

**INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Diseño, Simulación y Comparación de dos Sistemas  
Fotovoltaicos Interconectados a la Red, en diferentes  
Regiones Geográficas de México

**TESIS**

Que como requisito para obtener el grado de Licenciatura en  
Ingeniería en Energías Renovables.

**PRESENTA**

**IVONN ALEJANDRA RAMÍREZ GARCÍA**

Asesor:

**MTRO. MARCO ANTONIO LOZANO VINALAY**



Agosto 2022

## PRESENTACIÓN DE ASESOR Y REVISORES

La presente Tesis, titulada: **Diseño, Simulación y Comparación de dos Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red, en diferentes Regiones Geográficas de México** realizada por la alumna **Ivonn Alejandra Ramírez García**, bajo la dirección de la asesora: **Mtro. Marco Antonio Lozano Vinalay**, ha sido aprobada y aceptada, como requisito parcial para obtener el grado académico de **licenciatura** como:

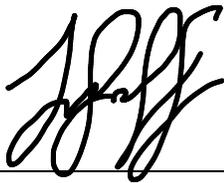
### Ingeniera en Energías Renovables



---

Mtro. Marco Antonio Lozano Vinalay

Director



---

Mtro. Salvador Perez Lule

Revisor



---

Mtro. Juan Bernabé Trujano

Castro

Revisor



Lunes 8 de agosto de 2022

ING. DAVID SÁNCHEZ LUNA

JEFE DE CARRERA DE ENERGÍAS RENOVABLES

Por este medio solito a la jefatura de Ingeniería en Energías Renovables del Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan, la reasignación de asesor para mi trabajo de titulación, ya que mi actual asesora y directora de tesis la **Dra. Elisa Sánchez Cruces**, ya no se encuentra laborando en la institución, por lo cual no podrá dar seguimiento a este proceso, por este motivo yo **Ivonn Alejandra Ramírez García**, egresada de la carrera de la Ingeniería en Energías Renovables, con número de matrícula **17020058** y autora del trabajo de Tesis titulado: **"Diseño, Simulación y Comparación de dos Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red, en diferentes Regiones Geográficas de México"** solicito a la academia de Energías Renovables, la asignación de un nuevo Director de Tesis para el término de mi proceso de titulación.

Sin más por el momento espero su pronta respuesta, reciba un cordial saludo.

FIRMA

Ivonn Alejandra Ramírez García

**TESCH**  
**RECIBIDO**  
08 AGO 2022

**ENERGÍAS  
RENOVABLES**  
David Sánchez L.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer al **Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan**, gracias por guiarme durante este proceso de mi vida y darme las herramientas de aprendizaje necesarias.

A mi asesor, el **Mtro. Marco Antonio Lozano Vinalay** por ayudarme a finalizar mi proceso de titulación, aconsejarme y darme su punto de vista, si bien no comenzó el proceso conmigo, le agradezco que me haya apoyado a terminar. De igual forma a mis revisores **Mtro. Juan Bernabé Trujano** y **Mtro. Salvador Lule**, gracias por sus comentarios.

A mis padres, **Alberto y Rosalba**, quienes siempre han estado a mi lado, animándome y creyendo en mí, gracias por inculcar en mí el ejemplo del esfuerzo, gracias por confiar en mí, prometo llegar más lejos.

A mis hermanas, **Claudia y Andrea**, gracias por llenarme de alegría día a día, por su paciencia durante mis días difíciles, agradezco sus palabras de aliento y todo su cariño.

En el camino encuentras personas que iluminan tu vida, gracias **corazón**.

**As always, I need you**

## RESUMEN

El impacto negativo al ambiente por el aumento de la demanda energética mundial, y la necesidad de reducir sus efectos llevan a la búsqueda de formas diferentes de satisfacer la demanda energética de la sociedad. El aprovechamiento de las fuentes renovables de energía es la principal opción por considerar para lograrlo, específicamente a través de la energía solar fotovoltaica es posible producir energía eléctrica sustentable. En particular se utilizan Sistemas Fotovoltaicos que se definen como un conjunto de dispositivos cuya función es transformar la energía solar directamente en energía eléctrica, estos sistemas son aprovechados actualmente en varias ciudades importantes del mundo.

Las dos regiones seleccionadas corresponden a la zona norte y centro del país, específicamente en los estados de Nuevo León y el Estado de México, ambas regiones cuentan con características geográficas, ambientales, sociales y culturales que influyen directamente en el consumo energético en cada lugar, por tal motivo se consideró como factor principal el consumo promedio mensual de energía eléctrica pues al ser zonas completamente diferentes provoca que las necesidades del sistema no sean las mismas para ambas regiones, por lo tanto, se analiza el comportamiento comparando los resultados obtenidos en cada uno de las herramientas de simulación, mostrando una diferencia notable de acuerdo a las necesidades del sistema.

El análisis de resultados con las herramientas utilizadas para este estudio permitió observar que los resultados generados en cada una de las simulaciones realizadas muestran valores de los principales parámetros muy similares. Se halló un porcentaje de diferencia entre ambos de 0.150% para el mes de abril y de 28.511% para el mes de diciembre, los cuales representan la menor y mayor diferencia de generación de energía entre las dos herramientas, respectivamente. Se muestra que ambas herramientas son confiables y que de acuerdo con el análisis de generación para cada región las simulaciones cumplen con los requerimientos para satisfacer las necesidades del usuario.

## ABSTRACT

The negative impact on the environment due to the increase in global energy demand, and the need to reduce its effects lead to the search for different ways to satisfy society's energy demand. The use of renewable energy sources is the main option to consider to achieve this, specifically through photovoltaic solar energy it is possible to produce sustainable electrical energy. In particular, Photovoltaic Systems are used, which are defined as a set of devices whose function is to transform solar energy directly into electrical energy, these systems are currently used in several major cities around the world.

The two selected regions correspond to the north and center of the country, specifically in the states of Nuevo León and the State of Mexico, both regions have geographic, environmental, social and cultural characteristics that directly influence energy consumption in each place, For this reason, the average monthly consumption of electrical energy was considered as the main factor, since being completely different zones causes the needs of the system to not be the same for both regions, therefore, the behavior is analyzed by comparing the results obtained in each one. of the simulation tools, showing a notable difference according to the needs of the system.

The analysis of results with the tools used for this study allowed us to observe that the results generated in each of the simulations carried out show very similar values of the main parameters. A percentage difference between the two of 0.150% was found for the month of April and 28.511% for the month of December, which represent the smallest and largest difference in power generation between the two tools, respectively. It is shown that both tools are reliable and that according to the generation analysis for each region, the simulations meet the requirements to satisfy the user's needs.



## ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN DE ASESOR Y REVISORES .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>CAPITULO 1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>IX</b>
<b>1.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	3
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 HIPOTESIS .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. RECURSO SOLAR .....</b>	<b>11</b>
2.1.1 RADIACIÓN SOLAR .....	11
2.1.2 IMPORTANCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	11
2.2.1 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR .....	12
<b>2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>14</b>
2.2.1 DEFINICIÓN .....	14
2.2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED .....	15
2.2.3. CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UN SISTEMA CONECTADO A LA RED .....	16
2.2.4. EFECTO FOTOELÉCTRICO.....	17
<b>2.3. PRICIPALES APLICACIONES DE LOS SFV .....</b>	<b>19</b>



2.3.1. VENTAJAS .....	19
2.3.2. USOS.....	20
2.3.3. BENEFICIOS .....	21
<b>2.4 HERRAMIENTAS EMPLEADAS.....</b>	<b>24</b>
2.4.1 PVSYST.....	24
2.4.2 POWER DATA ACCESS VIEWER .....	25
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 SELECCIÓN DE REGIONES GEOGRAFICAS .....</b>	<b>29</b>
3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN 1: CHICULOAPAN, EDO. DE MÉXICO.....	30
3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN 2: MONTERREY, NUEVO LEÓN .....	33
<b>3.2 ANÁLISIS DE GENERACIÓN, RESUMEN DE SITIO Y HORAS SOLARES PICO .....</b>	<b>36</b>
3.2.1 DESCRIPCIÓN DE DATOS EN UN ANÁLISIS DE GENERACIÓN .....	36
3.2.2 DESCRIPCIÓN DE DATOS EN RESUMEN DE SITIO .....	41
3.2.3 DESCRIPCIÓN DE HORAS SOLARES PICO .....	43
3.2.4 CONSUMO PROMEDIO EN LAS REGIONES SELECCIONADAS .....	48
<b>3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SFV EN CHICULOAPAN .....</b>	<b>50</b>
3.3.1 HORAS SOLARES PICO EN BONITO, EL MANZANO .....	50
3.3.2 ANÁLISIS DE GENERACIÓN .....	52
3.3.3 RESUMEN DE SITIO .....	58
3.3.4 SIMULACIÓN EN CALCULADORA SOLAR.....	59
3.3.5 SIMULACIÓN EN PVSYST.....	68
3.3.6 COMPARACIÓN CALCULADORA SOLAR Y PVSYST, CHICULOAPAN .....	77



<b>3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SFV EN MONTERREY .....</b>	<b>78</b>
3.4.1 HORAS SOLARES PICO EN SAN BERNABÉ .....	78
3.4.2 ANÁLISIS DE GENERACIÓN .....	80
3.4.3 RESUMEN DE SITIO .....	86
3.4.4 SIMULACIÓN EN CALCULADORA SOLAR.....	87
3.4.5 SIMULACIÓN EN PVSYST.....	95
3.4.6 COMPARACIÓN CALCULADORA SOLAR Y PVSYST, MONTERREY .....	104
<b>CAPITULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>106</b>
<b>4.1 CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS, SOCIALES O CULTURALES DOS     REGIONES DIFERENTES.....</b>	<b>107</b>
<b>4.2 DIMENSIONAMIENTOS REGIÓN 1 REGIÓN 2. ....</b>	<b>109</b>
<b>4.3 SIMULACIÓN DE AMBAS PROPUESTAS EN EL SOFTWARE PVSYST.     .....</b>	<b>111</b>
<b>4.4 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE AMBAS PROPUESTAS.....</b>	<b>117</b>
<b>4.5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>120</b>
<b>CAPITULO 5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>121</b>
<b>5.1 CONCLUSIONES.....</b>	<b>122</b>
<b>CAPITULO 6. REFERENCIAS .....</b>	<b>124</b>
<b>6.1 REFERENCIAS.....</b>	<b>125</b>
<b>CAPITULO 7. ANEXOS.....</b>	<b>131</b>
<b>7.1 GLOSARIO .....</b>	<b>132</b>
<b>7.2 ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>137</b>
<b>7.3 ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>143</b>
<b>7.4 ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>144</b>



# **CAPITULO 1.**

# **ANTECEDENTES**

## 1.1 INTRODUCCIÓN.

La radiación solar se define como la energía originada en el Sol y medida en la superficie de la Tierra; es un recurso natural que ha estado presente a través de la historia y ha permitido la supervivencia humana, a través de los años dicho recurso solar ha sido bien aprovechado para ser convertido en energía eléctrica y así reducir el uso de fuentes renovables de energía, esto mediante la implementación de Sistemas Fotovoltaicos, dispositivos cuya mayor función es transformar ese recurso solar directamente en energía eléctrica, esto con los componentes adecuados y sobre todo con un buen análisis de generación donde se conocerá el número de módulos fotovoltaicos que requieren para cubrir la necesidad del usuario.

Estudios han demostrado que México cuenta con gran potencial de recurso solar que puede ser aprovechado para satisfacer la demanda energética de la población, aunque dentro del país no se encuentran implementados este tipo de sistemas en algunas zonas, esto en comparación a países que cuentan con menor recurso solar que han implementado con más velocidad dichos sistemas y que se ha demostrado que son eficientes aún con menor nivel de radiación solar.

Considerando lo anterior se diseñan dos dimensionamientos fotovoltaicos en dos regiones diferentes del país, con necesidades y características distintas y posterior a eso se analiza el comportamiento mediante simulaciones en diferentes herramientas de diseño, para así comprobar si la ubicación geográfica, características económicas y demanda energética de una región influye en el desempeño y factibilidad de implementación de un Sistema Fotovoltaico Interconectado

Las dos regiones para simular corresponden a la zona norte y centro del país, en los estados de Nuevo León y el Estado de México, se toman en cuenta sabiendo que incluso dentro de México el recurso solar es diferente de acuerdo con su ubicación.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar dos dimensionamientos fotovoltaicos en diferentes regiones de México, considerando las necesidades energéticas de cada ubicación, analizando dicho comportamiento mediante simulaciones, tablas de datos y gráficas que permitan comparar el desempeño de los Sistemas Fotovoltaicos propuestos.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Seleccionar dos regiones geográficas con características económicas, sociales o culturales diferentes para comenzar el dimensionamiento.
- Diseñar dos dimensionamientos de Sistemas Fotovoltaicos para casa habitación o comerciales, considerando las necesidades de cada uno de los casos de estudio.
- Realizar la simulación de ambas propuestas de funcionamiento de los Sistemas Fotovoltaicos propuestos en el software PVSYST.
- Evaluar el desempeño de ambas propuestas realizando una comparación de funcionamiento mediante el uso de una Calculadora Solar.
- Analizar los resultados obtenidos de cada caso de estudio, mediante el uso de gráficos y tablas.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes a nivel mundial, afectando al planeta, su biodiversidad y la salud de las personas.

Como consecuencia de dicha contaminación se han visto cambios en el medio ambiente, que afectan directamente a todos los seres vivos que cohabitan el planeta. En el documental de la BBC titulado "Future Earth" (El futuro de la Tierra) analiza todas estas situaciones climáticas y podemos ver reproducciones muy realistas de como la subida del nivel del mar puede inundar ciudades enteras, cómo los cambios gravitatorios pueden generar vientos huracanados destrozando todo a su paso o cómo el aumento de luminosidad solar puede afectar a los productos químicos con los que estamos en contacto. Es por eso por lo que, actualmente se buscan alternativas que además de ayudar a reducir nuestra huella ecológica, permitan aprovechar los recursos naturales (viento, agua, sol, etc.) como fuentes renovables de energía. A nivel internacional, México es considerado como uno de los países con mayor captación de luz solar.

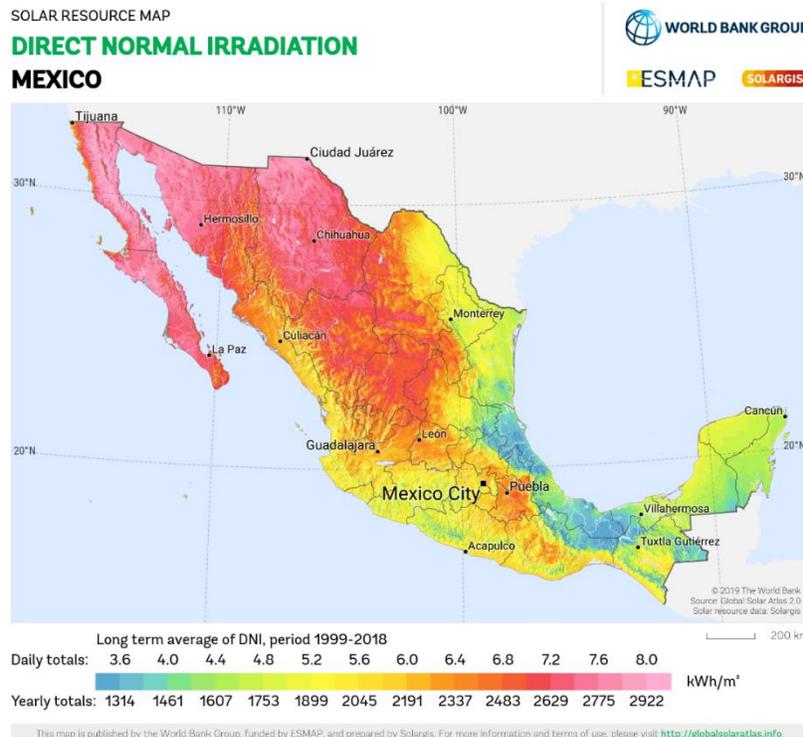
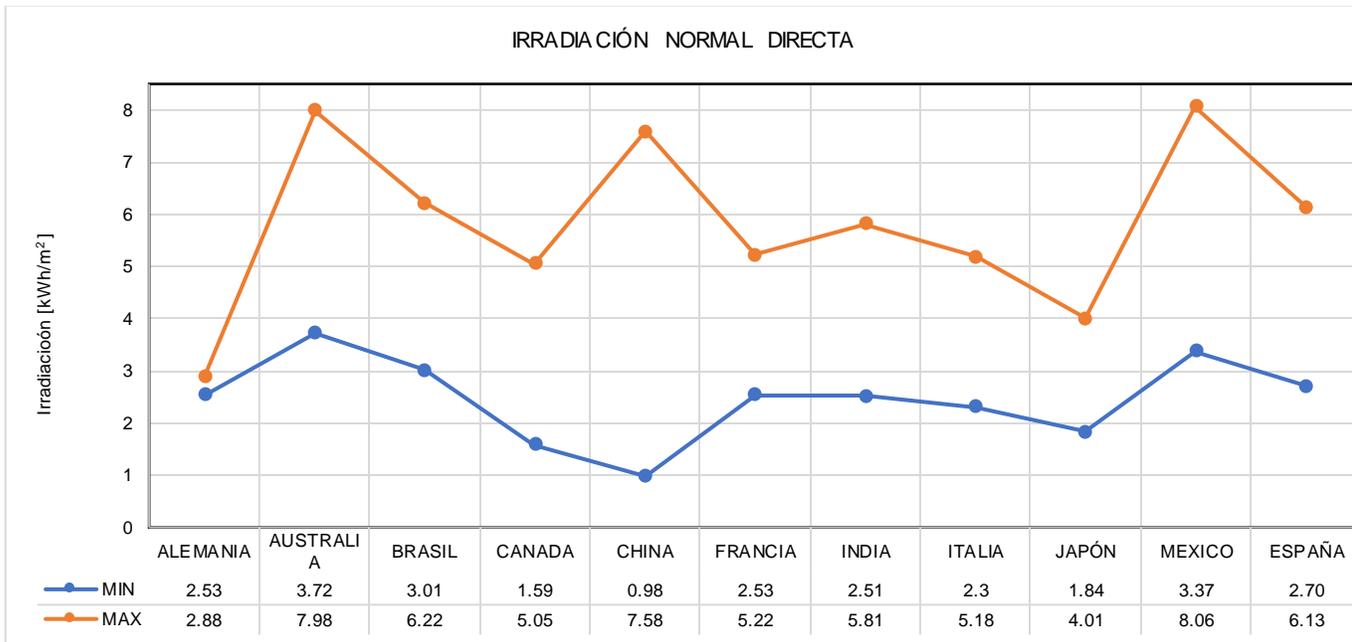


Fig. 1. Irradiación normal directa, México

Según el Atlas Global Solar (*Global Solar Atlas*, 2018), y de acuerdo con la Fig. 1, la radiación promedio del país (5.5 kWh/m<sup>2</sup>) representa un enorme potencial para la generación de electricidad por medio de energía solar. Esta industria dio sus primeros pasos en 2017, cuando se logró instalar una capacidad de 0.7 GW (Giga Watts) de energía. La generación de electricidad a través del Sol creció hasta los 2.5 GW en 2018, en 2019 aumentó hasta los 4.4 GW, y en 2020 creció hasta los 5.6 GW (Energy, 2021)

Aun así, con el potencial solar con el que cuenta México, otros países con menor potencial han tenido mejor aprovechamiento del recurso solar, a continuación, se muestra una gráfica que permite visualizar el potencial solar de México comparándolo con otras ciudades que cuentan con menor potencial, países como Alemania, Australia, Brasil, España, Canadá, China, Francia, Italia, Japón e India.

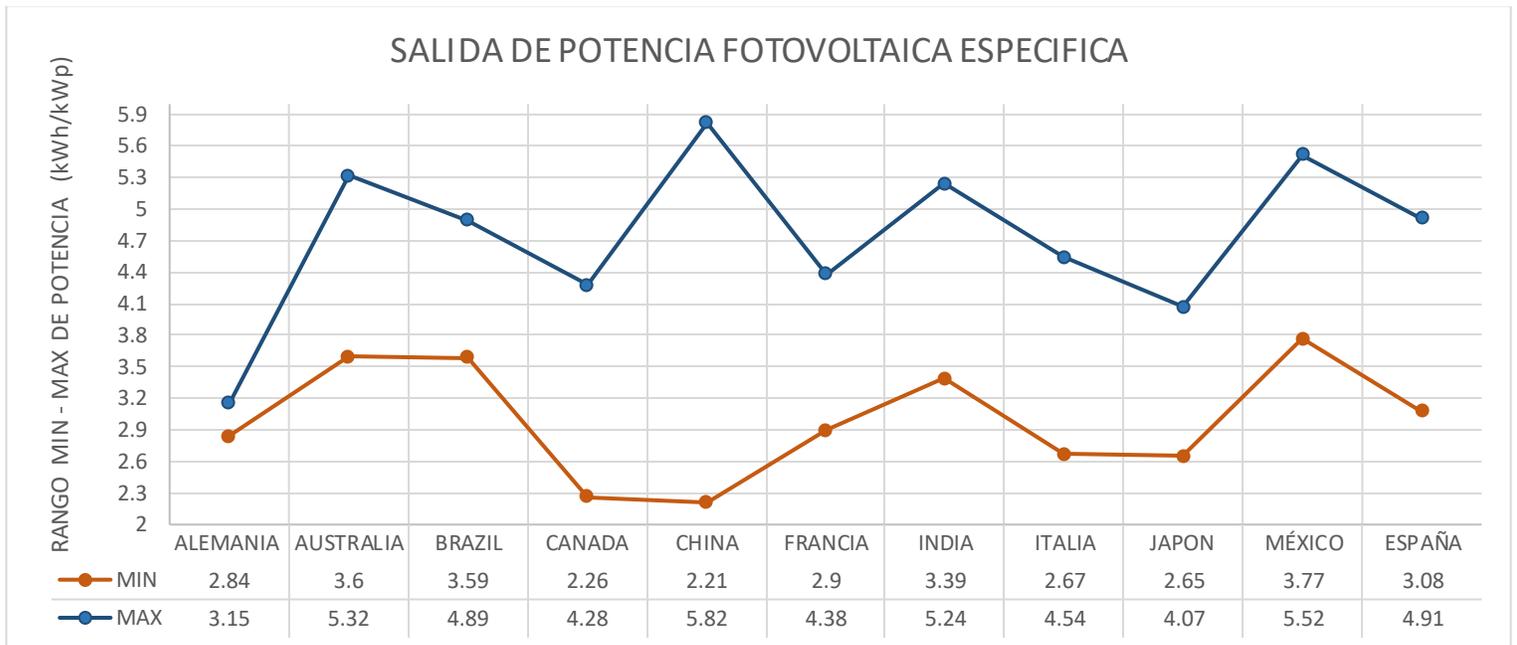


*Fig. 2 Irradiación Normal Directa. Elaboración propia.*

En la Figura 2 se puede ver que el rango máximo y mínimo de irradiación normal directa en México es mayor que el de España, país que actualmente se caracteriza por aprovechar de forma eficiente el recurso solar con el que cuenta, se consideran datos dentro del rango de 1999 al año 2018.

Por otro lado, en la Fig. 3 se muestra la gráfica que presenta la salida de potencia fotovoltaica específica, que de igual forma muestra el desempeño de México en comparación con otros países del mundo, en kWh/kWp, esto conforme a los datos obtenidos en los reportes del “Global Atlas Solar”, dentro del rango de 1999 al año 2018.

En ambas graficas se puede ver que México cuenta con el recurso solar suficiente para aprovecharlo.



*Fig. 3 Salida de potencia fotovoltaica específica*

Por otro lado, el “Statistical Review of World Energy” (Revisión Estadística de Energía Mundial), muestra los GW instalados correspondientes a la energía solar en varios países a lo largo de los años; En la Tabla 1 se presentan los datos a partir del año 2010 hasta el año 2020, en donde se observa que durante varios años no hubieron GW instalados, como es el caso de Brasil, en otros se puede ver un incremento notable en la cantidad de GW, mientras que en el caso de México se puede ver que durante varios años no hubo ningún incremento.

Tabla 1. GW instalados por país

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ALEMANIA	18	25.9	34.1	36.7	37.9	39.2	40.7	42.3	45.2	49	53.8
AUSTRALIA	1.1	2.5	3.8	4.6	5.4	6.1	6.9	7.6	8.9	13.6	17.6
BRASIL							0.1	1.3	2.5	4.6	7.9
CANADA	0.2	0.5	0.8	1.2	1.8	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.3
CHINA	1	3.1	6.7	17.7	28.4	43.5	77.8	130.8	175	204.6	253.8
FRANCIA	1	3	4.4	5.3	6	7.1	7.7	8.6	9.7	10.8	11.7
INDIA	0.1	0.6	1	1.4	3.4	5.4	9.7	17.9	27.1	34.9	39
ITALIA	3.6	13.1	16.8	18.2	18.6	18.9	19.3	19.7	20.1	20.9	21.6
JAPON	3.6	4.9	6.4	12.1	19.3	28.6	38.4	44.2	55.5	61.5	67
MÉXICO			0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	2.5	4.4	5.6
ESPAÑA	3.9	4.3	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	9	11.8

Por otro lado, se ha observa que a nivel nacional los Sistemas Fotovoltaicos interconectados a la red se encuentran mayormente instalados en el norte del país comparado con la región central México (Fig. 4), aproximadamente más de 160,000 viviendas ya utilizan techos solares para el consumo doméstico de electricidad. (160,000 viviendas ya utilizan techos solares en México, 2018).



Fig. 4 Capacidad y Generación en Centrales Solares 2018 (MW, GWh)



En el año 2017, en el país se registraron 23 centrales fotovoltaicas en operación, mismas que representan menos del 0.4% de la capacidad total (214 MW) y el 0.1% de la generación eléctrica en 2017 (344 GWh). El 75.2% de la capacidad instalada nacional se ubica en cuatro estados: Baja California Sur, Durango, Chihuahua y el Estado de México. (*Principales Centrales Eléctricas Solares en México | KeeUI Solar, 2020*)

Actualmente no es posible observar diversos sistemas de paneles solares instalados en residencias en el Oriente del Estado de México, es por eso que se toma en cuenta una zona correspondiente a esa ubicación con el propósito de mostrar el potencial y los beneficios de instalar un Sistema Fotovoltaico, además de compararlo con el dimensionamiento en una zona en el norte del país, específicamente en el estado de Nuevo León, debido a que la ubicación del Sistema Fotovoltaico influye en el rendimiento de la instalación, por lo que al comparar se observará en donde se tiene un mejor funcionamiento, y así potencializar a los Sistemas Fotovoltaicos como principales tecnologías de energías renovables para lograr impactar en el ámbito social, económico y cultural de cada una de las ubicaciones seleccionadas.

Se ha demostrado que la energía fotovoltaica trae múltiples beneficios, los paneles solares emiten muy poca contaminación en el aire y, por lo tanto, la energía solar es una fuente de energía mucho más limpia que la quema de combustibles fósiles. Las ciudades o áreas que deciden usar energía solar para alimentar los edificios disfrutarían de una calidad de aire más limpia en la región, lo que a su vez puede hacer que los ciudadanos y trabajadores en el área sean más saludables.

Además, la fabricación de energía solar es menos costosa que la quema de combustibles fósiles, que es el método tradicional de generación de electricidad. Por lo tanto, si las empresas o los hogares deciden usar energía solar para alimentar la electricidad en sus hogares o edificios, sus facturas de electricidad pueden ser sustancialmente menores que si usan energía generada a partir de combustibles fósiles. (*Impactos sociales de la energía solar - Eres Medio Ambiente, 2022*).



## 1.4 HIPOTESIS

La ubicación geográfica, características económicas y demanda energética de una región en México, influye en el desempeño y factibilidad de implementación de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red.



# **CAPÍTULO 2.**

# **MARCO TEÓRICO**

## 2.1. RECURSO SOLAR

### 2.1.1 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar se define como la energía originada en el Sol y medida en la superficie de la Tierra; es un recurso natural que ha estado presente a través de la historia y ha permitido la supervivencia humana. Esta energía se cuantifica por medio de la radiación solar global, una magnitud que representa la cantidad de energía electromagnética incidente en una superficie por unidad de tiempo, por unidad de área, y tiene una magnitud constante fuera de la atmósfera terrestre, con un valor aproximado de  $1368 \text{ W/m}^2$ .

Por otra parte, la insolación se refiere a la radiación incidente sobre un área en determinado tiempo, normalmente expresada en kilovatios hora por metro cuadrado por día ( $\text{kWh m}^2/\text{día}$ ). Debido a los elementos presentes en la atmósfera como el oxígeno, el hidrógeno, el ozono, el dióxido de carbono, el metano y también factores como las nubes, el vapor de agua y algunos otros más, el valor de la radiación solar global en la superficie terrestre varía haciendo que su comportamiento sea diferente para diferentes intervalos de tiempo.

La energía solar es una de las principales energías renovables debido a que es virtualmente inagotable y posee un menor impacto contaminante en el medio ambiente, sumado esto a su efectividad y practicidad al llevar energía eléctrica o térmica a cualquier zona del planeta, donde por motivo de ubicación no llega la cobertura de la red de energía eléctrica convencional. (Contreras *et al.*, 2018)

### 2.1.2 IMPORTANCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. La cantidad de radiación

absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera.

Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en las áreas de ingeniería, arquitectura, agricultura, ganadería, salud humana y meteorología, dentro de las cuales se destacan: su empleo como fuente alternativa de energía en la generación de electricidad y en el diseño y uso de sistemas de calentamiento de agua, el diseño de edificios e infraestructura, el monitoreo del crecimiento de plantas, la deshidratación de alimentos, implicaciones en la salud (ej. cáncer de piel o tratamientos curativos), el análisis de la evaporación e irrigación, su importante rol en los modelos de calidad del aire y de predicción del tiempo y el clima y muchas otras aplicaciones y usos que emplean la radiación solar como una de sus fuentes de energía.

La radiación solar nos proporciona efectos fisiológicos positivos tales como: estimular la síntesis de vitamina D, que previene el raquitismo y la osteoporosis; favorecer la circulación sanguínea; actúa en el tratamiento de algunas dermatosis y en algunos casos estimula la síntesis de los neurotransmisores cerebrales responsables del estado anímico.

### 2.2.1 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR

La energía solar llega en forma de radiación electromagnética o luz. La radiación electromagnética, son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse, por lo que estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. La longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia ( $\nu$ ) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión  $\lambda\nu = C$  (donde C es la velocidad de la luz), son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las

ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de  $C = 299.792$  km/s.

La radiación es emitida sobre un espectro de longitud de ondas, con una cantidad específica de energía para cada longitud de onda. La longitud de onda de la luz es tan corta que suele expresarse en nanómetros (nm), que equivalen a una milmillonésima de metro, o una millonésima de milímetro o en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) que equivalen a una millonésima de metro.

La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro en diferentes longitudes de onda, como se muestra en la figura 5, que se extiende desde longitudes de onda corta de billonésimas de metro (frecuencias muy altas), como los rayos gama, hasta longitudes de onda larga de muchos kilómetros (frecuencias muy bajas) como las ondas de radio. El espectro electromagnético no tiene definidos límites superior ni inferior y la energía de una fracción diminuta de radiación, llamada fotón, es inversamente proporcional a su longitud de onda, entonces a menor longitud de onda mayor contenido energético. (*RADIACIÓN SOLAR - IDEAM, no date*) (Fig. 5)

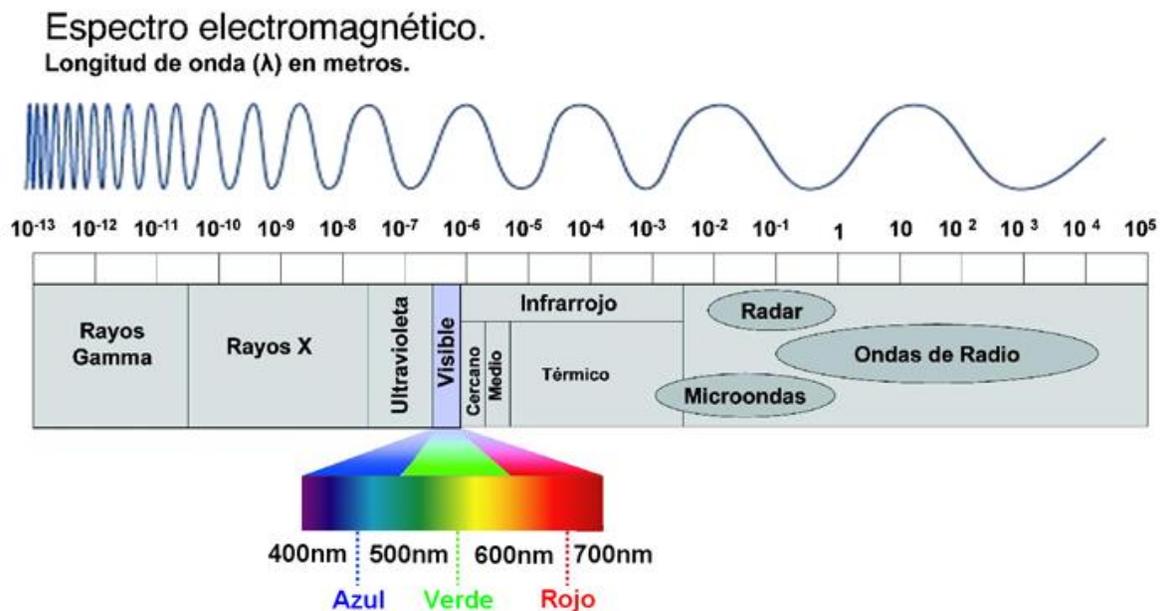


Fig. 5 Espectro electromagnético de la radiación solar

## 2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

### 2.2.1 DEFINICIÓN

Un Sistema Fotovoltaico (**SFV**) o de energía solar, es un conjunto de dispositivos cuya función es transformar la energía solar directamente en energía eléctrica, adecuada a los requerimientos de una aplicación determinada. Este sistema se muestra en la Fig. 6 y se compone de tres principales elementos: (Celdas Fotovoltaicas 1.1 Sistema de Generación Solar, 2019)

- 1) **Generación o Producción (Celdas o Módulos Solares)**, responsable de transformar la energía solar en electricidad. Está conformado por el panel solar.
- 2) **Control (Reguladores de Voltaje o Controladores)**, permite tener el control de todo el Sistema Fotovoltaico y monitorear su buen funcionamiento. Normalmente está compuesto por el controlador de carga, el interruptor termomagnético, y la fusilera de protección para consumo.
- 3) **Almacenamiento (Baterías o Acumuladores)**, encargado de almacenar la energía eléctrica producida por el panel solar durante el día. Corresponde a la batería. (Proyecto EnDev/GIZ, 2019).

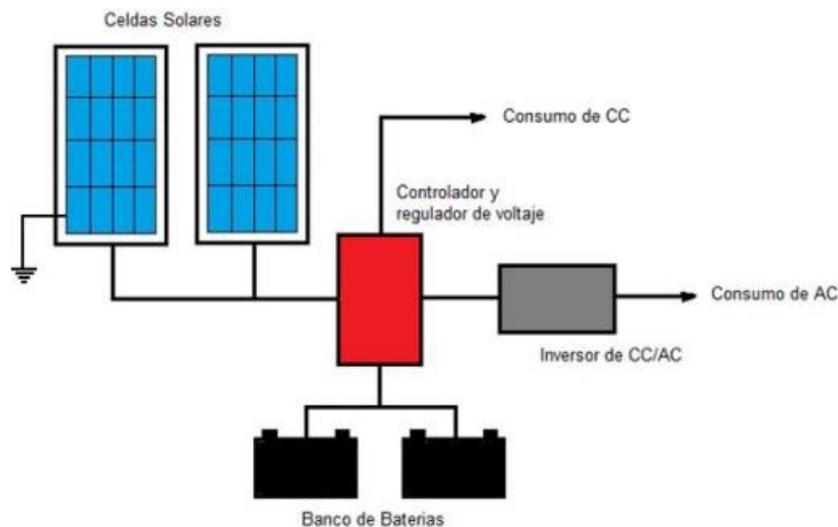
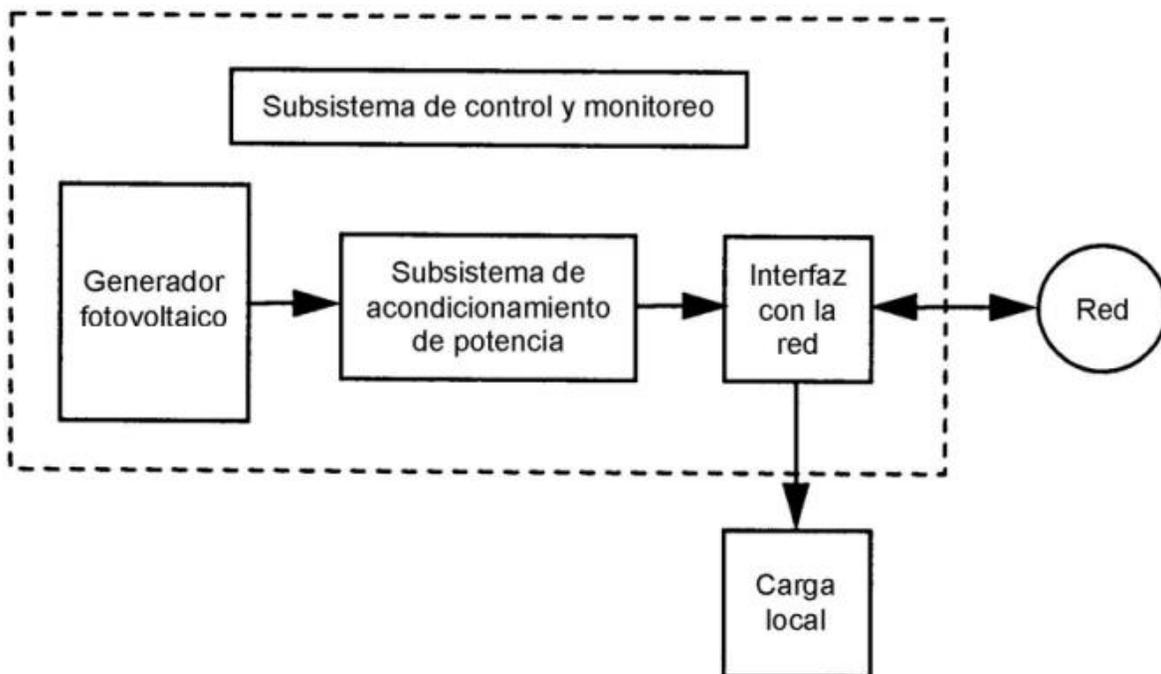


Fig. 6 Sistema Fotovoltaico básico

## 2.2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED

Sistema Fotovoltaico de generación eléctrica en el que la energía en corriente directa del GFV es convertida en energía en corriente alterna (c.a.), a la tensión y frecuencia de la red eléctrica y sincronizada con ella. Al conectarse en paralelo con la red, el SFV contribuye al suministro de la energía demandada a la red. Si existe una carga local en el inmueble, ésta debe ser alimentada por cualquiera de las dos fuentes o por ambas simultáneamente, dependiendo de los valores instantáneos de la carga y de la potencia de salida del SFV. Cualquier superávit de potencia del SFV es inyectado a la red eléctrica y cualquier déficit es demandado a ésta. La Fig. 7 muestra el diagrama de bloques de un SFVI; las flechas indican el flujo de la energía. (Subdirección de Distribución, 2020).



