

Sistema fotovoltaico para autoconsumo en uso residencial en Nanchital, Veracruz

CAYETANO-Francisco†, GONZALES, Rafael, KATT-Alondra & CRUZ-Abdías

Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz. Av. Universidad Tecnológica, lote grande número 1, sin colonia C.P. 96360 Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río, Veracruz.

Recibido 2 de Julio, 2015; Aceptado 2 de Septiembre, 2015

Resumen

En el presente trabajo se muestra el diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para autoconsumo en una casa habitación de la ciudad de Nanchital, Veracruz. El proyecto analiza las ventajas que ofrece una instalación de energía solar fotovoltaica, formada por un conjunto de módulos fotovoltaicos montados sobre el techo de una casa. Se busca la optimización de las posibilidades del área disponible atendiendo a consideraciones técnicas, económicas y estéticas. A nivel técnico se exponen y analizan los diferentes elementos que integran la instalación para asegurar su correcto funcionamiento, así mismo se hace un estudio de aquellos elementos que pueden afectar negativamente al rendimiento. De la misma manera se adjuntan los planos y los esquemas eléctricos necesarios para la ejecución del proyecto, de igual forma se adjuntan los cálculos justificativos que garantizan el correcto funcionamiento de la instalación y el cumplimiento con los requerimientos de la normatividad mexicana vigente.

Sistema fotovoltaico, energía solar, tarifa DAC

Abstract

In this work, the design of a photovoltaic system interconnected to the grid for consumption in a room town house Nanchital, Veracruz shown. The project analyzes the advantages of a solar photovoltaic installation, consisting of a set of photovoltaic modules mounted on the roof of a house. Optimization of the potential of the area available in accordance with technical, economic and aesthetic considerations are looking for. Technically presents and analyzes the different elements that make up the installation to ensure correct operation, also a study of those elements that can adversely affect the performance becomes. They accompanying drawings and the necessary wiring diagrams for project implementation, just as the same way attached the supporting calculations to ensure proper operation of the system and compliance with the requirements of the current Mexican regulations.

Photovoltaic system, solar energy, rate DAC

Citación: CAYETANO-Francisco, GONZALES, Rafael, KATT-Alondra & CRUZ-Abdías. Sistema fotovoltaico para autoconsumo en uso residencial en Nanchital, Veracruz. Revista de Tecnología e Innovación 2015, 2-4:717-728

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La energía es una fuerza vital de nuestra sociedad. De ella dependen la iluminación, el calentamiento y refrigeración de nuestras casas, el transporte de personas y mercancías, la obtención de alimento y su preparación, el funcionamiento de las fábricas, etc. Y en definitiva, en gran medida, el desarrollo económico de un país se valora según sea su consumo de energía y cuan eficiente sea este.

La energía solar, es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol. La radiación solar que alcanza la tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación, por ejemplo en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es una de las llamadas energías renovables particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000W/m² en la superficie terrestre. A esta potencia se le llama irradiancia, la cual puede ser aprovechada para generar energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico.

Cuando se plantea la instalación de generadores de energía fotovoltaica, fundamentalmente se atiende a dos razones principales:

- La necesidad de proporcionar energía eléctrica a una zona aislada o de difícil acceso para la red de distribución.

- La posibilidad de inyectar energía eléctrica a la red de distribución

En función a estos dos criterios, existen dos tipologías básicas de instalaciones fotovoltaicas: Instalaciones aisladas e instalaciones conectadas a la red, siendo esta última la presentada en este trabajo.

Revisión de literatura

Los sistemas de conexión a la red eléctrica son los que han experimentado mayor desarrollo en los últimos años. Estos sistemas se caracterizan por su simplicidad constructiva, la generación de energía eléctrica silenciosa y no contaminante, una gran fiabilidad, larga duración y poco mantenimiento.

El funcionamiento de este tipo de instalaciones es muy simple. El generador fotovoltaico transforma la energía solar incidente en los módulos de corriente continua, que es convertida por el inversor en corriente alterna de la misma tensión y frecuencia que la red eléctrica.

Para contabilizar la energía eléctrica inyectada a la red de la empresa de distribución se utiliza un Contador de energía intercalado entre la red de baja tensión y el inversor. También es necesario instalar un Contador de entrada de energía para contabilizar el posible consumo de la instalación o bien se puede utilizar un único Contador bidireccional para realizar ambas funciones.

