

Caracterización energética de un sistema fotovoltaico interconectado a red nivel residencial

OVANDO-SIERRA, Juan†*, CASTILLO-TELLEZ, Margarita, HUCHIN-MISS, Mauricio y QUEJ-COSGALL, Héctor

Universidad Autónoma De Campeche

Recibido 2 de Enero, 2017; Aceptado 8 de Marzo, 2017

Resumen

El objetivo principal del trabajo es comparar los parámetros eléctricos, previo y posterior a la instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a red, de acuerdo a la reforma energética y al uso de los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica nacional. Se realiza la caracterización energética de un sistema interconectado a red, con la finalidad de analizar los parámetros eléctricos (potencia activa, energía, potencia reactiva, factor de potencia y distorsión armónica), así como, el comportamiento del sistema antes y después de la interconexión a la red. El estudio se llevó a cabo en un inmueble residencial de tarifa 1C, dos fases y tres hilos con un consumo de energía promedio en los últimos 3 bimestres de 969 KWh. Los módulos fotovoltaicos empleados pertenecen al modelo phono solar 260W. El sistema cuenta con una potencia pico de 5.2 KW y un aporte energético promedio de 13.1 KWh/día según datos de facturación eléctrica. Para monitorear el sistema, se instaló un analizador de redes AEMC power pad 3945-B. De esta forma, se podrá conocer a detalle las variaciones en los parámetros eléctricos y comparar los cambios producidos en el sistema.

Fotovoltaico, caracterización, parámetros, potencia

Abstract

The main goal of the work is to compare the electrical parameters, before and after to the installation of a photovoltaic system interconnected to grid, in accordance to the energetic reform and the use of photovoltaic systems interconnected to the national grid. It realize the energy characterization of an interconnected grid system, in order to analyse the electrical parameters (active power, energy, reactive power, power factory and harmonic distortion), as well as, the behaviour of the system before and after the interconnection to the grid. The study was done in a residential building of 1C fee, two phases, and three wires with an average energy consumption in the last three two-months of 969 KWh. The photovoltaic modules used belong to phono solar 260W model. The system has a peak power of 5.2 KW and an average energy contribution of 13.1 KWh per day according to electric billing data. To monitor the system, it installed an electric power analyzer AEMC power pad 3945-B. In this way, it will be possible to know in detail the variations in the electrical parameters and to compare the changes produced in the system.

Photovoltaic, characterization, parameters, power

Citación: OVANDO-SIERRA, Juan, CASTILLO-TELLEZ, Margarita, HUCHIN-MISS, Mauricio y QUEJ-COSGALL, Héctor. Caracterización energética de un sistema fotovoltaico interconectado a red nivel residencial. Revista de Ingeniería Tecnológica 2017. 1-1:1-10

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jcovando@uacam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red (SFIR) eléctrica a nivel residencial, han causado un impacto positivo, debido a la reducción de costos en la facturación bimestral en los usuarios con un moderado y alto consumo de energía (Cayetano, González , Katt, & Cruz , 2015). A través del aporte energético de los módulos solares, mejora la calidad del servicio de suministro de energía eléctrica en baja tensión (Cáceres, 2012). Sin embargo, dicho aporte energético, disminuye debido a condiciones ambientales que perjudican la generación de energía. Dentro de las condiciones, se encuentran: radiación, sombras, temperatura ambiente y polvo atmosférico (Dibene Arriola, Paredes Vázquez , & Messina López, 2016). Cuando un sistema fotovoltaico se interconecta al tablero eléctrico residencial, modificará el comportamiento de los parámetros eléctricos de la instalación de acuerdo a las condiciones ambientales antes mencionadas.