*Fig. 7 Sistema de bloque de un SFVI*

Las principales componentes de un Sistema Fotovoltaico conectado a la red son: el arreglo fotovoltaico, que es el elemento encargado de transformar la luz del sol en electricidad; y un elemento acondicionador de la potencia producida (un inversor

c.d./c.a.), cuya función es adecuar la energía generada por el arreglo a las características eléctricas de la red para su conexión a ésta.

Un arreglo fotovoltaico está constituido por un determinado número de módulos o unidades fotovoltaicas individuales. El número de unidades depende de la potencia nominal requerida en el arreglo y de la potencia pico de los módulos seleccionados.

### 2.2.3. CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UN SISTEMA CONECTADO A LA RED

En el caso particular de los Sistemas Fotovoltaicos ligados a la red, cuya principal aplicación se da en viviendas o edificaciones dentro de las zonas urbanas, los elementos conversores (módulos fotovoltaicos) encargados de transformar la luz del sol en electricidad se instalan sobre el techo de las construcciones para proveer a éstos una mayor y mejor exposición a los rayos solares. En cuanto a la conexión eléctrica del sistema a la red, ésta se lleva a cabo a través de un inversor. La Fig. 8 muestra la configuración y conexión típica de un Sistema Fotovoltaico conectado a la red.

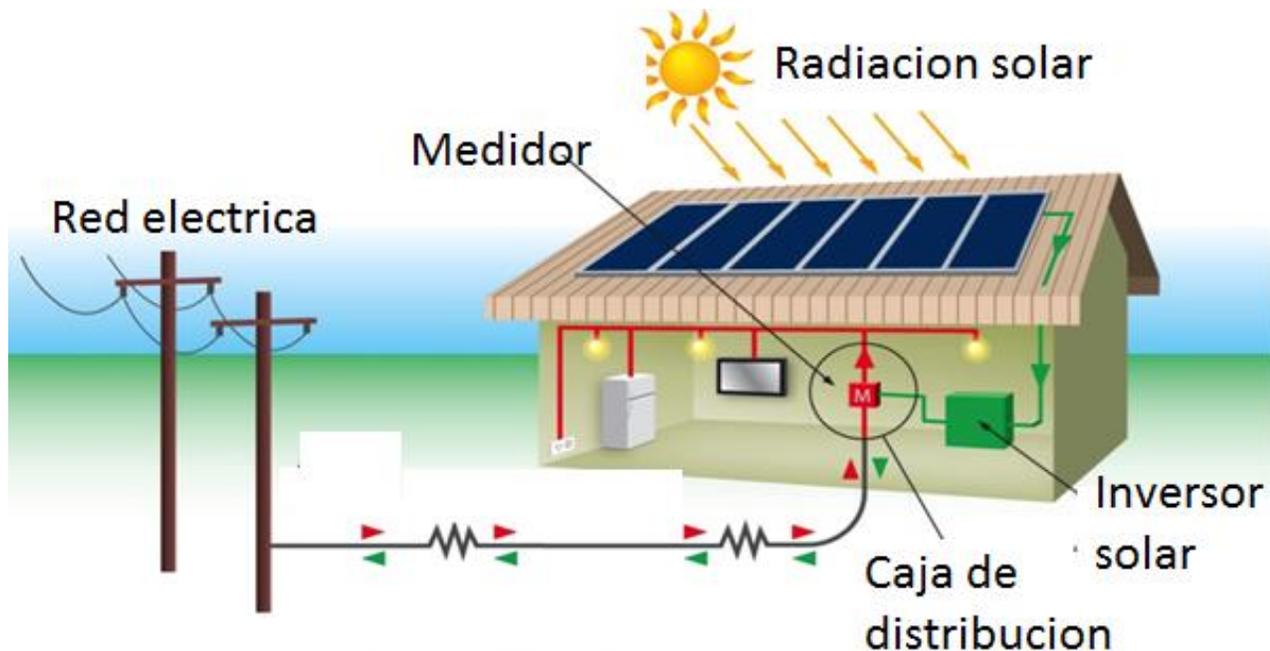


Fig. 8 Configuración típica de un SFVI



Como cualquier otra instalación eléctrica, estas instalaciones se habilitan con los medios apropiados para realizar, adecuadamente y en forma segura, la conexión y la desconexión eléctrica del Sistema Fotovoltaico de la red; y para proporcionar la adecuada protección al equipo y a las personas contra condiciones de operación no deseadas.

En una instalación como la mostrada, la electricidad para alimentar las cargas en el inmueble puede venir (total o parcialmente) del Sistema Fotovoltaico o de la red eléctrica convencional indistintamente. En este esquema la fuente de energía que provee la electricidad a las cargas es transparente en todo momento para el usuario, dado que la calidad de la energía eléctrica generada por el Sistema Fotovoltaico es similar a la de la red eléctrica convencional. Cuando existe un déficit entre la demanda de electricidad en el inmueble respecto a la generación fotovoltaica, este diferencial es cubierto con electricidad proveniente de la red eléctrica convencional. En caso contrario, cuando se presenta un excedente entre la demanda respecto a la generación fotovoltaica, éste es directamente inyectado a la línea de distribución del proveedor del servicio eléctrico. (González, Jiménez and Lagunas, 2019)

#### 2.2.4. EFECTO FOTOELÉCTRICO

La transformación de energía solar, en energía eléctrica, se debe al efecto fotovoltaico. Este efecto convierte la luz en electricidad, a través de un medio. El medio empleado consiste en un material que absorbe los fotones de la luz -energía-, y posteriormente emite electrones. Estos electrones se desplazan intercambiando posiciones, y produciendo una corriente eléctrica.

El comportamiento de los semiconductores depende de si una fuente energética externa los excita o no. Esta fuente energética sería la radiación solar. (*¿Qué es el efecto fotovoltaico? Luz y electricidad*)

Cuando los materiales semi conductores captan la radiación solar -fotones- liberan dichos electrones, los cuales circulan de forma permanente por el material, debido a la presencia de un campo eléctrico. El campo eléctrico se genera al combinar en

la célula fotovoltaica, dos capas de material semi conductor, pero con cargas eléctricas opuestas cada capa. Un conductor externo, permite el flujo de electrones de una capa a otra, cuando la célula recibe radiación, produciendo así una corriente eléctrica (Fig. 9).

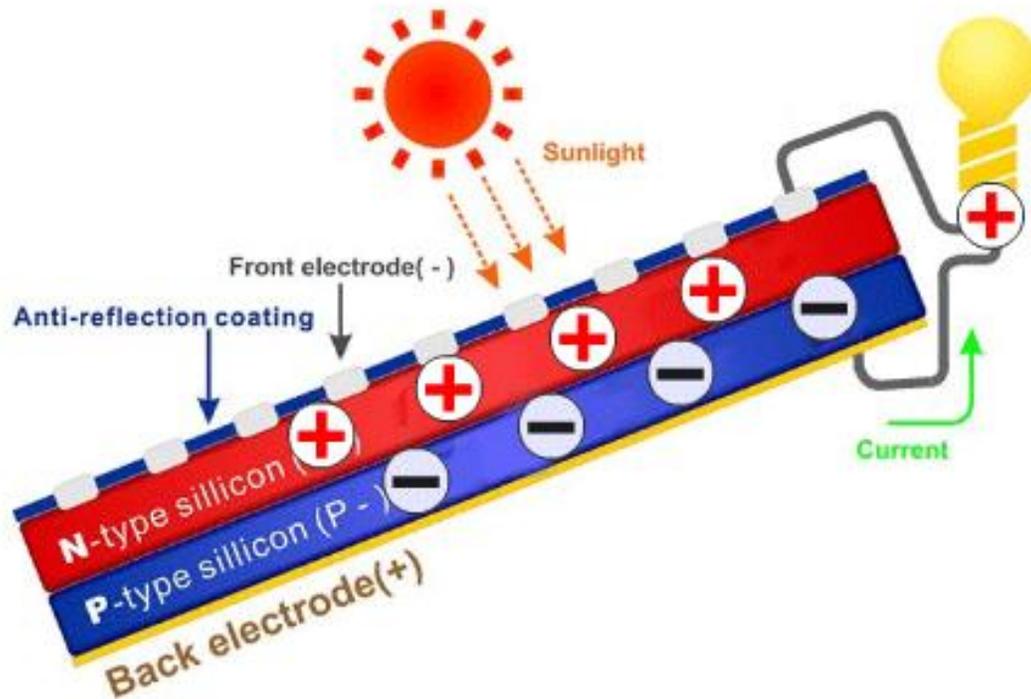


Fig. 9 Cargas eléctricas en un panel solar

La cantidad de energía captada, por un panel de células fotovoltaicas, dependerá, por lo tanto, de las condiciones meteorológicas, y sobre todo de su orientación respecto de los rayos solares: perpendicular en todo momento, para conseguir el máximo aprovechamiento. (*Energía solar y sus beneficios ¿Qué es el efecto fotovoltaico?*)

## 2.3. PRICIPALES APLICACIONES DE LOS SFV

### 2.3.1. VENTAJAS

Al realizar una instalación fotovoltaica conectada a red se consigue una alta rentabilidad de la inversión, amortizando la instalación en menos de 5 años (Tarifa DAC) y generando beneficios cada vez más cuantiosos durante el paso del tiempo.

Hoy en día es común escuchar sobre sistemas de interconexión a la red con paneles solares, sin embargo, en muchas ocasiones no se tiene una idea clara sobre las ventajas que tienen estos equipos, aunado al ahorro de energía, por lo que a continuación se enlistan algunas de ellas:

- Disminución de la dependencia energética de fuentes no renovables.
- Son sistemas modulares, permitiendo el aumento de la potencia instalada.
- Cuentan con bajo mantenimiento al no contar con partes móviles, además de que son sistemas silenciosos; basta con realizar una inspección visual para asegurarse que los módulos se encuentran limpios y en buenas condiciones. (*Ventajas de los Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red, 2018*)
- No consume combustibles fósiles. No genera residuos algunos.
- La materia prima de producción proviene de una fuente inagotable, el SOL.
- Ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente. Además de las ventajas ambientales también debemos tener en cuenta las socioeconómicas, una instalación tiene una vida larga (los paneles solares duran aproximadamente 30 años y cuentan con garantía de manufactura de 10 años).
- Además, resisten condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, y humedad.
- No existe una dependencia de los países productores de combustibles. Puede instalarse en zonas rurales desarrollo de tecnologías propias.
- Se puede utilizar en lugares de bajo consumo y en casas ubicadas en parajes rurales donde no llega la red eléctrica general. (Super User, 2018)

### 2.3.2. USOS

En los últimos años las energías renovables han tomado un importante auge en la vida cotidiana de todas las personas. En este caso para la generación de energía eléctrica que se consume tanto en los hogares como en la utilización de la industria. Este auge se ha visto más en países como en países como: Alemania, España, EU, Japón, China, Australia, y en particular en Europa.

Actualmente los usos de los paneles fotovoltaicos son varios, ya que en décadas pasadas eran solo utilizados para áreas remotas y de difícil acceso, pero a partir de los años noventa se lanzó una importante propuesta para colocar los tejados fotovoltaicos, principalmente en EU, y Japón.

#### 2.3.2.1 Zonas Residenciales

Un sistema de Paneles Solares interconectados a la Red de CFE para casa permite al usuario generar su propia electricidad a través de energía renovable. Un beneficio de esto que disminuye notablemente los gastos en un recibo de energía eléctrica. (Fig.10)



*Fig. 10 Aplicación de SFVI en zona residencial*

Además, se muestra un beneficio económico exponencial a través del tiempo, ya que el Sistema FV genera energía a través de los años, anulando los incrementos en el precio de la tarifa doméstica de CFE.

### 2.3.2.2 Zonas Comerciales

El Sistema interconectado a la Red de CFE permite al usuario generar su propia energía para su Negocio o Empresa a través de la luz del Sol. Ayuda a reducir significativamente los gastos en el recibo de energía eléctrica. Además, las inversiones sustentables permiten disminuir de forma considerable gastos fijos. Un beneficio de esto es que el uso de un SFVI permite destinar dicho ahorro a nuevos proyectos de inversión que permitirán un crecimiento más rápido del negocio. (*Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red: Panel Power*, 2019) (Fig. 11)

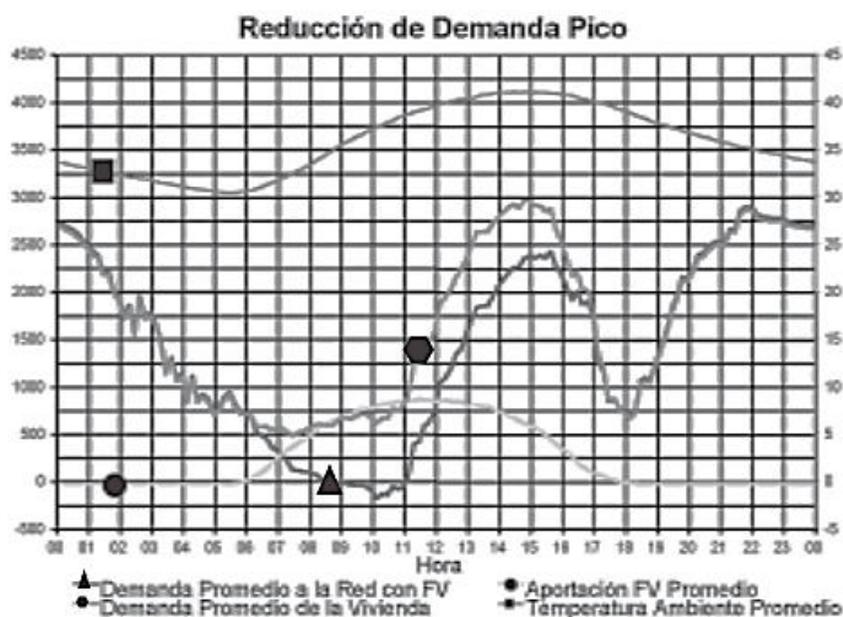


*Fig. 11 Aplicación de SFVI en zonas comerciales*

### 2.3.3. BENEFICIOS

Dentro de los beneficios derivados de la generación eléctrica existe un gran potencial en la reducción de la demanda pico y del consumo eléctrico en horas pico, que se pueden aplicar en inmuebles comerciales, industriales o habitacionales, y en los edificios públicos en general. Esto debido a que el perfil de generación

fotovoltaica tiene un buen grado de coincidencia con el perfil de la demanda eléctrica en el inmueble. A manera de ejemplo, la Fig. 12 muestra gráficamente cómo la generación fotovoltaica incide sobre el patrón de demanda de un usuario cualquiera y abate el pico vespertino de demanda eléctrica, el cual coincide con la temperatura ambiente máxima registrada en la zona. Asimismo, en dicho gráfico se puede notar la inyección del fluido eléctrico a la red durante la mañana, justo cuando la generación fotovoltaica supera la demanda del usuario.



*Fig. 12 Impacto de la generación fotovoltaica sobre el patrón de demanda eléctrica*

La energía solar es una fuente limpia y no contaminante. No emite gases tóxicos de efecto invernadero, así que no contribuye a la destrucción del medio ambiente. Si bien la fabricación de placas solares tiene un cierto impacto, no es comparable con el daño causado por los combustibles fósiles. Además, gracias a tecnologías innovadoras, ya se puede reciclar más del 90% de un panel solar.

También a diferencia de lo que sucede con los combustibles fósiles, la energía solar no se ve afectada por los altibajos de la economía o por su propia disponibilidad. Tanto la luz como el gas, en especial la primera, varían sus precios cada cierto tiempo, y siempre tienden a ir al alza por la propia escasez a la que nos enfrentamos.



Sin embargo, puesto que la energía solar siempre está disponible y no debemos extraerla sino recogerla, es totalmente gratuita. La inversión se destina únicamente a la instalación de un sistema que pueda permitir su aprovechamiento, bien de manera directa o bien guardándola para utilizarla en un momento posterior.

Por otra parte, la tecnología que utilizan, así como la instalación de placas solares, gozan de sencillez, por lo que son una opción muy interesante para desarrollar. Es perfectamente compatible con las zonas rurales o aquellas que están aisladas o son de difícil acceso. En estas resulta, además, muy adecuada, siempre y cuando abunden las horas de sol al año.

En aquellas zonas rurales en las que no es posible conectarse a ninguna red, la energía solar se presenta como una alternativa capaz de solucionar dicho problema. Siempre y cuando incidan con cierta frecuencia los rayos del sol, es viable realizar una instalación para recoger y aprovechar la energía solar. Utilizar un medidor de radiación solar tiene aplicaciones a gran escala, pero también nos permite conocer aquellas zonas más adecuadas para la instalación de plantas solares. Las fuentes de energía renovables son el único camino que nos queda si no queremos destruir completamente al medio ambiente.

Este desarrollo de las energías renovables conocido también como la “cuarta revolución industrial”, está permitiendo hacer de nuestro mundo un lugar más sostenible. Además, se está llevando a cabo una transformación tecnológica, donde la tendencia es disminuir las emisiones de gases para mejorar los umbrales de potencia y rentabilidad de manera saludable.

La utilización de energías renovables, como la solar, permite reducir considerablemente el consumo final de combustibles fósiles. Incluso, instalaciones fotovoltaicas con baterías solares de almacenamiento de alto rendimiento, pueden llegar a permitir un autoconsumo completo y estar desconectados de la red eléctrica.



*Fig. 13 Beneficios de la energía solar*

## 2.4 HERRAMIENTAS EMPLEADAS

### 2.4.1 PVSYST

La herramienta de PVSYST (Fig. 14) es un programa de ordenador utilizado en todo el mundo para el diseño de instalaciones fotovoltaicas. Este popular software cuenta con una base de datos de gran amplitud en la que se incluyen los componentes principales que se utilizan en estas instalaciones a nivel internacional.

Esta completa herramienta de diseño destaca entre otros programas de energía solar por ofrecer infinitas posibilidades en su utilización. Para sacarle el mayor rendimiento posible, solo hay que seguir un sencillo procedimiento:

En primer lugar, se debe especificar la superficie disponible para realizar la instalación y cuál es la potencia que se desea alcanzar en su estado y condiciones óptimas.

En segundo lugar, seleccionar el Módulo Fotovoltaico de la base de datos interna del programa.

Por último, elegir el inversor en la base de datos interna del programa.

Con esta información, el software propone una configuración del sistema que permitirá al usuario realizar una simulación preliminar del proyecto. Esta simulación se muestra en forma de informe completo, con gráficos y tablas repletas de información que pueden exportarse con comodidad y emplearse en otro tipo de softwares.

Además de estas funcionalidades básicas, el programa ofrece otras interesantes herramientas que pueden resultar de utilidad para cualquier proyecto de instalaciones solares fotovoltaicas. Cálculo de dimensiones del sistema, simulación, sombreado, almacenamiento en red, acceso a la normativa meteorológica o evaluaciones económicas, son solo algunas de ellas.



Fig. 14 Página de Inicio, PVSYST

#### 2.4.2 POWER DATA ACCESS VIEWER

La aplicación de mapeo web POWER Data Access Viewer (DAV) (Fig. 15) contiene parámetros relacionados con la nube, la meteorología y la energía solar habilitados geoespacial mente formulados para evaluar y diseñar sistemas de energía renovable. POWER DAV es una aplicación basada en widgets receptivos que se ejecuta en todos los dispositivos (PC, computadora portátil, tableta, teléfono inteligente) y todas las plataformas (Apple, Android y Windows). Este diseño brinda a los usuarios acceso a datos de POWER en la oficina o en el campo.

El archivo de datos POWER está disponible a través de una serie de servicios que son extensibles e integrales más allá de la aplicación de mapas web. POWER proporciona varios conjuntos de datos geospaciales, tabulares y de texto y archivos que los usuarios pueden descargar y/o integrar en software y aplicaciones personalizados para su posterior procesamiento, análisis y visualización. POWER DAV aprovecha la API de ArcGIS para JavaScript y se basa en el marco Web AppBuilder for ArcGIS.

Este marco integral proporciona las herramientas y la interfaz para desarrollar aplicaciones y widgets personalizados para la interacción, creación de subconjuntos, geoprocésamiento y análisis de datos geospaciales. (NASA POWER | Docs | Tutorials | DAV - NASA POWER | Docs, 2020)

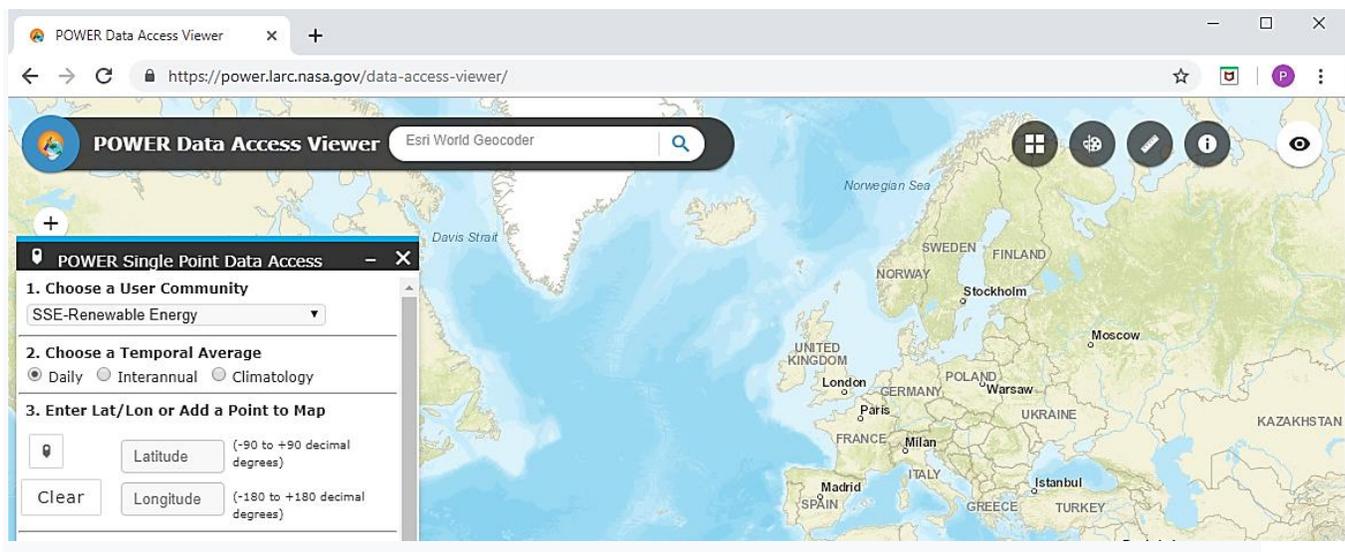


Fig. 15 Página de Inicio, Power Data Access Viewer



# CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

En la relación con los objetivos de esta tesis, se describe la metodología utilizada para el desarrollo de las acciones que darán cumplimiento a estos. Se divide en cuatro principales secciones. A continuación, se muestra un diagrama de flujo en el iniciando con la selección de las regiones geográficas hasta las simulaciones con diferentes herramientas y comparación de los resultados obtenidos. (Fig. 16)



Fig. 16 Diagrama de flujo del proceso



### 3.1 SELECCIÓN DE REGIONES GEOGRAFICAS

Para seleccionar ambas regiones se tiene que considerar el recurso solar en cada ubicación, debido a que dentro del territorio mexicano el recurso solar no es el mismo. Como se puede ver en la Fig. 17, en México, el recurso solar tiene una variación considerable de península a península, por lo que se seleccionaron dos ubicaciones con radiación solar diferente.

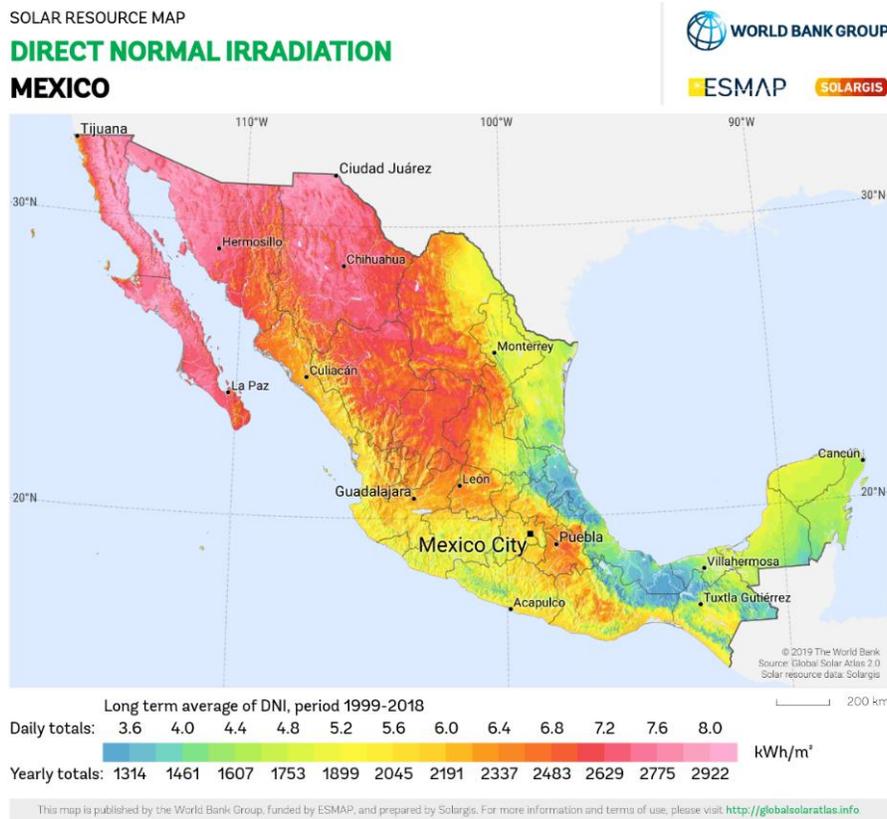


Fig. 17 Recurso solar en México

Para elegir ambas regiones se busca que la irradiación solar directa tenga una variación entre ambas, incluso si esta variación es mínima, con las que al finalizar las simulaciones se pueda ver la diferencia de generación. (Fig. 18)

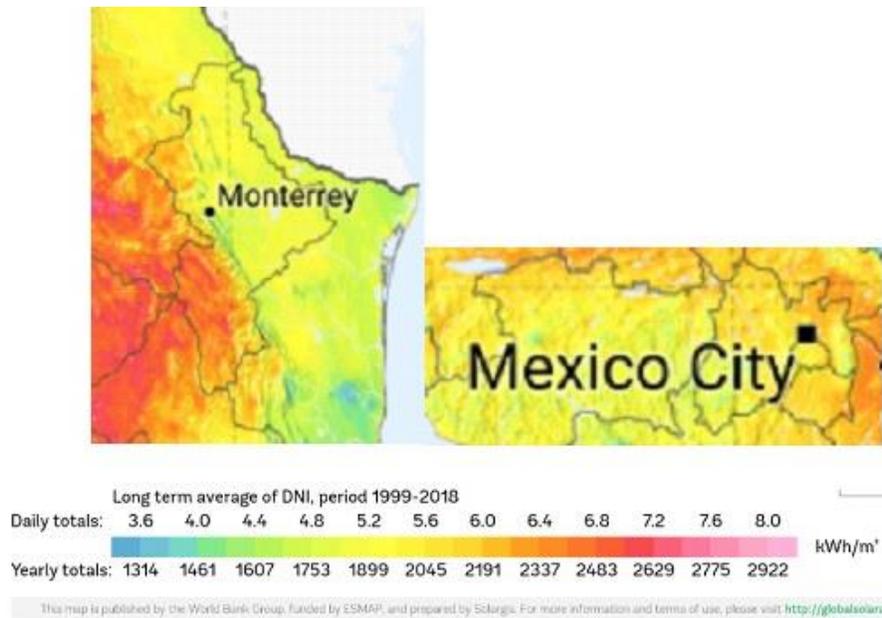


Fig. 18. Recurso solar en Nuevo León y el Estado de México

### 3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN 1: CHICOLOAPAN, EDO. DE MÉXICO

Chicoloapan se localiza en la región III al oriente del Estado de México, región central del país, el único municipio que lo separa de la ciudad de México, es el de Los Reyes La Paz, colinda al norte con el municipio de Texcoco; al sur con Ixtapaluca y la Paz; y al norte con Chimalhuacán y la Paz. (*Estado de México - Chicoloapan*, 2020)

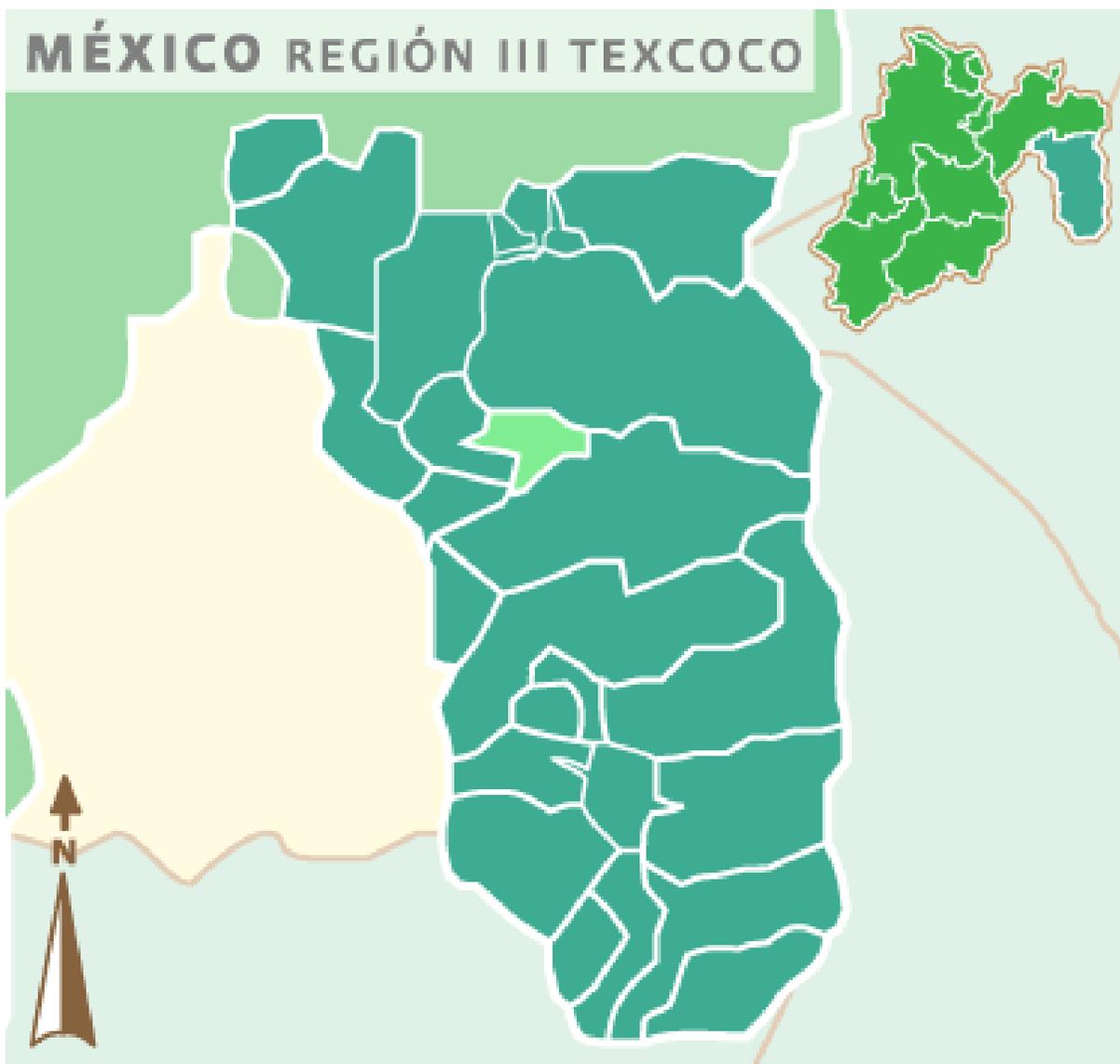
La distribución política comprende: la cabecera municipal (San Vicente Chicoloapan); 9 barrios; 3 rancherías; 5 Unidades habitacionales; 11 colonias, de las cuales tienen mayor población la colonia San José, Santa Rosa, Emiliano Zapata, Francisco Villa y Ejército del Trabajo.

A continuación, se enlistan algunas de las características más importantes del municipio de Chicoloapan. (*Chicoloapan en la región de México - Municipio y presidencia municipal de México*, 2017)

- Superficie del municipio de Chicoloapan: 6 089 hectáreas (60,89 km<sup>2</sup>)
- Altitud del municipio de Chicoloapan: 2 243 metros de altitud



- Coordenadas geográficas: Latitud: 19° 24' 45" Norte, Longitud: 98° 54' 10" Oeste
- Población: 204 107 Habitantes
- Densidad de la población del municipio de Chicoloapan: 3 352,1 hab./km<sup>2</sup>
- Código postal: 56370



*Fig. 19 Ubicación del municipio de Chicoloapan*

Predomina el clima templado, semiseco y con lluvias en verano. En el invierno generalmente baja la temperatura hasta 5°C. La temperatura promedio es de 25°C y lluvia anual de 640 mm. La temperatura máxima ha alcanzado los 34.5°C.

### 3.1.1.1 Delimitación del terreno a considerar en Google Earth

Para realizar el dimensionamiento se toma en cuenta una de las 5 unidades habitacionales correspondientes al municipio de Chicoloapan, en este caso se propone el dimensionamiento en la **Unidad Habitacional Bonito El Manzano**, con código postal 56373, correspondiente a la colonia El Tejocote, debido a que dentro de esta unidad habitacional no se han visualizado Sistemas Fotovoltaicos instalados en esta zona, por lo que se procede a delimitar la zona en Google Earth, con las siguientes coordenadas geográficas:

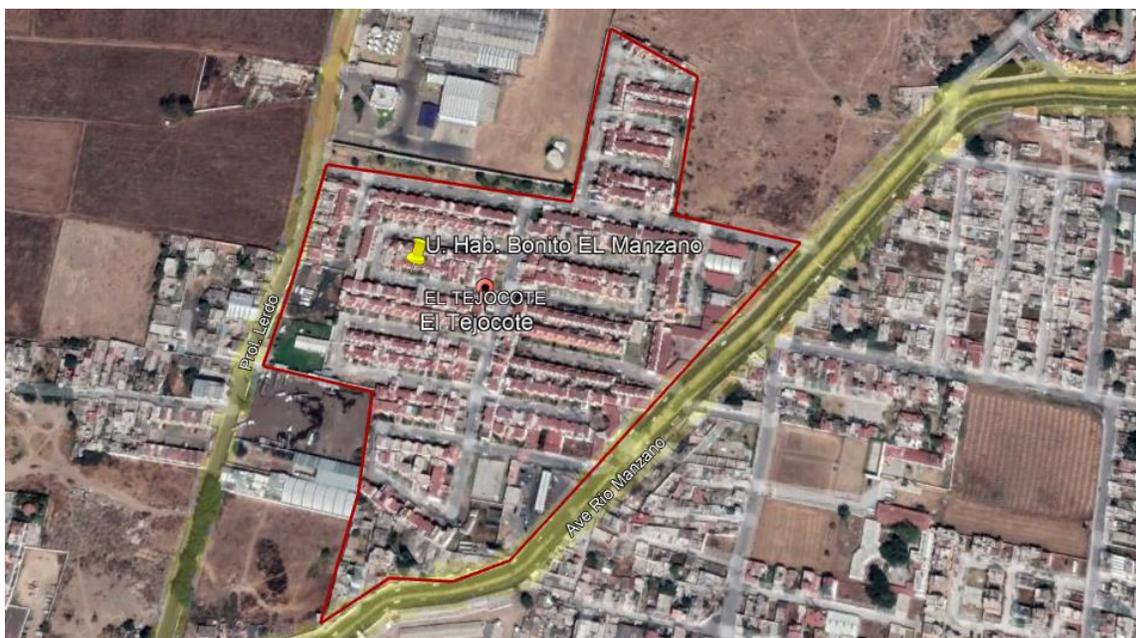
Latitud:	<input n"="" type="text" value="19°25'26.46"/>
Longitud:	<input o"="" type="text" value="98°54'7.94"/>

*Fig. 20 Coordenadas geográficas, Bonito EL Manzano*

Dentro del área seleccionada se contemplan las siguientes dimensiones, donde se busca realizar el cálculo para una casa dentro de esta zona, conforme al consumo promedio de energía eléctrica en el Estado de México, y así verificar el rendimiento de dicho sistema.

Perímetro:	1,594	<input type="text" value="Metros"/>
Área:	92,305	<input type="text" value="Metros cuadrados"/>

*Fig. 21 Dimensiones del terreno*



*Fig. 22 Delimitación del terreno en Google Earth*

### 3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN 2: MONTERREY, NUEVO LEÓN

Monterrey es una ciudad y capital del estado de Nuevo León. Se encuentra en la Región Noreste de México. Funge como el principal epicentro industrial, comercial y económico para el Norte de México. La ciudad de Monterrey cuenta con una población de 1,142,952 habitantes según datos del XIV Censo General de Población y Vivienda consultado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el año 2020 por lo cual es la 9° ciudad más poblada de México.

