluyente como se ha venido analizando hasta ahora, esto podría hacer que los sistemas de generación renovable sean más robustos debido a que la combinación de tecnologías de almacenamiento ofrece un mejor rendimiento de potencia y energía [7]

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto que tendría sobre un sistema híbrido de generación renovable el uso de una combinación de tecnologías de almacenamiento, en este caso pilas de combustible y baterías de litio o pilas de combustible y baterías de plomo ácido, se ha seleccionado esta combinación debido a que las pilas de combustible producen electricidad mientras se suministre combustible si no existe un respaldo el excedente que podría existir se pierde, con la inclusión de alguno de los modelos de batería se espera solucionar este problema.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Area Seleccionada

Cauchiche una comuna con más de 700 habitantes al Oeste de la Isla Puná situada en el golfo de Guayaquil (Ecuador), Puná es considerada como reserva ecológica, por lo que existe la necesidad de implementar un sistema de generación renovable que reemplace el uso de la generación térmica destinado para la isla. Las principales actividades económicas en Cauchiche son cultivos agrícolas de ciclo corto, ganadería y actividades ecoturísticas.



Fig 1. Mapa de la Isla Puná.

B. Perfil de carga

Para obtener el perfil de carga se ha tomado como referencia el consumo promedio de un hogar en zonas rurales del Ecuador, las horas pico de consumo máximo están entre las 19:00 y 20:00 hrs, y el pico de consumo mínimo de 01:00 a 05:00 hrs.[6]. Se contempla un uso racional y eficiente de la energía con focos ahorradores, nevera, y televisor de tamaño pequeño, la demanda promedio instalada por vivienda es de 283.3 [W] incluyendo el alumbrado público, se considera que cada familia cuenta con cuatro integrantes, lo que resulta en 175 viviendas, la carga total instalada es de aproximadamente 49.5 [kW].

La curva de demanda diaria para una sola vivienda se muestra en la Fig. 2.

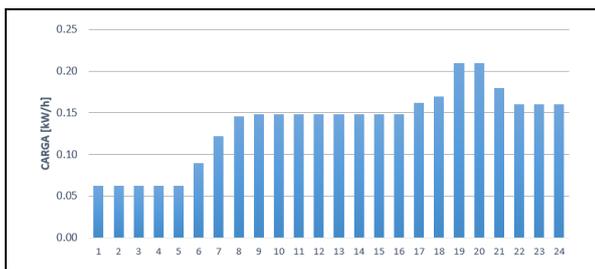


Fig 2. Perfil de carga diaria en la Isla Puná.

C. Generación Eléctrica en la Isla Puná

Para suplir la demanda eléctrica en la isla Puná la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC S.A) ha instalado grupos de generadores a diésel que proveen energía a las poblaciones de Puná Nuevo y Campo Alegre durante las 24 horas del día. Para la comuna Cauchiche solamente se genera energía eléctrica durante 18 horas al día.

D. Recurso Solar

En la Fig. 3, se puede observar los valores de irradiación global de acuerdo a los datos obtenidos en HOMER con un promedio anual 5.44 [kWh/m²/día].

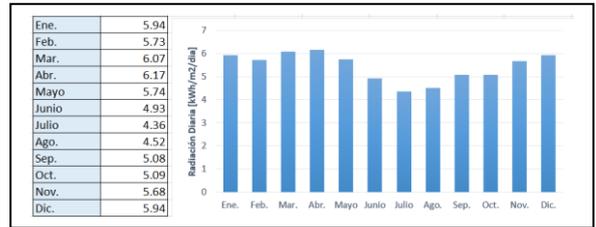


Fig 3. Irradiancia horizontal global solar media mensual.[10]

E. Recurso Biomasa

La comuna de Cauchiche mantiene un territorio de manejo ancestral de 165 ha. El área mantiene una variada flora donde predomina el Ceibo.[13]

Debido a que los desechos forestales pueden ser aprovechados para convertirlos en electricidad mediante procesos térmicos, la biomasa producto del mantenimiento de estos territorios se puede transformar en una fuente de energía alternativa para suplir las necesidades de la comuna.