El mantenimiento de estas instalaciones es mínimo, y consiste básicamente en la limpieza periódica de los módulos y en la comprobación de las conexiones eléctricas y el buen funcionamiento del inversor, estimándose su vida útil en más de 30 años.

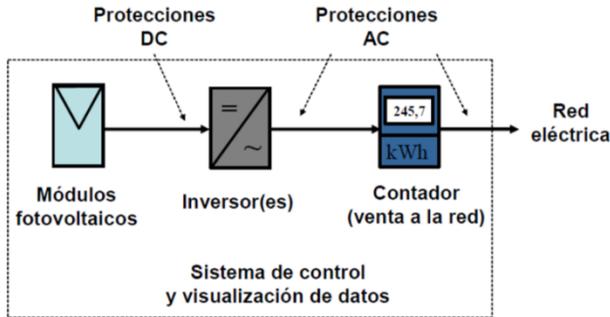


Figura 1 Esquema simplificado de un sistema fotovoltaico conectado a la red (fuente 1)

Los sistemas fotovoltaicos de mayor tamaño se realizan en los sectores comercial e industrial. Sin embargo aunque todavía son pocos, existen proyectos pilotos en el sector residencial, los cuales desde hace algunos años están aportando información real que permita identificar los beneficios y las soluciones técnicas requeridas para mejorar el desempeño de estos sistemas de conexión de red

Actualmente los siguientes instrumentos legales y regulatorios permiten el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en conexión a la red:

- Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) y su reglamento.
- Contrato de interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en Pequeña y Media Escala.

- Contrato de interconexión para Fuente Colectiva de Energía Renovable o Sistema Colectivo de Cogeneración en Pequeña Escala (será publicado por la CRE).

Puesto que los sistemas fotovoltaicos pueden disminuir o dejar de generar electricidad en forma repentina, por ejemplo en días parcialmente nublados, es también necesario establecer una serie de reglas técnicas que eviten molestias o daños a otros usuarios. Para ello, la CRE y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) han desarrollado un marco normativo específico para la interconexión de tecnología basadas en fuentes renovables como sistemas fotovoltaicos.

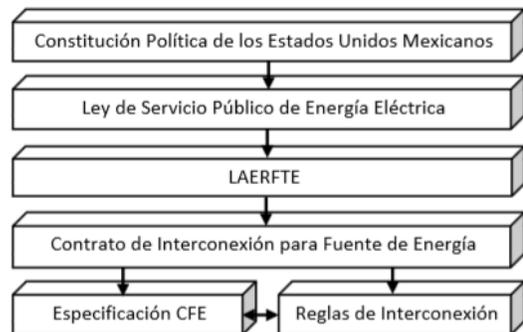


Figura 2 Marco legal regulatorio para el uso de sistemas FV en el sector residencial en México (fuente 2)

Metodología

La aplicación de sistemas FV en el sector residencial resultan de la estructura interna de las siete tarifas residenciales (1-1F) que son escalonadas por volúmenes de consumo mensual de energía eléctrica (Kilowatt-hora). En dicha estructura los precios aumentan por Kilowatt-hora (KWh), cuando el volumen mensual de consumo de energía eléctrica supera ciertos límites; y donde cada tarifa residencial cuenta con dos de estos niveles.

El primero separa la tarifa en un rango básico (con precios más bajos) de un rango alto (con precios más altos), mientras que el segundo límite marca el consumo mensual a partir del cual el hogar sale de la tarifa residencial y entra a la tarifa “Doméstico de alto consumo DAC” que tiene el precio más alto por KWh.

Aplicando un esquema de medición neta del contrato de interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en pequeña escala existe la posibilidad de disminuir la energía mensual (KWh) que un hogar recibe de la red eléctrica de CFE con KWh generados por un sistema fotovoltaico.

En otras palabras, la cantidad de KWh facturados por CFE disminuyen debido a la energía (KWh) suministrada por el sistema por el sistema FV. Resulta entonces que implementando un sistema FV es provocar un cambio en la tarifa que paga un hogar por la electricidad que CFE le suministra hacia un precio o tarifa más baja.

