

Dimensionamiento de una Instalación Fotovoltaica de Generación Distribuida aislada de la Red para autoconsumo con Almacenamiento de Energía en una Vivienda Unifamiliar de la Provincia del Guayas y Análisis de Viabilidad Técnica y Económica.

Israel Benjamín Orellana Martínez ⁽¹⁾

Gabriel Alfonso Quimis Castro ⁽²⁾

MSc. Jorge Montealegre García ⁽³⁾

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

iborella@espol.edu.ec ⁽¹⁾

quimis@espol.edu.ec ⁽²⁾

Universidad Politécnica De Valencia (UPV)

MSc. Energía Renovables, Profesor de Materia de Graduación ⁽³⁾

montealegre@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

El objetivo del presente documento consiste en determinar la factibilidad de la aplicación de un sistema fotovoltaico aislado de la red con baterías, en el Recinto el Achote que se encuentra en el Km 23 de la vía El Triunfo-Bucay. Para el diseño se ha tenido en cuenta capítulo 14 de Energías Renovables, de la normativa NEC 11. El diseño de la instalación fotovoltaica se realizó mediante el método del rendimiento global (performance ratio), con el cual se obtuvo el número total de paneles fotovoltaicos. Se clasificó en dos tipos de consumo eléctrico denotados como consumo bajo y medio con la finalidad de dar la opción de seleccionar dos grados de electrificación. Se realizó también la simulación en el programa PVSYST V5.2 para corroborar los resultados obtenidos. Finalmente se realizó el análisis de viabilidad económica mediante el método beneficio-coste incremental para de esta manera seleccionar la alternativa más conveniente entre la de instalar un sistema fotovoltaico, una línea de media tensión monofásica y la de instalar un generador de combustión interna.

Palabras Claves: Fotovoltaico, Baterías, Renovables, Rendimiento, Viabilidad.

Abstract

The objective of this present paper is to determine the feasibility of implementing an isolated photovoltaic system with batteries in the Achote village located at Km 23 of the road El Triunfo – Bucay. For the design, it has been taken into account the 14th chapter of Renewable Energy, from the NEC 11. The design of the photovoltaic system installation was performed by the method of overall performance, with which the total number of photovoltaic panels was obtained. It is classified in two types of electric consumption denoted as low and half consumption with the purpose of giving the option to select two grades of electrification. Furthermore, the simulation in the PVSYST V5.2 program was performed in order to validate the outcomes. Finally, the economic viability analysis was executed using the incremental benefit-cost method to select the most convenient alternative between the installing of a photovoltaic system, a line of medium-voltage single-phase and installing an internal combustion generator.

Keywords: Photovoltaic, Batteries, Renewable, Performance, Feasibility.

1. Introducción

Las energías alternativas con el paso de los años han ganado fuerza y hoy en día se están implementando por todo el mundo, gracias a que poseen ventajas significativas. Como es el caso de la energía fotovoltaica que ha generado gran acogida para su comercialización y utilización para autoconsumo en lugares remotos, porque es de fácil instalación y requiere un mínimo mantenimiento.

La implementación de este tipo de sistemas contribuirá al desarrollo de zonas rurales todavía sin electrificar de una manera respetuosa con el medio ambiente, sin generar ningún tipo de emisiones que contribuyan a aumentar el efecto invernadero en el planeta.

La energía fotovoltaica ha dado grandes beneficios a muchas personas de bajo recursos las cuales no lograban poseer el servicio eléctrico, debido a la ubicación remota que se encuentran, pero existen algunos inconvenientes al momento de realizar su implementación, a causa de su alto costo inicial, la cual se ve reducida en los años de vida útil de la instalación.

2. Metodología

Para la realización del dimensionamiento de la instalación fotovoltaica se tomó dos tipos de consumo eléctricos, para la determinación del ángulo óptimo de inclinación se usó los datos de radiación de la NASA para obtener de esta forma los máximos beneficios de insolación, para el número de paneles se lo realizó mediante la obtención del rendimiento global en la instalación, ya con la determinación de los demás componentes de la instalación se procedió a realizar una simulación en el programa PVSYST V5.2 para verificar resultados.