El perfil del recurso biomasa, se puede ver en la Fig. 4:

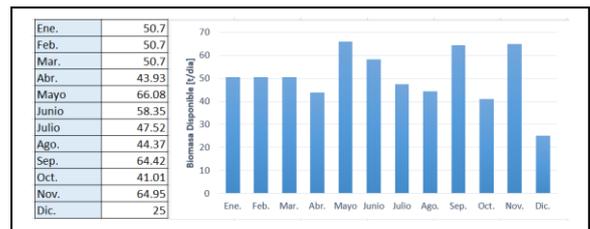


Fig 4. Perfil recurso biomasa [14]

F. Modelado del Panel Fotovoltaico

HOMER modela al PV como un dispositivo que produce electricidad de corriente continua en proporción directa a la radiación solar global que incide sobre él, independientemente de su temperatura y la tensión a la que está expuesto, para ello utiliza la siguiente ecuación [15]:

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \frac{I_T}{I_S} \quad (1)$$

Dónde: f_{PV} (%) es el factor de reducción, Y_{PV} (kW) es la capacidad nominal del arreglo de paneles fotovoltaicos, I_T (kW/m²) es la radiación solar incidente en la superficie del panel fotovoltaico, I_S (1 [kW/m²]) es la cantidad estándar de radiación utilizada para caracterizar la capacidad del panel fotovoltaico.

Para simular un PV en HOMER es necesario proporcionar el recurso solar, el programa te permite seleccionar el modelo genérico de PV con la inclinación preterminada para coincidir con la latitud establecida (como en el caso de este trabajo)

G. Modelado de generadores

Las principales propiedades físicas de un generador son su potencia eléctrica máxima y mínima, su vida útil esperada en horas de funcionamiento, el tipo de combustible que

consume, y su curva de combustible que relaciona la cantidad de combustible consumido con la energía eléctrica producida.

En HOMER, un generador puede consumir cualquiera de los combustibles enumerados en la biblioteca de combustibles (a los que los usuarios pueden agregar sus propios combustibles) o uno de dos combustibles especiales: hidrógeno electrolizado del tanque de almacenamiento o biomasa derivada del recurso de biomasa.

HOMER asume que la curva de combustible es una línea recta con una intersección en y , y usa la ecuación (2) para el consumo de combustible del generador [14]:

$$F = F_0 Y_{gen} + F_1 P_{gen} \quad (2)$$

Dónde: F_0 es el coeficiente de intersección de la curva de combustible, F_1 es la pendiente de la curva de combustible, Y_{gen} es la capacidad nominal del generador (kW), P_{gen} es la potencia del generador (kW).

Es importante especificar que en este trabajo se ha configurado el generador diésel, el generador basado en biomasa y la pila de combustible utilizando este modelo, HOMER lo permite simplemente modificando el tipo de combustible del que se alimenta el generador [14]

H. Modelado del generador basado en Biomasa

El proceso para producir energía a través de biomasa requiere que la materia prima se convierta en un combustible líquido o gaseoso a través de la quema fraccionada y ocurre a temperaturas de alrededor de 1000°C. El reactor se conoce como gasificador.

Para la producción de energía a pequeña escala las plantas de gasificación de biomasa realizan el proceso internamente mediante motores de combustión. La eficiencia eléctrica general del sistema η_{elec} se define cómo:

$$\eta_{elec} = \frac{P_{net}}{InputBiomass_{LHV}} \quad (3)$$

Donde:

$$P_{net} = P_{out} - P_{aux} \quad (4)$$

P_{out} es la potencia eléctrica de salida del sistema, P_{aux} es la potencia requerida por algunos de los componentes extras del sistema, P_{net} representa la potencia eléctrica efectiva que el sistema puede generar, $InputBiomass_{LHV}$ es el aporte poder calorífico inferior de la biomasa (LHV) (MJ/kg)

I. Modelado de baterías

HOMER usa el modelo de batería cinético para determinar la cantidad de energía que se puede absorber del banco de almacenamiento en cada paso de tiempo, según este modelo parte de la capacidad de almacenamiento de energía de la batería está inmediatamente disponible para carga o descarga, pero el resto está químicamente ligado y no se puede utilizar inmediatamente [14] [10].

