



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Evaluación de un Proyecto de  
Inversión: Sistema Fotovoltaico  
Interconectado a la Red 200 kW  
para una Nave Industrial en  
Uriangato, Guanajuato.

TESINA

Que para obtener el título de  
Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Oscar Zavala López

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marcos Trejo Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi padre y mi madre, por su paciencia y apoyo incondicional.

A mis hermanos Eric y Priscila, por estar ahí siempre conmigo.

A mi novia Nelly, por su apoyo, cariño y confianza.

A mi familia, por sus palabras de aliento y consuelo cuando más lo necesité.

A mis grupos scouts 24 Cuauhtémoc y 1 Moroleón, por ser mi otra familia cuando estuve lejos de casa.

A mis amigos de la facultad y de Moroleón, por ser parte esencial de mi vida.

## **Agradecimientos**

A Dios y a la vida misma por brindarme todas las oportunidades que tengo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y más específicamente a la Facultad de Ingeniería por brindarme cobijo, por sus conocimientos adquiridos y vivencias; por ser mi hogar durante los últimos años.

A mi familia, por estar siempre conmigo a pesar de las adversidades y la distancia.

A mis profesores, amigos y compañeros de la carrera por acompañarme en este camino.

A mis colegas de trabajo, en especial a mi socio y amigo Carlos César Magaña Zavala por creer en mí, en el proyecto y por su apoyo incondicional.

Agradezco al Ing. Marcos Trejo Hernández por su apoyo en la redacción de esta tesina.

## ÍNDICE

<i>Introducción y Objetivos</i> .....	6
<b>1. Antecedentes</b> .....	7
<b>1.1 Descripción de la Empresa: SRB Soluciones Renovables del Bajío S.A. DE C.V.</b> .....	7
1.1.1 Antecedentes de la Empresa.....	7
1.1.2 Misión, Visión y Valores .....	7
<b>1.2 ¿Qué es la Energía Solar Fotovoltaica?</b> .....	8
1.2.1 ¿Cómo funciona?.....	8
1.2.2 ¿Cuáles son sus beneficios? .....	8
1.2.3 ¿Qué tipos de sistemas fotovoltaicos existen? .....	9
1.2.3.1 Sistemas Aislados .....	9
1.2.3.2 Sistemas Interconectados .....	11
1.2.4 Escenario Futuro .....	13
<b>1.3 La Evaluación de Proyectos de Inversión</b> .....	14
1.3.1 ¿Qué es un proyecto de inversión?.....	14
1.3.2 Aspectos Financieros Básicos de un Proyecto de Inversión .....	14
1.3.2.1 Interés y Tasa de Interés .....	14
1.3.2.2 Valor Futuro.....	15
1.3.2.3 Valor Presente.....	15
1.3.2.4 Tasa de Inflación.....	15
1.3.2.5 Financiamiento y Amortización.....	16
1.3.3 Métodos para Evaluar Proyectos de Inversión.....	16
1.3.3.1 Valor Presente Neto (VPN) .....	16
1.3.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).....	17
1.3.3.3 Relación Beneficio Costo (B/C) .....	17
<b>2. Mercado y Marco Normativo</b> .....	18
<b>2.1 Mercado Eléctrico Mexicano</b> .....	18
2.1.1 Reforma Energética y sus Objetivos .....	18
<b>2.2 Normatividad</b> .....	19
2.2.1 NOM-001-SEDE-2012.....	19
2.2.2 Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad Menor a 0.5 MW.....	19
2.2.2.1 Contrato de Interconexión .....	20
<b>2.3 Situación Actual y Contexto Solar</b> .....	21
2.3.1 Contexto Nacional.....	21
2.3.2 Contexto Local .....	22

2.3.2.1 Necesidad y Solución.....	24
<b>3. Descripción del Proyecto y Evaluación.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Datos Generales.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Detalles del Sitio.....</b>	<b>26</b>
3.2.1 Ubicación.....	26
3.2.2 Clima e Irradiación.....	27
<b>3.3 Tarifa y Consumo Histórico.....</b>	<b>28</b>
3.3.1 Esquema Tarifario.....	28
3.3.2 Consumo Histórico.....	29
<b>3.4 Evaluación Técnica (Dimensionamiento del Sistema).....</b>	<b>31</b>
3.4.1 Módulos Solares.....	31
3.4.2 Inversores Fotovoltaicos.....	34
3.4.3 Estructuras de Montaje.....	35
3.4.3.1 Cálculo de Cargas.....	37
3.4.4 Estudio de Sombras.....	38
<b>3.5 Evaluación Económica.....</b>	<b>39</b>
3.5.1 Presupuesto.....	39
3.5.2 Ahorro del Proyecto.....	40
<b>3.6 Evaluación Financiera.....</b>	<b>44</b>
3.6.1 VPN, TIR y Relación B/C.....	44
3.6.1.1 Análisis Financiero Caso 1. Flujo de Efectivo sin Financiamiento.....	44
3.6.1.1.1 Cálculo del VPN.....	46
3.6.1.1.2 Cálculo de TIR.....	46
3.6.1.1.3 Cálculo de Relación B/C.....	47
3.6.1.2 Análisis Financiero Caso 2. Flujo de Efectivo con Financiamiento.....	48
3.6.1.2.1 Cálculo del VPN.....	50
3.6.1.2.2 Cálculo de TIR.....	50
3.6.1.2.3 Cálculo de Relación B/C.....	51
3.6.2 Fuentes de Financiamiento (Capital propio, fondo autogenerado, crédito, fideicomiso, otras fuentes).....	52
3.6.3 Amortización del Financiamiento.....	52
<b>4. Conclusiones y Comentarios.....</b>	<b>54</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>55</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>56</b>

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1 Logo de la Empresa	7
Ilustración 2 Sistema Fotovoltaico Aislado	10
Ilustración 3 Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red	12
Ilustración 4 Potencial Fotovoltaico Mundial en GW	13
Ilustración 5 Esquema de Interconexión para Centrales Eléctricas Menores o Iguales que 250 kW en Media Tensión con Centros de Carga	20
Ilustración 6 Radiación Solar Promedio Anual en México	22
Ilustración 7 Zona Metropolitana Moroleón-Uriangato-Yuriria	23
Ilustración 8 “Calle de la Ropa” en el municipio de Uriangato, Guanajuato	24
Ilustración 9 Ubicación del Proyecto	26
Ilustración 10 Radiación Solar Promedio Mensual	28
Ilustración 11 Consumo Eléctrico Feb. 2017 – Ene. 2018	30
Ilustración 12 Importes Mensuales Feb. 2017 – Ene. 2018	30
Ilustración 13 Módulo Solar Solartec 330 W	32
Ilustración 14 Dimensionamiento de Módulos en Planta	33
Ilustración 15 Dimensionamiento de Módulos en 3D	33
Ilustración 16 Inversor Kaco Powador 72.0 TL3	34
Ilustración 17 Esquema Eléctrico del Proyecto Con Inversores	35
Ilustración 18 Sistemas de Montaje MiniRail XPress Everest Solar Systems	36
Ilustración 19 Estudio de Sombras del Sistema	38
Ilustración 20 Consumo vs Producción	41
Ilustración 21 Total sin Módulos vs Total con Módulos	43
Ilustración 22 Flujo de Efectivo sin Financiamiento	45
Ilustración 23 Flujo Acumulado sin Financiamiento	46
Ilustración 24 Flujo de Efectivo con Financiamiento	48
Ilustración 25 Flujo Acumulado con Financiamiento	50
Ilustración 26 Saldo Histórico del Financiamiento	53
Ilustración 27 Capital vs Interés	53

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Clasificación de Centrales Eléctricas con Capacidad Menor a 0.5 MW	19
Tabla 2 Datos Generales del Proyecto	25
Tabla 3 Datos Climáticos del Municipio de Uriangato	27
Tabla 4 Nuevo Esquema Tarifario CFE	28
Tabla 5 Costo Tarifario Marzo 2018	29
Tabla 6 Consumo Histórico Feb. 2017 – Ene. 2018	29
Tabla 7 Cálculo de Cargas de la Techumbre	37
Tabla 8 Costo del Sistema	40
Tabla 9 Consumo vs Producción	41
Tabla 10 Ahorro Económico	43
Tabla 11 Flujo de Efectivo Sin Financiamiento	45
Tabla 12 Flujo de Efectivo con Financiamiento	49
Tabla 13 Amortización del Financiamiento	52
Tabla 14 Resumen del Financiamiento a 20 años	53

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

---

Esta tesina comprende parte de mi actividad profesional realizada a lo largo de ya casi 6 meses en un startup creado entre mi socio Carlos César Zavala Magaña y un servidor. Éste con el fin de solucionar el cada vez más creciente problema del incremento a las tarifas eléctricas; buscando no sólo el ahorro y la eficiencia energética, sino también el concientizar a la población respecto al uso de las energías renovables y su viabilidad como fuente de generación.

La empresa creada como solución a la problemática anterior se llama SRB Soluciones Renovables del Bajío S.A. DE C.V. y se ubica en mi municipio natal: Moroleón, Guanajuato. En el capítulo siguiente se hablará más a detalle de la misma. Dentro de mis actividades profesionales llevadas a cabo en este tiempo, se encuentran:

- Control y gestión de proyectos fotovoltaicos.
- Comparativa y análisis de precios unitarios.
- Interpretación y análisis de tarifas eléctricas y recibos.
- Diseño de instalaciones fotovoltaicas.
- Análisis estructural de techumbres ante las cargas del sistema.
- Levantamiento de predios para sistemas fotovoltaicos.
- Realización de planos de ubicación, layouts generales y diagramas unifilares.

Las actividades anteriores las realicé en este periodo para un cierto número de proyectos solares; sin embargo, en esta tesina me enfoqué exclusivamente en el proyecto de mayor relevancia ya que refleja prácticamente la totalidad de conocimientos necesarios para realizar un sistema de este tipo.

El objetivo principal es la evaluación financiera de un proyecto tipo sistema fotovoltaico interconectado a la red con una capacidad de 200 kW. Este sistema se ubicará en una nave industrial en el municipio de Uriangato, Guanajuato. El proyecto plantea una solución de ahorro energético a la nave industrial, cuyas actividades principales son la confección, teñido y empaquetado de prendas textiles; razón por la que sus gastos por consumo eléctrico mensuales ascienden a más de \$100,000.00 MXN.

Más que hablar propiamente de los detalles técnicos propios del proyecto; me enfoco en el análisis de viabilidad del mismo viéndolo como un proyecto de inversión. Además de lo anterior y para entender a grandes rasgos el contexto; hablo también de los antecedentes que dan hincapié al desarrollo de proyectos de este tipo, el mercado eléctrico mexicano y cómo cambió a partir de la reforma energética, las conclusiones a las que se llega y algunos documentos anexos que ayudarán al lector a la mejor interpretación del proyecto.



# 1. ANTECEDENTES

---

## 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA: SRB SOLUCIONES RENOVABLES DEL BAJÍO S.A. DE C.V.

### 1.1.1 Antecedentes de la Empresa

SRB Soluciones Renovables del Bajío S.A. DE C.V. nació a partir de la idea de que las energías renovables no representan solamente una alternativa a la creciente demanda energética global; sino la única solución viable.

Por lo anterior, mi socio y amigo Carlos César Zavala Magaña y un servidor decidimos apostar por proyectos enfocados en las energías renovables; en especial en lo relativo a la energía solar. Para ello se comenzó ya hace casi 6 meses con este proyecto en mi natal Moroleón, Guanajuato. La imagen siguiente corresponde al logo de la empresa.



*Ilustración 1 Logo de la Empresa*

*Fuente: Elaboración Propia*

Sin embargo, el plan a futuro no es sólo enfocarse en las tecnologías fotovoltaicas; sino expandirse a las demás energías renovables como lo son la eólica, biomasa, sistemas de captación pluvial, etc.

### 1.1.2 Misión, Visión y Valores

- **Misión:** Proveer soluciones sustentables de calidad a nivel nacional, fomentando el ahorro energético y beneficiando al medio ambiente.
- **Visión:** Consolidarnos como una empresa referente en energías renovables a nivel nacional, siendo reconocidos por la calidad de servicio y atención a nuestros clientes.
- **Valores:** Somos una empresa comprometida a satisfacer las necesidades de nuestros clientes de manera integral, ética y responsable con el medio ambiente.