3. Información del lugar de la instalación

La instalación del sistema fotovoltaico autónomo se ubicara a la altura del kilómetro 23 en el Recinto El Achiote de la vía El Triunfo-Bucay, sus coordenadas decimales son: Latitud -2.17178 y Longitud -79.59775 [1] y este encuentra a 10 metros sobre el nivel del mar.

4. Ubicación de los componentes

La vivienda contará con un cuarto donde se instalaran los diferentes dispositivos del sistema fotovoltaico como son baterías, inversor, regulador de carga, protecciones, tableros, etc.; este constará de un sistema de ventilación para que los equipos no se sobrecalienten. Los paneles se instalarán en un segmento de terreno al lado de la vivienda tal como se muestra en la Figura 1.

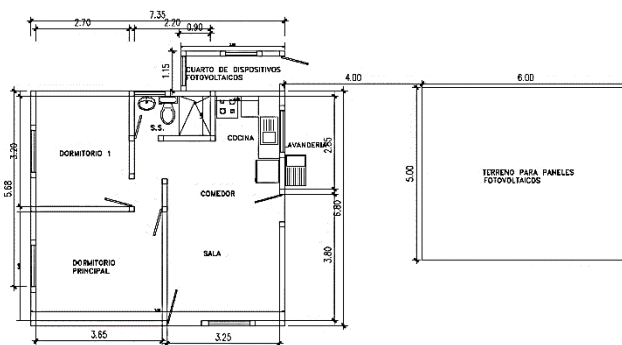


Figura 1. Diagrama de la vivienda a instalar SFA y la ubicación de los componentes.

5. Dimensionamiento de la Instalación

5.1. Método de dimensionamiento

El método utilizado es el rendimiento global para determinar el número de paneles fotovoltaicos, ya que la instalación cuenta con un regulador con buscador del punto de máxima potencia (MPPT); caso contrario se utilizaría el método Amperios-Hora, el cual aumentaría el número de paneles [2].

Se utilizó dos opciones de consumo eléctrico para tener dos expectativas de electrificación, ya que para el consumo bajo se tendrá un consumo eléctrico de 1040 KWh, y para el medio de 3011 KWh.

5.2. Consumos diarios

Se tomó que los consumos diarios sean constantes durante todo el año. Se elaboró un listado de aparatos con su respectiva potencia y el número de horas de uso diario, tal como se muestra en la Tabla 1. El voltaje del sistema se lo estableció con respecto a la Tabla 2 [2].

Tabla 1. Datos de consumos eléctricos bajo y medio respectivamente.

Dispositivos	Cantidad	Potencia [W]	Ciclo diario [horas/días]	Energía [wh/día]
TV	AC 1	70	4	280
Focos 20 W c/u	AC 5	20	5	500
DVD	AC 1	30	3	90
Radio	AC 1	30	3	90
Otros	AC 1	20	4	80

Dispositivos	Cantidad	Potencia [W]	Ciclo diario [horas/días]	Energía [wh/día]
TV	AC 1	70	4	280
Focos 20 W c/u	AC 5	20	5	500
DVD	AC 1	30	3	90
Radio	AC 1	30	3	90
Refrigeradora	AC 1	250	8	2000
Licuada	AC 1	300	0,17	51

Tabla 2. Indicador del nivel de tensión al inversor.

Potencia demandada AC [Kw]	Voltaje entrada al inversor [V]
<1,5	12
1,5 - 5	24 o 48
> 5	48 o mayores

5.3. Corriente y ángulo de inclinación

Se dimensiona la instalación fotovoltaica para el peor de un año. La inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos se escoge mediante la inclinación que da la mayor energía. El ángulo y la corriente de diseño escogido en la instalación se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Horas de sol pico y corriente de diseño.

