

# “Análisis de un plan de ahorro energético implementando sistemas fotovoltaicos para los modelos de vivienda propuestos por el gobierno nacional”

Marlon Quinto <sup>(1)</sup> Diego Cadena <sup>(2)</sup> Hólger Cevallos <sup>(3)</sup>  
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  
mquinto <sup>(1)</sup> dacadena <sup>(2)</sup> hcevallos <sup>(3)</sup>

## Resumen

*En el siguiente artículo se muestran los diseños de los sistemas fotovoltaicos que se desean implementar a las viviendas modelos propuestas por el gobierno nacional con la finalidad de obtener un ahorro energético a mediano o largo plazo utilizando fuentes de energías renovables como lo es el sol. Se procede a realizar dos escenarios, en el primero escenario se consideran todas las cargas de la vivienda modelo y en el segundo escenario se considera como carga solo a la cocina de inducción, en cada escenario se realizó dos análisis, el primer análisis implementando un sistema fotovoltaico aislado y el segundo implementando un sistema fotovoltaico conectado a la red. Finalmente se cotizo en el mercado actual los mejores precios para determinar si el proyecto es rentable a nivel económico.*

**Palabras Claves:** sistema fotovoltaico, ahorro energético, sistema fotovoltaico aislado, sistema fotovoltaico conectado a la red.

## Abstract

*The article designs photovoltaic systems that wish to implement the models proposed dwellings by the national government in order to obtain energy savings in the medium to long term using renewable energy sources such as the sun is. Proceed to perform two scenarios , in the first scenario considers all charges model home and in the second scenario is considered as a load only the induction cooker, in each scenario two analyzes was performed , the first analysis implementing a system isolated photovoltaic and second implementing a photovoltaic system connected to the network. Finally, I quote in the current market pricing on whether the project is profitable economically.*

**Keywords:** photovoltaic system, energy saving, isolated photovoltaic system, networked photovoltaic system.

## 1 Introducción.

Buscar alternativas para satisfacer la demanda eléctrica a Nivel Nacional, se ha convertido en unos de los objetivos del Gobierno Nacional actual, usando recursos renovables y que el impacto ambiental sea mínimo. En este informe se presenta una alternativa de generación de energía eléctrica usando una fuente inagotable como lo es el sol y su radiación. Se presenta una metodología para cubrir la demanda de energía eléctrica de un Sector de Guayaquil, el cual se puede replicar en cualquier otro sector del Ecuador. El análisis de carga, se realiza en base a datos estadísticos de la zona y su radiación solar. Además, se da a conocer una parte del mercado de generación de energía renovable en el país, por medio de las Compañías, marcas de los equipos y precios.

## 2 Sistema fotovoltaico.

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos eléctricos, mecánicos y electrónicos que concurren para generar energía eléctrica por medio de la radiación proveniente del sol. Según la necesidad o la aplicación tendremos diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos:

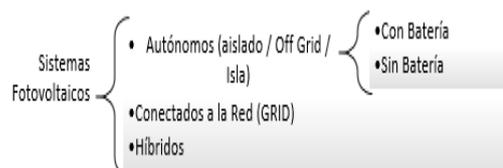


Figura 1. Tipos de sistemas fotovoltaicos.

### 3 Levantamiento de la carga eléctrica de la vivienda.

Para realizar el levantamiento de la carga eléctrica de la vivienda, se procedió a realizar una encuesta del área designada al proyecto, con la finalidad de obtener un listado de las cargas eléctricas más comunes que utilizan en sus viviendas los habitantes de este sector; se realizó 200 encuestas y a continuación se muestra los resultados de las mismas:

**Tabla 1. Resultado de encuestas en Socio vivienda etapa 1.**

	REFRIGERADORA	PLANCHA	EQUIPO DE SONIDO	TV
TOTAL	189/200	173/200	117/200	198/200
PORCENTAJE	94,5%	86,5%	58,5%	99,0%

	LAVADORA	COMPUTADOR	A.A.	CROOND	FOCOS	CANTIDAD FOCOS PROMEDIO
TOTAL	139/200	84/200	15/200	39/200	200/200	5
PORCENTAJE	69,5%	42,0%	7,5%	19,5%	100,0%	

Donde el 79% de las personas han iniciado el trámite para obtener la cocina de inducción.