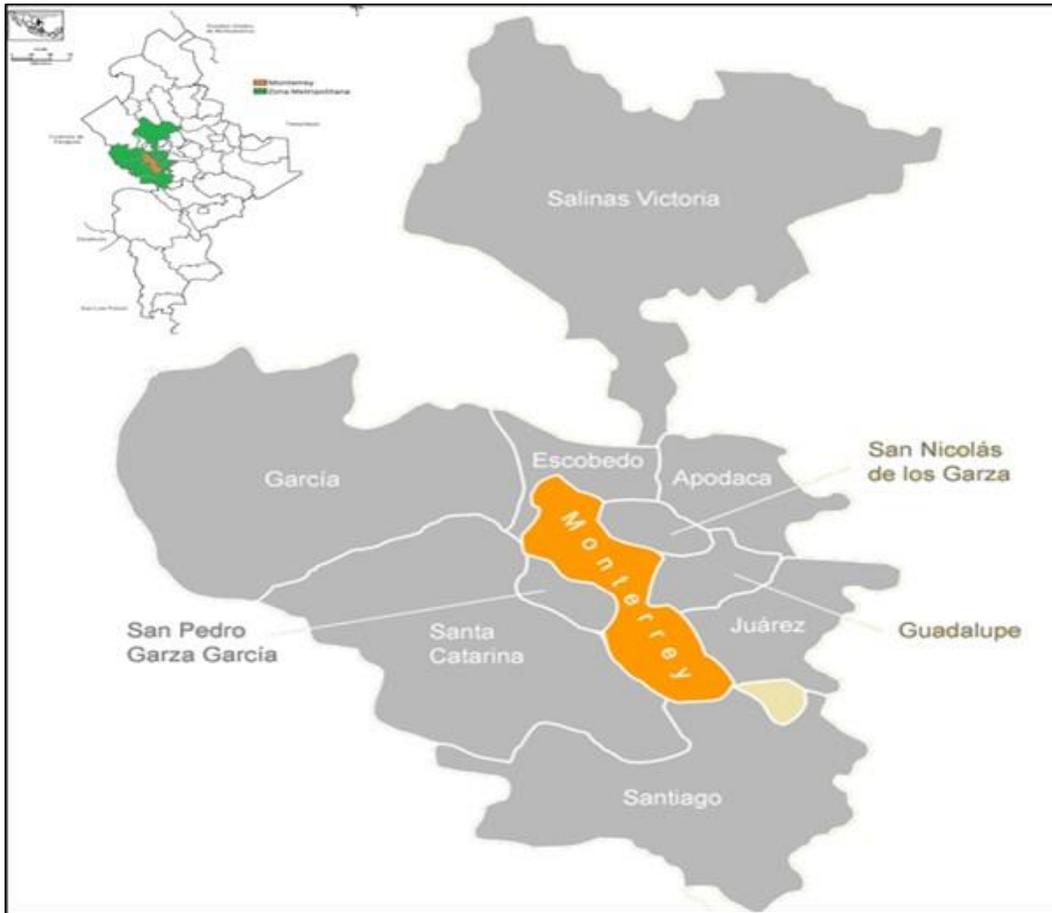
La distribución política del municipio de Monterrey comprende: 19 sectores, de entre ellos los siguientes: San Bernabé, Moderna, Independencia, Las Quintas, San Rafael, Dos Ríos, Solidaridad, Guadalupe, Santa Catarina, etc.

A continuación, se enlistan algunas de las características más importantes de la ciudad de Monterrey. (Geografía and Geografía, 2020)

- Superficie del municipio: 324.4 km<sup>2</sup>
- Altitud del municipio: 540 m s. n. m.
- Coordenadas geográficas: 25°40'17"N 100°18'31"O



- Población: 1,142,952 habitantes
- Densidad de la población de la ciudad de Monterrey: 1170,99 hab/km<sup>2</sup>
- Código postal: 64000



*Fig. 23 Ubicación del municipio de Monterrey*

### 3.1.2.1 Delimitación del terreno a considerar

Para realizar el dimensionamiento se toma en cuenta uno de los sectores más importantes correspondientes al municipio de Monterrey, en este caso se propone el dimensionamiento en el **Fraccionamiento San Bernabé**, localidad del municipio Monterrey, en Nuevo León, y abarca un área cercana a 23 hectáreas, con código postal 64217, esto debido a que Nuevo León es un estado donde se ha visto que las instalaciones fotovoltaicas son más comunes que en el Oriente del Estado de



México, por lo que se procede a delimitar la zona en Google Earth, con las siguientes coordenadas geográficas:

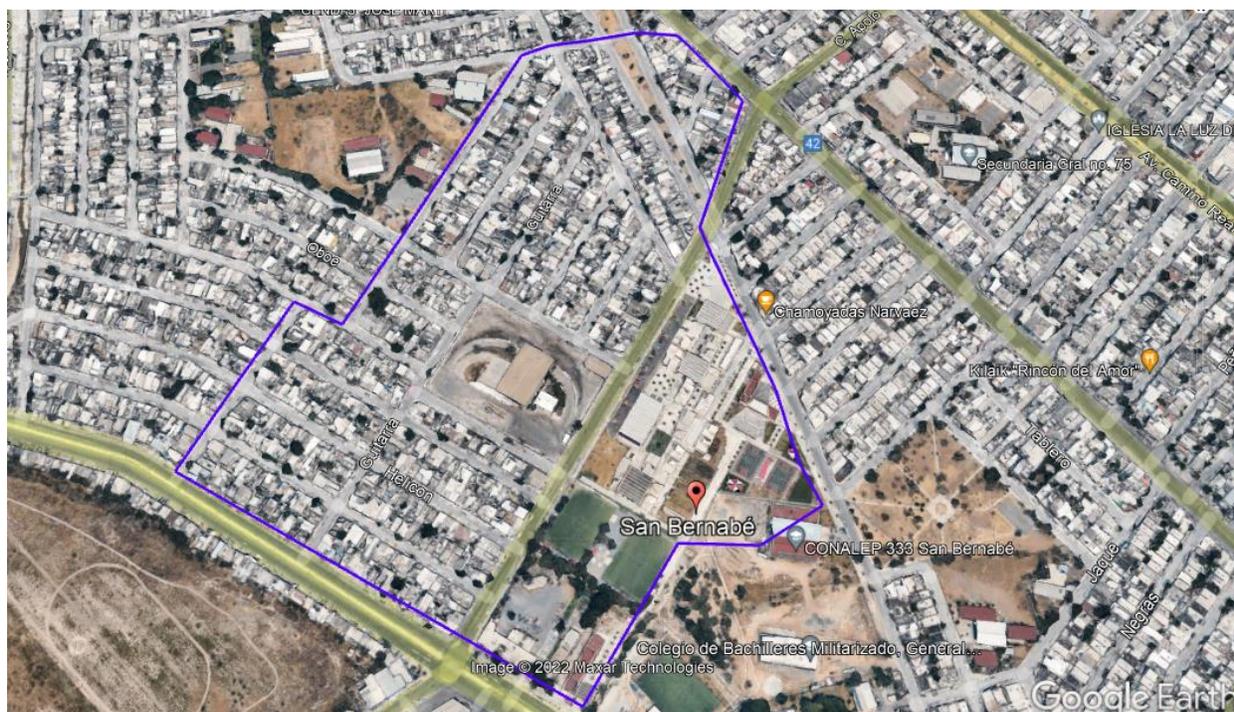
Latitud:	<input n"="" type="text" value="25°45'53.64"/>
Longitud:	<input o"="" type="text" value="100°22'15.77"/>

*Fig. 24 Coordenadas geográficas, San Bernabé*

Dentro del área seleccionada se contemplan las siguientes dimensiones, donde se busca realizar el cálculo para una casa dentro de esta zona, conforme al consumo promedio de energía eléctrica en el Estado de Nuevo León, y así verificar el rendimiento de dicho sistema.

Perímetro:	1,875	<input type="text" value="Metros"/>
Área:	188,215	<input type="text" value="Metros cuadrados"/>

*Fig. 25 Dimensiones del terreno*



*Fig. 26 Delimitación del terreno*

En San Bernabé habitan unas 3,920 personas en 941 hogares. Se registran 1,633 habitantes por km<sup>2</sup>, con una edad promedio de 29 años y una escolaridad promedio de 11 años cursados. (*Colonia San Bernabe, Monterrey, en Nuevo León, 2019*)

### 3.2 ANÁLISIS DE GENERACIÓN, RESUMEN DE SITIO Y HORAS SOLARES PICO

#### 3.2.1 DESCRIPCIÓN DE DATOS EN UN ANÁLISIS DE GENERACIÓN

Para realizar un análisis de generación, considerado el primer paso en un dimensionamiento fotovoltaico, es importante conocer el consumo promedio mensual de energía eléctrica, pues con el SVF se busca satisfacer las necesidades eléctricas de la infraestructura donde se encuentra instalado el sistema, esto se puede realizar de acuerdo al recibo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), pues en él vendrán datos de consumo que son necesarios conocer para el dimensionamiento, es decir, con el recibo de CFE se obtendrán los siguientes datos:

**Datos personales del cliente:** Lo primero que se podrá ver en el recibo de la luz son los datos personales del cliente, estos aparecerán en la parte superior izquierda del recibo de luz (Fig. 27), se refiere a los datos generales del cliente (nombre, dirección, no. de servicio, registro móvil de usuario, límite de pago, corte a partir, tarifa, no. de medidor, multiplicador, periodo facturado, carga conectada, demanda contratada, total a pagar)



**CFE** / *Suministrador de Servicios Básicos.*

CFE Suministrador de Servicios Básicos  
Río Ródano No.14, colonia Cuauhtémoc,  
Alcaldía Cuauhtémoc, Código Postal 06500,  
Ciudad de México.  
RFC: CSS160330CP7

**PROYECTO FAMILIAR Y MAS S.A.**  
9 101 X 17 COL.VISTA ALEGRE  
X 17 Y MONUMENTO LAS HACIENDAS  
VISTA ALEGRE.JARD.VTA F  
MERIDA, YUC.  
C.P. 97138

**TOTAL A PAGAR:**  
**\$24,311.00**  
(VEINTICUATRO MIL TRESCIENTOS ONCE PESOS  
00/100 M.N.)

**NO. DE SERVICIO :** 771120401293  
**RMU :** -- CFE

**PERIODO FACTURADO:** 03 ABR 2019 - 06 MAY 20

**TARIFA:** OM    **NO. MEDIDOR:** 839AE3    **MULTIPLICADOR:** 1    **FECHA LÍMITE DE PAGO:** 16 MAY 20

**CARGA CONECTADA kW:** 38    **DEMANDA CONTRATADA kW:** 34    **CORTE A PARTIR:** 17 MAY 20

Fig. 27 Ejemplo de datos personales en un recibo de CFE

**Consumos realizados:** Esta sección se encuentra en la parte central del recibo (Fig. 28), y especifica los detalles del consumo de energía en kilowatts-hora (concepto, lectura actual, lectura anterior, total periodo, precio, subtotal, gráfico lineal)



Fig. 28 Ejemplo de recibo de CFE, consumos realizados

**Costos de la energía eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista apoyo gubernamental:** Se ubica en la parte inferior izquierda, esta parte detalla el costo en el Mercado Eléctrico Mayorista (Fig.29). En este apartado se desglosa cuánto le cuesta a la CFE la generación de la electricidad, su distribución y transmisión para llevarla a los hogares de los usuarios (CFE Suministro, CFE Distribución, CFE Transmisión, CENACE, CFE Generación, Capacidad, SCnMEM)

Costos de la energía en el Mercado Eléctrico Mayorista				
Concepto	\$	\$/kW	\$/kWh	Importe (MXN)
Suministro	121.74	0.00	0.00	121.74
Distribución	0.00	0.00	194.41	194.41
Transmisión	0.00	0.00	44.33	44.33
CENACE	0.00	0.00	2.11	2.11
Energía	0.00	0.00	170.28	170.28
Capacidad	0.00	0.00	118.01	118.01
SCnMEM(*)	0.00	0.00	1.48	1.48
<b>Apoyo Gubernamental 408.16</b>				

Fig. 29 Ejemplo de recibo de CFE, costos de la energía eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista



**Desglose del importe a pagar:** Se encuentra situado en la parte inferior derecha (Fig. 30), este desglosa por conceptos el resultado de la cantidad a pagar en pesos correspondiente al periodo actual marcado en el recibo (Energía, IVA 16%, Fac. del Periodo, DAP, Total)

Desglose del Importe a pagar	
Concepto	Importe (MXN)
Energía	244.20
IVA 16%	39.07
Fac. del Periodo	283.27
Diferencia por redondeo	0.85
<b>Total</b>	<b>\$284.12</b>

Fig. 30 Ejemplo de recibo de CFE, desglose del importe a pagar

**Talón de caja:** Se ubica al final del recibo de luz una sección desprendible con un código de barras que incluye los datos de tu número de servicio, RMU y el monto total a pagar. Este talón (Fig. 31) se puede utilizar para realizar el pago correspondiente en la ventanilla de cualquier sucursal de CFE, en un CFE Mático (son cajeros automáticos) o en los establecimientos y bancos autorizados.



Fig. 31 Ejemplo de recibo de CFE, talón de caja

**Periodos de facturación:** Se encuentra al reverso de la hoja en la parte inferior izquierda del recibo de luz (Fig. 32). Aparece un recuadro que indica las fechas de facturación anteriores de los registros del servicio eléctrico de CFE (Periodo, kWh, Importe, Pagos, Pendientes de Pago)

Período	kWh	Importe	Pagos	Pendientes de Pago
del 21 SEP 20 al 19 NOV 20	264	\$284.00	\$284.00	
del 22 JUL 20 al 21 SEP 20	232	\$50.00	\$50.00	
del 21 MAY 20 al 22 JUL 20	191	\$194.00	\$194.00	
del 20 MAR 20 al 21 MAY 20	347	\$469.00	\$469.00	
del 20 ENE 20 al 20 MAR 20	239	\$154.00	\$154.00	
del 19 NOV 19 al 20 ENE 20	284	\$309.00	\$309.00	
del 18 SEP 19 al 19 NOV 19	225	\$229.00	\$229.00	
del 19 JUL 19 al 18 SEP 19	237	\$230.00	\$230.00	
del 20 MAY 19 al 19 JUL 19	243	\$236.00	\$236.00	
del 19 MAR 19 al 20 MAY 19	256	\$259.00	\$259.00	
del 17 ENE 19 al 19 MAR 19	264	\$36.00	\$36.00	

Fig. 32 Ejemplo de recibo de CFE, periodos de facturación

Por otro lado, también podremos encontrar una tabla como la de la Fig. 33, donde nos especifica la demanda máxima en kW, el consumo en kWh, factor de potencia, carga y precio. Se puede presentar una variación en función del tipo de tarifa (bimestral o mensual). Mismos datos que serán necesarios en el análisis de generación.

Período	Demanda máxima kW	Consumo total kWh	Factor potencia %	Factor carga %	Precio medio (MXN)
ABR 19	10	3,920	77.47	30	2.4943
MAY 19	40	16,240	76.48	36	2.3145
JUN 19	73	26,720	75.06	66	2.3106
JUL 19	72	29,280	75.08	66	2.2928
AGO 19	72	30,160	75.74	63	2.2711
SEP 19	61	23,920	76.09	54	2.2919
OCT 19	51	20,000	77.78	46	2.2078
NOV 19	27	11,280	82.11	24	2.1935
DIC 19	27	10,640	85.12	25	2.1161
ENE 20	20	7,040	88.62	19	2.1733
FEB 20	21	8,640	87.42	20	2.2079
MAR 20	30	11,760	82.68	27	2.1973
ABR 20	61	24,080	78.70	53	2.2379

Fig. 33 Tabla de consumo total por periodos

**Consumo histórico:** Se ubica al reverso del recibo de luz del lado inferior derecho de la hoja (Fig. 34). Se muestra una gráfica de barras que representa de manera visual el gasto de electricidad en los periodos anteriores, con la intención de detectar las fechas con mayor utilización y conocer el comportamiento y tendencias de consumo del cliente.





### Analisis de la generacion

Nombre del cliente	BACHOCO SA DE CV	Carga Conectada kW	87		
Ubicación	KM 15 CARR A LA TORREÑA Gomez Palacio Dgo	Demanda Contratada kW	87		
No. De servicio	632850700482	Zona	Norte		
Tarifa	GDMTO	Fecha	06/05/2021		
Datos del recibo					
Periodo	Demanda Max Kw	Consumo Total kW	Factor de potencia %	Factor de carga %	Precio medio (\$/kWh)
abr-19	10	3920	77.47	30	2.4943
may-19	40	16240	76.48	36	2.3145
jun-19	73	26720	75.06	66	2.3106
jul-19	72	29280	75.08	66	2.2928
ago-19	72	30160	75.74	63	2.2711
sep-19	61	23920	76.09	54	2.2919
oct-19	51	20000	77.78	46	2.2078
nov-19	27	11280	82.11	24	2.1935
díc-19	27	10640	85.12	25	2.1161
ene-20	20	7040	88.62	19	2.1733
feb-20	21	8640	87.42	20	2.2079
mar-20	30	11760	82.68	27	2.1973

Fig. 36 Ejemplo de análisis de generación, datos de entrada

### 3.2.2 DESCRIPCIÓN DE DATOS EN RESUMEN DE SITIO

El formato de sitio brinda apoyo para tener un control de órdenes, éste se realizará después de haber generado el análisis de generación, pues con algunos de los datos obtenidos anteriormente se llenará parte del formato de resumen de sitio.

Para generar un resumen de sitio se debe realizar una tabla en donde se tengan los siguientes datos:

- Folio
- Registro permanente de usuario (RPU)
- Capacidad propuesta (kWp) DC
- Capacidad SFV AC (kWp)
- Energía consumida promedio anual (KWh)
- Demanda contratada (KW)
- Ampliación de carga
- Factor de potencia promedio
- Banco de capacitores (kVAr)
- Zona de ubicación (UN)
- Población
- ED

- Nombre de la empresa o inversionista
- Dirección
- Latitud
- Longitud
- Número del medidor de CFE
- Captura satelital del sitio
- Google Maps
- Cliente
- Inversionista

El resumen de sitio puede ser extenso, todo depende de los sitios en que se lleve a cabo un levantamiento. En caso de que se deba realizar algún cambio (ya sea, nombre del propietario, carga, etc.) se debe de realizar un informe para el área de gestión y de este modo, ellos se encargarán de corregirlos.

En algunos casos se puede incluir un enlace de Google Maps o Google Earth de la dirección exacta de donde se ubica el proyecto con el fin de que este enlace pueda mostrar donde se ubicará el proyecto. A continuación, se muestra un ejemplo de cómo se ve terminada una tabla de resumen de sitio.

Núm. de proyectos	Ciclo	Folio	RPU	Capacidad requerida (MW)	Capacidad propuesta (MW)	UNI	Población	ED	Nombre	Dirección	Latitud	Longitud	N° de Medidor	Imagen de la Granja	enlace earth
1	9	Por asignar	236,890,100,345	30.02	31.54	CENTRO	TLACOTEPEC	PUE.	BACHOCO SA DE CV	1A Y 2A SECC GUAS ZORRIL TLACOTEPEC 031 TLACOTEPEC, PUE. C.P. 75680	18.64504	-97.85813	5M636F		<a href="https://earth.google.com/maps/@18.64504,-97.85813,15t/data=!3m1!1e3!3m1!1s0x191313131313131313:0x191313131313131313">https://earth.google.com/maps/@18.64504,-97.85813,15t/data=!3m1!1e3!3m1!1s0x191313131313131313:0x191313131313131313</a>
2	9	Por asignar	236,890,100,639	15.2	15.96	CENTRO	SAN MARCOS TLACOVALCO	PUE.	BACHOCO SA DE CV	1A SECC SM TLACOVALCO SOBRE LA CARRETERA A 3KM TLACOVALCO 031 SAN MARCOS TLACOVALCO, PUE. C.P. 75685	18.68036	-97.62316	190L8D		<a href="https://earth.google.com/maps/@18.68036,-97.62316,15t/data=!3m1!1e3!3m1!1s0x191313131313131313:0x191313131313131313">https://earth.google.com/maps/@18.68036,-97.62316,15t/data=!3m1!1e3!3m1!1s0x191313131313131313:0x191313131313131313</a>
3	9	Por asignar	236,890,101,261	29.64	31.16	CENTRO	TECOXTLE	PUE.	BACHOCO SA DE CV	3A 4A 5A SECC ZORRILLAL CERCA DE LA COL. SANTO NOMBRE TECOXTLE 031 TECOXTLE, PUE. C.P. 75580	18.64197	-97.85881	157H8B		<a href="https://earth.google.com/maps/@18.64197,-97.85881,15t/data=!3m1!1e3!3m1!1s0x191313131313131313:0x191313131313131313">https://earth.google.com/maps/@18.64197,-97.85881,15t/data=!3m1!1e3!3m1!1s0x191313131313131313:0x191313131313131313</a>
4	9	Por asignar	236,890,405,324	15.58	16.34	CENTRO	TEPANCO DE LOPEZ	PUE.	BACHOCO SA DE CV	1A SECC TEPANCO A LA SALIDA DLA GRANJA TEPANCO DE LOPEZ 031 C.P. 75800 TEPANCO DE LOPEZ, PUE.	18.55347	-97.57386	03H62V		<a href="https://earth.google.com/maps/@18.55347,-97.57386,15t/data=!3m1!1e3!3m1!1s0x191313131313131313:0x191313131313131313">https://earth.google.com/maps/@18.55347,-97.57386,15t/data=!3m1!1e3!3m1!1s0x191313131313131313:0x191313131313131313</a>

Fig. 37 Ejemplo de tabla de resumen de sitio



### 3.2.3 DESCRIPCIÓN DE HORAS SOLARES PICO

Las Horas Solares Pico (HSP) del sitio, es la cantidad de horas que se puede generar 1000 Watts en un metro cuadrado, ya que no es la misma HORA SOLAR PICO en todas las ubicaciones estas tienen una variación dependiendo de la localización (cuanto más cerca del ecuador mayor será) y por su época del año (no incide la misma cantidad de radiación solar en un día de invierno que de verano).

Para comenzar a dimensionar, es importante conocer el valor de HSP (horas solares pico) correspondientes al área a analizar, por lo que se procede a buscar el valor correcto en la página “POWER DATA ACCESS VIEWER”.

Lo primero que se debe hacer es ingresar al siguiente link:  
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

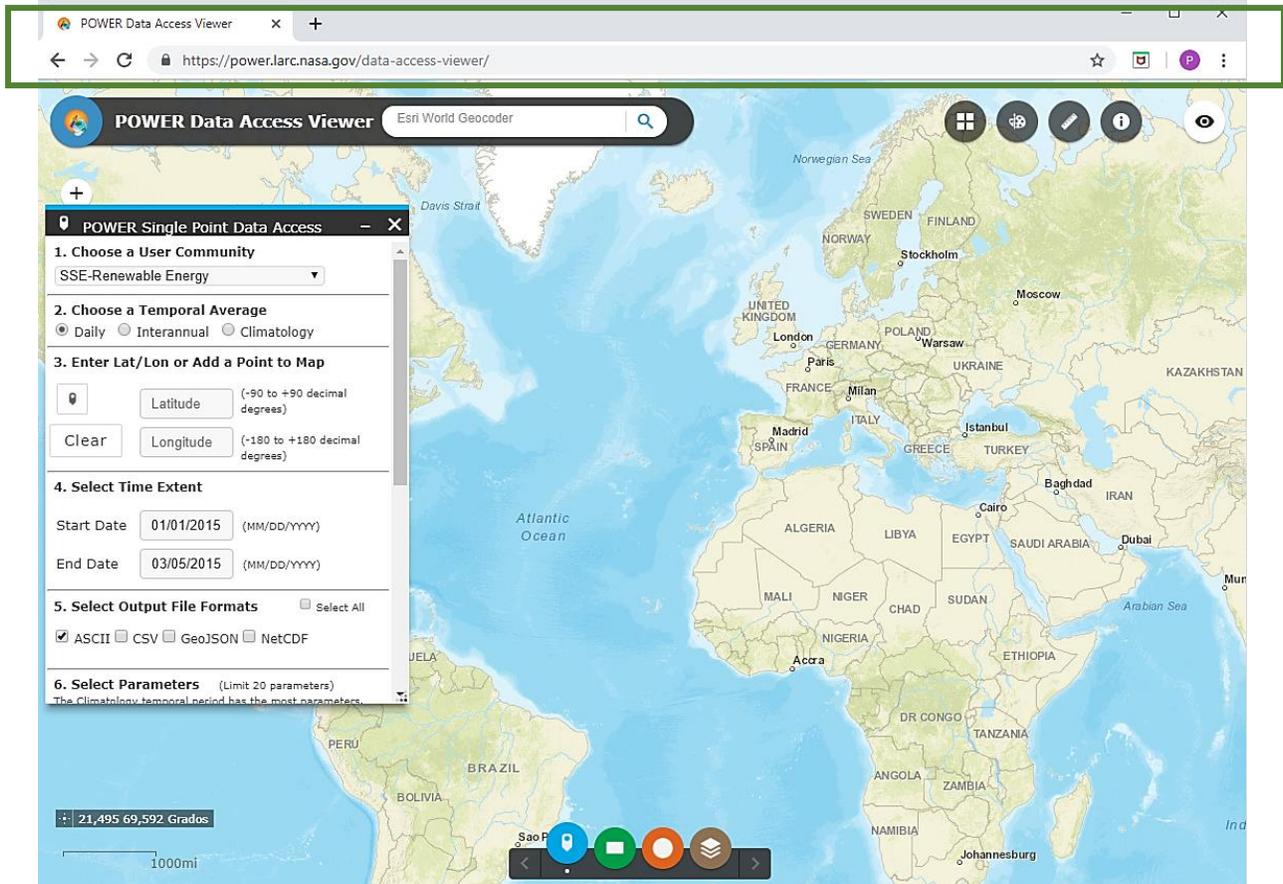
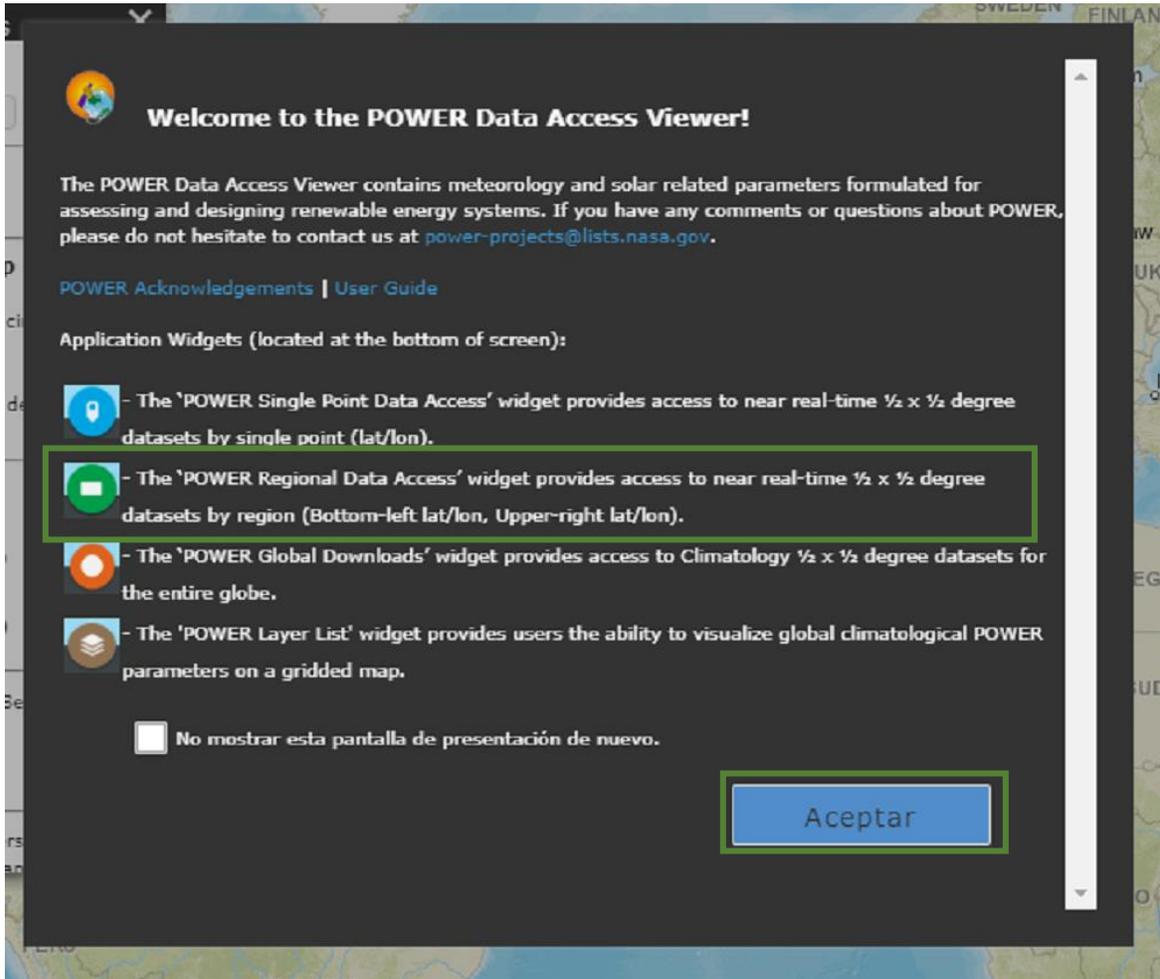


Fig. 38 Página de la NASA

1. Aparecerá una ventana de nombre “Welcome to the POWER Data Access Viewer”. Debe hacer clic en Aceptar.

Esta ventana corresponde a una breve presentación sobre las herramientas que la plataforma proporciona al usuario.



*Fig. 39 Página de la NASA, ventana "Application Widgets"*

Puede o no seleccionar la casilla “No mostrar esta pantalla de presentación de nuevo”, esto dependerá del usuario.

2. Una vez que la ventana de presentación se haya cerrado, se deberá seleccionar la opción que le permitirá comenzar a buscar los datos de horas solares pico.

Los datos se obtendrán en la ventana **POWER Single Point Data Access**, es decir, deberá seleccionar el primer icono de izquierda a derecha.

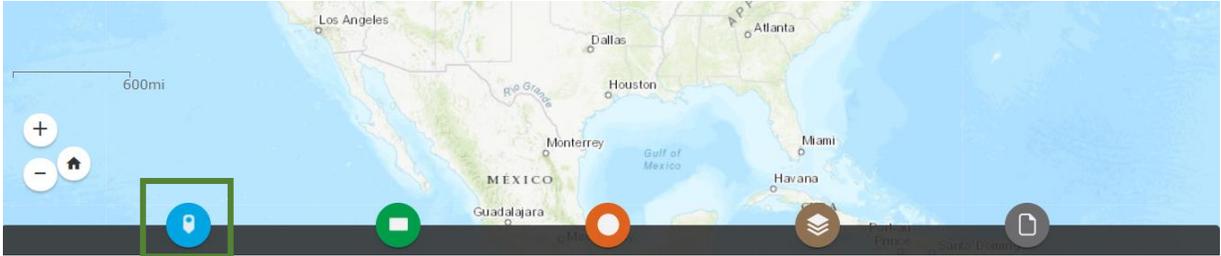


Fig. 40 Página de la NASA, POWER Single Point Data Access

- Una vez seleccionada la opción anterior, se desplegará una pequeña pestaña en la parte inferior de la pantalla, donde aparecerán varios datos que el usuario debe ingresar para obtener los datos de HSP. Lo primero es seleccionar el usuario.

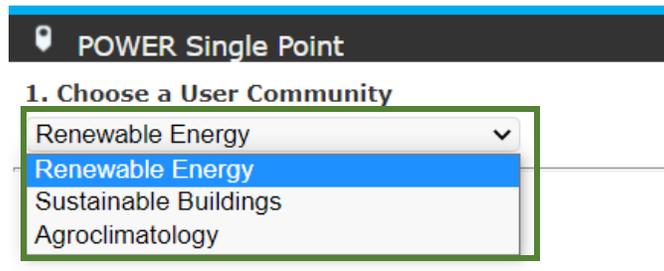


Fig. 41 Página de la NASA, Choose a user community

De las opciones que la plataforma muestra debe seleccionarse la opción **“Renewable Energy”**.

- El siguiente paso es seleccionar el promedio temporal.

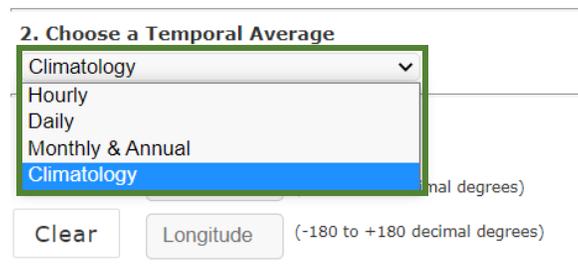


Fig. 42 Página de la NASA, Choose a temporal average

La opción que se debe seleccionar es **“Climatology”**.

- Como siguiente paso se debe ingresar la latitud y longitud del lugar; en caso de que no se cuente con el dato la página da la opción de arrastrar el punto de ubicación en el mapa.

---

**3. Enter Lat/Lon or Add a Point to Map**



Latitude (-90 to +90 decimal degrees)

Longitude (-180 to +180 decimal degrees)

---

*Fig. 43 Página de la NASA, Enter Lat/long or add a point to map*

Los datos por ingresar en este apartado son conforme a la ubicación que el usuario desee ingresar.

- Para el siguiente paso el usuario se encontrará con la pregunta **¿“Do you want a custom climatology?” (¿quiere una climatología personalizada?)**, entonces el usuario podrá seleccionar “Yes” en caso de que su respuesta sea afirmativa, o “No” en caso de que no requiera una climatología personalizada. En caso de que la respuesta sea SI el usuario podrá seleccionar las fechas de inicio y fin.

---

**4. Select Time Extent**

Do you want a custom climatology? Yes  No   
*More parameters available for the pre-computed climatology.*



Start Date 1984 (YYY)

End Date 2020 (YYY)

---

*Fig. 44 Página de la NASA, Select time extent*

- Para continuar se debe seleccionar el tipo de formato del archivo para su visualización, lo recomendado es ASCII o CSV.

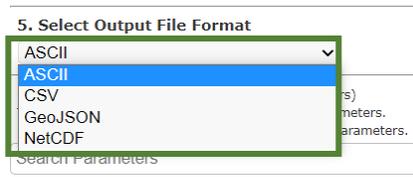


Fig. 45 Página de la NASA, Select output file format

- Como último paso en la sección de parámetros se debe seleccionar **Parameters for Tilted Solar Panels** seguido de **Solar Irradiance for Equator Facing Tilted Surfaces (Set of Surfaces)**, ya que son los datos que se requiere.

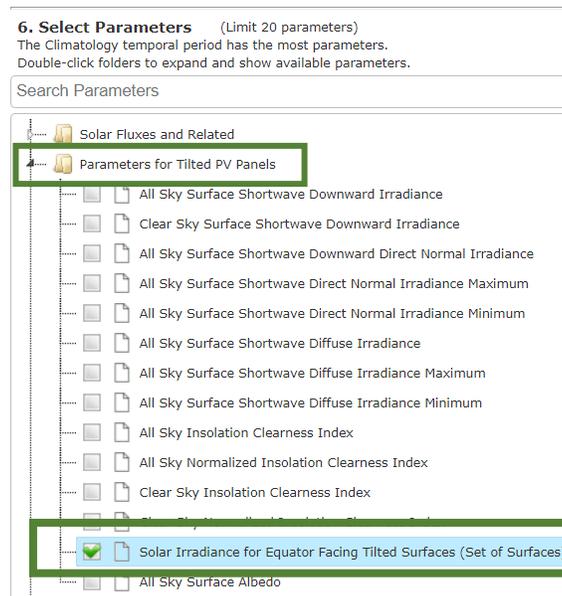


Fig. 46 Página de la NASA, Select Parameters

- Por último, solo se debe hacer click en **“Submit”** para obtener los datos solicitados.

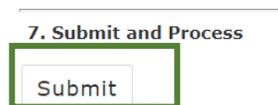


Fig. 47 Página de la NASA, Submit and process

- Se generará una ventana, se debe dar clic en el tipo de formato que se seleccionó en el punto 8 (ASCII o CVS).

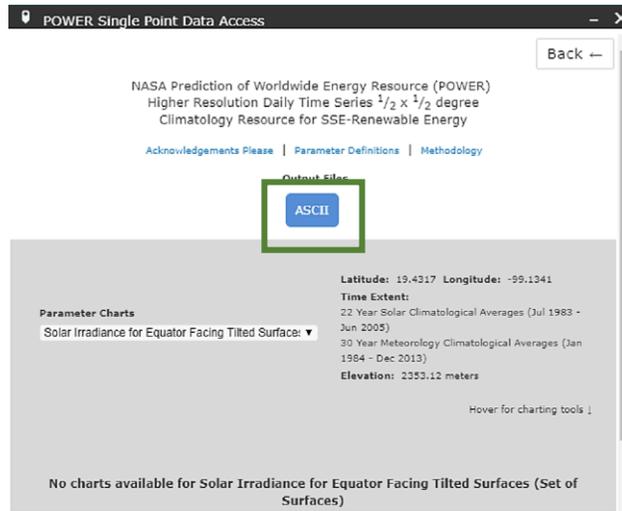


Fig. 48 Página de la NASA, POWER Single Point Data Access

11. Al final se mostrarán los datos generados en el formato que se solicitó.

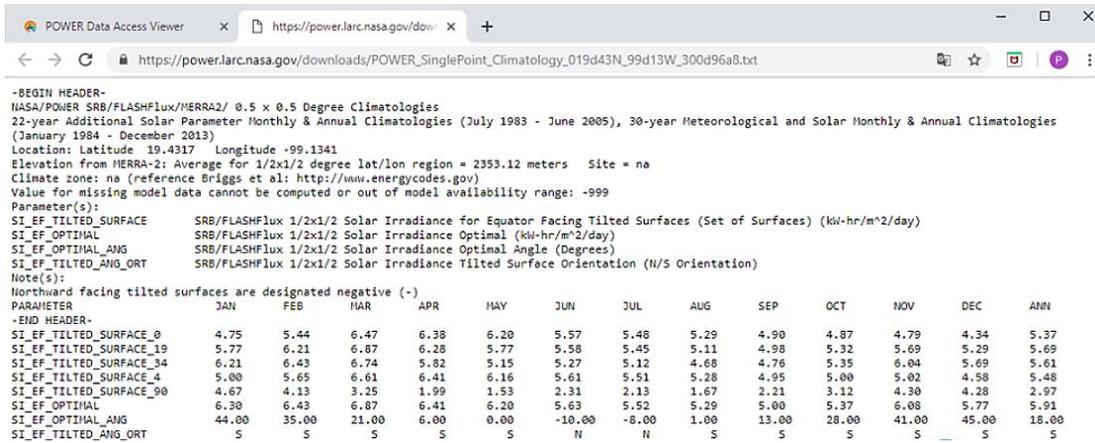


Fig. 49 Página de la NASA, Datos generados en la página.

Estos datos pueden ser colocados en una hoja de cálculo para poder ocuparlos de forma más sencilla.

### 3.2.4 CONSUMO PROMEDIO EN LAS REGIONES SELECCIONADAS

En México, los hogares se han transformado a raíz de cambios en la estructura de sus integrantes y de ciertos factores socioeconómicos que contribuyen a modificar los arreglos residenciales. Algunas de las transformaciones más relevantes revelan que el número promedio de integrantes ha mantenido una tendencia decreciente (de 5.4 integrantes en 1980, a 3.9 en 2010), los hogares compuestos de miembros no



familiares se han normalizado, y se ha incrementado el número de hogares con más de una generación.

Derivado de estos cambios, es necesario analizar la relación que existe con el consumo energético respectivo. De este modo, existen investigaciones que fundamentan que el crecimiento de los efectos en el medio ambiente se asocia a los hogares debido a que en ellos se realizan las decisiones de consumo de sus integrantes. Algunas de estas investigaciones demuestran que la estructura etaria y la composición se vincula de manera importante con la demanda energética debido al estilo de vida y la demanda de cuidados de las personas (Eshghi y Lesch, 1993; Ulker, 2008). Además, frente a un mayor número de integrantes el consumo total se incrementa; sin embargo, al estimar el consumo per cápita de los integrantes se encuentra que el consumo es más eficiente entre más miembros convivan, pues tienden a compartir la electricidad (Engel et al., 2011), siendo esto una derivación de los efectos de las economías de escala.

