



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Iluminación Eficiente y  
Diseño de un Sistema  
Fotovoltaico para un Museo**

**TESINA**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Eléctrico Electrónico**

**P R E S E N T A**

Joaquín Gutiérrez Sosa

**DIRECTORA DE TESINA**

Dra. M. Azucena Escobedo Izquierdo



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



## Agradecimientos

Quiero dedicar esta tesina a mi abuelita (Rosa Gómez) que la quiero mucho y espero tenerla muchos años más conmigo, también a mis papás (Jaime Gutiérrez y Gloria Sosa) porque siempre me han motivado y apoyado para continuar mis estudios, ser una persona de bien, con convicciones claras y con perseverancia para alcanzar mis metas. Sé que no ha sido fácil para ellos y les agradezco que siempre confiaron en mis capacidades para terminar esta etapa de mi vida.

Muchas gracias a mis hermanos (Lucy, Rosy y Jaime) y a mi tía Carmela porque he aprendido mucho de ellos y me han apoyado siempre.

Para Pilar, muchas gracias por apoyarme cuando me sentía presionado, por ser mi compañera de alegrías y tristezas durante todo este tiempo, pero sobre todo muchas gracias por darme tu amor y cariño; me diste esa motivación necesaria para lograr estas metas tan complicadas, siempre estaré agradecido contigo. Te amo.

A lo largo de mi carrera conocí mucha gente, muchos de ellos se convirtieron en mis amigos y casi mi familia en esta ciudad. Mis amigos Isaac, Jorge, Jair, Daniel, Vanesa, Román, Elías, Yair, Samuel, entre otros, que me acompañaron durante toda la universidad, en las clases más difíciles, con los profesores más complicados, durante las tardes y noches de estudio hasta la madrugada; a todos ellos muchas gracias por su apoyo, sus bromas y risas; me hicieron sentir como en casa, voy a extrañar los días de convivencia y ver la Champions; siempre estaré agradecido con ustedes.

Le estoy muy agradecido a Olmo, Pablo y Jaime porque fueron mis primeros roomies y me ayudaron en todo cuando llegué a la ciudad, me dieron consejos útiles, me incluyeron en sus eventos y me llevaron a conocer la ciudad. A Miguel que fue mi roomie en los últimos dos años y lo conozco desde la secundaria también muchas gracias por la buena vibra que trajo al departamento y por convencerme de dejar la tesina a ratos para descansar.

Muchas gracias a todos mis sinodales, gracias por tomarse su tiempo para leer mi trabajo, les agradezco todos los comentarios positivos y negativos de mi trabajo, en especial a la Dra. Azucena que me tuvo mucha paciencia, me resolvió las dudas que tenía, y fue una muy buena profesora en las dos clases que llevé con ella.

Esto es una meta importante en mi vida y le doy gracias a todos por ayudarme a cumplirla, espero seguir por este camino.



## Índice

<b>Objetivos generales.....</b>	<b>1</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo 1.- Antecedentes .....</b>	<b>4</b>
1.1    Energía .....	4
1.1.1    Usos de la energía.....	5
1.2    Energía eléctrica.....	5
1.3    Fuentes de energía eléctrica .....	6
1.3.1    No renovables.....	7
1.3.2    Renovables .....	7
1.4    Ahorro y eficiencia energética.....	9
1.4.1    Historia de la eficiencia energética.....	10
1.4.2    Actualidad de eficiencia energética en el mundo .....	10
1.4.3    Eficiencia energética en México .....	12
1.5    Energía solar fotovoltaica.....	16
<b>Capítulo 2.- Principios de iluminación interior .....</b>	<b>18</b>
2.1    Conceptos básicos de iluminación.....	18
2.2    Principales tecnologías para iluminación interior .....	21
2.3    Balastos .....	26
<b>Capítulo 3.- Diagnóstico energético .....</b>	<b>28</b>
3.1    Etapas básicas de un diagnóstico energético .....	28
3.1.1    Análisis de factura eléctrica.....	29
3.1.2    Levantamiento o censo de cargas eléctricas .....	30
3.1.3    Análisis de medición eléctrica.....	30
3.2    Niveles de diagnósticos energéticos .....	31
3.3    Instituciones que utilizan diagnósticos energéticos.....	31
<b>Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos .....</b>	<b>33</b>
4.1    Solarimetría .....	34
4.1.1    Radiación e irradiancia .....	34



## Índice

4.1.2	Geometría fotovoltaica .....	36
4.1.3	Horas Pico Solar (HPS) .....	37
4.2	Pérdidas en un sistema fotovoltaico .....	38
4.3	Sistema interconectado a la red .....	39
4.4	Sistema autónomo .....	40
<b>Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio .....</b>		<b>42</b>
5.1	Universum museo de las ciencias de la UNAM .....	42
5.2	Análisis de medición .....	44
5.3	Resultados del levantamiento de cargas de iluminación .....	46
5.4	Densidad de potencia eléctrica en alumbrado (DPEA) .....	50
5.5	Resultados finales de análisis .....	51
5.5.1	Transición de luminarias de 2015 a 2016 .....	51
5.5.2	Transición de luminarias de 2016 a 2017 .....	53
<b>Capítulo 6.- Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red.....</b>		<b>55</b>
6.1	Potencial energético en el sitio de la instalación .....	55
6.2	Propuesta de la planta.....	56
6.2.1	Elección de paneles solares .....	58
6.2.2	Cálculo y elección del inversor .....	60
6.2.3	Cálculo de módulos en serie y en paralelo .....	61
6.2.4	Estructuras de soporte .....	62
6.2.5	Conductores y canalización a utilizar.....	62
6.3	Configuración final de la planta .....	65
6.4	Cálculo de generación de la planta.....	67
6.4.1	Evaluación energética propia .....	68
6.4.2	Simulación energética del programa "RETScreen Expert" .....	69
6.5	Costos de inversión y mantenimiento de la planta .....	73
6.6	Resultado económico de la operación .....	74
6.6.1	Costo medio ponderado.....	75
6.6.2	Desglose de energía, costos y ganancias .....	75
6.7	Indicadores económicos de la instalación FV .....	76
<b>Conclusiones .....</b>		<b>78</b>
<b>Anexo 1.- Valores máximos de DPEA permitidos por la NOM-007-ENER-2014 .....</b>		<b>79</b>



## Índice

---

Anexo 2.- Medidas del techo del museo "Universum" .....	82
Anexo 3.- Datasheet del panel solar "Canadian Solar 255W" .....	84
Anexo 4.- Datasheet del inversor "SMA Sunny Tripower CORE1 STP50-US-40" .....	87
Anexo 5.- Especificaciones del sistema SunRail de PVaccessories .....	88
Anexo 6.- Calculo desglosado de generación anual .....	89
Anexo 7.- Link de precios de productos a utilizar .....	90
Anexo 8.- Desglose de energía, costos y ganancias .....	91
Anexo 9.- Flujo económico del Sistema Fotovoltaico .....	92
Fuentes.....	93



## Objetivos

---

### Objetivos generales

Analizar los resultados de las mediciones de consumo y demanda eléctrica de los últimos 3 años del museo "Universum" para evaluar los resultados de las medidas de eficiencia energética que se han tomado dentro del mismo.

Adicionalmente, con los datos de consumo se calculará un sistema fotovoltaico interconectado a la red utilizando el techo de museo como área de instalación para autoabastecimiento de energía eléctrica.

### Objetivos específicos

- Determinar por medio de un levantamiento de cargas el impacto por concepto de iluminación al consumo y la potencia eléctrica instalada total del museo para orientar futuras medidas de ahorro energético en este tipo de recintos.
- Analizar la posible rentabilidad económica del proyecto de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para una posible inversión.



## Introducción

---

### Introducción

La historia de la energía es una historia de contrastes a lo largo de los años, ha habido guerras por fuentes de energía y ha habido avances tecnológicos muy importantes para el desarrollo humano gracias a la energía. Esta ha sido necesitada por el ser humano para diversas actividades, desde la energía calorífica para cocción de alimentos hasta energía química propia de los cuerpos para realizar sus actividades diarias; esto vuelve a la energía un factor primordial en la subsistencia de las especies y de ahí que se derive la necesidad de transformarla en formas más útiles y fáciles de manejar.

La energía es a su vez un sinónimo de progreso, una nación con grandes fuentes de energía y que la sabe aprovechar correctamente es una nación estable económicamente, de ahí que se derive la gran importancia que se le da a este tema entre las naciones hoy en día. Cuando un tema se mete con la economía y el bienestar de los habitantes se vuelve un tema primordial en el día a día de las personas. Eso mismo fue lo que pasó con la energía a partir de las crisis petroleras que hubo en los años 70's. El petróleo es y ha sido la fuente principal de energía desde finales del siglo XIX con la invención del motor de combustión interna, se usa principalmente para producir gasolina y para la fabricación de diversos productos que consumimos actualmente como plásticos, asfalto entre muchos otros.

En la primera crisis petrolera durante el año de 1973 hubo una inflación económica que afectó al mundo entero. Para 1979 se presentó la segunda crisis petrolera y esto fue el detonante de conflictos internacionales entre países, el precio del barril subió a 39 USD y fue entonces cuando los países comenzaron a tomar cartas en el asunto.

Después de las crisis petroleras se le dio más importancia al desarrollo de otros combustibles y otras tecnologías para la generación de electricidad, además de que se comenzó a invertir seriamente en el desarrollo de tecnología más eficiente y se desarrollaron programas de ahorro y uso eficiente de la energía; para este entonces la tecnología de generación renovable aún no era un asunto que interesara en gran medida a los países porque les resultaba muy costoso y poco rentable invertir en eso.

Durante la década de los 90's fue cuando descubrió el peligro de los gases de efecto invernadero sobre la capa de ozono de nuestro planeta y entonces se volvió necesario priorizar el tema del calentamiento global, tomar medidas en cuestión de eficiencia energética y de generación por tecnología más eficiente y renovable.



## Introducción

---

Desde entonces se han creado estrategias y protocolos entre los países para la disminución de gases de efecto invernadero, esto provoca que cada vez se use menos el carbón y los combustibles fósiles en general para la producción de energía eléctrica.

En la actualidad se invierte más en investigación para aumentar la eficiencia de los equipos de energía renovable de lo que se hacía hace 30 años y así disminuye su costo, además de que en los gobiernos se crean incentivos para fomentar el uso de la tecnología renovable; pero como todo, hay países más desarrollados que otros en estos aspectos, si bien hoy en día se sigue dependiendo en su mayoría de los combustibles fósiles sobre todo en energía primaria, en cuestión de generación eléctrica las tasas de crecimiento de uso de energías renovables son prometedoras y mientras siga mejorando la eficiencia seguirán en valores altos estas tasas.

Toda persona debería estar enterada de estos problemas que acontecen en el planeta y no solo eso, también poner de su parte para encontrar la solución ya que a todos nos afecta. Lo que se pretende con este documento es colaborar de algún modo a la resolución de este problema con una investigación dedicada a la eficiencia energética y una energía renovable la cual ha mejorado y se ha vuelto cada vez más importante para el mundo, hablo de la energía solar fotovoltaica.

En este documento se analizará un caso real en específico donde se han aplicado medidas de eficiencia energética dentro de un museo, se analizarán los resultados en cuanto a ahorro en consumo eléctrico y se diseñará un sistema de generación fotovoltaica el cual servirá para abastecer el consumo del mismo caso. Esto nos permitirá evaluar la rentabilidad de un proyecto completo de generación y uso eficiente de la energía.

Este proyecto integra aspectos importantes de energía eléctrica como lo son la eficiencia y la generación renovable. Lo que se intenta con el proyecto es evaluar la disminución en el consumo de un museo y después satisfacer ese consumo con una fuente de energía renovable como es la solar fotovoltaica.

Para la elaboración del documento se realizó un levantamiento de cargas de iluminación el cual consiste en la visita al museo y el registro de las características eléctricas de las cargas de iluminación que ahí se encuentran, además de entrevistar a los usuarios para obtener un estimado de las horas de uso de los equipos y así obtener su consumo. Una vez obtenidos estos datos se vacían a una base de datos y se obtendrán estadísticas y parámetros que nos permitan conocer la evolución del consumo por iluminación a través de los años.

Una vez que se tengan los datos de consumo se pretende diseñar un sistema fotovoltaico de generación eléctrica que utilice solo el espacio del techo del museo y que tenga la capacidad de satisfacer la demanda existente para así completar el proyecto de eficiencia y generación renovable de energía eléctrica.





## Capítulo 1.- Antecedentes

---

### Capítulo 1.- Antecedentes

En este capítulo se encontrará brevemente la historia de la energía describiendo como ha sido indispensable para el desarrollo de cualquier sociedad. Posteriormente el documento se enfocará en conceptos como energía eléctrica y energías renovables, hablando sobre todo de los diferentes métodos de generación de energía eléctrica que se usan actualmente. Para el caso de estudio se dará énfasis en la generación de energía eléctrica por Sistemas fotovoltaicos ya que ha sido una de las tecnologías de generación que más se ha desarrollado en la última década.

También se hablará de la importancia e historia de la eficiencia energética en el mundo y como se han desarrollado programas a nivel nacional y a nivel universitario, además del impacto que han tenido en el medio ambiente y en la economía de cada ámbito mencionado.

#### 1.1 Energía

La energía es un recurso natural propio de cada cuerpo, todo en el universo está formado por átomos y los átomos almacenan energía. Puede definirse simplemente como la capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo o puede tener una definición más rebuscada, esta participa en los procesos e interacciones existentes en la naturaleza y es un aspecto fundamental para definir el nivel de desarrollo de una economía.

La energía no es algo propiamente visible pero se manifiesta de diferentes formas las cuales pueden ser percibidas por un ser humano, se puede manifestar en forma de calor, luz, movimiento, eléctrica, química, nuclear o gravitacional. (*U.S. Energy Information Administration, What is energy?*)

Esta se divide a grandes rasgos en energía primaria y secundaria.

La energía primaria se obtiene directamente de la naturaleza y no requiere un proceso previo más que su extracción, entre los ejemplos tenemos la solar, hidráulica, eólica, geotérmica, biomasa, petróleo y gas natural. Esta energía se procesa en algunos casos para así producir energía secundaria.

La energía secundaria proviene de la transformación de energía primaria y es dirigida a consumo final, los ejemplos de esta energía son la gasolina, electricidad, diesel y más. Aquí se encuentra la energía que se tratará este documento, la energía eléctrica.

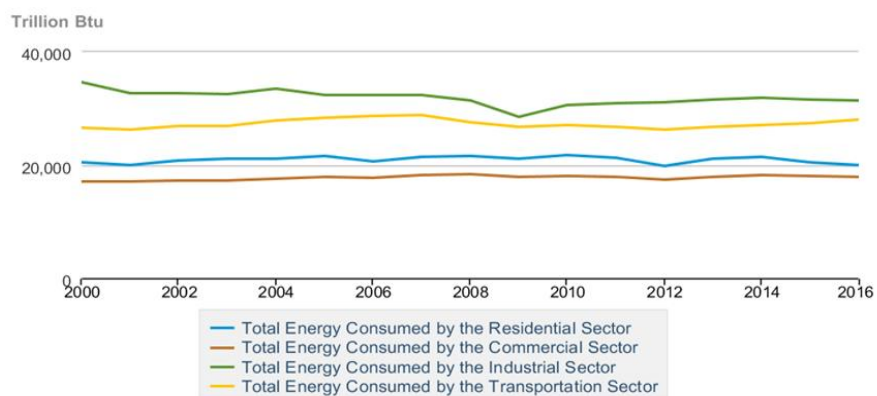


## Capítulo 1.- Antecedentes

### 1.1.1 Usos de la energía

Para los usos finales de la energía se podría dedicar un estudio completo ya que es variado y se necesita para prácticamente todo, en la gráfica 1.1 se puede observar cómo ha ido progresando el consumo de energía por sectores desde el año 2000 hasta el 2016, se observa que se han mantenido las posiciones a lo largo de 16 años y la tendencia indica que seguirá así.

En la gráfica 1.1 lo que se quiere observar es el orden de importancia en cuanto a consumo de energía primaria; el sector que más energía consume a nivel mundial es el industrial, seguido por el transporte, después se tiene al sector residencial, luego al sector comercial y por último al sector de agricultura quien no ha tenido gran progreso. Cabe mencionar que esos datos son de energía total consumida, no solo de energía eléctrica.



Source: U.S. Energy Information Administration

Gráfica 1.1) Usos finales de energía por sector a nivel mundial

Fuente: U.S. Energy Information Administration

## 1.2 Energía eléctrica

Cómo se vio anteriormente la energía eléctrica se encuentra dentro del grupo de energía secundaria y es el tipo de energía que se analizará en este documento. Este concepto básicamente se define como el flujo de electrones (o cargas eléctricas) de un punto a otro y su obtención es por medio del principio de inducción electromagnética.



## Capítulo 1.- Antecedentes

---

Para obtenerla se requiere de un proceso previo el cual consiste en el aprovechamiento de la energía que contienen los recursos naturales, esta energía la pueden contener por su propia composición química como es el caso de los hidrocarburos o la energía puede ser percibida por medio del movimiento o fuerza como el caso del agua y viento. Dependiendo del recurso natural del cual se obtiene la energía eléctrica, esta se divide en renovable y no renovable.

### 1.3 Fuentes de energía eléctrica

En este mundo tan sobrepoblado, con tanta demanda energética y el crecimiento exponencial que se tiene presupuestado para los próximos años en cuestión de población se necesitan diversas y grandes fuentes para la obtención de la cantidad de energía necesaria.

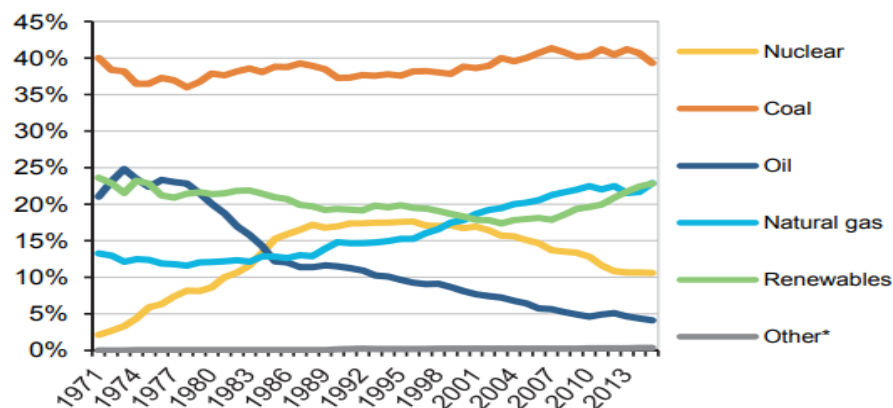
Entonces se tiene una situación particular la cual es un problema muy serio: La demanda aumenta a grandes pasos y los combustibles que se utilizan para obtener la energía son limitados y se ha demostrado que la quema de estos emite gases contaminantes de efecto invernadero los cuales dañan la capa de ozono y alteran las condiciones climáticas del planeta.

Para todo gran problema una gran solución, desde la segunda mitad del siglo pasado se ha invertido tiempo y dinero en desarrollar tecnología cada vez más eficiente para la obtención de energía a partir de los recursos naturales ilimitados, por supuesto que tienen sus ventajas y desventajas.

En la actualidad el balance energético se reparte en energías renovables y no renovables, predominando las segundas por mucho margen. Se ve claramente en la gráfica 1.2 que la producción sigue dominada por el carbón gracias en gran parte a la generación en países como China o la India. En los últimos años el uso de gas natural para la generación de energía eléctrica ha aumentado hasta igualarse con las energías renovables.



## Capítulo 1.- Antecedentes



\* Other includes non renewable waste and non renewable heat.

Gráfica 1.2) Generación de energía eléctrica a nivel mundial por energético de 1971 a 2013

Fuente: World Energy Balance 2017 Overview, International Energy Agency (pag. 6)

Entonces en el panorama actual se tienen dos grandes grupos para satisfacer la demanda de energía, la generación por recursos renovables y no renovables.

### 1.3.1 No renovables

Este tipo de energía eléctrica es la que se obtiene a partir de la quema de combustibles que no son regenerados fácilmente, incluso tardan miles de años en formarse nuevamente y las cantidades que existen disponibles son cada vez menos. En este grupo se encuentran combustibles como petróleo, carbón, gas natural y uranio. La ventaja de esta generación es que el combustible puede ser transportado hasta el lugar donde se necesita generar la electricidad y en el momento del día que sea necesario, no depende de las condiciones geográficas o climáticas para generar. Se dice que es energía despachable.

En la actualidad la generación de electricidad está basada en estos combustibles ya que continua siendo más barato y se tienen aún recursos para obtenerlos de la naturaleza.

### 1.3.2 Renovables

Este tipo de energía eléctrica es la que se produce por medio de recursos naturales los cuales se pueden regenerar fácilmente o se tienen de manera ilimitada en el planeta, con la mayoría de ellos

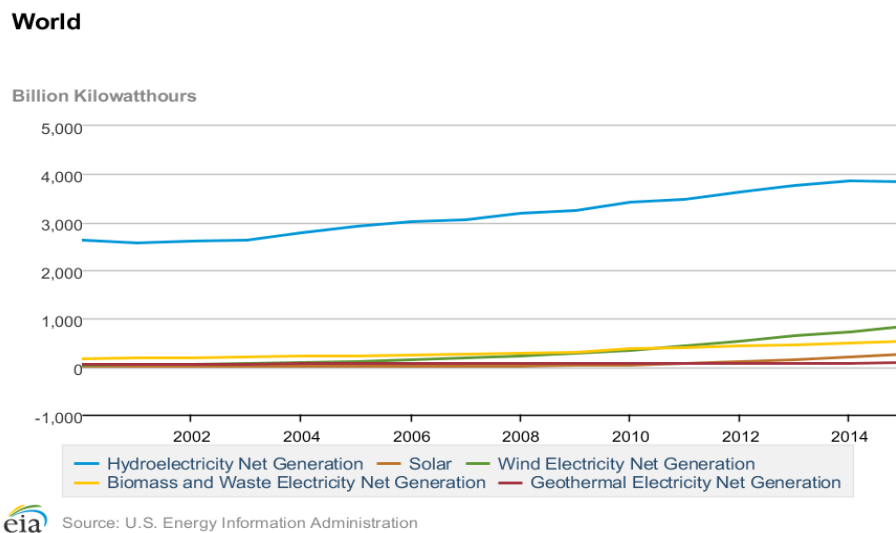


## Capítulo 1.- Antecedentes

convivimos diariamente. Es más complicado aprovechar esta energía para generación eléctrica debido a que no siempre están disponibles y dependen de la ubicación geográfica o las condiciones climáticas, se dice que esta energía es no despachable. Los mejores exponentes de esta energía son la hidráulica, eólica, solar, geotérmica y biomasa.

El panorama mundial de energías renovables actualmente se puede observar en la gráfica 1.3 ya que nos muestra como la tasa de crecimiento de estas energías en los últimos años es alta y se espera que continúe así para los próximos años, la tendencia se observa claramente favorable para muchas de estas tecnologías como eólica (verde), solar (café) y biomasa (amarillo).

La energía renovable más utilizada por mucho y desde hace mucho tiempo es la hidráulica, pero claramente se observa cómo se despega la generación por las demás energías renovables a partir del año 2005 y su tasa de crecimiento en estos primeros años es muy alentadora, en unos años se espera que alcancen un papel importante en la matriz energética mundial. Todo dependerá del desarrollo que se presente en investigación de almacenamiento de energía y mayor eficiencia en la tecnología de generación.

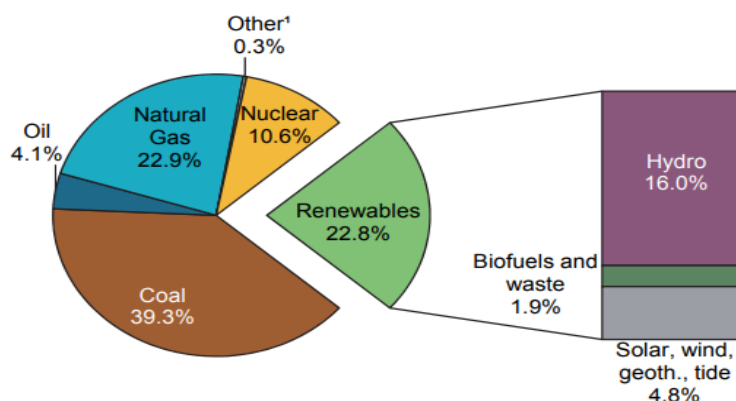


Gráfica 1.3) Energías renovables del 2000 al 2015

Fuente: U.S. Energy Information Administration

En datos del 2015 se puede observar el dominio de la generación de energía eléctrica por hidroeléctricas (ver gráfica 1.4), pero existen factores en contra como el hecho de que las grandes masas de agua se han explotado ya en gran parte del mundo y las dificultades sociales que se presentan en la construcción de estas centrales.

## Capítulo 1.- Antecedentes



1. Other includes electricity from non-renewable wastes and other sources not included elsewhere such as fuel cells and chemical heat, etc.  
Note: Totals in graphs might not add up due to rounding.

Gráfica 1.4) Matriz energética de producción de electricidad en 2015

Fuente: Renewables Information 2017 Overview, International Energy Agency (pag. 5)

### 1.4 Ahorro y eficiencia energética

Cuando la población aumenta en un determinado lugar es normal que la demanda de energía aumente proporcionalmente ya que cada vez más gente usa la misma tecnología, partiendo de la base en que todos los recursos energéticos son finitos y la cantidad de superficie accesible sobre el planeta también es finita, entonces llega un punto donde los recursos energéticos no dan para más, la demanda supera a la oferta de energía.