### 4 Dimensionamiento y diseño del sistema fotovoltaico:

#### 4.1 Determinación de las cargas en corriente continua:

No existen cargas de corriente continua en nuestro sistema.

#### 4.2 Determinación de las cargas en corriente alterna:

Se observa en la tabla 2 el levantamiento de las cargas en la vivienda modelo.

#### 4.3 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

De acuerdo al levantamiento de la Vivienda Modelo, se plantearán 2 diferentes escenarios para el

dimensionamiento del S.F.V.: Primer escenario.- se consideran todas las cargas de la vivienda. Segundo escenario.- se considera solo la cocina de inducción. En ambos escenarios se va a diseñar dos tipos de sistema: Sistema Fotovoltaico Aislado y Sistema Fotovoltaico conectado a la Red.

Cabe recalcar que el dimensionamiento está basado en las normas del NEC-11, capítulo 14.

#### 4.4 Dimensionamiento del primer escenario diseñado con un sistema fotovoltaico aislado.

Este escenario está dimensionado con un Voltaje de funcionamiento de 48V. En base a la tabla 2 obtenemos la demanda energética =  $6.75 \frac{Kwh}{dia}$ . Se determina la demanda energética con un margen de seguridad de 10%:

$$D_{energética}' = D_{energética} \times 1.1 \quad (4.1)$$

$$D_{energética}' = 7.43 \frac{Kwh}{dia}$$

$$PR = n_{bat} \cdot n_{contr} \cdot n_{cond} \cdot n_{inv} \cdot n_{temp} \cdot n_{suc} \cdot n_{aut} \quad (4.2)$$

$$PR = 0.98 \times 0.99 \times 1 \times 0.9 \times 0.81 \times 0.98 \times 0.99$$

$$PR = 0.69$$

#### 4.4.1 Potencia pico del arreglo fotovoltaico.

$$Pot_p = \frac{Demanda_{energética}'}{HS \times PR} \quad (4.3)$$

Según Retscreen con un azimut de 19°

$$HS = 3.36 \text{ Kwh}/m^2.$$

$$Pot_p = 3.20 \text{ Kw}.$$

#### 4.4.2 Números de módulos fotovoltaicos:

Para el dimensionamiento del panel solar, se ha elegido el MODULO SOLAR marca SIMAX con las siguientes características:

**Tabla 2. Levantamiento de las cargas en la vivienda modelo.**

TAG CIRCUITO	SERVICIO	Nº. FASES	VOLTAJE (VOLTIOS)	Nº. PUNTOS	CARGA (VATIOS)	SUBTOTAL	FACTOR SIMULTANEIDAD	FACTOR DEMANDA	DEMANDA (VATIOS)	HORAS AL DIA	KWH	
AE1	Iluminación	1	110	5	20	100	0,6	100%	60	6,00	0,36	
AE2	Refrigeradora	1	110	1	170	170	1	100%	170	6,00	1,02	
AE3	Televisor	1	110	1	90	90	1	100%	90	5,00	0,45	
AE4	Computadora	1	110	1	300	300	1	100%	300	5,00	1,50	
AE5	Cocina de Inducción	2	220	1	1810	1810	0,77	100%	1394	2,00	2,79	
AE6	Plancha	1	110	1	1000	1000	0,6	100%	600	0,15	0,09	
AE7	Equipo de Sonido	1	110	1	120	120	1	100%	120	2,00	0,24	
AE8	Lavadora	1	110	1	350	350	1	100%	350	0,30	0,11	
AE9	Tomacorrientes	1	110	1	50	50	1	100%	50	4,00	0,20	
SUBTOTAL:									3134		6,75	
RESERVA 10%									399	0,8	319	0,68
<b>TOTAL (VATIOS):</b>						<b>4389</b>		<b>0,79</b>	<b>3453</b>		<b>7,43</b>	

