

PROYECTO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA CON PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA EN POBLACIÓN MARGINADA DEL ESTADO DE CAMPECHE, MÉXICO

Data de aceite: 02/08/2023

Lezama Zárraga Francisco Román

Universidad Autónoma De Campeche,
Campus V, San Francisco de Campeche,
Cam., México.

Chan González Jorge de Jesús

Universidad Autónoma De Campeche,
Campus V, San Francisco de Campeche,
Cam., México.

Shih Meng Yen

Universidad Autónoma De Campeche,
Campus V, San Francisco de Campeche,
Cam., México.

Salazar Uitz Ricardo Rubén

Universidad Autónoma De Campeche,
Campus V, San Francisco de Campeche,
Cam., México.

Noh Pat Felipe.

Universidad Autónoma De Campeche,
Campus V, San Francisco de Campeche,
Cam., México.

Generación Distribuida (GD) será posible direccionar la energía eléctrica que produce esta planta para su autoconsumo y venta de los excedentes a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), dependiendo del análisis de contraprestación de servicios que le sea más conveniente a los productores. La planta generadora será administrada por la cooperativa agrícola formada por el comisario y agricultores más activos del poblado y los recursos económicos necesarios para su construcción y puesta en servicio serán a través de un mecanismo de financiamiento otorgado por el Fideicomiso de Ahorro de Energía (FIDE) y cuando ya se haya pagado en su totalidad, los beneficios económicos serán para las familias asegurando mantener energía eléctrica en los hogares sin costo y lograr fortalecer el desarrollo económico del poblado mediante la administración de los recursos obtenidos de la venta de la energía eléctrica a la CFE.

PALABRAS-CLAVE: Generación Distribuida, autoconsumo, población marginada.

RESUMEN: En este artículo se propone el proyecto para la implementación de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a Red (SFVIR) que beneficie a la población marginada de la localidad agrícola de Xbilincoc, Campeche. A través de la

INTRODUCCIÓN

En este artículo, se propone el diseño e implementación de una planta

generadora fotovoltaica de energía eléctrica interconectada a la red de distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el poblado rural de Xbilincoc, Hopelchén, Campeche con el fin de proporcionar la energía eléctrica a las viviendas para autoconsumo y para comercializar parte de esa energía a través de su venta a la Comisión Federal de Electricidad. Dicha energía será utilizada en las labores cotidianas en los hogares y del excedente que no se consume será vendida a la CFE para obtener recursos económicos que se invertirán en la instalación de los servicios públicos en el poblado con el fin de mejorar la calidad de vida de los pobladores.

Por medio del Departamento de Electrificación Rural, la CFE construirá un ramal de la línea de distribución con una longitud de 4.5 km para alimentar en media tensión al poblado y construirá la red interna de distribución a 34500/220-127 V. A través del concepto de Generación Distribuida el poblado dispondrá de energía eléctrica de calidad en el sitio debido a que la energía no recorrerá grandes distancias desde la generación hasta el punto de consumo eliminando así las pérdidas en la línea.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La localidad de Xbilincoc, en el municipio de Hopelchén, en el Estado de Campeche es una población marginada que actualmente no cuenta con el servicio público de energía eléctrica, su única fuente de consumo de electricidad es a través de paneles fotovoltaicos individuales de 180 W, de los cuales se tiene instalado 3 paneles por vivienda lo hace insuficiente para cubrir las necesidades básicas de los pobladores.

Con respecto al consumo de energía eléctrica las viviendas sólo cuentan algunos focos incandescentes, focos fluorescentes y un pequeño refrigerador.

Existe un antecedente en 2006 del uso de paneles fotovoltaicos aislados en la comunidad; sin embargo, debido a la falta de mantenimiento y capacitación a los pobladores se dañaron las baterías y otros accesorios, ocasionando que actualmente el sistema en cada vivienda funcione ineficiente y en algunos casos se mantenga en desuso. Por otra parte, la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad se encuentra a 4.5 km aproximadamente del poblado y las autoridades han realizado gestiones a través de los años para que la CFE les suministre la energía eléctrica, pero hasta el momento no han rendido frutos estas gestiones.

Derivado de lo anterior, se propone la implementación de una planta generadora de energía eléctrica con un sistema fotovoltaico interconectado a red (SFVIR) y así cubrir y satisfacer las necesidades básicas socioeconómicas de la población. Con la operación del SFVIR, mediante un esquema de cooperativa agrícola, actuando como un Productor Independiente de Energía (PIE), se podrá generar y vender la energía eléctrica a un Suministrador Calificado y este a su vez, la venderá a la CFE Suministro Básico y el capital obtenido de las ventas para el crecimiento económico será destinado a la promoción de

empleos y el desarrollo sostenible de la población, lo que contribuirá a que la población tenga una mejor calidad de vida, y una mejor productividad en su actividad local principal que desarrollan actualmente como es la agricultura.