Una variable importante por considerar en el análisis es la evolución del equipamiento de productos que usan electricidad en las viviendas. En este aspecto, el equipamiento eléctrico ha aumentado de manera muy clara a lo largo del período de análisis y, muy particularmente, en la segunda parte del período, que es cuando se reflejan los impactos de las medidas de política pública.

Es muy importante señalar que el 90% del consumo eléctrico de un hogar promedio en México se hace con equipos que tienen NOM de eficiencia energética: refrigeradores, lámparas, lavadoras de ropa, equipos de aire acondicionado, bombas de agua y, más recientemente, la que se aplica a la energía en espera, que tiene efecto en las televisiones digitales. En algunos casos, se ha tenido una mejora evidente de la eficiencia (como refrigeradores o equipos de acondicionamiento de aire) y otras han servido para evitar que en México se vendan equipos que no cumplen con mínimos de calidad y desempeño (como es el caso de las lámparas).

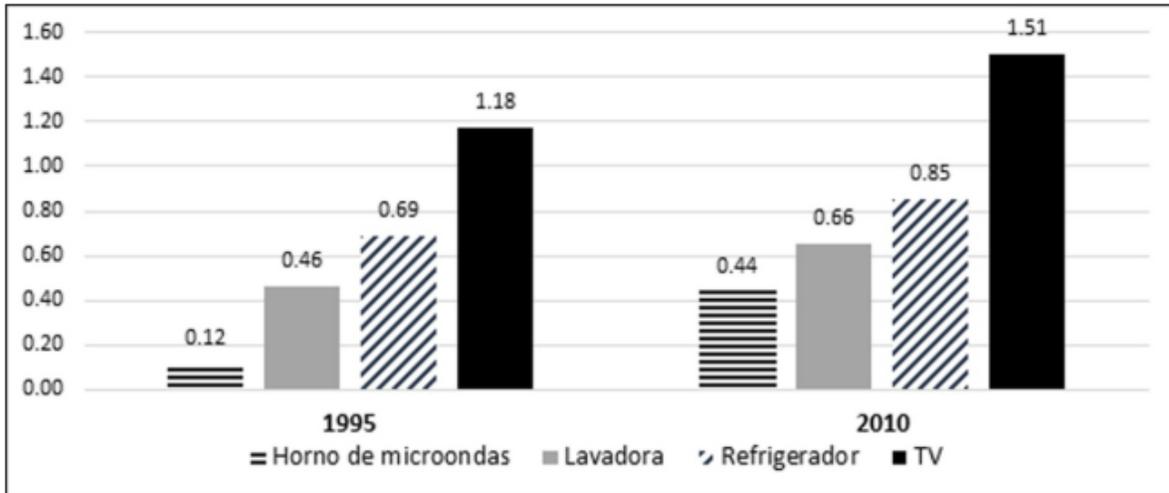


Fig. 50 Número promedio de electrodomésticos por hogar en México (1995 y 2010)

Para realizar el dimensionamiento fotovoltaico se deben tomar en cuenta datos de consumo promedio en las regiones previamente seleccionadas, por lo cual se toman en cuenta los datos de consumo de energía por hogar de la página de SEMARNAT (2016), conforme a los estados de la república seleccionados.

Entidad Federativa	Número de hogares (miles)	Personas por hogar	Consumo de electricidad KWh/hogar
México	4,424.44	3.77	856.56
Nuevo León	1,405.53	3.77	2,967.42

Tabla 2 Consumo de energía por hogar, 2016

Donde se puede observar que, aunque en el Estado de México la cantidad de hogares es mayor que en Nuevo León se consume una cantidad de energía eléctrica mayor que en el Estado de México, por lo que cada dimensionamiento tendrá valores diferentes y por lo tanto las necesidades del sistema serán diferentes con respecto a los datos promedios de consumo eléctrico por hogar.

### 3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SFV EN CHICOLOAPAN

#### 3.3.1 HORAS SOLARES PICO EN BONITO, EL MANZANO

Para comenzar el dimensionamiento, lo primero es obtener los valores de HSP, estos se obtienen de la página descrita anteriormente en el punto 3.2.3 de este documento,

por lo tanto, se toman en cuenta los valores de latitud y longitud de la primera área seleccionada, los cuales se presentan en la Tabla 3:

CHICOLOAPAN	
LATITUD	19.42
LONGITUD	-98.8

Tabla 3 Latitud y Longitud en Chicoloapan

Al ingresar estos datos en la página “Power Data Access Viewer” se obtuvo un documento de texto con los valores necesarios para ingresarlos a la calculadora y así pueden ser usados para realizar el siguiente paso correspondiente al Análisis de Generación para el sistema.

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Climatology Climatologies  
 2-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 2020 - December 2021)  
 Location: Latitude 19.42 Longitude -98.9  
 Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 2632.58 meters  
 The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999  
 Parameter(s):

SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	4.66	6.00	6.68	6.44	6.26	5.55	5.78	5.36	4.72	5.59	5.27	4.81
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	4.89	6.24	6.82	6.47	6.21	5.48	5.72	5.36	4.76	5.75	5.55	5.10
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	5.48	6.82	7.04	6.32	5.87	5.11	5.35	5.17	4.73	6.08	6.27	5.87
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	5.77	7.02	6.86	5.85	5.23	4.53	4.76	4.74	4.50	6.08	6.63	6.31
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	4.15	4.44	3.33	2.06	1.60	1.70	1.68	1.79	2.15	3.47	4.72	4.76
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	5.80	7.02	7.04	6.47	6.26	5.55	5.78	5.36	4.77	6.12	6.67	6.39
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	40.50	34.00	20.50	5.50	0.00	0.00	0.00	0.50	10.50	27.00	41.00	44.50

Fig. 51 HSP en Chicoloapan

Como se puede ver en la Fig. 51, dentro del documento que proporciona la página “Power Data Access Viewer” se obtienen diferentes parámetros, para realizar el análisis de generación se tomaran en cuenta los valores de SI\_EF\_TILTED\_SURFACE\_OPTIMAL, pues son los valores de HSP óptimos en Chicoloapan durante el periodo de tiempo de enero de 2022 a diciembre de 2021.

Posteriormente se procede a colocar los datos obtenidos una hoja de cálculo con la finalidad de ordenar y facilitar la lectura de los valores generados en la página, después se realiza el siguiente procedimiento:

Tabla 4 HSP en Bonito, El Manzano, Hoja de cálculo

HORAS SOLARES PICO EN CHICULOAPAN		
MES	HSP	
ENERO	5.8	KWh/m <sup>2</sup> /dia
FEBRERO	7.02	KWh/m <sup>2</sup> /dia
MARZO	7.04	KWh/m <sup>2</sup> /dia
ABRIL	6.47	KWh/m <sup>2</sup> /dia
MAYO	6.26	KWh/m <sup>2</sup> /dia
JUNIO	5.55	KWh/m <sup>2</sup> /dia
JULIO	5.78	KWh/m <sup>2</sup> /dia
AGOSTO	5.36	KWh/m <sup>2</sup> /dia
SEPTIEMBRE	4.77	KWh/m <sup>2</sup> /dia
OCTUBRE	6.12	KWh/m <sup>2</sup> /dia
NOVIEMBRE	6.67	KWh/m <sup>2</sup> /dia
DICIEMBRE	6.39	KWh/m <sup>2</sup> /dia

En la Tabla 4 se muestran los datos ya colocados en una hoja de cálculo, en la que se puede ver el valor correspondiente de HSP a cada mes desde enero a diciembre, donde septiembre fue el mes con menor cantidad de HSP, mientras que marzo fue el mes con mayor cantidad de HSP.

Para realizar el análisis de generación se tomará en cuenta el valor menor.

SEPTIEMBRE	4.77	KWh/m <sup>2</sup> /dia
------------	------	-------------------------

Fig. 52 HSP en Bonito El Manzano, valor menor

### 3.3.2 ANÁLISIS DE GENERACIÓN

Para comenzar el análisis de generación se toma en cuenta el valor de consumo promedio en el Estado de México, que es de 856.56 KWh bimestrales, para este análisis se requiere el valor de consumo anual, por lo tanto, es necesario conocer este valor; Esto se obtiene al multiplicar 856.56 KWh por los 6 bimestres del año:

$$\text{Consumo promedio anual} = 856.56 * 6 = 5,142 \text{ KWh}$$

Ecuación 1 Consumo promedio anual, Bonito El Manzano

El valor obtenido de la ecuación se coloca dentro de la hoja de cálculo que permite realizar el análisis.

Total	5,142	kWh
Promedio Mensual	429	kWh
Promedio Diario	14.09	kWh

*Fig. 53 Dimensionamiento normal, consumo total*

En la Fig. 53 se puede ver el valor anual y mensual de consumo promedio, además se obtiene el valor de consumo promedio al día al dividir el valor total entre 365 días.

Posteriormente, en la siguiente celda del documento se introduce el valor de HSP obtenido previamente en la página “POWER DATA ACCESS VIEWER”. Es importante mencionar que dentro de la hoja de cálculo hay celdas remarcadas en color amarillo, esto significa que pueden ser editables por el usuario, los demás valores serán calculados por el archivo automáticamente conforme a las características de los equipos que se coloquen dentro del documento.

Horas insolacion	4.8	W/m <sup>2</sup>
Potencia CA sin perdidas	2.93	kW
Factor Global de desempeño	0.8	
Potencia CD pico a instalar	3.67	kWp

*Fig. 54 Dimensionamiento normal, HSP*

Una vez colocado el dato de HSP el archivo calcula la potencia CA (Corriente alterna) sin perdidas dividiendo el valor del promedio diario entre las horas de insolación colocadas por el usuario. Por otro lado, se tiene el valor de factor global de desempeño de 0.8 (80%) debido a que se considera un 20% de perdidas en el sistema.

Además, la hoja de cálculo calcula el valor de potencia CD (Corriente directa) pico a instalar realizando una división entre el valor de potencia CA sin perdidas y el factor global de desempeño.

Una vez obtenidos estos valores, es necesario colocar la potencia de los módulos fotovoltaicos propuestos para el sistema conforme al espacio disponible para la instalación:

Potencia de MFV a instalar	350	Wp
No. De MFV a instalar	11	
Potencia SFVI propuesto	3.85	kWp
Factor de Sobredimensionamiento de	1.35	
Potencia de inversores en CA	3	kW

*Fig. 55 Dimensionamiento normal, potencia MFV a instalar*

Una vez colocado el valor de potencia el documento calculará el número de módulos fotovoltaicos requeridos para el sistema, que para este caso es de **11 módulos**.

Automáticamente se calculará la potencia de Sistema Fotovoltaico interconectado propuesto, este dato se obtiene de realizar la siguiente ecuación, considerando los valores de potencia de MFV a instalar y el número de MFV a instalar.

$$Potencia\ SFVI\ propuesto = \frac{(potencia\ MFV\ a\ instalar * no.de\ MFV\ a\ instalar)}{1000}$$

*Ecuación 2 Potencia SFVI propuesto, Bonito El Manzano*

Por otro lado, el valor de factor de sobredimensionamiento del sistema no es editable por el usuario, por lo general este factor es establecido debido al tipo de equipos que son utilizados en la instalación, el sobredimensionamiento significa que se tiene una capacidad más grande en DC que en CA.

Mientras que el valor de potencia de inversores en CA se obtiene a través de la hoja de cálculo con la función "REDONDEAR.MAS" con los valores de potencia SFVI propuesto y el factor de sobredimensionamiento del sistema.

Posteriormente es necesario colocar el valor de la potencia del inversor unitario, por lo tanto, es necesario seleccionar el inversor correcto, en este caso, conforme al Manual de Ingeniería Básica ocupado en Terra Energy, explica que existen distintos



tipos de inversores, además de clasificarse de manera distinta. Para empezar, hay tres tipos en el mercado: los micro inversores, los inversores centrales y los inversores multi-strings; los cuales tienen los siguientes rangos de potencia:

- Micro-Inversor de 250 a 1500 Watts.
- Multi Strings de 1000 a 10,000 Watts.
- Central de 15,000 a 120,000 Watts.

Este sistema cuenta con una potencia de Sistema Fotovoltaico propuesto de 4 kW, por lo tanto, es necesario considerar un dos micro multi strings de 2000 W.

Potencias de inversor unitario	2	kW
No. De inversores a instalar	2	
Potencia Real a Instalar	4	kW
Factor de Sobredimensionamiento del sistema real	0.92	
Demanda Contratada	5	kW
Requiere ampliación de carga	No	

*Fig. 56 Dimensionamiento normal, potencia de inversor*

Una vez colocado el dato anterior, el documento mostrará cuantos inversores son necesarios para las condiciones que se están considerando, de igual forma nos mostrará el dato de potencia real a instalar que para este sistema es de 4 kW. Otro dato que nos muestra el documento de cálculo es el factor de sobredimensionamiento del sistema, este valor se obtiene de dividir la potencia CD pico a instar entre el producto de multiplicar la potencia del inversor unitario y el número de inversores a instalar.

Suponiendo que dentro de la región la demanda contratada sea de 5 kW, el archivo nos diría si se requiere ampliación de carga, esto se realizará si el cliente requiere de más carga de la contratada previamente con CFE, si no es así, solamente marca las casillas correspondientes con NO.

Por otro lado, considerando el transformador que se tiene en la vía pública, se toma en cuenta el valor de 60 kVA, donde después conforme a este dato, el archivo arroja



el valor de factor máximo de sistema FVI, en el que se considera un 0.8 (80%), nos muestra también el tamaño máximo del SFVI en Corriente Alterna, el cual se va a obtener de multiplicar la potencia del transformador por el factor máximo del sistema SFVI, esto en unidades KW.

Potencia del Transformador	60	kVA
Factor máximo de sistema FVI	0.8	
Tamaño Maximo del SFVI en CA	48	kW
Factor de potencia Promedio	79.97	%
Energia Reactiva Promedio mensual	321.70	kVARh
Energia Real Promedio mensual	429	kWh
Factor de potencia Promedio con SVI	0.80	

*Fig. 57 Dimensionamiento normal, potencia del transformador*

En la hoja de cálculo, realizará la operación para obtener el dato de factor de potencia promedio con la función PROMEDIO con los datos del factor de potencia recopilados del recibo CFE. Se obtendrán los datos de energía reactiva promedio mensual con el valor del promedio mensual, usando la función "TAN", además el valor de factor de potencia promedio se propone de un 80% (0.80) Como últimos valores colocaremos el factor de potencia deseado, es decir, el factor mínimo solicitado por CFE, se considera el 90% para que no exista una penalización, en caso de que el porcentaje aumente implicaría colocar un banco de capacitores más grande, lo que significa un gasto más grande para el cliente.

Factor de potencia Deseado	90	%
Demanda media mensual	0.59	kW
Potencia Reactiva promedio	0.44	kVAR
Banco de capacitores minimo	0.52	Kvar

*Fig. 58 Dimensionamiento normal, factor de potencia deseado*

Posteriormente obtendremos el valor de demanda media mensual conforme a la función PROMEDIO con la celda donde se ubica el valor promedio mensual dividido entre el producto de multiplicar 30.5 x 24. De igual forma se obtendrá el valor de potencia reactiva promedio, para este dato se calculará con la función PROMEDIO de la energía reactiva promedio mensual, de igual forma dividido entre el producto



de multiplicar  $30.5 \times 24$ . Y, por último, nos aparece el banco de capacitores mínimo, este dato se obtendrá usando el valor obtenido de la potencia reactiva promedio por la potencia obtenida de dividir 240 entre 220.

Sin embargo, es de saber que los MFV tienden a degradarse con el paso del tiempo esta degradación tiene efecto en su rendimiento el cual se ve afectado directamente, por lo que se busca realizar el proyecto con una proyección de 25 años de vida útil y se determinó que es necesario dimensionar el sistema un 5% al total de energía necesaria por el cliente. Esto se realiza en la segunda parte de la tabla del análisis de generación. Para calcular este apartado de la tabla se hace el mismo procedimiento solamente que considerando un 5% más de lo que se consideró inicialmente.

Dimensionamiento %5		
Total	5399.1	kWh
Promedio Diario	14.79	kWh
Potencia CA sin perdidas	3.08	kW
Potencia CD pico a instalar	3.85	kWp
Potencia de MFV a instalar	350	Wp
No. De MFV a instalar	12	
Potencia SFVI propuesto	4.2	kWp
Potencia de inversores en CA	4	kW
Potencias de inversor unitario	2	kW
No. De inversores a instalar	2	
Potencia Real a Instalar	4	kW
Factor de Sobredimensionamiento del sistema real	0.96	
Requiere ampliación de carga	No	

*Fig. 59 Dimensionamiento al 5%*



### 3.3.3 RESUMEN DE SITIO

El siguiente paso dentro del dimensionamiento es realizar el resumen de sitio, donde encontraremos información relevante de la región donde se instalará el Sistema Fotovoltaico, conforme lo descrito en el apartado 3.2.2 DESCRIPCIÓN DEL RESUMEN DE SITIO. Se muestra a continuación descrito con las características de la región 1.

Para iniciar el resumen de sitio lo primero es colocar el número de proyecto, en este caso es el 1, al ser la región 1 a simular, en el caso del folio y RPU son datos que no se tienen debido a que el folio por lo general es asignado por la empresa que realiza el dimensionamiento, mientras que el RPU es el código único con el que se identifica al titular del contrato con el servicio, por lo tanto, no se cuenta con ese dato.

Para el dato de capacidad requerida tendremos que colocar la cantidad en kWp necesarios para el sistema, y posteriormente colocar el valor de la cantidad propuesta para el sistema, valor que se obtuvo durante el análisis de generación, que para este dimensionamiento fue de 6.07 kWp, justo a un lado colocaremos el dato de UN, es decir, se coloca la ubicación en la que se encontrará el proyecto a desarrollar, esto debe ser en base a la rosa de los vientos.

Además, se colocará en la columna ED el estado de la Republica donde se tendrá la instalación, en este caso Chicoloapan se encuentra en el Estado de México, y para el dato del nombre se coloca el titular de la residencia donde se ubica el Sistema Fotovoltaico.

No. de proyecto	Folio	RPU	Capacidad Requerida (kWp)	Capacidad propuesta (kWp)	UN	ED	Nombre
1	-	-	4	4	Sureste	Estado de México	-

*Fig. 60 Resumen de sitio, primera parte*

De igual forma el dato de la dirección se colocará la ubicación exacta de la residencia, en este caso no se coloca una dirección en específico debido a que la simulación y el dimensionamiento se están realizando con datos generales, es por eso que tampoco se cuenta con el dato del número de medidor, pues este se obtiene del recibo de CFE; Posteriormente colocaremos una imagen satelital del sitio a emplazar, así como un enlace de Google Maps que nos dirija a la ubicación seleccionada.

Dirección	Latitud	Longitud	No. de Medidor	Imagen del sitio	Enlace de Google Earth
-	19.42	-98.8	-		<a href="https://www.google.com/maps/place/El+Tejocote,+56373+Chicoloapan+de+Ju%C3%A1rez,+M%C3%A9xico/@19.4225316,-98.9034494,17z/data=!4m5!3m4!1s0x85d1e14075641543:0x4f12843fc24bc69a!8m2!3d19.4235075!4d-98.90315">https://www.google.com/maps/place/El+Tejocote,+56373+Chicoloapan+de+Ju%C3%A1rez,+M%C3%A9xico/@19.4225316,-98.9034494,17z/data=!4m5!3m4!1s0x85d1e14075641543:0x4f12843fc24bc69a!8m2!3d19.4235075!4d-98.90315</a>

*Fig. 61 Resumen de sitio, segunda parte*

### 3.3.4 SIMULACIÓN EN CALCULADORA SOLAR

Finalmente, para unir todas las pérdidas posibles que existen al realizar una instalación se prosiguió a realizar una calculadora en Excel, donde al agregar todos los datos de las condiciones específicas de la instalación, se obtiene una generación muy cercana a lo real.

Para este caso, con la región 1 se colocaron los datos obtenidos en el análisis de generación, como el número de módulos fotovoltaicos necesarios para la instalación fotovoltaica.

Dentro de la Calculadora Solarse introducen parámetros de entrada, como el número de paneles solares, el tipo de panel, es decir, la marca de dichos paneles, la potencia del panel, el calibre del cable, así como la longitud de trayectoria de CA en metros, la ciudad donde instalará el sistema, latitud de la región, orientación e inclinación, etc.

Para la simulación se colocaron los siguientes parámetros, es decir, 11 paneles solares, de la marca SunPower de 350W, colocando un calibre de 8 AWG, tomando



en cuenta una trayectoria de 30m, este último dato siendo estimado conforme al tamaño promedio de una casa en el Estado de México. Por otro lado, se coloca la ciudad donde se colocará el sistema que se está simulando, la orientación de la ubicación, la inclinación, que por lo general es estándar a 10°.

Numero de paneles	11
Tipo de panel	SunPower
Potencia por panel	350
Calibre	Calibre 8 AWG
Longitud de Trayectoria de CA (m)	30
Ciudad	ESTADO DE MEXICO, CHICOLOAPAN
Latitud	20 o menos
Orientación	45° Oeste
Inclinación (Grados)	10
Estructura Coplanar	SI
Area Aprox del objeto que hace Sombra	0
Distancia aprox del objeto al Sistema	0
Orientación respecto al sistema	Sur

Fig. 62 Parámetros de entrada, Chicoloapan

Cuando el usuario introduce la ciudad deseada, la calculadora busca las HSP de ese lugar de la siguiente tabla:

CIUDAD	Performance ratio (%)	HSP Prom V2
AGUASCALIENTES, AGUASCALIENTES	80.20	4.712
AGUASCALIENTES, JESUS MARIA	80.10	4.720
AGUASCALIENTES, PABELLON DE ARTEAGA	80.30	4.694
AGUASCALIENTES, RINCON DE ROMOS	80.20	4.696
AGUASCALIENTES, SAN FRANCISCO DE LOS	80.20	4.690
BAJA CALIFORNIA, ENSENADA	82.20	4.872
BAJA CALIFORNIA, MEXICALI	79.40	4.651
BAJA CALIFORNIA, PLAYAS DE ROSARITO	81.00	4.385
BAJA CALIFORNIA, TECATE	82.80	4.490
BAJA CALIFORNIA, TIJUANA	82.50	4.824
BAJA CALIFORNIA SUR, LA PAZ	79.30	4.953
BAJA CALIFORNIA SUR, SAN JOSE DEL CABO	79.50	4.942

Fig. 63 HSP en la Calculadora Solar

Una vez colocados los parámetros de entrada en la calculadora solar, esta procederá a calcular los datos de salida, y se obtuvo lo siguiente:

### 1) HSP

HSP	4.770
-----	-------

*Fig. 64 HSP en Chicoloapan, Calculadora Solar*

### 2) RESISTENCIA T (Ohms)

Resistencia t (Ohms)	0.1536
----------------------	--------

*Fig. 65 Resistencia R1, Calculadora Solar*

Para obtener la resistencia del cable, se toman los parámetros de entrada de tipo de Calibre y el de longitud de cable.

La calculadora realiza la operación de:

$$\frac{(2 * Longitud) * (resistencia)}{1000}$$

*Ecuación 3 Calibre y longitud del cable*

La resistencia O/km depende del tipo de calibre elegido, el cual la calculadora realiza una función de búsqueda para elegir los valores correspondientes de las 2 tablas de datos de calibre introducidos.

CABLE CALIBRE 10 AWG		
Variable	Cantidad	Unidad
Longitud	35	m
Resistencia	3.9	O/km
Resistencia T	0.273	Ohm
Costo x metro	\$11.24	MXN
CABLE CALIBRE 8 AWG		
Variable	Cantidad	Unidad
Longitud	35	m
Resistencia	2.56	O/km
Resistencia T	0.1792	Ohm
Costo x metro	\$18.22	MXN

*Fig. 66 Datos de calibre de cable, Calculadora Solar*



### 3) POTENCIA DEL CABLE:

Potencia Cable (kW)	0.041
---------------------	-------

Fig. 67 Potencia del cable R1, Calculadora Solar

La potencia del cable se obtiene al multiplicar la corriente al cuadrado por la resistencia t. La corriente la calcula internamente la calculadora dependiendo el número de inversores necesarios.

### 4) COSTO ANUAL POR WATT PERDIDO:

COSTO Anual x Watt perd	195.16
-------------------------	--------

Fig. 68 Costo anual R1, Calculadora Solar

Para obtener este dato la calculadora realiza la multiplicación de:

$$(365) * (Potencia\ del\ cable) * (HSP) * (2.73)$$

Ecuación 4 Costo anual por watt perdido, Bonito El Manzano

### 5) COSTO CABLEADO:

COSTO Cableado(\$)	1093.2
--------------------	--------

Fig. 69 Costo cableado R1, Calculadora solar

Para este valor, se multiplica la longitud del cable por 2 y ese valor se multiplica por el dato de costo x metro del calibre elegido.

### NÚMERO DE INVERSORES.

Número de inversores	3 Hoymiles 1200
----------------------	-----------------

Fig. 70 Número de inversores R1, Calculadora Solar

Te indica la cantidad de inversores necesarios y de que tipo según la cantidad de paneles del sistema.

Para conocer esa cantidad se divide la cantidad de paneles entre 4 y el numero entero será la cantidad de hoymiles 1200 necesarios y si el decimal es .5 o menos se le agregará un hoymiles 600, en casi de que el decimal sea mayor de .5 se introducirá otro hoymiles 1200.



En este caso, el resultado es un poco diferente al que se obtuvo en el análisis de generación, nos da una alternativa diferente.

## 6) PÉRDIDAS POR CABLEADO



*Fig. 71 Pérdidas por cableado R1, Calculadora Solar*

Finalmente, la pérdida por cableado se obtiene dividiendo la potencia del cable entre el número de inversores los cuales se multiplican por 1.2.

## 7) PÉRDIDAS POR SOMBRA:



*Fig. 72 Pérdidas por sombra R1, Calculadora Solar*

Para obtener este porcentaje, la calculadora utiliza los parámetros de entrada de: Número de paneles, tipo de panel, área aproximada del objeto que hace sombra, su distancia y ubicación (norte, sur, este, oeste).

Cuando el usuario agrega estos parámetros, la calculadora realiza una función de búsqueda mediante los comandos de “Si”, “INDICE” y “Coincidir” y muestra el porcentaje específico de las tablas de pérdidas por sombras realizadas anteriormente, las cuales fueron actualizadas para agregar una mayor cantidad de tamaños de objetos y un rango de número de paneles.

Cuando se ingresa un dato de distancia, éste se le resta al área del objeto en cuestión para obtener el porcentaje adecuado, en caso de que exista más de un objeto se deberá poner como área aproximada, la suma de ambos.

Por último, en sistemas de menos de 13 paneles, si el objeto se encuentra al oeste el porcentaje de pérdida será 2% menos y en caso de que se encuentre al este, será solamente 1% menor a cómo sería al sur. Risen y Canadian comparten tabla, al igual que Sunpower y Sunedison.



Paneles	0.25	0.5	1	2	3
1 a 5	7.5	8	15	22	26.5
6 a 10	4	4.5	7.5	11	14
11 a 14	3.5	4	6	9	11.5
15 a 24	2	2.5	4.5	6.5	8
25 a 40	1.5	2	3	4.5	5.5
41 a 70	1	1.5	2	3	3.5
71 a 90	1	1	1.5	2.5	3
91 a 120	1	1	1.5	2	2.5
mas de 120	0.5	0.5	1	1.5	2

Fig. 73 Datos de Paneles Solares, Calculadora Solar

### 8) PÉRDIDA POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN:

% Pérdidas por Orientación e Inclinación	-2
--	----

Fig. 74 Pérdidas por orientación e inclinación R1, Calculadora Solar

Utilizando los parámetros de entrada de: Latitud, Orientación y el de inclinación, la calculadora realizara una función de búsqueda de las 3 tablas de pérdidas por orientación e inclinación realizadas previamente, las cuales se habían agrupado en 3 tipos de rangos por latitud.

Perdidas por orientación e inlinación de latitud 20 o menos									
Inclinación	OESTE	62.5° Oeste	45° Oeste	22.5 Oeste	Al sur	22.5 Este	45° Este	62.5° Este	Este
0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0
5	-4.0	-3.0	-3.5	-2.0	-2.0	-2.0	-2.5	-3.0	-4.0
10	-5.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	-0.5	-1.5	-2.5	-4.5
15	-6.0	-3.0	-1.5	-0.5	0.0	-0.5	-1.0	-2.5	-5.5
20	-8.0	-4.0	-2.0	-0.5	0.0	-0.5	-1.0	-3.0	-7.0
25	-10.5	-5.5	-3.0	-1.0	-1.0	-0.5	-2.0	-4.0	-8.5

Fig. 75 Datos de porcentaje de pérdidas, Calculadora Solar

### 9) PÉRDIDA POR ESTRUCTURA COPLANAR:

% Pérdidas por Estructura Coplanar	-8
------------------------------------	----

Fig. 76 Pérdida por estructura coplanar R1, Calculadora Solar

Para estas pérdidas, la calculadora simplemente agrega una pérdida del 8% al sistema si el usuario indica que, SI es una estructura coplanar, el porcentaje ya se había determinado previamente, recordando que este tipo de instalaciones solo afecta al porcentaje de pérdidas por temperatura.



En caso de que el sistema sea coplanar, pero tenga una inclinación de 10° y orientación directa al sur y sin sombra, el porcentaje será -8.3.

### 10) PÉRDIDAS O GANANCIA POR TIPO DE PANEL:



Fig. 77 Pérdidas o ganancia por tipo de panel R1, Calculadora Solar

Para las pérdidas o ganancia de tipo de panel existen una tabla que muestra el porcentaje de diferencia real de kWp del panel elegido, con relación a lo que se indica que debería generar.

Pérdidas por Tipo de Panel											
Panel	265	285	325	330	335	340	345	350	355	380	
SunPower	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SilFab	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Sunedison	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	
Canadian	2	0	-5	-2.5	-0.5	0	0	0	0	0	
Risen	0	2	2	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	

Fig. 78 Datos de pérdida por tipo de panel, Calculadora Solar

### 11) % DE DEGRADACIÓN AÑO 1



Fig. 79 Porcentaje de degradación año 1 R1, Calculadora Solar

De una tabla te muestra el porcentaje de degradación según el tipo de panel elegido, cabe mencionar que solamente se muestra solo el primer año, pero al final muestra una gráfica con los datos hasta de 25 años de degradación.

### 12) SUMA DE PÉRDIDAS TOTALES ESPECÍFICAS.



Fig. 80 Suma de pérdidas totales R1, Calculadora Solar

Aquí la calculadora suma todas las perdidas descritas anteriormente.

### 13) PERFORMANCE RATIO V1 Y V2

V1



*Fig. 81 Performance ratio Base R1, Calculadora Solar*

El V1, te muestra el performance ratio base de una instalación en condiciones ideales.

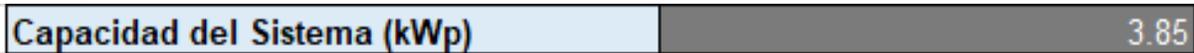
V2



*Fig. 82 Performance Ratio Final R1, Calculadora Solar*

El V2 también toma el performance ratio de la tabla de HSP, pero en ésta se restan todos los porcentajes.

### 14)CAPACIDAD DEL SISTEMA



*Fig. 83 Capacidad del Sistema R1, Calculadora Solar*

Aquí solo se multiplica el número de paneles por la potencia por panel

### 15)KWP REAL DEL SISTEMA:



*Fig. 84 Kwp Real del Sistema R1, Calculadora Solar*

Aquí se multiplica el número de paneles por la potencia por panel y se le reducen todos los porcentajes de perdidas.

### 16)GENERACIÓN REAL (KWH/AÑO)



*Fig. 85 Generación Real, Calculadora Solar*

Aquí la calculadora multiplica las HSP por los kWp Real del sistema por 365, para obtener la generación aproximada a lo real considerando todas las pérdidas.

Uno de los datos adicionales que da la Calculadora Solar son diferentes gráficas, las cuales muestran el rendimiento conforme a las características del sistema.



La primera gráfica obtenida es sobre la Generación del Sistema, durante un año, es decir, de enero a diciembre.

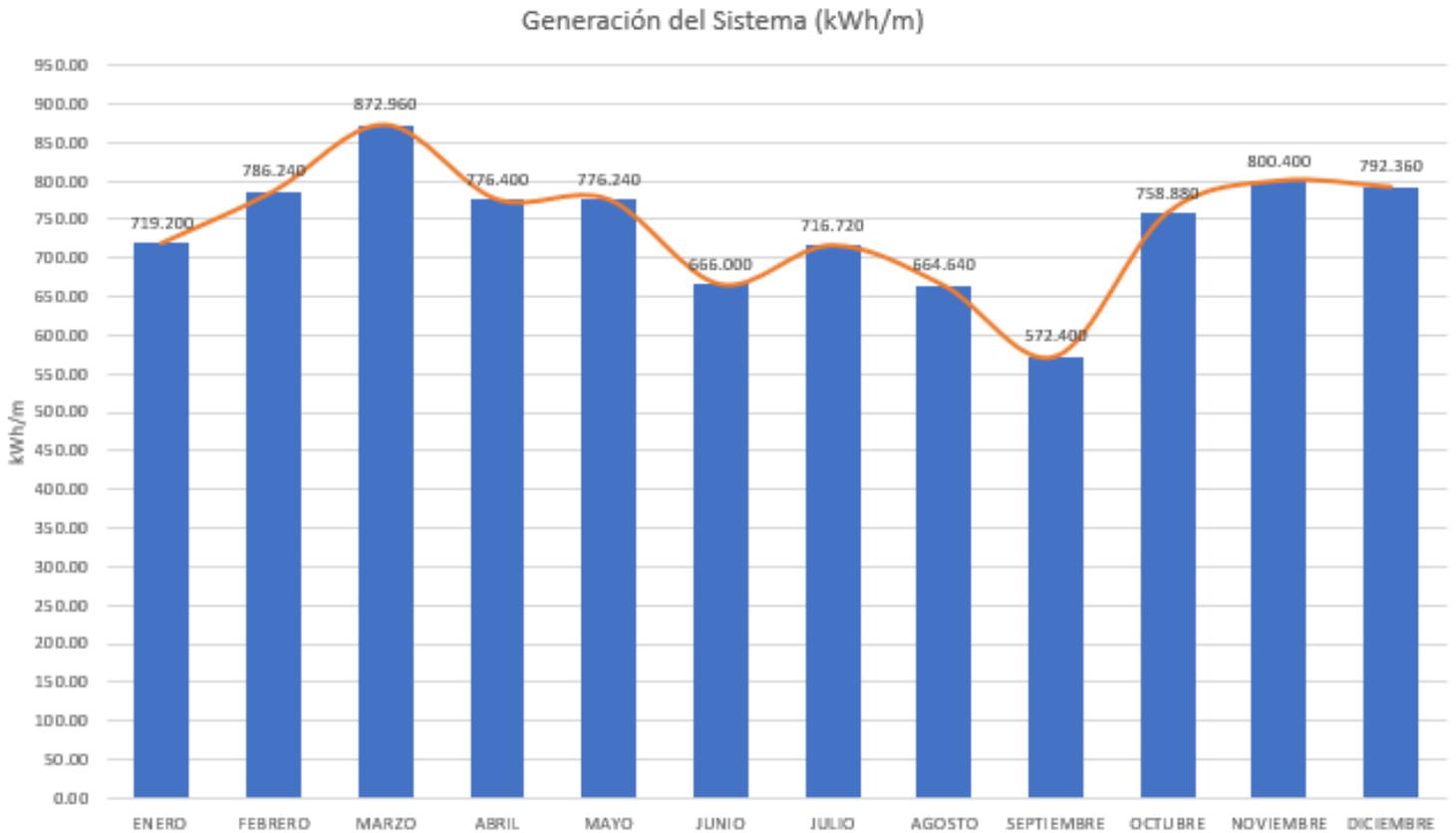


Fig. 86 Generación de Sistema R1

Como se puede ver en la Fig. 86, la gráfica muestra la cantidad de kWh mensuales con respecto a las características del sistema dimensionado, se puede ver que el rendimiento es constante, tomando en cuenta el dato de HSP de la Región 1.

La segunda gráfica que se obtuvo es sobre la degradación del sistema, se sabe que un Sistema Fotovoltaico tiene aproximadamente 25 años de vida útil, lo que nos muestra esta gráfica es como se va degradando el sistema durante esos 25 años, se ve la reducción conforme van pasando los años.

MES	AÑO 1 (kWh)	AÑO 2 (kWh)	AÑO 3 (kWh)	AÑO 4 (kWh)	AÑO 5 (kWh)	AÑO 6 (kWh)
	2021	2022	2023	2024	2025	2026
ENERO	2337.400	2323.376	2309.435	2295.579	2281.805	2268.114
FEBRERO	2555.280	2539.948	2524.709	2509.560	2494.503	2479.536
MARZO	2837.120	2820.097	2803.177	2786.358	2769.639	2753.022
ABRIL	2523.300	2508.160	2493.111	2478.153	2463.284	2448.504
MAYO	2522.780	2507.643	2492.597	2477.642	2462.776	2447.999
JUNIO	2164.500	2151.513	2138.604	2125.772	2113.018	2100.340
JULIO	2329.340	2315.364	2301.472	2287.663	2273.937	2260.293
AGOSTO	2160.080	2147.120	2134.237	2121.431	2108.703	2096.051
SEPTIEMBRE	1860.300	1849.138	1838.043	1827.015	1816.053	1805.157
OCTUBRE	2466.360	2451.562	2436.852	2422.231	2407.698	2393.252
NOVIEMBRE	2601.300	2585.692	2570.178	2554.757	2539.428	2524.192
DICIEMBRE	2575.170	2559.719	2544.361	2529.095	2513.920	2498.836
TOTAL	28932.930	28759.332	28586.776	28415.256	28244.764	28075.296

Fig. 87 Degradación del Sistema R1

Por último, la Calculadora Solar permite hacer una comparación entre el funcionamiento del sistema simulado en la calculadora y los valores de generación obtenidos en una simulación de PVSYSST, esto se realiza una vez que se realiza la simulación en dicho programa (Fig. 87)

### 3.3.5 SIMULACIÓN EN PVSYSST

Para realizar la simulación en el programa PVSYSST es necesario tener a la mano los valores obtenidos en el análisis de generación sobre el número de paneles solares requeridos para la instalación, y los demás datos importantes. Para empezar a simular es necesario hacer click en “Conectado a la Red”.