Angulo de inclinación		=	10
Consumo	Horas sol pico [Horas/Día]	Corriente de diseño [A]	
Bajo	4,17	25,60	
Medio	4,17	69,42	

5.4. Dimensionamiento del generador

Para el número de paneles fotovoltaicos necesarios para satisfacer la demanda eléctrica, se determina mediante la siguiente formula.

$$N_{\text{mod}} = \frac{C_{\text{ed}}}{P_{\text{MP}} * \text{HSP} * \text{PR}} \quad (1)$$

Donde:

C_{ed} = consumo estimado diario.

P_{MP} = Potencia pico del módulo.

HSP = Horas de sol pico en el mes más desfavorable.

PR = Rendimiento global de la instalación (Performance ratio).

Para el rendimiento global de la instalación se toma en cuenta las siguientes pérdidas:

- Pérdidas por dispersión de potencia de los módulos.
- Pérdidas por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas.
- Pérdida debida a la acumulación de suciedad en los módulos.
- Pérdidas por sombras.
- Pérdidas por degradación de los módulos.
- Pérdidas eléctricas.
- Pérdidas por reflectancia.

De esta forma se obtuvo el número total de paneles fotovoltaicos como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Número total de paneles para la instalación.

	Número total de paneles a instalar	Números en serie	Números en paralelo
Consumo Bajo	3	1	3
Consumo Medio	7	1	7

Se seleccionó para ambos consumo el panel del tipo Monocristalino, de la marca Simax de 150 W a 12 V.

5.5. Dimensionamiento de la batería

La determinación de la capacidad de la batería se la obtuvo mediante la siguiente formula.

$$\text{Capacidad batería} = \frac{N^{\circ} \text{ dias autonomía} * \text{Consumo diario}}{\text{Maxima profundida de descarga}} \quad (2)$$

Se escogió 3 días de autonomía y una profundidad de descarga del 70%. Además se tomó en consideración para la selección de la batería el régimen de descarga que fue para ambos casos de consumo C20. De esta forma se determinó el número total de baterías en la instalación como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Número total de baterías para la instalación.

	Baterías en paralelo	Baterías en Serie	N° Total de Baterías
Consumo Bajo	3	1	3
Consumo Medio	8	1	8

Se seleccionó para ambos consumo baterías del tipo GEL, de la marca Ultracell de 12 V, C20-160 Ah.

5.6. Dimensionamiento del controlador de carga

El controlador debe tener la capacidad de controlar la máxima corriente del sistema, se determina mediante la siguiente formula.

$$I_{\text{RE}} = 1.25 * I_{\text{SC}} * N_{\text{paralelo}} \quad (3)$$

Para determinar el número de regulares necesario en la instalación es mediante la división entre la corriente del sistema y la corriente nominal del regulador, esto se indica en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6. Número de reguladores a utilizar.

	Isc Generador [A]	Corriente nominal Regulador [A]	Reguladores en Paralelo
Consumo Bajo	33,3	45	1
Consumo Medio	77,7	45	2

Para la instalación se seleccionó el regulador de la marca Morningstar de 45 A para los casos de consumo.

5.7. Dimensionamiento del inversor

Se tiene presente un factor del 25% para protección ante sobrecarga eléctrica AC, y adicionalmente a esto se agrega un factor de 50% ante potencias instantáneas que pueda tener la demanda.

Para determinar el número de inversores necesario en la instalación es mediante la división entre la potencia del sistema y la potencia nominal del inversor. Esto se indica en la siguiente Tabla 7.

Tabla 7. Número de inversores requeridos.

	Potencia de la carga AC [W]	Potencia del inversor [W]	Números de inversores
Consumo Bajo	250	350	1
Consumo Medio	780	1000	1

Para la instalación se seleccionó el inversor de la marca Victon Energy de 350W a 12Vdc y 110Vac para el consumo bajo, y la marca PowerStar de 1000W a 12Vdc y 120Vac para el consumo medio.