En México tenemos la oportunidad de aprovechar los recursos naturales renovables para desarrollar tecnologías y crear centrales eléctricas generadoras de menor capacidad y mayor eficiencia que las plantas generadoras convencionales, siendo esta una alternativa muy atractiva tanto técnica como económica. Y también existen muchos mecanismos de financiamiento público como FIDE, CONUEE, GIZ, FOTEASE, FSE, FSUE, etc., que otorgan crédito o financiamiento a través de proyectos de desarrollo para el combate a la pobreza, creando vinculación entre Estados, Municipios y Gobierno Federal para el establecimiento de acuerdos y convenios.

Es una oportunidad para el poblado de Xbilincoc lograrlo, por lo que se debe concientizar profundamente a los pobladores sobre su implementación y los beneficios socioeconómicos que se obtendrán para ellos y para el medio ambiente.

MARCO TEÓRICO

La legislación en materia de energía eléctrica ha evolucionado en los últimos años, de solamente permitir el monopolio de la CFE, a la nueva legislación puesta en marcha en 2016 que permite la participación de empresas privadas en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) para promover la competencia entre Productores y Comercializadores y así romper con el monopolio de la CFE.

En la anterior legislación, es decir, con la Ley del Servicio Público de la Energía Eléctrica (LSPEE) existía la figura del Productor Independiente de Energía (PIE), al que el organismo regulador de energía, la Comisión Reguladora de Energía (CRE), le permitía solamente vender su energía eléctrica a la CFE. Ahora con la nueva Ley de la Industria Eléctrica (LIE), aparece la figura de Prosumidor, el cual es un PIE que utiliza la energía que genera para autoconsumo, cogeneración y venta a la CFE. Otra ventaja que se tiene con esta nueva legislación es que el Prosumidor puede generar energía en Alta, Media o Baja Tensión, por lo que un usuario en baja tensión puede ser ahora un productor en baja tensión. El Prosumidor puede ser una persona física o una organización (pequeña o mediana empresa) nombrada persona moral. Ambos tienen las mismas posibilidades de consumir o vender la energía eléctrica que producen en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

El mayor potencial de crecimiento para el nuevo esquema de generación de energía está en la energía solar con los sistemas fotovoltaicos. Las empresas industriales, pequeñas y medianas del país están en camino hacia la producción de su propia energía que consumen; sin embargo, la falta de financiamiento y el lento retorno de inversión desmotivan a esta importante alternativa de generación.

En México existen 4.2 millones de unidades económicas (Secretaría de Economía, 2019), de las cuales el 99.8 por ciento de ellas son pequeñas o medianas empresas (pymes) que aportan el 42 por ciento del producto interno bruto y generan el 78 por ciento del empleo en el país.

En marzo de 2019, la CRE dio a conocer que existen 94 mil 844 techos de este tipo en México, con una capacidad total de poco más de 692 Megawatts (MW). Tan sólo en 2018, se instalaron más de 35 mil, lo que representa un 60 por ciento de crecimiento en el país en un año. Para la generación distribuida (GD), estos contratos contemplan una capacidad instalada de 570.20 MW, mientras que los de pequeña y mediana escala alcanzaron 247.65 MW. Esto se observa en la tabla 1.

De igual manera, la migración hacia la Generación Distribuida se observa en la figura 1, con el aumento en la capacidad instalada y en los contratos otorgados a los PIE.

Por entidad federativa, Jalisco, con 17 mil 97; Nuevo León, con 11 mil 45; y la Ciudad de México, con 7 mil 376, fueron los estados con mayor número de contratos.

	Capacidad instalada (MW)	Contratos (Miles)
Pequeña y Mediana escala	247,65	29.556
Generación Distribuida	570,2	83.104
Total	817,85	112.660

Tabla 1. Evolución Anual, de contratos de pequeña y mediana escala y Generación Distribuida.

Fuente: Comisión Reguladora de Energía, marzo 2019.



Figura 1. Evolución Anual de capacidad instalada/contratos, según datos de la empresa productiva subsidiaria de la CFE.

Fuente: Comisión Reguladora de Energía, marzo de 2019.

Por capacidad instalada, Nuevo León, con 91.34 MW; Jalisco, con 88.86 MW; Estado de México, con 74.83 MW; así como la Ciudad de México, con 64.68 MW, fueron las

entidades más relevantes en 2018.