Cabe mencionar que el caso de los usuarios DAC, la implementación de un sistema FV es rentable aunque no se dé el cambio de rango tarifario por que el costo de cada KWh es aproximadamente el doble del costo nivelado de un KWh fotovoltaico.

El hogar de estudio en este proyecto se encuentra ubicado en la ciudad de Nanchital, Veracruz, la tarifa aplicada en esta zona geográfica es la 1C, esta tarifa se aplicara a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente domésticos, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la tarifa DAC.

El límite de alto consumo se define para cada localidad en función de la tarifa en la que se encuentra clasificada.

TARIFA	LIMITE DE CONSUMO	kWh/MES
Tarifa 1:	250 (doscientos cincuenta)	kWh/mes.
Tarifa 1A:	300 (trescientos)	kWh/mes.
Tarifa 1B:	400 (cuatrocientos)	kWh/mes.
Tarifa 1C:	850 (ochocientos cincuenta)	kWh/mes.
Tarifa 1D:	1,000 (un mil)	kWh/mes.
Tarifa 1E:	2,000 (dos mil)	kWh/mes.
Tarifa 1F:	2,500 (dos mil quinientos)	kWh/mes.

Tabla 1 Límites de alto consumo (fuente 3)

Cuando el consumo mensual promedio del usuario sea superior al límite de alto consumo se le reclasificara a la tarifa doméstica de alto consumo.

La residencia estudiada muestra unos consumos mensuales que son mostrados en la tabla siguiente.

Mes	Días al mes	Consumo (kWh)	Límite de alto consumo 1C	Diferencia de energía
1	31	925	850	75
2	28	925	850	75
3	31	1,290	850	440
4	30	1,290	850	440
5	31	1,400	850	550
6	30	1,400	850	550
7	31	1,485	850	635
8	31	1,485	850	635
9	30	1,030	850	180
10	31	1,030	850	180
11	30	900	850	50
12	31	900	850	50

Tabla 2 Consumos mensuales

El límite de alto consumo de la tarifa 1C son 850 KWh/mes de acuerdo a la tabla 1, cuando el consumo mensual promedio del usuario sea superior al límite de alto consumo se le reclasificara a la tarifa DAC. De acuerdo a lo anterior obtenemos los valores que registrarán el dimensionado del sistema fotovoltaico ya que esta diferencia de energía es la mínima que tendría que generar el sistema fotovoltaico para mantener los consumos debajo del límite permitido por la CFE y obtener de nueva cuenta la tarifa básica que es la que subsidia el gobierno.

Se tomaron en cuenta futuros incrementos en consumo de energía por nuevos hábitos en los habitantes de la residencia, por lo que se incrementa en un 30% en la producción fotovoltaica como preventiva para asegurar no caer de nuevo en la tarifa DAC debido a pérdida de rendimiento, ver tabla 3.

Con base a la siguiente tabla, se tienen los valores de producción que se deben lograr por el sistema fotovoltaico para conseguir regresar a la tarifa básica de la residencia de estudio.

Mes	Días al mes	Energía mínima producida por el SFV para lograr la tarifa 1C (kWh)
1	31	97.5
2	28	97.5
3	31	572
4	30	572
5	31	715
6	30	715
7	31	825.5
8	31	825.5
9	30	234
10	31	234
11	30	65
12	31	65

Tabla 3 Energía necesaria para lograr bajar a tarifa básica

Tomando los datos de la energía mínima producida por el SFV de la tabla anterior, se obtuvo la potencia pico del generador fotovoltaico para cada mes, tomando la hora solar pico de radiación, datos que son obtenidos de la NASA Surface Meteorology and Solar Energy. Para este caso tomaremos en cuenta que los módulos están orientados al sur y con una inclinación óptima de 19° igual a la latitud de Nanchital.