6. Simulación en PVSYS V5.2

El programa PVSYS es una herramienta que permite el estudio, simulación y análisis de datos de las instalaciones fotovoltaicas [3]. Su ventana principal se indica en la Figura 2, el cual se escogió la opción de diseño del proyecto y el tipo de sistema aislado para nuestras simulaciones.



Figura 2. Ventana principal del PVSYS V5.2.

PVSYS V5.20	12/04/15	Página 2/4
Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario		
Proyecto : Proyecto Aislado at el triunfo		
Variante de simulación : consumo medio		
Parámetros principales del sistema Tipo de sistema Aislado		
Orientación Campos FV	inclinación 10°	acimut 0°
Generador FV	N° de módulos 3	Pnom total 450 Wp
Batería	Modelo Dural SC	Tecnología bierla, tubular
banco de baterías	N° de unidades 3	Tensión/Capacidad 12 V / 450 Ah
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios Constante durante el año global	380 kWh/año
Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 1.0 kWh/día		
PVSYS V5.20	12/04/15	Página 2/4
Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario		
Proyecto : Proyecto Aislado at el triunfo		
Variante de simulación : consumo bajo		
Parámetros principales del sistema Tipo de sistema Aislado		
Orientación Campos FV	inclinación 10°	acimut 0°
Generador FV	N° de módulos 7	Pnom total 1,05 kWp
Batería	Modelo 8	Tecnología bierla, tubular
banco de baterías	N° de unidades 8	Tensión/Capacidad 12 V / 1200 Ah
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios Constante durante el año global	1102 kWh/año
Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 3.0 kWh/día		

Figura 3. Simulaciones en PVSYS V5.2 para los consumos bajo y medio respectivamente.

7. Análisis Económico

En el análisis económico se lo realizó mediante el método beneficio-costos, para el proceso de selección se efectuó de la siguiente manera.

- Sistema Fotovoltaico vs Generadores a combustión interna
- Sistema Fotovoltaico vs Instalación de una línea de media tensión.

7.1. Tipo de costos

Los costos se clasificaran de la siguiente forma:

- Costos inicial + instalación
- Costos de O&M (operación y Mantenimiento)
- Costos de reposición de partes o piezas

7.2. Análisis beneficio / costo incremental

Este análisis se basa en la razón de los beneficios a los costos asociados para un proyecto en particular, para establecer una mejor alternativa [4].

La ecuación que indica la razón B/C es la siguiente.

$$\Delta B/C_{\text{incremental}} = \frac{\Delta \text{Costo O\&M}}{\Delta \text{Costo total} * \text{Tasa de interes}} \cdot \frac{1}{1 - (1 + \text{Tasa de interes})^{-\text{año de estudio}}} \quad (4)$$

La regla de elección en el análisis B/C es:

- Si B/C incremental ≥ 1.0 , se elige la alternativa de mayor costo, debido a que el costo adicional es justificable en términos económicos.
- Si B/C incremental < 1.0 , se elige la alternativa de menor costo.

7.3. Costos iniciales generales

En los cálculos de los costos de los componentes para la instalación se tomó una tasa de interés del Banco Central del Ecuador de 7,94% del promedio de los diez últimos meses [5] y un periodo de estudio de 20 años.

7.4. Análisis B/C entre línea de media tensión y sistema fotovoltaico

Tabla 8. Resultado B/C incremental entre línea de M.T y FV para bajo y medio consumo.

	Δ Beneficios	Δ Costos	$\Delta B/C_{\text{incremental}}$
Consumo Bajo	\$ 1189,24	\$ 3795,23	\$ 0,3133
Consumo Medio	\$ 1189,24	\$ 2990,76	\$ 0,3976

En la Tabla 8 se indica el valor de la Razón $B/C_{\text{incremental}}$ que es <1 , tanto para bajo y medio consumo, por lo tanto el sistema fotovoltaico es el más VIABLE.

7.5. Análisis B/C entre generador a combustión y sistema FV

Tabla 9. Resultado B/C incremental entre generador a combustión y FV para bajo y medio consumo.