En este punto se tienen dos opciones, la primera es disminuir la tasa de natalidad en el mundo para que la demanda de energía no supere a la oferta de la misma; la otra opción es aumentar la eficiencia de la tecnología, es decir que con menos recursos energéticos se logren satisfacer las mismas demandas de trabajo.

En el mundo se han tomado medidas para las dos opciones, por un lado se han inventado varios métodos anticonceptivos y por el otro se ha aumentado la eficiencia de la tecnología. Este aspecto va más allá de usar energías limpias o no, se trata de disminuir el consumo a través de medidas de ahorro y hacer tecnología que aproveche mucho mejor la energía y tenga menos pérdidas, en pocas palabras que consuma menos para lograr un mismo resultado.



## Capítulo 1.- Antecedentes

---

### 1.4.1 Historia de la eficiencia energética

Cuando un tema comienza a afectar negativamente la economía nacional es cuando de verdad se toma en serio y se plantean medidas para mejorar en ese aspecto y por su puesto disminuir esas pérdidas, la eficiencia energética no es la excepción. Durante las guerras un país necesita recursos de todo tipo y el país que utiliza de mejor manera sus recursos termina por ganar, este es un principio básico de la supervivencia humana y lo seguirá siendo hasta que dejemos de existir, y curiosamente es prácticamente la definición de la eficiencia energética.

Entonces se puede decir que medidas de eficiencia energética fueron y son utilizadas durante las guerras y las crisis económicas en el mundo. Sin embargo, la gestión de la energía como una disciplina separada comenzó a tomar forma y evolucionar después de la primera crisis petrolera en 1973 y se tomó muy en serio a partir de la segunda crisis petrolera en 1979 cuando los precios del petróleo subieron dramáticamente, en una economía basada casi totalmente en el petróleo el alza en los precios de este resultaban dolorosos para los bolsillos de los países e incluso causaron conflictos internacionales (muchos de ellos aún no resueltos).

La década de los 80's vio el desarrollo de la gestión de la energía, gracias a la implementación de los ordenadores, surgieron el monitoreo y la focalización. Durante esta etapa apareció el mercado de la "consultoría energética" en el mundo y se crearon programas en cada país para reducir la cantidad de energía que se desperdiciaba o que era innecesaria de consumir.

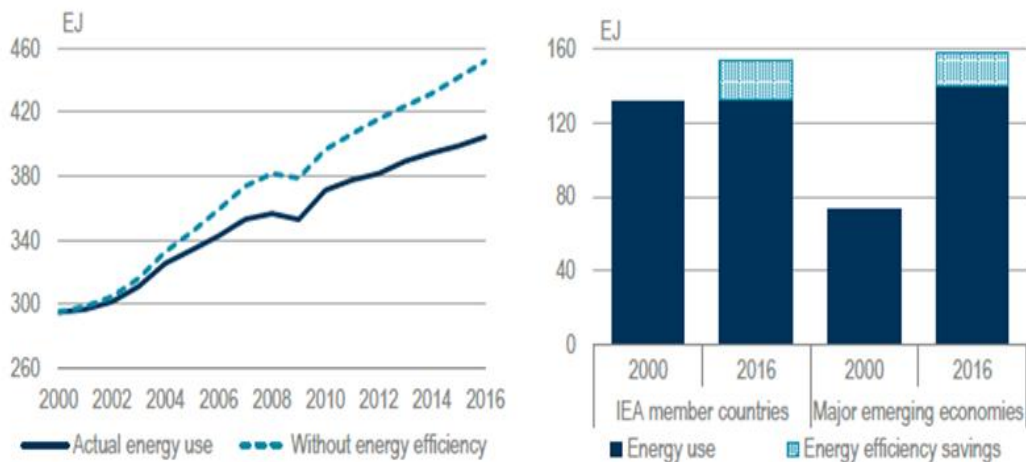
Para inicios de la década de los 90's el mundo se comenzó a dar cuenta que debía reducir el uso del carbón y combustibles fósiles en general, además de que comenzaron a surgir términos como "Huellas de carbono", "Calentamiento global" y "Cambio climático".

### 1.4.2 Actualidad de eficiencia energética en el mundo

La cantidad de energía que se ahorra se mide a través de suposiciones, es decir, se puede medir la energía que se utiliza mediante sistemas de medición, pero no existe un sistema de medición el cual te diga cuanta energía consume una tecnología que no se está utilizando ya. Entonces lo que se hace es por medio de cálculos y estadísticas suponer la cantidad de energía que se utilizaría si se usara la tecnología anterior, luego se comparan la medición con la nueva tecnología y la suposición que se hizo de lo que gastaría la otra tecnología. Con base en esto se obtienen ciertos parámetros de eficiencia.

En la gráfica 1.5 se observa del lado izquierdo el consumo estimado de energía que se tendría si no se tuvieran mejoras en la eficiencia de ciertos equipos (línea punteada) y la evolución del consumo actual (línea continua), del lado derecho se encuentra dividido en grupos de países.

## Capítulo 1.- Antecedentes

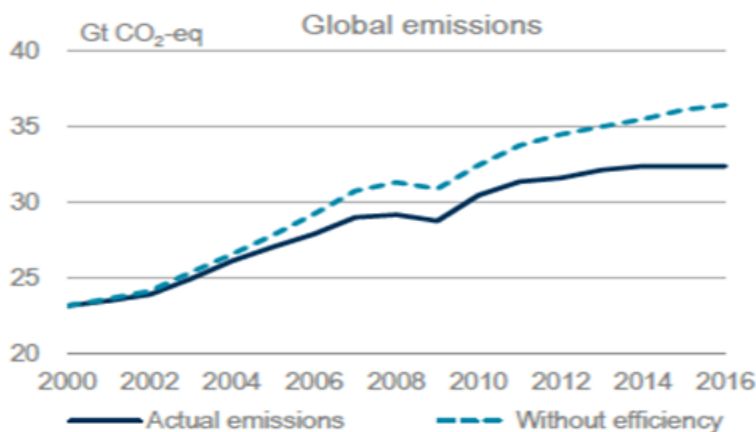


Gráfica 1.5) Uso de la energía con y sin los ahorros por eficiencia energética

Fuente: Energy Efficiency 2017, International Energy Agency (pag. 21)

Un aspecto muy importante de la eficiencia energética es que de verdad se tiene un uso menor de la cantidad de energía (independientemente de la tecnología que se use para generarla) lo que implica que se deja de producir cierta cantidad de energía y así se reduce la cantidad de emisiones de GEI.

En la gráfica 1.6 observamos la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas con el aumento en la eficiencia de algunos equipos.



Gráfica 1.6) Gases de Efecto Invernadero evitados con los ahorros de eficiencia energética

Fuente: Energy Efficiency 2017, International Energy Agency (pag. 27)





## Capítulo 1.- Antecedentes

---

Lo que esto implica además de la reducción de emisiones es que para la economía de un país que dependa de importaciones de energía se reducen los costos ya que es menos la energía que se necesita importar.

### 1.4.3 Eficiencia energética en México

Desde 1980 se dan en nuestro país los primeros esfuerzos para promover el ahorro de energía por parte de CFE con la creación del Programa Nacional para el Uso Racional de la Energía Eléctrica (PRONURRE). Este programa tenía como propósito difundir información en torno al ahorro de energía y las alternativas energéticas para diferentes usuarios. En ese mismo año aparece la maestría en Eficiencia Energética en el país.

Para 1989 el PRONURRE se convierte en el Programa de Ahorro del Sector Eléctrico (PAESE) el cual opera hasta la fecha y tiene como propósito el uso más eficiente de la energía en instalaciones de CFE. En ese mismo año la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP)<sup>1</sup> pone en marcha una serie de acciones que dan como resultado la creación de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), esta se crea como una comisión intersecretarial, cuyo objetivo era cumplir como órgano técnico de consulta en material de ahorro y uso eficiente de la energía. El acuerdo de creación establecía que la CONAE concebir, promover, coordinar y concretar acciones sobre ahorro y uso eficiente y racional de la energía; preparar, coordinar y evaluar programas nacionales de ahorro de energía.

En 1990 la CFE, con el fin de apoyar el financiamiento de PAESE, promueve la creación del Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE). En ese mismo año crea también el Fideicomiso para el Aislamiento Térmico de la Vivienda (FIPATERM) con objeto de financiar en un principio el aislamiento térmico de viviendas en la ciudad de Mexicali B.C.

En 1995 la CONAE expide las primeras normas oficiales, entre ellas la NOM-007-ENER-1995 "Eficiencia energética para Sistemas de alumbrado en edificios no residenciales". No obstante lo anterior queda a cargo de la SENER como autoridad, la facultad de vigilancia y certificación del cumplimiento de dichas NOM.

Para el primer domingo de abril de 1996 inicia en México el Horario de Verano, medida que continua actualmente y que consiste en adelantar una hora el reloj para que el periodo punta de consumo energético sea menos marcado y se utilice menos la generación por plantas de emergencia las cuales son muy costosas.

---

<sup>1</sup> Hoy en día es la Secretaría de Energía (SENER)



## Capítulo 1.- Antecedentes

---

Para 1999 se expidió un decreto presidencial por el cual se crea la CONAE como órgano desconcentrado de la SENER. La nueva CONAE goza de autonomía técnica y operativa y tiene como objeto fungir como órgano técnico de consulta de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal (APF).

En el año 2005 se publica la "Convocatoria y Bases para el Premio de Ahorro de Energía en Inmuebles de la Administración Pública Federal" lo que da un incentivo extra al ahorro de energía para las instituciones.

Más adelante en 2007 se publica el Plan Nacional de Desarrollo donde en el eje 2 relativo a "Economía competitiva y generadora de empleos" dentro de la sección correspondiente al 2sector Eléctrico" en el rubro de "Energías Renovables y Eficiencia Energética" contempla estrategias para promover e intensificar los programas de ahorro de energía.

El Programa Sectorial de Energía (PROSENER) se publicó en el DOF el 21 de febrero de 2008, establece como uno de sus objetivos principales "Promover el uso y producción eficiente de la energía". En ese mismo año se publica la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE), este nuevo ordenamiento tiene por objeto "Propiciar el aprovechamiento sustentable de la energía mediante el uso óptimo de la misma en todos los procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo". Para ello la LASE ordena a la SENER la elaboración del Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE). La LASE crea la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) como un órgano administrativo desconcentrado de la SENER y le otorga facultades que lo convierten en un autoridad, no solo con capacidad de expedir normas administrativas en la materia, sino para verificar y sancionar su incumplimiento.

La Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética (LAERFITE) es publicada el mismo día que la LASE y su función es regular el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable y las tecnologías limpias para generar electricidad y financiar la transición energética. También se vuelve un mecanismo para impulsar proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energías renovables y las tecnologías limpias, así como la reducción de la dependencia de México en los hidrocarburos como fuente primaria de energía. En esta ley es la primera donde se mencionan términos como "Cogeneración" y "Generación renovable".

El 6 de junio del 2012 se publicó la Ley General de Cambio Climático la cuál habla de protección al ambiente, desarrollo sustentable, preservación y restauración del equilibrio ecológico. Tiene por objeto, entre otros, garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios, en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero; regular las acciones para la mitigación y



## Capítulo 1.- Antecedentes

---

adaptación al cambio climático y promover una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono. (Fuente: Ibarra Luis Guillermo (2013). *El aprovechamiento sustentable de la energía en la administración pública federal mexicana: Un ejemplo de sobrerregulación. Capítulos 6 y 7*)

Actualmente (Mayo del 2018) se cuenta con 31 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de eficiencia energética vigentes, que aplican a más de 40 millones de aparatos utilizados en los hogares, comercios e industria. (Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía)

Para garantizar la calidad técnica de los proyectos financiados, el FIDE cuenta con acreditaciones como Entidad de Certificación y Evaluación de Competencia Laborales en: Eficiencia Energética y Generación de Energías Limpias, e Instalación de Sistemas Fotovoltaicos en Residencia, Comercio e Industria.

Derivado de la aplicación del Cambio de Horario de Verano, durante 2016 se estiman ahorros de 1,030 GW/h, lo cual representa ahorros económicos de 1,420 millones de pesos; dejar de consumir un equivalente a 1,313 miles de barriles de petróleo (BEP) y evitar la emisión a la atmósfera de 468 mil toneladas de bióxido de carbono.

### **Medidas de eficiencia energética dentro de la UNAM**

Está claro que dentro de un país cuando se intenta crear conocimiento y programas bien pensados para un fin, lo ideal es tomar en cuenta las ideas universitarias, y en este caso la Universidad Nacional no se puede quedar atrás en acciones de eficiencia energética, el desarrollo de medidas de uso eficiente de energía dentro de Ciudad Universitaria ha ido aumentando y se han realizado esfuerzos aislados en diferentes facultades, institutos y recintos.

Dentro de la universidad el programa pionero en este aspecto es el Programa Universitario de Energía (PUE), en el año de 1996 el PUE realizó diversas actividades para el mejor aprovechamiento de la energía dentro de la universidad, estas actividades dieron inicio a los programas que existen actualmente de eficiencia energética en la UNAM.

Entre las actividades más importantes se encuentran la realización de diagnósticos energéticos a un total de 140 edificios para darles recomendaciones y dar seguimiento a la demanda y consumo eléctrico, se buscó promover la cultura del uso racional de la energía en la comunidad universitaria, también se actualizaron los planos de la instalación eléctrica en un total de 9 dependencias; se elaboró un manual para conseguir, mantener y mejorar el uso eficiente de energía en las dependencias universitarias. Como resultados se puede mencionar que el consumo de energía global en las instalaciones de la UNAM en la Ciudad de México detuvo su crecimiento y tendía a una disminución del 7% a pesar de los nuevos edificios y equipos. En este programa se realizaron más proyectos que ayudaron a constituir los programas futuros en Ciudad Universitaria. (Fuente: <http://www.planeacion.unam.mx/Memoria/anteriores/1996/pue.php>)



## Capítulo 1.- Antecedentes

---

En acciones más recientes se realizó la sustitución del alumbrado del estadio olímpico universitario, en conjunto con el cambio del horario en los partidos del equipo de fútbol para que el alumbrado se utilizara lo menos posible. El edificio B de la facultad de ingeniería, la biblioteca del edificio principal de la misma y en la facultad de Química, en todos estos lugares las lámparas fluorescentes tubulares han sido sustituidas por tecnología LED. En la alberca olímpica el 30% de la energía que se emplea para calentar el agua de la alberca se obtiene a través de colectores solares.

Se han desarrollado instituciones o agrupaciones que colaboran a la causa (derivadas del primer programa en la universidad PUE) como es el caso de Programas de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería (PAEFI) el cual tiene varios proyectos y acciones realizadas para la mejora de la eficiencia energética (como su nombre lo dice), entre sus principales logros están:

- Diagnósticos Energéticos en más de 900 edificios de las dependencias universitarias de la zona metropolitana y de la Ciudad de Cuernavaca.
- Actualización de planos eléctricos y propuestas de redistribución de cargas para mantener balanceados los circuitos eléctricos.
- Revisión y diagnóstico de las instalaciones eléctricas y sus sistemas de tierras.
- Diseño de sistemas de tierras y pararrayos para protección de equipo electrónico y eléctrico.
- Desarrollo de un programa integral de Administración de la Energía.
- Elaboración de bases de datos energéticos de las dependencias. Utilización de Fuentes Renovables en C.U.
- Caracterización Energética de Edificios Públicos. Participación en la elaboración de Normas Universitarias para las instalaciones eléctricas e hidráulicas.

*(Fuente: <http://odin.fi-b.unam.mx/paeunam/>)*

Más recientemente el Programa Universitario de Estrategias para la Sustentabilidad de la UNAM (PUES) es otro intento por participar en el desarrollo de la eficiencia energética en el mundo, el programa se trata de un espacio en el que existe la integración entre el quehacer universitario y las necesidades de la sociedad visto desde la perspectiva del desarrollo sustentable.

*(Fuente: <https://sustentabilidad.unam.mx/sustentabilidad-unam.php>)*

Por la naturaleza compleja de las problemáticas atendidas, las actividades que coordina el PUES son abordadas de manera integral y requieren de la participación de diversas especialidades como la científica, social y humanística. A partir de este enfoque se diseña la Estrategia de Universidad Sustentable EcoPuma.



## Capítulo 1.- Antecedentes

---

### 1.5 Energía solar fotovoltaica

El sol es la estrella de nuestro sistema planetario alrededor del cual gira la Tierra, tiene una edad aproximada de 4500 millones de años, su diámetro es aproximadamente de 1.39 millones de kilómetros y se puede considerar compuesto por diversas capas concéntricas con temperaturas decrecientes hacia el exterior.

El sol ha producido energía por miles de millones de años en nuestro sistema solar y es el responsable de la mayor parte de los energéticos que utilizamos hoy en día. Para este caso la radiación del sol llega al planeta y puede ser aprovechada directamente en forma de calor o de luz.

En cuanto a la energía solar fotovoltaica básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica, para esto se utiliza una tecnología llamada celda fotovoltaica. Su funcionamiento es distinto a los métodos de generación vistos previamente ya que en este caso depende de la composición química del semiconductor de la que está fabricada la celda solar para que su funcionamiento sea adecuado.

Las primeras celdas FV prácticas se desarrollaron en 1954 por investigadores de la compañía Bell Telephone. A finales de los años 50's eran utilizadas para energizar los satélites espaciales de los Estados Unidos. Después fueron incluidos en dispositivos electrónicos pequeños como calculadoras o relojes de mano.

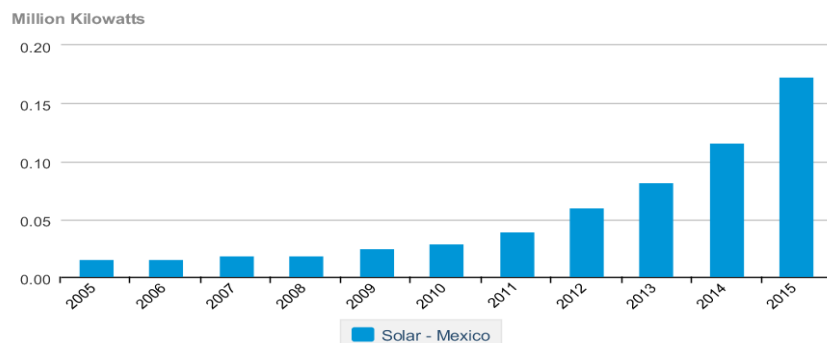
Para finales de los años 70's estas celdas se instalaban en sistemas autónomos y eran utilizadas para energizar poblaciones pequeñas que se encontraban en zonas de difícil acceso para las líneas eléctricas. Desde el año 2004 la mayoría de instalaciones de celdas en Estados Unidos se encuentran interconectados a la red. Los avances tecnológicos y diversas políticas de incentivos han permitido la disminución de costos del producto. Hoy en día se encuentran cientos de miles de instalaciones de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red en el mundo y México no es la excepción.

En México la capacidad instalada de esta tecnología presenta un crecimiento acelerado en los últimos años pero sigue lejos de ocupar un porcentaje importante en la matriz energética del país, en la gráfica 1.7 se observa que a partir del año 2010 se disparó el crecimiento de la capacidad instalada en energía fotovoltaica, quizá impulsado por instalaciones pequeñas de autoabastecimiento y por empresas privadas de generación.



## Capítulo 1.- Antecedentes

### Solar - Mexico



 Source: U.S. Energy Information Administration

Gráfica 1.7) Capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en México desde 2005 hasta 2015

Fuente: U.S. Energy Information Administration

Actualmente (Mayo del 2018) se tienen plantas funcionando de energía fotovoltaica en varias entidades del país como Sinaloa, Baja California Sur, Yucatán, Zacatecas, por mencionar algunas. También se tienen proyectos por parte de empresas privadas para la realización de más plantas de generación fotovoltaica. (Fuente: <http://www.conermex.com.mx/>)

Dentro de las instituciones educativas del país se presentan algunos esfuerzos por impulsar esta tecnología en crecimiento y la UNAM es pionera en este aspecto, la facultad de ingeniería cuenta con un módulo fotovoltaico ubicado en el estacionamiento del Anexo, el cual abastece de energía eléctrica el edificio "S" de la misma facultad.



## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior

---

### Capítulo 2.- Principios de iluminación interior

Para el ser humano y muchos otros animales la luz es un componente esencial en cualquier medio ambiente ya que hace posible la visión del entorno, además de que puede modificar la apariencia del espacio, influir sobre su estética y ambientación y afectar el rendimiento visual, estado de ánimo y motivación de las personas.

El diseño de iluminación puede definirse como la búsqueda de soluciones que permitan optimizar la relación entre el usuario y su medio ambiente, esto requiere comprender la naturaleza de esas interacciones y además, conocer y manejar los métodos y la tecnología para producirlas, pero fundamentalmente demanda una gran dosis de intuición y creatividad para utilizarlas.

#### **Iluminación eficiente**

Un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer las necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de atmosferas agradables, emplea apropiadamente los recursos tecnológicos (fuentes luminosas, luminarias, Sistemas ópticos, equipos de control, etc.), hace uso racional de la energía para contribuir a disminuir el impacto ecológico y ambiental. *(Fuente: Ing. Raitelli Mario, Diseño de la iluminación de interiores)*

### **2.1 Conceptos básicos de iluminación**

Para continuar con el análisis del sistema de iluminación es necesario definir algunos conceptos que se tienen en un sistema de iluminación y que son útiles para el diseño del mismo. Estos conceptos se consideran en la elección de un sistema de iluminación.

#### **Flujo Luminoso**

Su definición se refiere a la existencia de un caudal de radiación luminoso, es como una unidad de potencia luminosa que se mide en lúmenes (lm). La energía transformada por un emisor de luz no se puede aprovechar totalmente para la producción de luz, como se observa en la imagen 2.1 existen pérdidas de energía por diversos factores como calor o radiaciones invisibles.

## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior



Imagen 2.1) Transformación de la potencia eléctrica en flujo luminoso

Fuente: Manual de iluminación INDAL

### Eficacia Luminosa

Este concepto se obtiene de la relación del flujo luminoso de una lámpara con respecto a la potencia eléctrica necesaria para producirlo, su unidad de medida es el lumen por cada watt (lm/W). Cuanto más eficaz es una fuente más radiación luminosa produce con menor aporte energético. Hoy en día el abanico de eficacias luminosas se extiende de los 10 lm/W y los 200 lm/W.

### Vida Útil

Se produce una depreciación paulatina antes del envejecimiento total de la lámpara. Debido a este comportamiento se establece un periodo de tiempo de uso útil, este consiste en el tiempo donde la depreciación no baje del 70% del flujo nominal.

Este valor se mide en horas y en el mercado de tiene un amplio margen de valores que van desde las incandescentes con un promedio de 1,000 hrs hasta algunas luminiscencias espaciales que alcanzan las 60,000 hrs de uso.

### Índice de Rendimiento de Color (CRI)

Se refiere a la fidelidad en la reproducción cromática de aquello que se ilumina. Esta percepción depende directamente de la riqueza cromática de la fuente luminosa. o lo que es lo mismo, depende de que su espectro cromático sea completo como el de la luz natural o incandescente.





## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior

El valor de medición es un porcentaje de 0 a 100% donde el porcentaje más alto corresponde a la luz natural o las lámparas incandescentes las cuales tienen un porcentaje de CRI cercano al 100%. En los productos este valor de CRI es representado por un grado el cual es especificado en la tabla 2.1.

Grado	Índice (IRC)	Nivel de reproducción
1A	90 a 100	Excelente
1B	80 a 89	Muy bueno
2A	70 a 79	Bueno
2B	60 a 69	Moderado
3	40 a 59	Regular
4	Inferior a 40	Bajo

Tabla 2.1) Índices de reproducción cromática

Fuente: Manual de iluminación INDAL

### Temperatura de Color (TCC)

Este concepto se refiere a la apariencia o tonalidad de la luz que emite la fuente luminosa. Cuanto mayor es la temperatura real del filamento más frío resulta ser el color de su luz.

Para todo tipo de lámparas la TCC se mide en grados Kelvin y sus valores en las lámparas oscilan entre los 2500 y los 6700 °K. La elección de este dato sirve para realzar una determinada gama de colores. En el ámbito comercial se usan términos para distinguir cada nivel de TCC. (ver tabla 2.2)

Denominación común:	Temperatura de color en °K
Cálido (Luz incandescente)	2.500 a 3.000
Blanco cálido	3.000 a 3.500
Blanco o blanco neutro	3.500 a 4.500
Blanco frío	4.500 a 5.000
Fría (Luz día)	5.000 a 6.500

Tabla 2.2) Determinación de tipo de luz para cada rango de temperatura de color

Fuente: Dra. Vázquez Arenas, Gemma. Iluminación Interior. Universidad Politécnica de Cartagena



## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior

---

### **Iluminancia**

Mide la luz que llega a una determinada superficie, la fórmula que expresa la luminancia es:

$$luxes = \frac{lumen (lm)}{m^2}$$

Es un dato importante para valorar el nivel de iluminación que existe en un puesto de trabajo, en una calle o en la superficie de un recinto.

### **2.2 Principales tecnologías para iluminación interior**

Con el paso de los años las necesidades de iluminación se vuelven más especializadas y se trata de optimizar el alumbrado para cada necesidad en específico.