La potencia pico instalada será calculada con la siguiente formula

$$P_p = E_{GFV/dia}/HSP \tag{1}$$

P_p : Potencia pico

$E_{GFV/dia}$: Energía producida/diaria

HSP: Hora solar pico

Mes	Días al mes	Energía necesaria por el SFV para lograr el rango intermedio kWh/Mes	Energía necesaria por el SFV para lograr el rango intermedio kWh/Día	HSP	Potencia pico necesaria para cada mes (kWp)
1	31	97.5	3.2	3.65	0.87
2	28	97.5	3.5	4.23	0.83
3	31	572	18.5	4.86	3.8
4	30	572	19.0	5.35	3.55
5	31	715	23.0	5.46	4.2
6	30	715	23.8	5.07	4.76
7	31	825.5	26.6	5.27	5.0
8	31	825.5	26.6	5.05	5.26
9	30	234	7.8	4.46	1.75
10	31	234	7.5	4.29	1.74
11	30	65	2.2	3.95	0.55
12	31	65	2.1	3.55	0.6

Tabla 4 Potencia pico

Con la tabla anterior se obtiene la potencia pico del generador fotovoltaico, esto se hace observando en cada mes la potencia máxima que se requiere en los meses donde existe la mayor diferencias de energía, para este caso en concreto el área sombreada nos indica los valores máximos de potencia pico que se necesita instalar y que cumplirá con lo mínimo requerido.

Para no sobredimensionar el sistema demasiado y que esto no encarezca el sistema se tomaron los tres valores más altos de la columna de potencia pico de la tabla y se eliminan el valor más alto y el más bajo para quedarnos con el valor medio.

La potencia pico del generador fotovoltaico sería entonces de 5KWp. Dado que sobrepasar uno o dos meses no hace cambiar de manera inmediata la tarifa. La tarifa DAC es aplicada cuando el consumo mensual promedio registrado por el usuario supera el límite de la tarifa 1C tomando en cuenta el promedio móvil del consumo de los últimos 12 meses. Esto nos dice que aunque el usuario sobrepase el límite algunos meses, mientras su promedio móvil anual no supere el límite de la tarifa 1C no será aplicada la tarifa DAC.

Para el desarrollo del proyecto se eligió un panel de silicio policristalino que absorbe radiación directa, el modelo seleccionado de modulo, el C235PN de Wiosun, es un módulo de 235W de 60 células policristalina.

Datos Eléctricos a STC	
Tipo de Modulo	C235PN
Potencia Nominal	235
Voltaje Máximo	30.20
Corriente Máxima	7.78
Voltaje de Circuito Abierto	37.27
Corriente de Corto Circuito	8.56
Eficiencia de Celda	16.10
Eficiencia de Módulo	14.47
Coefficiente de Temperatura de Isc	+0.04 % / °C
Coefficiente de Temperatura de Voc	-0.35 % / °C
Coefficiente de Temperatura de Pmax	-0.5 % / °C
NOCT	48 °C ± 2 °C
Tensión Máxima del Sistema	1000V

Tabla 5 Características eléctricas del módulo (fuente 5)

Estos módulos están especialmente diseñados para sistemas conectados a la red, en sus distintas aplicaciones tales como tejados comerciales, sistemas residenciales y plantas fotovoltaicas. Se ha elegido debido a sus excelentes prestaciones dentro de la gama de módulos fotovoltaicos de alta potencia adecuados a nuestra instalación, así como otras condicionantes como la garantía del producto, la confianza ofrecida por un fabricante de prestigio, la disponibilidad de suministro o la buena relación prestaciones/coste por modulo.

El número total de módulos a instalar del modelo seleccionado está dado por la formula siguiente

$$N = \text{Int} \left[\frac{P_{GFV.M.STC}}{P_{MOD.M.STC}} \right] \quad (2)$$

$P_{GFV.M.STC}$: Potencia nominal del generador fotovoltaico

$P_{MOD.M.STC}$: Potencia nominal del modulo fotovoltaico

N: Numero de módulos a instalar

$$N = [5000W/235W]$$

$$N = 22 \text{ módulos}$$

El inversor elegido para este proyecto es el inversor marca Fronius modelo IG plus 5.0-1 UNI. Una vez elegido el inversor se procede a calcular el número de módulos en serie que serán conectados en cada cadena y el número de cadenas en paralelo que nos garanticen el funcionamiento del inversor sin desconexión por bajo o alto voltaje.