El objetivo de este artículo consiste en dar a conocer los cambios efectuados de una instalación eléctrica residencial mediante el estudio de los parámetros eléctricos al entrar en operación un SFIR de 5.2 KWp instalado en la ciudad de San Francisco de Campeche. Los parámetros eléctricos fueron monitoreados por un analizador de redes modelo AEMC 3945-B, que se conectó en el tablero principal. Bajo este contexto se presenta el diseño de la instalación, los equipos empleados y los resultados gráficos obtenidos.

Características de la instalación



Figura 1 SFIR 5.2KWp

La figura 1 muestra el sistema fotovoltaico instalado. Debido a las sombras y características constructivas del techo algunos módulos se colocaron en una orientación e inclinación diferente, tratando de minimizar las pérdidas en el sistema. El inmueble contó con la superficie requerida para la instalación. Sin embargo, los espacios eran irregulares y con sombras. Por lo tanto, se realizaron modificaciones a algunas estructuras considerando la inclinación (20°), orientación y separación adecuada para labores de mantenimiento.

Los equipos empleados en la instalación se presentan en la tabla 1

Componentes SFIR		
Módulo	Phono solar policristalino	260W
Inversor	Fronius primo 5.0-1	

Tabla 1 Componentes SFIR

El SFIR está formado por un arreglo de 20 módulos de 260W cada uno marca phono solar, un inversor Fronius primo de 5000W y estructuras de soporte de aluminio, caja combinadora y accesorios varios.

El sistema de generación se configuró en un arreglo de dos circuitos fuentes de 10 paneles conectados en serie-paralelo. En la tabla 1 y 2 se resumen las principales características de los equipos.

Características eléctricas	
Modelo	PS260P-20/U
Pmax	260W
Impp	8.54A
Vmpp	30.6V
Isc	8.90A
Voc	38V

Tabla 2 Características del módulo

Características eléctricas	
Entrada	
Rango tensión MPP	240-800 V
Tensión entrada nominal	660V
Isc max	22.5 A
Salida	
Max potencia de salida	5000W
Tensión de red nominal	208/220/240 V
Corriente salida nominal	24/22.7/20.8 A

Tabla 3 Características del inversor

Parámetros eléctricos previa instalación del SFIR

Para conocer los parámetros eléctricos del inmueble, se instaló el analizador de redes AEMC 3945-B por un período de 4 días (sábado a miércoles). Las mediciones iniciaron a partir de las 14:00 horas, cuando ya existe actividad en la residencia. Los resultados se muestran en los siguientes gráficos:

Comportamiento de la potencia activa

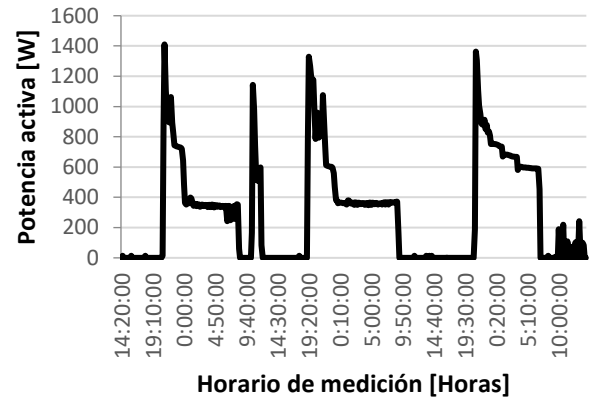


Gráfico 1 Potencia demanda 04-08/Febrero /2017 [W]

Fuente: Analizador de redes 3945-B

Los picos de demanda tienen un rango de 1144 W-1410 W y se dan a las 19:00 o 20:20 horas. Estos picos se relacionan con las cargas de aires acondicionados inverter y diversos aparatos eléctricos que entran en operación simultáneamente. Por lo general en el horario de 9:00-14:00, no se encuentran personas en la residencia, por lo tanto, los valores de demanda permanecen cercanos a 0 W. Los picos de demanda se estabilizan en un horario cercano a las 0:00 horas para el primer y tercer día de medición.