La cantidad total de energía almacenada en la batería en cualquier momento es la suma de la energía disponible y ligada, por lo tanto [10]:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (5)$$

Dónde: Q_1 es la energía disponible y Q_2 es la energía comprometida.

La cantidad máxima de energía que el almacenamiento puede absorber durante un período de tiempo específico viene dada por la ecuación (6) [10]:

$$P = \frac{-k_c Q_{max} + k Q_1 e^{-k\Delta t} - Q_{kc}(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (6)$$

J. Modelado de inversor

El usuario especifica la capacidad del inversor mediante la potencia de entrada expresada en (kW), utilizando la fórmula (7) el programa obtiene la potencia de salida del dispositivo:

$$P_o(t) = P_i(t)\eta_{inv} \quad (7)$$

Dónde: P_o es la potencia de salida (kW), P_i es la potencia de entrada (kW), η_{inv} es la eficiencia.

K. Modelado de una celda de combustible

Una celda de combustible es un generador electroquímico que utiliza hidrogeno para generar electricidad a través de una reacción química en la que el combustible se oxida. HOMER permite simular una celda de combustible con el modelo del generador modificando el tipo de combustible.

L. Modelado del Electrolizador

Un electrolizador consume electricidad para generar hidrógeno a través de la electrólisis del agua, la energía eléctrica suministrada por el electrolizador viene dada por:

$$P_{EZ} = \frac{m_{H_2} HHV_{H_2}}{\eta_{EZ}} \quad (8)$$

Dónde: P_{EZ} es el consumo de energía del electrolizador, m_{H_2} es el flujo másico total (Kg/h), HHV_{H_2} es el poder calorífico bruto (ML/Kg), η_{EZ} es la Eficiencia del inversor

M. Analisis Económico

Valor Actual Neto

La simulación de un sistema en HOMER tiene dos propósitos, primero, determinar que el sistema sea factible y segundo, estimar los costos a lo largo del ciclo de vida del sistema mediante la suma algebraica del valor actualizado de todos los cobros y pagos que se han realizados o se van a realizar en el futuro. El procedimiento económico utilizado se conoce como Valor Actual Neto (VAN) se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$VAN = \frac{C_{ta}}{CRF_{(i,n)}} \quad (9)$$

Dónde: C_{ta} es el costo total del sistema por año, CRF es el factor de recuperación de capital

N. Costo de energía (COE)

El costo de la energía (COE) es una relación entre el costo anual de la electricidad y la carga eléctrica total entregada por el sistema.

O. Control Energético

Estrategia de despacho "Seguimiento de Carga"(LF)

En la estrategia de seguimiento de carga, cada vez que un generador opera, produce solo la energía suficiente para satisfacer la carga primaria. Los objetivos de menor prioridad, como cargar el banco de almacenamiento o atender la carga diferible, se dejan a las fuentes de energía renovable [10]. La operación de este sistema se puede resumir en los siguientes tres casos:

- El sistema de generadores de biomasa y energía solar, generan suficiente energía para suplir la demanda, las baterías no necesitan ser cargadas, y el generador de respaldo, permanece inoperante
- El sistema de generadores de biomasa y energía solar generan energía sobrante, las baterías se cargan si fuese necesario, y el generador de respaldo continua inoperante
- El sistema de generadores de biomasa y energía solar no satisfacen la demanda, el generador de respaldo entra en operación y la generación del sistema renovable se dedica a la carga del sistema de almacenamiento si es que fuese necesario, en este caso existen dos opciones para el análisis (SOC es el estado de carga de la batería):

Si el $SOC = SOC_{min}$ el generador funciona para alimentar la carga neta (carga menos energía renovable). El generador proporciona solo la energía suficiente para satisfacer la carga neta sin cargar la batería. Es importante mencionar que si la potencia de salida de carga mínima del generador es superior a la carga neta, el generador trabaja para alimentar la carga y el exceso de potencia del sistema renovable carga la batería.