El valor máximo de módulos en serie está dado por la formula siguiente:

$$\text{máx}(N_{ms}) = \text{Int}\left[\frac{V_{INV.M}}{V_{MOD.OC(TC=-10^{\circ}C)}}\right] \quad (3)$$

$V_{INV.M}$: Voltaje máximo de entrada del inversor

$V_{MOD.OC(TC=-10^{\circ}C)}$: Voltaje de circuito abierto de modulo a $-10^{\circ}C$

$\text{máx}(N_{ms})$: Número máximo de módulos en serie

Para obtener el voltaje del módulo a $T_c=-10^{\circ}C$ se utiliza la siguiente expresión aproximada para módulos de silicio mono y policristalino.

$$V_{MOD.OC(TC=-10^{\circ}C)} \approx 1.14 V_{MOD.OC.STC} \quad (4)$$

Se tiene que, $V_{MOD.OC(TC=-10^{\circ}C)} = 1.14 (37.27V) = 42.48V$

En consecuencia:

$$\text{Máx}N_{ms} = \frac{600V}{42.48V} = 14 \quad (5)$$

Para lograr que el inversor se mantenga dentro del rango de operación se tiene que:

$$\text{min}(N_{ms}) = \text{Int}\left[\frac{V_{INV.m}}{V_{MOD.M(TC=70^{\circ}C)}}\right] + 1 \quad (6)$$

$V_{INV.m}$: Voltaje mínimo de entrada del inversor

$V_{MOD.M(TC=70^{\circ}C)}$: Voltaje máximo del módulo a $70^{\circ}C$

$\text{min}(N_{ms})$: Número mínimo de módulos en serie

Para obtener el voltaje del módulo a $TC=70^{\circ}C$ se utiliza la siguiente expresión aproximada para módulos de silicio mono y policristalino.

$$V_{MOD.M(TC=70^{\circ}C)} \approx 0.82 V_{MOD.M.STC} \quad (7)$$

Se tiene que, $V_{MOD.OC(TC=70^{\circ}C)} = 0.82(30.20V) = 24.76V$

En consecuencia:

$$\text{Min}N_{ms} = \frac{230V}{24.76V} + 1 = 10 \quad (8)$$

Debido a que tenemos que el número de módulos a instalar para obtener la potencia pico de 5KW es de 22 módulos se optó por colocar 11 módulos en serie con los que se obtiene:

$N = 22$ módulos

$$N_{mp} = N/N_s \quad (9)$$

N_{mp} : Numero de módulos en serie

N : Número total de módulos

N_s : Numero de módulos en serie

$N_{mp} = 22/11 = 2$

Esto nos indica que nuestro generador está formado por dos cadenas de 11 módulos en serie de 235W lo que hará un generador fotovoltaico de una potencia de pico de 5.17 KWp.

Dado que la corriente de corto circuito del módulo fotovoltaico es de 8.65A, las dos cadenas en paralelo no deberían sobrepasar la corriente máxima admitida por el inversor expresado en la siguiente ecuación:

$$N_{mp} I_{MOD.SC.STC} \leq I_{INV.M.DC} \quad (10)$$

Se tiene que:

N_{mp} : Numero de módulos en paralelos

$I_{MOD.SC.STC}$: Corriente de corto circuito del módulo a condiciones STC

$I_{INV.M.DC}$: Corriente máxima de entrada del inversor en CD.

En consecuencia:

$$17.12 \leq 23.4$$

La corriente máxima que obtendremos en el generador fotovoltaico nunca sobrepasara la corriente máxima de entrada del inversor.

Para el cálculo del cableado de CD se rigió por dos criterios, el criterio de máxima intensidad admisible y el de máxima caída de tensión permisible.

De acuerdo a la norma NOM-001-SEDE en los circuitos de la fuente y de salida fotovoltaica la capacidad de conducción del cableado debe seleccionarse con un valor de 1.25 veces la corriente de corto circuito, I_{sc} , del módulo FV, panel o arreglo fotovoltaico.

La corriente máxima que debe soportar el cable está dado por:

$$I_{sc} = 8.56A$$

$$I_{MOD.SC.STC} = 1.25 * 8.56 = 10.7 A$$

De igual manera se tomaron en cuenta los cálculos de protecciones de CD, los fusibles empleados están diseñados para intensidad continua y deben ser capaces de soportar 1.1 veces la tensión de circuito abierto del generador fotovoltaico.