Comportamiento del consumo de energía

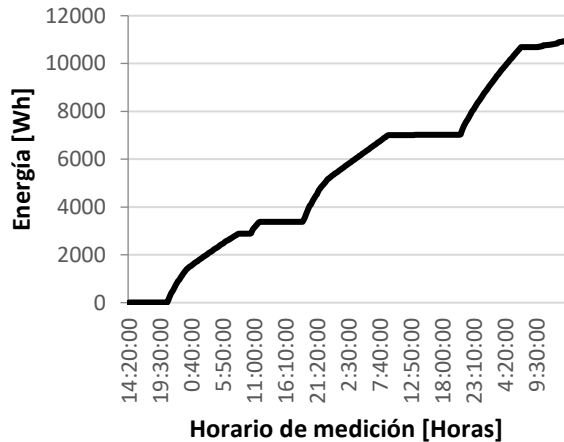


Gráfico 2 Consumo energía 04-08/Febrero/2017 [Wh]

Fuente: Analizador de redes 3945-B

El consumo de energía de acuerdo al gráfico inicia a las 20:40 en el primer día de medición. La curva de demanda aumenta hasta un valor de 2847 W registrado a las 8:10 del día siguiente. Posteriormente existe un lapso de tiempo donde el consumo se mantiene en 2882 W hasta que se registra un nuevo aumento en el consumo de 3378 W. El comportamiento se repite para los siguientes días. De manera que el consumo de energía se da en un horario entre 19:00 y 7:00. El comportamiento del consumo por las mañanas no incrementa, manteniendo el mismo valor.

Comportamiento de la potencia reactiva

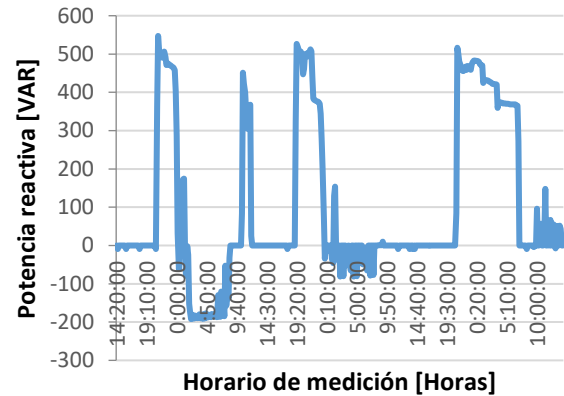


Gráfico 3 Potencia reactiva 04-08/Febrero/2017 [VAR]

Fuente: Analizador de redes 3945-B

La potencia reactiva mantiene una relación con la potencia activa, ya que se observan picos de potencia reactiva al producirse picos de potencia activa. El valor máximo registrado de potencia reactiva es de 547.17 VAR. De igual forma, cuando los picos de potencia activa se estabilizan, tendiendo a mantener un valor constante (0:20-8:20) los VAR decaen en el mismo horario y toman valores negativos debido al funcionamiento de cargas capacitivas. También se puede observar que al no existir demanda de potencia activa el valor de VAR permanece en cero.

Comportamiento del factor de potencia

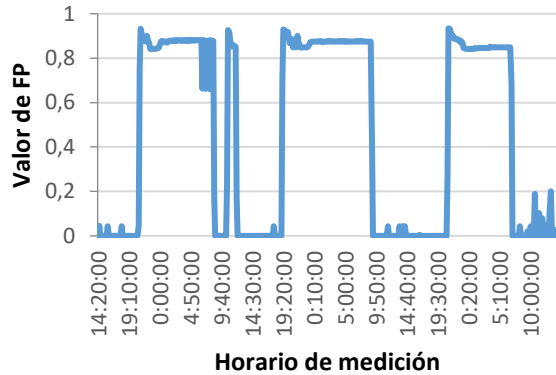


Gráfico 4 Factor de potencia 04-08/Febrero/2017

Fuente: Analizador de redes 3945-B

Al inicio de la medición, al no existir demanda de potencia activa, los valores de factor de potencia se mantienen en cero. Al entrar en operación una mayor cantidad de cargas en la residencia a las 20:30 del primer día de medición el valor de factor de potencia aumenta simultáneamente con el pico de demanda hasta un valor de 0.93. Posteriormente el FP se estabiliza a la 1:40 manteniendo un valor promedio de 0.87. En las horas que no existe demanda de potencia activa el valor de FP decae a cero y nuevamente repite el mismo comportamiento para el siguiente día al entrar en funcionamiento las cargas residenciales a las 19:00 horas.