Si el $SOC > SOC_{min}$ se calcula el costo de descargar la batería y se compara con el costo de encender el generador que opera solo para atender la carga neta. Si el costo de descarga de la batería es mayor que el costo de encender un generador, entonces la batería no se descargará mientras el generador funcione y produzca suficiente energía para satisfacer la demanda de la carga.

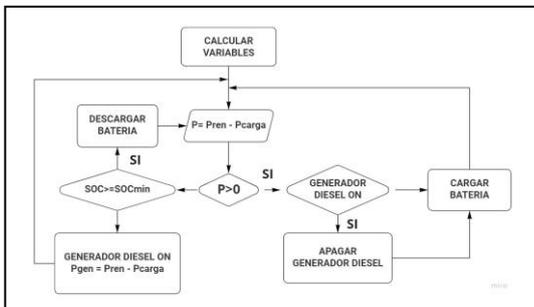


Fig 6. Algoritmo para estrategia de despacho LF [6]

Estrategia de despacho "Ciclo de Carga"(CC)

En la estrategia de despacho ciclo de carga cada vez que un generador necesita servir a la carga primaria, funciona a plena potencia de salida. Los excedentes de producción eléctrica se destinan a los objetivos de menor prioridad como son: atender la carga diferible, cargar el banco de almacenamiento y atender el electrolizador [10]. La operación de este sistema se puede resumir en los siguientes tres casos:

- El sistema de generadores de biomasa y energía solar, generan suficiente energía para suplir la demanda, las baterías no necesitan ser cargadas, y el generador de respaldo, permanece inoperante
- El sistema de generadores de biomasa y energía solar generan energía sobrante, las baterías se cargan si fuese necesario, y el generador de respaldo continua inoperante
- El sistema de generadores de biomasa y energía solar, no satisfacen la demanda, el generador de respaldo entra en operación a potencia máxima y la carga del sistema de almacenamiento se realiza con el excedente de la generación, en este caso existen dos opciones para el análisis (SOC es el estado de carga de la batería):

Si el $SOC = SOC_{min}$ el generador funciona a su máxima capacidad. Es importante mencionar que si la potencia de salida de carga mínima del generador es superior a la carga neta, el generador trabaja para alimentar la carga y el exceso de potencia carga la batería.

Si el $SOC > SOC_{min}$ se calcula el costo de descargar la batería y se compara con el costo de encender el generador que opera solo para atender la carga neta. Si el costo de descarga de la batería es mayor que el costo de encender un generador, entonces la batería no se descargará mientras el generador funcione y produzca suficiente energía para satisfacer la demanda de la carga.

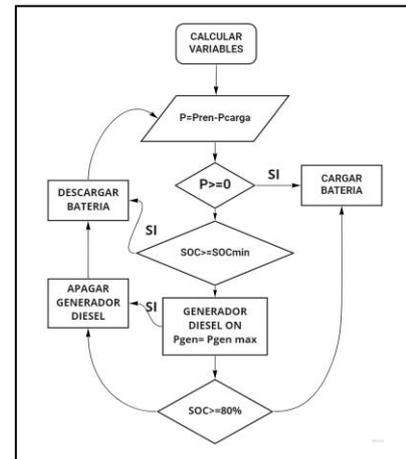


Fig 7. Algoritmo para estrategia de despacho CC [6]

III. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

A. Dimensionamiento de componentes del sistema renovable

En la tabla I se muestra en los costos de los componentes que se han utilizado para el dimensionamiento del sistema de energía renovable.