El cálculo de cableado de AC debe soportar 1.25 veces la intensidad nominal a la salida del inversor. Además, dicha intensidad nominal del inversor se deduce de la potencia y tensión AC nominales del inversor, la protección utilizada en AC fue un interruptor termo magnético marca Bticino modelo FE82/32 que tiene una corriente $I = 32 A$.

Dado que la distancia entre el inversor y el tablero de distribución no es mayor a 10m no se requiere protección contra sobretensión.

La estructura soporte fue de acero galvanizado con doble cadena de módulos en la misma estructura, por lo que no tendrá problemas con la separación mínima entre cadenas de módulos, todo con tornillería de acero inoxidable y sujeta a la residencia según lo establecido en el documento "especificaciones técnicas, de seguridad y funcionamiento de proyectos e instalaciones de sistemas fotovoltaicos ESP-ANCE-02"

El electrodo sistema de puesta a tierra, según se establece en el Art. 250-81 de la NOM 001-SEDE-vigente, puede ser uno o alguna combinación de los que se indican a continuación. En ningún caso se permite que el valor de la resistencia a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra sea superior a 25Ω .

Se utilizara una varilla de acero cobrizada del tipo Copper Weld de 15mm de diámetro (5/8") y 3 m de longitud enterrada de manera vertical por lo menos 2.4m, y un cable conductor de cobre desnudo calibre 8AWG 8.4mm². Esta será usada para el sistema fotovoltaico en el circuito de CD.

Tomando en cuenta los valores de la irradiación media mensual y temperatura máximo promedio, se pudo estimar la cantidad de energía producida por el generador fotovoltaico además de calcular perdidas de energía que pudieran tener efectos por temperatura, tales como perdidas de corriente continua y alterna, perdidas por temperatura de los módulos y eficiencia del inversor, perdidas por polvo y/o suciedad en los módulos y reflectancia angular y espectrales.

Tomando los promedios anuales de las perdidas anteriores, se hizo un cálculo aproximado de las pérdidas que tendría el sistema fotovoltaico.

$$PR = 0.985, 0.985, 0.95, 0.955, 0.96, 0.965 = 0.81$$

No se han tomado en cuenta las pérdidas por sombreado ni por mala orientación de los módulos ya que el generador se ubicara con orientación óptima y sin problema de sombreado.

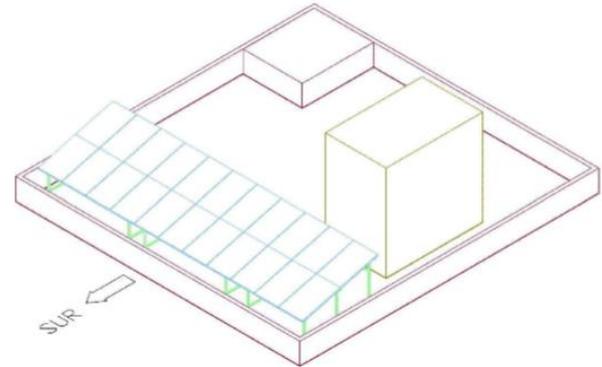


Figura 3 Vista del emplazamiento con los módulos fotovoltaicos

Tomando en cuenta todas las pérdidas que experimenta el generador se pudo realizar un cálculo estimado de la energía producida por el generador a lo largo del año.

La producción estimada mensual la haremos con la siguiente formula:

$$E = N \text{días}, \text{HSP}, \text{PR}, \text{Pinst}$$

En la siguiente tabla encontraremos los resultados de la producción estimada por cada mes.

Mes	Días	HSP	PR	Pinst(kW)	E(kWh)
Enero	31	3.65	0.81	5.17	474
Febrero	28	4.23	0.81	5.17	496
Marzo	31	4.86	0.81	5.17	631
Abril	30	5.35	0.81	5.17	672
Mayo	31	5.46	0.81	5.17	709
Junio	30	5.07	0.81	5.17	637
Julio	31	5.27	0.81	5.17	684
Agosto	31	5.05	0.81	5.17	656
Septiembre	30	4.46	0.81	5.17	560
Octubre	31	4.29	0.81	5.17	557
Noviembre	30	3.95	0.81	5.17	496
Diciembre	31	3.55	0.81	5.17	461

Tabla 6 Producción de energía fotovoltaica mensual

El autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares fotovoltaicos en el que la residencia de estudio se encuentra sujeta.