## **1.2 ¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA?**

### **1.2.1 ¿Cómo funciona?**

La energía solar fotovoltaica es el resultante de la transformación directa de la luz solar en electricidad empleando lo que se conoce como el efecto fotovoltaico. Este efecto fotovoltaico capta la radiación solar incidida sobre una célula fotoeléctrica; ésta a su vez produce un diferencial de potencia eléctrico entre ambas caras de la célula que hace que los electrones se muevan de un lugar a otro, generando así una corriente eléctrica.

Existen tres tipos de paneles solares:

- Paneles Fotovoltaicos. Generadores de energía eléctrica.
- Paneles Térmicos. Generan o irradian calor a partir de la recepción directa del sol.
- Paneles Termodinámicos. Funcionan independientemente de las variaciones meteorológicas o si es de día o de noche.

### **1.2.2 ¿Cuáles son sus beneficios?**

La energía eléctrica generada mediante paneles o módulos solares es inagotable y no contaminante; por ende contribuye al desarrollo sostenible. Ésta energía puede aprovecharse ya sea vendiéndose a la red eléctrica nacional o para el consumo del usuario en modalidad aislada.

Este tipo de sistema es particularmente apto para zonas rurales o marginadas donde no se cuenta con el servicio de luz eléctrica, es costoso o cuya condiciones geográficas dificultan el suministro eléctrico.

En años recientes el costo por suministro e instalación de módulos solares ha disminuido enormemente; además, si a lo anterior se añade que la vida media de los módulos es mayor a los 20 años, se trata de una tecnología que una vez instalada va a generar electricidad prácticamente gratuita y de por vida.

### **1.2.3 ¿Qué tipos de sistemas fotovoltaicos existen?**

Básicamente, todos los sistemas fotovoltaicos utilizan módulos solares; sin embargo, sus fines son diferentes. Existen 2 tipos de sistemas fotovoltaicos:

#### ***1.2.3.1 Sistemas Aislados***

En este tipo de sistema fotovoltaico toda la electricidad generada por los paneles se almacena en un banco de baterías. Esto con el fin de almacenarla y darle un uso específico.

Este sistema es completamente independiente y gracias a que almacenas la energía, ésta se puedes utilizar por las noches, durante los días nublados o cuando se requiera. Este tipo de sistemas son muy comunes en zonas rurales o alejadas de las ciudades, donde no llega la red eléctrica.

A continuación se muestra una infografía que describe los elementos principales de un sistema fotovoltaico aislado y el proceso por el cual funciona.

## Sistema Aislado

Generación eléctrica fotovoltaica para lugares sin acceso a la red CFE.



### ¿Cómo funciona el sistema Aislado a la red?

- 1** La energía se capta a través de paneles solares
- El controlador, impide que las baterías reciban energía cuando alcanzan su máxima carga **2**
- 3** La energía pasa al inversor, que convierte la Corriente Directa (energía solar) a corriente Alterna (corriente con la que funcionan nuestros electrodomésticos)
- Al ser un sistema autónomo, las baterías son las encargadas de almacenar la energía captada por los paneles solares **4**

*Ilustración 2 Sistema Fotovoltaico Aislado*

*Fuente: Elaboración Propia*

### ***1.2.3.2 Sistemas Interconectados***

En este tipo de sistema fotovoltaico debe su nombre a que precisamente se conectan con la red eléctrica. Esto quiere decir que toda la energía generada se inyecta directamente a la red de distribución local; es decir, a la par con la red eléctrica nacional.

Normalmente, estos sistemas son más económicos debido a que no es necesario contar con un sistema de baterías que son los elementos más costosos y de mayor mantenimiento del sistema anterior.

La finalidad de este sistema es inyectar energía a la red para que de esta forma se realice una resta entre la energía consumida y la generada. Siendo esta diferencia la que se ve reflejada en una disminución de costos en el recibo de electricidad, llegando inclusive a ser negativo.

A continuación se muestra una infografía que describe los elementos principales de un sistema fotovoltaico interconectado a la red y el proceso por el cual funciona.

## Sistema Interconectado a la Red



**1** La energía se capta a través de paneles solares

La energía pasa al inversor, que convierte la Corriente **2** Directa (energía solar) a corriente Alterna (corriente con la que funcionan nuestros electrodomésticos)

**3** La energía que generas se va directamente al medidor bidireccional, este se encarga de registrar tanto la energía que consumes de CFE como la energía que produces con tus paneles solares.

Después es inyectada a la Red de CFE, esta se abona **4** a tu recibo mensual de luz, Reduciendo tus pagos por la energía producida.

Ilustración 3 Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red

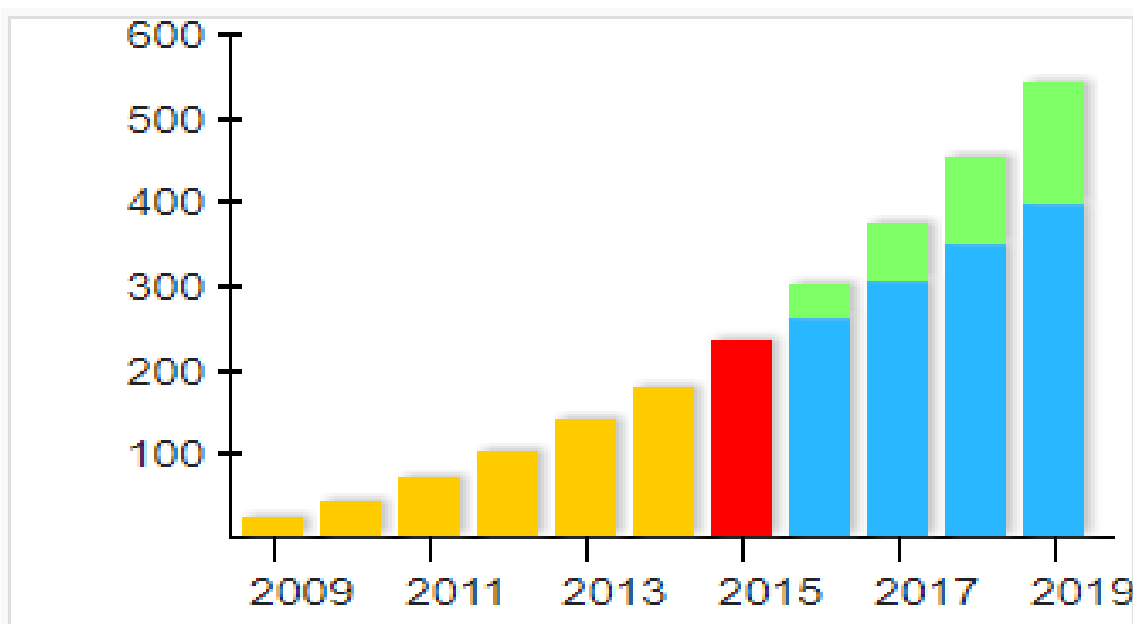
Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.4 Escenario Futuro

En palabras del International Business Times, la energía solar se convertirá en los próximos 10 años en la fuente de electricidad más barata en muchas partes del mundo. Desde la época de los años 80, la tecnología de los módulos solares se ha ido abarrotando del orden del 10% cada año. Se estima que para 2027 el 20% de las necesidades energéticas globales serán abastecidas mediante módulos solares.

El mercado mundial fotovoltaico, de acuerdo a un estudio de la PV Market Alliance (PVMA), aumentará alrededor del 20% en los próximos dos años; sumando al menos 80 GW en 2018.

A continuación se muestra una gráfica que representa lo dicho en el párrafo anterior.



*Ilustración 4 Potencial Fotovoltaico Mundial en GW*

*Fuente: International Business Times*

## **1.3 LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN**

### **1.3.1 ¿Qué es un proyecto de inversión?**

Un proyecto de inversión consiste en un conjunto de acciones y planes que se le asignan un determinado monto de capital y de insumos, con la finalidad de que se produzca un bien o servicio útil a la sociedad. En términos generales, un proyecto de inversión no es más que una propuesta económica cuya finalidad es que se generen más recursos que los que se destinaron a la creación del mismo; es decir, se busca generar ingresos superiores al costo del proyecto.

Para evaluar si un proyecto es o no rentable, existen toda una serie de conceptos financieros y métodos que permiten evaluar si un proyecto es viable o no desde el punto financiero. Cabe decir, que un proyecto no sólo deber evaluarse desde el punto de vista financiero; es decir si genera ingresos o no, sino que además debe evaluarse desde el punto de vista social, técnico, político, económico, ambiental, etc.

### **1.3.2 Aspectos Financieros Básicos de un Proyecto de Inversión**

A continuación se presentan los conceptos básicos a considerar para la evaluación financiera de un proyecto de inversión. Cabe decir que estos son conceptos básicos elementales y conforme el proyecto lo demande es posible que se tomen en cuenta otros conceptos. Para el caso del proyecto citado en esta tesina se consideran los siguientes conceptos.

#### **1.3.2.1 Interés y Tasa de Interés**

Como es bien sabido, el dinero no vale lo mismo a lo largo del tiempo; lo anterior se debe a un fenómeno económico conocido como inflación. La inflación hace que día a día el dinero pierda valor adquisitivo; es decir, se desvalore. Este concepto conlleva a que si por ejemplo, se preste \$500 a un año, no es lógico solamente esperar en devolución sólo esos \$500; sino además, se deben regresar esos \$500 más un dinero extra por la utilización de los mismos. Lo anterior de determina a través del interés.

El interés no es más que la medida o manifestación del valor del dinero en el tiempo; es decir, el interés es la medida del incremento del dinero en un tiempo determinado.

Ahora bien, para poder asignarle un valor numérico a este incremento del dinero en el tiempo, se utiliza el indicador expresado en porcentaje conocido como tasa de interés.



La tasa de interés no es más que una relación entre lo que se recibe de intereses (I) y la cantidad invertida o prestada (P). De ahí que la relación de tasa de interés se puede obtener de la siguiente manera:

$$i = \frac{I}{P}$$

De la operación anterior se obtiene un número decimal, número que comúnmente se expresa en porcentaje para un periodo de tiempo determinado que normalmente es un año.

### **1.3.2.2 Valor Futuro**

El valor futuro F es el valor equivalente de una cantidad P después de estar ganando intereses por n periodos de tiempo a una tasa de interés i. Básicamente es el resultante de lo ganado si se invierte o se presta un dinero a una tasa de interés fija en ciertos periodos de tiempo n. Su expresión algebraica es la siguiente:

$$F = P (1 + i)^n$$

### **1.3.2.3 Valor Presente**

Consiste en calcular el valor de dinero P, equivalente hoy a una cantidad futura F, ubicada a n periodos adelante en el futuro considerando una tasa de interés fija i. La finalidad es calcular el valor actual de un capital equivalente a lo pagado en el futuro. Básicamente, nos indica cuánto vale un dinero en el futuro llevado al tiempo actual. Su expresión algebraica es la siguiente:

$$P = \frac{F}{(1 + i)^n}$$

### **1.3.2.4 Tasa de Inflación**

Según las palabras de Jhonny de Jesús Mesa Orozco autor de Evaluación Financiera de Proyectos, se define a la inflación como: *“es el incremento generalizado de los precios de los bienes y servicios producidos por la economía de un país, lo que conlleva a la pérdida del poder adquisitivo de la moneda. La tasa de inflación se define como la medida del incremento continuo en los precios de bienes y servicios a través del tiempo.”*

En otras palabras, la tasa de inflación no es más que un aumento constante, pero variable, a los bienes y servicios de una nación que de igual manera se expresa con un porcentaje.

### 1.3.2.5 Financiamiento y Amortización

Como todos conocemos, para realizar un proyecto es necesario un capital inicial o inversión, al proceso de obtener dicho capital llámese mediante capital propio, préstamo, crédito, fondos o fideicomisos se le conoce como financiamiento. Por lo tanto, la amortización es el proceso de pago o cancelación de dicho financiamiento junto con sus intereses y mediante una serie de pagos en un tiempo determinado.

Cabe decir, que el monto de amortización dependerá del monto a financiar, la tasa de interés de financiamiento, si hay o no cuota inicial y los periodos y plazos de financiamiento.

### 1.3.3 Métodos para Evaluar Proyectos de Inversión

Una inversión no es más que la asignación de recursos presentes, con el fin de obtener ganancias de los mismos en el futuro. Sin embargo, lo primero en que se piensa antes de invertir es si dicha inversión es conveniente o no; es decir, si es o no rentable.