Parámetros eléctricos posterior a la instalación del SFIR

Efectuada la instalación del sistema fotovoltaico y las facilidades brindadas en la residencia, se realizó el monitoreo por un período de 4 días (24-28/Abril/2017). El equipo analizador AEMC 3945-B, inició las mediciones a las 16:00 horas.

Los resultados se muestran en los siguientes gráficos.

Comportamiento de la potencia activa generada y suministrada

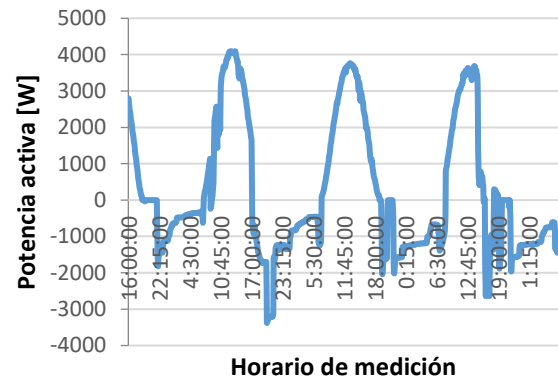


Gráfico 5 Potencia generada y demandada 24-28/Abril/2017 [W]

Fuente: Analizador de redes 3945-B

A las 16:05 horas al registrarse la primera medición un valor de potencia de 2669 W. Dicho valor decae al pasar las horas de forma que a las 18:55 llega a un valor de cero. Para este día el valor de cero se mantiene hasta las 21:50. Posteriormente, después de esa hora se observa que la potencia demandada por la residencia al no existir radiación toma valores negativos, para el primer día el valor pico máximo fue de 1820.33 W. En el segundo día se observa que el sistema FV inicia operaciones alrededor de las 7:15. En el horario comprendido entre las 12:40-13:50 mantiene la máxima generación en un valor promedio de 4000 W y posteriormente inicia la disminución de potencia hasta las 17:05 cuando no existe radiación. El comportamiento para los siguientes días muestra una producción de potencia entre 3400 y 3700 máximos durante el día. Se puede decir que la producción de potencia varía entre 8-12 horas por día.

Comportamiento del consumo de energía

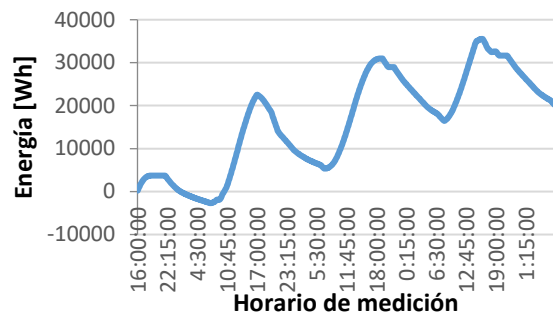


Gráfico 6 Energía generada y consumida 24-28/Abril/2017 [KWh]

Fuente: Analizador de redes 3945-B

En lo que se refiere a la energía, el analizador nos muestra la energía generada por el SFIR y la energía consumida por el inmueble. El comportamiento del consumo de energía muestra pendientes crecientes y decrecientes. Las pendientes crecientes muestran la producción de energía en las horas de radiación solar, mientras que las decrecientes nos muestran el consumo de energía por parte de la residencia en las tardes y horas nocturnas. El comportamiento de producción y consumo de energía muestran comportamientos similares para los distintos días de medición. Los valores máximos de energía generada son de 22,343 Wh, 25,640 Wh y 18,897 Wh.