$P_{max}=190w$   
 $V_{nominal} = 24V$   
 $I_{nominal} = 5.21 A$

$$\# \text{ de módulos} = \frac{Pot_p}{P_{Modulo}} \quad (4.4)$$

Se necesita 16 módulos de 190w marca Simax.

#### 4.4.3 Capacidad el banco de baterías.

Los datos para los cálculos son los siguientes:  
 Días de autonomía: 2 días.  
 Voltaje Nominal: 12 V.  
 Profundidad de descarga: 50%.  
 Capacidad de acumulación según catálogo (A/h): 150 Ah.

$$Cb = \frac{Demanda\ energética' \times Días\ de\ Autonomía}{V_{sistema} \times Prof.\ descarga} \times 1000 \quad (4.5).$$

$$Cb = 2475.88 AH$$

#### 4.4.4 Número de baterías.

$$\#baterias = \frac{Cb}{Cb\ catg} \quad (4.6)$$

$\#baterias = 16$  Baterías de 150 ah.  
 Se ha elegido 16 baterías marca ultracell de 150 ah.

#### 4.4.5 Regulador.

$$I_{regulador} = 1.25 \times I_{módulo} \times \#MódulosParal \quad (4.7)$$

$I_{regulador} = 52.1^a$   
 Se ha elegido un regulador marca Morninstar Tristar 60A.

#### 4.4.5 Inversor.

$$PotenciaInversor = 1.25 \times \sum PCargas \quad (4.8)$$

En base a la tabla 2 obtenemos la  $\sum PCargas = 3453w$   
 $PotenciaInversor = 4316.25 W$

Se ha elegido un inversor marca Ups Powerstar 4KW/48V, en las siguientes tablas se muestra el resumen de los distintos elementos que cumplen con las características de los diseños propuestos en los diferentes escenarios.

**Tabla 3. Elementos del primer escenario diseñado con un sistema fotovoltaico aislado.**

SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO 48V			
EQUIPO	MARCA/MODELO	ESPECIFICACIONES	CANTIDAD
PANEL SOLAR	SIMAX	24V DC/190wp/5.21 A MONOCRISTALINO	16
CONTROLADOR	Morninstar Tristar-60.	48VC / 60A	1
BATERÍA	ULTRACELL UCG150-12	12V /150AH	16
INVERSOR	UPS POWERSTAR	48VDC-220VAC/4KW	1

**Tabla 4. Elementos del primer escenario diseñado con un sistema fotovoltaico conectado a la red.**

SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO 24V			
EQUIPO	MARCA/MODELO	ESPECIFICACIONES	CANTIDAD
PANEL SOLAR	SIMAX	24V DC/190wp/5.21 A MONOCRISTALINO	7
CONTROLADOR	FANGPUSUN TAROM245	24VC / 45A	1
BATERÍA	ULTRACELL UCG150-12	12V /150AH	8
INVERSOR	TBE TBE	24VDC-220VAC/2KW	1

**Tabla 5. Elementos del segundo escenario diseñado con un sistema fotovoltaico aislado.**

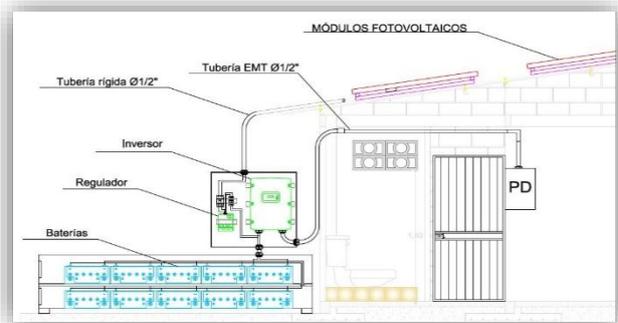
SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED			
EQUIPO	MARCA/MODELO	ESPECIFICACIONES	CANTIDAD
PANEL SOLAR	OEM	36V DC/300wp/8.02 A	9
INVERSOR	MARSROCK	600VDC-220VAC/4,2KW	1