Tomando como base la energía generada de la tabla anterior, determinamos y comparándola con la tabla tenemos que:

Mes	E(kWh) producida por el generador fotovoltaico	Energía necesaria por el SFV para lograr la tarifa 1C	Diferencia
Enero	474	75	-399
Febrero	496	75	-421
Marzo	631	440	-191
Abril	672	440	-232
Mayo	709	550	-159
Junio	637	550	-87
Julio	684	635	-49
Agosto	656	635	-21
Septiembre	560	180	-380
Octubre	557	180	-377
Noviembre	496	50	-846
Diciembre	461	50	-411

Tabla 7 Diferencia de energía producida vs energía necesaria para lograr rango intermedio

Podemos ver que en todos los meses se tiene energía que se abona a la tarifa básica y elimina el valor “excedente”, que en ese rango es uno de los conceptos más caros de la cuota que se paga a la CFE.

Lo que asegura con este diseño es el seguro cambio de tarifa DAC a tarifa 1C que es la que rige en esa zona geográfica donde se encuentra la residencia.

Resultados

En las gráficas siguientes se muestra el antiguo consumo de la residencia VS la generación fotovoltaica estimada y como después de ser consumida por la residencia se logra un nuevo consumo que se encuentra por debajo del límite que la CFE impone para mantenerse en la tarifa subsidiada.

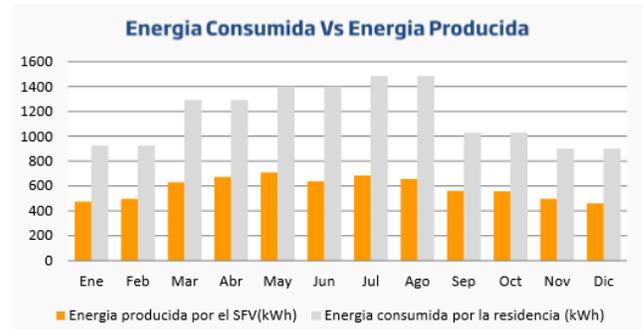


Figura 4 Energía consumida vs energía producida

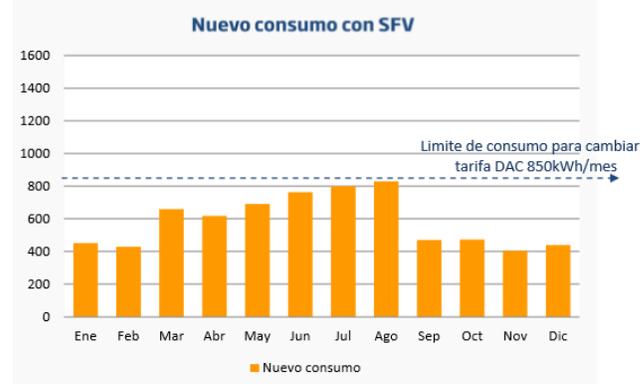


Figura 5 Energía consumida con sistema fotovoltaico

En la grafica anterior logramos observar como la energía de autoconsumo llevo a la energía consumida mensualmente a valores que regresaron a la residencia de nuevo a tarifa 1C.

La tecnología fotovoltaica es una tecnología limpia que durante su funcionamiento no produce ningún tipo de emisiones de gases perjudiciales para el medio ambiente.

Por esta razón el uso de sistemas fotovoltaicos puede ayudar a disminuir graves problemas medioambientales como pueden ser el efecto invernadero provocado por las emisiones de CO₂ a la atmosfera.

En una central de generación eléctrica convencional, dependiendo del tipo de tecnología utilizada, el promedio de emisiones de gases contaminantes en relación al KWh generado es el siguiente.

Emisiones de gases contaminantes de CO ₂ por cada kWh de energía consumida
Carbón (kg)
0.40

Tabla 8 Emisiones de CO₂ (fuente 4)

Dado que el sistema fotovoltaico estará produciendo un estimado anual de 7033KWh/anuales se evitaría una emisión de 2813.2 kg de CO₂

En este apartado se anexan los costos del proyecto, se han buscado los precios más bajos sin perder la calidad en cada uno de los materiales usados en la instalación.