Comportamiento de la potencia reactiva

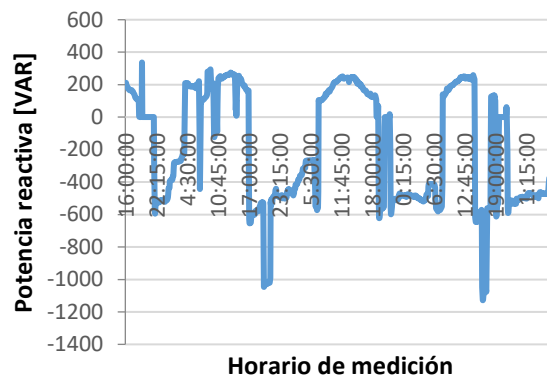


Gráfico 7 Potencia reactiva 24-28/Abril/2017 [VAR]

Fuente: Analizador de redes 3945-B

El comportamiento de la potencia reactiva muestra que los valores toman cantidades positivas y negativas. Se puede apreciar que en los horarios de radiación solar existen VAR que alcanzan valores mayores promedio a 200 VAR. En los horarios donde no existe radiación solar (parte de la tarde y noches) los valores de VAR se muestran negativos. Este mismo comportamiento se observa en condiciones de nubosidad, ya que se presentan diversas variaciones en los valores de VAR durante el día que incluso por momentos son negativos.

Por otra parte, los picos de potencia reactiva parte de la tarde y durante las noches mantienen valores por arriba de 1000 VAR, sin embargo, cuando se estabilizan toma valores promedio de 500 VAR.

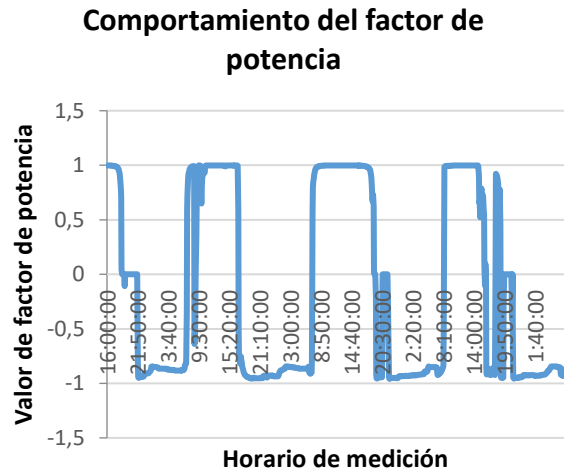


Gráfico 8 Factor de potencia 24-28/Abril/2017

Fuente: Analizador de redes 3945-B

El valor de factor de potencia bajo condiciones de radiación solar tiene valores de 0.996 a 0.998. Se puede notar que en aquellos días cuando la radiación disminuye por nubosidad o baja radiación los valores decaen. En lo que respecta a horarios nocturnos los valores de FP toman valores entre 0.865 a 0.953

Armónicos de tensión (THDV) y corriente (THDI)

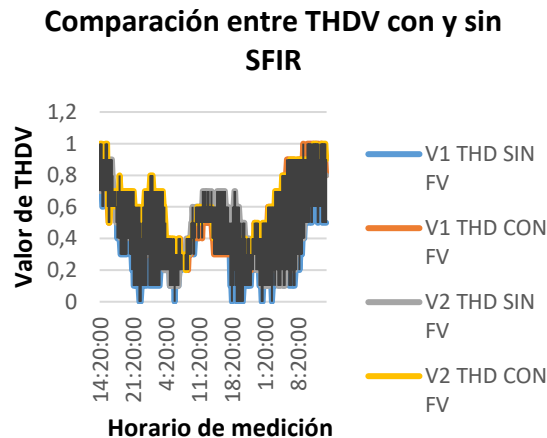


Gráfico 9 % THDV fase-neutro comparación sin SFIR/con SFIR

Fuente: Analizador de redes 3945-B

De acuerdo al comportamiento mostrado en el gráfico, se observa un aumento en los porcentajes de THDV registrados por el analizador después de la instalación del sistema fotovoltaico. El incremento en los porcentajes al instalarse el sistema se mantiene presente para condiciones con y sin radiación.