Es importante considerar que, en los años, 2019 y 2020 se ha ido frenando ese crecimiento justificando que la Generación Distribuida con energías limpias, como la eólica y la solar fotovoltaica son intermitentes y que no otorgan confiabilidad al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Ejemplos en las restricciones son los acuerdos de CENACE y la SENER del 29 de abril y 15 de mayo de 2020 (SEGOB, 2020).

En la Generación Distribuida, existen plantas generadoras con energías fósiles y con energías limpias. En la tabla 2, se observa que las menores plantas generadoras son las hidroeléctricas, Gas, Biomasa, Diesel o combustóleo, Eólica y Biogás, mientras que la planta generadora de mayor auge es la solar fotovoltaica.

Tecnologías	Capacidad (MW)	No. Contratos	Porcentaje (%)
Hidroeléctricas	0,009	4	0
Gas	0,077	9	0,01
Biomasa	0,81	10	0,1
Diésel o Combustóleo	0,72	13	0,01
Eólica	0,19	19	0,02
Biogás	3,97	49	0,49
Solar Fotovoltaica	812,6	112.500	99,3

Tabla 2. Esquema de participación de las tecnologías, en cuanto a capacidad, contratos y porcentaje.
Fuente: Comisión Reguladora de Energía, marzo de 2019.

METODOLOGÍA

Para este proyecto, se empleó una metodología, partiendo de un análisis socioeconómico a la población, seguido de un censo de carga, luego se realizó una planeación de la red de distribución al interior del poblado junto con el ramal de interconexión, se dimensionó la planta solar fotovoltaica y finalmente un análisis de costos que se presenta al Programa Fideicomiso de Ahorro de Energía (FIDE) para obtener el financiamiento de la planta solar fotovoltaica con su tiempo de retorno con el fin de verificar el tiempo en que los beneficios ya serán para la población.

Este estudio tendrá el propósito de sentar las bases para que otras poblaciones marginadas puedan acceder a los programas de financiamiento y de electrificación rural para lograr ser prosumidores de energía eléctrica que participen en el Mercado Eléctrico Mayorista y obtengan beneficios económicos que aumenten su calidad de vida.

La Generación Distribuida y el Código de Red

La DPCA (Distribution Power Coalition of America) la define como cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona electricidad en puntos más

cercanos al consumidor o a la red de transmisión o distribución. Por otra parte, la IEA (International Energy Agency) considera como GD, únicamente, la que se conecta a la red de distribución en baja tensión y la asocia a tecnologías como los motores, miniturbinas y microturbinas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica. Bajo este esquema, el SFVIR será eficiente.

Las Disposiciones de Conexión del Código de Red son aplicables a todos los Centros de Carga conectados en Media y Alta Tensión. Lo anterior, independientemente de la demanda contratada, es decir, el cumplimiento del código de Red no se diferencia para los usuarios de Suministro Básico, Calificado, Usuarios Calificados Participantes del Mercado Eléctrico Mayorista, Generación de intermediación, prosumidores, etc. Nuestro SFVIR debe cumplir con estos requerimientos para que sea interconectado al Sistema Eléctrico Nacional.

Situación socioeconómica y censo de carga

El oficio que desempeña el 100% de los jefes de familia es agricultor, y sus ingresos promedio son muy bajos, entre \$4500.00 y \$7500.00 mensuales (fuente: los mismos pobladores y el comisario), por lo que no cuentan con ingresos fijos ni seguros que proporcionen bienestar para sus familias. Las familias son en promedio de 6 personas: padre, madre y 4 hijos, por lo que los ingresos económicos son insuficientes. Muchos jóvenes y algunas cabezas de familia han tenido que emigrar a las poblaciones cercanas en busca de trabajo. Además, carecen de los servicios público de energía eléctrica y es por eso la necesidad de darles la oportunidad de construirles y dejarles administrar la planta generadora fotovoltaica, previa capacitación y puesta en servicio.

Se realizó un estudio de las viviendas que cuentan con servicio de energía eléctrica proveniente de los tres paneles antiguos con que cuentan. Esto se muestra en la siguiente tabla.

No. de viviendas	Foco incandescente de 100W	Lámpara fluorescente de 54 W	Refrigerador de 700 W
19	cero	4	1
11	2	2	1
4	4	cero	cero

Tabla 3. Resultado del censo de carga eléctrica en las viviendas.

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en ambos estudios, las familias no cuentan con recursos económicos suficientes para su manutención y, además, carecen de un servicio público de energía eléctrica eficiente, esto sumado a que no hay servicio de alumbrado público, haciendo peligroso el tránsito de las personas por la noche.