TABLE I. COSTOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

	Descripción	Capital Inicial	Costo de Reemplazo	Costo O&M
PV	Flat Panel	1300 USD/Kw	1300 USD/kW	5 USD/año
GD	Genérico 10 kW	4500/Und	4500/Und	0.3 USD/Op.hora
GB	Genérico 5 kW	5500 USD/kW	5500 USD/kW	0.005 USD/Op.hora
Pila	Genérica 10 kW	600 USD/kW	600 USD/kW	13,46 USD/Op.hora
ELEC	Genérico 10 kW	150 USD/kW	150 USD/kW	0.8 USD/Op.hora
TH2	Genérico 20 kg	0.5 USD/ kg	150 USD	10 USD/año
BPB	Módulo Cinético	300 USD/Unidad	300 USD/Unidad	10 USD/año
BLI	Modelo Ideal 1kWh	800 USD/unidad	800 USD/unidad	2,04 USD/año

B. Sistemas Simulados

Para la simulación se ha seleccionado una combinación tecnologías de almacenamiento, en este caso, pilas de combustible y baterías de litio o pilas de combustible de plomo ácido para formar un sistema almacenamiento complementario, en la Fig. 8 (A), (B) se puede ver el esquema de los distintos sistema con la descripción de los elementos.

Se ha simulado el mismo sistema con una sola tecnología de almacenamiento con el fin de comparar costos Fig. 8(C), (D).

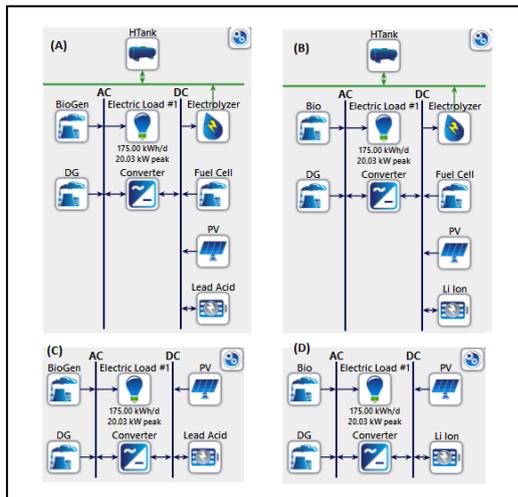


Fig 8. (A): Biomasa, Fotovoltaico, Diesel, Celda de Combustible, baterías Litio . (B): Biomasa, Fotovoltaico, Diesel, Celda de Combustible, baterías Plomo Ácido, (C):Biomasa, PV, Diesel,Baterías Plomo Ácido, (D): Biomasa, PV, Diesel, Baterías Litio

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Estrategia de Despacho “Seguimiento de Carga” (LF)

TABLE II. LF CON SISTEMA HIBRIDO DE ALMACENAMIENTO

	PC -Plomo Ácido	PC-Litio
VAN(\$)	79,171	71,409
COE(\$)	0.162	0.151
PV (Capacidad [kW])	11.8	18.9
GD (Capacidad [kW])	10	10
FC (Capacidad [kW])	10	20
BioGen (Capacidad [kW])	5	5
Capital Inicial(\$)	60,572	73,410
Costo de Operación (\$)	2,513	0
Dem. Insatisfecha (%)	0	0
Exceso de generación(%)	4.8	9395
Emisión de CO ₂ (Kg/año)	1,156	4,227

TABLE III. LF CON UNA SOLA TECNOLOGÍA DE ALMACENAMIENTO

	Plomo Acido	Litio
VAN(\$)	152,122	269,192
COE(\$)	0.152	0.326
PV (Capacidad [kW])	31.7	67.2
GD (Capacidad [kW])	10	10
BioGen (Capacidad [kW])	96,751	186,642
Capital Inicial(\$)	2,195	6,386
Costo de Operación (\$)	46.6	0
Dem. Insatisfecha (%)	568	45.3
Emisión de CO ₂ (Kg/año)	3,853	7,500

B. Estrategia de Despacho “Ciclo de Carga” (CC)

TABLE IV. CC CON SISTEMA HIBRIDO DE ALMACENAMIENTO

	FC-LA	FC-LI
VAN(\$)	84,429	71,409
COE(\$)	0.179	0.180
PV (Capacidad [kW])	6.48	12.7
GD (Capacidad [kW])	10	10
FC (Capacidad [kW])	10	5
BioGen (Capacidad [kW])	5	25
Capital Inicial(\$)	58,961	87,483
Costo de Operación (\$)	3,441	4,129
Dem. Insatisfecha (%)	0	0
Exceso de generación(%)	0	0
Emisión de CO ₂ (Kg/año)	5,195	4,221