THDV PROMEDIO	
PARÁMETRO	%
Sin fotovoltaico THDV ₁	0.308
Sin fotovoltaico THDV ₂	0.453
Con fotovoltaico THDV ₁	0.535
Con fotovoltaico THDV ₂	0.622

Tabla 4 % THDV promedio sin SFIR/con SFIR

Fuente: Analizador de redes 3945-B

El valor promedio de la distorsión armónica total de tensión (THDV) aumento sus valores promedios, THDV₁ paso de 0.308% a 0.535% y THDV₂ paso de 0.453% a 0.622%. Sin embargo, los valores se encuentran dentro de los límites de distorsión armónica (Especificación G0100-04, 2008), como se muestra en la tabla 6

Tensión KV	Clasificación de tensión	THD %	Límites armónicos individuales
V<1 KV	Baja tensión	8.0	6.0

Tabla 5 Límites de distorsión armónica de tensión en el PAC

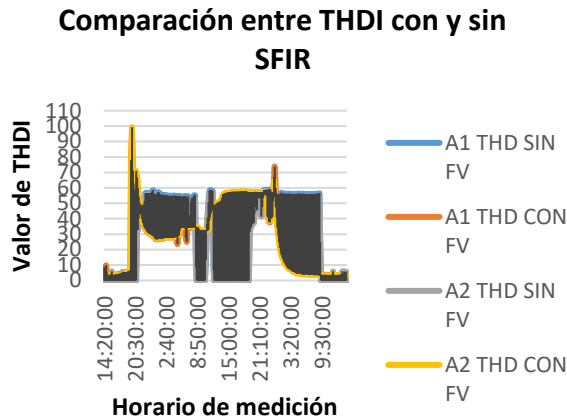


Gráfico 10 % THDI corriente sin SFIR/con SFIR

Fuente: Analizador de redes 3945-B

A las 14:20 pm del inicio de la medición la THDI de la fase 1 y de la fase 2, se mantienen en un valor cercano al 5%. En este punto el factor de potencia tiene un valor de 99.7%.

Por la tarde al ocultarse el sol, la THDI de la fase 1 y fase 2, alcanza valores promedio durante el día de 55% disminuyendo el factor de potencia. Lo anterior se debe a que, a mayor distorsión armónica, mayor es la corriente total respecto de su componente fundamental y por ello el factor de potencia disminuye (Horikoshi, 2009).

A mayor nivel de radiación recibe el sistema fotovoltaico, la THDI disminuye a valores cercanos del 5%. Cuando el nivel de radiación disminuye por las tardes, la THDI alcanza valores promedio de 50%.

THDV PROMEDIO	
PARÁMETRO	%
Sin fotovoltaico THDI ₁	27.77
Sin fotovoltaico THDI ₂	27.25
Con fotovoltaico THDI ₁	29.79
Con fotovoltaico THDI ₂	29.90

Tabla 6 % THDI promedio sin SFIR/con SFIR

Fuente: Analizador de redes 3945-B

Conclusiones

Los valores de la potencia activa al instalar el sistema fotovoltaico reflejan un comportamiento diferente de operación debido a que el monitoreo del sistema refleja la potencia generada por el sistema solar y la potencia demanda por el inmueble al no existir radiación.

Los cambios en lo que respecta al comportamiento de la energía se aprecian a través de las pendientes crecientes que nos indican la generación de energía del sistema solar y las pendientes decrecientes donde se aprecia la disminución de la generación de energía por parte del sistema solar y el consumo de energía en horarios donde no existe radiación solar.