Para determinar si dicha inversión es o no rentable, se toman en cuenta los conceptos anteriores y se aplican los métodos que a continuación se describen.

#### 1.3.3.1 Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto es un indicador expresado en dinero que compara el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos; es decir, es la diferencia resultante de los ingresos y egresos en el presente.

Para calcular el Valor Presente Neto, es necesario conocer el monto de la inversión del proyecto y los flujos de caja a generar estimados como resultado de la inversión. Con la siguiente ecuación es posible determinar el monto del VPN:

$$VPN = -I + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n}$$

En términos financieros, se puede decir que una inversión es conveniente siempre y cuando el  $VPN > 0$ .

### 1.3.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Analizando la ecuación del VPN, es posible observar que su valor depende de la tasa de interés con la que se evalúe. Debido a lo anterior, existe el método conocido como Tasa Interna de Retorno, el cual no depende de la tasa de interés con la que se evalúe.

La TIR es un indicador que nos dice hasta cuánto podría ser el rendimiento o rentabilidad del proyecto dado que se obtiene de igualar el VPN del proyecto con cero. En otras palabras, la TIR es la tasa de interés que hace que el  $VPN = 0$ .

Otra interpretación muy relevante de la TIR es como la máxima tasa de interés a la cual el inversionista podría pedir dinero prestado para financiar la totalidad del proyecto. La ecuación de la TIR se plantea de la siguiente forma:

$$-I + \frac{FC_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

En términos financieros, se puede decir que una inversión es conveniente siempre y cuando el valor de la  $TIR > i$  o tasa de rentabilidad deseada.

### 1.3.3.3 Relación Beneficio Costo (B/C)

Finalmente, la relación beneficio costo es un indicador numérico que toma los ingresos y egresos del proyecto a valor presente y determina básicamente cuáles son los beneficios por cada unidad monetaria invertida en el proyecto. Para calcular la relación beneficio costo es necesario determinar la sumatoria de todos los ingresos llevados a valor presente y estos dividirlos entre la sumatoria de todos los egresos. La ecuación de la relación beneficio costo queda de la siguiente manera:

$$B/C = \frac{\frac{FC_1}{(1 + i)^1} + \frac{FC_2}{(1 + i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + i)^n}}{I}$$

En términos financieros, se puede decir que una inversión es conveniente siempre y cuando el valor de la relación  $B/C > 1$ .

## **2. MERCADO Y MARCO NORMATIVO**

---

### **2.1 MERCADO ELÉCTRICO MEXICANO**

México es la segunda economía más grande de América Latina, su sector energético se encuentra en un punto de inflexión histórico. A fines de 2013, el Congreso aprobó reformas radicales en el sector energético de México, destinadas a conducir a la liberalización del sector de generación de energía históricamente controlado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La regulación fue implementada desde entonces, y los primeros mecanismos de mercado comenzaron a funcionar en 2016.

#### **2.1.1 Reforma Energética y sus Objetivos**

La reforma energética de México enmendó la constitución y la generación abierta a desarrolladores privados, mientras que la transmisión y la distribución permanecerán bajo CFE (con algún rol para la inversión privada). Además, la reforma crea un mercado mayorista de energía, operado por un operador de sistema independiente recién formado, el Centro Nacional de Control de Energía (Centro Nacional de Control de Energía, o CENACE). La reforma introduce subastas para contratar energía para el sistema y allana el camino para los certificados de energía limpia (CEL's), que serán necesarios para cumplir con una obligación anual de energía limpia. Para este año 2018, el 5% de la energía del país debe provenir de fuentes limpias (que incluyen energías renovables, grandes centrales hidroeléctricas, centrales nucleares y cogeneración eficiente).

El país tiene dos objetivos relacionados con la generación de energía limpia y la reducción de gases de efecto invernadero. El primero se refiere a la generación total de electricidad proveniente de fuentes no fósiles, incluidas las tecnologías renovables, las grandes centrales hidroeléctricas y las nucleares. El segundo objetivo tiene como fin lograr una reducción del 30% en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2020 y del 50% para 2050, con los niveles de emisión a partir de 2000 como línea de base.

## 2.2 NORMATIVIDAD

Para el desarrollo de un proyecto de estas características y tamaño, la ley marca el cumplir con ciertos trámites y normatividades de acuerdo a varios organismos y dependencias mexicanas; en este apartado, se mencionará a grueso modo cuáles son estos trámites, la normatividad a seguir y su relevancia para el proyecto. Así mismo, cabe decir que una buena parte de mi trabajo laboral lo dediqué, en primera instancia, al análisis y entendimiento de esta normatividad.

### 2.2.1 NOM-001-SEDE-2012

Una Norma Oficial Mexicana es una serie de lineamientos del país que tienen como objetivo regular el diseño, la producción o el servicio de un bien de consumo como referente para las personas que no son especialistas en la materia; es decir, son los lineamientos necesarios a seguir para realizar una actividad en específico.

En este caso, la NOM-001-SEDE-2012 se refiere a los lineamientos a seguir en instalaciones eléctricas a nivel nacional. Es esta norma el principal referente en cuanto al diseño de la instalación fotovoltaica se refiere. En su artículo 690 Sistemas Solares Fovoltáicos, la norma describe los requisitos con la que toda instalación solar fotovoltaica debe cumplir; desde sistemas de protección, sistemas de puesta a tierra, equipos, etc. Básicamente este es una guía general del sistema y de sus componentes esenciales.

### 2.2.2 Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad Menor a 0.5 MW

El 9 de Diciembre de 2016 la SENER emitió el manual de interconexión de centrales de generación con capacidad menor a 0.5 MW; el cual establece los términos, los requerimientos técnicos y la normatividad con la que se regirán los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red. En base a este manual y a la NOM-001-SEDE-2012 se diseñó el proyecto. Así mismo, dicho manual establece la siguiente clasificación de los sistemas interconectados:

Nivel de Tensión	Capacidad de Generación Neta de la Central Eléctrica (P) (kW)		Clasificación
Baja Tensión ( menor o igual que 1 kV)	Sistemas Trifásicos	$P \leq 50$	Tipo BT
	Sistemas Monofásicos	$P \leq 30$	
Media Tensión ( mayor que 1 kV y menor o igual que 35 kV)	$P \leq 250$		Tipo MT1
	$250 < P < 500$		Tipo MT2

Tabla 1 Clasificación de Centrales Eléctricas con Capacidad Menor a 0.5 MW

Fuente: Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad Menor a 0.5 MW

De acuerdo a la tabla anterior, el proyecto entra en la categoría tipo MT1 y según este manual, le corresponde el siguiente diagrama de interconexión:

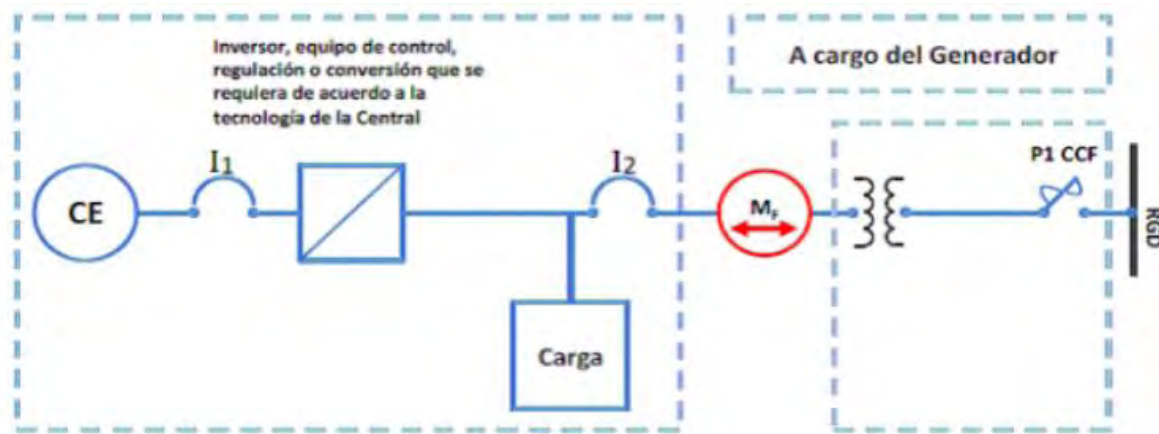


Ilustración 5 Esquema de Interconexión para Centrales Eléctricas Menores o Iguales que 250 kW en Media Tensión con Centros de Carga

Fuente: Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad Menor a 0.5 MW

Las especificaciones técnicas de cada equipo se describen a modo general en el manual y de igual manera deben cumplir con la NOM-001-SEDE-2012.

### 2.2.2.1 Contrato de Interconexión

Para un proyecto de generación distribuida, que en este caso se trata de un sistema fotovoltaico interconectado a la red, el procedimiento administrativo a seguir es realizar una solicitud o contrato de interconexión con el suministrador que en este caso es CFE. Para poder dar de alta un sistema interconectado es necesario anexar lo siguiente:

- Solicitud de Interconexión
- Croquis de Ubicación Geográfica de la Central Generadora
- Diagrama Unifilar de la central Eléctrica con Centros de Carga
- Ficha Técnica de los Paneles Solares
- Ficha Técnica y Certificados del Inversor
- Copia del Último Recibo sin Adeudos

Cabe decir que este trámite se realiza una vez instalado el sistema y el tiempo aproximado de respuesta para la instalación del medidor bidireccional es de aproximadamente 20 días.

## **2.3 SITUACIÓN ACTUAL Y CONTEXTO SOLAR**

### **2.3.1 Contexto Nacional**

En 2014, México generó el 6% de su electricidad a partir de fuentes renovables, compuestas por biomasa y residuos, plantas geotérmicas, pequeñas centrales hidroeléctricas, eólicas y solares. Como el mayor productor de gas natural de Latinoamérica, el país depende principalmente de plantas de energía a gas, que produjeron alrededor del 60% de los 285 TWh estimados generados en 2014. A pesar de su pequeña participación hasta la fecha, el potencial de energía solar es muy importante para la energía futura de México, el país tiene uno de los mayores índices de irradiación solar en todo el mundo y este sector se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo.

Los desarrolladores de energía renovable pueden beneficiarse de la depreciación acelerada del valor de su inversión en equipos. Los bienes utilizados con fines anticontaminación y de investigación y desarrollo también están exentos de impuestos a la importación y exportación. México tiene dos fondos estatales de energía renovable: uno respalda iniciativas de eficiencia energética y electrificación rural, mientras que el otro ofrece subsidios a proyectos de energía renovable y eficiencia energética desarrollados por instituciones académicas y de investigación mexicanas.

México se encuentra en una zona geográfica privilegiada para la energía solar. Según la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica, México es el tercer país más atractivo para invertir en proyectos de energía solar, justo detrás de China y Singapur, con una radiación solar mínima de 5 kWh por metro cuadrado; esto acorde a datos de la NASA y del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Recientemente, el gobierno de México acaba de solicitar una primera auditoría para proyectos solares.

A continuación se muestra un mapa de la radiación solar promedio en México donde es posible observar las zonas con el mayor potencia solare del país.



*Ilustración 6 Radiación Solar Promedio Anual en México*

*Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas*

### 2.3.2 Contexto Local

Para entender el porqué de este proyecto, debo hablar primero sobre mi tierra natal; debo hablar sobre la Zona Metropolitana de Moreleón-Uriangato-Yuriria.

La Zona Metropolitana Moreleón-Uriangato-Yuriria se encuentra constituida oficialmente desde el 6 de octubre de 2010, esta se encuentra conformada por los municipios de Moreleón, Uriangato y Yuriria como se muestra en la siguiente imagen.





*Ilustración 7 Zona Metropolitana Moroleón-Uriangato-Yuriria*

*Fuente: CONAPO*

El comercio y la industria textil son la actividad económica principal y representan el motor de la economía local, esta actividad da empleo a 30,000 personas quienes perciben su salario directamente de la actividad textil que se desarrolla en esta zona, lo cual representa 38.09 % de la población económicamente activa de los municipios de la región.

Esta zona metropolitana constituye la 58va ciudad más competitiva y sustentable de México en 2015, de acuerdo al Instituto Mexicano para la Competitividad.