Red de Distribución en el poblado

A través del Departamento de Electrificación Rural de la CFE y los autores de este artículo, se elaboró el proyecto de la Red de Distribución del poblado de Xbilincoc, quién licitará el concurso para su construcción. A continuación, en la tabla 4 se presenta algunas de las estructuras, dispositivos y conductores que se instalarán.

CUADRO DE DISPOSITIVOS AÉREO												
No.	POSTE NUEVO	POSTE DE RETIRO	DISPOSITIVOS						TIERRAS	OMETID.	UMINARI.	EQUIPOS
			MEDIA	BAJA RETIRO	NUEVO	RETENIDAS NUEVO	RETRO					
1	12-750		AD3C/BRF3A				2-RDA					
2	12-750		T53N						TIE			
3	12-750		T53N/RD2			1R3			TIE	1	1	2CCF
4	12-750		AD2N			1R3/1R3	RDA				1	
5	12-750		T53N								1	
6	12-750		RD2N/RD2			1R3/1R3	RDA-REA				1	
7	12-750		T53N								1	
8	12-750		RD2N/RD2			1R3/1R3	RDA-RBA		TIE	2	1	

Tabla 4. Muestra de algunas estructuras, dispositivos y conductores de la red de distribución del poblado de Xbilincoc.

Fuente: Elaboración propia.

Ramal de Distribución para el poblado

El circuito de Distribución de la CFE que alimentará al poblado se llama Ukúm (Circuito CMO05030) con un voltaje de 34.5 kV, pero se encuentra a 4.5 km. del punto de interconexión del poblado, por lo que se requiere construir un ramal de alimentación para el poblado. De la misma manera que la Red de Distribución del poblado, este Ramal se construirá con recursos del Departamento de Electrificación Rural de la CFE. En la tabla 5 se muestran algunas de las estructuras, dispositivos y conductores que se instalarán.

CUADRO DE DISPOSITIVOS AÉREO				
No.	POSTE NUEVO	DISPOSITIVOS		
		MEDIA	RETENIDAS	TIERRAS
1	13C-600	CT1G/CT2		
2	13C-600	HA3G	2RDA	1
			2RSA	
3	13C-600	CT1G/CT2		
4	13C-600	CT1G/CT2		1
5	13C-600	CT1G/CT2	TEMPESTAD	
6	13C-600	CT1G/CT2		1
7	13C-600	CT1G/CT2		

Tabla 5. Muestra de algunas estructuras, dispositivos y conductores del ramal de distribución del poblado de Xbilincoc.

Fuente: Elaboración propia.

La Central Generadora Fotovoltaica y sus arreglos fotovoltaicos

Derivado de la necesidad de energía eléctrica en las viviendas del poblado de Xbilincoc, se consideró 4 módulos FV de 440 Wp para cada vivienda, por lo que se tendrá

una carga de 1.76 kW por hogar. Son 34 viviendas en total por lo que la demanda de potencia del poblado será

$$P_{\text{poblado}} = 440 \text{ W}_p \cdot 4 \text{ módulos} \cdot 34 \text{ viviendas} = 59,840 \text{ W} \quad (1)$$

Y pensando en producir un 50% más para venta directa a CFE, se tendrá:

$$P_{\text{Total}} = 150\% P_{\text{poblado}} = 1.5 (59,840 \text{ W}) = 89,760 \text{ W} = 89.76 \text{ W} \quad (2)$$

El número de módulos FV se obtiene de

$$\text{No. módulos FV} = \frac{89,760 \text{ W}}{440 \text{ W}} = 204 \text{ módulos} \quad (3)$$

En nuestro diseño se proponen 3 arreglos fotovoltaicos de 24 kW y un arreglo de 17.5 kW. Cada arreglo de 24 kW contará con cadenas (string) de 14 módulos (440 W cada uno) en serie y dos cadenas en paralelo por cada MPPT. El inversor cuenta con 2 MPPT. Por lo tanto, cada inversor tendrá 56 módulos. Para cada arreglo se propone un inversor FRONUIS SYMO 24.0-3 480.

El arreglo de 17.5 kW contará con cadenas (string) de 20 módulos (440 W cada uno) en serie por cada MPPT. El inversor cuenta con 2 MPPT. Por lo tanto, el inversor tendrá 40 módulos. Para este arreglo se propone un inversor FRONUIS SYMO 17.5-3 480.

Selección del módulo fotovoltaico

Se propone un módulo fotovoltaico policristalino, marca CanadianSolar, modelo HiKu SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE de 440 W, con las características que se muestran en la tabla 6.