Para el caso de la potencia reactiva, a diferencia del comportamiento sin el sistema fotovoltaico, ahora refleja los VARs asociados a la operación por parte del sistema solar, así como los VARs que se producen por la operación de las cargas en la residencia al no existir radiación solar.

El valor de factor de potencia antes de la instalación mantenía valores de 0.845 a 0.878 bajo condiciones habituales de operación.

Sin embargo, al instalar el sistema solar y estar en operación durante el día se tienen valores de 0.996 a 0.998 que corresponden solo a la operación del sistema fotovoltaico. En las horas sin radiación el factor de potencia toma valores entre 0.865 a 0.953. No se puede afirmar que los valores mencionados son representativos del sistema debido a que el tiempo de monitoreo no es suficiente.

Para el caso de valores de distorsión armónica total, La THDV aumentaron en cantidades menores al 1% y la THDI en cantidades menores al 3% de acuerdo al monitoreo.

Referencias

- Balda, J. (25 de Octubre de 2011). *Ingeteam*. Obtenido de <http://www.energetica21.com/descargar.php?seccion=articulos&archivo=RDLNGKJmvpJ6WsWzfT3jvwfGltHKnN15RAGYKPA75J1Q3LFWf87PtaW.pdf>
- Cáceres, M. (2012). Caracterización eléctrica de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión. 7.
- Calleja, H. (2010). Progreso en sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. 7.
- Cayetano, F., González, R., Katt, A., & Cruz, A. (2015). Sistema fotovoltaico para autoconsumo en uso residencial en Nanchital, Veracruz. *Revista de Tecnología e Innovación*, 12.
- conermex. (2016). *conermex*. Obtenido de http://www.conermex.com.mx/hojas-tecnicas/01_Modulos/ps-260-rv010616.pdf
- conermex. (2016). *conermex*. Obtenido de http://www.conermex.com.mx/hojas-tecnicas/12_Inversores-On-Grid/primo-3.8_5.0_6.0_7.6_8.2.pdf
- Dibene Arriola, L., Paredes Vázquez, C., & Messina López, V. (2016). Efecto del polvo en el desempeño de un arreglo fotovoltaico instalado en un clima costero. *Aplicaciones de la ingeniería*, 10.
- Especificación G0100-04. (Agosto de 2008). *Comisión Federal de Electricidad*.
- Gonzalez Castrillo, P., Romero Cadaval, E., Gonzalez Romera, E., Barrero González, F., & Guerrero Martínez, M. (2011). Influencia de una instalación fotovoltaica conectada a red sobre la calidad de potencia de una red de distribución. 6.
- Hassaine, L. (2010). *Implementación de un control digital de potencia activa y reactiva para inversores. Aplicación a sistemas fotovoltaicos conectados a red*. Leganés.
- Horikoshi, I. (2009). *Análisis de las componentes armónicas de los inversores fotovoltaicos de conexión a red*. Leganés.
- Ley del servicio público de energía eléctrica. (02 de Diciembre de 1975). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/lspee/LSPEE_abro.pdf
- Melero Millán, I. (2013). Metodos de inyección de potencia reactiva en redes de baja tensión. 6.

Morales Hernandez , R., & Cáceres Chiquillo , J. (2014). *Estudio de eficiencia y calidad de la energía generada en sistema híbrido eólico-fotovoltaico*. Santa Tecla: ITCA. Obtenido de <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1817/1/05%20ESTUDIO%20DE%20EFICIENCIA%20Y%20CALIDAD%20DE%20LA%20ENERG%C3%8DA%20GENERADA%20EN%20SISTEMA%20HIBRIDO%20E%C3%93LICO-FOTOVOLTAICO.pdf>

SMA. (17 de Septiembre de 2014). *Sunny central*. Obtenido de <http://files.sma.de/dl/18858/Q-at-Night-TI-es-11.pdf>