TABLE V. CC CON UNA SOLA TECNOLOGÍA DE ALMACENAMIENTO

	Plomo Acido	Litio
VAN(\$)	138,926	120,731
COE(\$)	0.294	0.146
PV (Capacidad [kW])	41.6	24.2
GD (Capacidad [kW])	10	10
BioGen (Capacidad [kW])	144,522	94,168
Capital Inicial(\$)	0	2,055
Costo de Operación (\$)	0	0
Dem. Insatisfecha (%)	841	584
Emisión de CO ₂ (Kg/año)	5,283	5,852

C. Valor Actual Neto

La Fig. 9 (A), muestra el VAN de los cuatro sistemas propuestos mediante la estrategia de despacho seguimiento de carga (LF), y Fig. 9 (B) muestra estos mismos valores pero con la estrategia de despacho ciclo de carga (CC), ambos gráficos muestran varias alternativas de cálculo para el VAN dependiendo de la vida útil del proyecto analizado.

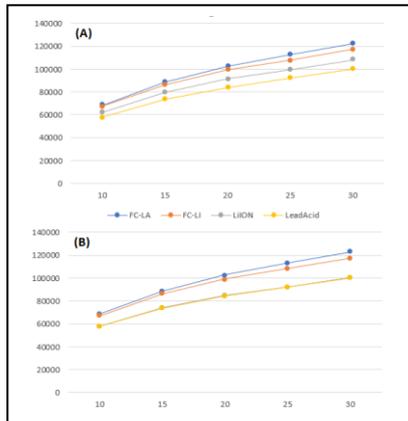


Fig 9. (A) :Valor presente neto estrategia de despacho LF, (B) Valor presente neto estrategia de despacho CC

En la Fig. 9 (A), (B), se observa que el VAN más alto es para el sistema con tecnología de almacenamiento híbrido a base de baterías acido-plomo y celdas de combustible, sin importar la estrategia de control, por otro lado el sistema con el VAN más bajo es el sistema que cuenta con una sola tecnología de almacenamiento basada en baterías de plomo-acido sin importar la estrategia de control. Cabe aclarar que los cuatro sistemas son factibles dado que los cuatro valores del VAN calculados han resultado positivos. El sistema que obtiene los mejores resultados es el conformado por una sola tecnología de almacenamiento (baterías plomo-acido), con un COE de 0.122 USD y una inversión inicial de 65,669 USD, ligeramente menor al sistema soportado solamente por baterías de litio, esto se debe a que las de baterías plomo acido son ligeramente más económicas, siendo esta prácticamente su única ventaja.

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han simulado distintas configuraciones de sistemas de generación renovable respaldados por sistemas de almacenamiento híbrido, estos sistemas de almacenamiento permiten una mayor flexibilidad para combinar energías renovables, al mismo tiempo y con el objetivo de realizar una comparación se simuló los mismos sistemas pero soportados únicamente por una tecnología de almacenamiento, el sistema que mejor se desempeñó en términos económicos es el respaldado únicamente por baterías plomo-acido, pero para seleccionar la mejor alternativa para implementar un sistema de generación en una zona protegida como la seleccionada no solamente se toma en cuenta el desempeño económico, si analizamos las abrumadoras ventajas que constituyen las baterías de litio por sobre las baterías de plomo, aun a pesar de una ligera mayor inversión inicial, serían más ventajosas a lo largo de la vida

útil del proyecto, y si somos aún más minuciosos y analizamos las emisiones de CO₂ de cada sistema, los que mejor desempeño tienen son los sistemas con tecnologías de almacenamiento híbridas basados en baterías de litio, porque como se dijo, las baterías se complementan con las celdas de combustible evitando que exista excedentes de producción de energía.