Desde sus orígenes las ciudades de Uriangato y Moroleón se han encontrado geográficamente cercanas, sin embargo en la segunda mitad del siglo XX debido al crecimiento originado por el auge de la industria y el comercio textil en la región el cual se incrementó a principios de la década de 1980 ambas ciudades se unieron y compartieron tanto vialidades, como servicios y el intercambio económico, social y cultural entre los habitantes de ambas poblaciones se incrementó de manera importante.

Durante la década de 1990 se crearon la "Expo Textil Moroleón" el "Grupo Textil Guanajuato" con la finalidad de fortalecer la industria textil, posteriormente los comerciantes de Uriangato se unieron a esta exposición anual, y para finales de la década de 1990 el municipio de Yuriria se integra formalmente a la industria textil con la creación del Tianguis Textil Parangarico, el primero ubicado fuera del territorio de los municipios de Uriangato y Moroleón, con esto, la integración económica y social de los tres municipios se fortaleció constituyendo el origen de lo esta zona metropolitana.

A continuación, se muestra una imagen de una calle típica en el centro de la región dedicada al comercio de productos textiles.



*Ilustración 8 "Calle de la Ropa" en el municipio de Uriangato, Guanajuato*

*Fuente: Elaboración Propia*

### **2.3.2.1 Necesidad y Solución**

Dado que como se menciona anteriormente, un fuerte porcentaje de la población de la región depende de las ventas de esta industria; existen un gran número de talleres de confección de prendas textiles, bordadoras, teñidoras, tejedoras y demás cuyos gastos por consumo eléctrico llegan a ser muy elevados debido a las maquinarias utilizadas. Llegando inclusive a presentar gastos de hasta \$100,000.00 mensuales en los fabricantes más importantes.

Tomando en cuenta lo anterior y buscando soluciones, se encontró muy viable tanto en términos ambientales como económicos y financieros el uso de los sistemas fotovoltaicos para reducir sus gastos por consumo eléctrico. Como todo; estos sistemas llegan a ser costosos al principio; pero realmente significan no un ahorro sino una ganancia económica dado que los tiempos de retorno de inversión normalmente no superan los 5 años y estos sistemas tienen una vida promedio de 25 años; es decir, por 20 años sólo se pagaría el mínimo por gastos de luz eléctrica. De lo anterior hablaré más a profundidad en el análisis financiero del sistema.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y EVALUACIÓN

#### 3.1 DATOS GENERALES

Como se comentó en la introducción, este proyecto está diseñado como solución al gasto mensual por consumo eléctrico de una Nave Industrial ubicada en el municipio de Uriangato, Guanajuato y cuyos usos son el teñido de prendas textiles, confección de las mismas, bordado y empaquetado de éstas. Se trata de una instalación trifásica en media tensión con un consumo promedio mensual de casi 50,000 kWh. A continuación, se muestra una tabla con los datos generales del proyecto.

<b><i>Datos Generales</i></b>	
Ubicación	Uriangato, Guanajuato, México
Tarifa	GDMTH
División	Bajío
Consumo Mensual Promedio	45,658.83 kWh
Irradiación Anual Promedio	5.91 kWh/m <sup>2</sup> /día
<b><i>Datos de la Techumbre</i></b>	
Sector	Privado
Área	2,300 m <sup>2</sup>
Tipo de Techumbre	Lámina de Acero Tipo Pintro Cal. 26
<b><i>Datos del Sistema Fotovoltaico</i></b>	
Tamaño del Sistema	191.40 kW
Área del Sistema	1,392.0 m <sup>2</sup>
Módulos	Solartec S72PC-330 (580 unidades)
Inversores	Kaco Powador 72.0 TL3 XLF (3 unidades)
Sistema de Montaje	Everest Mounting System MiniRail XPress
Fecha de Construcción	Febrero 2018
<b><i>Datos Económicos y Financieros</i></b>	
Gasto Mensual Promedio	\$95,777.30
Ahorro Mensual Promedio	\$33,801.73
Costo del Sistema	\$5,498,047.64
Retorno de la Inversión	11 años
Porcentaje de Financiamiento	80 %
VPN a 25 años	\$3,082,895.91
TIR a 25 años	19.91 %
Relación B/C	3.80

Tabla 2 Datos Generales del Proyecto

Fuente: Elaboración Propia

## 3.2 DETALLES DEL SITIO

### 3.2.1 Ubicación

El proyecto se ubica en la zona industrial a las afueras del municipio de Uriangato, Guanajuato. La ciudad de Uriangato se encuentra en la Zona Metropolitana de Moroleón-Uriangato-Yuriria ubicada en la parte sur del estado de Guanajuato en la zona conocida como el Bajío, famosa por sus cultivos y fuerte crecimiento económico. La nave industrial tiene un área aproximada de 2,300 m<sup>2</sup>. A continuación, se presenta una imagen aérea de la nave.



*Ilustración 9 Ubicación del Proyecto*

*Fuente: Google Earth*

### 3.2.2 Clima e Irradiación

El municipio y la zona en general cuentan con abundantes recursos fotovoltaicos e iluminación intensiva, el tiempo promedio anual de aplicación de luz es de aproximadamente 6 horas, de acuerdo a datos de la NASA. La ciudad de Uriangato tiene un clima semicálido y subhúmedo, precipitación pluvial media de 810 milímetros anuales y una temperatura media anual de 19.9 °C.

A continuación, se presenta una tabla con los datos climáticos más relevantes de la zona.

Mes	Temperatura del Aire °C	Humedad Relativa %	Radiación Solar Promedio kWh/m <sup>2</sup> /d	Presión Atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura a Ras de Tierra °C
Enero	13.9	53.30%	4.91	81.5	3.3	15.7
Febrero	15.6	46.20%	5.91	81.5	3.6	18.3
Marzo	18.1	36.40%	6.93	81.4	4	21.9
Abril	20.5	35.40%	7.19	81.4	3.8	25.2
Mayo	21.5	43.80%	6.92	81.4	3.5	26
Junio	19.5	69.20%	6.27	81.4	3.1	22.1
Julio	18.6	73.80%	6.01	81.5	3	20.3
Agosto	18.6	72.40%	5.96	81.5	2.8	20.1
Septiembre	17.8	75.50%	5.49	81.4	2.7	19.2
Octubre	16.5	72.20%	5.37	81.5	2.9	18
Noviembre	15.2	65.10%	5.22	81.5	3.1	16.6
Diciembre	14.2	58.00%	4.7	81.6	3.1	15.6
<b>Anual</b>	17.5	58.40%	5.91	81.5	3.2	19.9
Medido a (m)					10	0

Tabla 3 Datos Climáticos del Municipio de Uriangato

Fuente: NASA

De la tabla anterior, realmente el dato más importante es el de irradiación anual; dado que la irradiación anual determina la producción del sistema fotovoltaico. En promedio, el municipio cuenta con una irradiación solar promedio de 5.91 kWh/m<sup>2</sup>/día o también conocido como 5.91 horas solares pico al día. A continuación, se muestra la gráfica de radiación solar anual en Uriangato, Guanajuato.

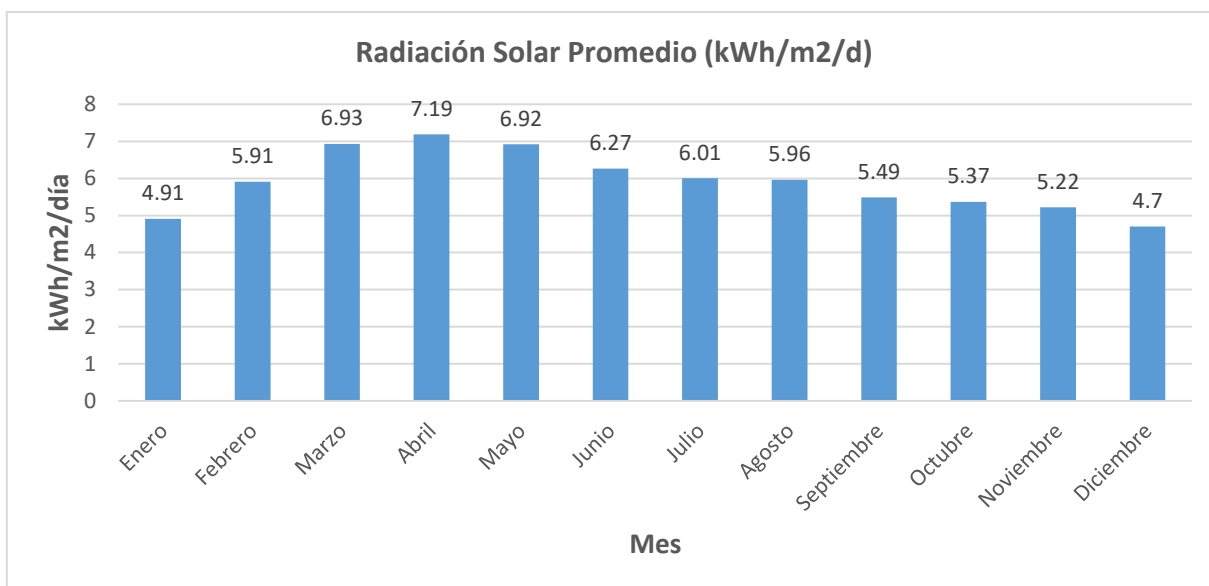


Ilustración 10 Radiación Solar Promedio Mensual

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3 TARIFA Y CONSUMO HISTÓRICO

#### 3.3.1 Esquema Tarifario

Recientemente, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) aprobó la metodología de cálculo y ajuste de las Tarifas Finales del Suministro Básico que se comenzaron a utilizar a partir de diciembre de 2017 y hasta diciembre de 2018 para determinar el valor de las tarifas finales. Este nuevo esquema tarifario toma en cuenta el costo de cada segmento de la cadena de valor de la industria eléctrica, al mismo tiempo que incorpora las variaciones temporales del costo del servicio. En base a lo anterior, hubo un cambio tarifario quedando de la siguiente manera:

Categoría tarifaria	Descripción	Tarifa anterior
PDBT	Pequeña Demanda (hasta 25 kW-mes) en Baja Tensión	2, 6
GDBT	Gran Demanda (mayor a 25 kW-mes) en Baja Tensión	3, 6
RABT	Riego Agrícola en Baja Tensión	9
APBT	Alumbrado Público en Baja Tensión	5, 5A
APMT	Alumbrado Público en Media Tensión	5, 5A
GDMTH	Gran Demanda en Media Tensión horaria	HM, HMC, 6
GDMTO	Gran Demanda en Media Tensión ordinaria	OM, 6
RAMT	Riego Agrícola en Media Tensión	9M
DIST	Demanda Industrial en Subtransmisión	HS, HSL
DIT	Demanda Industrial en Transmisión	HT, HTL

Tabla 4 Nuevo Esquema Tarifario CFE

Fuente: Nuevo Esquema Tarifario CFE

De acuerdo a la tabla anterior y los recibos eléctricos, el proyecto se encuentra en una tarifa GDMTH; es decir, a esta industria se le cobra en base a su consumo eléctrico por horario. La siguiente tabla indica los precios fijos y variables a cobrar durante el mes de Marzo de 2018 para una tarifa GDMTH ubicada en la división Bajío de la CFE:

Tarifa	Descripción	Int. Horario	Cargo	Unidades	MAR-18
GDMTH	Gran demanda en media tensión horaria	-	Fijo	\$/mes	436.21
		Base	Variable (Energía)	\$/kWh	0.6641
		Intermedia	Variable (Energía)	\$/kWh	1.1342
		Punta	Variable (Energía)	\$/kWh	1.2841
		-	Distribución	\$/kW	90.16
		-	Capacidad	\$/kW	225.02

Tabla 5 Costo Tarifario Marzo 2018

Fuente: Nuevo Esquema Tarifario CFE

### 3.3.2 Consumo Histórico

Para poder diseñar el sistema fotovoltaico es necesario analizar el último año de consumo eléctrico; para ello solamente se requieren los dos últimos recibos eléctricos. A continuación, se muestra una tabla resumen y su gráfica de consumo anual eléctrico e importes mensuales.