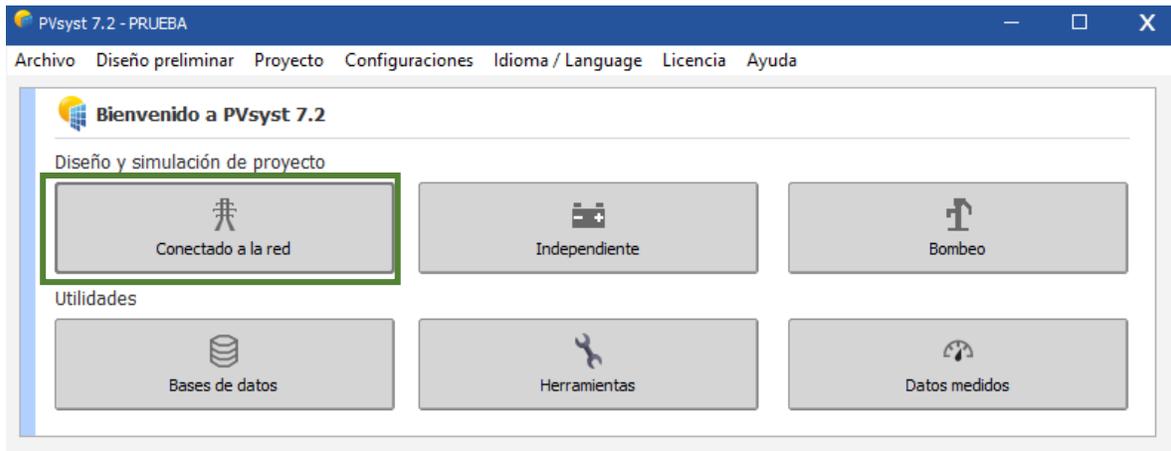


Fig. 88 Inicio de PVSYSST

Posteriormente se coloca la ubicación del sistema a simular, es decir, es necesario colocar en la ventana las coordenadas de la Región 1, además de colocar el nombre del sitio y país correspondiente a la ubicación.

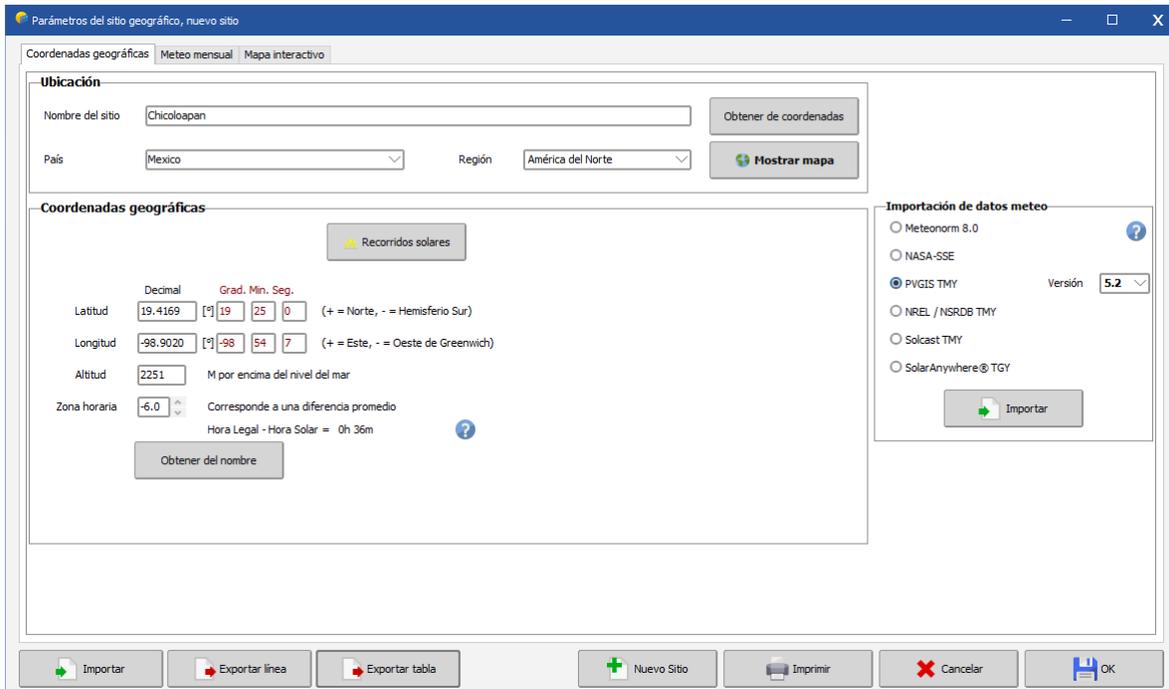


Fig. 89 PVSYST Ubicación, Chicoloapan

Una vez colocados los datos necesarios seleccionaremos la opción de donde se obtendrán los datos de HSP, este software de simulación recoge esos datos automáticamente del portal seleccionado por el usuario, procederemos a dar click en “importar”



Fig. 90 PVSYST HSP, Chicoloapan

Aparece la siguiente ventana que nos muestra ya las HSP correspondientes a la zona seleccionada, además de valores adicionales como temperatura, velocidad del

viento y humedad relativa, datos que para esta simulación no son necesarios, se da click en “Ok” y se guardan los datos.

Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | **Meteo mensual** | Mapa interactivo

Sitio: **Chicoloapan (Mexico)**

Fuente de datos: PVGIS TMY 5.2

	<b>Irradiación horizontal global</b> kWh/m <sup>2</sup> /mes	<b>Irradiación difusa horizontal</b> kWh/m <sup>2</sup> /mes	<b>Temperatura</b> °C	<b>Velocidad del viento</b> m/s	<b>Humedad relativa</b> %
Enero	158.7	54.3	13.8	1.59	54.5
Febrero	171.7	51.4	15.2	1.85	52.2
Marzo	209.8	53.8	17.3	2.40	43.5
Abril	212.9	70.2	18.7	2.20	45.7
Mayo	203.4	68.9	19.3	1.71	54.1
Junio	172.4	88.6	17.4	1.17	77.8
Julio	177.6	88.9	16.2	1.09	79.7
Agosto	171.1	91.2	16.7	1.09	80.1
Septiembre	180.8	64.9	16.5	1.53	75.5
Octubre	165.3	58.5	15.1	1.67	76.1
Noviembre	167.6	39.9	13.4	1.85	63.8
Diciembre	150.6	53.5	13.1	1.87	58.4
<b>Año</b>	<b>2141.8</b>	<b>784.1</b>	<b>16.1</b>	<b>1.7</b>	<b>63.4</b>

**Datos requeridos:**

- Irradiación horizontal global
- Temperatura ext. promedio

**Datos adicionales:**

- Irradiación difusa horizontal
- Velocidad del viento
- Turbidez Linke
- Humedad relativa

**Unidades de irradiación:**

- kWh/m<sup>2</sup>/día
- kWh/m<sup>2</sup>/mes
- MJ/m<sup>2</sup>/día
- MJ/m<sup>2</sup>/mes
- W/m<sup>2</sup>
- Índice de claridad Kt

Importar | Exportar línea | Exportar tabla | Nuevo Sitio | Imprimir | Cancelar | **OK**

Fig. 91 PVSYST Metreo mensual, Chicoloapan

Cuando los datos de meteorológicos se encuentran guardados correctamente nos aparece una ventana en la que se muestra el nombre del proyecto, lo que hará posible comenzar a introducir los primeros valores de la simulación, es importante mencionar que el programa únicamente permite avanzar con la simulación siempre y cuando los valores colocados por el usuario sean correctos, por lo que también se debe tener un orden al introducir cada valor.

Para esta simulación se tendrá el siguiente orden:

- Orientación
- Sistema
- Sombrados cercanos, y
- Ejecutar simulación



Fig. 92 PVSYST Datos a introducir, Chicoloapan

Se puede ver en la Fig. 93 que no hasta ese momento no hay ningún dato introducido previamente para la primera simulación, por lo que se procede a iniciar con los datos de “Orientación”

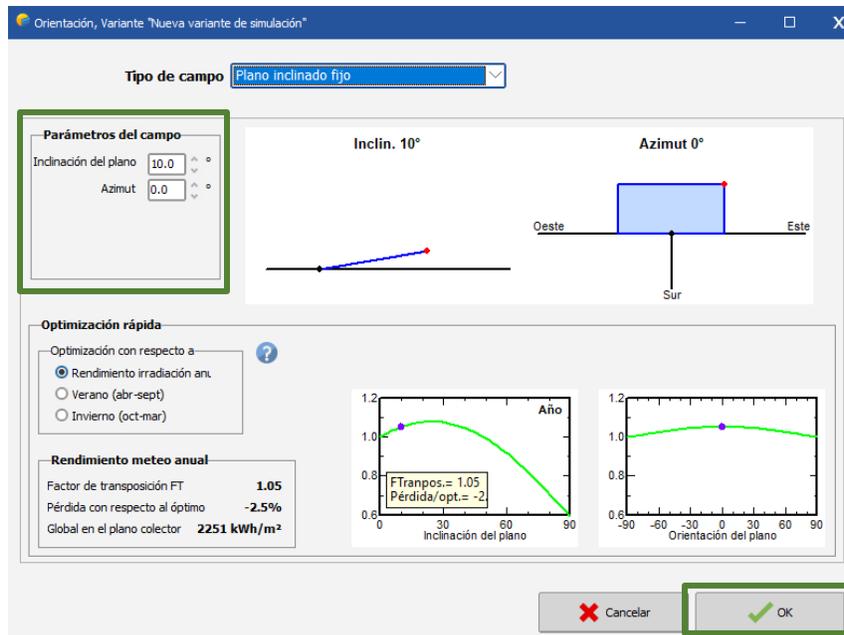


Fig. 93 PVSYST Orientación, Chicoloapan

Para estos valores únicamente colocamos la inclinación del plano, se está considerando una inclinación de 10°, y se procede a dar click en “OK”

Cuando los datos de orientación queden guardados se continua con los valores de “Sistema”, en donde ya se colocan los parámetros del sistema obtenidos en el

análisis de generación, se abrirá una ventana en la que podremos colocar dichos datos.

Comenzaremos colocando la potencia planeada, que para la región 1 corresponde a 3.9 kWp, el programa automáticamente calculará el área disponible para colocar los módulos fotovoltaicos.

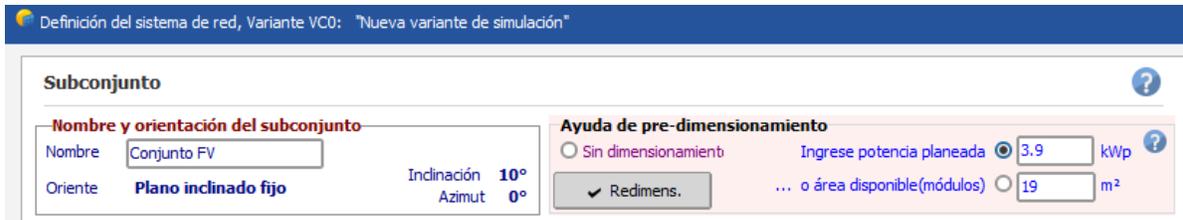


Fig. 94 PVSYST Sistema 1, Chicoloapan

En la parte de abajo colocaremos el tipo de panel solar con el que estaremos realizando la simulación, el software calculará el número de módulos necesarios, y se puede ver que coincide con el número de módulos obtenidos en el análisis de generación.

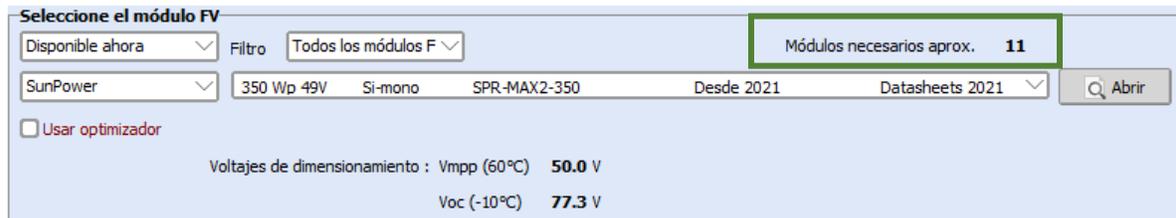
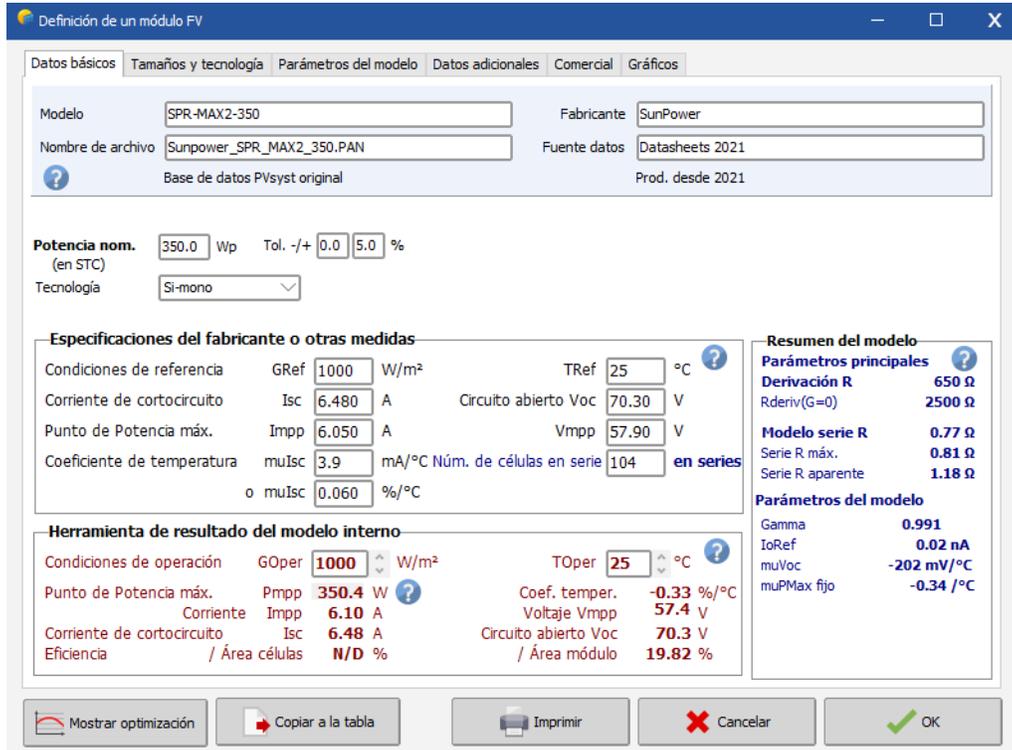


Fig. 95 PVSYST Módulos FV, Chicoloapan

Para esta simulación se contemplan paneles solares de 350W de la marca SunPower, justo como se tiene dentro del análisis de generación y la calculadora solar, una ventaja de este software es que permite ver las características técnicas del panel seleccionado, como se muestra en la Fig. 95

Además, el software permite colocar un optimizador al sistema, para esta simulación no es necesario implementarlo.



Definición de un módulo FV

Datos básicos | Tamaños y tecnología | Parámetros del modelo | Datos adicionales | Comercial | Gráficos

Modelo: SPR-MAX2-350      Fabricante: SunPower

Nombre de archivo: Sunpower\_SPR\_MAX2\_350.PAN      Fuente datos: Datasheets 2021

Base de datos PVsyst original      Prod. desde 2021

Potencia nom. (en STC): 350.0 Wp      Tol. +/-: 0.0 / 5.0 %

Tecnología: Si-mono

**Especificaciones del fabricante o otras medidas**

Condiciones de referencia	GRef	1000	W/m <sup>2</sup>	TRef	25	°C
Corriente de cortocircuito	Isc	6.480	A	Circuito abierto Voc	70.30	V
Punto de Potencia máx.	Imp	6.050	A	Vmpp	57.90	V
Coeficiente de temperatura	muIsc	3.9	mA/°C	Núm. de células en serie	104	en series
	o muIsc	0.060	%/°C			

**Herramienta de resultado del modelo interno**

Condiciones de operación	GOper	1000	W/m <sup>2</sup>	TOper	25	°C
Punto de Potencia máx.	Pmpp	350.4	W	Coef. temper.	-0.33	%/°C
Corriente	Imp	6.10	A	Voltaje Vmpp	57.4	V
Corriente de cortocircuito	Isc	6.48	A	Circuito abierto Voc	70.3	V
Eficiencia	/ Área células	N/D	%	/ Área módulo	19.82	%

**Resumen del modelo**

**Parámetros principales**

Derivación R: 650 Ω  
Rderiv(G=0): 2500 Ω

**Modelo serie R**

Serie R máx.: 0.81 Ω  
Serie R aparente: 1.18 Ω

**Parámetros del modelo**

Gamma: 0.991  
IoRef: 0.02 nA  
muVoc: -202 mV/°C  
muPMax fijo: -0.34 /°C

Mostrar optimización | Copiar a la tabla | Imprimir | Cancelar | OK

Fig. 96 PVSYS, Ficha técnica de PS, Chicoloapan

Posteriormente el programa nos permite seleccionar el inversor necesario para el sistema que se está simulando, en esta parte el software propone un tipo de inversor para el sistema, en este caso nos propuso el siguiente inversor:



Selección del inversor

Todos los inversores      Voltaje de salida 230 V Mono 50Hz

Huawei Technologies      2.0 kW 90 - 500 V TL 50/60Hz SUN2000L-2KTL      Hasta 2020      Abrir

Núm. de inversores: 2      Voltaje de funcionamiento: 90-500 V      Poder global inversor: 4.0 kWca

Utilizar característica multi-MPPT      Voltaje máximo de entrada: 600 V      inversor con 2 MPPT

Fig. 97 PVSYS Inversor, Chicoloapan

Aunque el inversor propuesto por PVSYS no es el mismo que la Calculadora Solar contempló en su simulación las características de ambos inversores son bastantes similares, por lo que en ese sentido no afecta de forma considerable a los resultados de la simulación, de igual forma PVSYS propone 2 inversores igual que la Calculadora Solar.

Posteriormente procedemos a diseñar el conjunto, el programa permite configurar el número de módulos en serie y el número de cadenas, para este sistema colocamos dos cadenas con seis módulos conectados en serie.



**Diseño el conjunto**

**Núm. de módulos y cadenas**

Mód. en serie: 6  entre 2 y 7

Núm. de cadenas: 2  única posibilidad 2

Perdida sobrecarga: 0.0 %

Proporción Pnom: 1.05 [Mostrar dimensionamiento](#)

**Núm. de módulos: 12**    **Área: 21 m<sup>2</sup>**

**Condiciones de operación**

V<sub>mpp</sub> (60°C): 300 V  
V<sub>mpp</sub> (20°C): 351 V  
V<sub>oc</sub> (-10°C): 464 V

Irradia. plano: **1000 W/m<sup>2</sup>**

I<sub>mpp</sub> (STC): 12.3 A  
I<sub>sc</sub> (STC): 13.0 A  
I<sub>sc</sub> (en STC): 13.0 A

Máx. en datos     STC

Potencia de funcionamiento máx. **3.8 kW**  
(en 1000 W/m<sup>2</sup> y 50°C)

**Potencia nom. conjunto (STC) 4.2 kWp**

Fig. 98 PVSYST Diseño de conjunto, Chicoloapan

Cuando los datos introducidos sobre el diseño del conjunto sean correctos el software muestra el resumen global del sistema.

Resumen sistema global	
Núm. de módulos	12
Área del módulo	21 m <sup>2</sup>
Núm. de inversores	2
Potencia FV nominal	4.2 kWp
Potencia FV máxima	4.3 kWCC
Potencia de CA nominal	4.0 kWCA
Proporción Pnom	1.050

Fig. 99 PVSYST Resumen sistema global, Chicoloapan

En la Fig. 99 se puede ver que el número de módulos es de 12, uno más que los propuestos por el programa, que eran 11, nos muestra un área de 21m<sup>2</sup> y 2 inversores para el sistema.

PVSYST permite también ver un dato importante que es generado por el software de simulación, este es un esquema simplificado, no se puede editar, es generado por el programa.

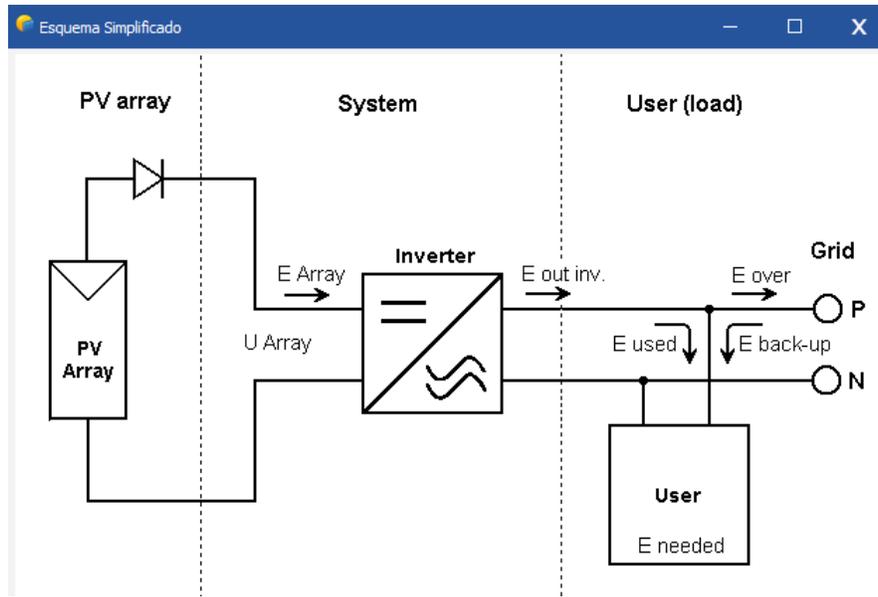


Fig. 100 PVSYST Esquema simplificado, Chicoloapan

Por último, damos click en “OK” y podemos proseguir con los sombreados cercanos.

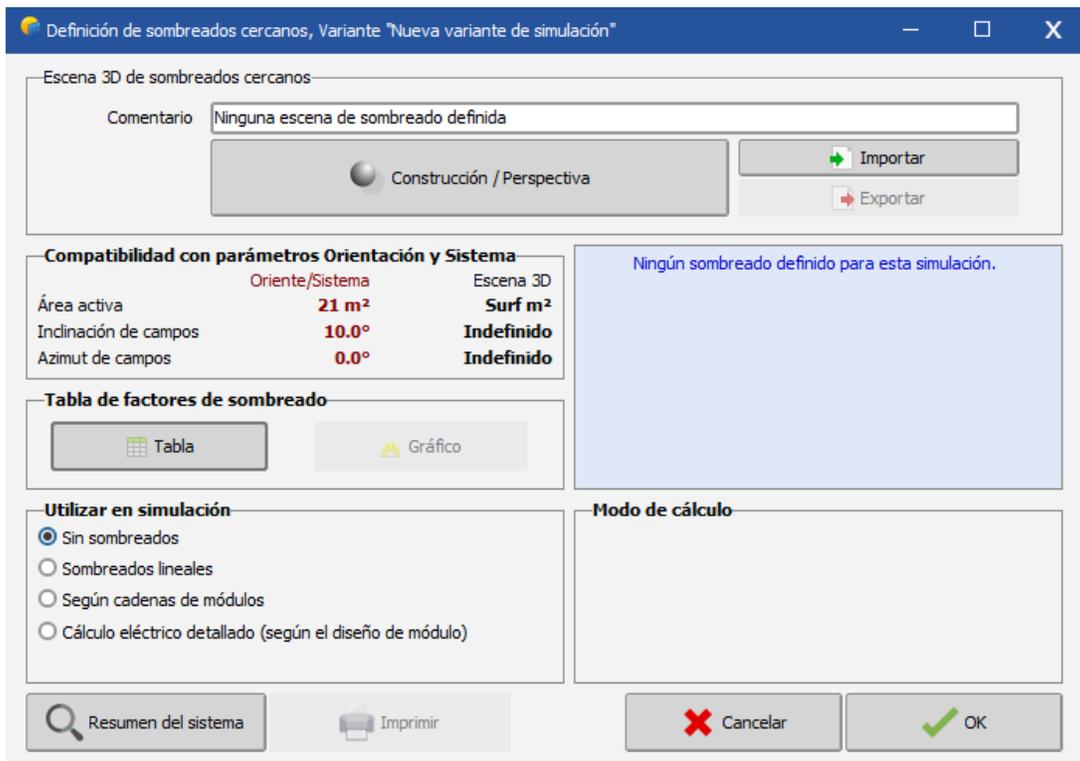


Fig. 101 PVSYST Sombreados cercanos, Chicoloapan

Para esta parte, se supone un área sin sombras que afecten al sistema, por lo que únicamente se selecciona la opción “Sin sombreados” y se procede a dar “OK”.

Para terminar la simulación se da click en “Ejecutar simulación”

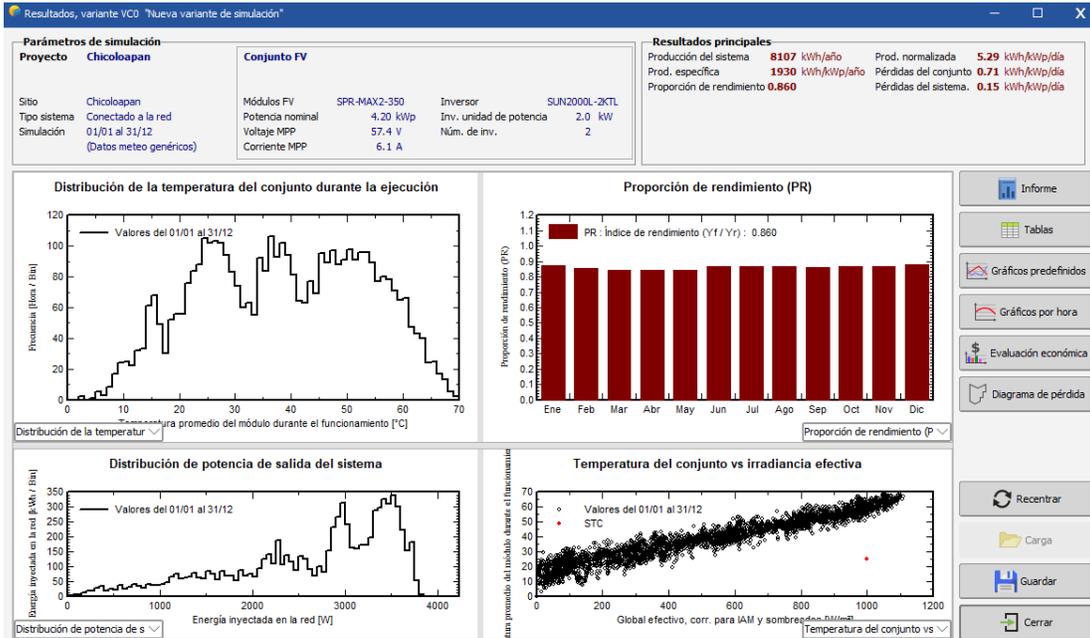


Fig. 102 PVSYS Ejecutar simulación, Chicoloapan

En la Fig. 102 se puede ver parte del reporte que genera PVSYS, se da click en “guardar” y además permite conocer un informe detallado donde se ven más datos importantes correspondientes a la generación del sistema. (Fig. 103)

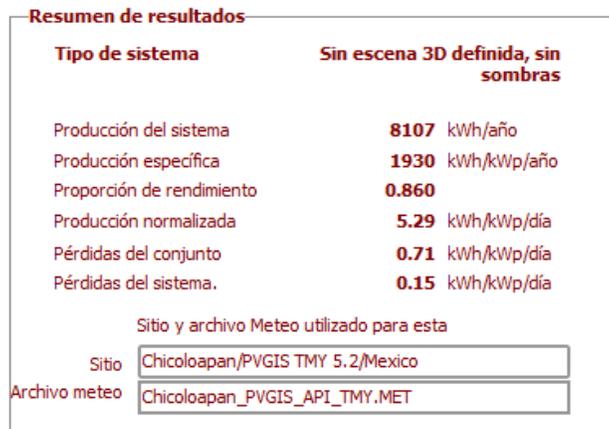


Fig. 103 PVSYS Resumen de resultados, Chicoloapan



Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	158.7	54.35	13.79	180.8	177.0	0.681	0.663	0.873
February	171.7	51.39	15.22	189.4	185.9	0.699	0.682	0.857
March	209.8	53.79	17.28	220.6	216.2	0.801	0.781	0.842
April	212.9	70.19	18.70	214.8	210.5	0.781	0.761	0.843
May	203.4	68.94	19.32	199.4	195.6	0.727	0.707	0.844
June	172.4	88.56	17.44	167.3	163.4	0.627	0.609	0.867
July	177.6	88.89	16.17	173.2	169.0	0.651	0.632	0.869
August	171.1	91.22	16.74	170.5	166.6	0.639	0.621	0.867
September	180.8	64.91	16.48	186.4	182.3	0.692	0.673	0.860
October	165.3	58.48	15.12	178.0	174.5	0.666	0.648	0.867
November	167.6	39.89	13.43	190.2	186.2	0.711	0.692	0.867
December	150.6	53.54	13.10	173.2	169.3	0.654	0.638	0.877
Year	2141.8	784.13	16.07	2243.8	2196.6	8.329	8.107	0.860

Fig. 104 PVSYST Balances y resultados principales, Chicoloapan

Se obtienen los datos de energía inyectada a la red, con los que se ve la generación mensual del sistema obteniendo 8.107 MWh al año, similar al obtenido en la calculadora solar.

### 3.3.6 COMPARACIÓN CALCULADORA SOLAR Y PVSYST, CHICOLOAPAN

Por último, para obtener una gráfica comparando lo obtenido en la Calculadora Solar en PVSYST es necesario vaciar los valores de generación mensuales obtenidos de PVSYST dentro de una hoja de cálculo junto con los valores de generación mensuales obtenidos en la calculadora solar, para ver qué tan parecidos son unos con otros.

Mes	Generación PVSYST	Generación Calculadora	% Diferencia
ENERO	663	719.200	7.814
FEBRERO	682	786.240	13.258
MARZO	781	872.960	10.534
ABRIL	761	776.400	1.984
MAYO	707	776.240	8.920
JUNIO	609	666.000	8.559
JULIO	632	716.720	11.821
AGOSTO	621	664.640	6.566
SEPTIEMBRE	673	572.400	-17.575
OCTUBRE	648	758.880	14.611
NOVIEMBRE	692	800.400	13.543
DICIEMBRE	638	792.360	19.481

Tabla 5 Tabla de comparación, Chicoloapan

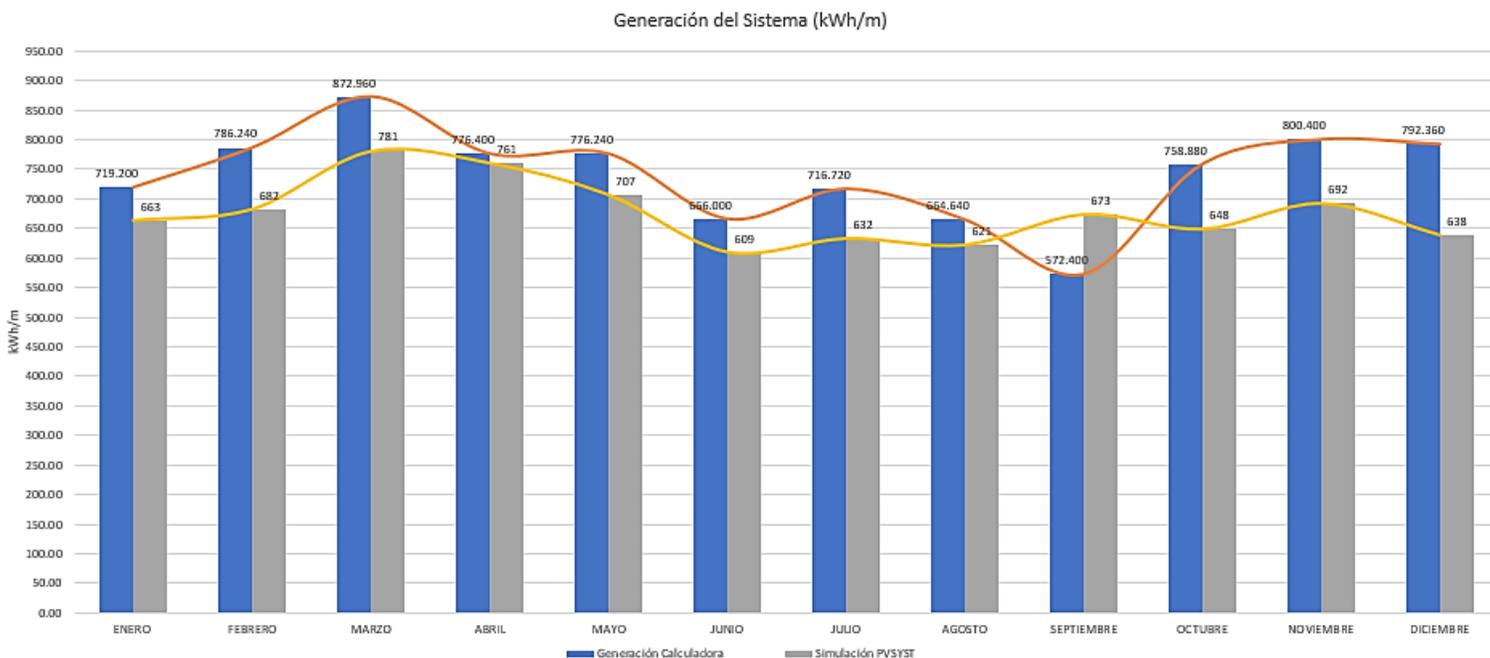


En la Tabla 5 se muestran los datos de generación, se puede ver que dichos datos no son tan diferentes entre ellos, existe una diferencia menor al 20%.

El porcentaje de diferencia se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\%Diferencia = 100 - \left( \frac{663 * 100}{719.200} \right) = 7.814$$

*Ecuación 5 % de Diferencia, Bonito El Manzano*



*Fig. 105 Generación del sistema, Comparación, Chicoloapan*

En la Fig. 105 se puede ver el comportamiento de la generación de sistema en ambas herramientas de simulación, lo que muestra que la diferencia no es elevada, los valores se acercan bastante.

### 3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SFV EN MONTERREY

#### 3.4.1 HORAS SOLARES PICO EN SAN BERNABÉ

Para realizar el segundo dimensionamiento, se debe realizar los mismos pasos, lo primero es obtener los valores de HSP, por lo tanto, se toman en cuenta los valores de latitud y longitud de la primera área seleccionada, los cuales son los siguientes:

MONTERREY	
LATITUD	25.76
LONGITUD	-100.37

*Tabla 6 Latitud y Longitud en San Bernabé*

Al ingresar estos datos en la página “Power Data Access Viewer” se obtuvo un documento de texto con los valores necesarios para ingresarlos a la hoja de cálculo y así pueden ser usados para realizar el siguiente paso correspondiente al Análisis de Generación para el sistema.

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Climatology Climatologies  
 2-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 2020 - December 2021)  
 Location: Latitude 25.76 Longitude -100.37  
 Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 798.16 meters  
 The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999  
 Parameter(s):

SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	4.00	5.00	5.70	6.08	6.41	6.63	6.08	6.58	5.42	5.47	4.2
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	4.60	5.53	6.00	6.17	6.30	6.43	5.93	6.59	5.60	5.99	4.8
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	5.19	5.99	6.14	6.01	5.87	5.87	5.48	6.31	5.60	6.41	5.4
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	5.48	6.12	5.95	5.55	5.19	5.09	4.80	5.69	5.31	6.46	5.7
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	4.30	4.28	3.39	2.42	1.80	1.65	1.66	2.11	2.71	4.18	4.3
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	5.51	6.13	6.14	6.17	6.41	6.63	6.08	6.61	5.64	6.49	5.7
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	47.50	39.00	25.00	11.00	0.00	0.00	0.00	6.50	18.50	35.50	46.0

*Fig. 106 HSP en San Bernabé*

Como se puede ver en la Fig. 106, dentro del documento que proporciona la página “Power Data Access Viewer” se obtienen diferentes parámetros, para realizar el análisis de generación se tomaran en cuenta los valores de SI\_EF\_TILTED\_SURFACE\_OPTIMAL, pues son los valores de HSP óptimos en Monterrey durante el periodo de tiempo de enero de 2022 a diciembre de 2021, además se puede ver que los valores obtenidos son muy diferentes a los obtenidos para Chicoloapan.

Posteriormente se procede a colocar los datos obtenidos en el archivo de texto a una hoja de cálculo para que sea más fácil leer y ocupar los valores generados por la página, y así sea más rápido para realizar el siguiente procedimiento.

Tabla 7 HSP en San Bernabé, hoja de cálculo

HORAS SOLARES PICO EN MONTERREY		
MES	HSP	
ENERO	5.51	KWh/m <sup>2</sup> /dia
FEBRERO	6.13	KWh/m <sup>2</sup> /dia
MARZO	6.14	KWh/m <sup>2</sup> /dia
ABRIL	6.17	KWh/m <sup>2</sup> /dia
MAYO	6.41	KWh/m <sup>2</sup> /dia
JUNIO	6.63	KWh/m <sup>2</sup> /dia
JULIO	6.08	KWh/m <sup>2</sup> /dia
AGOSTO	6.61	KWh/m <sup>2</sup> /dia
SEPTIEMBRE	5.64	KWh/m <sup>2</sup> /dia
OCTUBRE	6.49	KWh/m <sup>2</sup> /dia
NOVIEMBRE	5.77	KWh/m <sup>2</sup> /dia
DICIEMBRE	6.14	KWh/m <sup>2</sup> /dia

En la Tabla 7 se muestran los datos ya colocados en una tabla de hoja de cálculo, en la que se puede ver el valor correspondiente de HSP a cada mes desde enero a diciembre, donde enero fue el mes con menor cantidad de HSP, mientras que junio fue el mes con mayor cantidad de HSP, aquí se puede ver una diferencia con la región 1, pues para la Región 1 septiembre fue el mes con menor cantidad de HSP.

Para realizar el análisis de generación se tomará en cuenta el valor menor.

HORAS SOLARES PICO EN MONTERREY		
MES	HSP	
ENERO	5.51	KWh/m <sup>2</sup> /dia

Fig. 107 HSP en San Bernabé, valor menor

### 3.4.2 ANÁLISIS DE GENERACIÓN

Para comenzar el análisis de generación se toma en cuenta el valor de consumo promedio en el Estado de Nuevo León, que es de 2,967.42 KWh bimestrales, para este análisis se requiere el valor de consumo anual, por lo tanto, es necesario conocer este valor; Esto se obtiene al multiplicar 2,967.42 KWh por los 6 bimestres del año:

$$\text{Consumo promedio anual} = 2,967.42 * 6 = 17802 \text{ KWh}$$

*Ecuación 6 Consumo promedio anual, San Bernabé*

El valor obtenido de la ecuación se coloca dentro de la hoja de cálculo que permite realizar el análisis.