Actualmente en el mercado se pueden encontrar numerosos tipos de fuentes luminosas y no existe un parámetro absoluto que defina qué tipo de lámpara debe ser utilizada para cada recinto, es por eso que resulta necesario conocer la variedad de opciones existentes y así evaluar los parámetros para elegir la opción más adecuada.

Para esta sección del documento se mostrará la tecnología utilizada en el caso de la iluminación interior, y más específicamente se mostrarán las tecnologías que se utilizan en el museo "Universum".

#### **Lámparas incandescentes no halógenas**

Las partes de esta lámpara se pueden observar en la imagen 2.2. Se componen de un filamento de tungsteno o wolframio encerrado en un bombillo de vidrio en cuyo interior se ha introducido un gas inerte o directamente se realiza un vacío, al conectarse la corriente que pasa por el filamento supera su resistencia y se calienta al punto de incandescencia. En este tipo de lámparas entre el 90% y el 95% de la energía se disipa por calor.

## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior



*Imagen 2.2) Componentes de una lámpara incandescente no halógena  
Fuente: Catálogo de lámparas PHILIPS*

Las lámparas incandescentes fueron la primera forma de generar luz a partir de la energía eléctrica, por mucho tiempo fueron las más utilizadas en el mundo. Si bien tienen características a destacar como su buena reproducción cromática y el hecho de que se pueden utilizar tanto en corriente alterna como directa, también tienen grandes desventajas, quizá la principal y más importante es su baja eficiencia ya que gran parte de la energía que consume se disipa en forma de calor y tienen una vida útil muy corta.

### **Lámparas incandescentes halógenas**

Su funcionamiento básico es similar a las incandescentes no halógenas pero se caracterizan por una adición de compuesto gaseoso halogenado (yodo, cloro, bromo) en la lámpara produciendo un ciclo químico de regeneración del filamento alargándose de modo considerable su vida media y manteniéndose constante el flujo luminoso de la lámpara. (ver imagen 2.3)



*Imagen 2.3) Lámpara halógena con reflector dicróico*

*Fuente: Catálogo de lámparas PHILIPS*

## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior

Su mayor ventaja consiste en la posibilidad de lograr un nivel luminoso alto mediante lámparas de pequeñas dimensiones, otra ventaja es que mantiene su CRI en 100% dado que la bombilla no se deteriora tanto.

Sus desventajas tienen mucho que ver con el hecho de ser incandescentes ya que tienen una producción excesiva de calor. Esto se ha intentado solucionar al colocarle reflectores dicróicos los cuales reflejan selectivamente longitudes de ondas específicas en la región visible del espectro y transmiten en dirección opuesta las longitudes de ondas no deseadas de la región infrarroja, esto disminuye de forma notable los efectos producidos por el calor, aunque se siguen presentando radiaciones indeseables en la exposición de alimentos o tejidos. (Fuente: Dra. Vázquez Arenas, Gemma. *Iluminación Interior*. Universidad Politécnica de Cartagena)

### Lámparas Fluorescentes Tubulares (LFT)

Es una lámpara de descarga eléctrica, que consiste en un tubo o bulbo tubular de forma lineal que tiene en sus extremos electrodos y en el interior vapor de mercurio a baja presión que sirve para que pueda "saltar" el arco eléctrico. (ver imagen 2.4)

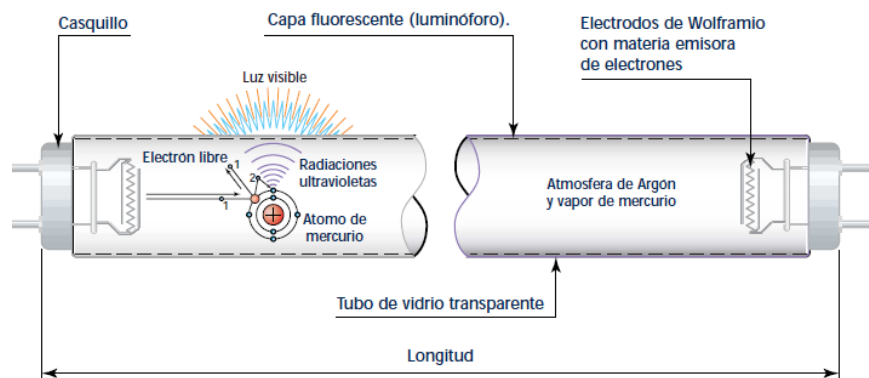


Imagen 2.4) Partes de lámpara fluorescente tubular

Fuente: Manual de iluminación INDAL

La característica fundamental de estas lámparas reside en la composición de los polvos fluorescentes, pues de ellos depende su tonalidad.



## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior

---

Su funcionamiento se basa en una descarga eléctrica en la cual se utiliza la emisión ultravioleta de los átomos de mercurio, pero para generar luz visible es necesario recubrir de material fluorescente el interior del tubo de vidrio.

Dentro llevan una cierta cantidad de gas argón o kriptón, con objeto de facilitar el arranque, ya que al inicio el mercurio se encuentra frío y su presión es muy baja. Una vez iniciado el arco a través del argón, aumenta la temperatura y presión del mercurio, estabilizándose el arco a través de él.

Existe una gran variedad de lámparas fluorescentes en el mercado. La composición de los polvos fluorescentes afecta a la calidad y flujo luminoso que emite la lámpara. El diámetro del tubo también es variable y clasifica a las lámparas fluorescentes en T2, T5, T8 y T12. La cifra indica el diámetro del tubo en octavos de pulgada. (*Fuente: Morente Montserrat Cristina, Curso on-line de iluminación*)

- T12 (12/8 de pulgada)
- T8 (8/8 de pulgada)
- T5 (5/8 de pulgada)

Estas lámparas cuentan con una alta eficacia, un buen CRI (no tan bueno como una incandescente) y una vida media considerablemente elevada, pero también tienen desventajas considerables como el hecho de que necesitan un equipo auxiliar para el encendido y ocupan un mayor espacio que las compactas.

### **Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC)**

El funcionamiento para este tipo de lámparas es igual que en LFT solo que en este caso se trata de lámparas compactas que no ocupan un espacio tan grande y están autobalastradas, es decir, el equipo auxiliar de encendido de estas lámparas ya viene adaptado junto con la lámpara sin necesidad de conseguirlo por separado. (ver imagen 2.5)

## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior

---



*Imagen 2.5) Lámpara fluorescente compacta*

*Fuente: Catálogo de lámparas PHILIPS*

Se tiene una amplia variedad de potencias, tamaños y formas en este tipo de lámparas, cuentan con una alta eficacia y un excelente CRI.

### **Diodo Emisor de Luz (LED)**

Los diodos son dispositivos semiconductores unidireccionales. Cuando circula corriente a través de ellos, los electrones libres de la capa N se mueven a través del diodo y se combinan con los agujeros vacíos de la capa P. Esto implica una caída de la banda de conducción a un menor orbital, de manera que los electrones liberan energía en forma de fotones. El tamaño del salto de banda define el color de la luz. Para conseguir que un LED produzca luz blanca, se utiliza una fina capa de fósforo sobre un LED de color azul. Y para producir color, la composición de la capa de fósforo ha de ser controlada químicamente.

Actualmente se utilizan los LEDs de alta luminosidad, son más complejos porque incorporan elementos para disipar el calor que permiten soportar corrientes mayores para proporcionar más flujo luminoso.

Se tienen en el mercado lámparas LED tubulares y compactas, actualmente por medidas de eficiencia se sustituyen en algunos recintos las lámparas fluorescentes tubulares por LED tubulares y lámparas fluorescentes compactas por LED compactos.

En la imagen 2.6 del lado izquierdo se observa una lámpara de LED tubular mientras que del lado derecho una lámpara LED compacta.

## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior



Imagen 2.6) LED tubular y LED compacto

Fuente: Comercializadora TECNOLED

Los LEDs se diseñan para trabajar con corrientes concretas a diferencia de las lámparas que están construidas para trabajar con una tensión determinada.

Los diodos se alimentan con una fuente de corriente continua a través de una resistencia en serie que sirve para limitar y controlar la corriente para conseguir un correcto funcionamiento.

Entre las ventajas más importantes que se tienen con este tipo de iluminación está el hecho de que tienen buen CRI, una vida media alta y un muy bajo consumo eléctrico. Para las desventajas se tiene un costo elevado aún en el mercado, una baja eficacia y necesita un equipo auxiliar para el funcionamiento. (Fuente: Morente Montserrat Cristina, Curso on-line de iluminación)

### 2.3 Balastos

Un sistema de iluminación muchas veces requiere de sistemas auxiliares como se vio en la sección anterior, este sistema puede ayudar al arranque o precalentado de una lámpara como es el caso de los balastos, estos se necesitan en las lámparas fluorescentes.

Un balastro es un dispositivo que, por medio de inductancias o resistencia solas o en combinación, limita la corriente de las lámparas al valor requerido para su operación correcta y también cuando es necesario suministra la tensión y corriente de arranque; en el caso de balastos para lámpara fluorescente de arranque rápido, también se encarga de suministrar la tensión para calentamiento de cátodos.

Los balastos o reactancias son los elementos esenciales en las instalaciones de alumbrado donde se utilizan lámparas de descarga. Se combinan con las lámparas para limitar la corriente de funcionamiento. Además, en algunas ocasiones también suministran la tensión y corriente a la lámpara.

Las reactancias más utilizadas son las inductivas y las inductivas-capacitivas que proporcionan



## Capítulo 2.- Principios de iluminación interior

un buen rendimiento y funcionamiento de la lámpara. (Fuente: Morente Montserrat Cristina, Curso on-line de iluminación)

Las funciones de un balasto son:

- Limitar la corriente
- Regular la tensión
- Proporcionar la tensión necesaria para el arranque

Dentro del museo se encontraron balastos electromagnéticos convencionales y balastos electrónicos, estos últimos con un grado de eficiencia mayor y en general con mejor rendimiento, en la tabla 2.3 se pueden observar las características de cada tipo.

<b>Electromagnético convencional</b>	<b>Electrónico</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pérdidas de 15% a 20%.</li><li>• Vida nominal de 20 a 30 mil horas.</li><li>• Efecto estroboscópico.</li><li>• Aportación de calor.</li><li>• Nivel de ruido.</li><li>• Protección térmica (clase P).</li><li>• No hay para lámpara T5.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Menos pérdidas.</li><li>• Mayor eficiencia (15 a 20%).</li><li>• Vida nominal de 50 a 80 mil horas.</li><li>• Libre de efecto estroboscópico.</li><li>• Más ligero.</li><li>• Mínima aportación de calor.</li><li>• Silencioso.</li></ul>

Tabla 2.3) Características de balastos electromagnéticos y electrónicos

Fuente: Elaboración propia

Actualmente se tiene una Norma Oficial Mexicana NOM-058-SCFI-2017 la cual es aplicable a los controladores para fuentes luminosas artificiales con propósitos de iluminación en general, incluyendo los de uso en interiores, exteriores y alumbrado público. Cuando esta norma entró en vigor canceló la NOM-058-SCFI-1999, "Productos eléctricos-Balastos para lámparas de descarga eléctrica en gas-Especificaciones de seguridad", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de diciembre de 1999. (Fuente: Diario Oficial de la Federación)





## Capítulo 3.- Diagnóstico energético

---

### Capítulo 3.- Diagnóstico energético

Como se vio en el capítulo de "Antecedentes" el diagnóstico energético fue una estrategia utilizada cuando se comenzó a tomar en serio la eficiencia energética a partir de las crisis petroleras de los años 70's, a este concepto se le llama también "auditoría energética" y consiste en un análisis que revela dónde y cómo es utilizada la energía, puede ser aplicado de manera parcial (en equipos o procesos) o integral (plantas industriales), con el propósito de identificar las oportunidades de conservación de energía.

Este concepto se aplica para evaluar energéticamente edificios, para esto es importante conocer su actividad principal, la demanda y consumo eléctrico y las cargas eléctricas del mismo; para esto es necesario llevar a cabo levantamiento de cargas eléctricas, mediciones eléctricas puntuales y analizar toda la información recabada, todo este proceso es conocido como "diagnóstico energético". (*Fuente: Referencia 1*)

Un diagnóstico energético consta a grandes rasgos de 3 partes:

- Análisis de factura.
- Análisis de censo.
- Análisis de medición eléctrica.

Como si se tratara de una receta de cocina, un diagnóstico consta de varias etapas que deben ser ordenadas ya que cada una depende de la anterior.

#### 3.1 Etapas básicas de un diagnóstico energético

Primero se tiene un análisis previo que consiste en recolectar datos generales del recinto como su antigüedad ya que de ahí se puede deducir que tan viejos son los equipos que se utilizan, horario de trabajo, consumo de energía en base a su tarifa eléctrica considerando también la región e indicadores como el factor de potencia y el factor de consumo. Se debe comparar la empresa con otras del mismo ramo para así basarse en datos estadísticos cuando no se pueda recolectar cierta información.

Una vez que se saben esos datos se puede proseguir al trabajo de campo que consiste en entrevistas con directivos para conseguir información más fiable y comentarles el proceso que se seguirá en el plan de trabajo, además de recorridos por la planta para obtener la distribución del uso de la energía e identificar las medidas de ahorro, para este punto es conveniente tener un mapa del sitio que permita conocer datos eléctricos como las entradas de energía, ubicación de



## Capítulo 3.- Diagnóstico energético

---

medidores y número de transformadores. En algunos casos se hacen mediciones térmicas además de las eléctricas que son de rigor. Para este punto ya se pueden ir identificando las oportunidades de ahorro (las cuales serán confirmadas o descartadas una vez que se haga el análisis final).

Una vez terminado el trabajo de campo se prosigue al trabajo de gabinete donde se analiza la información y se compara con la documentación técnica que se tiene del recinto, en este punto se hace la evaluación de las medidas propuestas, estas medidas pueden consistir en inversiones donde se tiene potencial de ahorro energético y económico, se deben hacer análisis de recuperación de la inversión. Al final de este punto se debe elaborar un reporte detallado y completo donde se mencionen las medidas propuestas con su respectivo análisis financiero y energético.

Una vez que se tiene todo lo anterior se debe presentar el trabajo escrito donde se plantea la situación actual de la empresa y las propuestas de ahorro explicadas debidamente ante las autoridades correspondientes para que se tomen las decisiones correspondientes.

Durante la realización de este proyecto se realizó un levantamiento de cargas eléctricas de iluminación, este concepto forma parte del proceso de un diagnóstico energético.

### 3.1.1 Análisis de factura eléctrica

Para la realización de esta actividad se requiere de plena cooperación por parte del personal de mantenimiento. El objetivo es contar con un año de facturaciones o más, la información del historial de consumo nos dará idea del comportamiento de la demanda y el consumo eléctrico anual, estos datos nos servirán para validar la información obtenida del levantamiento de cargas tomando en cuenta que estos datos deben estar entre el rango establecido por los máximos y mínimos que dice la factura eléctrica. Incluso con estos datos se pueden analizar posibles problemas con el factor de potencia.

En el caso del museo analizado no se tiene factura eléctrica debido a que las dependencias de la UNAM no cuentan con un registro así, en este caso lo que se tiene es un equipo de medición conectado en la acometida del edificio, este equipo cumple las mismas funciones que un medidor instalado por CFE y además da información más detallada acerca de la energía utilizada en el día; las funciones de este equipo de medición se verán más adelante en el capítulo 5 de este documento. (*Fuente: Referencia 2*)



## Capítulo 3.- Diagnóstico energético

---

### 3.1.2 Levantamiento o censo de cargas eléctricas

En este proceso se contabilizan todos los equipos consumidores de energía eléctrica, utilizando formatos preestablecidos y probados en anteriores estudios.

En palabras sencillas, un censo o levantamiento de cargas consiste en anotar en un formato por cada uno de los recintos los equipos que consumen energía eléctrica, divididos por sistemas, estos sistemas pueden ser iluminación, misceláneos, acondicionamiento ambiental y cómputo. Se estima la demanda y el consumo eléctrico a partir de los datos y se valida la información con los datos de medición. En este proyecto se realizó un censo de cargas de iluminación únicamente.

Una vez estimada la demanda y el consumo eléctrico por el sistema de iluminación, se calculan los indicadores energéticos, en este caso se calculó el DPEA y se comparará con los valores máximos establecidos por la NOM-007-ENER, son comparados con los obtenidos de la medición y validados. Normalmente entre estos datos existe una diferencia que puede ser por diversos factores, estos se llaman consideraciones. Entre las consideraciones se encuentran las horas de uso reportadas o la demanda de los equipos anotada. *(Fuente: Referencia 1)*

### 3.1.3 Análisis de medición eléctrica

La medición eléctrica (como se mencionó anteriormente) se realiza en la acometida principal del edificio, conectándose en baja tensión. En caso de no ser posible en ese lugar, se realiza en los tableros generales.

Es recomendable que la medición eléctrica horaria se realice al mismo tiempo que el levantamiento de cargas, esta medición se realiza durante las 24 horas del día los 7 días de la semana y los datos se almacenan en un software o hoja de cálculo donde se puede organizar por medio de gráficas que pueden ser utilizadas para el análisis del comportamiento de la demanda eléctrica.

Los resultados de este análisis arrojarán datos como la demanda máxima registrada (kW), consumo de energía por periodos (kWh/mes), el comportamiento energético previo a la implantación de las medidas de ahorro y eficiencia energética, detectar picos de demanda y el periodo punta del edificio, comparar los parámetros eléctricos de las facturaciones eléctricas y validar el levantamiento de cargas. *(Fuente: Referencia 2)*



## Capítulo 3.- Diagnóstico energético

---

### 3.2 Niveles de diagnósticos energéticos

Tradicionalmente se conocen tres niveles de diagnóstico los cuales dependen del porcentaje de análisis de la energía utilizada, así como de la certidumbre de los resultados. Otra actividad importante es el análisis de la factura eléctrica de al menos un año, en caso de ser necesario se tomarán facturas de meses anteriores.

Los diagnósticos de primer nivel cuentan con el 60 o 70% del análisis del uso de la energía del edificio; se cuenta con aproximadamente del 70 al 90% de certidumbre en los resultados; el tiempo estimado de realización es de un mes, el cual está en función de los metros cuadrados construidos, del personal asignado al levantamiento, incluso del tiempo solicitado por el cliente.

En el caso de los diagnósticos de segundo nivel analizan entre el 70 y 85% del análisis de la energía del edificio; la certidumbre en este caso se encuentra entre el 90 y 95%, la medición de los parámetros eléctricos pueden llevarse a cabo en varios puntos. El tiempo de ejecución será de dos meses aproximadamente y está en función de los mismos aspectos que el de nivel uno.

Para el caso de los diagnósticos de tercer nivel analizan 100% del análisis de la energía del edificio con una certidumbre de arriba del 95% y un tiempo de ejecución de aproximadamente 6 meses. Cabe mencionar que este nivel de diagnóstico analiza tanto la energía eléctrica como la térmica, por eso este tipo de análisis se realiza en la industria. (*Fuente: Referencia 2*)

### 3.3 Instituciones que utilizan diagnósticos energéticos

Ya que se ha cumplido con el propósito del diagnóstico y se encuentran las oportunidades de conservación de energía, estas se avalúan para determinar la relación de costo beneficio y las propuestas se ordenan poniendo en primer lugar las que más beneficios económicos presentan. Finalmente se crea un plan de acción donde se seleccionan las mejores opciones y se llevan a cabo, es aquí donde realmente se inicia el proceso de ahorro de energía y dinero. (*Fuente: Referencia 3*)

Estas pueden ser medidas que van desde cambios de hábitos de consumo (sin costo alguno) o medidas de sustitución de equipos (con costo). De este punto en adelante depende del usuario tomar las decisiones correspondientes y para esto existen organismos que apoyan proyectos de eficiencia energética, a los cuales puede recurrir el usuario para buscar un financiamiento.

### Capítulo 3.- Diagnóstico energético

Existen instituciones dedicadas al ahorro y uso eficiente de la energía como la CONUEE<sup>2</sup>, el PAESE<sup>3</sup> y FIDE<sup>4</sup>, entre las funciones de este último se encuentra financiar proyectos de eficiencia energética, estos organismos facilitan la toma de decisiones a favor de un proyecto de eficiencia energética; entre sus funciones esta proporcionar financiamiento para proyectos que aumentan la eficiencia de un inmueble, dentro de los requisitos se encuentra la realización de un diagnóstico energético en el inmueble y se puede observar a grandes rasgos el procedimiento a seguir para solicitar un financiamiento en la imagen 3.1.

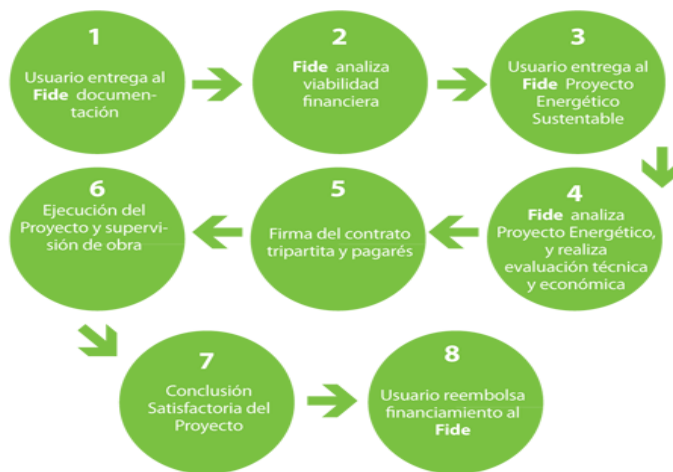


Imagen 3.1) Proceso de financiamiento de proyectos de eficiencia energética por FIDE

Fuente: Página electrónica de FIDE<sup>5</sup>

Para el caso de estudio en este documento, lo que se realizó fue un censo de cargas de iluminación y el análisis del mismo. Además se analizaron las mediciones hechas por el equipo de monitoreo "E-Mon IDR Interval Data Recorders" conectado en el museo y se compararon los resultados para analizar las razones de los cambios en el consumo eléctrico.

<sup>2</sup> Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

<sup>3</sup> Programa de Ahorro de Energía para el Sector Eléctrico

<sup>4</sup> Fideicomiso para el Ahorro de Energía

<sup>5</sup> [http://www.fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=219](http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=219)



## Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos

---

### Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos

La luz del sol está compuesta por fotones, estos fotones contienen diversas cantidades de energía que corresponden a su diferente longitud de onda del espectro solar.

Los fotones impactan en la celda solar hecha de un semiconductor y tienen tres situaciones, se reflejan fuera de las celdas, pasan a través de la celda o son absorbidos por el material semiconductor. Solo los fotones absorbidos proveen energía para generar electricidad. Cuando el semiconductor ha absorbido suficiente luz solar (fotones), algunos de sus electrones se excitan y salen de los átomos del material. Un tratamiento especial de la superficie del material al momento de su fabricación hace que la superficie frontal de la celda se vuelva más receptiva a electrones libres y entonces estos encuentran camino para llegar a la superficie de la celda.

Cada uno de los electrones tiene carga negativa y al estar en la parte frontal de la superficie de la celda crean un desbalance de energía donde el frente de la celda tiene carga negativa y el fondo de la celda tiene carga positiva, este desbalance crea una diferencia de potencial como las terminales de una batería. Unos conductores eléctricos que se encuentran en las celdas se encargan de absorber los electrones de la superficie, cuando esos conductores se encuentran conectados en circuito eléctrico a una carga externa como una batería, entonces se genera un flujo de electricidad. (*Fuente: U.S. Energy Information Administration, Photovoltaics and Electricity*)

La eficiencia de las celdas fotovoltaicas comerciales actuales tienen ronda entre 5% y 15%. Una sola celda produce una potencia de 1 o 2 Watts. Al conjunto de varias celdas solares se le llama módulo fotovoltaico, estos pueden variar en cuanto a tamaño y cantidad de energía que pueden generar. Estos sistemas producen corriente directa (CD) la cual puede ser usada para cargar baterías o en su caso pasar a un sistema inversor el cual convertirá la señal a corriente alterna (AC) con la cual trabajan casi todos los equipos que se utilizan en un recinto.

Mientras la luz solar le apunte al módulo se estará generando electricidad y el punto donde más se genera es cuando el sol apunta directamente.

Para casi cualquier aplicación una celda solar no genera suficiente energía eléctrica, por lo tanto se tienen arreglos de varias celdas a los cuales se les llama módulos fotovoltaicos, después un conjunto de módulos juntos se le llama panel solar y por último cuando necesitas cierta corriente o cierto voltaje de salida de un conjunto de paneles, se acomodan mediante arreglos en serie o paralelo para así llamarlos arreglos fotovoltaicos. (ver imagen 4.1)

## Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos

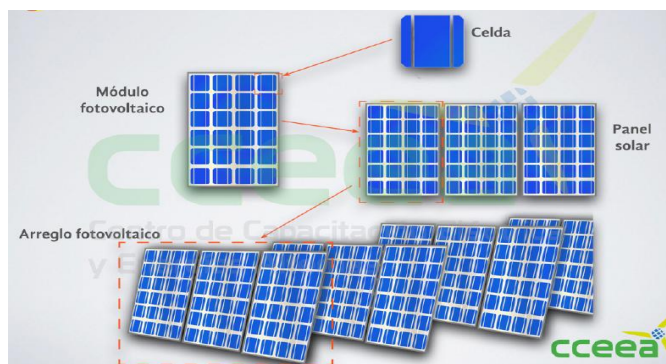


Imagen 4.1) Celda, módulo, panel y arreglo fotovoltaico

Fuente: Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEA)

Los arreglos fotovoltaicos se hacen de acuerdo a las necesidades del sistema, pueden ser acomodados en paralelo o en serie según se necesite aumentar el voltaje o la corriente.