**Tabla 6. Elementos del segundo escenario diseñado con un sistema fotovoltaico conectado a la red.**

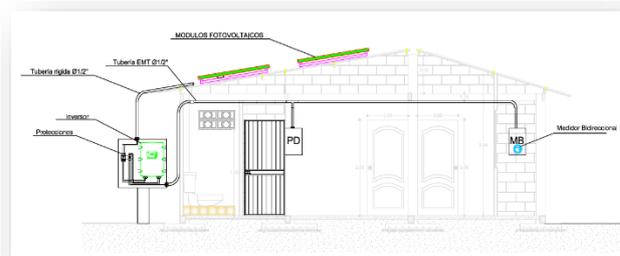
SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED			
EQUIPO	MARCA/MODELO	ESPECIFICACIONES	CANTIDAD
PANEL SOLAR	OEM	36V DC/300wp/8.02 A	4
INVERSOR	DESON	450VDC-220VAC/2KW	1

#### 4.5 Implantación del s.f.v. aislado en autocad.

En las siguientes figuras se muestran los diseños implantados a la vivienda modelo.



**Figura 2. Implantación del s.f.v. aislado en AutoCAD.**



**Figura 3. Implantación del s.f.v. conectado a la red en AutoCAD.**

## 5 Ahorro energético estimado del proyecto.

Considerando que la vida útil del sistema fotovoltaico es alrededor de 20 años, el incremento anual del 4,8% de la demanda de energía en el sector residencial según el Plan Maestro de Electrificación trabajo realizado por CONELEC y que la demanda diaria de la vivienda mostrada en la tabla 2 es de 7,43 kwh estimamos el ahorro energético en un periodo de 20 años como observamos a continuación en la tabla 7.

**Tabla 7. Ahorro estimado de energía eléctrica de las viviendas objetivo en 20 años.**

Total Consumo	MW/h	GW/h
Normal:	215315,29	215,315
Consumo +5%	226081,05	226,081
Consumo -5%	214238,71	214,239

El diseño propuesto genera un ahorro energético de 215,315 Gwh en 20 años.

## 6 Análisis económico del proyecto.

Para determinar el análisis económico de factibilidad del proyecto basamos nuestra decisión en los criterios de los indicadores de factibilidad financiero: el valor actual neto (V.A.N) y la tasa interna de retorno (T.I.R).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^n} \quad (6.1)$$

### INVERSIONES INICIALES:

Las inversiones iniciales, son los valores de las cotizaciones que se han realizado en nuestro medio, en el caso de los s.f.v. aislados se deben tomar en cuenta las reposiciones de baterías cada 4 años, según el tiempo de vida que se plantea en el sistema:

S.F.V. CON BATERIAS PRIMER ESCENARIO					
PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD POR VIVIENDA	NÚMERO DE VIVIENDAS	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO POR VIVIENDA (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Panel Solar Simax 24V Monocristalino 190 Wp	16	2273	\$ 200,00	\$ 3.200,00	\$ 7.273.600,00
Estructura de soporte paneles solares	16	2273	\$ 75,00	\$ 1.200,00	\$ 2.727.600,00
Bateria ULTRACELL GEL UCG 150AH	16	2273	\$ 339,19	\$ 5.427,04	\$ 12.335.661,92
Inversor UPS Powerstar 4 KW / 48 VDC	1	2273	\$ 679,00	\$ 679,00	\$ 1.543.367,00
Controlador Morningstar Tristar 60A / 48V	1	2274	\$ 239,00	\$ 239,00	\$ 543.486,00
25% Gastos adicionales					\$ 6.105.928,73
Total					\$ 30.529.643,65