Total	17802	kWh
Promedio Mensual	1484	kWh
Promedio Diario	48.77	kWh

*Fig. 108 Dimensionamiento normal, consumo total*

En la Fig. 108 se puede ver el valor anual y mensual de consumo promedio, además se obtiene el valor de consumo promedio al día al dividir el valor total entre 365 días.

Posteriormente, en la siguiente celda del documento se introduce el valor de HSP obtenido previamente en la página “POWER DATA ACCESS VIEWER”. Es importante mencionar que dentro de la hoja de cálculo hay celdas remarcadas en color amarillo, esto significa que pueden ser editables por el usuario, los demás valores serán calculados por el archivo automáticamente conforme a las características de los equipos que se coloquen dentro del documento.

Horas insolacion	5.51	W/m <sup>2</sup>
Potencia CA sin perdidas	8.85	kW
Factor Global de desempeño	0.8	
Potencia CD pico a instalar	11.06	kWp

*Fig. 109 Dimensionamiento normal, HSP*

Una vez colocado el dato de HSP el archivo calcula la potencia CA (Corriente alterna) sin perdidas dividiendo el valor del promedio diario entre las horas de insolación colocadas por el usuario. Por otro lado, se tiene el valor de factor global de desempeño de 0.8 (80%) debido a que se considera un 20% de perdidas en el sistema.

Además, la hoja de cálculo calcula el valor de potencia CD (Corriente directa) pico a instalar realizando una división entre el valor de potencia CA sin perdidas y el factor global de desempeño.



Una vez obtenidos estos valores, es necesario colocar la potencia de los módulos fotovoltaicos propuestos para el sistema conforme al espacio disponible para la instalación:

Potencia de MFV a instalar	350	Wp
No. De MFV a instalar	32	
Potencia SFVI propuesto	11.20	kWp
Factor de Sobredimensionamiento de	1.35	
Potencia de inversores en CA	9	kW

*Fig. 110 Dimensionamiento normal, potencia MFV a instalar*

Una vez colocado el valor de potencia el documento calculará el número de módulos fotovoltaicos requeridos para el sistema, que para este caso es de **32 módulos**.

Automáticamente se calculará la potencia de Sistema Fotovoltaico interconectado propuesto, este dato se obtiene de realizar la siguiente ecuación, considerando los valores de potencia de MFV a instalar y el número de MFV a instalar.

$$Potencia SFVI propuesto = \frac{(potencia MFV a instalar * no.de MFV a instalar)}{1000}$$

*Ecuación 7 Potencia SFVI propuesto, San Bernabé*

Por otro lado, el valor de factor de sobredimensionamiento del sistema no es editable por el usuario, por lo general este factor es establecido debido al tipo de equipos que son utilizados en la instalación, el sobredimensionamiento significa que se tiene una capacidad más grande en DC que en CA.

Mientras que el valor de potencia de inversores en CA se obtiene a través de la hoja de cálculo a través de la función "REDONDEAR.MAS" con los valores de potencia SFVI propuesto y el factor de sobredimensionamiento del sistema.

Posteriormente es necesario colocar el valor de la potencia del inversor unitario, por lo tanto, es necesario seleccionar el inversor correcto, en este caso, conforme al

Manual de Ingeniería Básica ocupado en Terra Energy, explica que existen distintos tipos de inversores, además de clasificarse de manera distinta. Para empezar, hay tres tipos en el mercado: los micro inversores, los inversores centrales y los inversores multi-strings; los cuales tienen los siguientes rangos de potencia:

- Micro-Inversor de 250 a 1500 Watts.
- Multi Strings de 1000 a 10,000 Watts.
- Central de 15,000 a 120,000 Watts.

Este sistema cuenta con una potencia de Sistema Fotovoltaico propuesto de 11.2 kW, por lo tanto, es necesario considerar seis micro inversores de 1.5 kW.

Potencias de inversor unitario	1.5	kW
No. De inversores a instalar	6	
Potencia Real a Instalar	9	kW
Factor de Sobredimensionamiento del sistema real	1.23	
Demanda Contratada	12	kW
Requiere ampliación de carga	No	

*Fig. 111 Dimensionamiento normal, potencia de inversor*

Una vez colocado el dato anterior, el documento mostrará cuantos inversores son necesarios para las condiciones que se están considerando, de igual forma nos mostrará el dato de potencia real a instalar que para este sistema es de 11.2 kW. Otro dato que nos muestra el documento es el factor de sobredimensionamiento del sistema, este valor se obtiene de dividir la potencia CD pico a instar entre el producto de multiplicar la potencia del inversor unitario y el número de inversores a instalar.

Suponiendo que dentro de la región la demanda contratada sea de 12 kW, el archivo nos diría si se requiere ampliación de carga, esto se realizará si el cliente requiere de más carga de la contratada previamente con CFE, si no es así, solamente marca las casillas correspondientes con NO.

Por otro lado, considerando el transformador que se tiene en la vía pública, se toma en cuenta el valor de 60 kVA, donde después conforme a este dato, el archivo arroja



el valor de factor máximo de sistema FVI, en el que se considera un 0.8 (80%), nos muestra también el tamaño máximo del SFVI en Corriente Alterna, el cual se va a obtener de multiplicar la potencia del transformador por el factor máximo del sistema SFVI, esto en unidades KW.

Potencia del Transformador	60	kVA
Factor máximo de sistema FVI	0.8	
Tamaño Maximo del SFVI en CA	48	kW
Factor de potencia Promedio	79.97	%
Energía Reactiva Promedio mensual	1113.75	kVARh
Energía Real Promedio mensual	1484	kWh
Factor de potencia Promedio con SVI	0.80	

*Fig. 112 Dimensionamiento normal, potencia del transformador*

En Calculadora Solarse va a calcular el dato de factor de potencia promedio con la función PROMEDIO con los datos del factor de potencia recopilados del recibo CFE. Se obtendrán los datos de energía reactiva promedio mensual con el valor del promedio mensual, usando la función "TAN", además el valor de factor de potencia promedio se propone de un 80% (0.80)

Como últimos valores colocaremos el factor de potencia deseado, es decir, el factor mínimo solicitado por CFE se considera el 90% para que no exista una penalización, en caso de que el porcentaje aumente implicaría colocar un banco de capacitores más grande, lo que significa un gasto más grande para el cliente.

Factor de potencia Deseado	90	%
Demanda media mensual	2.03	kW
Potencia Reactiva promedio	1.52	kVAR
Banco de capacitores minimo	1.81	Kvar

*Fig. 113 Dimensionamiento normal, factor de potencia deseado*

Posteriormente obtendremos el valor de demanda media mensual conforme a la función PROMEDIO con la celda donde se ubica el valor promedio mensual dividido entre el producto de multiplicar 30.5 x 24. De igual forma se obtendrá el valor de potencia reactiva promedio, para este dato se calculará con la función PROMEDIO



de la energía reactiva promedio mensual, de igual forma dividido entre el producto de multiplicar 30.5 x 24.

Y, por último, nos aparece el banco de capacitores mínimo, este dato se obtendrá usando el valor obtenido de la potencia reactiva promedio por la potencia obtenida de dividir 240 entre 220.

Sin embargo, es de saber que los MFV tienden a degradarse con el paso del tiempo esta degradación tiene efecto en su rendimiento el cual se ve afectado directamente, por lo que se busca realizar el proyecto con una proyección de 25 años de vida útil y se determinó que es necesario dimensionar el sistema un 5% al total de energía necesaria por el cliente. Esto se realiza en la segunda parte de la tabla del análisis de generación. Para calcular este apartado de la tabla se hace el mismo procedimiento solamente que considerando un 5% más de lo que se consideró inicialmente.

Dimensionamiento %5		
Total	18692.1	kWh
Promedio Diario	51.21	kWh
Potencia CA sin perdidas	9.29	kW
Potencia CD pico a instalar	11.62	kWp
Potencia de MFV a instalar	350	Wp
No. De MFV a instalar	34	
Potencia SFVI propuesto	11.9	kWp
Potencia de inversores en CA	9	kW
Potencias de inversor unitario	1.5	kW
No. De inversores a instalar	6	
Potencia Real a Instalar	9	kW
Factor de Sobredimensionamiento del sistema real	1.29	
Requiere ampliación de carga	No	

*Fig. 114 Dimensionamiento al 5%*



### 3.4.3 RESUMEN DE SITIO

El siguiente paso dentro del dimensionamiento es realizar el resumen de sitio, donde encontraremos información relevante de la región donde se instalará el Sistema Fotovoltaico, conforme lo descrito en el apartado 3.2.2 DESCRIPCIÓN DEL RESUMEN DE SITIO, se muestra a continuación descrito con las características de la región 1.

Para iniciar el resumen de sitio lo primero es colocar el número de proyecto, en este caso es el 2, al ser la región 2 a simular, en el caso del folio y RPU son datos que no se tienen debido a que el folio por lo general es asignado por la empresa que realiza el dimensionamiento, mientras que el RPU es el código único con el que se identifica al titular del contrato con el servicio, por lo tanto, no se cuenta con ese dato.

Para el dato de capacidad requerida tendremos que colocar la cantidad en kWp necesarios para el sistema, y posteriormente colocar el valor de la cantidad propuesta para el sistema, valor que se obtuvo durante el análisis de generación, que para este dimensionamiento fue de 22.40 kWp, justo a un lado colocaremos el dato de UN, es decir, se coloca la ubicación en la que se encontrará el proyecto a desarrollar, esto debe ser en base a la rosa de los vientos.

Además, se colocará en la columna ED el estado de la Republica donde se tendrá la instalación, en este caso San Bernabé se encuentra en el Estado de Nuevo León, y para el dato del nombre se coloca el titular de la residencia donde se ubica el Sistema Fotovoltaico.

No. de proyecto	Folio	RPU	Capacidad Requerida (kWp)	Capacidad propuesta (kWp)	UN	ED	Nombre
2	-	-	11	11.2	Noroeste	Estado de Monterrey	-

*Fig. 115 Resumen de sitio, primera parte*

De igual forma el dato de la dirección se colocará la ubicación exacta de la residencia, en este caso no se coloca una dirección en específico debido a que la simulación y el dimensionamiento se están realizando con datos generales, es por eso que tampoco se cuenta con el dato del número de medidor, pues este se obtiene del recibo de CFE; Posteriormente colocaremos una imagen satelital del sitio a emplazar, así como un enlace de Google Maps que nos dirija a la ubicación seleccionada.

Dirección	Latitud	Longitud	No. de Medidor	Imagen del sitio	Enlace de Google Earth
-	25.76	-100.73	-		<a href="https://www.google.com/maps/place/San+Bernab%C3%A9,+Monterrey,+N.L./@25.7592918,-100.3771544,15z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x866296b428d9e343:0x450979c45f77f547!8m2!3d25.7639265!4d-100.370142">https://www.google.com/maps/place/San+Bernab%C3%A9,+Monterrey,+N.L./@25.7592918,-100.3771544,15z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x866296b428d9e343:0x450979c45f77f547!8m2!3d25.7639265!4d-100.370142</a>

*Fig. 116 Resumen de sitio, segunda parte*

### 3.4.4 SIMULACIÓN EN CALCULADORA SOLAR

Para esta segunda simulación en la Calculadora Solar conforme a las características de la región 2, por supuesto las características de ambas regiones son diferentes, pues las necesidades de cada una de las regiones son diferentes.

Para la simulación se colocaron los siguientes parámetros, es decir, 32 paneles solares, de la marca SunPower de 350W, colocando un calibre de 8 AWG, tomando en cuenta una trayectoria de 50m, este dato siendo diferente del considerado en la Región 1, tomando en cuenta que las casas en la zona de Monterrey son grandes y por lo tanto la trayectoria, es más. Por otro lado, se coloca la ciudad donde se colocará el sistema que se está simulando, la orientación de la ubicación, la inclinación, que por lo general es estándar a 10°.



<b>Numero de paneles</b>	32
<b>Tipo de panel</b>	SunPower
<b>Potencia por panel</b>	350
<b>Calibre</b>	Calibre 8 AWG
<b>Longitud de Trayectoria de CA (m)</b>	50
<b>Ciudad</b>	NUEVO LEON, MONTERREY, SAN BERNABE
<b>Latitud</b>	25 o mayor
<b>Orientación</b>	45° Oeste
<b>Inclinación (Grados)</b>	10
<b>Estructura Coplanar</b>	SI
<b>Area Aprox del objeto que hace Sombra</b>	0
<b>Distancia aprox del objeto al Sistema</b>	0
<b>Orientación respecto al sistema</b>	Sur

*Fig. 117 Parámetros de entrada, Monterrey*

Cuando el usuario introduce la ciudad deseada, la calculadora busca las HSP de ese lugar de la siguiente tabla:

<b>CIUDAD</b>	<b>Performance ratio (%)</b>	<b>HSP Prom V2</b>
AGUASCALIENTES, AGUASCALIENTES	80.20	4.712
AGUASCALIENTES, JESUS MARIA	80.10	4.720
AGUASCALIENTES, PABELLON DE ARTEAGA	80.30	4.694
AGUASCALIENTES, RINCON DE ROMOS	80.20	4.696
AGUASCALIENTES, SAN FRANCISCO DE LOS	80.20	4.690
BAJA CALIFORNIA, ENSENADA	82.20	4.872
BAJA CALIFORNIA, MEXICALI	79.40	4.651
BAJA CALIFORNIA, PLAYAS DE ROSARITO	81.00	4.385
BAJA CALIFORNIA, TECATE	82.80	4.490
BAJA CALIFORNIA, TIJUANA	82.50	4.824
BAJA CALIFORNIA SUR, LA PAZ	79.30	4.953
BAJA CALIFORNIA SUR, SAN JOSE DEL CABO	79.50	4.942

*Fig. 118 HSP en la Calculadora Solar*

Una vez colocados los parámetros de entrada en la calculadora solar, esta procederá a calcular los datos de salida, y se obtuvo lo siguiente:

## 1) HSP

HSP	5.551
-----	-------

*Fig. 119 HSP en Monterrey, Calculadora Solar*

## 2) RESISTENCIA T (Ohms)

Resistencia t (Ohms)	0.256
----------------------	-------

*Fig. 120 Resistencia R2, Calculadora Solar*

Para obtener la resistencia del cable, se toman los parámetros de entrada de tipo de Calibre y el de longitud de cable.

La calculadora realiza la operación de:

$$\frac{(2 * Longitud) * (resistencia)}{1000}$$

*Ecuación 8 Calibre y longitud del cable, San Bernabé*

La resistencia O/km depende del tipo de calibre elegido, el cual la calculadora realiza una función de búsqueda para elegir los valores correspondientes de las 2 tablas de datos de calibre introducidos.

CABLE CALIBRE 10 AWG		
Variable	Cantidad	Unidad
Longitud	35	m
Resistencia	3.9	O/km
Resistencia T	0.273	Ohm
Costo x metro	\$11.24	MXN
CABLE CALIBRE 8 AWG		
Variable	Cantidad	Unidad
Longitud	35	m
Resistencia	2.56	O/km
Resistencia T	0.1792	Ohm
Costo x metro	\$18.22	MXN

*Fig. 121 Datos de calibre de cable, Calculadora Solar*



### 3) POTENCIA DEL CABLE:

Potencia Cable (kW)	0.487
---------------------	-------

Fig. 122 Potencia del cable R2, Calculadora Solar

La potencia del cable se obtiene al multiplicar la corriente al cuadrado por la resistencia t. La corriente la calcula internamente la calculadora dependiendo el número de inversores necesarios.

### 4) COSTO ANUAL POR WATT PERDIDO:

COSTO Anual x Watt perd	2691.78
-------------------------	---------

Fig. 123 Costo anual R2, Calculadora Solar

Para obtener este dato la calculadora realiza la multiplicación de:

$$(365) * (Potencia\ del\ cable) * (HSP) * (2.73)$$

*Ecuación 9 Costo anual por watt perdido, San Bernabé*

### 5) COSTO CABLEADO:

COSTO Cableado(\$)	1822
--------------------	------

Fig. 124 Costo cableado R1, Calculadora solar

Para este valor, se multiplica la longitud del cable por 2 y ese valor se multiplica por el dato de costo x metro del calibre elegido.

### 6) NÚMERO DE INVERSORES.

Número de inversores	8 Hoymiles 1200
----------------------	-----------------

Fig. 125 Número de inversores R2, Calculadora Solar

Te indica la cantidad de inversores necesarios y de que tipo según la cantidad de paneles del sistema.

Para conocer esa cantidad se divide la cantidad de paneles entre 4 y el numero entero será la cantidad de hoymiles 1200 necesarios y si el decimal es .5 o menos se le agregará un hoymiles 600, en casi de que el decimal sea mayor de .5 se introducirá otro hoymiles 1200.

Al igual que en la Región 1 el resultado obtenido de número de inversores es diferente al que se obtuvo en el análisis de generación, da una nueva alternativa de diseño.

## 7) PÉRDIDAS POR CABLEADO

<b>% Pérdida por cableado</b>	<b>-5.069</b>
-------------------------------	---------------

*Fig. 126 Pérdidas por cableado R2, Calculadora Solar*

Finalmente, la pérdida por cableado se obtiene dividiendo la potencia del cable entre el número de inversores los cuales se multiplican por 1.2.

## 8) PÉRDIDAS POR SOMBRA:

<b>% Pérdidas por sombra</b>	<b>0</b>
------------------------------	----------

*Fig. 127 Pérdidas por sombra R1, Calculadora Solar*

Para obtener este porcentaje, la calculadora utiliza los parámetros de entrada de: Número de paneles, tipo de panel, área aproximada del objeto que hace sombra, su distancia y ubicación (norte, sur, este, oeste). La calculadora realiza la misma acción que con la región 1.

Paneles	0.25	0.5	1	2	3
1 a 5	7.5	8	15	22	26.5
6 a 10	4	4.5	7.5	11	14
11 a 14	3.5	4	6	9	11.5
15 a 24	2	2.5	4.5	6.5	8
25 a 40	1.5	2	3	4.5	5.5
41 a 70	1	1.5	2	3	3.5
71 a 90	1	1	1.5	2.5	3
91 a 120	1	1	1.5	2	2.5
mas de 120	0.5	0.5	1	1.5	2

*Fig. 128 Datos de Paneles Solares, Calculadora Solar*

## 9) PÉRDIDA POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN:

<b>% Pérdidas por Orientación e Inclinación</b>	<b>-2.5</b>
---	-------------

*Fig. 129 Pérdidas por orientación e inclinación R2, Calculadora Solar*

Utilizando los parámetros de entrada de: Latitud, Orientación y el de inclinación, la calculadora realizara una función de búsqueda de las 3 tablas de pérdidas por orientación e inclinación realizadas previamente, las cuales se habían agrupado en 3 tipos de rangos por latitud.



Perdidas por orientación e inclinación de latitud 20 o menos									
Inclinación	OESTE	62.5° Oeste	45° Oeste	22.5 Oeste	Al sur	22.5 Este	45° Este	62.5° Este	Este
0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0
5	-4.0	-3.0	-3.5	-2.0	-2.0	-2.0	-2.5	-3.0	-4.0
10	-5.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	-0.5	-1.5	-2.5	-4.5
15	-6.0	-3.0	-1.5	-0.5	0.0	-0.5	-1.0	-2.5	-5.5
20	-8.0	-4.0	-2.0	-0.5	0.0	-0.5	-1.0	-3.0	-7.0
25	-10.5	-5.5	-3.0	-1.0	-1.0	-0.5	-2.0	-4.0	-8.5

Fig. 130 Datos de porcentaje de pérdidas, Calculadora Solar

### 10) PÉRDIDA POR ESTRUCTURA COPLANAR:

<b>% Pérdidas por Estructura Coplanar</b>	<b>-8</b>
---	-----------

Fig. 131 Pérdida por estructura coplanar R2, Calculadora Solar

Para estas pérdidas, la calculadora simplemente agrega una pérdida del 8% al sistema si el usuario indica que, Si es una estructura coplanar, el porcentaje ya se había determinado previamente, recordando que este tipo de instalaciones solo afecta al porcentaje de pérdidas por temperatura.

### 11) PÉRDIDAS O GANANCIA POR TIPO DE PANEL:

<b>% Perdidas o ganancia por tipo de Panel</b>	<b>0</b>
--	----------

Fig. 132 Pérdidas o ganancia por tipo de panel R2, Calculadora Solar

Para las pérdidas o ganancia de tipo de panel existen una tabla que muestra el porcentaje de diferencia real de kWp del panel elegido, con relación a lo que se indica que debería generar.

	Pérdidas por Tipo de Panel									
Panel	265	285	325	330	335	340	345	350	355	380
SunPower	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SilFab	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sunedison	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5
Canadian	2	0	-5	-2.5	-0.5	0	0	0	0	0
Risen	0	2	2	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5

Fig. 133 Datos de pérdida por tipo de panel, Calculadora Solar

### 12)% DE DEGRADACIÓN AÑO 1

<b>% perdida por degradación (Año 1)</b>	<b>-3</b>
--	-----------

Fig. 134 Porcentaje de degradación año 1 R2, Calculadora Solar

De una tabla te muestra el porcentaje de degradación según el tipo de panel elegido, cabe mencionar que solamente se muestra solo el primer año, pero al final muestra una gráfica con los datos hasta de 25 años de degradación.

### 13)SUMA DE PÉRDIDAS TOTALES ESPECÍFICAS.

<b>Suma Pérdidas Totales Especificas</b>	<b>-18.569</b>
--	----------------

*Fig. 135 Suma de pérdidas totales R2, Calculadora Solar*

Aquí la calculadora suma todas las perdidas descritas anteriormente.

### 14)PERFORMANCE RATIO V1 Y V2

V1

<b>Performance Ratio Base</b>	<b>80.10</b>
-------------------------------	--------------

*Fig. 136 Performance ratio Base R2, Calculadora Solar*

El V1, te muestra el performance ratio base de una instalación en condiciones ideales.

V2

<b>Performance Ratio Final</b>	<b>61.53</b>
--------------------------------	--------------

*Fig. 137 Performance Ratio Final R2, Calculadora Solar*

El V2 también toma el performance ratio de la tabla de HSP, pero en ésta se restan todos los porcentajes.

### 15)CAPACIDAD DEL SISTEMA

<b>Capacidad del Sistema (kWp)</b>	<b>11.2</b>
------------------------------------	-------------

*Fig. 138 Capacidad del Sistema R2, Calculadora Solar*

Aquí solo se multiplica el número de paneles por la potencia por panel

### 16)KWP REAL DEL SISTEMA:

<b>Kwp Real del Sistema</b>	<b>11.200</b>
-----------------------------	---------------

*Fig. 139 KWP Real del Sistema R2, Calculadora Solar*



Aquí se multiplica el número de paneles por la potencia por panel y se le reducen todos los porcentajes de perdidas.

### 17) GENERACIÓN REAL (KWH/AÑO)

Generación real (kWh/a)	22692.488
-------------------------	-----------

Fig. 140 Generación Real, Calculadora Solar

Aquí la calculadora multiplica las HSP por los kWp Real del sistema por 365, para obtener la generación aproximada a lo real considerando todas las pérdidas.

De igual forma que con la Región 1, para la simulación de la Región 2 se obtienen las mismas gráficas, las cuales muestran el rendimiento conforme a las características del sistema.

La primera gráfica obtenida es sobre la Generación del Sistema, durante un año, es decir, de enero a diciembre. (Fig. 141)

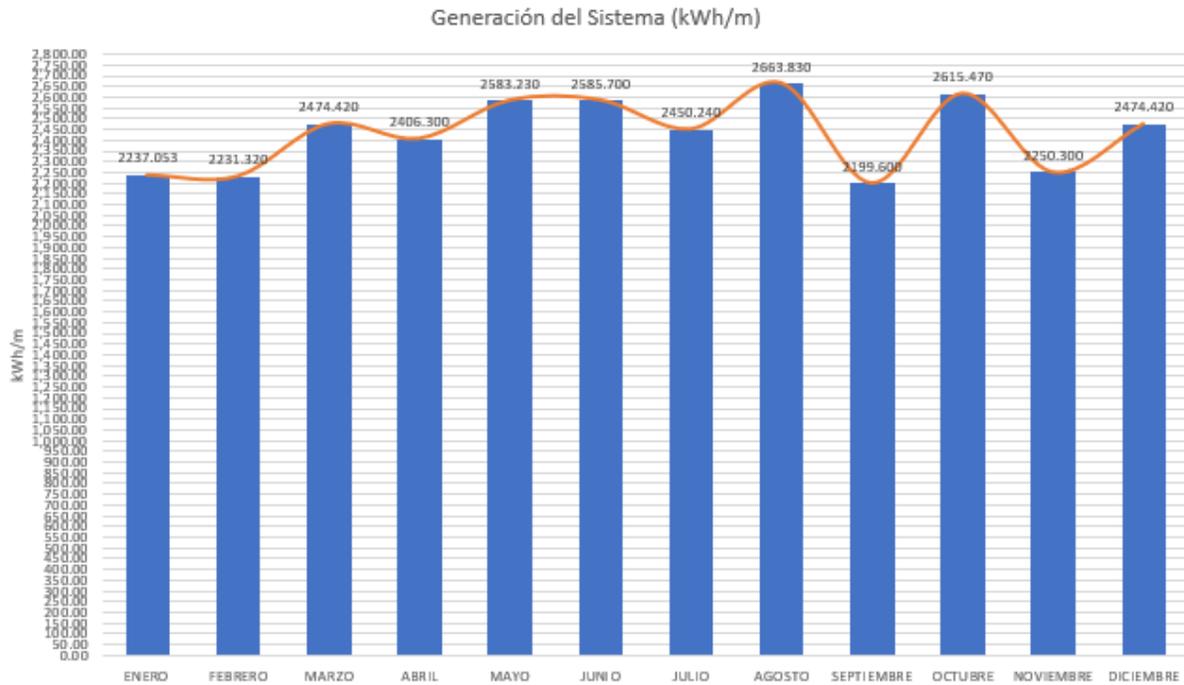


Fig. 141 Generación de Sistema R2

Como se puede ver en la Fig. 141 la gráfica muestra la cantidad de kWh mensuales con respecto a las características del sistema dimensionado, se puede ver que el rendimiento es constante, tomando en cuenta el dato de HSP de la Región 1.

La segunda gráfica que se obtuvo es sobre la degradación del sistema, se sabe que un Sistema Fotovoltaico tiene aproximadamente 25 años de vida útil, lo que nos muestra esta gráfica es como se va degradando el sistema durante esos 25 años, se ve la reducción conforme van pasando los años. (Fig. 142)

MES	AÑO 1 (kWh)		AÑO 2 (kWh)		AÑO 3 (kWh)		AÑO 4 (kWh)	
	2021		2022		2023		2024	
ENERO	2237.053	2223.631	2210.289	2197.027				
FEBRERO	2231.320	2217.932	2204.624	2191.397				
MARZO	2474.420	2459.573	2444.816	2430.147				
ABRIL	2406.300	2391.862	2377.511	2363.246				
MAYO	2583.230	2567.731	2552.324	2537.010				
JUNIO	2585.700	2570.186	2554.765	2539.436				
JULIO	2450.240	2435.539	2420.925	2406.400				
AGOSTO	2663.830	2647.847	2631.960	2616.168				
SEPTIEMBRE	2199.600	2186.402	2173.284	2160.244				
OCTUBRE	2615.470	2599.777	2584.179	2568.673				
NOVIEMBRE	2250.300	2236.798	2223.377	2210.037				
DICIEMBRE	2474.420	2459.573	2444.816	2430.147				
TOTAL	29171.883	28996.852	28822.871	28649.933				

Fig. 142 Degradación del Sistema R2

### 3.4.5 SIMULACIÓN EN PVSYS

Para realizar la simulación en el programa PVSYS es necesario tener disponibles los valores obtenidos en el análisis de generación sobre el número de paneles solares requeridos para la instalación, así como los demás datos importantes. Para empezar a simular es necesario hacer click en “Conectado a la Red”.

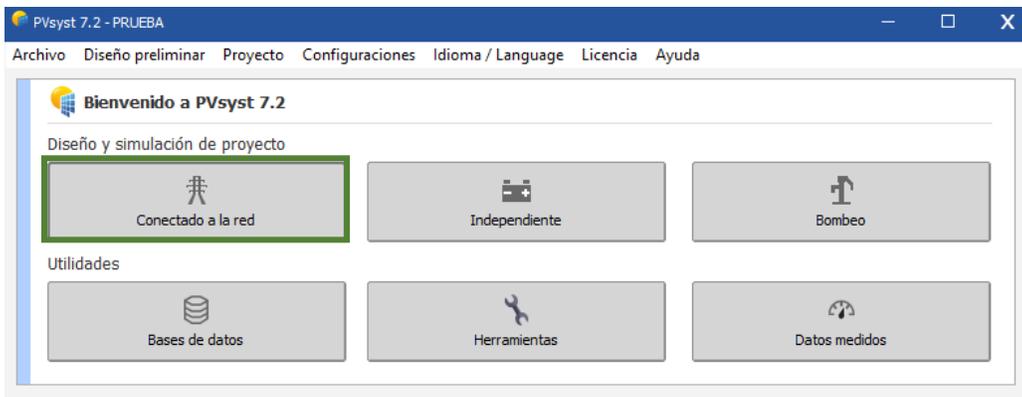


Fig. 143 Inicio de PVSYS

Posteriormente se coloca la ubicación del sistema a simular, es decir, es necesario colocar en la ventana las coordenadas de la Región 2, además de colocar el nombre del sitio y país correspondiente a la ubicación.

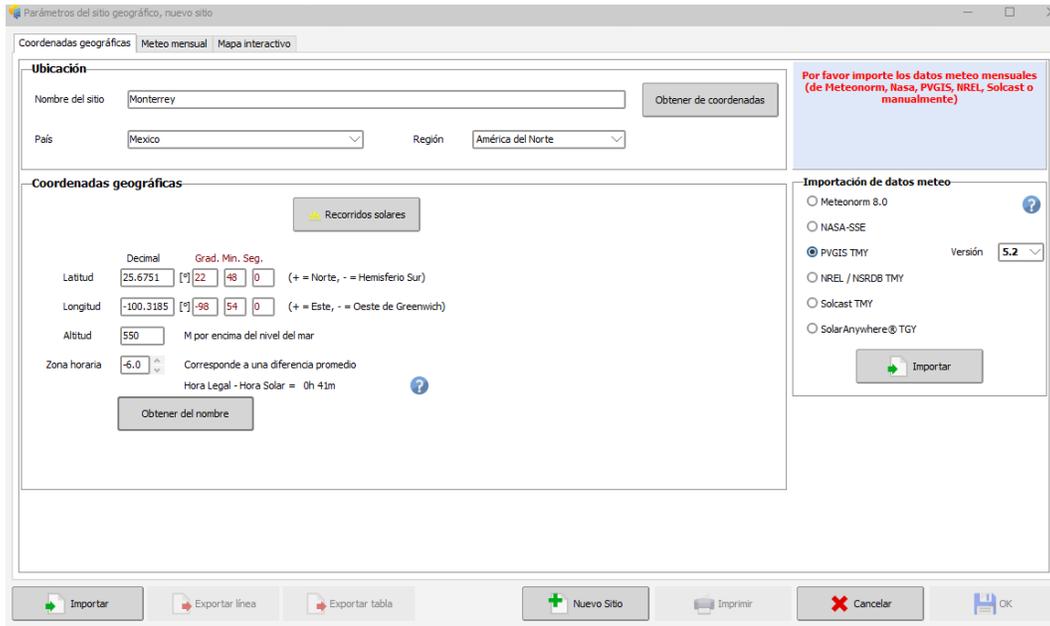


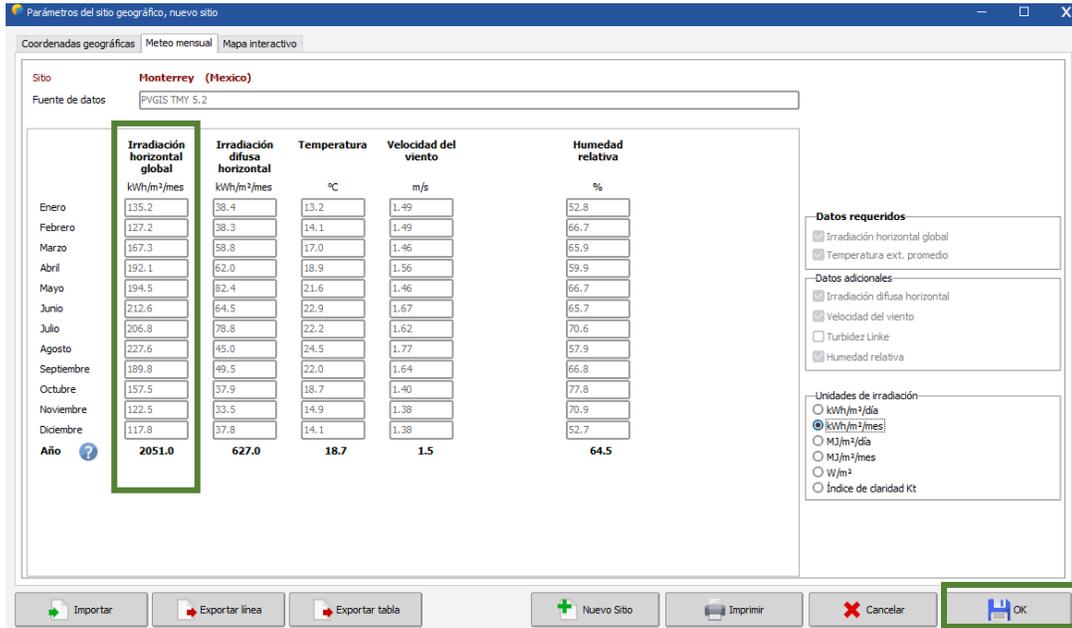
Fig. 144 PVSYST Ubicación, Monterrey

Una vez colocados los datos necesarios seleccionaremos la opción de donde se obtendrán los datos de HSP, este software de simulación recoge esos datos automáticamente del portal seleccionado por el usuario, procederemos a dar click en “importar”



Fig. 145 PVSYST HSP, Monterrey

Aparece la siguiente ventana que nos muestra las HSP correspondientes a la zona seleccionada, además de valores adicionales como temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, datos que para esta simulación no son necesarios, se da click en “Ok” y se guardan los datos.



Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas geográficas | Météo mensual | Mapa interactivo

Sitio: **Monterrey (Mexico)**

Fuente de datos: PVSYS TMY 5.2

	Irradiación horizontal global kWh/m <sup>2</sup> /mes	Irradiación difusa horizontal kWh/m <sup>2</sup> /mes	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Humedad relativa %
Enero	135.2	38.4	13.2	1.49	52.8
Febrero	127.2	38.3	14.1	1.49	66.7
Marzo	167.3	58.8	17.0	1.46	65.9
Abril	192.1	62.0	18.9	1.56	59.9
Mayo	194.5	82.4	21.6	1.46	66.7
Junio	212.6	64.5	22.9	1.67	65.7
Julio	206.8	78.8	22.2	1.62	70.6
Agosto	227.6	45.0	24.5	1.77	57.9
Septiembre	189.8	49.5	22.0	1.64	66.8
Octubre	157.5	37.9	18.7	1.40	77.8
Noviembre	122.5	33.5	14.9	1.38	70.9
Diciembre	117.8	37.8	14.1	1.38	52.7
<b>Año</b>	<b>2051.0</b>	<b>627.0</b>	<b>18.7</b>	<b>1.5</b>	<b>64.5</b>

Datos requeridos:

- Irradiación horizontal global
- Temperatura ext. promedio

Datos adicionales:

- Irradiación difusa horizontal
- Velocidad del viento
- Turbidez Linke
- Humedad relativa

Unidades de irradiación:

- kWh/m<sup>2</sup>/día
- kWh/m<sup>2</sup>/mes
- MJ/m<sup>2</sup>/día
- MJ/m<sup>2</sup>/mes
- W/m<sup>2</sup>
- Índice de claridad Kt

Importar | Exportar línea | Exportar tabla | Nuevo Sitio | Imprimir | Cancelar | **OK**

Fig. 146 PVSYS TMY 5.2 Météo mensual, Monterrey

Cuando los datos meteorológicos se encuentran guardados correctamente nos aparece una ventana en la que se muestra el nombre del proyecto, lo que hará posible comenzar a introducir los primeros valores de la simulación, es importante mencionar que el programa únicamente permite avanzar con la simulación siempre y cuando los valores colocados por el usuario sean correctos, por lo que también se debe tener un orden al introducir cada valor.

Para esta simulación se tendrá el siguiente orden:

- Orientación
- Sistema
- Sombrados cercanos, y
- Ejecutar simulación



Fig. 147 PVSYS Datos a introducir, Monterrey

Se puede ver en la Fig. 147 que no hasta ese momento no hay ningún dato introducido previamente para la primera simulación, por lo que se procede a iniciar con los datos de “Orientación” Para estos valores únicamente colocamos la inclinación del plano, se está considerando una inclinación de  $10^{\circ}$ , y se procede a dar click en “OK”. Cuando los datos de orientación queden guardados se continúa con los valores de “Sistema”, en donde ya se colocan los parámetros del sistema obtenidos en el análisis de generación, se abrirá una ventana en la que podremos colocar dichos datos.

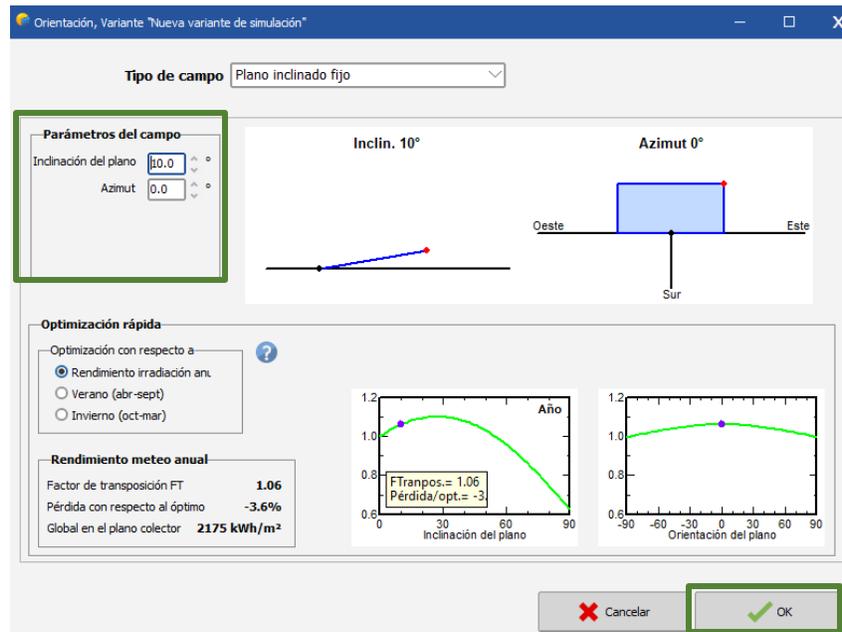


Fig. 148 PVSYS Orientación, Monterrey

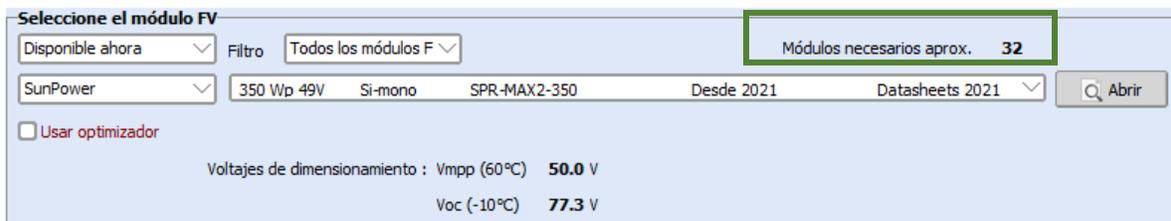
Comenzaremos colocando la potencia planeada, que para la región 2 corresponde a 11.20 kWp.