### 4.1 Solarimetría

La forma más confiable para medir la magnitud de la radiación solar que llega al planeta es medir físicamente el flujo de energía, esto se hace actualmente mediante instrumentos adecuados en gran cantidad de observatorios meteorológicos en el mundo, los cuales generan una señal eléctrica proporcional a la cantidad de radiación que reciben.

#### 4.1.1 Radiación e irradiancia

El término radiación es aplicado a todos los tipos de procesos que transmiten energía por medio de ondas electromagnéticas. La irradiancia es un término utilizado para medir la cantidad de potencia luminosa que llega sobre una superficie de un metro cuadrado, y cuando se calcula esta irradiancia en la tierra con respecto al sol se le llama "Constante Solar" (ver imagen 4.2), esta

## Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos

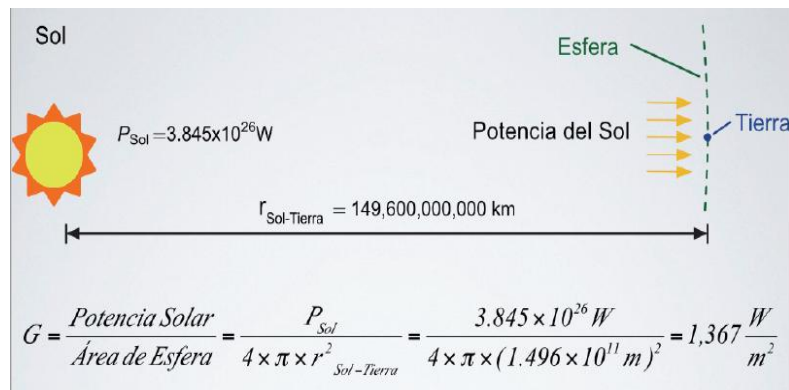


Imagen 4.2) Explicación de constante Solar

Fuente: Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEA)

Esta constante solar mostrada en la imagen 4.2 es la cantidad de potencia que se tiene sobre la capa más externa del planeta, mientras esa radiación continua su camino hasta la superficie terrestre tiene diversas atenuaciones debido a absorción, reflexión y dispersión difusa. (ver imagen 4.3)

Aproximadamente el 30% de esta energía es reflejada al espacio exterior debido a las nubes, el polvo suspendido y los aerosoles. El 14% de la energía restante es absorbida por el ozono en la estratósfera. Aproximadamente el 7% de la energía restante es dispersada por difusión al espacio exterior, quedando únicamente  $765.9 \text{ W/m}^2$ . (Fuente: Referencia 4)

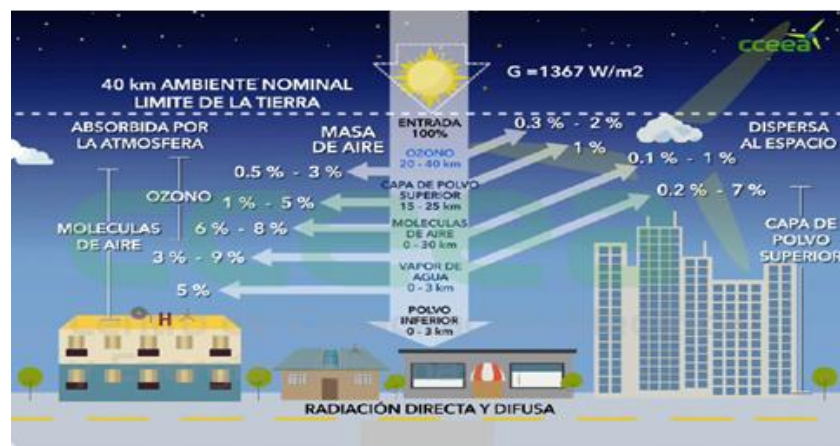


Imagen 4.3) Pérdidas de la constante solar hasta la superficie terrestre

Fuente: Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEA)



## Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos

En México se tiene un potencial de radiación solar importante y considerable sobre todo en la zona oeste y noroeste del país como se observa el mapa de calor de la imagen 4.4. Sin embargo, los puntos de demanda más altos son en el centro del país, lo que implica un reto/oportunidad para la infraestructura de transmisión de la CFE.



Imagen 4.4) Radiación solar en México

Fuente: Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (CIEP)

### 4.1.2 Geometría fotovoltaica

Un panel solar obtendrá más energía cuando la luz del sol le da perpendicularmente y se sabe que el planeta Tierra tiene una inclinación de  $23.5^\circ$ , por lo tanto la luz solar no incide perpendicularmente sobre los paneles solares todo el tiempo (a menos que se encuentren justo en el ecuador), entonces los paneles deben ser acomodados en cierto ángulo para mayor eficiencia y este ángulo depende de la latitud geográfica a la que se encuentra el punto donde será colocada la instalación. Para el caso de la Ciudad de México el ángulo ideal es  $19^\circ$ . (Fuente: Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas)

Por el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del sol hay ciertas épocas del año donde los días son más cortos porque el sol está a una inclinación mayor que en el resto del año. Para esto se estableció que la distancia entre filas de paneles debe ser calculada en base a la inclinación del sol el 21 de diciembre ya que es el día más corto del año y es el día que el sol está más inclinado sobre el horizonte (por lo tanto genera una sombra más larga), el método de calcular esta distancia se establece con la expresión mostrada en la imagen 4.5.

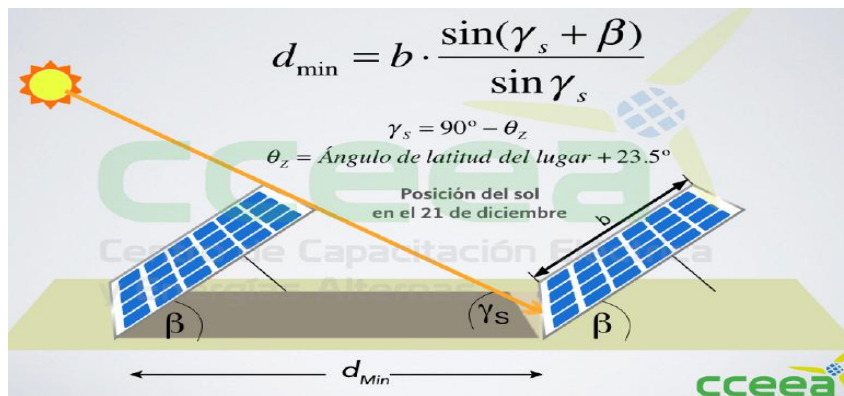
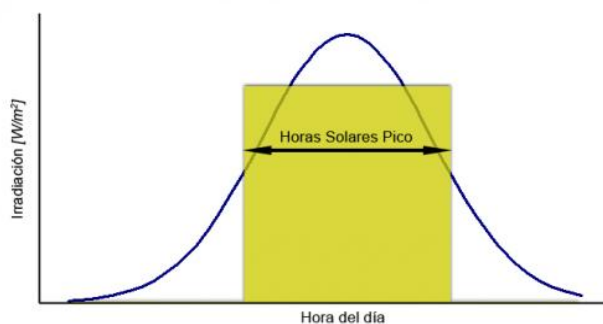


Imagen 4.5) Cálculo de distancia mínima entre paneles

Fuente: Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEA)

### 4.1.3 Horas Pico Solar (HPS)

Esto se define como la cantidad de horas del día con una hipotética irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup> que en conjunto suman la misma irradiación total que la real de ese día, en la gráfica 4.1 se observa el área de la HPS en color amarillo. El área de la zona verde en teoría debe ser igual al área bajo la curva de la gráfica de insolación en un día.



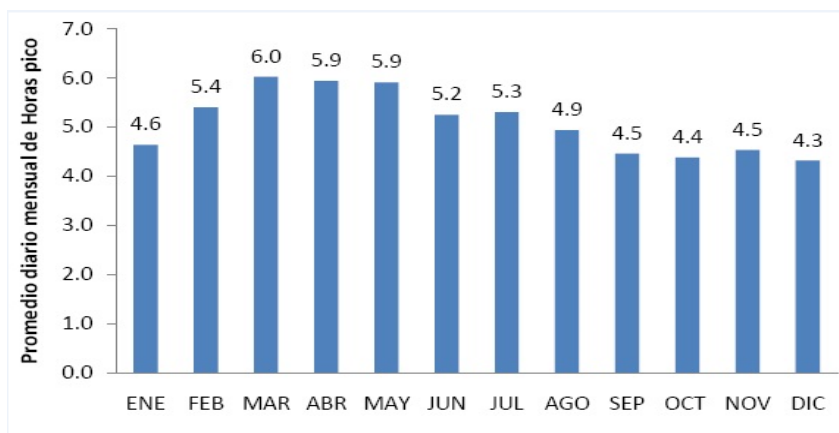
Gráfica 4.1) Horas Pico Solar

Fuente: SunFields Europe-Proveedor de equipos para Sistemas FV



## Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos

Para el caso de Ciudad Universitaria se tienen registros por parte del instituto de geofísica de la UNAM de HPS cada mes, estos están basados en análisis por varios años de resultados y promediando estos datos. (ver gráfica 4.2)



Gráfica 4.2) HPS en Ciudad Universitaria

Fuente: Instituto de Geofísica de la UNAM

Estos datos de HPS son medidos en una superficie horizontal, por lo tanto para ser utilizados en el proyecto necesitan adaptados a las medidas en una superficie inclinada; este proceso será llevado a cabo por el programa "RETScreen Expert" más adelante.

### 4.2 Pérdidas en un sistema fotovoltaico

En cualquier sistema físico existen pérdidas, estas dependen de factores externos o de fallas dentro del mismo sistema. En un sistema fotovoltaico esas pérdidas pueden ser estimadas y evaluadas; y a partir de estas fugas de energía se puede calcular el desempeño del sistema.

Entre las pérdidas más comunes en este tipo de sistemas se encuentran las que son debido a la temperatura, una celda solar tiene una temperatura óptima en la cual entrega su máxima eficiencia, pero las variaciones de esta temperatura provocan que su eficiencia baje. Una celda fotovoltaica puede variar su temperatura no solo por la temperatura del ambiente, también por la insolación que reciben durante el día ya que solo una pequeña fracción de la energía que recibe la celda es transformada en electricidad, entonces gran parte de esta energía se convierte en calor para la celda fotovoltaica.



## Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos

La forma de medir esta pérdida es a través de un parámetro que proporciona el fabricante llamado NOCT<sup>6</sup>, este parámetro indica la temperatura del módulo cuando el ambiente está con parámetros controlados, es decir con una temperatura de 20 °C, la irradiancia es de 800 W/m<sup>2</sup> y la velocidad del viento de 1 m/s. Para cualquier otras condiciones ambientales, se usa la expresión siguiente.

$$T_{cell} = T_{amb} + \left( \frac{NOCT - 20^{\circ}}{0.8} \right) * S$$

Una vez calculada la temperatura de la celda con las condiciones a las que se encuentra, en la hoja de especificaciones del módulo se tiene un dato que indica el porcentaje de pérdida energética por cada grado centígrado de diferencia con la temperatura nominal de la celda (%/°C).

Otra pérdida a considerar es el polvo en la instalación el cual influye para la absorción de energía por parte de las celdas; también hay pérdidas por acoplamiento, estas se deben al hecho de que en un arreglo de módulos en paralelo no siempre se tiene la misma corriente de salida en cada una de las ramas, esto se puede atribuir a factores como errores de fabricación. (*Fuente: Referencia 5*)

### 4.3 Sistema interconectado a la red

Un sistema está conectado a una o varias cargas, el sistema genera electricidad siempre que está recibiendo luz solar pero la demanda de la carga depende de muchos factores, habrá días que se utilice todas las horas posibles y habrá días que no se utilice tanto tiempo, esto quiere decir que la demanda no siempre será igual que la generación por parte del sistema.

Cuando un sistema interconectado a la red genera un exceso de energía, esta se manda a la red eléctrica nacional, es decir, en la acometida del recinto se tiene un medidor bidireccional el cual registra la energía que la carga demanda de la red eléctrica nacional y la energía que el sistema fotovoltaico manda a la red en algunos puntos del día. (ver imagen 4.6)

---

<sup>6</sup> Nominal Operating Cell Temperature

## Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos

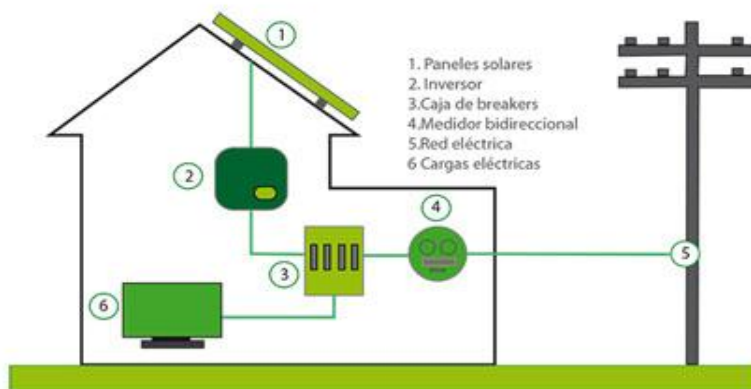


Imagen 4.6) Sistema FV interconectado a la red

Fuente: Energía Verde, Grupo Corporativo de la Concha S.A. de C.V.

El sistema se compone de un arreglo fotovoltaico, seguido de un inversor el cual convierte la señal de DC a AC, de ahí va a un controlador el cual administra cuando es necesario mandar la energía a la carga o cuando se debe mandar a la red eléctrica, se tiene también la carga conectada y un medidor bidireccional.

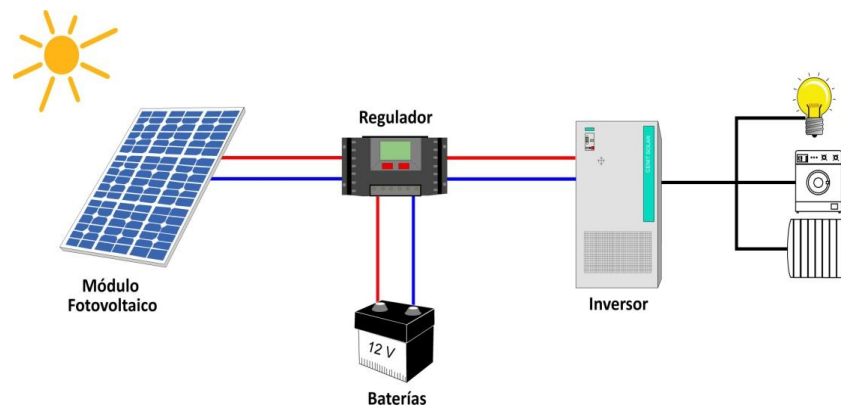
### 4.4 Sistema autónomo

En un sistema autónomo a diferencia del interconectado, la energía generada cuando no se utiliza por parte de la carga se almacena en una o varias baterías y así poder utilizarse en horas del día donde el panel no está generando.

Este sistema es utilizado sobre todo en regiones aisladas donde la red eléctrica no llega, pueden ser comunidades de difícil acceso incluso para vehículos motorizados o comunidades donde debido a la condición física del terreno es imposible colocar líneas de la red eléctrica.

Este sistema cuanta primero con un arreglo fotovoltaico que genera cuando detecta luz, de ahí la energía en DC pasa a un regulador el cual su función es administrar la energía para que cuando la carga este demandando electricidad se la mande al inversor el cual la convierte en AC y de ahí pase a la carga o cuando la carga esta inactiva manda la energía a una batería la cual será descargada parcial o totalmente cuando la carga demande energía durante la noche. (ver imagen 4.7)

## Capítulo 4.- Funcionamiento de sistemas fotovoltaicos



*Imagen 4.7) Sistema FV autónomo*

*Fuente: CenitSolar, empresa Española*



### Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

A lo largo de este capítulo se realizará una descripción energética del sistema de iluminación del museo "Universum", analizando las mediciones de consumo eléctrico y demanda a lo largo de 3 años e identificando potenciales de ahorro energético. Se analizará también el censo de cargas de iluminación realizado a lo largo del año 2016 y parte del 2017, esto con el fin de identificar el porcentaje de aportación de las cargas de iluminación en el consumo total y comprobar los resultados energéticos de los programas propuestos por la UNAM de sustitución de luminarias.

Como se vio anteriormente, se tienen diversas normas en el país que establecen niveles de eficiencia de equipos. En una sección de este capítulo 4 se evaluará parte de la NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para Sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. Se hará el cálculo de niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) y se comparará con los valores máximos que propone la norma.

#### 5.1 Universum museo de las ciencias de la UNAM

En un entorno de más de 10 hectáreas de zona de Reserva ecológica del Pedregal de San Ángel y áreas jardineadas, Universum cuenta con 25,000 m<sup>2</sup> construidos de los cuales 12,000 m<sup>2</sup> están destinados a exposiciones permanentes. El museo tiene abiertas sus puertas al público de martes a viernes desde las 9 am hasta las 6 pm y fines de semana de 10 am a 6 pm. Se encuentra abierto al público prácticamente todo el año excepto lunes y días festivos. En lo que respecta a sus oficinas trabajan diariamente con el mismo horario del museo pero tienen 6 semanas de vacaciones a lo largo del año.

Se encuentra ubicado en la Ciudad de México dentro del campus de Ciudad Universitaria de la UNAM como se puede ver en la imagen 5.1.

## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio



Imagen 5.1) Ubicación del museo Universum dentro de CU

Fuente) Google Maps

El total del territorio se divide como se muestra en la imagen 5.2. Consiste en un museo, estacionamiento, la casita de las ciencias y áreas verdes. El museo se divide en 4 edificios los cuales se identificaron como A, B, C y D cada uno con 4 niveles contando la planta baja, estos edificios en su mayor parte son utilizados como áreas de exhibición pero también se encuentran muchas oficinas y servicios. La casita de las ciencias cuenta con dos niveles contando la planta baja y se usa principalmente como oficinas y algunas aulas.

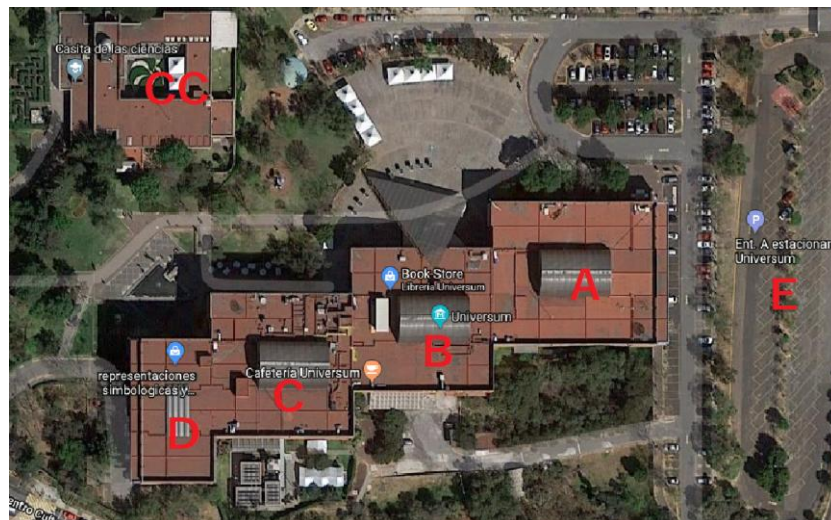


Imagen 5.2) Mapa de Universum

Fuente) Google Maps





## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

---

Una vez definida la ubicación del lugar y nomenclatura a utilizar durante el análisis se puede comenzar con el desglose de información y datos numéricos.

### 5.2 Análisis de medición

Desde el año 2011 se instaló en Universum un equipo de medición llamado "E-Mon IDR Interval Data Recorders" el cual registra la demanda máxima y consumo eléctrico en todo el museo cada 15 minutos a lo largo de todo el día todos los días del año.

Los datos se agrupan (por conveniencia) en meses, si se suma el consumo de cada día durante un mes se obtiene el total de consumo eléctrico en ese mes, ese proceso se repitió para cada mes en un año y luego se calculó un promedio de consumo eléctrico entre los 12 meses del año, este es el resultado que se observa en la gráfica 5.1.

En el caso de la demanda lo que nos interesa es la demanda máxima promedio mensual, como el equipo de medición muestra la demanda máxima de cada mes, lo que se realizó fue obtener un promedio de las demandas máximas de los 12 meses del año, este resultado se puede observar en la gráfica 5.2.

Este procedimiento resultaría trivial si no hubiera interrupciones en el registro de los datos del equipo, pero sabemos que los dispositivos tienen fallas y el mantenimiento del mismo muchas veces no es el adecuado, por lo tanto existen días del año donde no se tienen registros de consumo, esto presentó una gran dificultad para el análisis y para la solución de este problema se utilizaron métodos estadísticos basados en los datos reales que se tienen del equipo de medición.

Durante el proceso de análisis de datos se observaron ciertas tendencias que se mantenían en el consumo eléctrico del museo, por estas tendencias las aprovechamos para "suponer" el consumo eléctrico de ciertos días donde no se tenían datos registrados por el equipo de medición. Para este análisis se consideraron también los factores que afectan el consumo eléctrico como días de asueto, vacaciones y fines de semana.

Para ser más claros con la explicación se presentará un ejemplo real del proceso: En alguna ocasión se tenían registros de consumo eléctrico de 21 días en un mes, por lo tanto se tenían registro de al menos 3 semanas completas, eso nos permitió "suponer" cada día de la semana faltante sacando un promedio del consumo eléctrico que se presentó en el mismo día de las 3 semanas con datos reales. Este procedimiento se consideró válido porque las gráficas de consumo de cada semana son muy similares, solo fue cuestión de tomar en cuenta los días de asueto cuando estos influían.



## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

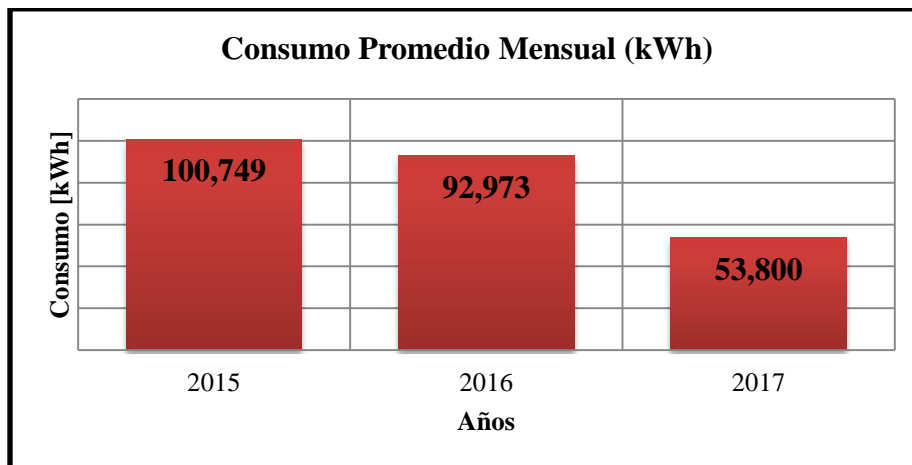
Para los meses del año donde el equipo de medición registraba menos de 15 días (es decir dos semanas completas), ese mes no se consideraba para el promedio mensual de consumo eléctrico de ese año. En el caso de la demanda máxima es distinto ya que ese valor no es acumulativo por días, sino que cada día tiene su propia demanda máxima y para saber la de todo el mes no es necesario sumar las de cada día, entonces es probable que el valor de demanda máxima mostrada alguno de los días registrados fuera efectivamente el valor máximo del mes, o al menos no tan distinto al que hubiera sido si se tuvieran todos los días registrados.

Para este análisis se tomaron únicamente los datos registrados desde 2015 hasta 2017 en cuestión de consumo eléctrico y demanda máxima para analizar la variación en este periodo.

De la gráfica 5.1 se pueden observar algunas características importantes que serán descritas a continuación.

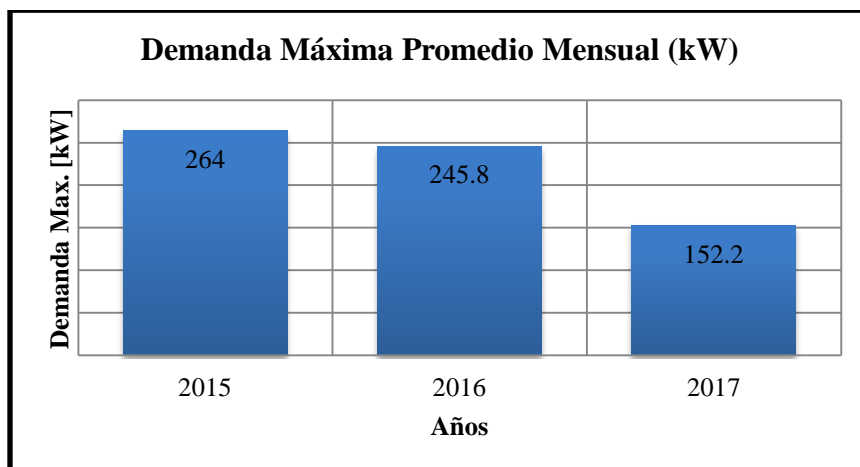
De 2015 a 2016 se tiene una disminución en el consumo eléctrico de aproximadamente 7,776 kWh cada mes, lo cual representa una caída del 7.72% en el consumo eléctrico mensual. De 2016 a 2017 se tiene una disminución en el consumo eléctrico de aproximadamente 39,173 kWh cada mes, lo cual representa una disminución del 42.13%.