	Δ Beneficios	Δ Costos	$\Delta B/C_{\text{incremental}}$
Consumo Bajo	\$ 4,13	\$ 10,40	\$ 0,3971
Consumo Medio	\$ 5,87	\$ 229,99	\$ 0,0255

En la Tabla 9 se indica el valor de la Razón $B/C_{\text{incremental}}$ que es <1 , tanto para bajo y medio consumo, por lo tanto el sistema fotovoltaico es el más VIABLE.

8. Conclusiones

- 1) La elaboración de la instalación fotovoltaica en el lugar de estudio resultó conveniente este tipo de generación eléctrica, con respecto a las otras dos opciones de electrificación; como son, el recorrido de línea de media tensión y la instalación del generador a combustión interna.
- 2) Las instalaciones fotovoltaicas son una buena solución de electrificación en zonas remotas y aisladas de la red eléctrica, aportando al desarrollo de áreas rurales donde resultaría bastante costosa la instalación de nuevas líneas de distribución, además son amigables con el medio ambiente.
- 3) El análisis económico se lo realizó mediante el método beneficio costo incremental debido a que no se disponía de un ingreso anual donde se podría recuperar lo invertido, sino que solo representaba costos; como son de inversión inicial, instalación, cambios de los equipos, mano de obra y mantenimiento.
- 4) En el análisis de viabilidad técnica se determinó que si existía la posibilidad de realizar nuestro diseño ya que si se encontró todos los componentes necesarios para el levantamiento de la instalación fotovoltaica, los elementos y precios se seleccionaron de empresas ecuatorianas como ProViento S.A y ElectroEcuatoriana.
- 5) Se realizó la simulación con el programa PVSYST V5.2, el cual contaba con componentes de diferentes fabricantes, pero de la misma capacidad utilizada en el cálculo teórico, el cual dio como resultado los mismos números de paneles y baterías que se utilizarán en la instalación para los dos grados de electrificación propuestos.

9. Recomendaciones

- 1) Si se realiza la implementación de la instalación fotovoltaica aislada se debe de seguir los pasos indicados anteriormente para la determinación de los diferentes depósitos utilizados y no tratar de

sobredimensionar los consumos eléctricos más de lo que esta propuesto, ya que produciría que los componentes se sobrecarguen y se deterioren afectando la vida útil de la instalación.

- 2) La gran modularidad de los sistemas fotovoltaicos, permite abordar proyectos de forma escalonada de manera flexible y adaptarse a las necesidades del usuario en función de sus recursos económicos y la disponibilidad inmediata en el tiempo.
- 3) Los componentes electrónicos de la instalación fotovoltaica se los ubicó en un cuarto exclusivo, por su delicadeza y protección que tienen; caso contrario, si no se contara con este tipo de cuarto se tendría que ubicar en un lugar seco, fresco, libre de humedad y calor por los problemas que tendrían estos en su correcto funcionamiento y disminución de su vida útil.
- 4) Debido a la inversión inicial alta del sistema fotovoltaico se recomienda su financiación mediante el BANCO NACIONAL DE FOMENTO, ya que dicho banco ofrece créditos hipotecarios de producción con una tasa de interés baja y cuyos pagos del crédito se los puede realizar con la producción de cultivos de ciclo corto, otra opción es mediante proyectos renovables que ofrece CNEL en conjunto con el MEER en la ayuda de electrificación de zonas de bajo recurso económico.

10. Referencias

- [1] “verfotosde.org,” [Online]. Available: <http://www.verfotosde.org/ecuador/coordenadas.php>.
- [2] “ingemecanica,” [Online]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>.
- [3] “energiadoblezero,” [Online]. Available: <http://energiadoblezero.com/herramientas-de-diseno-y-calculo/pvsyst>.
- [4] A. T. Leland Blank, “Ingeniería Económica,” in *Análisis beneficio/costo*, Mc Graw Hill, 2006.
- [5] “Banco Central del Ecuador,” [Online]. Available: <http://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/788>.