The screenshot shows the 'Subconjunto' configuration window. On the left, under 'Nombre y orientación del subconjunto', the name is 'Conjunto FV' and the orientation is 'Plano inclinado fijo'. The tilt is set to 10° and the azimuth to 0°. On the right, under 'Ayuda de pre-dimensionamiento', the 'Ingresar potencia planeada' radio button is selected with a value of 11.2 kWp. The '... o área disponible(módulos)' radio button is unselected with a value of 0 m². A 'Redimens.' button is visible below the radio buttons.

Fig. 149 PVSYST Sistema 1, Monterrey

En la parte de abajo colocaremos el tipo de panel solar con el que estaremos realizando la simulación, el software calculará el número de módulos necesarios, y se puede ver que coincide con el número de módulos obtenidos en el análisis de generación.



The screenshot shows the 'Seleccione el módulo FV' window. A dropdown menu is set to 'SunPower'. The selected panel is '350 Wp 49V Si-mono SPR-MAX2-350 Desde 2021 Datasheets 2021'. A search button 'Abrir' is on the right. A box highlights 'Módulos necesarios aprox. 32'. Below, the 'Usar optimizador' checkbox is unchecked. Dimensioning voltages are shown: Vmpp (60°C) 50.0 V and Voc (-10°C) 77.3 V.

Fig. 150 PVSYST Módulos FV, Monterrey

Para esta simulación se contemplan paneles solares de 350W de la marca SunPower, justo como se tiene dentro del análisis de generación y la calculadora solar, una ventaja de este software es que permite ver las características técnicas del panel seleccionado, como se muestra en la Fig. 150

Además, el software permite colocar un optimizador al sistema, para esta simulación no es necesario implementarlo.

Fig. 151 PVSYS, Ficha técnica de PS, Monterrey

Posteriormente el programa nos permite seleccionar el inversor necesario para el sistema que se está simulando, en esta parte el software propone un tipo de inversor para el sistema, en este caso nos propuso el siguiente inversor:

Fig. 152 PVSYS Inversor, Monterrey

Aunque el inversor propuesto por PVSYS no es el mismo que la Calculadora Solar contempló en su simulación las características de ambos inversores son bastantes similares, por lo que en ese sentido no afecta de forma considerable a los resultados

de la simulación, de igual forma PVSYST propone 6 inversores igual que la Calculadora Solar.

Posteriormente procedemos a diseñar el conjunto, el programa permite configurar el número de módulos en serie y el número de cadenas, para este sistema colocamos dos cadenas con seis módulos conectados en serie.



**Diseño del conjunto**

**Núm. de módulos y cadenas**

Mód. en serie: 6 (entre 2 y 7)

Núm. de cadenas: 6 (única posibilidad 6)

Perdida sobrecarga: 0.0 %

Proporción Pnom: 1.05

Mostrar dimensionamiento

**Núm. de módulos: 36**    **Área: 64 m²**

**Condiciones de operación**

Vmpp (60°C): 300 V

Vmpp (20°C): 351 V

Voc (-10°C): 464 V

Irradia. plano: **1000 W/m²**

Imp (STC): 36.9 A

Isc (STC): 38.9 A

Isc (en STC): 38.9 A

Máx. en datos (radio deseleccionado)

STC (radio seleccionada)

Potencia de funcionamiento máx.: **11.5 kW**  
(en 1000 W/m² y 50°C)

**Potencia nom. conjunto (STC) 12.6 kWp**

Fig. 153 PVSYST Diseño de conjunto, Monterrey

A diferencia de los resultados obtenidos en la calculadora solar, en este programa se están contemplando 36 módulos, es decir, 4 módulos más, esto de acuerdo con las características de los paneles solares seleccionados y el tipo de inversor propuesto por el programa.

Cuando los datos introducidos sobre el diseño del conjunto sean correctos el software muestra el resumen global del sistema.

Resumen sistema global	
Núm. de módulos	36
Área del módulo	64 m²
Núm. de inversores	6
Potencia FV nominal	12.6 kWp
Potencia FV máxima	12.3 kWCC
Potencia de CA nominal	12.0 kWCA
Proporción Pnom	1.050

Fig. 154 PVSYST Resumen sistema global, Monterrey

En la Fig. 154 se puede ver que el número de módulos es de 36, nos muestra un área de 64 m<sup>2</sup> y 6 inversores para el sistema.

PVSYST permite también ver un dato importante que es generado por el software de simulación, este es un esquema simplificado, no se puede editar, es generado por el programa.

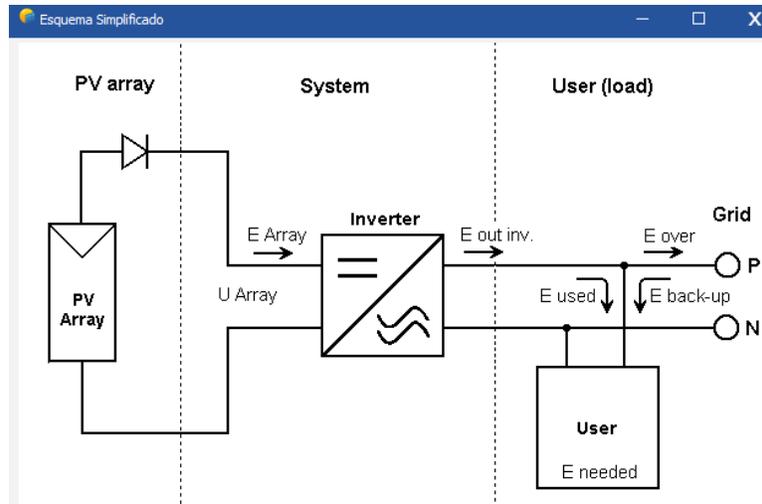


Fig. 155 PVSYST Esquema simplificado, Monterrey

Por último, damos click en “OK” y podemos proseguir con los sombreados cercanos.

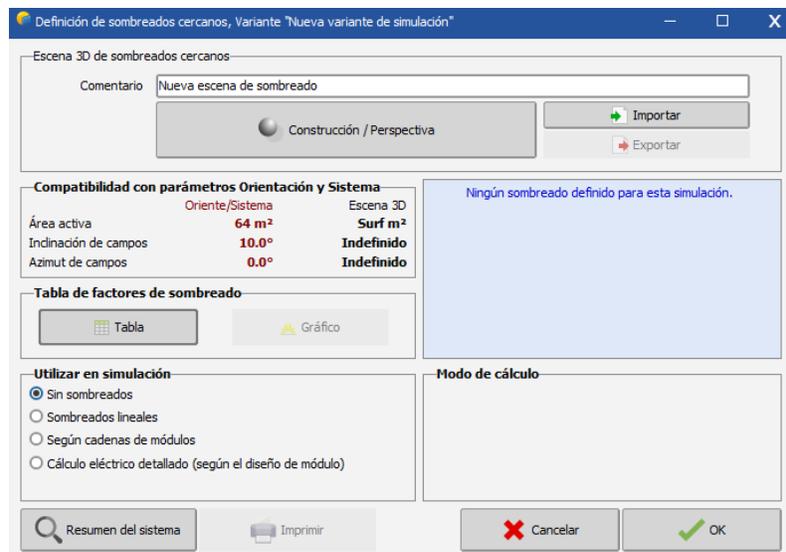


Fig. 156 PVSYST Sombreados cercanos, Monterrey

Para esta parte, se supone un área sin sombras que afecten al sistema, por lo que únicamente se selecciona la opción “Sin sombreados” y se procede a dar “OK”.

Para terminar la simulación se da click en “Ejecutar simulación”

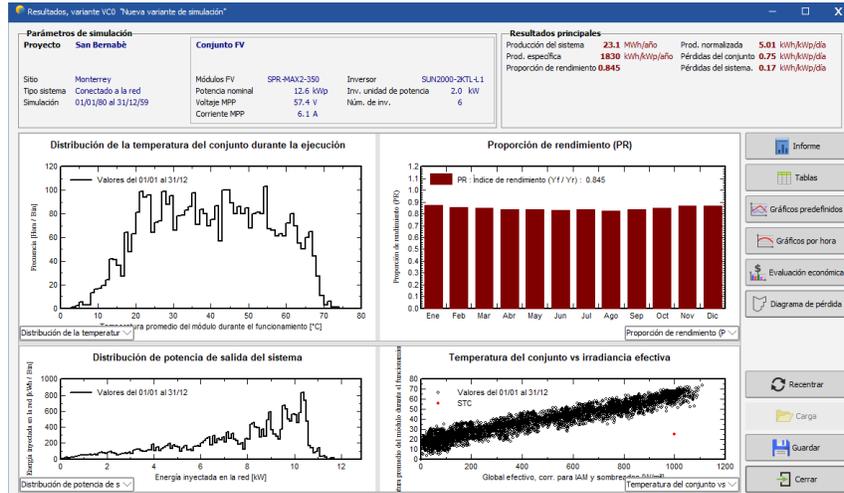


Fig. 157 PVSYS Ejecutar simulación, Monterrey

En la Fig. 157 se puede ver parte del reporte que genera PVSYS, se da click en “guardar” y además permite conocer un informe detallado donde se ven más datos importantes correspondientes a la generación del sistema.

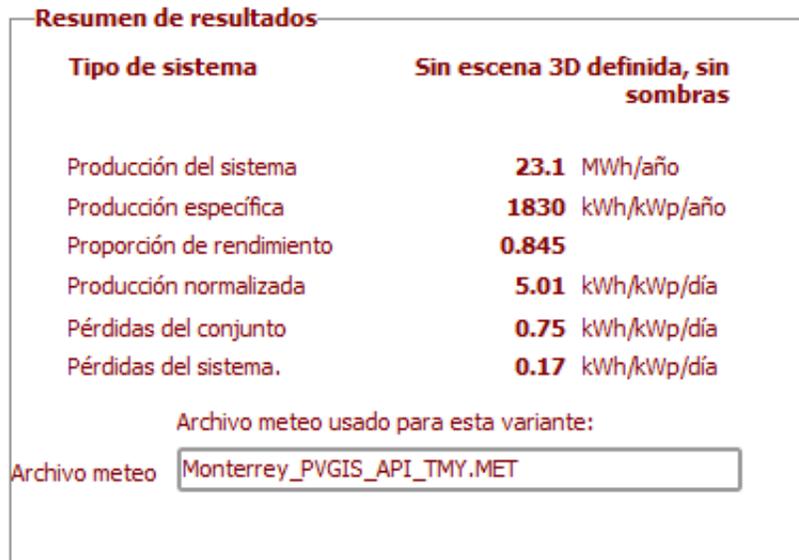


Fig. 158 PVSYS Resumen de resultados, Monterrey



Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	135.2	38.40	13.20	158.8	154.6	1.801	1.744	0.872
February	127.2	38.27	14.12	142.7	138.9	1.595	1.541	0.857
March	167.3	58.84	17.03	178.2	174.3	1.977	1.911	0.851
April	192.1	62.05	18.94	196.3	191.7	2.139	2.070	0.837
May	194.5	82.38	21.57	193.3	189.4	2.116	2.046	0.840
June	212.6	64.49	22.85	207.6	203.3	2.249	2.175	0.832
July	206.8	78.83	22.20	203.4	198.8	2.222	2.148	0.838
August	227.6	44.99	24.46	229.7	225.2	2.461	2.383	0.823
September	189.8	49.53	22.01	199.8	195.7	2.173	2.102	0.835
October	157.5	37.90	18.67	173.9	169.9	1.923	1.859	0.849
November	122.5	33.50	14.88	142.2	138.4	1.602	1.549	0.865
December	117.8	37.81	14.14	139.2	135.0	1.577	1.524	0.869
Year	2051.0	626.99	18.70	2165.1	2115.2	23.834	23.053	0.845

Fig. 159 PVSYST Balances y resultados principales, Monterrey

Se obtienen los datos de energía inyectada a la red, con los que se ve la generación mensual del sistema obteniendo 23.053 MWh al año, similar al obtenido en la calculadora solar.

### 3.4.6 COMPARACIÓN CALCULADORA SOLAR Y PVSYST, MONTERREY

Por último, para obtener una gráfica comparando lo obtenido en la Calculadora Solar y en PVSYST es necesario vaciar los valores de generación mensuales obtenidos de PVSYST dentro de una hoja de cálculo junto con los valores de generación mensuales obtenidos en la calculadora solar, para ver qué tan parecidos son unos con otros.

Mes	Generación PVSYST	Generación Calculadora	% Diferencia
ENERO	1774	1927.307	7.954
FEBRERO	1541	1922.368	19.838
MARZO	1911	2131.808	10.358
ABRIL	2070	2073.120	0.150
MAYO	2046	2225.552	8.068
JUNIO	2175	2227.680	2.365
JULIO	2148	2110.976	-1.754
AGOSTO	2383	2294.992	-3.835
SEPTIEMBRE	2102	1895.040	-10.921
OCTUBRE	1859	2253.328	17.500
NOVIEMBRE	1549	1938.720	20.102
DICIEMBRE	1524	2131.808	28.511

Tabla 8 Tabla de comparación, Monterrey

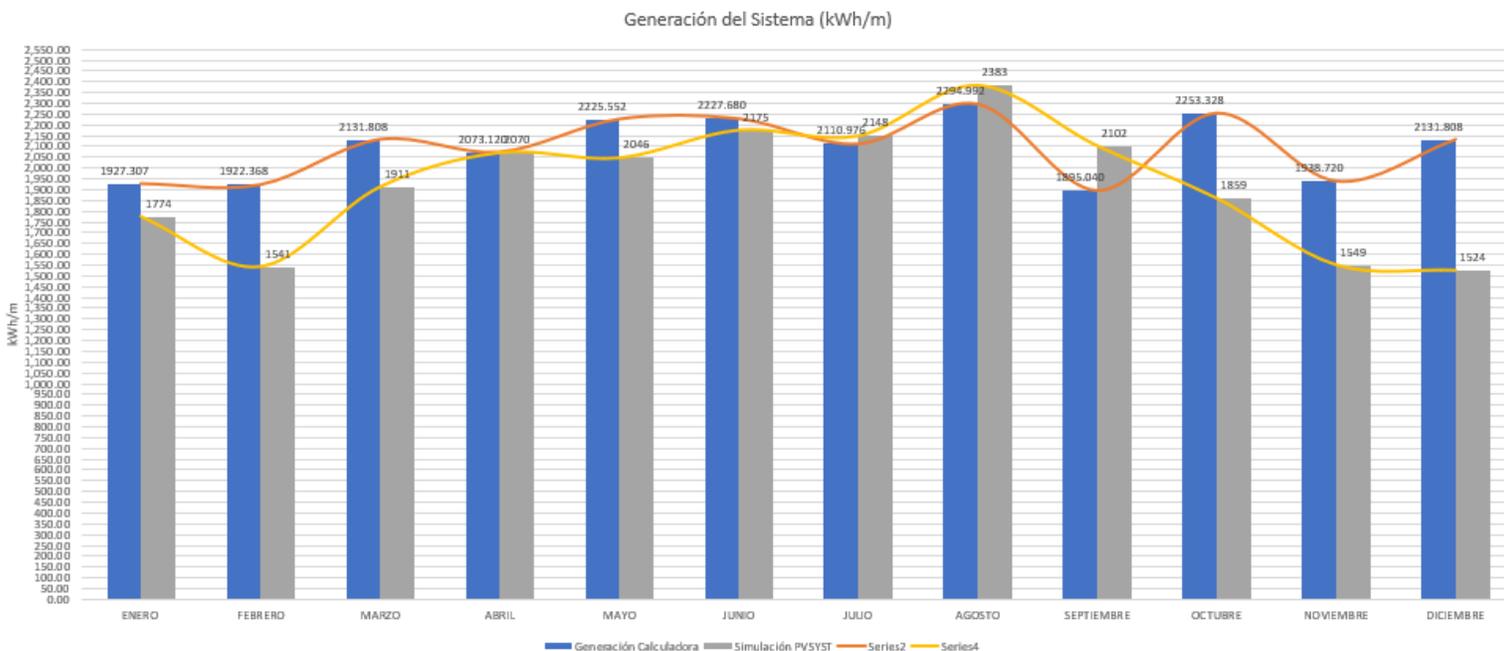


En la Tabla 8 se muestran los datos de generación, se puede ver que dichos datos no son tan diferentes entre ellos, existe una diferencia menor al 20%.

El porcentaje de diferencia se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\%Diferencia = 100 - \left( \frac{1774 * 100}{1927.307} \right) = 7.954$$

*Ecuación 10 % de Diferencia, Monterrey*



*Fig. 160 Generación del sistema, Comparación, Monterrey*

En la figura 160 se puede ver el comportamiento de la generación de sistema en ambas herramientas de simulación, lo que muestra que la diferencia no es elevada, los valores se acercan bastante.



# **CAPITULO 4. RESULTADOS**



#### 4.1 CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS, SOCIALES O CULTURALES DOS REGIONES DIFERENTES.

	Chicoloapan, Estado de México	Monterrey, Nuevo León
Colonia	Bonito El Manzano	San Bernabé
Territorio	El municipio abarca una superficie de 75.49 km <sup>2</sup>	La colonia San Bernabé es una localidad del municipio Monterrey, en Nuevo León, y abarca un área cercana a 23 hectáreas.
Consumo eléctrico	856.56 KWh bimestrales	2,967.42 KWh bimestrales
Población	Según estimaciones, la población del municipio de Chicoloapan, para 2019, disminuirá en cerca de 5,000 habitantes, pero retomará su tendencia de crecimiento a partir de 2020.  Conforme al Plan de Desarrollo Municipal hay 813 viviendas particulares en esta colonia.	En San Bernabé habitan unas 3,920 personas en 941 hogares. Se registran 1,633 habitantes por km <sup>2</sup> , con una edad promedio de 29 años.
Actividades económicas	En el año 2017, el municipio de Chicoloapan registró 6,484 unidades económicas, integradas por 5, 983 en el área de servicios y 501 en la actividad industrial; otras 6,279 son micro y pequeñas empresas (Mypes) consideradas de “importancia crítica” para el desarrollo del Municipio por su	San Bernabé tiene un output económico estimado en MXN \$330 millones anuales, de los cuales MXN \$300 millones corresponde a ingresos generados por los hogares y unos MXN \$29 millones a ingresos de los 75 establecimientos que allí operan.



	<p>incidencia en la generación de empleo.</p> <p>El porcentaje de población ocupada con ingresos de hasta 2 salarios mínimos es de 34.43% (Población en 2015: 204,107, Fuente: COESPO con base en CONAPO, 2015), esto implica que la tercera parte de la población es de bajos ingresos. En 2017, el 4.13% estaba desocupada.</p>	<p>Adicionalmente, se estima que en la colonia laboran 300 personas, lo que eleva el total de residentes y trabajadores a 5,000.</p> <p>En la colonia San Bernabé se registran unos 75 establecimientos comerciales en operación.</p> <p>Entre las principales empresas (tanto públicas como privadas) con presencia en la colonia se encuentra GOBIERNO FEDERAL, que junto a otras dos organizaciones emplean unas 71 personas, equivalente al 66% del total de los empleos en la colonia.</p>
Escolaridad	<p>En 2020, los principales grados académicos de la población de Chicoloapan fueron Secundaria (44.7k personas o 32.2% del total), Preparatoria o Bachillerato General (42.6k personas o 30.7% del total) y Primaria (25.5k personas o 18.3% del total).</p>	<p>Escolaridad promedio de 11 años cursados.</p>

*Tabla 9 características principales de ambas regiones*

#### 4.2 DIMENSIONAMIENTOS REGIÓN 1 REGIÓN 2.

A continuación, se muestran los resultados completos de los dimensionamientos para cada una de las regiones en la Calculadora Solar.

#### REGION 1 – CHICOLOAPAN, EDO. MEX

Parámetros de entrada

Numero de paneles	11
Tipo de panel	SunPower
Potencia por panel	350
Calibre	Calibre 8 AWG
Longitud de Trayectoria de CA (m)	30
Ciudad	ESTADO DE MEXICO, CHICOLOAPAN
Latitud	20 o menos
Orientación	45° Oeste
Inclinación (Grados)	10
Estructura Coplanar	SI
Area Aprox del objeto que hace Sombra	0
Distancia aprox del objeto al Sistema	0
Orientación respecto al sistema	Sur

Parámetros de salida

HSP	4.770
Resistencia t (Ohms)	0.1536
Potencia Cable (kW)	0.041
Número de inversores	3 Hoymiles 1200
% Pérdida por cableado	-1.141
% Pérdidas por sombra	0
% Pérdidas por Orientación e Inclinación	-2
% Pérdidas por Estructura Coplanar	-8
% Pérdidas o ganancia por tipo de Panel	0
% perdida por degradación (Año 1)	-3
Suma Pérdidas Totales Especificas	-14.141
Performance Ratio Base	81.90
Performance Ratio Final	67.76
Capacidad del Sistema (kWp)	3.85
Kwp Real del Sistema	4.000
Generación real (kWh/a)	6964.200

COSTO Anual x Watt perd	195.16
COSTO Cableado(\$)	1093.2

Fig. 161 Dimensionamiento completo, Chicoloapan

## REGION 2 – SAN BERNABÉ, NUEVO LEÓN

### Parámetros de entrada

Numero de paneles	32
Tipo de panel	SunPower
Potencia por panel	350
Calibre	Calibre 8 AWG
Longitud de Trayectoria de CA (m)	50
Ciudad	NUEVO LEON, MONTERREY, SAN BERNABE
Latitud	25 o mayor
Orientación	45° Oeste
Inclinación (Grados)	10
Estructura Coplanar	SI
Area Aprox del objeto que hace Sombra	0
Distancia aprox del objeto al Sistema	0
Orientación respecto al sistema	Sur

### Parámetros de salida

HSP	5.551
Resistencia t (Ohms)	0.256
Potencia Cable (kW)	0.487
Número de inversores	8 Hoymiles 1200
% Pérdida por cableado	-5.069
% Pérdidas por sombra	0
% Pérdidas por Orientación e Inclinación	-2.5
% Pérdidas por Estructura Coplanar	-8
% Pérdidas o ganancia por tipo de Panel	0
% perdida por degradación (Año 1)	-3
Suma Pérdidas Totales Especificas	-18.569
Performance Ratio Base	80.10
Performance Ratio Final	61.53
Capacidad del Sistema (kWp)	11.2
Kwp Real del Sistema	11.200
Generación real (kWh/a)	22692.488

COSTO Anual x Watt perd	2691.78
COSTO Cableado(\$)	1822

Fig. 162 Dimensionamiento completo, Monterrey

### 4.3 SIMULACIÓN DE AMBAS PROPUESTAS EN EL SOFTWARE PVSYSY.

A continuación, se muestran los resultados completos de las simulaciones realizadas para cada una de las regiones en el software PVSYSY, de acuerdo con los reportes obtenidos en el programa.

#### REGION 1 – CHICULOAPAN, EDO. MEX

General parameters			
<b>Grid-Connected System</b>		<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
<b>PV Field Orientation</b>			
<b>Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Fixed plane		No 3D scene defined	Transposition Perez
Tilt/Azimuth	10 / 0 °		Diffuse Imported Circumsolar separate
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Free Horizon		No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	SPR-MAX2-350	Model	SUN2000L-2KTL
(Original Pvsyst database)		(Original Pvsyst database)	
Unit Nom. Power	350 Wp	Unit Nom. Power	2.00 kWac
Number of PV modules	12 units	Number of inverters	2 units
Nominal (STC)	4200 Wp	Total power	4.0 kWac
Modules	2 Strings x 6 In series	Operating voltage	90-500 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Max. power (=>40°C)	2.20 kWac
Pmpp	3846 Wp	Pnom ratio (DC:AC)	1.05
U mpp	313 V		
I mpp	12 A		
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	4.20 kWp	Total power	4 kWac
Total	12 modules	Number of inverters	2 units
Module area	21.2 m <sup>2</sup>	Pnom ratio	1.05

Fig. 163 Parámetros generales, Chicoloapan

**Main results**

**System Production**

Produced Energy 8.11 MWh/year

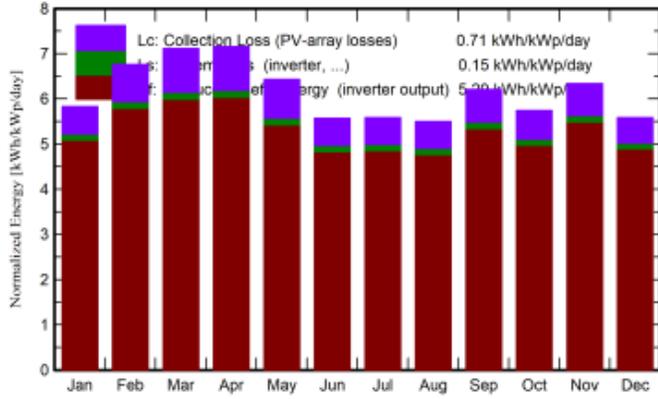
Specific production

1930 kWh/kWp/year

Performance Ratio PR

86.02 %

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**

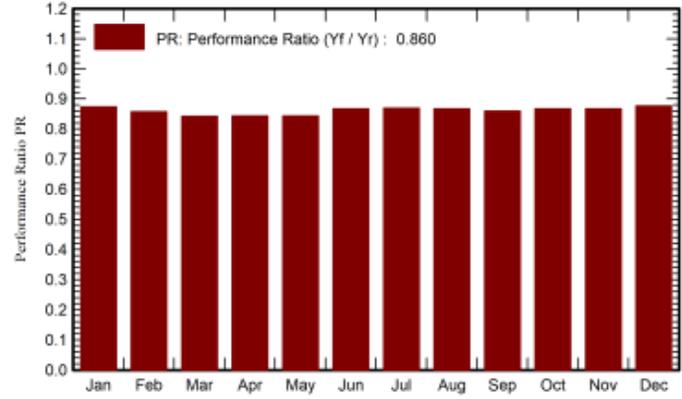


Fig. 164 Resultados principales, Chicoloapan

**Balances and main results**

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>DiffHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>T_Amb</b> °C	<b>GlobInc</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>EArray</b> MWh	<b>E_Grid</b> MWh	<b>PR</b> ratio
<b>January</b>	158.7	54.35	13.79	180.8	177.0	0.681	0.663	0.873
<b>February</b>	171.7	51.39	15.22	189.4	185.9	0.699	0.682	0.857
<b>March</b>	209.8	53.79	17.28	220.6	216.2	0.801	0.781	0.842
<b>April</b>	212.9	70.19	18.70	214.8	210.5	0.781	0.761	0.843
<b>May</b>	203.4	68.94	19.32	199.4	195.6	0.727	0.707	0.844
<b>June</b>	172.4	88.56	17.44	167.3	163.4	0.627	0.609	0.867
<b>July</b>	177.6	88.89	16.17	173.2	169.0	0.651	0.632	0.869
<b>August</b>	171.1	91.22	16.74	170.5	166.6	0.639	0.621	0.867
<b>September</b>	180.8	64.91	16.48	186.4	182.3	0.692	0.673	0.860
<b>October</b>	165.3	58.48	15.12	178.0	174.5	0.666	0.648	0.867
<b>November</b>	167.6	39.89	13.43	190.2	186.2	0.711	0.692	0.867
<b>December</b>	150.6	53.54	13.10	173.2	169.3	0.654	0.638	0.877
<b>Year</b>	2141.8	784.13	16.07	2243.8	2196.6	8.329	8.107	0.860

**Legends**

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

*Fig. 165 Balances y resultados principales, Chicoloapan*

## REGION 2 – SAN BERNABÉ, EDO. MEX

General parameters			
<b>Grid-Connected System</b>		<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
<b>PV Field Orientation</b>			
<b>Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Fixed plane		No 3D scene defined	Transposition Perez
Tilt/Azimuth 10 / 0 °			Diffuse Imported
			Circumsolar separate
<b>Horizon</b>		<b>Near Shadings</b>	<b>User's needs</b>
Free Horizon		No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer Generic		Manufacturer Generic	
Model SPR-MAX2-350		Model SUN2000-2KTL-L1	
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power 350 Wp		Unit Nom. Power 2.00 kWac	
Number of PV modules 36 units		Number of inverters 6 units	
Nominal (STC) 12.60 kWp		Total power 12.0 kWac	
Modules 6 Strings x 6 In series		Operating voltage 80-600 V	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC) 1.05	
Pmpp 11.54 kWp			
U mpp 313 V			
I mpp 37 A			
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC) 13 kWp		Total power 12 kWac	
Total 36 modules		Number of inverters 6 units	
Module area 63.6 m <sup>2</sup>		Pnom ratio 1.05	

Fig. 166 Parámetros generales, Monterrey

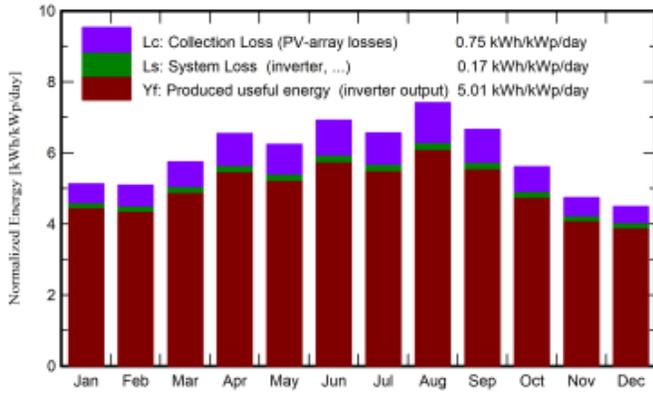
**Main results**

**System Production**

Produced Energy 23.05 MWh/year

Specific production 1830 kWh/kWp/year  
Performance Ratio PR 84.50 %

**Normalized productions (per installed kWp)**



**Performance Ratio PR**

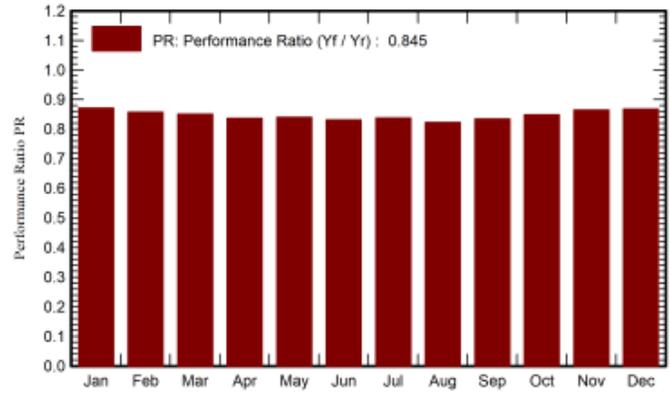


Fig. 167 Resultados principales, Monterrey

### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	DiffHor kWh/m <sup>2</sup>	T_Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	135.2	38.40	13.20	158.8	154.6	1.801	1.744	0.872
February	127.2	38.27	14.12	142.7	138.9	1.595	1.541	0.857
March	167.3	58.84	17.03	178.2	174.3	1.977	1.911	0.851
April	192.1	62.05	18.94	196.3	191.7	2.139	2.070	0.837
May	194.5	82.38	21.57	193.3	189.4	2.116	2.046	0.840
June	212.6	64.49	22.85	207.6	203.3	2.249	2.175	0.832
July	206.8	78.83	22.20	203.4	198.8	2.222	2.148	0.838
August	227.6	44.99	24.46	229.7	225.2	2.461	2.383	0.823
September	189.8	49.53	22.01	199.8	195.7	2.173	2.102	0.835
October	157.5	37.90	18.67	173.9	169.9	1.923	1.859	0.849
November	122.5	33.50	14.88	142.2	138.4	1.602	1.549	0.865
December	117.8	37.81	14.14	139.2	135.0	1.577	1.524	0.869
Year	2051.0	626.99	18.70	2165.1	2115.2	23.834	23.053	0.845

#### Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

Fig. 168 Balances y resultados principales, Monterrey

#### 4.4 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE AMBAS PROPUESTAS

Los resultados que se obtuvieron a través de la Calculadora Solarse presentan se presentan en la Tabla 9, donde se pueden ver cada uno de los aspectos y variables considerados en el cálculo global que se tomaron en cuenta para realizar el análisis y la comparación del desempeño de ambas propuestas.

		Chicoloapan, Estado de México	Monterrey, Nuevo León
1	No. de Módulos	11	32
2	HSP	4.770	5.551
3	Resistencia TOTAL (Ohms)	0.1536	0.256
4	Potencia Cable (kW)	0.041	0.487
5	Costo anual por W	195.16	2691.78
6	Costo cableado (\$)	1093.2	1822
7	Número de inversores	3 Hoymiles 1200	8 Hoymiles 1200
8	Pérdidas por orientación e inclinación (%)	-2	-2.5
9	Pérdida por estructura coplanar (%)	-8	-8
10	% de degradación año 1	-3	-3
11	Suma de pérdidas totales específicas (%)	-14.141	-18.569
12	Capacidad del sistema (kWp)	3.5	11.2
13	kWp real del sistema	4.000	11.200
14	Generación real al año (kWh/año)	6964.200	22692.488

Tabla 10. Datos obtenidos para ambas regiones en calculadora solar

A continuación, en la Fig. 169 se observa la comparación de generación de ambas regiones de acuerdo con los parámetros obtenidos en la calculadora solar, estos datos son mensuales y varían entre ellos debido al número de paneles solares requeridos en cada propuesta de simulación.

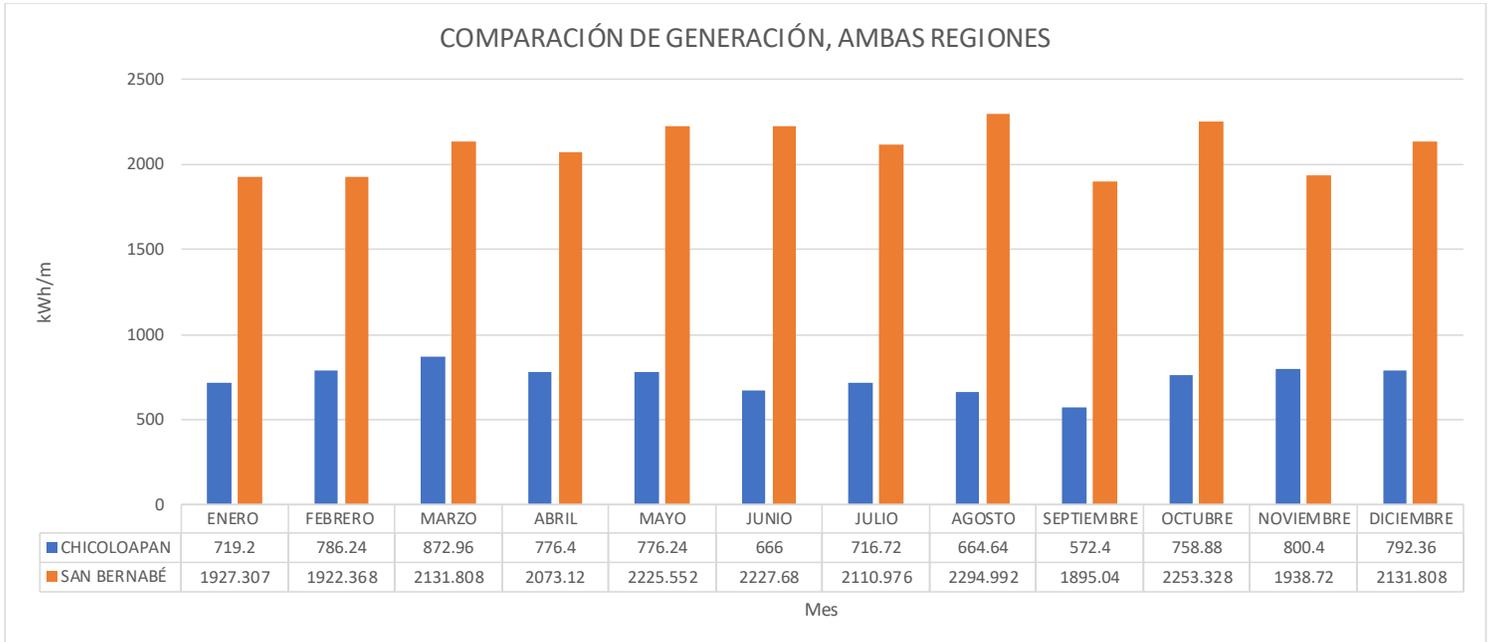
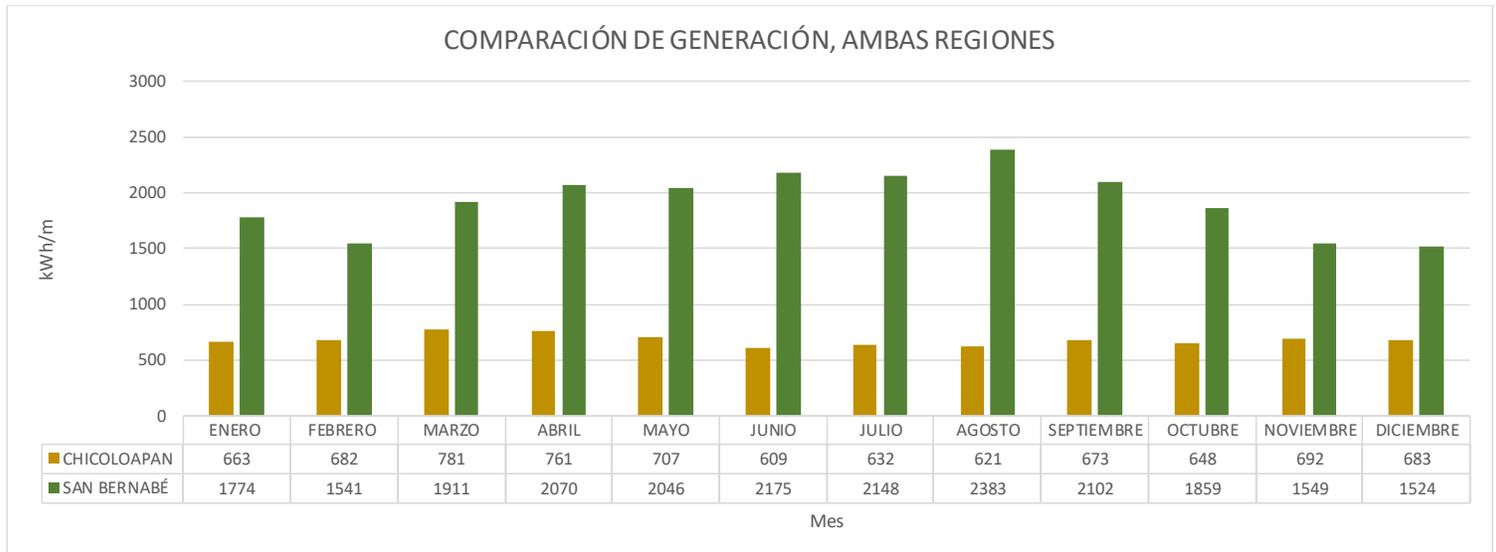


Fig. 169. Comparación de generación, ambas regiones

De igual forma se obtuvieron resultados a través del programa PVSYS, donde se generó un reporte para cada simulación mostrando diferentes parámetros, entre ellos la generación mensual para cada simulación, así mismo, difiere debido a las características de cada región. (Fig. 170)



*Fig. 170 Comparación de generación PVSYS, ambas regiones*



#### **4.5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Como se puede ver en los puntos anteriores, ambas regiones son completamente diferentes, no cuentan con el mismo número de habitantes, además el consumo promedio mensual de energía eléctrica no es acercado. Ambas regiones tienen características particulares, además se sabe que el municipio de Monterrey cuenta con mayor recurso económico que el municipio de Chicoloapan.