Entonces en el transcurso de 2 años, el consumo eléctrico total del museo disminuyó aproximadamente un 46.6%, lo cual se debe en gran parte a la sustitución de luminarias que se ha realizado paulatinamente en el museo ya que al tratarse de un lugar donde la apreciación de exhibiciones es la actividad principal resultaría lógico pensar que las cargas de iluminación ocupan un porcentaje importante en la matriz de consumo.



Gráfica 5.1) Comportamiento del consumo promedio mensual

Fuente: Registro de cargas de iluminación, Excel



Gráfica 5.2) Comportamiento del demanda máxima promedio mensual

Fuente: Registro de cargas de iluminación, Excel

### 5.3 Resultados del levantamiento de cargas de iluminación

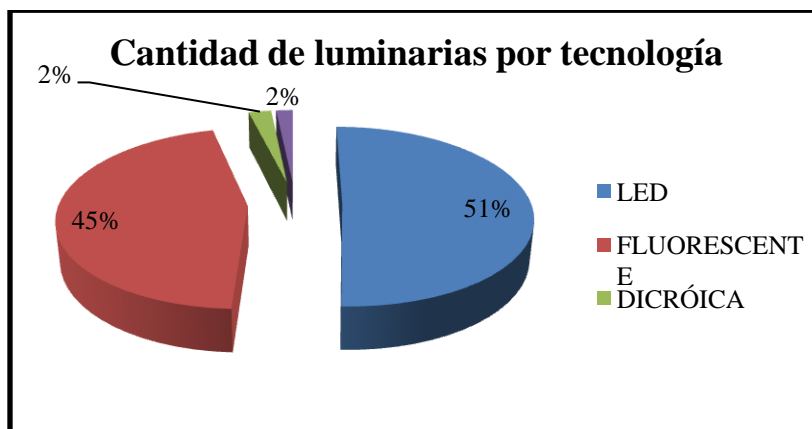
La siguiente sección del proyecto consiste en el levantamiento de cargas ya que se debe hacer un registro de los equipos conectados y entrevistar a los usuarios de los mismos para saber las horas del día que se utilizan, este levantamiento puede realizarse de todas las cargas eléctricas conectadas o solamente de cierto tipo de cargas.

En este caso se realizó solo para cargas de iluminación ya que este tipo de cargas serían las más importantes para un museo.

Un dato importante de este análisis es que el levantamiento de cargas se realizó durante aproximadamente un año, en su mayor parte durante el año 2016 y una pequeña parte de 2017. Para ser más precisos, las primeras encuestas se realizaron el 31 de mayo del 2016 y las últimas se realizaron el 22 de marzo del 2017. Entonces se establece como año base el 2016.

Al momento del levantamiento de cargas se obtuvo, como se observa en la gráfica 5.3, que en la distribución de tecnologías de iluminación predomina por poco margen la tecnología LED, seguido por las lámparas fluorescentes y por último las tecnologías de lámparas dicroicas e incandescentes.

## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

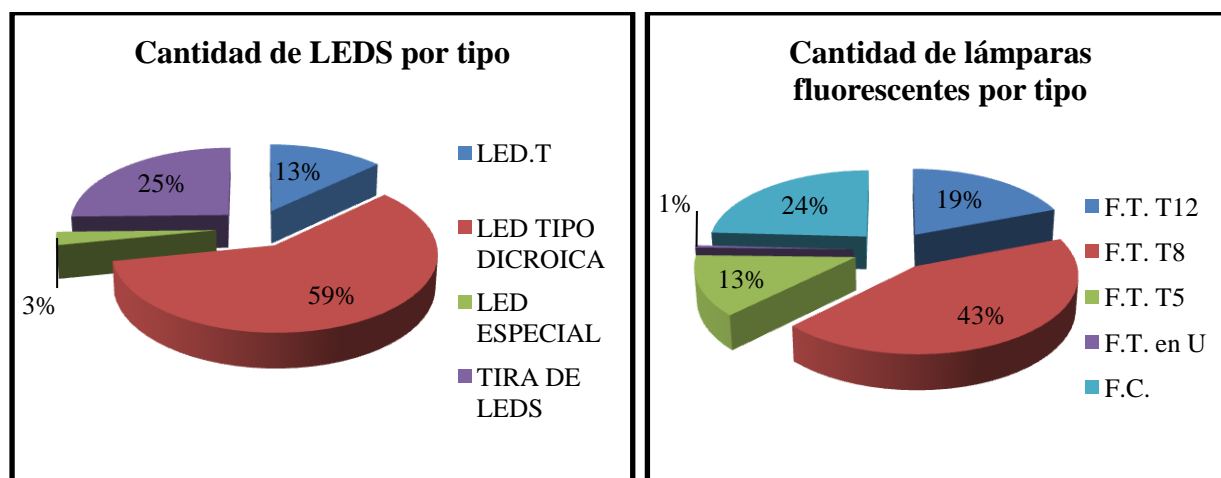


Gráfica 5.3) Cantidad de luminarias por tecnología (sin contar tira de LEDs)

Fuente: Registro de cargas de iluminación, Excel

En la gráfica 5.4 se observa que en la tecnología de iluminación LED predominan las lámparas tipo dicróica, esto se debe principalmente a que estas se utilizan en las salas de exhibición del museo ya que sus características permiten ser instaladas de manera que la luz que emiten sea focalizada hacia un cierto punto que se desea resaltar.

También se observa en la gráfica 5.4 que para la tecnología de iluminación fluorescente predominan las lámparas tubulares T8, dentro del museo estas lámparas se localizan principalmente en pasillos y oficinas, resultan convenientes porque emiten una luz uniforme.



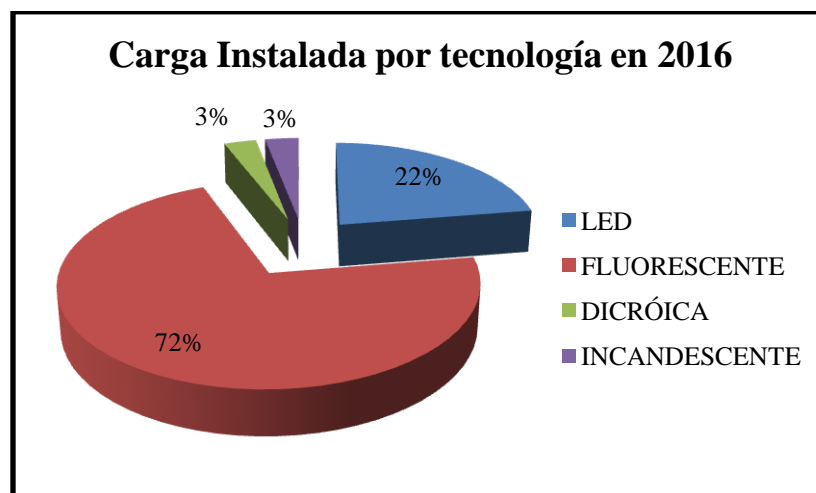
Gráfica 5.4) Distribución de luminarias LED y fluorescentes

Fuente: Registro de cargas de iluminación, Excel

## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

De acuerdo al levantamiento de cargas de iluminación realizado, la capacidad instalada de la tecnología fluorescente es la más importante en la matriz energética del museo (ver gráfica 5.5), esto se atribuye al hecho de que las lámparas fluorescentes generalmente tienen una mayor potencia nominal que las lámparas de tecnología LED.

Se tiene entonces un dato interesante, con menos cantidad de luminarias fluorescentes se tiene más capacidad instalada en la tecnología mencionada y el resto de tecnologías de iluminación (incandescentes y dicróicas) aportan muy poco a la carga instalada total por iluminación. De esto se puede deducir que los esfuerzos de eficiencia energética deben ir enfocados (por el momento) en la sustitución de tecnología fluorescente por tecnología LED.



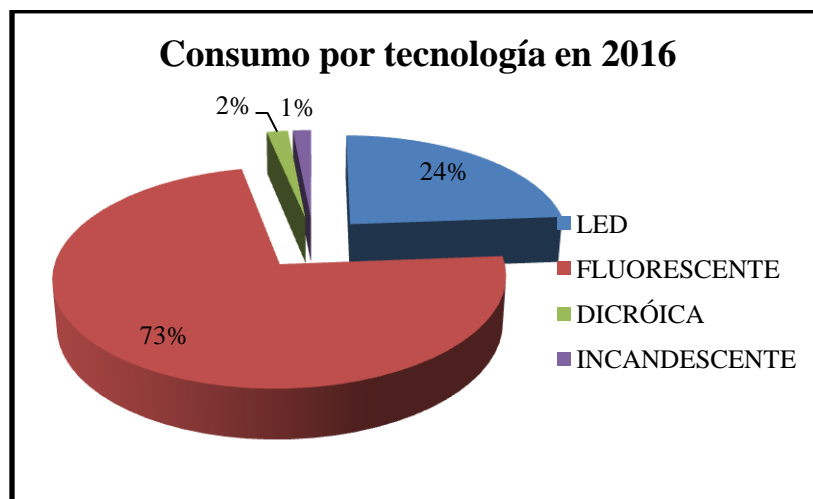
Gráfica 5.5) Carga instalada por tecnología en 2016

Fuente: Registro de cargas de iluminación, Excel

Si se observa la gráfica 5.6 es fácil darse cuenta que los porcentajes se parecen a los de la gráfica 5.5, como se mencionó anteriormente, la tecnología fluorescente es utilizada principalmente en pasillos y oficinas, mientras que la tecnología LED es utilizada principalmente en salas de exhibición; estos recintos son los que más se utilizan dentro del museo y tienen prácticamente el mismo horario de uso. Tomando en cuenta que para calcular el consumo se multiplica la capacidad instalada por sus horas de uso, entonces encontramos la razón del parecido entre las dos gráficas; los valores obtenidos de consumo son los de capacidad instalada multiplicados por prácticamente las mismas horas de uso (en el caso de la tecnología LED y fluorescente).

## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

Es de resaltar el bajo consumo que se tiene por parte de la tecnología de iluminación LED (ver gráfica 5.6) si se toma en cuenta la cantidad de luminarias que se tienen instaladas. (ver gráfica 5.3)



Gráfica 5.6) Consumo eléctrico por tecnología en 2016

Fuente: Registro de cargas de iluminación, Excel

Realizando un pequeño resumen de los datos más importantes obtenidos en esta sección del documento se tiene lo siguiente:

- El consumo eléctrico que se tiene por la tecnología LED es del 24% con respecto al consumo eléctrico de iluminación en el museo.
- De acuerdo a los datos del equipo de medición, se tuvo una disminución de 46.6% en el consumo total del museo en el transcurso de 2 años (de 2015 a 2017).
- De las tecnologías de iluminación en 2016, la tecnología LED tipo dicróica y la fluorescente tubular T8 son las más utilizadas; la primera porque se encuentra en salas de exhibición y la segunda porque se encuentra en pasillos y oficinas.

Estos datos resultan importantes porque en base a ellos se toman las medidas correspondientes de eficiencia energética, pero también se tienen parámetros ya establecidos por normas que nos orientan para saber si un recinto está en valores aceptables de eficiencia o no; uno de estos parámetros es la "Densidad de potencia eléctrica en alumbrado".



## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

### 5.4 Densidad de potencia eléctrica en alumbrado (DPEA)

La NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para Sistemas de alumbrado en edificios no residenciales tiene una sección importante donde pretende establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) con que deben cumplir los Sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes; con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica y contribuir a la preservación de recursos energéticos y la ecología de la nación. (Fuente: Diario Oficial de la Federación)

Para el caso de análisis se puede determinar si los recintos cumplen con esta norma, para esto necesitamos hacer el cálculo del DPEA en los diferentes usos finales y compararlos con los valores que la norma dice que no deben superar. El DPEA se expresa en W/m<sup>2</sup> y se calcula con la siguiente expresión:

$$DPEA = \frac{\text{Carga conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}}$$

De acuerdo a la expresión anterior y analizando los valores máximos que permite la norma localizados en el Anexo 1, se crea la tabla 5.1 de resultados.

Tipo de espacio específico	DPEA (W/m <sup>2</sup> )	¿Cumple con la norma?
Área de casilleros	11.87	No
Área de lectura (biblioteca)	7.58	Si
Asientos auditorio	4.905	Si
Aulas	8.15	Si
Bodegas	10.93	No
Escaleras	3.41	Si
Estantes de biblioteca	7.58	Si
Laboratorio escolar	3.62	Si
Oficina cerrada	7.88	Si
Pasillos	6.17	Si
Preparación de comida	9.44	Si
Restaurante	18.07	No
Salas de exhibición (museos)	4.97	Si
Salas de juntas	6.72	Si
Teatro sección de vestidores (camerinos)	85.04	No
Sanitarios	15.85	No
Talleres	5.19	Si
Teatro sección asientos	5.56	Si

Tabla 5.1) Valores de DPEA en los recintos del museo

Fuente: Elaboración propia



## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

---

Aproximadamente el 72% de los recintos evaluados sí cumplen con lo establecido en la NOM-007-ENER-2014, lo cual resulta un porcentaje aceptable, pero en el caso de los recintos que no cumplen con esta norma se tienen áreas de oportunidad que una vez detectadas deben ser atacadas con medidas de eficiencia.

El DPEA del museo en total es de  $6.657 \text{ W/m}^2$  y la norma establece que el máximo nivel de DPEA en un museo es de  $17 \text{ W/m}^2$  (ver anexo 1) por lo tanto sí cumple con la norma el museo completo. Esto es una buena señal para evaluar la eficiencia de un edificio y en este caso el museo muestra buenos resultados.

Es importante mencionar que el DPEA no es el único parámetro para saber donde existen áreas de oportunidad, también existe la NOM-025-STPS-2008 que evalúa los niveles de iluminación en diferentes recintos (oficinas, pasillos, aulas, escaleras, bodegas, entre otros), la norma menciona los niveles mínimos óptimos de luxes (ver definición de "iluminancia" en capítulo 2.1) para el buen desempeño de las actividades que ahí se realizan.

### 5.5 Resultados finales de análisis

Esta sección del tercer capítulo es la más importante ya que se muestran los resultados de consumo y demanda energética basándose la información que se tiene de sustituciones de lámparas hechas y por hacer en el museo. Se comparan las suposiciones hechas por el autor con los datos de medición obtenidos y se sacan conclusiones a partir de esto. Primero se debe establecer un año base y para este caso será el 2016 ya que la mayoría de datos del levantamiento de cargas de iluminación son de ese año.

#### 5.5.1 Transición de luminarias de 2015 a 2016

Se sabe que para el 2016 (momento en que inicia el levantamiento de cargas) ya se habían comenzado a sustituir luminarias por tecnología más eficiente. Para ser más específico, se considera que en 2015 aún se tenían en salas de exhibición y distribuidas a lo largo del museo lámparas dicroicas de 35 W y 50 W. Se tomó la decisión de cambiar estas lámparas por tecnología LED tipo dicroicas las cuales se encuentran en el mercado de varias potencias que van desde los 0.5 W hasta los 16 W.

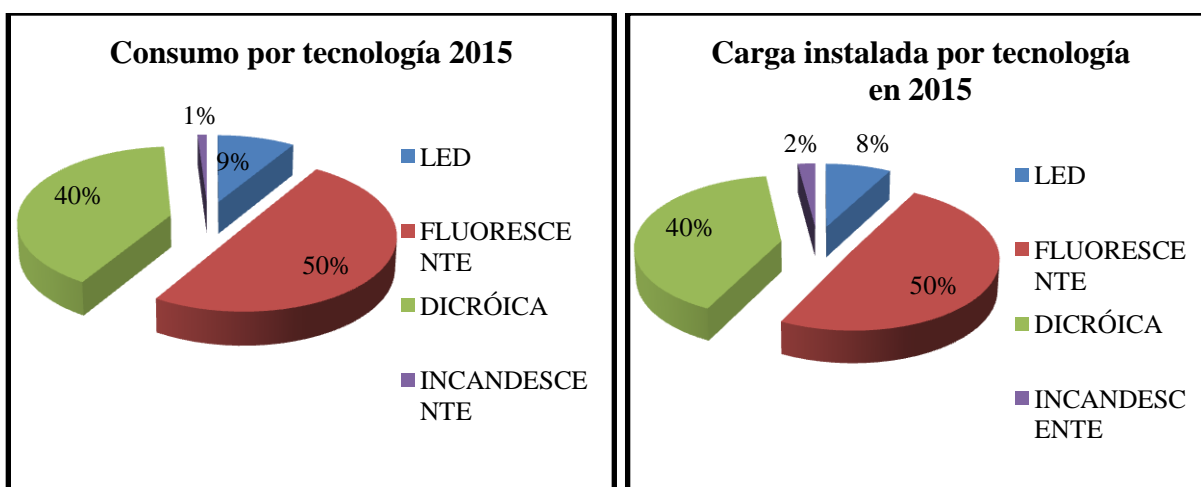
De acuerdo a los niveles de iluminación que se tienen con las lámparas dicroicas de 35 W y tomando en cuenta que se encontraban instaladas focalizando su iluminación en exhibiciones del



## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

museo, se considera que estas fueron sustituidas en su mayoría por LEDS compactas que van de 0.5 W hasta 6 W. Para el caso de las lámparas dicróicas de 50 W se considera que se sustituyeron por lámparas LED compactas que van de 7 W hasta 16 W.

Tomando las consideraciones anteriores, se tiene que para 2015 las lámparas dicróicas en consumo y demanda abarcaban poco más del 40% (ver gráfica 5.7), lo que para 2016 cambió a abarcar el 2% en consumo y 3% en carga instalada como se observa en las gráficas 5.5 y 5.6. Estos datos del levantamiento de cargas de 2016 sustentan la teoría de que en el transcurso de ese año se hizo una sustitución de lámparas dicróicas por tecnología LED.



Gráfica 5.7) Consumo y potencia instalada por tecnología en 2015

Fuente) Registro de cargas de iluminación, Excel

El dato más importante aquí es que en el transcurso de un año se logró una disminución en el consumo eléctrico por iluminación de 31% tan solo considerando las sustituciones en tecnología de iluminación propuestas, es decir que en un año se redujo el consumo eléctrico por iluminación casi una tercera parte. Esto nos permite comprobar que una de las acciones de eficiencia energética que se han llevado a cabo ha tenido resultados importantes en cuestión de ahorro energético y económico.

Al comparar estos datos de iluminación con los datos obtenidos del sistema de medición se tiene que el porcentaje del consumo total aportado por la iluminación en el año 2015 era de 35%.



## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

### 5.5.2 Transición de luminarias de 2016 a 2017

Según los datos del equipo de medición la caída tan marcada en consumo eléctrico se da en este punto (entre 2016 y 2017), se tiene una reducción de aproximadamente 42.13% como se puede observar en las gráficas 5.1 y 5.2.

Lo que se propuso es que en el transcurso de ese año se cambiaron todas las lámparas fluorescentes T12 y T8 por lámparas LED tubulares de diferentes potencias y medidas, la tabla 5.2 fue la base en la que se sustentó la sustitución de lámparas.

En la primera columna se encuentra el ancho del tubo de la lámpara fluorescente que será sustituida; en la segunda columna se encuentra la potencia nominal de la lámpara fluorescente; para la tercera columna se tiene la potencia de la lámpara de tecnología LED que se colocará en sustitución de las lámparas fluorescentes de la columna dos; para la cuarta columna se tienen las medidas de estas lámparas tubulares, es importante mencionar que en estas medidas se basa principalmente la sustitución propuesta de 2016 a 2017.

	<b>F.T.</b>	<b>LED.T</b>	<b>Medida</b>
T12	21 W	17 W	60 cm
T8	17 W		
T8	30 W	15 W	90 cm
T12	39 W	18 W	122 cm
T12	30 W		
T12	34 W		
T8	32 W		
T12	60 W	36 W	244 cm
T12	75 W		
T12	110 W		
T8	59 W		

Tabla 5.2) Equivalencia de medidas y potencias entre LFT y LED tubulares

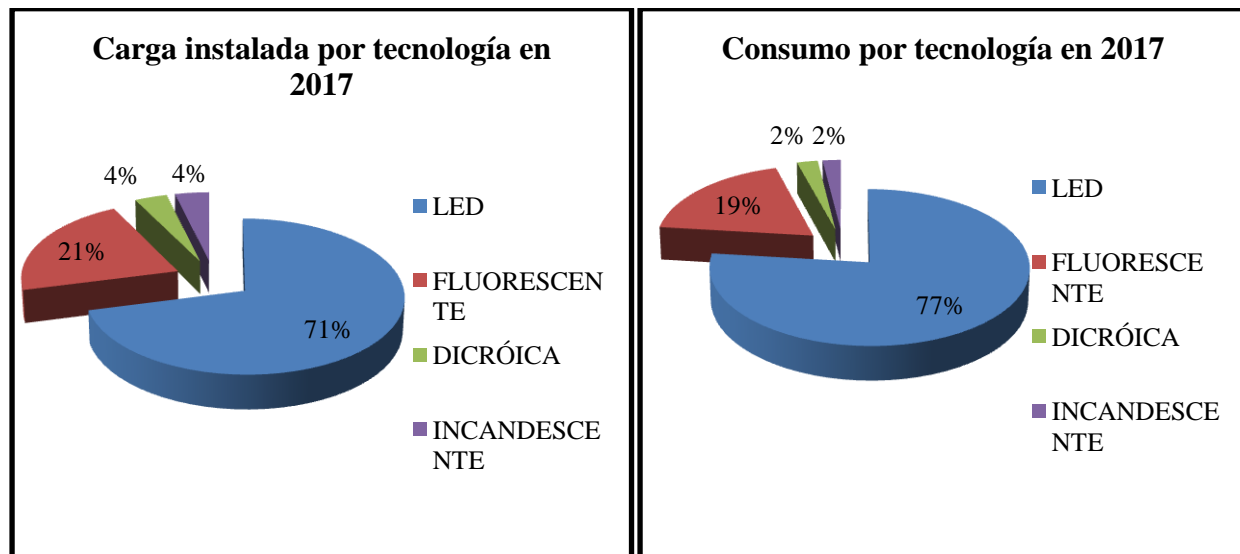
Fuente: Elaboración propia

Basándose en los datos de la tabla 5.2 se hizo la simulación de la sustitución de luminarias y al final se obtuvo una matriz de consumo y demanda como las de la gráfica 5.8.

## Capítulo 5.- Análisis energético del caso de estudio

Suponiendo que estas sustituciones se realizaron tal cual las propusimos, durante el año 2016 se tuvo una reducción en el consumo eléctrico por iluminación del 23%, lo cual resulta que para el 2017 el consumo eléctrico ha disminuido casi en una cuarta parte con respecto al de 2016.

En este caso, la tecnología de iluminación LED prácticamente ha ocupado tres cuartas partes del consumo total por iluminación. De acuerdo a los datos recabados por el equipo de medición y a la sustitución propuesta, el consumo total por iluminación sigue abarcando el 35% del consumo total del museo en 2017.



Gráfica 5.8) Consumo y potencia instalada por tecnología en 2017

Fuente) Registro de cargas de iluminación, Excel

Entonces la disminución que se registró en el consumo por parte del equipo de medición se ve explicada parcialmente por las sustituciones realizadas en tecnologías de iluminación, la parte que no se explica por estas sustituciones puede ser por diversos factores fuera de nuestro alcance.

El paso natural siguiente para lograr un ahorro energético y económico es el cálculo de un sistema de autoabastecimiento que resulte posible en términos de espacio y economía. Es lo que se tratará de hacer en el siguiente capítulo.



### Capítulo 6.- Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

Después de evaluar la eficiencia del sistema de iluminación del museo y obtener sus datos de consumo eléctrico promedio, el siguiente paso natural en un proyecto de este ámbito es proponer una idea de autoabastecimiento de la demanda a través de generación renovable. En este capítulo se diseñará una instalación fotovoltaica utilizando únicamente el techo del museo como área. El diseño implica la búsqueda de equipos confiables, a precios razonables para que el costo de inversión sea razonable y se hará un análisis económico para saber si es rentable una inversión.

En este capítulo se analizarán las ventajas y desventajas de invertir en una instalación de este tipo y se planteará todo un proyecto con datos reales, costos actualizados de los materiales además de medir la tasa de retorno y posibles ganancias económicas durante la vida útil del sistema fotovoltaico.

#### 6.1 Potencial energético en el sitio de la instalación

Un proyecto de esta naturaleza no puede simplemente ponerse donde sea sin antes evaluar que en ese punto el nivel de radiación sea considerablemente alto. Para evaluar el potencial de energía solar disponible en un sitio, es necesario saber el promedio de irradiancia que recibe en el año.

El "Universum" se encuentra en las coordenadas 19°18'41.0" Norte 99°10'50.3" Oeste y el Instituto de Geofísica de la UNAM lleva un registro de las HPS promedio mensuales el cual se realiza con mediciones hechas desde el año 1957 (se trata de la gráfica 4.2 de este documento).

Como se puede observar en la gráfica el potencial solar es considerablemente alto, si bien no llega a los valores que se tendrían en el noroeste del país, se tiene una gran disposición de este recurso para tratarse de una ciudad en el centro del país.

En una instalación fotovoltaica se busca que la luz del sol apunte directamente a la cara de los módulos el mayor tiempo posible durante el día. Para esto se puede observar la imagen 6.1, en esta se muestra que el ángulo más apropiado de un módulo es el mismo de la latitud del lugar de la instalación, en esta posición aprovechará al máximo los rayos del sol incidentes. (*Fuente: Referencia 5*)

Con la base teórica antes mencionada, se puede definir que el ángulo de inclinación de nuestra instalación será de 19° ya que a esta latitud se encuentra la Ciudad de México.