VI. REFERENCES

- [1] B. Mundial, "Como nunca antes, más personas tienen acceso a la electricidad, pero los avances no son suficientes para alcanzar los objetivos en materia de energía sostenible," Como nunca antes, más personas tienen acceso a la electricidad, pero los avances no son suficientes para alcanzar los objetivos en materia de energía sostenible, 2019J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] J. A. Guacaneme Moreno, C. L. Trujillo Rodríguez, and R. A. Peña Suesca, "Hybrid electric energy generation like alternative for not inte connected zones."
- [3] A. Cassula, P. Prado, J. Silveira, and J. Roberts, Dimensionamiento de Sistemas Híbridos de Generación de Energía, 09 2017, pp. 109 – 136.
- [4] C.A. Forero-Núñez, J. Alberto-Valencia, and F.E. Sierra-Vargas, "Revisión de las estrategias de modelamiento y análisis aplicados a sistemas híbridos de energía," Ingeniería Mecánica, vol. 19, no. 1, pp. 59–67, 2016.
- [5] R. Calvo García et al., "Diseño de un sistema híbrido con diésel de gran tamaño," Master's thesis, Universidad Internacional de Andalucía, 2015.
- [6] P. Arévalo, D. Benavides, J. Lata-García, and F. Jurado, "Energy control and size optimization of a hybrid system (photovoltaic-hidrokinetic) using various storage technologies," Sustainable Cities and Society, vol. 52, p. 101773, 2020.
- [7] M.Jimenez Pijoán, et al. Sistema híbrido de almacenamiento energético y su integración en el Smart grid. 2015. Tesis de Licenciatura.
- [8] M. S. Ziegler, J. M. Mueller, G. D. Pereira, J. Song, M. Ferrara, Y.M. Chiang, and J. E. Trancik, "Storage requirements and costs of shaping renewable energy toward grid decarbonization," Joule, vol. 3, no. 9, pp. 2134–2153, 2019.
- [9] D. González-Montoya, C. A. Ramos-Paja, B. A. Potosí-Guerrero, E. E. Henao-Bravo, and A. J. Saavedra-Montes, "Technical-economic feasibility analysis of micro grids integrating fuel cells in non-interconnected zones in colombia," TecnoLógicas, vol. 21, no. 43, pp. 71–89, 2018.
- [10] K. P. Mendoza Bravo and L. A. Carrión Baque, "Diseño optimo de sistemas aislados fotovoltaicos para la iluminación de la vía principal de la comuna masa 2-golfo de guayaquil," B.S. thesis, 2021.
- [11] H. Energy, "Homer pro version 3.7 user manual," HOMER Energy: Boulder, CO, USA, vol. 7, 2016
- [12] J. E. Madsen, "Las plantas y el hombre en la isla puná," in Las Plantas e El Hombre: Memorias del Primer Simposio Ecuatoriano de Etnobotánica y Botánica Económica. Herbario QCA-PUCE, Quito, 1991, pp. 179–185.
- [13] L. Yáñez-Iñiguez, E. Urgilés Urgilés, E. Zalamea León, and A. Barragán-Escandón, "Potencial de los residuos forestales para la contribución a la matriz energética urbana," LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida, vol. 32, no. 2, pp. 42–53, 2020.
- [14] T. Lambert, P. Gilman, and P. Lilienthal, "Micropower system modeling with homer," Integration of alternative sources of energy, vol. 1, no. 1, pp. 379–385, 2006.
- [15] C. Ghenai, T. Salameh, and A. Merabet, "Technico-economic analysis of off grid solar pv/fuel cell energy system for residential community in desert region," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 45, no. 20, pp. 11 460–11 470, 2020.
- [16] M. A. Jimenez Chafla, "Diagnóstico de la cogen-eración de energía eléctrica en la planta extractora de aceite de una empresa agroindustrial de palma africana de la ciudad de san francisco de orellana durante el año 2015. diseño un sistema híbrido eficiente para la generación energética eléctrica." Master's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), 2018.