**Figura 4. Primer escenario con s.f.v. aislado.**

S.F.V. CON INYECCION A LA RED PRIMER ESCENARIO					
PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD POR VIVIENDA	NÚMERO DE VIVIENDAS	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO POR VIVIENDA (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Panel Solar OEM 37,5V Polycristalino 300 Wp	9	2273	\$ 192,00	\$ 1.728,00	\$ 3.927.744,00
Estructura de soporte paneles solares	9	2273	\$ 75,00	\$ 675,00	\$ 1.534.275,00
Inversor MarsRock Mtl-10 4200	1	2273	\$ 1.562,26	\$ 1.562,26	\$ 3.551.007,89
10% Gastos adicionales					\$ 901.302,69
Total					\$ 9.914.329,58

**Figura 5. Primer escenario con s.f.v. conectado a la red.**

S.F.V. AISLADO SEGUNDO ESCENARIO					
PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD POR VIVIENDA	NÚMERO DE VIVIENDAS	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO POR VIVIENDA (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Panel Solar Simax 24V Monocristalino 190 Wp	7	2273	\$ 200,00	\$ 1.400,00	\$ 3.182.200,00
Estructura de soporte paneles solares	7	2273	\$ 75,00	\$ 525,00	\$ 1.193.325,00
Bateria ULTRACELL GEL UCG 150AH	8	2273	\$ 339,19	\$ 2.713,52	\$ 6.167.830,96
Inversor TINGEN modelo te-1500p-242	1	2273	\$ 376,59	\$ 376,59	\$ 855.989,07
controlador Fangpusun modelo Tarom245-45A 24V	1	2273	\$ 199,52	\$ 199,52	\$ 453.508,96
25% Gastos adicionales					\$ 2.963.213,50
Total					\$ 14.816.067,49

**Figura 6. Segundo escenario con s.f.v. aislado.**

S.F.V. CON INYECCION A LA RED SEGUNDO ESCENARIO					
PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD POR VIVIENDA	NÚMERO DE VIVIENDAS	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO POR VIVIENDA (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
Panel Solar OEM 37,5V Polycristalino 300 Wp	4	2273	\$ 192,00	\$ 768,00	\$ 1.745.664,00
Estructura de soporte paneles solares	4	2273	\$ 75,00	\$ 300,00	\$ 681.900,00
Inversor DESON DC 100-450VDC to AC 220V 1500W	1	2273	\$ 680,72	\$ 680,72	\$ 1.547.283,36
10% Gastos adicionales					\$ 397.484,74
Total					\$ 4.372.332,10

**Figura 7. Segundo escenario con s.f.v. conectado a la red.**

Con la ayuda de herramienta Microsoft Excel se muestra la tabla de resultados a continuación.

ESCENARIO	VAN	TIR	DECISIÓN
1er escenario S.F.V Aislado	-52.318.197,33	-24,94%	EL PROYECTO NO ES RENTABLE
1er escenario S.F.V Conectado a la Red	- 4.724.713,46	0,88%	EL PROYECTO NO ES RENTABLE
2do escenario S.F.V Aislado	-25.112.542,70	-26,15%	EL PROYECTO NO ES RENTABLE
2do escenario S.F.V Conectado a la Red	-2.948.031,30	-9,42%	EL PROYECTO NO ES RENTABLE