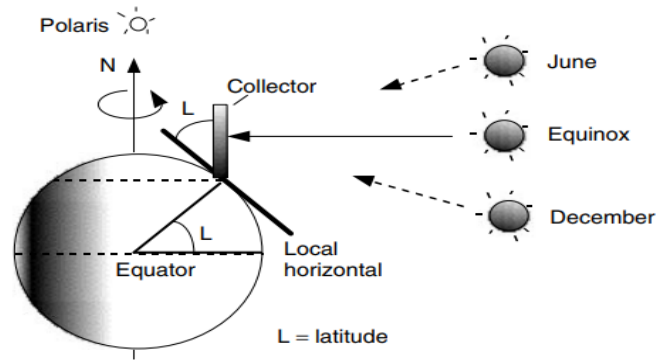


Imagen 6.1) *Inclinación ideal del colector solar*

Fuente) Referencia 5

## 6.2 Propuesta de la planta

Se sabe por los conceptos de solarimetría que las filas de paneles deben tener una separación mínima la cual depende de la sombra que da el sol el 21 de diciembre ya que es cuando está más inclinado.

La expresión que se utiliza para calcular esta distancia se puede observar en la imagen 4.5 de este documento.

$$d_{min} = b \frac{\sin(\gamma + \beta)}{\sin(\gamma)}$$

donde:

b: Altura del panel colocado verticalmente (1.6 [m])

$\gamma$ :  $90^\circ - \beta$  - Angulo de inclinación de la Tierra

Angulo de inclinación de la Tierra= $23.5^\circ$

$\beta$ : Angulo de inclinación del panel ( $21.6^\circ$ )

Entonces, tenemos que la distancia mínima entre filas de paneles será:





## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

una cantidad de espacio que se dejará libre para los inversores. El desglose de paneles se muestra en la tabla 6.1.

EDIFICIO	Distancia Este-Oeste [m]	Distancia Norte-Sur [m]	Numero de paneles	Resta de paneles del Domo	Paneles Totales
A	49	40	980	-320	697
B	41	40	820	-320	537
C	42	40	840	-320	557
D	24	40	480	-80	409
<b>TOTAL</b>					2080

Tabla 6.1) Desglose del número de paneles por edificio

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta una reducción más del número de paneles debido a posibles espacios con sombra o espacios donde no pueda colocarse un panel, se dejara la cantidad final de paneles a instalar en 2048.

### 6.2.1 Elección de paneles solares

Para la elección del panel se consideraron aspectos como la eficiencia, tamaño y su potencia nominal. Se buscó que fuera lo suficientemente potente para que no se compraran tantos pero con un precio accesible.

La opción que se encontró fue el panel solar de la marca Canadian Solar con una potencia de 255 [W] "Canadian Solar CS6P-255M, 255 Watt Solar Panel", su hoja de especificaciones se encuentra en el Anexo 3.

En la gráfica 6.1 se puede observar el comportamiento de la corriente y el voltaje cuando los parámetros de temperatura y de irradiancia están variando en la zona de la instalación.

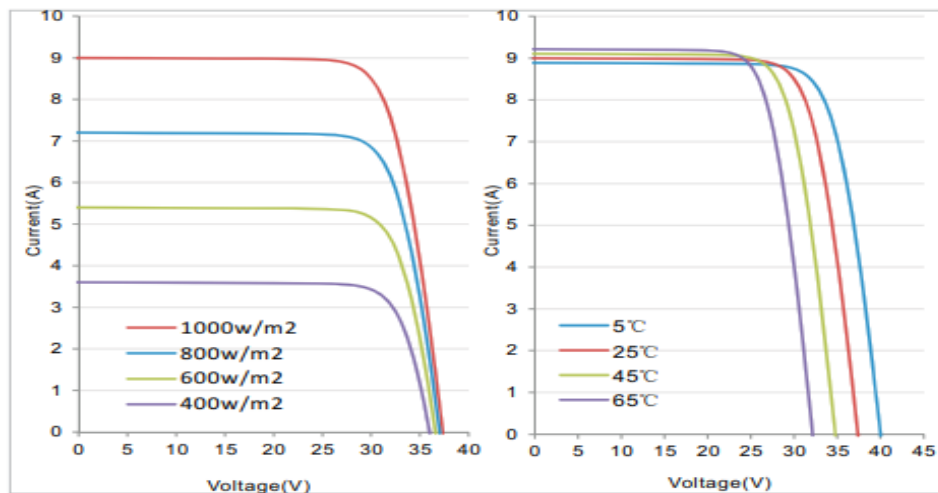
Explicando brevemente, la gráfica de la izquierda nos muestra el comportamiento de la corriente de salida del módulo fotovoltaico dependiendo la irradiancia que recibe, es decir, cuando el día

## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

está despejado se tiene una irradiancia alta se obtendrá una corriente de salida cercana a la nominal, en cambio cuando el día está nublado (irradiancia baja), la corriente de salida estará muy por debajo de su valor nominal.

Para la gráfica de la derecha se puede observar el comportamiento del voltaje de salida dependiendo de la temperatura del módulo, cuando la temperatura es alta el voltaje de salida estará debajo del nominal, pasa lo contrario cuando la temperatura es baja.

De estas gráficas podemos concluir que un módulo fotovoltaico tiene un funcionamiento más adecuado cuando el día está despejado y la temperatura es baja.



Grafica 6.1) Comportamiento de la corriente variando irradiancia y temperatura

Fuente: Datasheet de panel Canadian Solar

Las características más importantes a considerar de estos paneles para el diseño de la instalación son la eficiencia ( $\eta$ ), el voltaje en el punto de máxima potencia del módulo ( $V_{mp}$ ), la corriente en el punto de máxima potencia del módulo ( $I_{mp}$ ) y la temperatura de operación.

$$V_{mp} = 30.2 \text{ [V]}$$

$$I_{mp} = 8.43 \text{ [A]}$$

$$\eta = 15.85\%$$

Temperatura de Operación = -40 °C a 85 °C.





### 6.2.2 Cálculo y elección del inversor

Un inversor se encarga de transformar la corriente directa que entregan los módulos fotovoltaicos en una señal de corriente alterna de 60 [Hz] la cual puede ser utilizada en los dispositivos del edificio o ser mandada a la red eléctrica.

Para el caso de estudio se pensó en un inversor con alta capacidad debido a que la instalación será de 2048 módulos fotovoltaicos de 255 W cada uno, por lo tanto será un total de 522.24 kW. Para este caso se consideran factores como la eficiencia ( $\eta$ ), la potencia nominal ( $P_{nom}$ ), la corriente máxima de salida ( $I_{out}$ ), el voltaje de salida ( $V_{out}$ ), la corriente máxima de entrada ( $I_{max}$ ) y el voltaje máximo de entrada ( $V_{maxpp}$ ).

El inversor que se eligió fue el "SMA Sunny Tripower CORE1 50kW 480VAC TL Inverter STP50-US-40" (ver imagen 6.3). Sus características se encuentran a continuación y se puede ver su datasheet en el Anexo 4. Una de las características principales de este inversor es que tiene conectores para 12 circuitos , esto evita el uso de cajas conectoras en la instalación ya que el inversor cumple con su función de agrupar circuitos.



*Imagen 6.3) SMA Sunny Tripower CORE1 50kW 480VAC TL Inverter STP50-US-40  
Fuente: CIVIC SOLAR*

$\eta > 98\%$



## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

---

$$P_{nom} = 50 \text{ [kW]}$$

$$V_{out} = 480 \text{ [Vac]}$$

$$I_{out} = 64 \text{ [A]}$$

$$I_{max} = 120 \text{ [A]}$$

$$V_{maxpp} = 500 \text{ [V]}$$

### 6.2.3 Cálculo de módulos en serie y en paralelo

Con los datos anteriores se procede a calcular el arreglo de paneles solares que será conectado a cada inversor.

**Módulos en serie:**

$$\text{Módulos en serie} = \frac{V_{maxpp} \text{ del inversor}}{V_{mp} \text{ del módulo}}$$

$$\text{Módulos en serie} = \frac{500 \text{ [V]}}{30.2 \text{ [V]}} = 16.55 \text{ módulos por fila}$$

Este valor será redondeado a 16 módulos por fila.

**Módulos en paralelo:**

$$\text{Filas en paralelo} = \frac{I_{max} \text{ del inversor}}{I_{mp} \text{ del módulo}}$$

$$\text{Filas en paralelo} = \frac{120 \text{ [A]}}{8.43 \text{ [A]}} = 14.23 \text{ filas de módulos}$$

Para este caso se intenta aprovechar los 12 conectores con los que cuenta el inversor, por lo tanto la cantidad de filas de módulos por inversor será reducida a 12.

## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

---

Esto indica que se utilizarán un total de 11 inversores para abarcar la totalidad de módulos fotovoltaicos. Es importante mencionar que en uno de los 11 inversores serán colocados solo 128 módulos, acomodados en 8 filas de 16 módulos en serie. Así tenemos la totalidad de 2048 módulos en el sistema.

### 6.2.4 Estructuras de soporte

Las estructuras de soporte se eligen de acuerdo al tamaño de los módulos y al precio de cada pieza, un factor importante a considerar es la facilidad de ajuste de ángulo de inclinación de las estructuras.

Se eligió el sistema de montaje Sunrail de PV Accesorios, el cual está diseñado para facilitar la instalación de paneles solares sobre techos residenciales, comerciales, así como en estructuras industriales. Sus especificaciones de medidas se encuentran en el Anexo 5.

En este sistema de montaje (ver imagen 6.4) caben 2 módulos, por lo tanto solo se tendrán que conseguir 1024 sistemas de montaje.



*Imagen 6.4) Sistema de montaje SunRail de PVaccesorios  
Fuente: [www.bmásdigital.com](http://www.bmásdigital.com)*

### 6.2.5 Conductores y canalización a utilizar

#### Conductores

En esta sección se consideran 2 tipos de conductores, unos que son para conectar las filas de módulos a su inversor correspondiente en el caso donde la fila de módulos se encuentre alejada

## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

del mismo. En este caso se utilizan conductores capaces de soportar la corriente de diseño ( $I_d$ ) que se calcula a partir de la corriente de corto circuito.

Cada fila de paneles tiene una corriente de corto circuito máxima de 9 [A], este valor se multiplica por un factor de carga continua (1.25) por estar conectado más de 3 horas y un factor (1.25) por ser módulos fotovoltaicos.

$$I_d = I_{sc} \times 1.25 \times 1.25$$

$$I_d = 9 [A] \times 1.25 \times 1.25 = 14.04 [A]$$

Un conductor de 12" AWG será suficiente para conectar las filas de módulos a sus inversores correspondientes. En cuanto a la cantidad de metros, se propone que el inversor se coloca justo en medio de las 12 filas de módulos, esto no siempre será igual pero se utiliza para hacer un cálculo aproximado de la cantidad de metros de cable que se utilizarán.

Con base en el diagrama 6.1 obtenemos que se utilizarán aproximadamente 120 metros de conductor para cada inversor (considerando para conductor positivo y negativo), esto multiplicado por los 11 inversores que se tienen contemplados nos da un total de 1320 metros de cable 12" AWG.

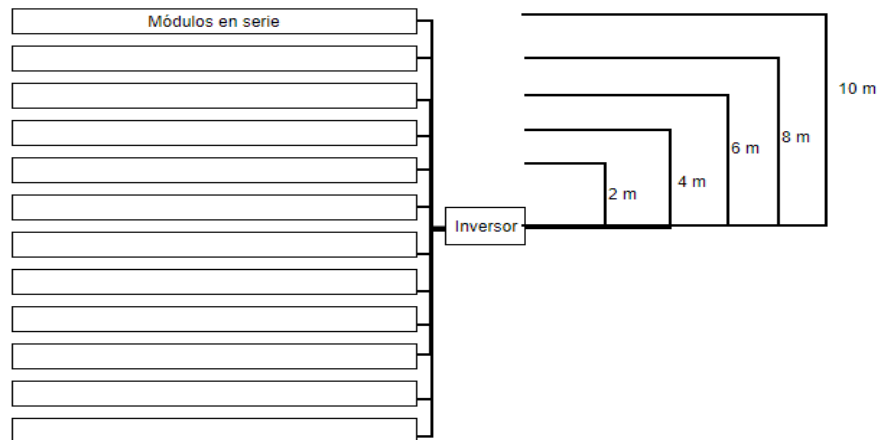


Diagrama 6.1) Distancia entre el inversor y las filas de módulos fotovoltaicos

Fuente) Elaboración propia



## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

---

Los otros conductores que se consideran en el sistema son los que van desde el inversor hasta la acometida del edificio, en este punto la energía toma su curso de ser necesario hacia el edificio o si no es requerida hacia la red eléctrica de CFE.

En este caso el inversor que se utilizará tiene una corriente de salida máxima de 64 [A] la cual se divide en sus tres fases de salida lo que provoca una corriente de 22 [A] aproximadamente sobre cada fase, por lo tanto conductores de 10 AWG serán suficientes para llevar la corriente desde los inversores hasta la acometida general.

Para este caso los metros el cálculo es más aproximado que el anterior ya que la altura del edificio será considerada de 20 metros, basándose en esta distancia que tendrá que bajar cada conductor de cada inversor (3 conductores por inversor) se tendrá un total de 60 metros por inversor, como se trata de 11 inversores, entonces serán 660 metros en total, pero considerando que aún llegando al nivel del suelo se tendrá cierta distancia a recorrer para llegar a la acometida, entonces se considerarán un total de 1000 metros de conductores 10 AWG.

### Canalización

La idea de la canalización es reducir las pérdidas por calor en los conductores y agrupar los mismos en tuberías para que así no se vuelva una instalación muy desordenada. En una misma tubería no se recomienda colocar más de 3 conductores.

En el caso de los conductores que bajan de los inversores a la acometida principal, son conductores de 10 AWG, los cuales tienen un área aproximada de 5.3 mm<sup>2</sup> y serán 33 los conductores que deben bajar, entonces se necesitarán al menos 11 tuberías.

En el caso de los conductores que van de las filas de módulos a los inversores el diámetro de los conductores es menor por lo tanto solo se colocarán 4 tuberías por inversor.

Se eligen tuberías conduit metálicas pesadas (RMC) con un tamaño comercial de 1/2 de pulgada y la cantidad de metros es la suma de varias secciones:

$$\text{Metros totales de tubería} = 4 [\text{tuberías}] \times \text{Num de inversores} \times 10 [m] + 11 [\text{tuberías}] \times 30 [m]$$

$$\text{Metros totales de tubería} = 770 [m]$$



### 6.3 Configuración final de la planta

Para la configuración eléctrica de la planta, se mostrarán los diagramas de conexiones a continuación por secciones para que sea más claro, primero el circuito que muestra la conexión de los módulos entre sí y con respecto al inversor y luego el circuito en general con todos los elementos que lo conforman.

#### Circuito para un inversor

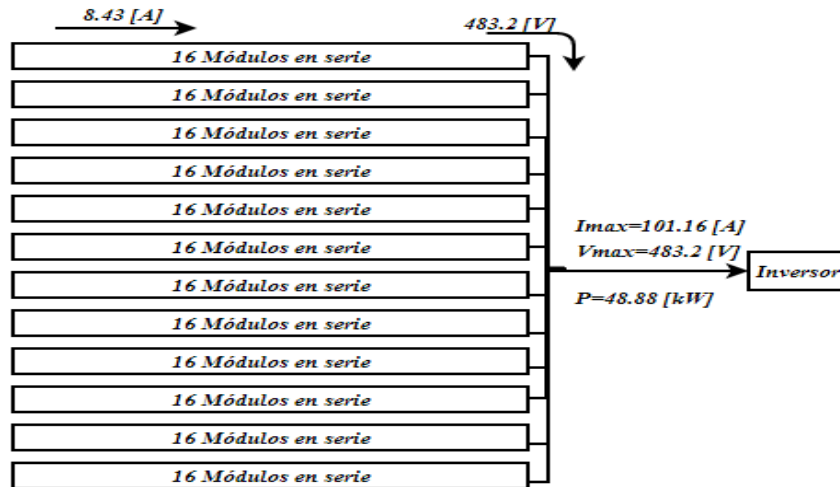
Primero el circuito 6.1 que corresponde al diagrama de los módulos conectados a 10 de los inversores se observa la corriente y el voltaje que salen de cada fila en serie de paneles. Después a la entrada del inversor se observa la magnitud total de corriente y la de voltaje que entrará.

En el circuito 6.1 se puede observar que hay 16 módulos conectados en serie por cada fila, esto produce al final de cada fila un voltaje total máximo de 483.2 [Vdc], ese mismo voltaje llegará a la entrada del inversor, lo mismo sucede para el caso del inversor 11, el voltaje que entra será el mismo ya que se tienen los mismos arreglos de paneles en serie (ver circuito 6.2).

Al tener 12 filas de módulos en serie, la corriente que llega al inversor es la suma de la corriente que va por cada una de esas filas, sabemos que de cada fila sale una corriente máxima de 8.43 [A], entonces al sumar las 12 filas paralelo se tendrá una corriente total máxima de 101.16 [A] a la entrada de los primeros 10 inversores. En el caso del inversor 11 (ver circuito 6.2) la corriente será solo de 67.44 [A] ya que se tienen únicamente 8 filas de arreglos en serie.

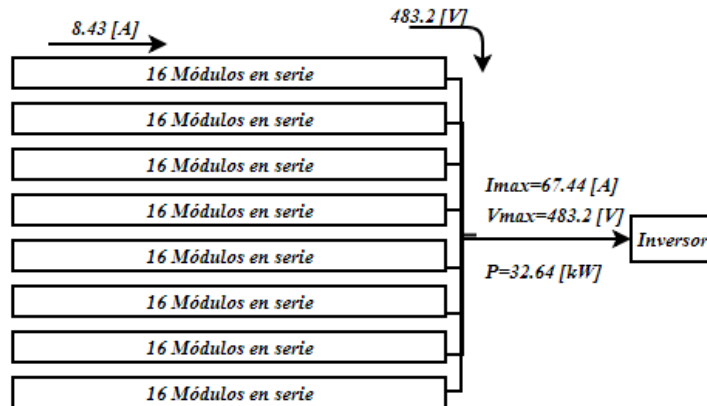
El inversor que se eligió tiene una capacidad de 50 kW, en este caso cada inversor tendrá una instalación de máximo 192 módulos de 255 W, por lo tanto la capacidad inversor soporta la potencia de entrada.

# Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red



Circuito 6.1) Diagrama de conexión de módulos a los primeros 10 inversores

Fuente) Elaboración propia



Circuito 6.2) Diagrama de conexión de módulos al inversor 11

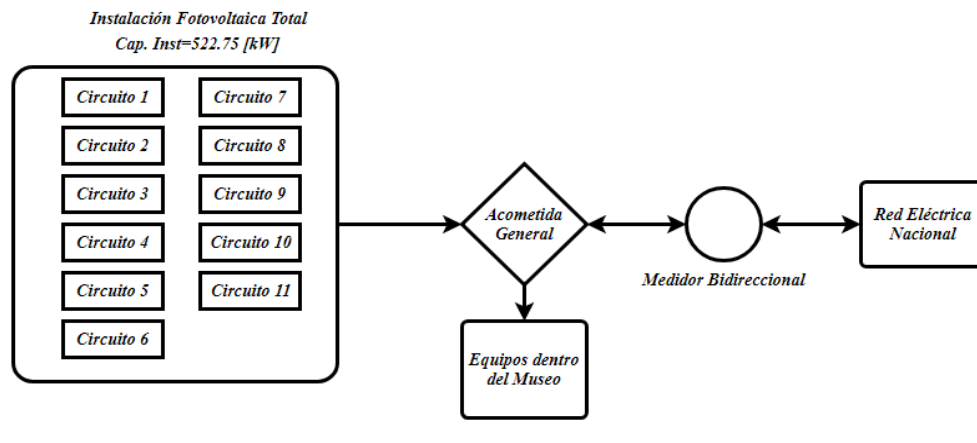
Fuente) Elaboración propia

## Circuito en general

En el circuito 6.3 se observa la conexión general del sistema comenzando por la instalación fotovoltaica total la cual entrega energía siempre que la produce, esta energía como se ve en el

## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

circuito 6.3 puede ser utilizada por los equipos del museo si es necesario o puede mandarse a la red eléctrica nacional y en ese caso será registrada por un medidor bidireccional para ser descontada en la tarifa eléctrica.



Circuito 6.3) Conexión del sistema en general

Fuente) Elaboración propia

Se puede percibir la estructura básica del sistema y su funcionamiento ya que las flechas indican la dirección que puede llevar la energía, durante el día cuando sobra energía se entrega a la red y durante la noche cuando se necesita se obtiene de la red.

### 6.4 Cálculo de generación de la planta

En esta sección del documento se evaluará la generación mensual de la instalación a partir de los datos de hora solar pico, de la capacidad instalada total, de la eficiencia de los módulos e inversores y considerando también diversas pérdidas.

Una vez evaluada la generación mensual, se tomarán los datos proporcionados por el sistema de medición en el 2017 vistos en el capítulo 3 para así sacar una diferencia de energía generada menos energía consumida y en el caso de que existan excedentes se tomará en cuenta para el análisis económico posterior.



## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red



Se hará una comparación del desempeño calculado por el autor y el desempeño calculado por el programa "RETScreen Expert" para así sacar un porcentaje de error.

### 6.4.1 Evaluación energética propia

Para esta evaluación se toman en cuenta diferentes factores que intervienen en el desempeño eléctrico de la planta de generación. Los más importantes se mencionan a continuación.

La hora pico solar (HPS) promedio mensual que se tiene en la gráfica 4.2 de este documento la proporciona el Instituto de Geofísica de la UNAM, pero los valores son medidos sobre una superficie horizontal, entonces por medio del programa "RETScreen Expert" se obtuvieron los valores de HPS sobre una superficie inclinada  $19^\circ$ , estos valores se pueden observar en la cuarta columna de la tabla del Anexo 6.

La capacidad instalada total del sistema que ya se mencionó serán 2048 módulos fotovoltaicos cada uno con una potencia de 255 [W], entonces la capacidad instalada total del sistema será de 522.24 [kW].

El consumo mensual que lo proporciona el equipo de medición conectado en la acometida general del museo (los datos presentados son del 2017). Estos datos de consumo son mensuales y pueden variar de acuerdo a los hábitos de consumo y a la eficiencia de los equipos. Dentro de los datos de consumo se tienen algunos meses donde el equipo de medición no registró todos los días, para esos casos se utilizaron métodos matemáticos y estadísticos para estimar el consumo total en ese mes.

Se consideran también pérdidas por diversos factores como la eficiencia del inversor (Eficiencia=98%), las pérdidas por temperatura de la celda, pérdidas por el polvo (4%) y pérdidas por acoplamiento de módulos (3%). (*Fuente: Referencia 5, página 531*)

El cálculo de las pérdidas por temperatura de las celdas se encuentra explicado en la sección 4.2 de este documento y los datos de temperatura promedio del aire cada mes se obtuvieron del programa "RETScreen Expert" basándose en la zona de la instalación. El NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) utilizado fue de  $45^\circ\text{C}$ , este se puede observar en la hoja de especificaciones del panel (Anexo 3).

Los resultados finales obtenidos anualmente se observan en la tabla 6.2 mientras que el desglose por meses se puede observar en el Anexo 6, cabe mencionar que el excedente de generación se calculó a partir de los datos de consumo eléctrico que se tienen registrados del museo.



Concepto	kWh
Generación Anual	828,356.1
Excedente Anual	182,756.8

Tabla 6.2) Generación y excedente de energía anual calculados por el autor

Fuente: Elaboración propia

Aquí se observa que si hay un excedente anual cuando se hace la resta de la generación promedio con el consumo en el 2017 del museo, aun considerando las pérdidas mencionadas anteriormente.

En la zona cultural de CU se encuentra una acometida de energía eléctrica la cual alimenta a varios edificios (entre ellos el museo "Universum"), entonces al proponer un proyecto de estas características es muy probable que cuando se esté generando un exceso de energía en la instalación, ésta se utilice por otra dependencia conectada en el mismo circuito. Por ende, toda la energía producida por el sistema fotovoltaico tendría un fin de autoabastecimiento.

Debido a que la instalación supera los 500 kW, el proyecto requiere un permiso por parte de la CRE<sup>7</sup> y se deberá cumplir con todos los requisitos y estudios que se indiquen, incluyendo los requisitos para la interconexión que solicita el CENACE. El procedimiento se describe brevemente en la página de internet de la CRE. (Fuente: <https://www.gob.mx/cre/articulos/preguntas-frecuentes-sobre-generacion-distribuida>)

### 6.4.2 Simulación energética del programa "RETScreen Expert"

El programa que se utilizó como parámetro para calcular el error tiene ciertos derechos de autor por lo cual solo se mostrarán imágenes de los datos introducidos y de los datos finales que arroja el sistema. Este programa permite que el usuario introduzca datos de HPS en una superficie horizontal, y con base en métodos matemáticos estima las HPS para una superficie inclinada cierto ángulo que el usuario proponga, en este caso fue para 19°.

La ubicación de la instalación se registró en el programa y puede observar en la imagen 6.5.

