

Original

**VARIANTES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON FUENTE RENOVABLE DE ENERGÍA EN
CAYO LEVISA**

Variations of Electrical Generation with Renewable Energy Source in Cayo Levisa

Ing. Miguel Mustelier-García, Especialista superior en Generación Eléctrica de AZCUBA.

miguel.mustelier@azcuba.cu, Cuba

Recibido: 20/01/2018

Aceptado: 19/03/2018

RESUMEN

El presente artículo forma parte de la tesis de maestría en Fuente Renovable de Energía del ingeniero Miguel Mustelier García como autor donde declara como problema: ¿Cómo disminuir los costos operacionales en la generación de la electricidad y la afectación al medio ambiente por emisión de CO₂ y ruidos en Cayo Levisa? Tiene como objetivo la realización de un proyecto sobre la introducción de tecnologías eficientes en la generación con Fuentes Renovables de Energía (FRE) donde se pueda lograr variantes de sustitución de la energía que generan los Grupos Electrógenos, disminuir la contaminación del medio ambiente. Se logra una considerable y sostenida reducción de los costos de generación en un 40%, para un turismo ecológico y sostenible.

Palabras claves: Variante; Costo; Generación; Fuente; Renovable; Energía

ABSTRACT

This article is part of the master's thesis in Renewable Energy Source of the engineer Miguel Mustelier García as author where he declares as a problem: How to reduce the operational costs in the generation of electricity and the impact on the environment by emission of CO₂ and Noises in Cayo Levisa? Its objective is to carry out a project on the introduction of efficient technologies in generation with renewable sources of energy (ERP) where it is possible to achieve substitution variants of the energy generated by the Generating Sets, to reduce the pollution of the environment. A considerable and sustained reduction of generation costs by 40% for an ecological and sustainable tourism is achieved.

Key words: Variant; Cost; Generation; Source; Renewable; Energy

INTRODUCCIÓN

Cayo Levisa es una isla de la región occidental de Cuba, en la hermosa provincia de Pinar del Río, en el archipiélago de los Colorados, con el encanto característico de la región del Caribe. En su paisaje dominan amplias playas de arena fina, palmeras y manglares. Los arrecifes costeros que la rodean esconden un mundo subacuático ecológicamente intacto y una singular variedad de especies marinas.

En medio de ese maravilloso paisaje insular ha sido construida una instalación turística compuesta por bungalós, la cual encaja esmeradamente en la naturaleza del cayo, con la categoría turística 2 estrellas, marca propia, operado por la cadena hotelera Cubanacan, con una planta hotelera nueva, de categoría superior a 4 estrellas, actualmente posee un balance de 47 habitaciones distribuidas en: 20 estándares nuevas y 1 viejas, 8 Junior Suite, 18 Tropicales y 22 cabañas categoría 5 estrellas. Posee 2 restaurantes, 2 bares, actividades náuticas; masajes, animación, internet, servicio de llamada internacional. Tiene proyectado la construcción de un Spa y otros servicios. Dicho proyecto va enfocado a un total futuro de 91 habitaciones en una modalidad ECOLODGE la cual requerirá de un desarrollo sostenible de las actividades del Cayo.

La única fuente de generación de energía eléctrica actual es a partir del combustible diésel, compuesta por 2 Grupos Electrógenos de potencia media:

- ✓ Generador Mercedes Benz de 150 kVA / 120 kW Diésel (trabaja desde las 11.00 p.m. a las 12:00 del día)
- ✓ Generador Heimer de 264 kVA / 211 kW Diésel (trabaja desde las 12:00 del día a las 11.00 p.m.)

Los mismos son explotados de forma manual, emitiendo grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, e incorporando un alto nivel de ruido que afecta al medio ambiente, y constituye más del 80% de los gastos totales de los portadores energéticos.

Dichos Generadores de Energía Eléctrica (GEE) no poseen un registro de la energía generada por no contar con metro contadores, por tanto, la energía generada se toma de las tablas procedentes de la Res. 5300, no siendo confiable para los cálculos del proyecto:

GEE	g/kWh	≈ L/kWh
M. BENZ 150KVA	224	0.26
HEIMER 264KVA	220	0.26

Tabla 1. Consumo de los Grupos Electrógenos

Las propuestas deben tener en cuenta el aspecto económico lo cual significa, lograr una considerable y sostenida reducción de los costos de generación, así como la disminución de la contaminación del medio ambiente, para ello, se realizó la medición de los parámetros de trabajo de los Generadores Diésel.