**Tabla 8. Resultados de la factibilidad del proyecto de acuerdo a los criterios del V.A.N y T.I.R.**

## 7 Conclusiones.

- En la actualidad, este tipo de energía renovable no es rentable (sistemas fotovoltaicos aislados con mucha demanda) o es rentable en periodos de tiempo extensos (sistemas fotovoltaicos con alimentación a la red), económicamente hablando ningún diseño propuesto es rentable, esto se debe a su alto costo de los elementos de generación y almacenamiento (paneles y baterías) en comparación con otros tipos de generación eléctrica.
- Los paneles solares, desde su construcción tienen baja eficiencia, por lo que, para satisfacer grandes demandas de energía se requieren de grandes cantidades de paneles solares, además, requieren que se tenga áreas extensas para su ubicación por el tamaño que tienen, esto es una desventaja en muchos casos, sobre todo cuando la instalación está limitada por el espacio y la ubicación. Se debe encontrar el equilibrio entre la capacidad de los paneles y el tamaño o área que ocupan y así optimizar la instalación fotovoltaica.
- Al realizar el análisis de nuestro segundo escenario en donde solo se consideraba la cocina de inducción como carga de nuestro sistema, se pudo notar que la energía diaria demandada por la cocina de inducción es alrededor de 3.07kwh, que mensualmente equivale a 92.1KWH por vivienda que es prácticamente el estimado de los 80KWH que va a subsidiar el estado por el uso de las cocinas de inducción durante un determinado periodo.
- Mientras se requiera cubrir más demanda de Energía, la inversión Inicial será mayor, las variables que más se ven modificadas en el sistema son los paneles y las baterías.
- Se han realizado cotizaciones de los elementos del sistema fotovoltaico en compañías locales de Ecuador, las cuales se han ubicado en el mercado como proveedores de equipos de generación y medición de energías renovables, de los cuales hemos obtenido los mejores precios, aunque en comparación a proveedores internacionales, los precios están relativamente elevados. Se debe a la poca demanda y poca competitividad en nuestro medio.
- A la hora de realizar el diseño, tomamos en cuenta el mínimo valor de irradiación solar, con esto se garantiza que en un día de baja irradiación, el sistema podrá satisfacer la demanda máxima de la vivienda.
- En el análisis económico del presente proyecto, el costo más significativo es el costo de las baterías. En los escenarios que se utilizaban baterías, el costo de las baterías cubrían casi el 50% de la Inversión Inicial, además se debe cubrir este costo cada 4 años, que es el tiempo de vida útil de las baterías (DOD=50%).
- Ahora, con la implementación de las Cocinas de Inducción en las viviendas del Ecuador, se puede observar que la demanda de una vivienda aumentará alrededor de un 70%.
- Cada escenario está diseñado para cubrir una demanda específica de Energía, si se desea una mayor demanda de energía se deberán hacer los cálculos respectivos para aumentar el número indicado de paneles y baterías así como dimensionar de nuevo el controlador e inversor si es el caso de ser necesario, es decir, rediseñar el sistema.
- De todos los escenarios planteados en este proyecto, el más factible de implementar es el escenario el que se dimensiona solo para la cocina de inducción y se inyecta a la red, debido a que el tiempo de uso diario es aproximadamente 3 horas, es decir, el resto de las horas del día, el sistema estará inyectando energía a la red.

## **8 Referencias.**

[1] CONVENIO MIDUVI-CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE QUITO, Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11 Capítulo 14 – ENERGIAS RENOVABLES, Quito, 2011.

[2] CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD, Plan Maestro De Electrificación 2013-2022 - Estudio y Gestión de la Demanda Eléctrica, Quito, 2012.

[3] COX VÁSCONEZ ANA ELIZABETH - MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y PRODUCTIVIDAD, Reglamento Técnico Ecuatoriano “Artefactos Electrodomésticos para cocción por Cocina de Inducción”, RTE-INNEN-101 Resolución 14-153, Quito, 2014.

[4] CEMAER, “Curso gratis paneles solares – Manual de apoyo”, México D.F., 2013.

[5] SUNFIELDS EUROPE, “Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma”, Coruña, 2013.