<sup>7</sup> Comisión Reguladora de Energía

# Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

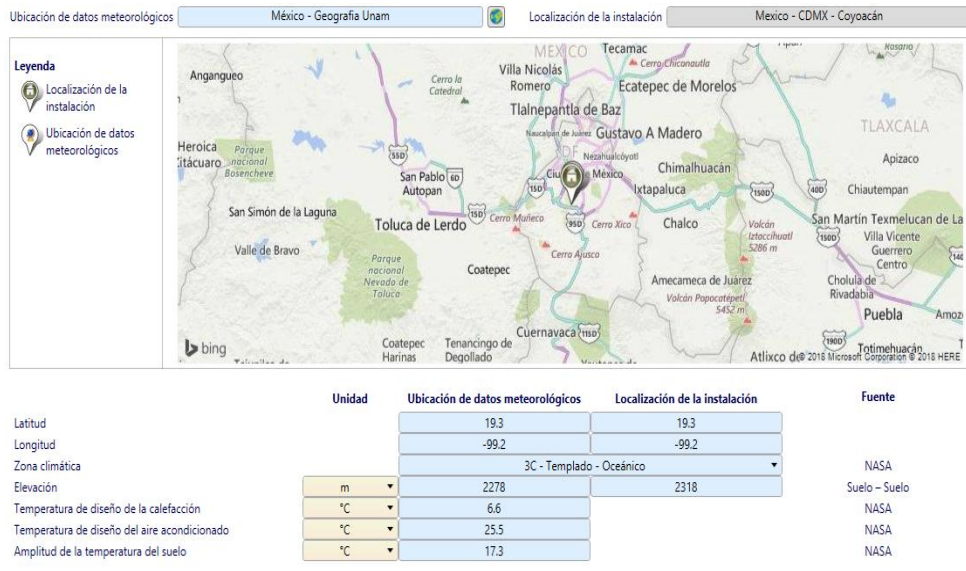


Imagen 6.5) Ubicación geográfica de la instalación

Fuente) Simulación RETScreen Expert

En la imagen 6.6 se observan los datos de temperatura del aire en el cuadro rojo (los cuales fueron utilizados para el análisis propio) y los datos de radiación solar en una superficie horizontal que se definieron a partir de la información del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Mes	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Precipitación mm	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Días-grado de calentamiento 18 °C °C-d	Días-grado de enfriamiento 10 °C °C-d
Enero	12.8	59.7%	18.03	4.60	81.2	3.1	14.9	161	87
Febrero	14.4	53.2%	16.08	5.40	81.1	3.3	17.4	101	123
Marzo	16.7	45.7%	21.30	6.00	81.0	3.6	20.8	40	208
Abril	18.9	46.9%	35.57	5.90	81.0	3.4	23.5	0	267
Mayo	19.5	55.2%	78.38	5.90	81.0	3.1	23.6	0	295
Junio	18.6	70.3%	146.01	5.20	81.0	2.9	21.0	0	258
Julio	18.0	69.0%	151.24	5.30	81.2	2.8	20.2	0	248
Agosto	18.1	68.6%	150.74	4.90	81.1	2.6	20.2	0	251
Setiembre	17.3	74.1%	167.07	4.50	81.0	2.4	19.1	21	219
Octubre	15.9	72.0%	90.20	4.40	81.1	2.6	17.7	65	183
Noviembre	14.4	67.6%	36.02	4.50	81.2	2.9	16.1	108	132
Diciembre	13.0	64.0%	13.19	4.30	81.2	2.9	14.7	155	93
<b>Anual</b>	<b>16.5</b>	<b>62.2%</b>	<b>923.83</b>	<b>5.07</b>	<b>81.1</b>	<b>3.0</b>	<b>19.1</b>	<b>651</b>	<b>2,363</b>
<b>Fuente</b>	NASA	NASA	NASA	Definido por el usuario	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

Imagen 6.6) Datos de la ubicación geográfica

Fuente) Simulación RETScreen Expert



## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

A continuación, como se observa en la imagen 6.7, se introducen los datos de los equipos a utilizar, aquí se registra al modelo y la marca del módulo fotovoltaico utilizado y automáticamente el programa muestra su eficiencia, además se introduce la eficiencia del inversor a utilizar, se le agregaron pérdidas del 7% debido a las mencionadas por polvo y acoplamiento de módulos. A partir de estos datos hace un cálculo de la energía generada.

Fotovoltaico		
Tipo		poliSi
Capacidad de generación eléctrica	kW	522.24
Fabricante		Canadian Solar
Modelo		poliSi - CS6P-255P
Número de unidades		2,048
Eficiencia	%	15.85%
Temperatura normal de operación de las celdas	°C	45
Coefficiente de temperatura	% / °C	0.4%
Área del colector solar	m <sup>2</sup>	3,295
Pérdidas varias	%	7%
Inversor		
Eficiencia	%	98%
Capacidad	kW	50
Pérdidas varias	%	0%
Resumen		
Factor de planta	%	19.1%

Imagen 6.7) Datos de los equipos a utilizar

Fuente) Simulación RETScreen Expert

Una vez introducidos los datos de los equipos, el programa pide la inclinación de los módulos fotovoltaicos, en este caso será de 19°. Los datos de radiación solar en superficie inclinada pueden observarse en la tercera columna (encerrada en color rojo) de la imagen 6.8, estos datos se utilizaron en el análisis energético propio.

En la última columna de la imagen 6.8 (encerrada en color azul) se pueden observar los resultados de generación eléctrica mensuales durante todo un año.

# Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red



Evaluación de recursos

Modo de rastreo solar: Fijado

Inclinación: 19

Azimut: 0

Mostrar datos

Mes	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Radiación solar diaria - inclinado kWh/m <sup>2</sup> /d	Tarifa de exportación de electricidad \$/kWh	Electricidad exportada a la red kWh
Enero	4.60	5.43	0.10	77,204.486
Febrero	5.40	6.10	0.10	77,365.018
Marzo	6.00	6.31	0.10	87,716.602
Abril	5.90	5.80	0.10	77,796.876
Mayo	5.90	5.54	0.10	76,941.164
Junio	5.20	4.81	0.10	65,327.962
Julio	5.30	4.94	0.10	69,458.917
Agosto	4.90	4.73	0.10	66,617.327
Setiembre	4.50	4.56	0.10	62,292.832
Octubre	4.40	4.75	0.10	67,205.605
Noviembre	4.50	5.26	0.10	71,974.882
Diciembre	4.30	5.15	0.10	73,250.697
<b>Anual</b>	<b>5.07</b>	<b>5.28</b>	<b>0.10</b>	<b>873,152.370</b>

Imagen 6.8) Resultados Energéticos durante un año

Fuente) Simulación RETScreen Expert

Entonces ya que tenemos los resultados del programa (tabla 6.3) y los calculados por el autor (tabla 6.2), procedemos a encontrar el porcentaje de error tomando como referencia el dato del programa "RETScreen Expert".

Concepto	kWh
<b>Generación Anual</b>	<b>873,152.37</b>

Tabla 6.3) Generación anual calculada por el programa RETScreen Expert

Fuente: Simulación RETScreen Expert

$$\%Error = \frac{|Gen. Anual RETScreen - Gen. Anual calculada|}{Gen. Anual RETScreen} \times 100\%$$

$$\%Error = \frac{|873,152.37 - 828,356.1|}{873,152.37} \times 100\% = 5.13\%$$

Como se ve en el cálculo el porcentaje de error aceptable y resultó que en el análisis energético hecho por el autor se tiene calculado menos generación eléctrica que en el programa

## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red



"RETScreen Expert"; entonces los datos obtenidos por el análisis del autor se consideran validados por una simulación de programa internacional.

### 6.5 Costos de inversión y mantenimiento de la planta

Para los costos de los materiales se hizo una exhaustiva búsqueda para encontrar los mejores precios y calidad de productos, en esta sección se presentará un resumen de los materiales que se ocuparán para la instalación (ver tabla 6.4), el cálculo de todos ellos se encuentra en secciones anteriores y las fuentes de los precios se encuentran en el Anexo 7 de este documento.<sup>8</sup>

COSTO DE INVERSIÓN			
Concepto	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Panel solar 255 W - Marca: Canadian Solar	2,048	\$4,554.30	\$9,327,206.40
Inversor 50 kW - Marca: SMA Sunny Tripower CORE1	11	\$112,214.00	\$1,234,354.00
Cable Solar - Calibre: 10 AWG - Marca:Soleil Wire - Rollo de 100m	10	\$2,700.00	\$27,000.00
Cable Solar - Calibre: 12 AWG - Marca:SouthWire - Rollo de 100m	14	\$3,200.00	\$44,800.00
Soporte para 2 paneles solares - Marca: PV Accessories	1,024	\$2,269.13	\$2,323,589.12
Tubería Conduit De Acero - Tamaño: 1/2'' - Medida pza: (3m)	260	\$66.00	\$17,160.00
Costo de Mano de Obra	1	\$500,000.00	\$500,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$13,474,109.52</b>

Tabla 6.4) Costos de inversión

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo 8 para link de precios)

El costo de mano de obra se calculó considerando que el trabajo se lleva a cabo por 5 ingenieros en un total de 2 semanas, por lo tanto cada ingeniero ganaría \$100,000 en un lapso de una quincena.

<sup>8</sup> En los precios mostrados no se encuentran tarifas de envío de equipos.  
1 UDS=19 MXN para algunos de los precios mostrados.

## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red



Esta inversión es una cantidad grande que posteriormente será evaluada para saber el tiempo de recuperación y saber que tan atractivo y viable es el proyecto.

Para el costo de mantenimiento, se consideran dos personas que estén revisando la instalación periódicamente, su trabajo consistirá en mantener limpios los paneles y atender cualquier inconveniente que se llegue a presentar durante la vida útil del sistema. (ver tabla 6.5)

COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
Nombre del puesto	Cantidad	Salario mensual unitario	Anual
Técnico electricista	1	\$7,000.00	\$84,000.00
Encargado de limpieza y mantenimiento	1	\$5,000.00	\$60,000.00
Materiales de mantenimiento (Estimado)	-	-	\$20,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$164,000.00</b>

Tabla 6.5) Costos de operación y mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Este costo será aplicado cada año de lo que dure la instalación y se considera que cada mes se deberá pagar una doceava parte del total anual. Este valor será utilizado para el desglose económico de cada mes en la siguiente sección.

### 6.6 Resultado económico de la operación

Para calcular el resultado económico de la instalación es necesario considerar diversos factores los cuales sumaran o restaran al flujo económico. Primeramente se debe aclarar que la instalación será utilizada únicamente para autoabastecimiento y tomando como referencia de ahorro la tarifa HM.

Es importante recordar que el procedimiento para esto se realiza en la CRE y se deben tomar en cuenta todos los requisitos que ahí se establecen para la instalación. En el caso de que se cumpla con todo lo anterior y se tenga un contrato de generación bien establecido, se procede a analizar la tarifa evitada por autoconsumo.

## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red



### 6.6.1 Costo medio ponderado

En el caso de Ciudad Universitaria no se tiene una tarifa eléctrica como tal, por lo tanto no hay un dato que diga cuanto se ahorrará en este rubro, pero para el caso de estudio se debe hacer una estimación. Para calcular este ahorro es necesario ubicar el museo "Universum" dentro de una tarifa eléctrica, así se calcula la cantidad de dinero que se paga por su consumo.

La tarifa que corresponde a un recinto con estas características es la tarifa HM, en esta tarifa se tienen tres costos diferentes, el costo base, intermedio y punta, estos dependen de la hora del día en que se tenga el consumo pero para este caso donde no se tiene definido con claridad la hora del día que será producida la energía se utiliza un término llamado Costo Medio Ponderado el cual consiste en un valor numérico que representa equitativamente los tres costos que tiene la energía en esta tarifa basándose en la cantidad de horas al día que tiene cada costo y se puede encontrar en la página del Sistema de Información y Estadística de la SENER. (Fuente: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions>)

En este caso se utiliza el Costo Medio Ponderado del año 2017 (ver tabla 6.6), el cual es un promedio de los 12 meses del año y el valor resultante es 1.7148 (\$/kWh).

Tarifa HM	
Intermedio (\$/kWh)	\$1.2229
Base (\$/kWh)	\$1.0223
Punta (\$/kWh)	\$2.3763
Costo medio ponderado (\$/kWh)	\$1.7148

Tabla 6.6) Tarifa eléctrica HM y Costo medio ponderado

Fuente: CFE

Un aspecto importante es que la tarifa HM será calculada de manera distinta para los próximos años por modificaciones de la Reforma Energética.

### 6.6.2 Desglose de energía, costos y ganancias





## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red

En esta sección es necesario trasladarse al Anexo 8 para observar detalladamente el desglose de dinero mensual que se maneja. Los datos más importantes que intervienen en este análisis son el Consumo mensual, el costo medio ponderado y los costos de operación y mantenimiento.

En la tabla del Anexo 8 se tiene en la primera columna el número del mes; en la segunda columna el excedente calculado desde el apartado 6.4 (Cálculo de generación de la planta); en la siguiente columna se tiene el consumo mensual obtenido del equipo de medición; la cuarta columna es la generación media mensual calculada desde el apartado 6.4 del documento; después tenemos el Costo Medio Ponderado que nos dice cuánto es la tarifa que se ahorrará por autoabastecimiento, el resultado en ahorro se muestra en la columna siguiente (columna 6) porque es el CMP<sup>9</sup> multiplicado por la generación media en cada mes; la columna siguiente es el costo de operación y mantenimiento correspondiente a cada mes, lo que se hace es dividir el costo anual entre los 12 meses; por último tenemos el ingreso neto que es la suma de los ingresos los ahorros por autoabastecimiento menos los costos de operación y mantenimiento.

Al final tenemos una ganancia anual mostrada en la tabla 6.7.

<b>Ingreso Neto Anual</b>	<b>\$1,270,639.32 MXN</b>
---------------------------	---------------------------

Tabla 6.7) Ingreso neto anual

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo 9 para más detalles)

### 6.7 Indicadores económicos de la instalación FV

En el Anexo 9 se puede observar el flujo de efectivo en los 25 años que se consideran de vida del sistema, en base a esos datos y con ayuda del programa Excel se obtienen los indicadores de rentabilidad económica de la tabla 6.8.

Se propuso una Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva (TREMA) del 10% debido a que para este tipo de proyectos (de generación eléctrica) se considera un valor razonable.

Entonces comenzando con el análisis de los indicadores económicos tenemos el valor presente neto (VPN), este indicador se puede explicar en términos sencillos, básicamente es tomar todo el

<sup>9</sup> Costo Medio Ponderado

## Capítulo 6.-Diseño de sistema fotovoltaico interconectado a la red



dinero que nosotros esperamos obtener de una inversión y trasladar esas ganancias a valores del día de hoy con lo cual podemos decidir si la inversión vale o no la pena realizarla.

En este caso al tomar todas las ganancias de los 25 años de vida del proyecto y traerlas a valores presentes basándonos en la TREMA, se obtiene que en el presente el valor de las ganancias es de \$11,533,644. Comparado con la inversión inicial de \$13,474,109.52 tenemos una diferencia de -\$1,940,465.60 lo cual nos indica que el proyecto en lugar de agregarle valor a la inversión, le quitará valor.

Lo anterior también se observa en la relación costo beneficio (razón CB) que simplemente es el cociente entre el VPN y la inversión inicial. Cuando la razón CB es menor a 1 (como es el caso) quiere decir que el costo es mayor que el beneficio obtenido y el proyecto no es rentable.

La tasa interna de retorno (TIR) va de la mano con el periodo simple de recuperación de la inversión y aunque en este caso el periodo simple de recuperación es de un poco más de 10 años, para el cálculo de este tiempo no se está tomando en cuenta la inflación, por lo tanto el dinero se consideraría con el mismo valor cada año; lo cual no es cierto ya que cada año el dinero pierde valor.

<b>VPN</b>	<b>-\$1,940,465.60</b>
<b>Tasa de interés</b>	<b>10%</b>
<b>VP beneficios</b>	<b>\$11,533,644</b>
<b>TIR</b>	<b>8.08%</b>
<b>Razón CB</b>	<b>0.86</b>
<b>Periodo simple de recuperación</b>	<b>10.60</b>

Tabla 6.8) Indicadores de rentabilidad económica resultantes

Fuente: Elaboración propia



## Conclusiones

Los programas de ahorro y eficiencia energética que se han propuesto en Ciudad Universitaria tienen un impacto importante sobre el consumo eléctrico, en el caso específico de "Universum" basta ver que de 2015 a 2017 la reducción en el consumo eléctrico fue del 46.6%, esta disminución puede ser atribuida directamente a la sustitución de equipos de iluminación por otros más eficientes (siendo más exactos, la sustitución de luminarias dicroicas y lámparas fluorescentes tubulares por LEDS) ya que los hábitos de uso se mantuvieron constantes.

En el año 2017 el consumo eléctrico por concepto de iluminación representó aproximadamente el 35% del consumo eléctrico total del museo, lo que equivale a 18,750 kWh/mes. Del consumo por iluminación, la tecnología LED ocupa aproximadamente el 77% en el 2017 (ver gráfica 5.8). Esto es resultado del programa de mantenimiento hecho por el personal del museo.

Los ahorros que se han presentado en el museo pueden aumentar si se continua con el proceso de sustitución de tecnologías de iluminación hasta tener casi el 100% del consumo eléctrico por concepto de iluminación abastecido por tecnología LED.

Los sistemas fotovoltaicos siguen siendo una tecnología relativamente nueva en el mercado la cuál va mejorando (aumentando la eficiencia de los equipos) y llegará un punto donde los proyectos a gran escala de esta tecnología serán mas comunes en el mundo.

Durante el análisis se hicieron estimaciones del área en el terreno a través de imágenes satelitales y se hicieron aproximaciones válidas de las sombras que generan las estructuras en el techo (domos) para así llegar a los resultados propuestos de la instalación y generación eléctrica. Con un análisis de sombras más preciso y mediciones reales en el terreno de la instalación se podría definir con más seguridad que la superficie del techo de "Universum" es suficiente para construir un sistema fotovoltaico el cual abastezca el consumo eléctrico del museo y además genere excedentes, así se evitaría la construcción de estructuras nuevas las cuales incrementarían el costo de inversión.

En el análisis económico del documento se determinó que el proyecto no es rentable en estos momentos; pero analizando la tasa de crecimiento en el uso de la tecnología solar fotovoltaica, la disminución paulatina que se tiene en costos de los equipos y las mejoras en eficiencia que se están desarrollando, seguramente en pocos años este proyecto será rentable y atractivo para los inversionistas. Esta conclusión resulta alentadora tratándose de una tecnología de generación que no tiene más de 30 años que se utiliza en el sector doméstico.



## Anexos

### Anexo 1.- Valores máximos de DPEA permitidos por la NOM-007-ENER-2014

Tipo de espacio específico	DPEA (W/m2)
Almacén médico (hospital)	13.67
Área de casilleros	8.07
Área de equipaje Centrales / aeropuertos	8.18
Área de lectura (biblioteca)	10.01
Área de exhibición (centro de convenciones)	15.61
Áreas de ventas	18.08
Asientos auditorio	8.50
Asientos centro de convenciones	8.83
Asientos estadios	4.63
Asientos templos	16.47
Aulas	13.35
Bancos	14.85
Bar	14.10
Bodegas	6.78
Bodegas para material frágil	10.23
Cafetería (hospital)	11.52
Catálogo de biblioteca	7.75
Celdas de centros de readaptación (penales)	11.84
Consultorios	17.87
Enfermería (hospital)	9.47
Escaleras	7.43
Estacionamiento	2.05
Estantes de biblioteca	18.41
Farmacia (hospital)	12.27
Gimnasio	12.92
Habitaciones de hospital	6.67
Habitaciones de hotel	11.95
Juzgado	12.59
Laboratorio escolar	13.78



## Anexos

Laboratorio médico, industrial, investigación	19.48
Lavandería (hospital)	6.46
Manufactura detallada industria	13.89
Oficina abierta	10.55
Oficina cerrada	11.95
Oficina postal	10.12
Pasillo central (templos)	6.89
Pasillos	7.10
Pasillos fábricas / industria	4.41
Pasillos hospital	9.58
Preparación de comida	10.66
Probadores de tiendas	9.36
Pulpito, coro (templos)	16.47
Radiología e imagen (hospital)	14.21
Recuperación (hospital)	12.38
Restauración (museos)	10.98
Restaurante	9.58
Restaurante de hotel	8.83
Salas de cine sección de asientos	12.27
Salas de exhibición (museos)	11.30
Salas de juntas	13.24
Salas de lectura	13.35
Teatro sección de vestidores (camerinos)	4.31
Tiendas de autoservicio	11.84
Salas de usos múltiples	13.24
Salas de capacitación	13.35
Sanitarios	10.55
Talleres	17.11
Talleres de servicio automotriz	7.21
Teatro sección de asientos	26.16
Terapia física (hospital)	9.80
Terminal centrales / aeropuertos	11.63
Urgencias (hospital)	24.33
Vestíbulo	9.69

## Anexos

Vestíbulo de cine	5.60
Vestíbulo de elevador	6.89
Vestíbulo de hotel	11.41
Vestíbulo de teatro	21.53

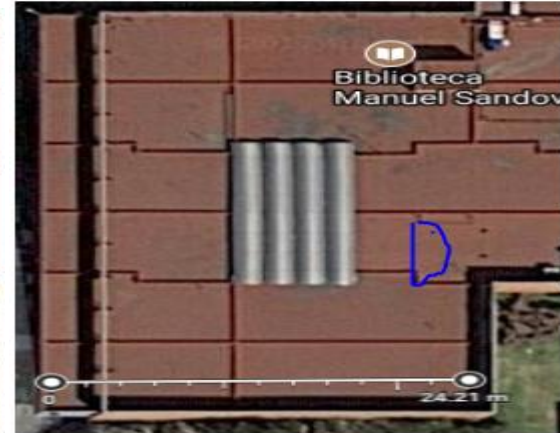
**Tabla 1. Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)**

Tipo de edificio	DPEA (W/m <sup>2</sup> )
<b>Oficinas</b>	
Oficinas	14
<b>Escuelas y demás centros docentes</b>	
Escuelas o instituciones educativas	16
Bibliotecas	16
<b>Establecimientos comerciales</b>	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	20
<b>Hospitales</b>	
Hospitales, sanatorios y clínicas	17
<b>Hoteles</b>	
Hoteles	18
Moteles	22
<b>Restaurantes</b>	
Bares	16
Cafeterías y venta de comida rápida	19
Restaurantes	20
<b>Bodegas</b>	
Bodegas o áreas de almacenamiento	13
<b>Recreación y Cultura</b>	
Salas de cine	17
Teatros	16
Centros de convenciones	15
Gimnasios y centros deportivos	16
Museos	17
Templos	24
<b>Talleres de servicios</b>	
Talleres de servicio para automóviles	16
Talleres	27
<b>Carga y pasaje</b>	
Centrales y terminales de transporte de carga	13
Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres	16

## Anexos

### Anexo 2.- Medidas del techo del museo "Universum"

Medidas horizontales de cada edificio:



Medidas verticales:



## Anexos

Medida de los domos:





## Anexo 3.- Datasheet del panel solar "Canadian Solar 255W"



\*Black frame product can be provided upon request.

### CS6P-250 | 255P

#### THE BEST IN CLASS

Canadian Solar's modules are the best in class in terms of power output and long term reliability. Our meticulous product design and stringent quality control ensure our modules deliver a higher PV energy yield in live PV system as well as in PVsyst's system simulation. Our in-house PV testing facilities guarantee all module component materials meet the highest quality standards possible.