Mes	Energía (kWh)	Demanda (kW)	Importe
feb-17	40,486.00	121	\$ 88,242.58
mar-17	45,663.00	122	\$ 95,434.84
abr-17	37,782.00	123	\$ 85,188.25
may-17	47,558.00	119	\$ 97,130.34
jun-17	46,359.00	125	\$ 97,199.60
jul-17	43,570.00	120	\$ 92,082.82
ago-17	46,875.00	120	\$ 96,496.62
sep-17	44,265.00	120	\$ 93,010.99
oct-17	47,708.00	119	\$ 97,330.67
nov-17	50,309.00	134	\$ 104,980.57
dic-17	46,119.00	135	\$ 99,663.27
ene-18	51,212.00	121	\$ 102,567.07
<b>Total</b>	<b>547,906.00</b>		<b>\$ 1,149,327.63</b>
<b>Promedio Mensual</b>	<b>45,658.83</b>		<b>\$ 95,777.30</b>
<b>Promedio Diario</b>	<b>1,501.11</b>		<b>\$ 3,148.84</b>

Tabla 6 Consumo Histórico Feb. 2017 – Ene. 2018

Fuente: Último Recibo de Luz Proporcionado por el Cliente



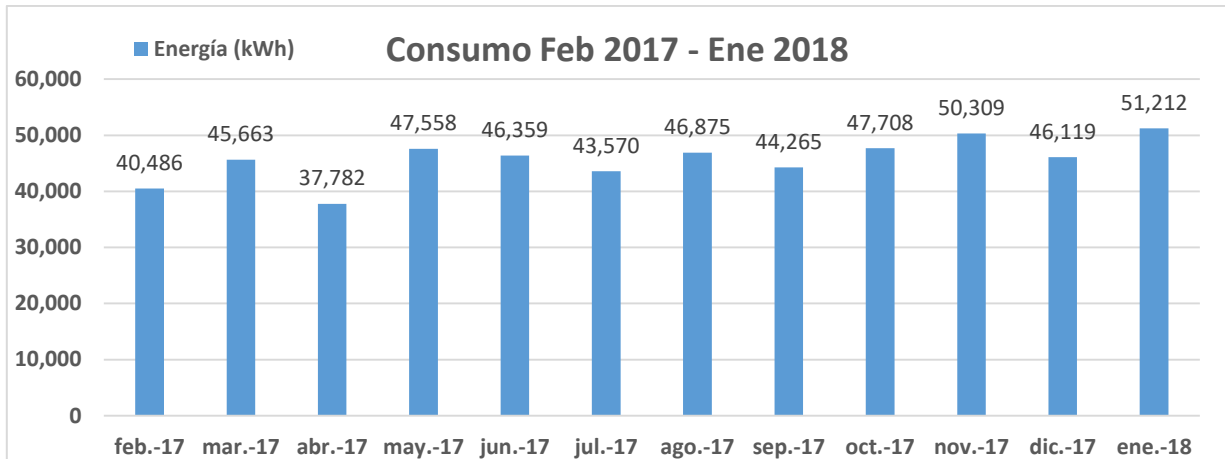


Ilustración 11 Consumo Eléctrico Feb. 2017 – Ene. 2018

Fuente: Elaboración Propia

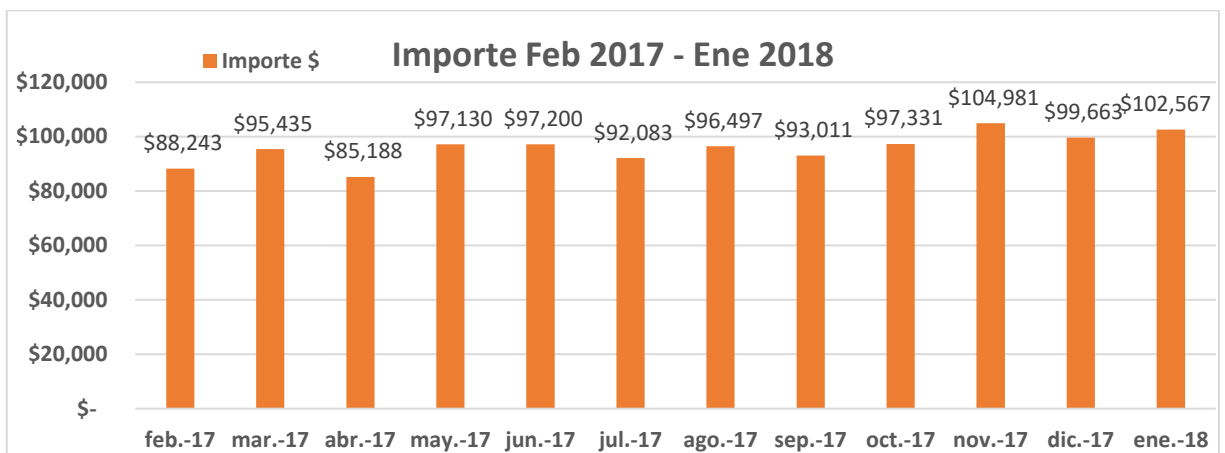


Ilustración 12 Importes Mensuales Feb. 2017 – Ene. 2018

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en cuenta todo lo anterior y conociendo datos muy importantes tales como:

- Consumo Energético Mensual = 45,658.83 kWh
- Gasto Promedio Mensual = \$95,777.30

Es posible realizar el dimensionamiento del sistema.



### 3.4 EVALUACIÓN TÉCNICA (DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA)

#### 3.4.1 Módulos Solares

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico depende básicamente de cuatro elementos:

- Consumo Energético
- Horas Solares Pico o Irradiación Promedio
- Modelo y Potencia de los Módulos Solares a Usar
- Área o Superficie de la Techumbre o Predio donde se Instalará el Sistema

Los datos anteriores ya son conocidos y es posible efectuar un dimensionamiento. La ecuación para calcular el número de módulos necesarios a utilizarse es:

$$\text{Núm. de Módulos} = \frac{\text{Consumo Eléctrico Promedio Diario (W)}}{\text{HSP} * \text{Eficiencia del Sistema} * \text{Potencia Módulos (W)}}$$

Para este proyecto se requiere utilizar los módulos de mayor potencia disponible en el mercado; estos son módulos solares Solartec de 330 W Policristalinos de 72 celdas. Además se sabe que las HSP= 5.91 y la eficiencia de un sistema de este tipo ronda el 83 %.

Sustituyendo queda:

$$\text{Núm. de Módulos} = \frac{1,501,110 (W)}{5.91 * 0.83 * 330(W)} = 927.33 \text{ módulos}$$

Realizando la operación anterior, nos queda que para satisfacer el 100% de las necesidades energéticas de la nave industrial son necesarios 928 módulos solares de 330 W.

Se optó por escoger un fabricante nacional debido a su localización en el mismo estado de Guanajuato, las certificaciones de sus productos y sus precios accesibles.

A continuación, se presenta una imagen del tipo de módulo solar a utilizar.



Solartec

*Ilustración 13 Módulo Solar Solartec 330 W*

*Fuente: Solartec*

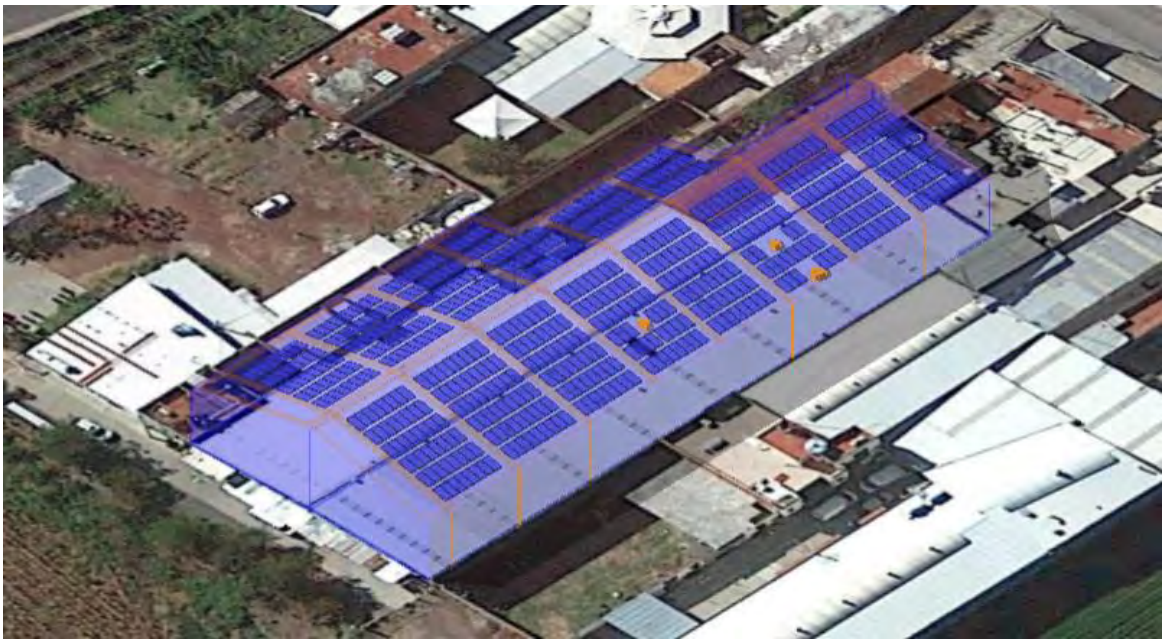
Sin embargo, la capacidad de la techumbre de la nave industrial no alcanza para colocar este número de módulos solares debido a que existen áreas de la nave en las que no se pueden colocar estructuras de soporte para los módulos; lo anterior debido a que partes de la superficie de la nave tienen láminas de plástico delgado cuya función es la de proveer iluminación, además de que existen extractores de aire y demás instalaciones eléctricas en las que por normatividad no se permiten colocar módulos solares cerca.

Para resolver la problemática anterior, se utilizó el software de diseño fotovoltaico *Helioscope*. Este software se basa en diseños aéreos por Google Earth, tomando en cuenta el área total de la techumbre y programando las áreas no aptas para los módulos como en este caso son las láminas de plástico, los extractores de aire y el cableado eléctrico. Además de que se programa también distancias mínimas de los módulos con respecto a los ordes de la techumbre. Otro aspecto que también considera el software son los coeficientes de dilatación térmica asociados a los módulos y las sombras de éstos. Tomando todo lo anterior en consideración, el software *Helioscope* determina que la cantidad óptima de módulos solares necesarios para el proyecto es 580 módulos policrystalinos de 330 W. Lo cual representa un 63% del total de módulos necesarios. A continuación se muestra una imagen del sistema en planta y en 3D.



*Ilustración 14 Dimensionamiento de Módulos en Planta*

*Fuente: Helioscope*



*Ilustración 15 Dimensionamiento de Módulos en 3D*

*Fuente: Helioscope*

### 3.4.2 Inversores Fotovoltaicos

El proyecto utilizará inversores centrales fotovoltaicos. Un inversor es un convertidor que transforma la energía producida por los módulos solares en corriente directa a energía alterna que es la energía que utilizan la mayoría de los aparatos eléctricos.

En el mercado existen toda una gama de inversores fotovoltaicos; sin embargo, las dimensiones de este proyecto demandan inversores de una potencia muy grande. La potencia sumada de los inversores debe sumar la potencia del sistema fotovoltaico a instalar.

Debido a todo lo anterior; se optó por utilizar tres inversores fotovoltaicos de la marca Kaco modelo Kaco Powador 72.0 TL3 XLF. Lo anterior debido a que cada inversor tiene una capacidad de 60 kW nominales y 72 kW picos; juntos logran una capacidad pico de 216 kW picos, suficiente para las necesidades del sistema. Además estos inversores son de procedencia alemana y cuentan con un gran número de certificados internacionales que avalan la eficiencia del equipo. En la imagen siguiente se puede apreciar la apariencia de un inversor Kaco Powador de 60 kW nominales.