POBLACIÓN Y MUESTRA

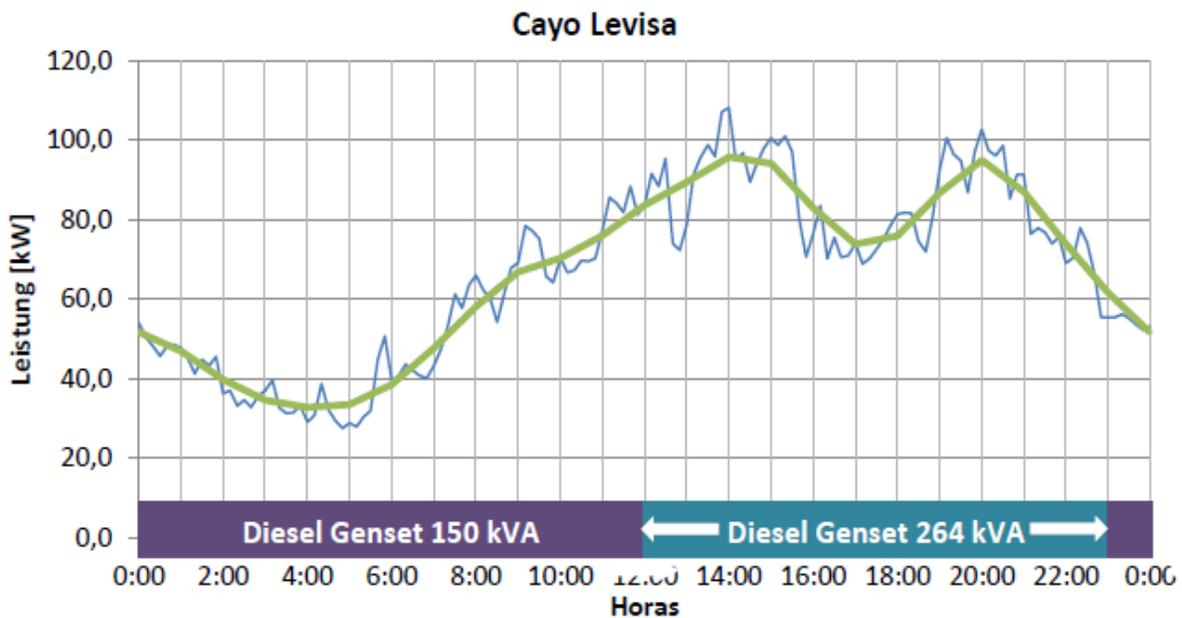
Obtención de las mediciones en la generación de energía eléctrica.

Con el fin de poder contar con una base para el diseño de un sistema híbrido de generación de energía lo más cercana a la realidad, se instaló un analizador de red en el Panel General de Distribución (PGD), lo que permitió realizar mediciones de la potencia y el comportamiento de la carga en Cayo Levisa durante los días 5 y 6 de febrero de 2016, con un 80 % de ocupación.

Hora	0:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00
Potencia kW	51.7	46.9	39.7	34.5	32.7	33.5	38.4	47.7	58.2	66.8	70.3	76
Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Potencia kW	83.7	89.4	95.8	94.2	83	73.8	75.9	86.7	95	87	73.8	61.6
	Min (10-Min)			27.5 kW			Max (10-Min)			109.8 kW		
	Valor promedio			66.5 kW			Consumo en el día			1,597 kWh		

Tabla 2. Distribución Horaria de las Cargas

De las mediciones pudimos derivar el siguiente perfil de carga en el tiempo de medición:



Como resultado de las mediciones se pudieron obtener importantes datos de la generación de energía con una alta precisión en los tiempos de consumo. Seguidamente se presenta una valoración de esos datos, así como de la actual situación de la generación en el Cayo.

	Generación	Consumo de diésel	Promedio de eficiencia (*)
Diésel 150 kVA	738 kWh	230 L	32.6%
Diésel 264 kVA	935 kWh	297 L	32.0%
(*) indicadores del diésel: LHV: 43.2 MJ/kg y densidad: 820 kg/m ³			

Tabla 3. Generación y eficiencia por grupos electrógenos

Del análisis de los datos de consumo de los generadores diésel y a partir de un máximo coeficiente de rendimiento de un 40% se ha calculado la siguiente línea de coeficiente de rendimiento:

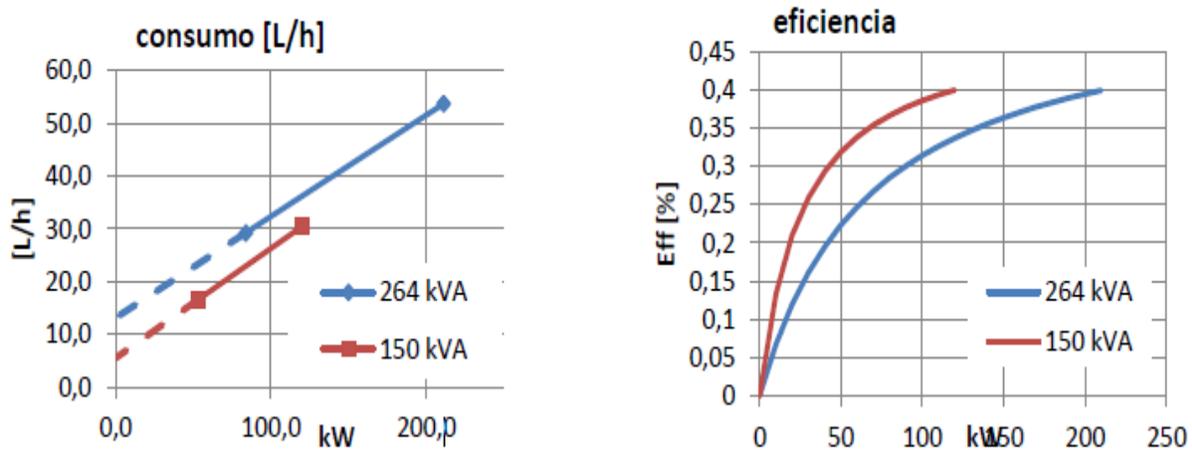


Diagrama 2: curva de consumo calculada (izquierda) y curva de eficiencia (derecha) de ambos generadores diesel sobre la base de las mediciones y datos de consumo

Análisis de la frecuencia.

La frecuencia nominal de los generadores no es uniforme. El generador de 150 kVA muestra una frecuencia de 60.7 Hz, mientras que el generador de 264 kVA indica una frecuencia de 60.5 Hz. Durante el funcionamiento del generador de 150 kVA se presentan en períodos de alta demanda por encima de 60 kW, caídas de la frecuencia. Se midió una frecuencia de la red de 58.5Hz en una potencia de 96 kW. Sin embargo, las fluctuaciones de la frecuencia se encuentran dentro del rango permisible ($\Delta f < 2$ Hz (3%).

En el diagrama que se muestra a continuación, se ve claramente la dependencia del comportamiento de la frecuencia en relación a la carga lo cual se mantiene hasta que se hace el cambio al generador de mayor potencia a las 12.50 p.m.

Las razones de por qué el generador de una potencia nominal de 120 kW (150 kVA) reacciona a partir de los 56 kW mostrando caídas de la frecuencia al producirse fluctuaciones de la carga pudieran explicarse mediante el regulador en la pizarra de mando. Las mediciones permiten llegar a las conclusiones mostradas en la línea de caída que se presenta a continuación

Variantes de generación eléctrica con fuente renovable de energía

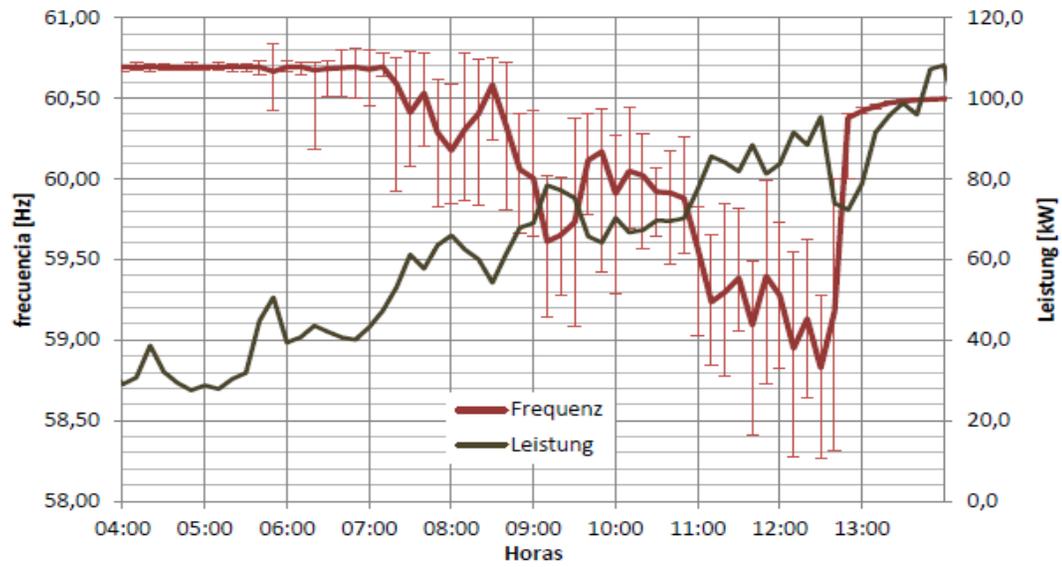


Diagrama 3: Comportamiento de la frecuencia del generador diesel de 120 kW hasta el relevo a las 12:50 pm