Tarea	Personal	Tiempo (horas)	Precio Total USD
Estructura Paneles	Electricista1 y ayudante1	5	2,526.50
Montaje de Paneles	Electricista1 y ayudante1	5	8,133.40
Toma de tierra	Electricista1 y ayudante1	3	194.51
Instalación tubería y cableado	Electricista2 y ayudante2	2	80.00
Instalación protección CD	Electricista1 y ayudante1	3	217.30
Instalación Inversor	Electricista1 y ayudante1	3	3,439.21
Instalación protección AC	Electricista1 y ayudante1	2	280.00
		Total	14,870.92

Tabla 9 Costo total del proyecto

El sistema fotovoltaico generara ahorros mensuales que se presentan en la siguiente tabla tomando en cuenta la tarifa DAC central.

Mes	Días al mes	Consumo (kWh)	Producción del GFV	Ahorro con con tarifa DAC
1	31	925	474	1720
2	28	925	496	1800
3	31	1,290	631	2290
4	30	1,290	672	2439
5	31	1,400	709	2573
6	30	1,400	637	2312
7	31	1,485	684	2483
8	31	1,485	656	2381
9	30	1,030	560	2033
10	31	1,030	557	4055
11	30	900	496	1800
12	31	900	461	1673
			Total	\$27,559MN
			Total USD	\$2,153

Tabla 10 Ahorros mensuales

Con esta tabla podemos determinar que el ahorro anual simple será de \$2153.00 USD tomando en cuenta que el costo total del proyecto es de \$ 14,870.92 USD se tendría un retorno simple de 6.9 años, este retorno se logra gracias a que la tarifa DAC es muy alta lo que no se lograría si la residencia se encontrara en tarifa 1C que es la que tendría debido a la zona geográfica donde se encuentra. Podemos determinar que la tarifa DAC representa la mejor situación para incluir un sistema fotovoltaico para eliminar esta tarifa.

Conclusiones

La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de las energías renovables en el mundo. Comparada con las fuentes no renovables, las ventajas son claras: es no contaminante, no tiene partes móviles que analizar y no requiere mucho mantenimiento.

No requiere de una extensa instalación para operar. Los generadores de energía pueden ser instalados de una forma distribuida en la cual los edificios ya construidos, pueden generar su energía de forma segura y silenciosa. No consumen combustibles fósiles. No genera residuos. No produce ruidos es totalmente silenciosa.

Es una fuente inagotable. Ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente.

El nicho más rentable para la aplicación de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial son los hogares que pagan tarifa DAC. Sin embargo es un nicho escaso comparado con la cantidad global de usuarios residenciales y se podrían generar implicaciones negativas para el estado (incremento de subsidios) si se dan los cambios de tarifa.

Referencias

Nofuentes, G. (2011/2012). Sistemas fotovoltaicos conectados a red " Métodos de dimensionado". Universidad Internacional de Andalucía.

Barzalobre, V., Carrasco, F & Brailovsky P. Programa de fomeneto de sistemas fotovoltaicos en Mexico.

Comision Federal de Electricidad. <http://www.cfe.gob.mx/paginas/home.aspx>

ENDESA. <http://www.endesa.com>

Fabricante de módulos fotovoltaicos <http://www.wiosun.com/en us/index.html>

Sidrach, M. (2008/2009) Ingeniería de los sistemas autonomos. Introducción al diseño y dimensionado de sistemas fotovoltaicos autonomos. Universidad internacial de Andalucía.

Fabricante de inversores <http://www.fronius.com.mx/>

Fabricante de inversores <http://www.sma-america.com/en US.html>

Fabricante de componentes electricos <http://www.bticino.com.mx/>

Fabricante de componentes electricos <http://www.littelfuse.com.mx/>

Fabricante de estructuras para modulos fotovoltaicos <http://www.schletter.de/es/>

Especificaciones técnicas, de seguridad y funcionamiento de proyectos e instalaciones de sistemas fotovoltaicos ESP-ANCE-02.

NASA Surface meteorology and Solar Energy <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi?email=rets@nr can.gc.ca>

Google <https://www.google.com/earth/index.html>