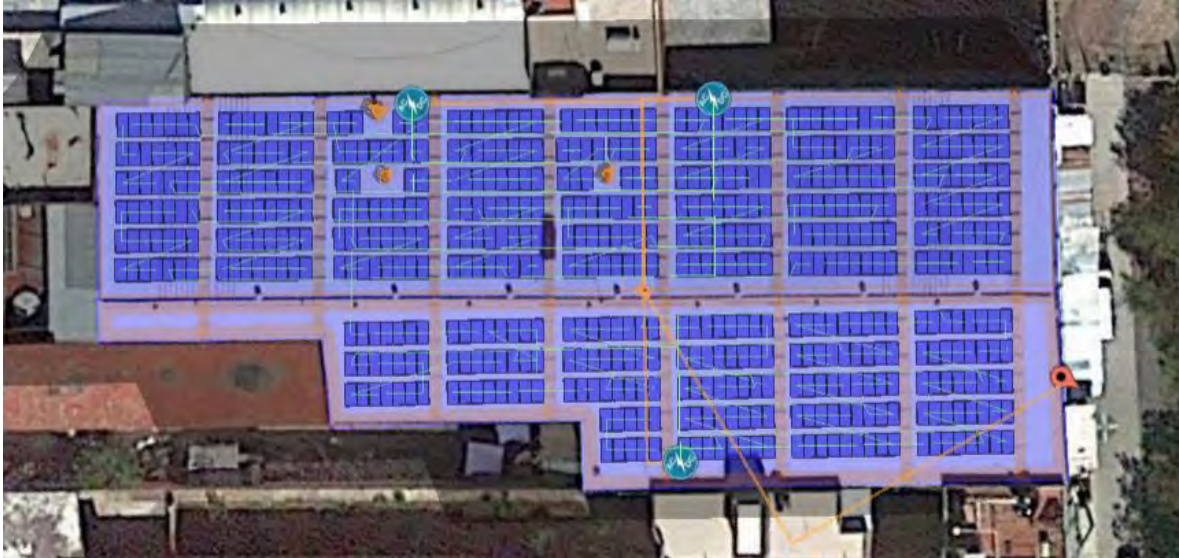
*Ilustración 16 Inversor Kaco Powador 72.0 TL3*

*Fuente: Kaco Powador*



Tomando en cuenta lo anterior y utilizando el software Helioscope, se ubica la mejor posición de los inversores tomando en cuenta el arreglo programado de los módulos solares. El objetivo es optimizar la cantidad de cableado eléctrico; además tomando en consideración que los módulos tendrán un arreglo en serie y en paralelo de acuerdo a las especificaciones máximas de voltaje y amperaje de los inversores.

En la imagen siguiente se muestra la colocación de los inversores en la nave industrial y su respectivo arreglo eléctrico buscando la mínima cantidad de cableado eléctrico.



*Ilustración 17 Esquema Eléctrico del Proyecto Con Inversores*

*Fuente: Helioscope*

### **3.4.3 Estructuras de Montaje**

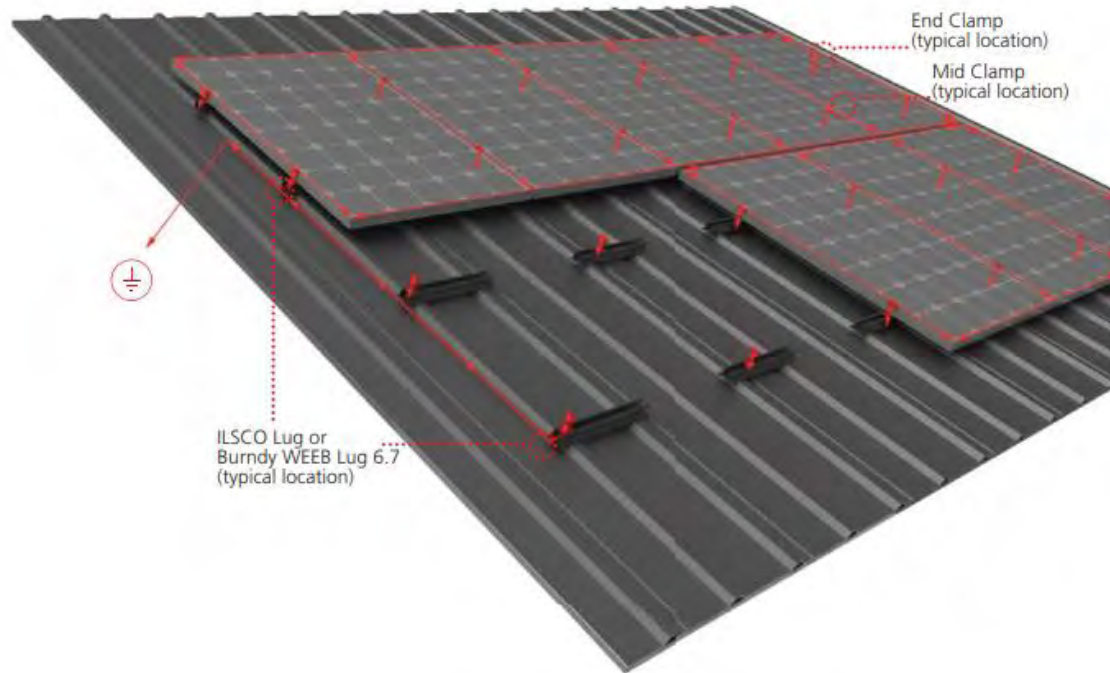
El sistema de montaje a utilizarse consiste en soportes solares tipo rieles de aluminio anodizado, esto para prevenir un fenómeno conocido como par galvánico que no es más que la oxidación de los metales debido al contacto con un metal diferente y cuyo detonante principal es el agua.

Además de lo anterior, se debe considerar que la techumbre es una lámina tipo pinto calibre 26 con una inclinación promedio de  $11^{\circ}$ ; la mayoría de los sistemas de montaje en el mercado están diseñados para techumbres planas de concreto, es decir el método de fijación es por perforación y en este caso no es recomendable perforar la lámina.

Por todo lo anterior, se optó por un sistema de montaje tipo MiniRail XPress de la marca Everest Solar Systems especiales para láminas de acero tipo trapecoidales con la posibilidad

de adecuare a la inclinación existente de la techumbre; aparte de inclinar los módulos el restante necesario para alcanzar la inclinación adecuada de 20°.

A continuación, se presenta una imagen de este tipo de sistemas de montaje de módulos solares.



*Ilustración 18 Sistemas de Montaje MiniRail XPRESS Everest Solar Systems*

*Fuente: Everest Solar Systems*

Como se mencionó anteriormente, los sistemas de montaje se ajustarán a la inclinación de la techumbre que es de aproximadamente 11° según las mediciones realizadas en campo. Los módulos fotovoltaicos a su vez tendrán una inclinación de 20° de acuerdo a la latitud del lugar y una orientación de aproximadamente 300° dado que esa es la orientación de la nave industrial. En total la techumbre deberá resistir el peso combinado 580 módulos policristalinos de 330 W, más el peso de los sistemas de montaje, más el peso de los equipos y el cableado.

Para corroborar que la techumbre no tendrá problemas con el peso del sistema fotovoltaico, es necesario realizar un análisis estructural basado en los datos técnicos de la techumbre que en este caso es una lámina tipo pinto calibre 26.

### 3.4.3.1 Cálculo de Cargas

Dado que el sistema se colocará sobre la techumbre, es necesario realizar un análisis de cargas del sistema; el cual tiene como objetivo corroborar que la lámina de acero resista las cargas del sistema. Para el cálculo de cargas se tomará en cuenta las cargas propias del sistema (cargas muertas) y las establecidas por las Normas Técnicas Complementarias de 2004 y las del personal de instalación (cargas vivas). A continuación se presentan las cargas existentes en el proyecto:

#### Cálculo de Cargas Muertas

Concepto	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga (kg/m <sup>2</sup> )
Módulos Solares Solartec S72PC 330	23.20	1.94	11.96
Sistemas de Montaje	1.40	1.94	0.72
Cableado	0.50	1.94	0.26
<b>TOTAL</b>			<b>12.94</b>

#### Cálculo de Cargas Vivas

Concepto	Carga (kg/m <sup>2</sup> )
Carga para Azoteas con Pendiente Mayor a 5° (NTC 2004)	5.00
Mano de Obra Durante la Instalación	60.00
<b>TOTAL</b>	<b>65.00</b>
<b>Carga Muerta + Carga Viva</b>	<b>77.94</b>

Tabla 7 Cálculo de Cargas de la Techumbre

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, se estima que para una condición crítica, la techumbre estaría sujeta a una carga equivalente a 78 kg/m<sup>2</sup>. Según datos de la ficha técnica de la lámina pintor calibre 26 (anexada al final de esta tesina), la capacidad de carga para una lámina pintor cal. 26 simple de 1.40 metros de separación = 183 (kg/m<sup>2</sup>). Por lo tanto, en condiciones críticas la techumbre tendría una capacidad de carga restante del 57%.

Por lo anterior, se concluye que no existe riesgo de falla en la estructura siempre y cuando los trabajadores durante la instalación se distribuyan en superficies mayores a 1 m<sup>2</sup>.

### 3.4.4 Estudio de Sombras

Como se mencionó al principio, uno de los principales determinantes de producción eléctrica del sistema es la presencia de sombras dado que tan sólo una pequeña sombra sobre un módulo puede reducir su eficiencia no sólo de éste sino de todo el string (arreglo de módulos en serie). Para ello y apoyados por el software Helioscope se determinó el estudio de sombras siguientes para un horario de operación promedio de 10:00 a.m. – 4:00 p.m.



*Ilustración 19 Estudio de Sombras del Sistema*

*Fuente: Helioscope*

Básicamente, el análisis se basa en proyecciones del movimiento del sol a lo largo de todo el año en el horario escogido anteriormente. Para el estudio de sombras se toma en cuenta la latitud y altitud del lugar, el clima y edificios cercanos que puedan generar sombras (en este caso no aplican debido a que la nave es el edificio más alto). Tomando en cuenta lo anterior, el estudio arrojó que el sistema operará en un rango de eficiencia de los módulos que varía del 93% en adelante; lo cual representa unas condiciones óptimas e ideales de operación.

Cabe recordar que el estándar de eficiencia de un sistema fotovoltaico interconectado a la red es de aproximadamente el 83% debido a pérdidas por temperatura, inversores, sombras, cableado, etc.



## 3.5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

### 3.5.1 Presupuesto

Tomando en cuenta todos los elementos anteriores, es necesario monetizar el sistema. Para ello se recurrió a solicitar cotizaciones a distribuidores autorizados en el país y cerca de la región que contaran con los equipos y aditamentos necesarios anteriormente descritos.

Además de los equipos antes mencionados, se debe tomar en cuenta un transformador pedestal de 250 KVA dado que el sistema conlleva un exceso de carga para la instalación existente. También es necesario la contratación de mano de obra especializada en instalaciones fotovoltaicas que cumplan con la certificación EC0586 y una unidad verificadora de instalaciones fotovoltaicas de acuerdo al Manual de Interconexión que establece que todas las instalaciones mayores a 50 kW deberán ser verificadas.

A continuación, se presenta la cotización del sistema en dólares debido a que sistemas de este tipo se manejan en dólares porque la mayoría de los equipos son de importación. El tipo de cambio será tomado de acuerdo a la fecha del Diario Oficial de la Federación; sin embargo, por cuestiones de volatilidad de los mercados se toma el tipo de cambio de 1 USD = 19.00 MXN.

Nombre	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (USD)	Importe (USD)
<b>Transformador 250 KVA</b>	Transformador Pedestal de 250 KVA de 13,200 a 480/277	1	Pza	\$ 7,692.09	\$ 7,692.09
<b>Módulos Solar 330 W</b>	Módulo Solar Marca Solartec Modelo S72PC-330, 72 celdas, policristalino de 330 W de Potencia	580	Pza	\$ 170.28	\$ 98,762.40
<b>Inversor 60 kW</b>	Inversor Kaco Powador 60 kW 3 MPPT's 480 V C/SPD Fusibles y DC	3	Pza	\$ 12,032.47	\$ 36,097.42
<b>Riel Aluminio</b>	Mini Riel de aluminio para Montaje en Lámina Trapezoidal para Cal. Mínimo 26	2268	Pza	\$ 2.20	\$ 4,989.60
<b>Tornillo</b>	Tornillo para Lámina con EPDM	9072	Pza	\$ 0.79	\$ 7,185.02
<b>Accesorio</b>	Accesorio para Aterrizar Estructura ILSCO	567	Pza	\$ 5.45	\$ 3,087.32
<b>End Clamos</b>	End Clamps Certificación UL 2703	1485	Lote	\$ 3.19	\$ 4,737.15
<b>Middle Clamps</b>	Middle Clamps Certificación UL 2703	1950	Lote	\$ 2.93	\$ 5,705.70

<b>Kit Eléctrico</b>	Kit de Cableado Profesional para Sistema con Inversor Central. Incluye: Tubería Conduit Metálica Intemperie 19mm y Abrazaderas para Fijarla, Cableado más Tierra (8AWG) Tipo THW, Metros de Cable Fotovoltaico RHHW 10AWG, Conectores MC4, Condulets tipo LB y Tipo T, Conectores de Tubería a Gabinete y Conectores Gándula.	98	Lote	\$ 414.59	\$ 40,629.82
<b>Mano de Obra</b>	Mano de Obra Especializada de Sistema De Interconexión a la Red	1	Lote	\$ 24,771.18	\$ 24,771.18
<b>Unidad Verificadora</b>	Unidad Especializada en la Verificación de Instalaciones Eléctricas Fotovoltaicas en Base a la NOM-001-SEDE-2012	1	Lote	\$ 15,800.00	\$ 15,800.00
				Subtotal	\$ 249,457.70
				IVA	\$ 39,913.23
				Total	\$ 289,370.93

Tabla 8 Costo del Sistema

Fuente: Elaboración Propia

En base a la tabla anterior, el costo del sistema con IVA incluido queda en un total de \$289,370.93 USD, que al tipo de cambio actual (1USD = \$19.00 MXN) el costo del sistema queda en \$5, 498,047.64 MXN.