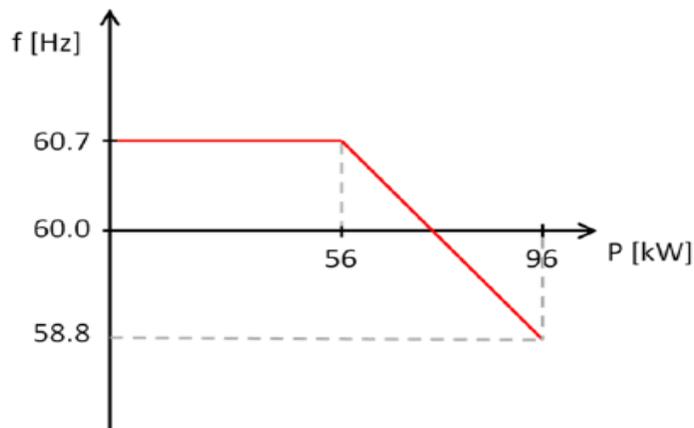


Diagrama 4: Control de la caída del generador diesel de 150 kVA, a partir de las mediciones hechas

Emisiones:

Indicadores del Diesel (supuestos):

Valor térmico inferior (LHV)	43.2	MJ/kg
Densidad	820	kg/m ³
Contenido de carbono	88	%
Contenido de azufre	0.33	%
Consumo de Diesel		
	527	L/d
Emisiones específicas		
	2.65	kg CO ₂ /L
	0.0054	kg SO ₂ /L
Emisiones:		
CO₂ Emisiones	1,394	kg/Día
SO₂ Emisiones	2.9	kg/Día

Tabla 4: Indicadores del diésel y de emisión de gases a la atmósfera

Obtención de las variables a emplear en el nuevo diseño.

Indicadores que sirvieron de punto de partida para la investigación:

Demanda energética actual	1600 kWh/Día
Carga media	66.7 kW
Carga máxima	140 kW

Tabla 5. Indicadores para el diseño actual

Datos de la carga.

La estructura horaria de la demanda energética representa un factor decisivo en el diseño del sistema de energía renovable almacenable. Para tener en cuenta dicha estructura en la simulación, se evaluó el perfil de carga en el proceso de mediciones realizado.

Como base comparativa se tomó para el análisis la única fuente de generación actual a partir de combustible diésel, sin tener en cuenta los aumentos futuros del precio, los costos de generación de electricidad, se valoran en 0.36 USD por kW hora.

Están previstos, y en parte se encuentran en construcción, 32 nuevos bungalós que elevarían la cifra actual de 54 a 86 bungalós.

Radiación solar.

Para ilustrar el rendimiento de las instalaciones fotovoltaicas, se tomaron como base los datos de radiación de la NASA basadas en las coordenadas cercanas.