#### PRODUCT | KEY FEATURES



Excellent module efficiency up to 15.85%



Outstanding performance at low irradiance above 96.5%



Positive power tolerance up to 5w



High PTC rating up to 91.88%



Self-cleaning & anti-glaring module surface available



IP67 junction box available long-term weather endurance

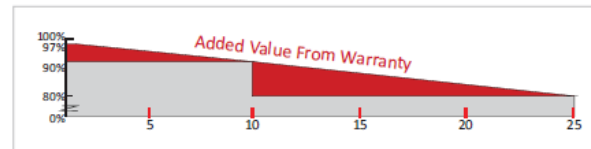


Heavy snow load up to 5400pa



Salt mist, ammonia and blowing sand resistance, apply to seaside, farm and desert environment

#### PRODUCT | WARRANTY & INSURANCE



25 Year Industry leading linear power output warranty  
10 Year Product warranty on materials and workmanship



Canadian Solar provides 100% non-cancellable, immediate warranty insurance

#### PRODUCT & MANAGEMENT SYSTEM | CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE/CE/MCS/JET/KEMCO/SII/CEC AU / INMETRO/CQC/CGC  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed ( US ) / FSEC (US Florida)  
UL 1703: CSA | IEC 61701 ED2: VDE | IEC 62716: TUV | IEC60068-2-68: SGS  
PV CYCLE (EU) | UNI9177 Reaction to Fire: Class 1

ISO9001:2008 | Quality management system  
ISO16949:2009 | The automotive industry quality management system  
ISO14001:2004 | Standards for environmental management system  
QC080000:2012 | The certificate for hazardous substances process management  
OHSAS18001:2007 | International standards for occupational health and safety

\*Please contact your sales representative for the entire list of certificates applicable to your products



#### CANADIAN SOLAR INC.

Founded in 2001 in Canada, Canadian Solar Inc., (NASDAQ:CSIQ) is one of the world's largest and foremost solar power companies. As a leading manufacturer of solar modules and PV project developer with about 6 GW of premium quality modules deployed around the world in the past 12 years, Canadian Solar is one of the most bankable solar companies in Europe, USA, Japan and China. Canadian Solar operates in six continents with customers in over 70 countries and regions. Canadian Solar is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world.



www.canadiansolar.com  
support@canadiansolar.com

Canadian Solar Inc.  
545 Speedvale Avenue West  
Guelph | Ontario N1K 1E6 | Canada



**ELECTRICAL DATA | STC**

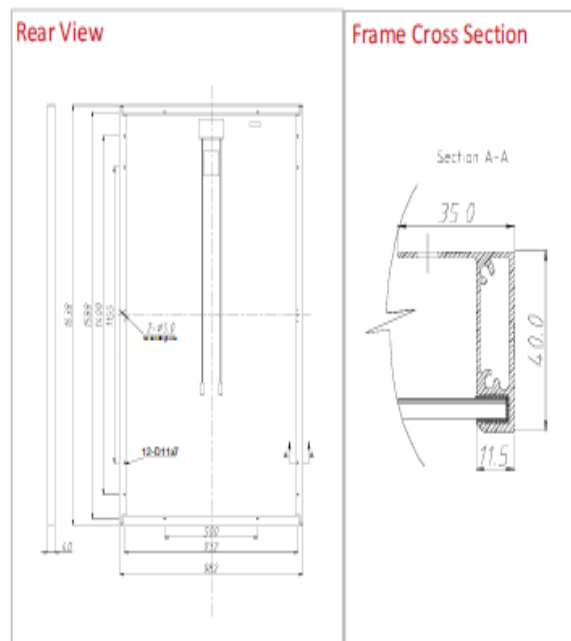
Electrical Data	CS6P-250P	CS6P-255P
Nominal Maximum Power (Pmax)	250W	255W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	30.1V	30.2V
Optimum Operating Current (Imp)	8.30A	8.43A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.2V	37.4V
Short Circuit Current (Isc)	8.87A	9.00A
Module Efficiency	15.54%	15.85%
Operating Temperature	-40°C~+85°C	
Maximum System Voltage	1000V (IEC) / 1000V (UL) / 600V (UL)	
Maximum Series Fuse Rating	15A	
Application Classification	Class A	
Power Tolerance	0~+5W	

\*Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

**ELECTRICAL DATA | NOCT**

Electrical Data	CS6P-250P	CS6P-255P
Nominal Maximum Power (Pmax)	181W	185W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	27.5V	27.5V
Optimum Operating Current (Imp)	6.60A	6.71A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.2V	34.4V
Short Circuit Current (Isc)	7.19A	7.29A

**MODULE | ENGINEERING DRAWING**



**CS6P-255P | I-V CURVES**



# Anexos

\*Under Nominal Operating Cell Temperature(NOCT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

## MODULE | MECHANICAL DATA

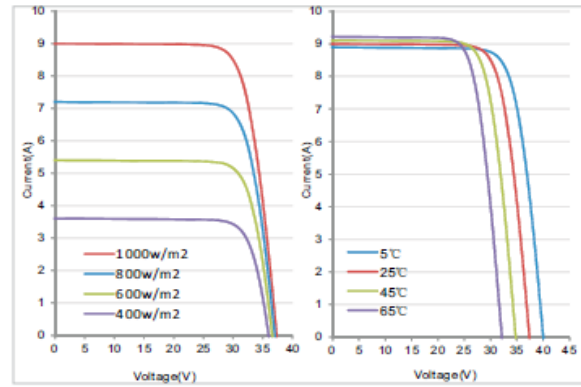
Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6inch
Cell Arrangement	60 (6 x 10)
Dimensions	1638 x 982 x 40mm (64.5 x 38.7 x 1.57in)
Weight	18.5kg (40.8 lbs)
Front Cover	3.2mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-BOX	IP67, 3 diodes
Cable	4m <sup>2</sup> (IEC)/4m <sup>2</sup> &12AWG 1000V(UL1000V)/12AWG(UL600V), 1000mm
Connectors	MC4 or MC4 comparable
Standard Packaging	24pcs, 504 kg (quantity and weight per pallet)
Module Pieces Per Container	672 pcs (40'HQ)

## TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.43%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.34%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.065%/°C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C

## PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Industry leading performance at low irradiance environment, +96.5% module efficiency from an irradiance of 1000w/m<sup>2</sup> to 200w/m<sup>2</sup> (AM 1.5, 25 °C)



## Partner Section



Toll-Free: 1.855.765.3478  
[www.soldist.com](http://www.soldist.com)

\*The specifications made herein may deviate slightly and are not guaranteed. Due to ongoing innovation, research and product enhancement we reserve the right to make any adjustments to the information contained herein at any time without notice. Please always obtain the most recent revision of datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.



## Anexos

# Anexo 4.- Datasheet del inversor "SMA Sunny Tripower CORE1 STP50-US-40"

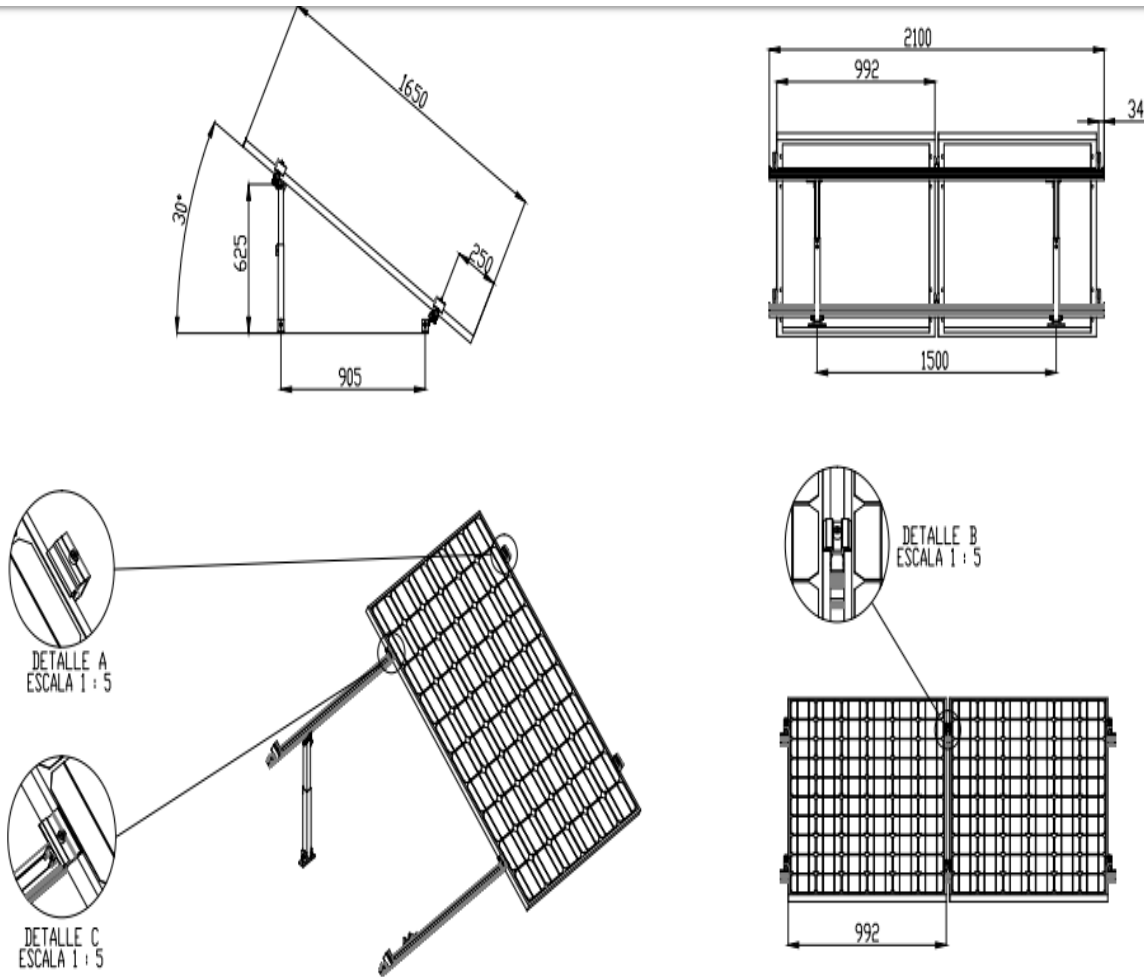
## Technical Data\*

	SUNNY TRIPower CORE1/US	SUNNY TRIPower CORE1/IEC
<b>Input (DC)</b>		
Max. usable DC power (@ $\cos \phi = 1$ )	51000 W	51000 W
DC Voltage (max)	1000 V	1000 V
Rated MPPT voltage range	500 V... 800 V	500 V... 800 V
MPPT operating voltage range	150 V... 1000 V	150 V... 1000 V
Min. DC voltage / start voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Number of independent MPP trackers / strings per MPP input	6 / 2	6 / 2
Max. input current / per MPP tracker	120 A / 20 A	120 A / 20 A
<b>Output (AC)</b>		
AC nominal power	50000 W	50000 W
Max. AC apparent power	53000 VA	50000 VA
Output phases / line connections	3 / 3-N-PE, 3-PE	3 / 3-N-PE, 3-PE
Nominal AC voltage	480 V / 277 V WYE	400 V / 230 V
AC voltage range	244 V... 305 V	202... 264 V
Rated AC grid frequency	60 Hz	50 Hz
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz... +5Hz	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz... +5Hz
Max. output current	64 A	72.5 A
Power factor at rated power / adjustable displacement	1 / 0.0 leading... 0.0 lagging	1 / 0.0 leading... 0.0 lagging
Harmonics THD	<3%	<3%
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency / CEC efficiency / European efficiency	>98% / >98% / >98%	>98% / >98% / >98%
<b>Protection devices</b>		
DC-side disconnection device	●	●
DC reverse polarity protection	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
All-pole sensitive residual current monitoring unit	●	●
DC AFCI compliant to UL 1699B	-	-
DC surge arrester (Type II)	○	○
AC short circuit protection	●	●
AC-side disconnection device	●	-
AC surge arrester (Type II)	○	○
Protection class / overvoltage category (as per UL840)	I / IV	-
Protection class (as per IEC 60664-1) / overvoltage category (as per IEC 60664-1)	-	I / AC; III; DC: II
<b>General data</b>		
Dimensions (W / H / D)	621 mm / 733 mm / 569 mm (24.4 in x 28.8 in x 22.4 in)	621 mm / 733 mm / 569 mm (24.4 in x 28.8 in x 22.4 in)
Device weight	82 kg (180 lbs)	82 kg (180 lbs)
Operating temperature range	-25 °C... +60 °C	-25 °C... +60 °C
Noise emissions (typical)	<60 dB (A)	<60 dB (A)
Internal consumption at night	<5 W	<5 W
Topology	Transformerless	Transformerless
Cooling Concept	OptiCool	OptiCool
Degree of protection	NEMA 4X, 3S (as per UL 50E)	IP65 (as per IEC 60529)
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	-	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%	100%
<b>Features</b>		
DC-Connection	Amphenol H4 PV connectors	SUNCLIX PV connectors
AC-Connection	Screw terminal	Screw terminal
LED indicators (Status / Fault / Communication)	●	●
Interface: Ethernet / WLAN / RS485	● (2 ports) / ● / ○	● (2 ports) / ● / ○
Data protocols: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Webconnect	● / ● / ●	● / ● / ●
Multifunction relay	●	●
Sensor Module / Power Control Module / External WLAN antenna	○ / ○ / ○	○ / ○ / ○
Mounting	free-standing	free-standing
OptiTrac Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●	● / ● / ●
Off-Grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible	● / ●	● / ●
Certifications and approvals	pending: UL 1741, UL 1998, UL 1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B)	pending: IEC 62109-1 / 2, BDEW 2008
Type designation	STP50-US-40	STP50-40

○ Optional features   ● Standard features   - Not available

\*preliminary data as of August 2016

## Anexo 5.- Especificaciones del sistema SunRail de PVaccessories



INCLINADOS 15-30 de 1 fila		Cantidad	Observaciones	NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN
# Parte	Descripción			pvaccessories		TÍTULO
PV-R2100-SR	Riel de aluminio anodizado sunrail de 2100 mm	2		<b>SISTEMA SUNRAIL</b>		SRI-2-30
PV-R200-SR-2	Bolsa 2 Empalmes p/riel c/tierra integrada sistema 42 y Sunrail	0				
PV-IC-SR-2	Bolsa 2 abrazadera union c/tierra incluida sistema 42 y sunrail	1				
PV-EC-SR-4	Bolsa 4 abrazadera remate c/tierra incluida sistema 42 y sunrail	1				
PV-ARI-SR-15/30	SopORTE Trasero Reforzado 15°/30° con tornillo expansor	2				
PV-AFL-SR-1	Bolsa 1 soporte frontal con inclinación ajustable y tornillos expansores	2	FECHA: 14/02/2017 ACCT: m	INTERIOR:	N° DE DIBUJO:	A3
PV-AGL-SR-1	Terminal de tierra para sistema sunrail	1	PLAZO:	ESCALAS:	HOJA 1 DE 1	
PV-PC-5	Bolsa 5 Clips Plastico Porta Cable p/Riel de Aluminio	1				



## Anexos

### Anexo 6.- Calculo desglosado de generación anual

Mes	Días	HPS promedio en plano horizontal	HPS promedio en plano inclinado 19°	Temperatura promedio del aire [°C]	Temperatura de la celda [°C]	Eficiencia del módulo a temperatura de celda	Generación diaria (kWh)	Generación media mensual (kWh)	Consumo mensual (kWh)	Excedente (kWh)
Enero	31	4.6	5.4	12.8	44.1	0.92	2375.9	73,651.8	49,873.7	23,778.2
Febrero	28	5.4	6.1	14.4	45.7	0.91	2649.0	74,172.5	53,799.9	20,372.6
Marzo	31	6	6.3	16.7	48.0	0.90	2710.5	84,024.7	56,015.0	28,009.7
Abril	30	5.9	5.8	18.9	50.2	0.89	2465.3	73,957.6	53,799.9	20,157.6
Mayo	31	5.9	5.5	19.5	50.8	0.89	2347.9	72,785.8	60,834.0	11,951.8
Junio	30	5.2	4.8	18.6	49.9	0.89	2047.4	61,422.5	57,026.6	4,395.9
Julio	31	5.3	4.9	18.0	49.3	0.90	2108.8	65,373.6	53,799.9	11,573.7
Agosto	31	4.9	4.7	18.1	49.4	0.90	2018.2	62,564.5	55,294.0	7,270.6
Septiembre	30	4.5	4.6	17.3	48.6	0.90	1953.2	58,594.5	45,707.0	12,887.5
Octubre	31	4.4	4.8	15.9	47.2	0.90	2048.2	63,492.9	55,069.3	8,423.6
Noviembre	30	4.5	5.3	14.4	45.7	0.91	2284.2	68,527.1	50,580.0	17,947.1
Diciembre	31	4.3	5.2	13.0	44.3	0.92	2251.2	69,788.5	53,799.9	15,988.6
<b>Anual</b>								<b>828,356.1</b>		<b>182,756.8</b>



**Anexo 7.- Link de precios de productos a utilizar**

<b>Producto</b>	<b>Fuente para consultar precio</b>
Panel solar 255 W - Marca: Canadian Solar	<a href="https://www.gogreensolar.com/products/canadian-solar-cs5p-255m-255-watt-solar-panel">https://www.gogreensolar.com/products/canadian-solar-cs5p-255m-255-watt-solar-panel</a>
Inversor 50 kW - Marca: SMA Sunny Tripower CORE1	<a href="https://www.civicsolar.com/product/sma-sunny-tripower-core1-50kw-480vac-tl-inverter-stp50-us-40">https://www.civicsolar.com/product/sma-sunny-tripower-core1-50kw-480vac-tl-inverter-stp50-us-40</a>
Cable Solar - Calibre: 10 AWG - Marca:Soleil Wire - Rollo de 100m	<a href="https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-609997804-cable-solar-xlp-tipo-fotovoltaico-10-awg-2000-v-2kv-100mt-_JM#reco_item_pos=0&amp;reco_backend=13-17-pp-ngrams-seller&amp;reco_backend_type=low_level&amp;reco_client=vip-seller_items-above&amp;reco_id=549283a9-40dd-4448-b940-a2cd37ff3815">https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-609997804-cable-solar-xlp-tipo-fotovoltaico-10-awg-2000-v-2kv-100mt-_JM#reco_item_pos=0&amp;reco_backend=13-17-pp-ngrams-seller&amp;reco_backend_type=low_level&amp;reco_client=vip-seller_items-above&amp;reco_id=549283a9-40dd-4448-b940-a2cd37ff3815</a>
Cable Solar - Calibre: 12 AWG - Marca:SouthWire - Rollo de 100m	<a href="https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-582121513-cable-solar-para-paneles-fotovoltaicos-rollo-100mt-cal-12awg-_JM">https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-582121513-cable-solar-para-paneles-fotovoltaicos-rollo-100mt-cal-12awg-_JM</a>
Soporte para 2 paneles solares - Marca: PV Accessories	<a href="https://www.bmásdigital.com/kit-montaje-2-paneles-SRI230">https://www.bmásdigital.com/kit-montaje-2-paneles-SRI230</a>
Tubería Conduit De Acero - Tamaño: 1/2'' - Medida pza: (3m)	<a href="https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-618275101-tuberia-conduit-de-acero-cedula-80-en-12-sn-cople-_JM">https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-618275101-tuberia-conduit-de-acero-cedula-80-en-12-sn-cople-_JM</a>



## Anexos

### Anexo 8.- Desglose de energía, costos y ganancias

Mes	Excedente (kWh)	Consumo mensual (kWh)	Generación media mensual (kWh)	Costo Medio Ponderado (\$/kWh)	Ahorro en factura	Costo O&M	Ingreso Neto
1	23,778.17	49,873.67	73,651.8	\$1.7319	\$127,558.45	\$13,666.67	\$113,891.78
2	20,372.59	53,799.95	74,172.5	\$1.7319	\$128,460.25	\$13,666.67	\$114,793.59
3	28,009.67	56,015.00	84,024.7	\$1.7319	\$145,523.28	\$13,666.67	\$131,856.61
4	20,157.63	53,799.95	73,957.6	\$1.7319	\$128,087.96	\$13,666.67	\$114,421.29
5	11,951.81	60,834.00	72,785.8	\$1.7319	\$126,058.56	\$13,666.67	\$112,391.90
6	4,395.87	57,026.63	61,422.5	\$1.7319	\$106,378.32	\$13,666.67	\$92,711.65
7	11,573.67	53,799.95	65,373.6	\$1.7319	\$113,221.30	\$13,666.67	\$99,554.64
8	7,270.57	55,293.96	62,564.5	\$1.7319	\$108,356.21	\$13,666.67	\$94,689.54
9	12,887.51	45,707.00	58,594.5	\$1.7319	\$101,480.49	\$13,666.67	\$87,813.82
10	8,423.63	55,069.31	63,492.9	\$1.7319	\$109,964.15	\$13,666.67	\$96,297.48
11	17,947.09	50,580.00	68,527.1	\$1.7319	\$118,682.83	\$13,666.67	\$105,016.17
12	15,988.57	53,799.95	69,788.5	\$1.7319	\$120,867.52	\$13,666.67	\$107,200.85
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>182,756.79</b>	<b>645,599.34</b>	828,356.1		<b>\$1,434,639.32</b>	<b>\$164,000.00</b>	\$1,270,639.32





## Anexos

### Anexo 9.- Flujo económico del Sistema Fotovoltaico

				TREMA
Año	Flujo de efectivo	Inversión	Flujo neto anual	10%
0	-\$ 13,474,109.52	-\$ 13,474,109.52		-\$ 13,474,109.52
1	\$ 1,270,639.32		-\$ 12,203,470.20	-\$ 12,318,982.87
2	\$ 1,270,639.32		-\$ 10,932,830.89	-\$ 11,268,867.73
3	\$ 1,270,639.32		-\$ 9,662,191.57	-\$ 10,314,217.61
4	\$ 1,270,639.32		-\$ 8,391,552.26	-\$ 9,446,353.86
5	\$ 1,270,639.32		-\$ 7,120,912.94	-\$ 8,657,386.81
6	\$ 1,270,639.32		-\$ 5,850,273.63	-\$ 7,940,144.05
7	\$ 1,270,639.32		-\$ 4,579,634.31	-\$ 7,288,105.17
8	\$ 1,270,639.32		-\$ 3,308,995.00	-\$ 6,695,342.55
9	\$ 1,270,639.32		-\$ 2,038,355.68	-\$ 6,156,467.44
10	\$ 1,270,639.32		-\$ 767,716.36	-\$ 5,666,580.98
11	\$ 1,270,639.32		\$ 502,922.95	-\$ 5,221,229.65
12	\$ 1,270,639.32		\$ 1,773,562.27	-\$ 4,816,364.81
13	\$ 1,270,639.32		\$ 3,044,201.58	-\$ 4,448,305.86
14	\$ 1,270,639.32		\$ 4,314,840.90	-\$ 4,113,706.81
15	\$ 1,270,639.32		\$ 5,585,480.21	-\$ 3,809,525.86
16	\$ 1,270,639.32		\$ 6,856,119.53	-\$ 3,532,997.73
17	\$ 1,270,639.32		\$ 8,126,758.84	-\$ 3,281,608.51
18	\$ 1,270,639.32		\$ 9,397,398.16	-\$ 3,053,072.86
19	\$ 1,270,639.32		\$ 10,668,037.48	-\$ 2,845,313.18
20	\$ 1,270,639.32		\$ 11,938,676.79	-\$ 2,656,440.74
21	\$ 1,270,639.32		\$ 13,209,316.11	-\$ 2,484,738.53
22	\$ 1,270,639.32		\$ 14,479,955.42	-\$ 2,328,645.60
23	\$ 1,270,639.32		\$ 15,750,594.74	-\$ 2,186,742.94
24	\$ 1,270,639.32		\$ 17,021,234.05	-\$ 2,057,740.53
25	\$ 1,270,639.32		\$ 18,291,873.37	-\$ 1,940,465.60



## Fuentes

### Bibliografía:

**Referencia 1:** Estrategias de control del uso de la energía eléctrica a partir de indicadores energéticos en edificios del campus de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México. 5ta Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central Martha Abreu de las Villas Santa Clara, Cuba del 4 al 6 de noviembre del 2008.

**Referencia 2:** Retos y oportunidades para la sustentabilidad energética en edificios de México: Consumo y uso final de energía en edificios residenciales, comerciales y de servicio, David Morillón Gálvez, Azucena Escobedo Izquierdo, Iván García Kerdán. Instituto de ingeniería, Enero 2015

**Referencia 3:** Energy Management Handbook (sixth edition), Wayne C. Turner, Steve Doty. 2007 by The Fairmont Press, Inc.

**Referencia 4:** Nahle Sabag, Nasif. Radiación Solar en la Capa Exterior de la Atmósfera Terrestre y Sobre la Superficie Terrestre (Suelo y Océano). Biology Cabinet. 7 de junio de 2011.

**Referencia 5:** M. Masters, Gilbert. Renewable and Efficient Electric Power Systems. Stanford University. 2004.

Ibarra Luis Guillermo. El aprovechamiento sustentable de la energía en la administración pública federal mexicana: Un ejemplo de sobrerregulación. Capítulos 6 y 7, 2013.

Vázquez Arenas, Gemma. Iluminación Interior. Universidad Politécnica de Cartagena

Ing. Raitelli Mario, Diseño de la iluminación de interiores

World Energy Balance 2017, International Energy Agency

Energy Efficiency 2017, International Energy Agency

Manual de iluminación INDAL

Morente Montserrat Cristina, Curso on-line de iluminación



## **Fuentes**

---

### **Instituciones:**

U.S. Energy Information Administration

International Energy Agency

Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEA)

Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (CIEP)

Instituto de Geofísica de la UNAM

Blog de SENER, 5 de marzo día mundial de la eficiencia energética

SENER

CENACE

CFE

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee)

Diario Oficial de la Federación

### **Empresas:**

SunFields Europe-Proveedor de equipos para Sistemas FV

Energía Verde, Grupo Corporativo de la Concha S.A. de C.V.

CenitSolar, empresa Española

Catálogo de lámparas PHILIPS

Elaboración propia: Registro de cargas de iluminación, Excel

Canadian Solar

CIVIC SOLAR

Programa: RETScreen Expert



## Fuentes

---

### Sitios Web:

SIE: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions>

<https://es.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-faradays-law>

<http://www.ventageneradores.net/blog/la-evolucion-la-energia-lo-largo-la-historia/>

<https://sustentabilidad.unam.mx/sustentabilidad-unam.php>

<http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/ambiente/19838-pograma-universitario-estrategias-sustentabilidad-unam>

Google Maps

[www.bmásdigital.com](http://www.bmásdigital.com)

[http://www.cenace.gob.mx/SIM/VISTA/REPORTES/H\\_RepPreEnergiaSisMEM.aspx?N=6&opc=divCssPreEnergia&site=Precios%20de%20la%20energ%C3%ADa/Precios%20Marginales%20Locales/MDA/Mensuales&tipoArch=C&tipoUni=SIN&tipo=Mensuales&nombrenodop=Precios%20Marginales%20Locales](http://www.cenace.gob.mx/SIM/VISTA/REPORTES/H_RepPreEnergiaSisMEM.aspx?N=6&opc=divCssPreEnergia&site=Precios%20de%20la%20energ%C3%ADa/Precios%20Marginales%20Locales/MDA/Mensuales&tipoArch=C&tipoUni=SIN&tipo=Mensuales&nombrenodop=Precios%20Marginales%20Locales)