Características eléctricas					
Potencia (Wp)	Voc (V)	Vmp (V)	Isc (A)	Imp (A)	Eficiencia (%)
440	48.7	40.3	11.4	10.92	19.92
Características mecánicas y físicas					
Tipo de celda	Arreglo de celdas	Dimensiones (mm)	Peso (kg)	Temp. del módulo (°C)	Masa de aire
Policristalino, Generación III	2x(12x6) (144 celdas)	2108x1048x40	24.9	25	1.5

Tabla 6. Características eléctricas y mecánicas del módulo FV.

Fuente: elaboración propia.

Selección del inversor

Se selecciona el inversor para la planta solar fotovoltaica. En esta ocasión se

propone un inversor que cumpla con los requerimientos en CD de los arreglos FV mostrados anteriormente y con los puntos de conexión de mppt, además de los requerimientos en CA. Para los 3 arreglos de 24 kW., se ha seleccionado inversores centrales trifásicos para interconexión a la red de la marca FRONIUS modelo SYMO 24.0-3 480, con las características mostradas en la tabla 7.

Inversor Fronius Symo 24.0-3 480						
Potencia FV (kWp)	Número de MPPT	Total de corriente de entrada utilizable (MPPT1+MPPT2) (A)	Máxima lcc por serie FV (A)	Rango de Vcd MPP (V)	Tensión de salida en CA (V)	Corriente de salida en CA (A)
19 – 31	2	51	49.5/37.5	500 - 800	480	28.9

Tabla 7. Características eléctricas de entrada y salida del inversor FV.

Fuente: elaboración propia

De igual manera, para el arreglo de 17.5 kW se selecciona el inversor para la planta solar fotovoltaica. Se propone un inversor que cumpla con los requerimientos en CD de los arreglos FV y con los puntos de conexión de mppt, además de los requerimientos en CA. Se ha seleccionado inversores centrales trifásicos para interconexión a la red de la marca FRONIUS modelo SYMO 17.5-3 480, con las características mostradas en la tabla 8.

Inversor Fronius Symo 22.7-3 480						
Potencia FV (kWp)	Número de MPPT	Total de corriente de entrada utilizable (MPPT1+MPPT2) (A)	Máxima lcc por serie FV (A)	Rango de Vcd MPP (V)	Tensión de salida en CA (V)	Corriente de salida en CA (A)
14.0 – 23.0	2	51	49.5/37.5	500 - 800	480	21.0

Tabla 8. Características eléctricas de entrada y salida del inversor FV.

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de conductores

Se realizó el cálculo del alimentador que va desde el Tablero de Distribución hacia cada inversor. Para cada inversor que controla 56 módulos FV, tenemos:

$$I_{nom} = \frac{P}{\sqrt{3}V_L \cos\theta} = \frac{24640}{\sqrt{3}(480 V)(0.9)} = 32.93 A$$

Calculamos la I corregida, tomando los siguientes factores para cumplir con la NOM-

001-SEDE-2012: F.C.T. = Factor de corrección por temperatura = 0.88, F.D. = Factor de demanda = 1.0 y F.C.A. = Factor de corrección por agrupamiento = 1.0

$$I_{corr} = \frac{I_{nom}(F.D.)}{(F.C.T.)(F.C.A.)} = \frac{32.93A(1)}{(0.88)(1)} = 37.42 A$$

De acuerdo con la tabla 310-15(b)2(a) de la NOM-001-SEDE-2012 sobre la ampacidad de conductores, tenemos un alimentador que tenga temperatura nominal de 75° C THHW calibre 8 AWG, con una ampacidad de 50 Amperes y una sección transversal de 8.37 mm². Verificamos que cumpla con el criterio de caída de tensión, tomando la distancia del inversor más alejado del tablero de distribución, la cual es 38 m. y tenemos:

$$\%e = \frac{2\sqrt{3} L I_{nom}}{s V_f} = \frac{2\sqrt{3}(38m.)(32.93 A)}{(8.37 mm^2)(480V)} = 0.028\% < 3\%$$

De acuerdo con nuestro cálculo, el conductor **THHW calibre 8 AWG** cumple con la NOM-001-SEDE-2012 para el polo positivo y el polo negativo. También para el inversor que controla 40 módulos FV se consideró el mismo calibre.

Cálculo de las protecciones

El interruptor termomagnético para cada uno de los tres arreglos fotovoltaicos de 56 módulos se obtuvo de:

$$I_{m\acute{a}x} = I_{protección} = 125\% I_{nom} = 1.25 (32.93 A) = 41.16 A$$

Se requieren 3 interruptores termomagnéticos de **3P-50 Amperes, tipo I-Line**.