Variantes de generación eléctrica con fuente renovable de energía

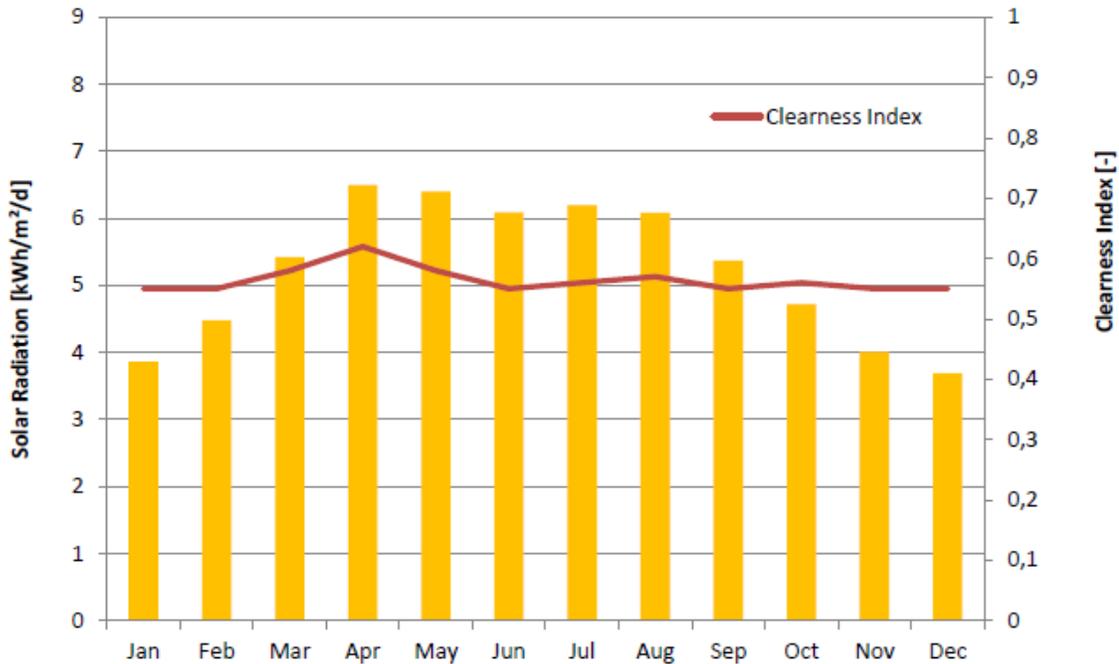


Diagrama 5: Radiación solar locación en Cuba (Lat: 23°, Lon: -83°)

Generadores Diésel.

En estos momentos la red eléctrica de Cayo Levisa se alimenta de generadores diésel. Con el nuevo sistema de energía renovable, los generadores diésel servirían como Backus para los casos de insuficiente potencia de las baterías del sistema de energía renovable. Por otro lado, la utilización exclusiva de diésel sirve de escenario de referencia para el análisis de la eficiencia económica.

El consumo de diésel de los generadores, está en dependencia de sus servicios a la energía demandada, estas líneas han sido aproximadas sobre la base de las mediciones de la potencia. En la simulación sirven como parámetro de partida para calcular el consumo de diésel.

Datos Financieros.

Para establecer el cálculo de los costos de la generación de energía se analizaron los siguientes componentes y sus correspondientes costos:

PV (fotovoltaica)	1700 USD/kWp
Generador diésel	500 USD/kVA
Costo del diésel	1 USD/L
Baterías 700 bis	900 USD/kWh
Baterías costo de Reposición	350 USD/kWh

Mantenimiento y manipulación del sistema de baterías	0.2 % Costo de inversión / año
Vida útil de la Batería	4,000 ciclos
Interés del costo de inversión	5% anual.

Tabla 6. Indicadores de costos y gastos

El costo del capital ha sido considerado teniendo en cuenta un 5% de interés real y como periodo del proyecto de la inversión se tomó un lapso de 20 años. Los costos de la Energía deben verse como valores de referencia. Se calculó un 15% de la inversión para los costos de transporte, instalación puesta en marcha e impuestos. En dependencia de la práctica local los costos de transporte e impuestos pueden tener variaciones.

De mantenerse el aumento del precio de diésel de 5% anual en los próximos 10 años, el precio llegaría a cerca de 0.43 USD por kW hora.

Diseño de las diferentes variantes.

Para poder analizar varias posibles configuraciones de la instalación se ha simulado un sistema de abastecimiento energético que ha tenido en cuenta las exigencias locales. En el proceso de optimización se han identificado las dimensiones de la instalación más ventajosas. A partir del supuesto de una elevación de las necesidades energéticas en un 30%, se han simulado dos variantes:

Variante 1: Diseño de abastecimiento energético amortizable en el menor tiempo posible (5.1 años de periodo "Pay-back" y costos de energía de 0.31 USD/kW hora / LCOE) con un componente de energía renovable del 67 %. Con respecto a la utilización de la generación con diésel se parte de que los generadores tendrán que trabajar regularmente en determinadas horas, aun cuando solo se trate en las llamadas horas pico. 2

Variante 2: Diseño de abastecimiento energético con costos mínimos de 0.29 USD/kW hora/ LCOE durante un periodo de 20 años. El periodo "Pay-back" es de 7.1 años con un componente de energía renovable del 84%. Esta composición permitiría que en los días normales de sol, los generadores diésel puedan estar desconectados en su totalidad.

La máxima ventaja económica (0.28 USD/kW hora) se lograría con el empleo de una efectiva planta desalinizadora (100 metros cúbicos en 6 a 8 horas). En este escenario se pudiera elevar el componente de energía alternativa al 94%.

Diseño actual.

A partir de las mediciones que se llevaron a cabo en el lugar se presenta la descripción del sistema de generación eléctrica actual.

Variantes de generación eléctrica con fuente renovable de energía

Demanda energética actual	1600 kWh/Día
Carga media	66.7 kW
Carga máxima	140 kW
kW Consumo de diésel	161,000 L/a
Costo del Kwh	0.43 / 0.36 USD/kWh

Tabla 7. Resultados del diseño actual

Ampliación de la demanda energética (+30%)

Teniendo en cuenta que la ocupación en el momento de las mediciones fue de un 70 % por esta razón se ha incluido en los cálculos un aumento previsto de la demanda de un 30%.