### 3.5.2 Ahorro del Proyecto

Para este tipo de sistemas, el ahorro es directamente proporcional a la cantidad de energía producida por el sistema que va en función de las horas solares pico. En este caso, el ahorro se determina como la diferencia del consumo menos lo generado. Sin embargo y debido al cambio del esquema tarifario, sólo es posible atacar el costo referente a la energía, ya que como se vio en la parte de tarifas, existen cargos fijos por concepto de distribución y capacidad.

El cálculo de la producción solar mensual en kWh se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Prod. Solar Mensual (kWh) = \frac{\# Paneles * Potencia (W) * HSP * Eficiencia * 30}{1,000}$$

Por lo tanto, el ahorro energético mensual queda como:

$$\text{Ahorro Mensual} = \text{Consumo Mensual (kWh)} - \text{Prod. Solar Mensual (kWh)}$$

Tomando como base lo anterior, se hace realizó la siguiente tabla que presenta el consumo del sistema, la producción solar y la resta de éstas, así como la gráfica que lo representa.

Mes	Energía (kWh)	Demanda (kW)	Irradiancia	Producción Solar (kWh)	Restante (kWh)
feb-17	40,486	121	5.91	28,166.23	12,319.77
mar-17	45,663	122	6.93	33,027.41	12,635.59
abr-17	37,782	123	7.19	34,266.53	3,515.47
may-17	47,558	119	6.92	32,979.75	14,578.25
jun-17	46,359	125	6.27	29,881.94	16,477.06
jul-17	43,570	120	6.01	28,642.82	14,927.18
ago-17	46,875	120	5.96	28,404.53	18,470.47
sep-17	44,265	120	5.49	26,164.57	18,100.43
oct-17	47,708	119	5.37	25,592.67	22,115.33
nov-17	50,309	134	5.22	24,877.79	25,431.21
dic-17	46,119	135	4.7	22,399.54	23,719.46
ene-18	51,212	121	4.91	23,400.37	27,811.63
<b>Total</b>	<b>547,906</b>			<b>337,804.16</b>	<b>210,101.84</b>
<b>Promedio Mensual</b>	<b>45,658.83</b>			<b>28,150.35</b>	<b>17,508.49</b>

Tabla 9 Consumo vs Producción

Fuente: Elaboración Propia

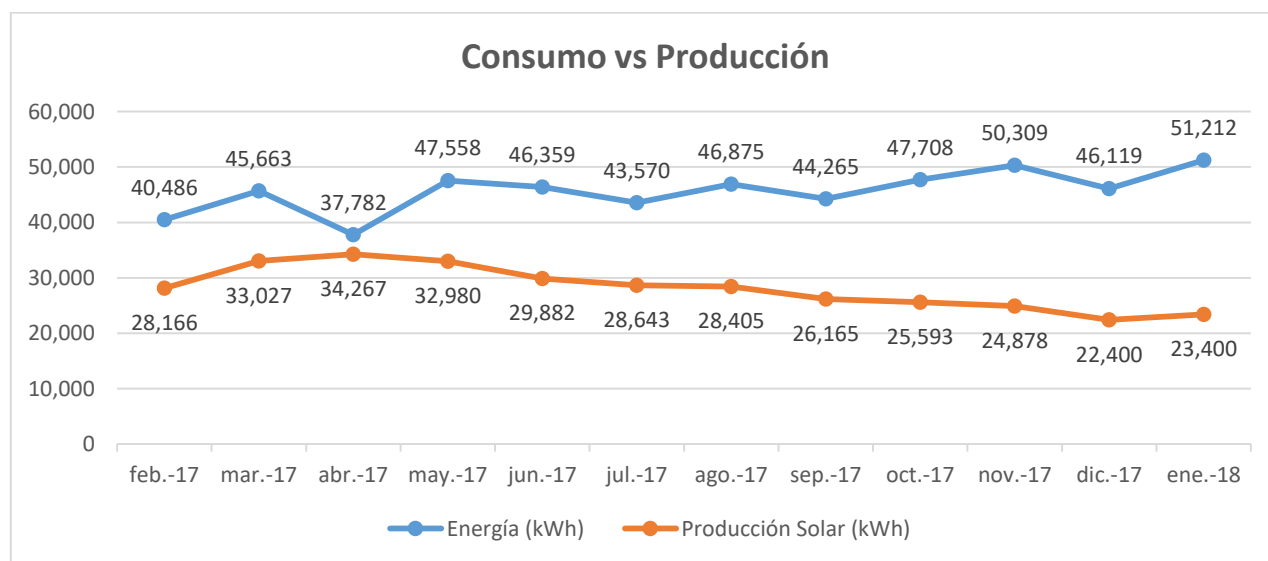


Ilustración 20 Consumo vs Producción

Fuente: Elaboración Propia

	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	Promedio Mensual	Gasto Anual Promedio
<b>Energía</b>	\$ 78,903.79	\$ 85,370.44	\$ 76,157.60	\$ 86,894.89	\$ 86,957.16	\$ 82,356.60	\$ 86,325.10	\$ 83,191.12	\$ 87,075.00	\$ 93,953.12	\$ 89,172.28	\$ 91,783.11	\$ 85,678.35	\$ 1,028,140.20
<b>Cargo Fijo</b>	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 436.21	\$ 5,234.52
<b>2% BT</b>	\$ 1,586.80	\$ 1,716.13	\$ 1,531.88	\$ 1,746.62	\$ 1,747.87	\$ 1,655.86	\$ 1,735.23	\$ 1,672.55	\$ 1,750.22	\$ 1,887.79	\$ 1,792.17	\$ 1,844.39	\$ 1,722.29	\$ 20,667.49
<b>Subtotal</b>	\$ 80,926.80	\$ 87,522.78	\$ 78,125.69	\$ 89,077.72	\$ 89,141.24	\$ 84,448.66	\$ 88,496.53	\$ 85,299.88	\$ 89,261.43	\$ 96,277.12	\$ 91,400.66	\$ 94,063.71	\$ 87,836.85	\$ 1,054,042.21
<b>IVA 16%</b>	\$ 12,948.29	\$ 14,003.65	\$ 12,500.11	\$ 14,252.43	\$ 14,262.60	\$ 13,511.79	\$ 14,159.45	\$ 13,647.98	\$ 14,281.83	\$ 15,404.34	\$ 14,624.10	\$ 15,050.19	\$ 14,053.90	\$ 168,646.75
<b>Facturación del Periodo</b>	\$ 93,875.09	\$ 101,526.43	\$ 90,625.80	\$ 103,330.15	\$ 103,403.83	\$ 97,960.45	\$ 102,655.98	\$ 98,947.86	\$ 103,543.26	\$ 111,681.45	\$ 106,024.76	\$ 109,113.90	\$ 101,890.75	\$ 1,222,688.97
<b>Crédito Aplicable Facturación</b>	-\$ 5,632.51	-\$ 6,091.59	-\$ 5,437.55	-\$ 6,199.81	-\$ 6,204.23	-\$ 5,877.63	-\$ 6,159.36	-\$ 5,936.87	-\$ 6,212.60	-\$ 6,700.89	-\$ 6,361.49	-\$ 6,546.83	-\$ 6,113.44	-\$ 73,361.34
<b>Total sin Paneles</b>	\$ 88,242.58	\$ 95,434.84	\$ 85,188.25	\$ 97,130.34	\$ 97,199.60	\$ 92,082.82	\$ 96,496.62	\$ 93,010.99	\$ 97,330.67	\$ 104,980.57	\$ 99,663.27	\$ 102,567.07	\$ 95,777.30	\$ 1,149,327.63
	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	<b>Ahorro Mensual</b>	<b>Ahorro Anual</b>
<b>Ahorro por Paneles</b>	\$ 33,820.81	\$ 39,657.90	\$ 41,145.79	\$ 39,600.68	\$ 35,880.96	\$ 34,393.07	\$ 34,106.94	\$ 31,417.30	\$ 30,730.58	\$ 29,872.19	\$ 26,896.41	\$ 28,098.17	\$ 33,801.73	\$ 405,620.81

	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	Promedio Mensual	Costo Anual con Paneles
<b>Total con Paneles</b>	\$ 54,421.77	\$ 55,776.94	\$ 44,042.46	\$ 57,529.67	\$ 61,318.64	\$ 57,689.75	\$ 62,389.68	\$ 61,593.69	\$ 66,600.08	\$ 75,108.38	\$ 72,766.86	\$ 74,468.90	\$ 61,975.57	\$ 743,706.82

Tabla 10 Ahorro Económico

Fuente: Elaboración Propia

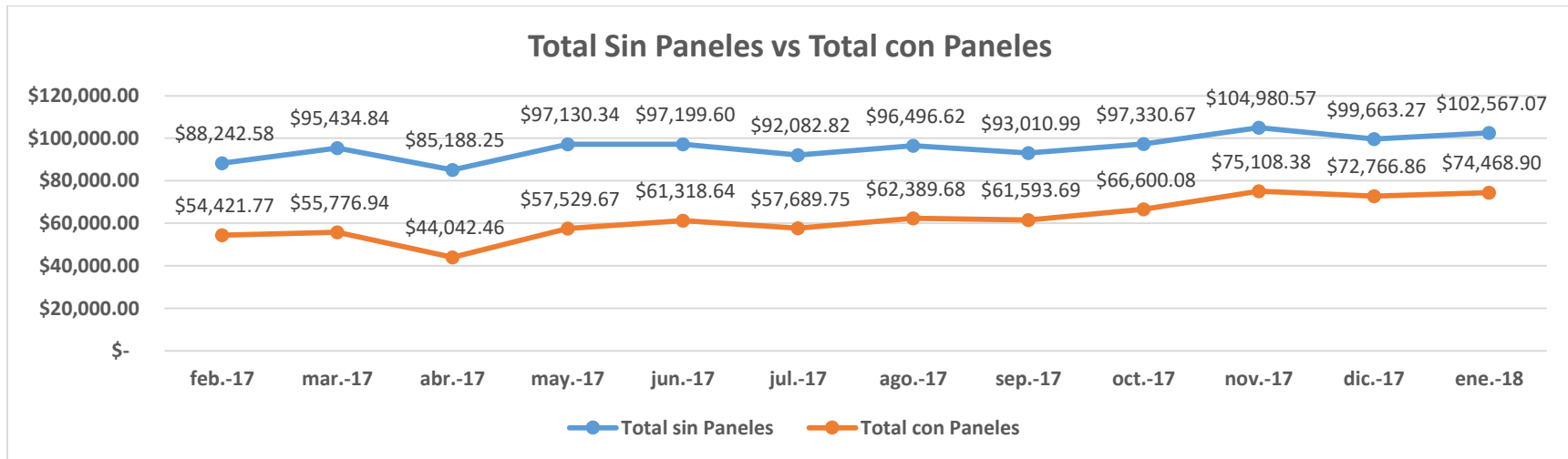


Ilustración 21 Total sin Módulos vs Total con Módulos

Fuente: Elaboración Propia

## **3.6 EVALUACIÓN FINANCIERA**

Para llevar a cabo la evaluación financiera se tomarán en cuenta varias cosas; la primera es un aumento en la tarifa eléctrica del orden del 6.8% anual de acuerdo a análisis de las tarifas de CFE. La segunda es que se debe considerar una pérdida en la producción de los paneles solares del orden del 0.5% anual. La tercera es que se aplicarán dos casos: el primer caso con financiamiento del sistema y segundo caso sin financiamiento del sistema; desde luego que dados los costos del sistema es necesario financiarlo, pero se pone para fines de comparación.