Para el inversor de 40 módulos FV, tenemos:

$$I_{nom} = \frac{P}{\sqrt{3}V_L \cos\theta} = \frac{17600}{\sqrt{3}(480 V)(0.9)} = 23.52 A$$

Con un interruptor de:

$$I_{m\acute{a}x} = I_{protección} = 125\% I_{nom} = 1.25 (23.52 A) = 29.4 A$$

Se requiere 1 interruptor termomagnético de **3P-30 Amperes, tipo I-Line**.

El interruptor principal del tablero I-Line debe ser de:

$$I_{nom} = 3(32.93 A) + 1(23.52 A) = 122.31 A$$

También:

$$I_{nom} = \frac{P}{\sqrt{3}V_L \cos\theta} = \frac{89760}{\sqrt{3}(480 V)(0.9)} = 122.31 A$$

El interruptor principal será:

$$I_{m\acute{a}x} = I_{protección} = 125\% I_{nom} = 1.25 (122.31 A) = 152.88 A$$

Se requiere 1 interruptor termomagnético de **3P-175 Amperes, tipo I-Line**.

El Tablero de Distribución será trifásico tipo I-Line con su interruptor principal de 3P-175 y de 32 espacios, modelo JG250M141B en gabinete Nema-1.

Capacidad del transformador y su listón fusible

Para obtener la capacidad del transformador, se considera un 15% libre para futuras cargas, y está dada por:

$$kVA = 115\% \frac{kW_p}{\cos\theta} = 1.15 \left(\frac{89.76 \text{ kW}_p}{0.9} \right) = 114.69 \text{ kVA}$$

Entonces, se requiere un transformador de distribución trifásico de 150 kVA, elevador de 480-254/34,500 V., conexión Estrella-Delta, con protección contra sobretensiones a base de tres apartarrayos ADA 33 kV.

La acometida en Media Tensión de la CFE será tipo aérea, con conductor AAC calibre 2 AWG, con 3 cortacircuito fusible (CCF) para 34.5 kV y con listón fusible de:

$$I_{\text{primario}} = \frac{P}{\sqrt{3}V_L \cos\theta} = \frac{89760}{\sqrt{3}(34500 \text{ V})(0.9)} = 1.66 \text{ A}$$

Se requieren 3 listón fusible de 2 Amperes.

La figura 2 ilustra el diagrama de los arreglos de la central generadora de 89.76 kWp.

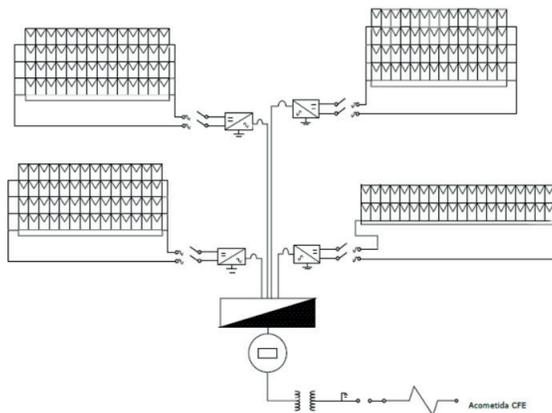


Figura 2. SFVIR para operar como Generación Distribuida.

Fuente: elaboración propia.

Costo y financiamiento de la Central Generadora Fotovoltaica

Para la construcción de la planta generadora fotovoltaica, se acudió a solicitar financiamiento al Fideicomiso de Ahorro de Energía (FIDE), el cual otorgará el capital del costo total del SFVIR por un importe de 91,829.84 dólares americanos a través de un contrato entre el Proyecto Servicios Integrales de Energía (PSIE) del Gobierno Federal y la

cooperativa de pescadores, de los cuales alrededor de 45,914.92 dólares serían aportados por el Gobierno Federal como un subsidio de “inversión”. El PSIE fue diseñado para apoyar las estrategias y medidas de electrificación rural establecidas por la Secretaría de Energía (SENER) y definidas como prioridad por la administración federal.

Proyección de la producción de la energía generada y sus beneficios

En la tabla 9 se observa un estimado de la proyección de generación de energía mensual. La producción depende del recurso solar, dado en horas solar pico promedio mensuales, y la cantidad de días del mes. Los datos mensuales del recurso solar se obtuvieron de NREL (The National Renewable Energy Laboratory). La energía anual generada será de 193,865.42 kWh anuales en condiciones ideales; pero en la realidad las condiciones climatológicas reales son variantes con el tiempo, existen días nublados, días lluviosos, alguna basura que caiga sobre los módulos FV, entre otros inconvenientes, por lo que se considera empíricamente un 20% de pérdidas (Weber, B, et al, 2020), dando una generación de energía anual de 155,092.33 kWh.