Demanda energética incrementada	1600 kWh/Día	2080
Carga media	66.7 kW	87
Carga máxima	140 kW	182

Tabla 8. Incremento del 30% de la demanda

A partir de ellos, se han calculado diferentes escenarios económicamente optimizados. Para ello se estableció un período de inversión inicial de 20 años y se estableció la comparación de los costos de generación en soluciones con diferentes porcentajes correspondientes al componente de energía renovable. Para calcular el período de la liquidación de la inversión se contrapuso la inversión inicial a los ahorros anuales en materia de administración, mantenimiento y reposiciones. También se tuvo en cuenta un aumento del 5%/ anual del precio del diésel en un periodo de 10 años.

No.	PV [kW]	Batería [kWh]	Componente renovable	COSTO [\$ct/kWh]	Consumo Diésel [L/a]	Inversión [Mio. USD]	PERIODO Recuperación	AHORRO CO2	Observaciones
(0)	-	-	0%	42 / 36(1)	223,640	-	-	-	Diésel solo
(1)	400	700	67%	31 / 28(1)	75,500	1.26	5.2 a	390 t/a	rápido Recuperación
(2)	500	1200	84%	29 / 27(1)	37,600	1.87	7.4 a	490 t/a	mejor LCOE

(1 sin tener en cuenta el aumento del precio del diésel)

Tabla 9. Resultados de los 3 escenarios

Ahorro anual por variante.

Variante (0) Se refiere al sistema actual con grupo electrógeno de diésel.

Variante (1) Escenario óptimo desde el punto de vista del más breve periodo de reembolso.

Variante (2) Si se tiene en cuenta un periodo de duración del proyecto de 20 años, una inversión inicial mayor.

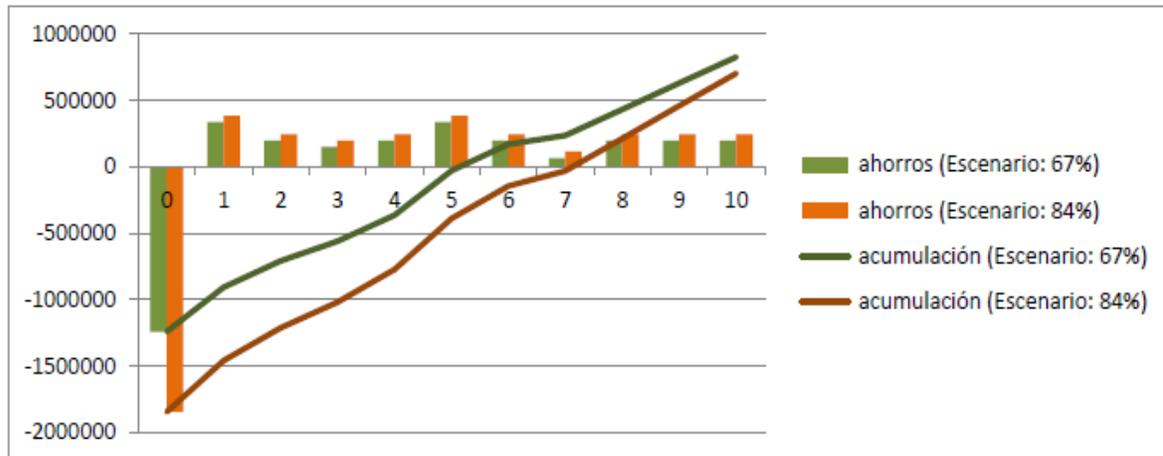


Diagrama 6: Cash Flow y ahorro anual con las variantes (1) y (2)

Mientras que la variante (1) tiene un tiempo de amortización de 5.2 años, este aumenta con las ventajas descritas anteriormente a 7.4 años.

Otras diferencias entre las dos variantes radican en el tiempo de empleo de los generadores diésel y con ello el vinculado ruido que producen los equipos. Mientras que en la variante 2 los generadores se mantienen apagados completamente en días soleados (ver esquema 7, primer día), esto no es posible en la variante 1 debido a la insuficiente capacidad de almacenaje.