Un punto importante por destacar es que el valor de HSP no es el mismo, por la diferencia de ubicación, la Colonia San Bernabé cuenta con un valor más alto de HSP que la Unidad Habitacional Bonito El Manzano.

Chicoloapan - **4.77 KWh/m<sup>2</sup>/día**

Monterrey - **5.55 KWh/m<sup>2</sup>/día**

Lo que provoca que la generación también sea diferente al finalizar la simulación.

Por otro lado, después de realizar el análisis de generación para ambas regiones se tuvo un resultado muy diferente esto debido al consumo promedio mensual.

Chicoloapan - **856.56 KWh bimestrales**

Monterrey - **2,967.42 KWh bimestrales**

En el resultado del análisis de generación se puede ver la diferencia, en Chicoloapan conforme a las necesidades energéticas solo se requieren 11 módulos, mientras que para Monterrey se requieren 32 módulos; Esto hace que el resultado obtenido de generación no sea similar.

Algo importante a destacar es que las simulaciones realizadas para el análisis de generación, Calculadora Solar y el programa PVSYST coinciden de buena forma, mostrando similitud en los resultados obtenidos.



# **CAPITULO 5. CONCLUSIONES**



## 5.1 CONCLUSIONES

Las características de cada una de las regiones analizadas son de gran importancia pues influyen en el análisis de dimensionamiento, así como en la simulación en programas de diseño, además se conoce que un buen recurso económico en la población de la región geográfica de estudio permite obtener con mayor facilidad un contrato de instalación fotovoltaico, mientras que la población con menor recurso económico puede ver el gasto de instalación elevado. Por otro lado, los espacios de instalación en hogares más grandes permitirán a los instaladores aprovechar el espacio disponible, mientras que un terreno con menor área de instalación puede representar un desafío para los instaladores que deberán aprovechar y optimizar completamente el poco espacio disponible.

Los datos de consumo eléctrico promedio en ambas regiones representan el principal parámetro para calcular la cantidad de módulos necesarios que cubran las necesidades del sistema, así mismo, influyen en las características de los componentes necesarios para la instalación.

Al analizar y comparar la generación mensual de ambas regiones de acuerdo con las simulaciones realizadas en las herramientas de diseño ya mencionadas durante el proceso se concluye que el consumo energético en el Municipio de Monterrey es más elevado que en el municipio de Chicoloapan por las siguientes razones: 1) mayor número de personas por casa-habitación en la zona geográfica 2, 2) por el efecto social que se presenta en la región 1, en donde el consumo de energía se presenta principalmente en horario nocturno, siendo mínimo el consumo en el horario laboral, 3) por las actividades económicas que se realizan en ambas regiones, 4) por el uso de equipos consumidores de cantidades grandes de energía en la región 2; por lo tanto, se requieren de más módulos fotovoltaicos para una instalación en esa zona.



En ambas regiones seleccionadas, es necesario promover el uso de Sistemas Fotovoltaicos para generación de energía, en este trabajo se demostró que a pesar de contar con características muy diferentes en relación al recurso solar y consumo energético, es factible generar al menos 8.107 MW por año en Chicoloapan y 23.1 MW por año en Monterrey, lo que indica que el uso y potencialización de las energías renovables pueden lograr impactar en el ámbito social, económico y cultural en cualquier región del territorio mexicano otorgando múltiples beneficios.

La implementación de Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la red es una de las acciones que se encuentran alineadas con los objetivos de desarrollo sustentable, de modo que se espera que cada vez más ciudades o regiones puedan transitar al uso de energía solar para proveer de energía no solo a unidades habitacionales sino a edificios gubernamentales y empresas quienes contribuirían a que se disfrute de una calidad de aire más limpia en la región, y como consecuencia mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

El uso de herramientas especializadas para la simulación del comportamiento de un Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red es fundamental para 1) observar múltiples escenarios, 2) comprobar el dimensionamiento el cual permite comparar con los datos reales en una instalación, 3) es funcional para comprobar las HSP consideradas en un análisis de generación, 4) es posible realizar un análisis de pérdidas por sombreos futuros.



# **CAPITULO 6. REFERENCIAS**



## 6.1 REFERENCIAS

*¿Cómo obtener las coordenadas geográficas del punto de atención de la entidad y como registrarla en el SUIT 3? - SUIT - Función Pública* (no date). Available at: [https://www.funcionpublica.gov.co/web/suit/preguntas-frecuentes/-/asset\\_publisher/U67346v6M5yf/content/-como-obtener-las-coordenadas-geograficas-del-punto-de-atencion-de-la-entidad-y-como-registrarla-en-el-suit-3](https://www.funcionpublica.gov.co/web/suit/preguntas-frecuentes/-/asset_publisher/U67346v6M5yf/content/-como-obtener-las-coordenadas-geograficas-del-punto-de-atencion-de-la-entidad-y-como-registrarla-en-el-suit-3) (Accessed: 10 January 2022).

*¿Conoces el objetivo de la NOM-001-SEDE-2018? | Preingels* (no date). Available at: <http://preingels.com.mx/conoces-el-objetivo-de-la-nom-001-sede-2018/> (Accessed: 10 January 2022).

*¿Qué es el efecto fotovoltaico? Luz y electricidad* (no date). Available at: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico> (Accessed: 20 April 2022).

*¿Qué es el factor de carga? - Preguntas Frecuentes | ENSA* (no date). Available at: <https://www.ensa.com.pa/preguntas-frecuentes/medidor/que-es-el-factor-de-carga> (Accessed: 11 January 2022).

*¿Qué es el factor de potencia y en qué me beneficia?* (no date). Available at: <https://www.risoul.com.mx/blog/que-es-el-factor-de-potencia-y-en-que-me-beneficia> (Accessed: 10 January 2022).

*¿Qué es la Hora Solar Pico (HSP), para qué sirve y cómo calcularlo? - Efimarket* (no date). Available at: <https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/> (Accessed: 10 January 2022).

*¿Qué es la potencia? (artículo) | Khan Academy* (2020). Available at: <https://es.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/a/what-is-power> (Accessed: 10 January 2022).

*¿Qué es la resistencia? | Fluke* (no date). Available at: <https://www.fluke.com/es-mx/informacion/blog/electrica/que-es-la-resistencia> (Accessed: 11 January 2022).

*¿Qué es un panel solar? Información, tipos y funcionamiento* (no date). Available at:



<https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/panel-solar> (Accessed: 12 October 2020).

*¿Qué es un transformador eléctrico y cómo funciona?* (no date). Available at: <https://www.tecsagro.com.mx/blog/que-es-un-transformador-electrico/> (Accessed: 10 January 2022).

*¿Qué significa Kwh? | Compratuled* (no date). Available at: <https://blog.compratuled.es/que-significa-kwh/> (Accessed: 11 January 2022).

*▷Recibo CFE 2021: Descubre como entender tu factura de luz.* (no date). Available at: <https://tarifasdeluz.mx/cfe-recibo-luz/conocer> (Accessed: 10 January 2022).

*160,000 viviendas ya utilizan techos solares en México* (no date). Available at: <https://www.forbes.com.mx/160000-viviendas-ya-utilizan-techos-solares-en-mexico/> (Accessed: 1 May 2022).

*Bancos de Capacitores - Generando Watts* (no date). Available at: <https://www.generandowatts.com/productos/bancos-de-capacitores/> (Accessed: 10 January 2022).

Bingul, L. T. and F. and Bingul, L. T. and F. (2007) *NASA stands 'for the benefit of all.'*—*Interview with NASA's Dr. Süleyman Gokoglu*. The Light Millennium. Available at: [http://www.lightmillennium.org/2004\\_newyear/gokoglu\\_nasa\\_stands\\_forall.html](http://www.lightmillennium.org/2004_newyear/gokoglu_nasa_stands_forall.html) (Accessed: 10 January 2022).

Björk, B. C. and Laakso, M. (2010) 'CAD standardisation in the construction industry — A process view', *Automation in Construction*, 19(4), pp. 398–406. doi: 10.1016/j.autcon.2009.11.010.

*Chicoloapan en la region de México - Municipio y presidencia municipal de México* (2017). Available at: <https://www.los-municipios.mx/municipio-chicoloapan.html> (Accessed: 4 May 2022).

*Colonia San Bernabe, Monterrey, en Nuevo León* (2019). Available at:



<https://www.marketdatamexico.com/es/article/Colonia-San-Bernabe-Monterrey-Nuevo-Leon> (Accessed: 5 May 2022).

Contreras, W. *et al.* (2018) 'Análisis estadístico de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta', *Entre Ciencia e Ingeniería*. Universidad Católica de Pereira, 12(23), pp. 16–22. doi: 10.31908/19098367.3698.

*Definición de inclinación - Qué es, Significado y Concepto* (no date). Available at: <https://definicion.de/inclinacion/> (Accessed: 11 January 2022).

*Definición de orientación - Qué es, Significado y Concepto* (no date). Available at: <https://definicion.de/orientacion/> (Accessed: 11 January 2022).

*Diferencia entre corriente alterna y corriente directa - Diferenciador* (no date). Available at: <https://www.diferenciador.com/corriente-alterna-y-corriente-directa/> (Accessed: 10 January 2022).

*Energía solar y sus beneficios ¿Qué es el efecto fotovoltaico?* (no date). Available at: <https://www.certificadosenergeticos.com/energia-solar-beneficios-que-efecto-fotovoltaico> (Accessed: 20 April 2022).

Energy, C. (2021) *Energy & Commerce | Potencial de la energía solar en México*. Available at: <https://energyandcommerce.com.mx/energia-solar-mexico/> (Accessed: 26 April 2022).

*Estado de México - Chicoloapan* (no date). Available at: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15029a.html> (Accessed: 4 May 2022).

*Estructura coplanar: Qué es, características, precio y más* (no date). Available at: <https://www.plena-energia.com/post/estructura-coplanar> (Accessed: 11 January 2022).

Geografía, I. N. de E. y and Geografía, I. N. de E. y (2020) *Panorama sociodemográfico de Nuevo León. Censo de Población y Vivienda 2020*. Available



at:

[https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825197926.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197926.pdf) (Accessed: 5 May 2022).

*Global Solar Atlas* (no date). Available at: <https://test.globalsolaratlas.info/map?c=30.751278,20.742188,2&r=SSD&s=36.638392,127.696119&m=site> (Accessed: 26 April 2022).

González, R., Jiménez, H. and Lagunas, J. (2019) 'Sistemas Fotovoltaicos Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red', *Boletín IIE*, October. Available at: <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Sistemas-Fotovoltaicos-conectados-a-la-red.pdf> (Accessed: 20 April 2022).

*Google Earth - Wikipedia, la enciclopedia libre* (no date). Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Earth) (Accessed: 10 January 2022).

*Google Maps - Wikipedia, la enciclopedia libre* (no date). Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Google\\_Maps](https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Maps) (Accessed: 10 January 2022).

*HelioScope, herramienta para Sistemas Fotovoltaicos | KeeUI Solar* (no date). Available at: <https://keeui.com/2021/03/19/helioscope-herramienta-para-sistemas-fotovoltaicos/> (Accessed: 10 January 2022).

*HelioScope: Advanced Solar Design Software* (no date). Available at: <https://www.helioscope.com/> (Accessed: 10 January 2022).

*Home* (no date). Available at: <https://www.cfe.mx/Pages/default.aspx> (Accessed: 11 January 2022).

*Impactos sociales de la energía solar - Eres Medio Ambiente* (2022). Available at: <https://eresmedioambiente.com/impactos-sociales-de-la-energia-solar/> (Accessed: 1 May 2022).

*NASA POWER | Docs | Tutorials | DAV - NASA POWER | Docs* (no date). Available at: <https://power.larc.nasa.gov/docs/tutorials/data-access-viewer/user-guide/>



(Accessed: 10 January 2022).

*Performance Ratio of Solar Power Plant - Definition, Glossary, Details - Solar Mango - Solar Mango – #1 guide for solar* (no date). Available at: <https://www.solarmango.com/dictionary/performance-ratio/> (Accessed: 11 January 2022).

*Principales Centrales Eléctricas Solares en México | KeeUI Solar* (2020). Available at: <https://keeui.com/2020/12/07/principales-centrales-electricas-solares-en-mexico/> (Accessed: 1 May 2022).

*Profesionales de Bolsa - V 4.0 Comisionista de Bolsa* (2019). Available at: <http://www.profesionalesdebolsa.com/apoyo-al-inversionista/categorias-de-clientes/109/109> (Accessed: 10 January 2022).

Proyecto EnDev/GIZ (2019) *Manual de Instalación de un Sistema Fotovoltaico domiciliario*. Available at: [https://energypedia.info/images/0/0b/Guía\\_de\\_instalación\\_de\\_SFD\\_-\\_2013.pdf](https://energypedia.info/images/0/0b/Guía_de_instalación_de_SFD_-_2013.pdf) (Accessed: 20 April 2022).

*Qué es el sobredimensionamiento - Amara-e* (no date). Available at: <https://www.amara-e.com/sobredimensionar/> (Accessed: 11 January 2022).

*QUE ES LA POTENCIA ACTIVA, REACTIVA Y APARENTE?*– (no date). Available at: <http://www.apcotech.com/BLOG/uncategorized/que-es-la-potencia-activa-reactiva-y-aparente/> (Accessed: 10 January 2022).

*Qué es un Circuito Eléctrico? Definición y Tipos (Guía 2022)* (no date). Available at: <https://electronicaonline.net/circuito-electrico/> (Accessed: 11 January 2022).

*RADIACIÓN SOLAR - IDEAM* (no date). Available at: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta> (Accessed: 30 September 2020).

Riello Elettronica Group (no date) *Introducción a la energía fotovoltaica - La radiación*



*solar - Inversores fotovoltaicos para instalaciones de todos los tamaños| AROS Solar Technology.* Available at: <http://www.aros-solar.com/es/la-radiacion-solar> (Accessed: 1 October 2020).

*Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red: Panel Power* (no date). Available at: <https://www.panelpower.com.mx/sistemas-fotovoltaicos> (Accessed: 22 April 2022).

Subdirección de Distribución, C. (2020) *Interconexión a la red eléctrica de baja tensión en Sistemas Fotovoltaicos con capacidad hasta 30KW.* Available at: <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/f/G0100-04.pdf> (Accessed: 20 April 2022).

Super User (2018) *Ventajas y Desventajas de los Sistemas Solares.* Available at: <https://www.e-xxi.com/index.php/15-e-xxi-blog/74-ventajas-y-desventajas-de-los-sistemas-solares> (Accessed: 20 April 2022).

*Tarifas - CFE* (no date). Available at: [https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_negocio.asp?Tarifa=HMCF](https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp?Tarifa=HMCF) (Accessed: 11 January 2022).

'UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA INGENIERÍA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA Capítulo 1 Celdas Fotovoltaicas 1.1 Sistema de Generación Solar' (no date).

*Ventajas de los Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red* (2018). Available at: <https://www.syscomblog.com/2018/04/ventajas-de-los-sistemas-fotovoltaicos.html> (Accessed: 20 April 2022).



# **CAPITULO 7.**

# **ANEXOS**

## 7.1 GLOSARIO

- **Módulos fotovoltaicos:** Formados por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas entre ellas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico. (*¿Qué es un panel solar? Información, tipos y funcionamiento, 2018*)
- **CFE:** La Comisión Federal de Electricidad es una empresa productiva del Estado mexicano encargada de controlar, generar, transmitir y comercializar energía eléctrica en todo el país. (*Home, 2022*)
- **Nasa:** La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, más conocida como NASA. Proporciona conjuntos de datos solares y meteorológicos de la investigación de la NASA para respaldar la energía renovable, la eficiencia energética de los edificios y las necesidades agrícolas. (*Bingul and Bingul, 2007*)
- **Demanda contratada:** Valor de la demanda que se estipuló en el contrato de suministro. (*Tarifas - CFE, 2021*)
- **Consumo anual:** Cantidad de energía eléctrica gastada durante un periodo de doce meses.
- **KWh:** Unidad de medida que se emplea para contabilizar el consumo eléctrico que se ha realizado durante un periodo de tiempo. (*¿Qué significa Kwh? | Comprated, 2018*)
- **Factor de potencia:** Medida de la eficiencia o rendimiento de nuestro sistema eléctrico. (*¿Qué es el factor de potencia y en qué me beneficia?, 2018*)
- **Factor de carga:** Se define como la carga promedio dividida por la carga máxima en un período de tiempo específico. (*¿Qué es el factor de carga? - Preguntas Frecuentes | ENSA, 2019*)
- **Recibo de luz:** Es el documento que te indica la cantidad de energía eléctrica que has consumido. Asimismo, te muestra el monto que debes pagar por el servicio.



- **Carga conectada:** Es la suma de las potencias de cada uno de los equipos instalados. Se toman en cuenta contactos, motores, computadoras, iluminación, etc.
- **Factor de sobredimensionamiento:** Consiste en realizar una instalación con una potencia de módulos fotovoltaicos (Wp) mayor que la potencia nominal del inversor. (*Qué es el sobredimensionamiento - Amara-e, 2021*)
- **Transformador:** Es una máquina estática de corriente alterna que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad de corriente eléctrica, manteniendo la frecuencia y la potencia, en el caso de un transformador ideal. (*¿Qué es un transformador eléctrico y cómo funciona?*)
- **Potencia Activa (W):** Es un parámetro que indica la cantidad de energía eléctrica transferida de una fuente generadora a un elemento consumidor por unidad de tiempo.
- **Potencia Aparente (S):** Es la potencia total consumida por la carga y es el producto de los valores eficaces de tensión e intensidad. Se obtiene como la suma vectorial de las potencias activa y reactiva y representa la ocupación total de las instalaciones debida a la conexión del receptor.
- **Potencia reactiva:** La potencia reactiva no posee un carácter realmente de ser consumida; sólo aparece cuando hay bobinas o condensadores en los circuitos. Dicha potencia tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo necesario. La potencia reactiva se mide en volt amperios reactivos (VAR) y suele designarse con la letra Q. (*QUE ES LA POTENCIA ACTIVA, REACTIVA Y APARENTE?,2017*)
- **Folio:** Es la clave que se le asigna a cada proyecto por el área de ventas y/o proyectos.
- **Registro permanente de usuario (RPU):** Es un código único que identifica al titular del contrato con el servicio.
- **Capacidad SFV AC (kWp):** Se refiere a la capacidad del Sistema Fotovoltaico en corriente alterna. Dependerá del sistema dimensionado.



- **Energía consumida promedio anual (KWh):** Se refiere el total de energía consumida por el cliente anualmente, este dato se obtiene desde el dimensionamiento usando el recibo CFE.
- **Factor de potencia promedio:** El factor de potencia promedio se obtuvo del dimensionamiento a partir de los valores de energía real promedio mensual y energía reactiva promedio mensual.
- **Banco de capacitores (kVAr):** Los bancos de capacitores son equipos que regularmente se instalan en los sistemas eléctricos, son de utilidad para corregir el factor de potencia y evitar las penalizaciones que la empresa suministradora impone, en este caso CFE. Dicho dato también se obtiene en el análisis de generación. (*Bancos de Capacitores - Generando Watts, 2020*)
- **Latitud:** La latitud proporciona la localización de un lugar, en dirección Norte o Sur desde el ecuador. (*¿Cómo obtener las coordenadas geográficas del punto de atención de la entidad y como registrarla en el SUIT 3? - SUIT - Función Pública, 2021*)
- **Longitud:** Es la distancia en grados, minutos y segundos que hay con respecto al meridiano principal, que es el meridiano de Greenwich (0°).
- **Google Earth:** Sistema de información geográfica que muestra un globo terráqueo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, basado en imágenes satelitales y además permite la creación de entidades de puntos líneas y polígonos, contando también con la posibilidad de crear mapas. (*Google Earth - Wikipedia, la enciclopedia libre, 2021*)
- **Google Maps:** Servidor de aplicaciones de mapas en la web que pertenece a Alphabet Inc. Ofrece imágenes de mapas desplazables, así como fotografías por satélite del mundo. (*Google Maps - Wikipedia, la enciclopedia libre, 2022*)
- **Cliente:** Persona o entidad que compra los bienes y servicios que ofrece una empresa. La palabra cliente también puede ser utilizada como sinónimo de comprador.



- **Inversionista:** Es la persona que adquiere títulos o invierte su dinero en algún proyecto para obtener ganancias. (*Profesionales de Bolsa - V 4.0 Comisionista de Bolsa*, 2019).
- **Potencia (W):** Es un parámetro que indica la cantidad de energía eléctrica transferida de una fuente generadora a un elemento consumidor por unidad de tiempo. (*¿Qué es la potencia? (artículo) | Khan Academy*, 2020)
- **Calibre del cable:** Es una referencia de clasificación de calibres o espesor de elementos metálicos de sección circular o rectangular. Varía según las características de los aparatos eléctricos que van a hacer conectados.
- **Corriente alterna (CA):** Es aquel tipo de corriente eléctrica que se caracteriza porque la magnitud y la dirección presentan una variación de tipo cíclico.
- **Corriente directa (CD):** Es un tipo de corriente eléctrica muy importante en la energía solar donde el sentido de circulación del flujo de cargas eléctricas (electrones) no varía. (*Diferencia entre corriente alterna y corriente directa - Diferenciador*, 2018)
- **Trayectoria eléctrica:** Se refiere al flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial, que no cambia de sentido con el tiempo. (*¿Qué es un Circuito Eléctrico? Definición y Tipos Guía* 2022)
- **Orientación:** El sistema siempre debe estar orientado con dirección al Ecuador, en el caso de encontrarse en México la orientación debe ser hacia el Sur. (*Definición de orientación - Qué es, Significado y Concepto*, 2019)
- **Inclinación (Grados):** La inclinación de los paneles solares nos indica su posición con respecto al suelo, o plano horizontal. En México se considera una inclinación de 10°. (*Definición de inclinación - Qué es, Significado y Concepto*, 2019)
- **Estructura coplanar:** Es un sistema de colocación de paneles solares. Su principal característica es que aprovecha la inclinación del lugar donde se va



a realizar la instalación de la estructura. (*Estructura coplanar: Qué es, características, precio y más, 2022*)

- **Horas Solares Pico (HSP):** Es la cantidad de horas que se puede generar 1000 Watts en un metro cuadrado. (*¿Qué es la Hora Solar Pico (HSP), para qué sirve y cómo calcularlo? - Efimarket*)
- **Resistencia (Ohms):** Es una medida de la oposición al flujo de corriente en un circuito eléctrico ( $\Omega$ ) (*¿Qué es la resistencia? | Fluke, 2021*)
- **Inversor:** Es un dispositivo electrónico cuya función es cambiar el voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje de salida de corriente alterna. Es decir, transforma los 12v o 24v de la corriente de una batería (corriente continua) a 220v (corriente alterna) como la que tenemos en una vivienda. (Riello Elettronica Group, 2019)
- **Performance Ratio:** Es una magnitud, independiente del lugar de ubicación y de la calidad de una instalación fotovoltaica y, por ello, constituye a menudo también un factor de calidad. (*Performance Ratio of Solar Power Plant - Definition, Glossary, Details - Solar Mango - Solar Mango – #1 guide for solar, 2019*)
- **Capacidad del sistema:** Especifica la capacidad de un Sistema Fotovoltaico para genera energía en su punto de máximo rendimiento
- **KWP:** Es la unidad de medida usada para comparar el rendimiento de los distintos sistemas de energía solar fotovoltaica.
- **Factor de degradación:** Se define como cualquier cambio o alteración que se percibe como perjudicial o indeseable.
- **Tarifa:** Es el tipo de tarifa correspondiente al servicio. Las tarifas pueden revisarse desde la página de CFE, ya sea para negocio o para el hogar (<https://www.cfe.mx/negocio/tarifas/pages/default.aspx> y <https://www.cfe.mx/hogar/tarifas/pages/esquema-tarifario-vigente.aspx>) (*▷Recibo CFE 2021: Descubre como entender tu factura de luz.*)

## 7.2 ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Irradiación normal directa, México .....	4
Fig. 2 Irradiación Normal Directa. Elaboración propia .....	5
Fig. 3 Salida de potencia fotovoltaica específica.....	6
Fig. 4 Capacidad y Generación en Centrales Solares 2018 (MW, GW) .....	7
Fig. 5 Espectro electromagnético de la radiación solar.....	13
Fig. 6 Sistema Fotovoltaico básico .....	14
Fig. 7 Sistema de bloque de un SFVI.....	15
Fig. 8 Configuración típica de un SFVI.....	16
Fig. 9 Cargas eléctricas en un panel solar.....	18
Fig. 10 Aplicación de SFVI en zona residencial.....	20
Fig. 11 Aplicación de SFVI en zonas comerciales .....	21
Fig. 12 Impacto de la generación fotovoltaica sobre el patrón de demanda eléctrica .....	22
Fig. 13 Beneficios de la energía solar .....	24
Fig. 14 Página de Inicio, PVSYST.....	25
Fig. 15 Página de Inicio, Power Data Access Viewer .....	26
Fig. 16 Diagrama de flujo del proceso .....	28
Fig. 17 Recurso solar en México .....	29
Fig. 18. Recurso solar en Nuevo León y el Estado de México.....	30
Fig. 19 Ubicación del municipio de Chicoloapan .....	31
Fig. 20 Coordenadas geográficas, Bonito EL Manzano .....	32
Fig. 21 Dimensiones del terreno.....	32
Fig. 22 Delimitación del terreno en Google Earth.....	33
Fig. 23 Ubicación del municipio de Monterrey .....	34
Fig. 24 Coordenadas geográficas, San Bemabé.....	35
Fig. 25 Dimensiones del terreno.....	35
Fig. 26 Delimitación del terreno .....	35
Fig. 27 Ejemplo de datos personales en un recibo de CFE.....	36
Fig. 28 Ejemplo de recibo de CFE, consumos realizados.....	37



Fig. 29 Ejemplo de recibo de CFE, costos de la energía eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista.....	37
Fig. 30 Ejemplo de recibo de CFE, desglose del importe a pagar .....	38
Fig. 31 Ejemplo de recibo de CFE, talón de caja .....	38
Fig. 32 Ejemplo de recibo de CFE, periodos de facturación .....	39
Fig. 33 Tabla de consumo total por periodos .....	39
Fig. 34 Ejemplo de recibo de CFE, consumo histórico.....	40
Fig. 35 Ejemplo de recibo de CFE, datos de facturación .....	40
Fig. 36 Ejemplo de análisis de generación, datos de entrada .....	41
Fig. 37 Ejemplo de tabla de resumen de sitio .....	42
Fig. 38 Página de la NASA.....	43
Fig. 39 Página de la NASA, ventana "Application Widgets" .....	44
Fig. 40 Página de la NASA, POWER Single Point Data Access .....	45
Fig. 41 Página de la NASA, Choose a user community .....	45
Fig. 42 Página de la NASA, Choose a temporal average .....	45
Fig. 43 Página de la NASA, Enter Lat/long or add a point to map .....	46
Fig. 44 Página de la NASA, Select time extent.....	46
Fig. 45 Página de la NASA, Select output file format.....	47
Fig. 46 Página de la NASA, Select Parameters .....	47
Fig. 47 Página de la NASA, Submit and process .....	47
Fig. 48 Página de la NASA, POWER Single Point Data Access .....	48
Fig. 49 Página de la NASA, Datos generados en la página. ....	48
Fig. 50 Número promedio de electrodomésticos por hogar en México (1995 y 2010) .....	50
Fig. 51 HSP en Chicoloapan.....	51
Fig. 52 HSP en Bonito El Manzano, valor menor .....	52
Fig. 53 Dimensionamiento normal, consumo total .....	53
Fig. 54 Dimensionamiento normal, HSP .....	53
Fig. 55 Dimensionamiento normal, potencia MFV a instalar .....	54
Fig. 56 Dimensionamiento normal, potencia de inversor .....	55



Fig. 57 Dimensionamiento normal, potencia del transformador.....	56
Fig. 58 Dimensionamiento normal, factor de potencia deseado .....	56
Fig. 59 Dimensionamiento al 5%.....	57
Fig. 60 Resumen de sitio, primera parte .....	58
Fig. 61 Resumen de sitio, segunda parte .....	59
Fig. 62 Parámetros de entrada, Chicoloapan.....	60
Fig. 63 HSP en la Calculadora Solar.....	60
Fig. 64 HSP en Chicoloapan, Calculadora Solar.....	61
Fig. 65 Resistencia R1, Calculadora Solar.....	61
Fig. 66 Datos de calibre de cable, Calculadora Solar.....	61
Fig. 67 Potencia del cable R1, Calculadora Solar .....	62
Fig. 68 Costo anual R1, Calculadora Solar .....	62
Fig. 69 Costo cableado R1, Calculadora solar.....	62
Fig. 70 Número de inversores R1, Calculadora Solar .....	62
Fig. 71 Pérdidas por cableado R1, Calculadora Solar.....	63
Fig. 72 Pérdidas por sombra R1, Calculadora Solar.....	63
Fig. 73 Datos de Paneles Solares, Calculadora Solar.....	64
Fig. 74 Pérdidas por orientación e inclinación R1, Calculadora Solar .....	64
Fig. 75 Datos de porcentaje de pérdidas, Calculadora Solar .....	64
Fig. 76 Pérdida por estructura coplanar R1, Calculadora Solar.....	64
Fig. 77 Pérdidas o ganancia por tipo de panel R1, Calculadora Solar .....	65
Fig. 78 Datos de pérdida por tipo de panel, Calculadora Solar.....	65
Fig. 79 Porcentaje de degradación año 1 R1, Calculadora Solar.....	65
Fig. 80 Suma de pérdidas totales R!, Calculadora Solar .....	65
Fig. 81 Performance ratio Base R1, Calculadora Solar.....	66
Fig. 82 Performance Ratio Final R1, Calculadora Solar.....	66
Fig. 83 Capacidad del Sistema R1, Calculadora Solar.....	66
Fig. 84 Kwp Real del Sistema R1, Calculadora Solar.....	66
Fig. 85 Generación Real, Calculadora Solar.....	66
Fig. 86 Generación de Sistema R1 .....	67



Fig. 87 Degradación del Sistema R1 .....	68
Fig. 88 Inicio de PVSYST .....	68
Fig. 89 PVSYST Ubicación, Chicoloapan .....	69
Fig. 90 PVSYST HSP, Chicoloapan .....	69
Fig. 91 PVSYST Metreo mensual, Chicoloapan .....	70
Fig. 92 PVSYST Datos a introducir, Chicoloapan .....	71
Fig. 93 PVSYST Orientación, Chicoloapan .....	71
Fig. 94 PVSYST Sistema 1, Chicoloapan .....	72
Fig. 95 PVSYST Módulos FV, Chicoloapan .....	72
Fig. 96 PVSYST, Ficha técnica de PS, Chicoloapan .....	73
Fig. 97 PVSYST Inversor, Chicoloapan .....	73
Fig. 98 PVSYST Diseño de conjunto, Chicoloapan .....	74
Fig. 99 PVSYST Resumen sistema global, Chicoloapan .....	74
Fig. 100 PVSYST Esquema simplificado, Chicoloapan .....	75
Fig. 101 PVSYST Sombreados cercanos, Chicoloapan .....	75
Fig. 102 PVSYST Ejecutar simulación, Chicoloapan .....	76
Fig. 103 PVSYST Resumen de resultados, Chicoloapan .....	76
Fig. 104 PVSYST Balances y resultados principales, Chicoloapan .....	77
Fig. 105 Generación del sistema, Comparación, Chicoloapan .....	78
Fig. 106 HSP en San Bernabé .....	79
Fig. 107 HSP en San Bernabé, valor menor .....	80
Fig. 108 Dimensionamiento normal, consumo total .....	81
Fig. 109 Dimensionamiento normal, HSP .....	81
Fig. 110 Dimensionamiento normal, potencia MFV a instalar .....	82
Fig. 111 Dimensionamiento normal, potencia de inversor .....	83
Fig. 112 Dimensionamiento normal, potencia del transformador .....	84
Fig. 113 Dimensionamiento normal, factor de potencia deseado .....	84
Fig. 114 Dimensionamiento al 5% .....	85
Fig. 115 Resumen de sitio, primera parte .....	86
Fig. 116 Resumen de sitio, segunda parte .....	87



Fig. 117 Parámetros de entrada, Monterrey .....	88
Fig. 118 HSP en la Calculadora Solar.....	88
Fig. 119 HSP en Monterrey, Calculadora Solar.....	89
Fig. 120 Resistencia R2, Calculadora Solar.....	89
Fig. 121 Datos de calibre de cable, Calculadora Solar.....	89
Fig. 122 Potencia del cable R2, Calculadora Solar.....	90
Fig. 123 Costo anual R2, Calculadora Solar .....	90
Fig. 124 Costo cableado R1, Calculadora solar .....	90
Fig. 125 Número de inversores R2, Calculadora Solar .....	90
Fig. 126 Pérdidas por cableado R2, Calculadora Solar .....	91
Fig. 127 Pérdidas por sombra R1, Calculadora Solar .....	91
Fig. 128 Datos de Paneles Solares, Calculadora Solar .....	91
Fig. 129 Pérdidas por orientación e inclinación R2, Calculadora Solar.....	91
Fig. 130 Datos de porcentaje de pérdidas, Calculadora Solar .....	92
Fig. 131 Pérdida por estructura coplanar R2, Calculadora Solar .....	92
Fig. 132 Pérdidas o ganancia por tipo de panel R2, Calculadora Solar .....	92
Fig. 133 Datos de pérdida por tipo de panel, Calculadora Solar .....	92
Fig. 134 Porcentaje de degradación año 1 R2, Calculadora Solar.....	92
Fig. 135 Suma de pérdidas totales R2, Calculadora Solar.....	93
Fig. 136 Performance ratio Base R2, Calculadora Solar.....	93
Fig. 137 Performance Ratio Final R2, Calculadora Solar .....	93
Fig. 138 Capacidad del Sistema R2, Calculadora Solar .....	93
Fig. 139 KWp Real del Sistema R2, Calculadora Solar.....	93
Fig. 140 Generación Real, Calculadora Solar.....	94
Fig. 141 Generación de Sistema R2.....	94
Fig. 142 Degradación del Sistema R2.....	95
Fig. 143 Inicio de PVSYST.....	95
Fig. 144 PVSYST Ubicación, Monterrey .....	96
Fig. 145 PVSYST HSP, Monterrey .....	96
Fig. 146 PVSYST Metreo mensual, Monterrey .....	97



Fig. 147 PVSYST Datos a introducir, Monterrey .....	98
Fig. 148 PVSYST Orientación, Monterrey .....	98
Fig. 149 PVSYST Sistema 1, Monterrey .....	99
Fig. 150 PVSYST Módulos FV, Monterrey .....	99
Fig. 151 PVSYST, Ficha técnica de PS, Monterrey .....	100
Fig. 152 PVSYST Inversor, Monterrey .....	100
Fig. 153 PVSYST Diseño de conjunto, Monterrey .....	101
Fig. 154 PVSYST Resumen sistema global, Monterrey .....	101
Fig. 155 PVSYST Esquema simplificado, Monterrey.....	102
Fig. 156 PVSYST Sombreados cercanos, Monterrey.....	102
Fig. 157 PVSYST Ejecutar simulación, Monterrey.....	103
Fig. 158 PVSYST Resumen de resultados, Monterrey .....	103
Fig. 159 PVSYST Balances y resultados principales, Monterrey .....	104
Fig. 160 Generación del sistema, Comparación, Monterrey .....	105
Fig. 161 Dimensionamiento completo, Chicoloapan .....	109
Fig. 162 Dimensionamiento completo, Monterrey .....	110
Fig. 163 Parámetros generales, Chicoloapan.....	111
Fig. 164 Resultados principales, Chicoloapan .....	112
Fig. 165 Balances y resultados principales, Chicoloapan.....	113
Fig. 166 Parámetros generales, Monterrey .....	114
Fig. 167 Resultados principales, Monterrey .....	115
Fig. 168 Balances y resultados principales, Monterrey .....	116
Fig. 169. Comparación de generación, ambas regiones.....	118
Fig. 170 Comparación de generación PVSYS, ambas regiones .....	119



### 7.3 ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Consumo promedio anual, Bonito El Manzano.....	52
Ecuación 2 Potencia SFVI propuesto, Bonito El Manzano.....	54
Ecuación 3 Calibre y longitud del cable.....	61
Ecuación 4 Costo anual por watt perdido, Bonito El Manzano.....	62
Ecuación 5 % de Diferencia, Bonito El Manzano.....	78
Ecuación 6 Consumo promedio anual, San Bernabé.....	80
Ecuación 7 Potencia SFVI propuesto, San Bernabé.....	82
Ecuación 8 Calibre y longitud del cable, San Bernabé.....	89
Ecuación 9 Costo anual por watt perdido, San Bernabé.....	90
Ecuación 10 % de Diferencia, Monterrey.....	105



## 7.4 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. GW instalados por país .....	7
Tabla 2 Consumo de energía por hogar, 2016 .....	50
Tabla 3 Latitud y Longitud en Chicoloapan .....	51
Tabla 4 HSP en Chicoloapan, Hoja de cálculo .....	52
Tabla 5 Tabla de comparación, Chicoloapan .....	77
Tabla 6 Latitud y Longitud en Monterrey .....	79
Tabla 7 HSP en Monterrey, hoja de cálculo .....	80
Tabla 8 Tabla de comparación, Monterrey .....	104
Tabla 9 características principales de ambas regiones.....	108
Tabla 10. Datos obtenidos para ambas regiones en calculadora solar .....	117