Mes	kWp instalados	Horas solar pico	Días al mes	kWh generados al mes
Enero	89.76	5.25	31	14,608.44
Febrero	89.76	5.86	28	14,727.82
Marzo	89.76	6.48	31	18,030.98
Abril	89.76	6.52	30	17,557.05
Mayo	89.76	6.30	31	17,530.12
Junio	89.76	6.01	30	16,183.73
Julio	89.76	6.06	31	16,862.32
Agosto	89.76	6.15	31	17,112.74
Septiembre	89.76	6.11	30	16,453.01
Octubre	89.76	5.76	31	16,027.54
Noviembre	89.76	5.58	30	15,025.82
Diciembre	89.76	4.94	31	13,745.85
Producción anual				193,865.42

Tabla 9. Proyección mensual de la generación de energía.

Fuente: elaboración propia.

Recordemos que, de esta producción, el 50% aproximadamente será vendida a la CFE, bajo el esquema de contraprestación de **NET BILLING** y será de acuerdo con lo que se registre en el medidor bidireccional al mes. La energía eléctrica que se genera con energías renovables y que se vende a la CFE, tiene un precio entre 80 y 120 dólares por MWh (SENER, 2020). Siendo la solar fotovoltaica la más barata, tomaremos el precio de 80

dólares por MWh y esto nos da un recurso económico anual estimado de

$$\text{Importe anual} = 50\% \text{ Producción anual en MW} \cdot \left(80 \frac{\text{dólares}}{\text{MW}}\right)$$

$$\text{Importe anual} = 0.5 (155.092 \text{ MW}) \cdot \left(80 \frac{\text{dólares}}{\text{MW}}\right) = 6203.68 \text{ dolares}$$

Este capital, será utilizado para ser aplicado en dos rubros:

1. El 50% se utilizará para pagar el financiamiento otorgado por el PSIE para la implementación de la planta generadora fotovoltaica, por lo cual dejarían de pagar la inversión en 7.4 años y a partir de ahí, las ventas netas serán para los pobladores.
2. El otro 50% se empleará en mejorar la calidad de vida de las familias de Xbilincoc, a través de la implementación de servicios públicos y programas sociales que apoyen el bienestar de las familias.

La venta de energía se realizará a un suministrador calificado y este lo venderá a la CFE. Con la puesta en marcha de la central generadora fotovoltaica, el poblado de Xbilincoc saldrá de la marginación, esto gracias al apoyo otorgado por Electrificación Rural de CFE, PSIE y el proyecto desarrollado en este artículo.

Beneficios medioambientales

La energía producida por la planta generadora fotovoltaica, en las 5.92 horas promedio anual de radiación solar de un día solar (NREL, 2020), está dada por:

$$E_{\text{prod}} = W_{\text{pico}} \cdot hr_{\text{rad}} \cdot \text{piezas}_{\text{módulo PV}} \quad (5.5)$$

donde W_{pico} es la potencia pico de un módulo fotovoltaico en Watts, hr_{rad} son las horas de radiación solar en un día, y $\text{piezas}_{\text{módulo PV}}$ representa el número de módulos fotovoltaicos incluidos en la planta de GD-PV.

Derivado de lo anterior, la energía producida por la GD-PV está dada por:

$$E_{\text{prod}} = 0.440 \text{ kW} (5.92 \text{ hr}) (208 \text{ módulos}) = 541.8 \text{ kWh/día}$$

Al mes, tendremos:

$$E_{\text{prod anual}} = 0.44 \text{ kW} (5.92 \text{ hr}) (208 \text{ módulos})(30 \text{ días}) = 16,253.95 \text{ kWh/mes}$$

Además, de forma empírica escogemos el factor de GEMIS para nuestros cálculos, debido a que se encuentra dentro del rango de Reich. Entonces, las emisiones de CO_2 que se evita enviar al medio ambiente ϵ_{cons} por la energía que produce la planta generadora fotovoltaica es:

$$\epsilon_{cons} = 0.582 \frac{kg CO_2}{kWh} (16,253.95 kWh) = 9,459.8 kg CO_2$$

Las emisiones de CO₂ producidas ϵ_{prod} causadas por la producción de energía con la GD-PV son:

$$\epsilon_{cons} = 0.135 \frac{kg CO_2}{kWh} (16,253.95 kWh) = 2,194.28 kg CO_2$$