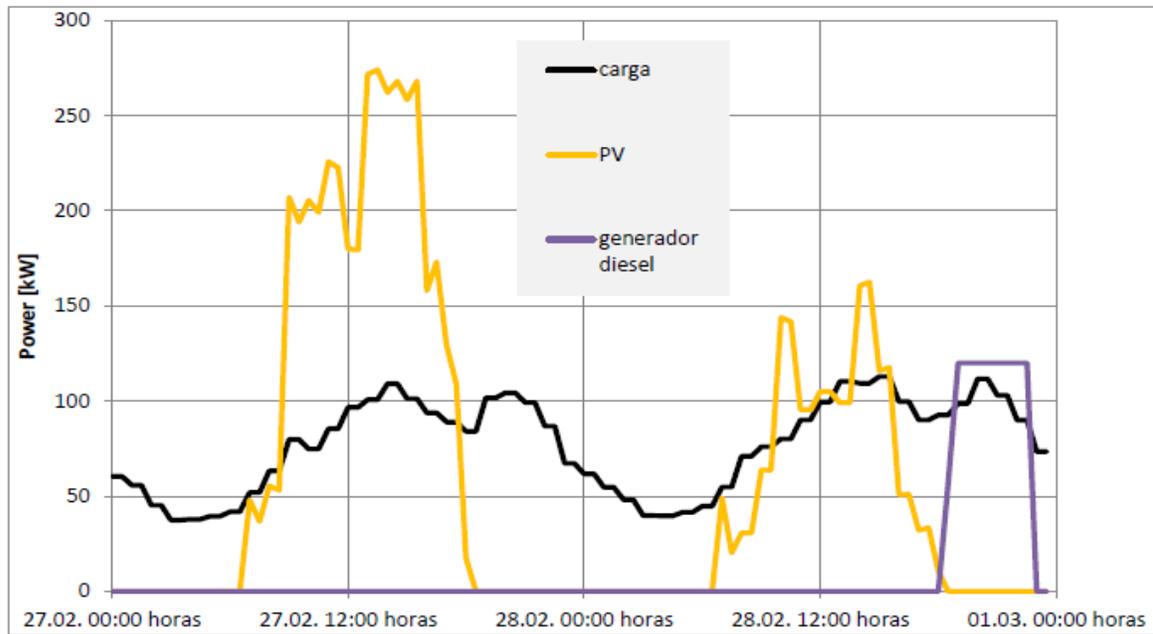


Diagrama 7: diagrama de carga desglosado en tiempo Variante (2)

Para ilustrar la influencia de la tasa de interés y del precio del diésel sobre los costos de generación y para comprender el grado de optimización del sistema se realizó en el diagrama que sigue un análisis de sensibilidad.

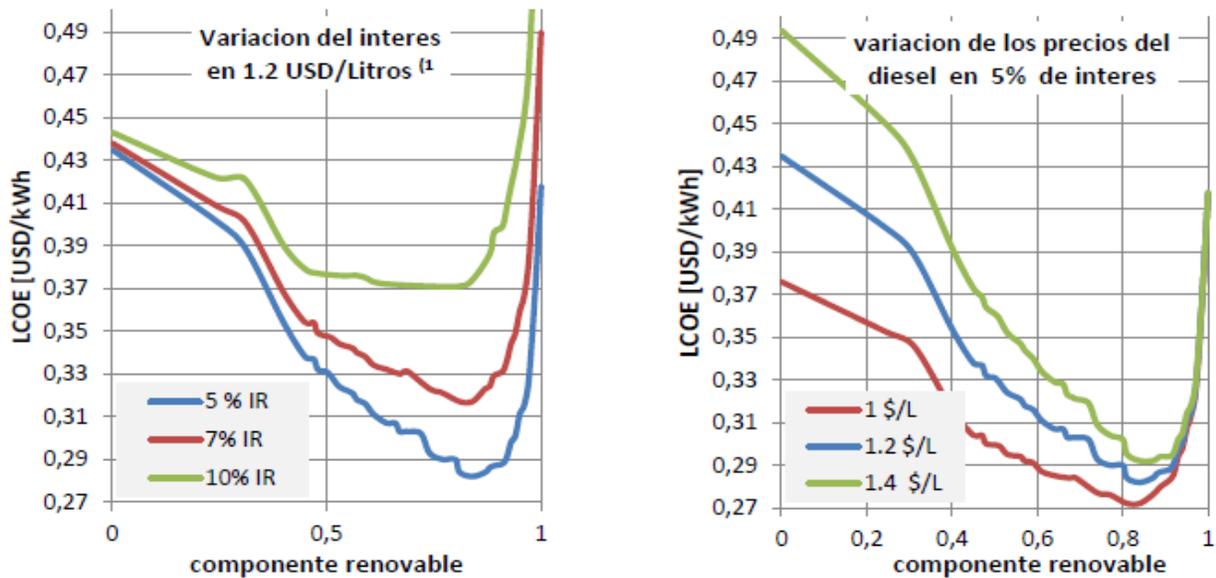


Diagrama 8: Análisis de sensibilidad de los parámetros interés (izquierda) y precio del diésel (derecha)

¹ La elevación de los precios de 5% en un periodo de 10 años a partir de un precio del diésel de 1\$/L equivale a un precio de diésel promedio de 1.2 \$/L.

Ambos diagramas muestran un grado de optimización estable de los costos de generación en un escenario con un componente renovable de 84% habiendo analizado todas las variaciones

de los parámetros a tener en cuenta. Por otro lado, los diagramas ilustran la incidencia de los distintos parámetros sobre los costos de generación.

Crecimiento de la demanda energética + Necesidad energética de la desalinizadora.

La instalación de una planta desalinizadora conllevará a un aumento adicional de la demanda energética. El procesamiento de 100 m³/ de agua diario necesitaría 600 kWh/día adicional. Es perfectamente viable estructurar su funcionamiento de forma tal que este trabaje de forma óptima en las horas de radiación solar. Teniendo en cuenta que el agua tratada puede ser almacenada hasta 72 horas, se ha diseñado en la simulación una posible variación de la carga que tenga en cuenta el aspecto anterior

Demanda energética	2680	kWh/día
Carga media	112	kW
Productividad de la Desalinizadora	100	m³ Agua/día

Tabla 10. Crecimiento del 30% más la desalinizadora

Resultado económico óptimo de la simulación. Igualmente se han calculado costos de generación completamente óptimos teniendo en cuenta una duración del proyecto de 20 años.

Nr.	PV [kW]	Batería [kWh]	Componente renovable	LCOE [\$ct/kWh]	Consumo de Diesel [L/a]	Inversion [USD]	CO ₂ Ahorro	observaciones
(E-0)	-	-	-	41 / 34 ⁽¹⁾	267,500	-	-	Solo Diesel
(E-1)	700	1500	94%	28 / 27 ⁽¹⁾	15,200	2,436,000	664 t/a	ESS

⁽¹⁾ Sin aumento del precio del Diesel

Tabla 11. Resultados de las Variantes

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con la instalación descrita en la variante 1 (E-1) los costos de generación pueden ser reducidos considerablemente en comparación con la variante (E-0), logrando paralelamente un alto componente de energía renovable (94%). Para garantizar la flexibilidad de la planta desalinizadora, debiera instalarse una planta con una mayor productividad que fuera capaz de procesar en menos horas la misma cantidad de agua que las plantas diseñadas para trabajar

las 24 horas. El costo mayor de la planta más potente se compensa fácilmente con el ahorro que significa la utilización de la energía fotovoltaica.

Mientras que la variante (1) tiene un tiempo de amortización de 5.2 años, este aumenta con las ventajas descritas anteriormente a 7.4 años.

Otras diferencias entre las dos variantes radican en el tiempo de empleo de los generadores diésel y con ello el vinculado ruido que producen los equipos. Mientras que en la variante 2 los generadores se mantienen apagados completamente en días soleados (ver esquema 7, primer día), esto no es posible en la variante 1 debido a la insuficiente capacidad de almacenaje.

La Variante (E-2) es la de mayores ventajas económicas. Con ella se logra un componente de energía renovable del 84% con un costo de generación de 29 \$ct/kWh. Junto a los bajos costos de generación, la independencia con respecto al aumento del precio del diésel representa una ventaja importante en esta variante.

CONCLUSIONES

1. Los recursos naturales de Cayo Levisa permiten instalar un sistema de casi 100% de energía renovable, que a su vez puede reducir los costos específicos por kW generación de energía hasta un 35%. Con ello es posible establecer en Cayo Levisa un sistema de abastecimiento energético ecológico lo cual estaría en consonancia con el carácter natural de la Isla y su ubicación en el mercado como un destino sostenible de tranquilidad y distracción.
2. Este proyecto representaría para Cuba y Centroamérica el primer sistema de abastecimiento energético en la islas, con un 100% de energía renovable que desde el punto de vista tecnológico no tendría competencia alguna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castells, E. (2012). Fuentes renovables de energía. México: SEP / ADN Editores.
- Fernández Salgado, J.M. y otros (2009). Tecnología de las energías renovables. Madrid: Amv-Mundi prensa. España.
- González Velasco, J. (2009). Energías renovables. *Madrid: Reverte*. España
- Javier J. (2004). Cálculo de Energías Solares. Madrid: Bellisco
- Perales Benito, T. (2012). El Universo de las Energías Renovables. México: Marcombo S.A.

- Rincón Mejía, E. A. (2010). *Energías Renovables*. Tesis de grado Instituto Superior Tecnológico de Energías Renovables ubicado en la ciudad de Ica, Perú.
- Roldan Vilorio, J. (2013). Energías renovables: lo que hay que saber. *Ediciones Paraninfo S.A.*
- Romero Tous, M. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Ediciones CEAC.
- Ruiz, V. (2013). El Reto Energético. *Madrid: Almuzara*. España
- Santos, S. M. J. (2004). Las Energías Renovables son el futuro. *Revista World Watch*, p. 7.
- Tagüeña, J. y Martínez, M. (2009). *Fuentes renovables de energía y desarrollo sustentable*. México: SEP / ADN Editores.