Finalmente, las emisiones de CO₂ netas ϵ_{net} que se evita enviar a la atmósfera es la diferencia entre ϵ_{cons} y ϵ_{prod} :

$$\epsilon_{net} = \epsilon_{cons} - \epsilon_{prod} = 9,459.8 kg CO_2 - 2,194.28 kg CO_2 = 7,265.52 kg CO_2$$

Este es un dato significativo, muestra que se están dejando de emitir al medio ambiente **7.265** Toneladas de CO₂ mensual, el cual es un aporte revelador para la disminución de la huella de carbono.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto desarrollado proporciona una metodología para la implementación de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a Red a través de la Generación Distribuida en poblaciones marginadas, dicho proyecto incluye un ramal y una red de distribución para suministrar energía eléctrica en Media y Baja Tensión al poblado de Xbilincoc, Hopelchén, Campeche. Esta central generadora fotovoltaica traerá bienestar y progreso a las familias del poblado y será construido a través de un financiamiento con subsidio del Gobierno Federal.

Los cálculos y las consideraciones realizadas para obtener la capacidad y todos los elementos de un SFVIR son una metodología con resultados importantes y concluyentes para que empresas del sector industrial, comercial, residencial y de servicios se integren al Mercado Eléctrico Mayorista como prosumidores.

Las futuras áreas de investigación identificadas en este artículo son:

- Definir una metodología para que los prosumidores cumplan con los requerimientos de Código de Red.
- Implementar una metodología para la puesta en servicio de un SFVIR.
- Implementar un programa de mantenimiento preventivo para un SFVIR en poblaciones marginadas.

REFERENCIAS

Cámara de Diputados. 2017. "Reglamento de la Ley de Transición Energética". Art. 12. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/y/Reg_LTE_040517.pdf

Carbajal Quintero, S. X., & Marín Jiménez, J. D. 2013. *Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: un enfoque dinámico*. Revista Dialnet, Tecnura. Vol. 17, No. 35, pp. 77 – 89.

Centro Nacional de Control de Energía. 2020. *ACUERDO para garantizar la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional, con motivo del reconocimiento de la epidemia de la enfermedad por el virus SARS-CoV2 (COVID-19)*. 29 de abril de 2020. Recuperado de: <https://www.cenace.gob.mx/Docs/MarcoRegulatorio/AcuerdosCENACE/Acuerdo%20para%20garantizar%20la%20eficiencia,%20Calidad,%20Confiabilidad,%20Continuidad%20y%20seguridad%20del%20SEN%202020%2005%2001.pdf>

Comisión Federal de Electricidad. 2016. "Postes de concreto; especificación CFE J6200-03". Recuperado de: https://lapem.cfe.gob.mx/normas/carga_pagina.asp?pag=J6200-03.pdf

Comisión Federal de Electricidad. 2019. "Apartarrayos para líneas aéreas de transmisión de corriente alterna de 161 kV a 400 kV; especificación CFE 52100-93". Recuperado de: https://lapem.cfe.gob.mx/normas/carga_pagina.asp?pag=52100-93.pdf

Comisión Federal de Electricidad. 2019. "Cuchillas seccionadoras en aire de 15 kV a 145 kV con automatismo inteligente; especificación CFE V4200-73", agosto 2019. Recuperado de: https://lapem.cfe.gob.mx/normas/carga_pagina.asp?pag=V4200-73.pdf

Elba Mendoza. 2019. Energy Management Magazine. *Generación Distribuida para PYMES*, Año 7, No. 3, páginas 26-31.

Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2020. Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-reitera-su-compromiso-con-el-cumplimiento-del-acuerdo-de-paris>

Parámetros solares y climatologías meteorológicas mensuales y anuales. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Ramírez Castaño, S. 2004. *Redes de Distribución de Energía*. (3era. Ed.). Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Reich, N. H., Alsema, E. A., Van Sark, W.G.J.H.M., & Nieuwlaar, E. 2007. "CO2 Emissions of PV in the perspective of a renewable energy economy". 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, pp. 3538-3542.

SEGOB, Diario Oficial de la Federación. 2020. ACUERDO por el que se emite la Política de Confiabilidad, Seguridad, Continuidad y Calidad en el Sistema Eléctrico Nacional. 15 de mayo de 2020. Recuperado de: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5593425&fecha=15/05/2020

Weber, B., Magaña-López, R., Martínez-Cienfuegos, I. G., Durán-García, M. D., & Stadlbauer, E.A. 2020. "Current status of photovoltaic plants in Mexico – An analysis based on online monitoring". Energy for Sustainable Development. Volumen 57, Pages 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.05.003>