Además de lo anterior, cabe decir que recién se aplica un estímulo fiscal el cual promueve que las empresas adquieran sistemas de generación de energías renovables siempre y cuando sean para fines del cumplimiento de sus actividades como empresa. El estímulo es la deducción del 100% del total del sistema en el primer año fiscal; es decir, básicamente se regresan los impuestos pagados por el sistema el primer año.

Tomando lo anterior en cuenta, se realizará una corrida económica a 25 años dado que ese es el tiempo de vida estimado del sistema fotovoltaico.

### **3.6.1 VPN, TIR y Relación B/C**

Como se mencionó anteriormente, para este proyecto se realizarán dos análisis financieros. El primer análisis considera que se cuenta con el 100% de la inversión; desde luego este no es el caso real, sin embargo se hará para fines de comparación.

El segundo análisis se hará tomando en cuenta que se financie un 80% del costo total del proyecto, mientras el 20% restante se cubre por cuenta propia. Este es el parámetro más real y al que corresponderá la rentabilidad del proyecto.

Para ambos casos, el periodo de análisis de flujo será de 25 años con una terna de evaluación del proyecto  $i = 8\%$ . Además para ambos casos se toma en cuenta la devolución de los impuestos en el primer año fiscal dado el apoyo fiscal mencionado anteriormente.

#### **3.6.1.1 Análisis Financiero Caso 1. Flujo de Efectivo sin Financiamiento**

A continuación, se presenta el flujo de efectivo para el caso 1:

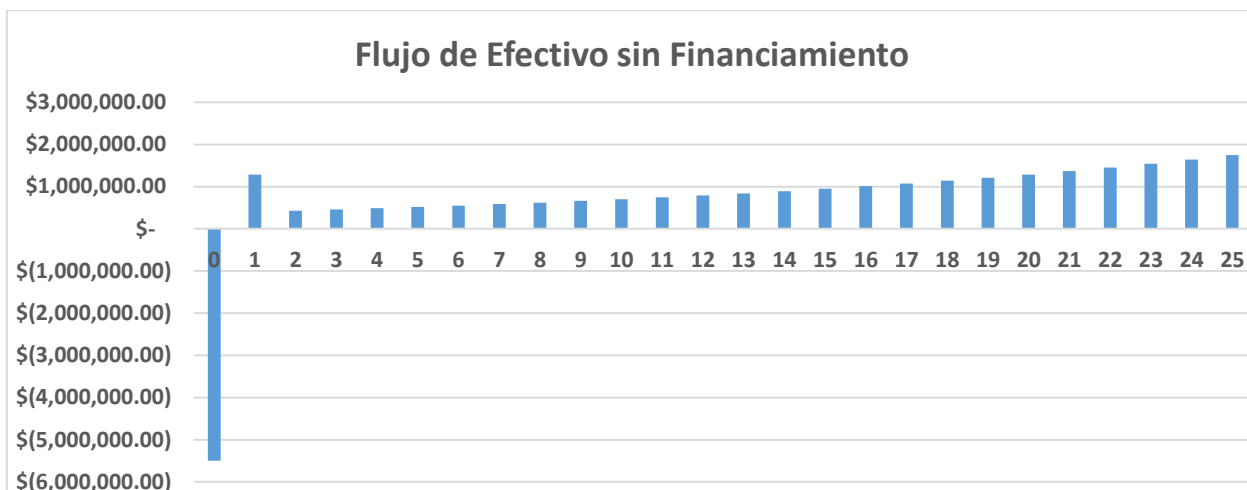


Ilustración 22 Flujo de Efectivo sin Financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

Periodo	Inversión	Ingresos	Deducción Impuestos	Flujo	Flujo VP	Flujo Ac
0	\$ 5,498,047.64			-\$ 5,498,047.64	-\$ 5,498,047.64	-\$ 5,498,047.64
1		\$ 405,620.81	\$ 879,687.62	\$ 1,285,308.43	\$ 1,190,100.40	-\$ 4,307,947.24
2		\$ 431,037.01	\$ -	\$ 431,037.01	\$ 369,544.76	-\$ 3,938,402.48
3		\$ 458,045.79	\$ -	\$ 458,045.79	\$ 363,611.51	-\$ 3,574,790.97
4		\$ 486,746.93	\$ -	\$ 486,746.93	\$ 357,773.53	-\$ 3,217,017.44
5		\$ 517,246.50	\$ -	\$ 517,246.50	\$ 352,029.28	-\$ 2,864,988.17
6		\$ 549,657.16	\$ -	\$ 549,657.16	\$ 346,377.25	-\$ 2,518,610.92
7		\$ 584,098.68	\$ -	\$ 584,098.68	\$ 340,815.97	-\$ 2,177,794.95
8		\$ 620,698.30	\$ -	\$ 620,698.30	\$ 335,343.98	-\$ 1,842,450.96
9		\$ 659,591.26	\$ -	\$ 659,591.26	\$ 329,959.85	-\$ 1,512,491.12
10		\$ 700,921.25	\$ -	\$ 700,921.25	\$ 324,662.16	-\$ 1,187,828.96
11		\$ 744,840.97	\$ -	\$ 744,840.97	\$ 319,449.53	-\$ 868,379.43
12		\$ 791,512.71	\$ -	\$ 791,512.71	\$ 314,320.59	-\$ 554,058.85
13		\$ 841,108.90	\$ -	\$ 841,108.90	\$ 309,274.00	-\$ 244,784.85
14		\$ 893,812.78	\$ -	\$ 893,812.78	\$ 304,308.43	\$ 59,523.58
15		\$ 949,819.09	\$ -	\$ 949,819.09	\$ 299,422.59	\$ 358,946.17
16		\$ 1,009,334.75	\$ -	\$ 1,009,334.75	\$ 294,615.19	\$ 653,561.36
17		\$ 1,072,579.67	\$ -	\$ 1,072,579.67	\$ 289,884.98	\$ 943,446.34
18		\$ 1,139,787.51	\$ -	\$ 1,139,787.51	\$ 285,230.72	\$ 1,228,677.06
19		\$ 1,211,206.60	\$ -	\$ 1,211,206.60	\$ 280,651.18	\$ 1,509,328.24
20		\$ 1,287,100.80	\$ -	\$ 1,287,100.80	\$ 276,145.17	\$ 1,785,473.41
21		\$ 1,367,750.54	\$ -	\$ 1,367,750.54	\$ 271,711.51	\$ 2,057,184.92
22		\$ 1,453,453.79	\$ -	\$ 1,453,453.79	\$ 267,349.03	\$ 2,324,533.94
23		\$ 1,544,527.20	\$ -	\$ 1,544,527.20	\$ 263,056.59	\$ 2,587,590.53
24		\$ 1,641,307.27	\$ -	\$ 1,641,307.27	\$ 258,833.07	\$ 2,846,423.60
25		\$ 1,744,151.59	\$ -	\$ 1,744,151.59	\$ 254,677.36	\$ 3,101,100.96
				\$ 18,487,597.83	\$ 3,101,100.96	

Tabla 11 Flujo de Efectivo Sin Financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

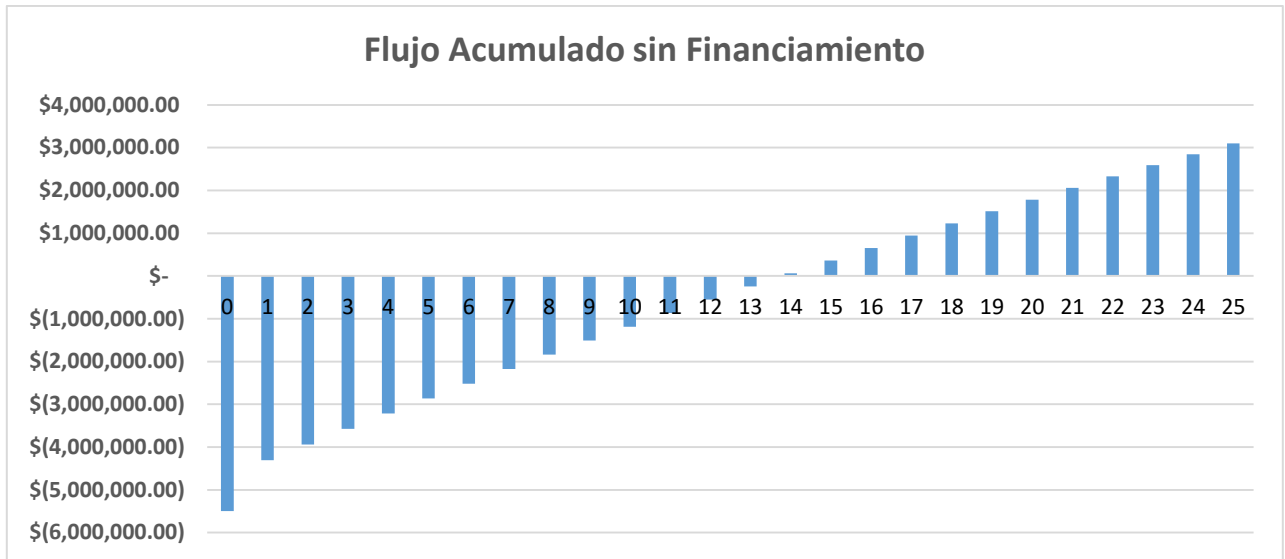


Ilustración 23 Flujo Acumulado sin Financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.1.1.1 Cálculo del VPN

$$\begin{aligned}
 VPN = & -5,498,047.64 + \frac{405,620.81 + 879,687.82}{(1 + 0.08)^1} + \frac{431,037.01}{(1 + 0.08)^2} + \frac{458,045.79}{(1 + 0.08)^3} \\
 & + \frac{486,746.93}{(1 + 0.08)^4} + \dots + \frac{1,744,151.59}{(1 + 0.08)^{25}}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, queda que el **VPN= \$3, 101,100.96 MXN.**

Es decir, al término de 25 años se obtendrá un beneficio de \$3, 101,100. 96 MXN.

### 3.6.1.1.2 Cálculo de TIR

$$\begin{aligned}
 TIR; & -5,498,047.64 + \frac{405,620.81 + 879,687.82}{(1 + i)^1} + \frac{431,037.01}{(1 + i)^2} + \frac{458,045.79}{(1 + i)^3} \\
 & + \frac{486,746.93}{(1 + i)^4} + \dots + \frac{1,744,151.59}{(1 + i)^{25}} = 0
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, queda que la **TIR=13.02%.**

Es decir, al término de 25 años se obtendrá una rentabilidad del 13.02 %.



### 3.6.1.1.3 Cálculo de Relación B/C

$$B/C = \frac{\frac{405,620.81 + 879,687.82}{(1 + 0.08)^1} + \frac{431,037.01}{(1 + 0.08)^2} + \frac{458,045.79}{(1 + 0.08)^3} + \dots + \frac{1,744,151.59}{(1 + 0.08)^{25}}}{5,498,047.64}$$

Por lo tanto, queda que la relación **B/C a 25 años = 1.56**.

Es decir, por cada unidad monetaria invertida, se recuperarán 1.56 unidades monetarias a un plazo de 25 años.

En este análisis se observa que el TIR es apenas mayor que la tasa de interés planteada y se puede observar que el VPN= \$3, 101,100.96 MXN y la relación C/B = 1.56; lo anterior no es poco, pero dadas las características de la inversión y además el periodo de recuperación de la inversión se presenta hasta el año 14. Por todo lo anterior y además de que no se cuenta con la magnitud de recursos propios, se opta por financiar el 80% del valor del proyecto.

### 3.6.1.2 Análisis Financiero Caso 2. Flujo de Efectivo con Financiamiento

Para el caso 2, se tomó en cuenta un flujo con una amortización del financiamiento del orden del 80% del valor del proyecto; es decir, si el proyecto vale **\$5, 498,047.64**, el 80% es \$5, 498,047.64 x 0.8 = **\$ 4, 398,438.11**. Teniendo que la empresa aportar el restante; es decir, la cantidad de **\$1, 099,609.53 MXN**.

Este financiamiento será amortizado por una institución bancaria local la cual da preferencia a proyectos de energías renovables en PyMEs; por estas razones ofrece una tasa del 6% anual y se pactó un periodo de amortización de 20 años. En los apartados siguientes se desglosa este concepto y además se muestra el cálculo del total a pagar por amortización del financiamiento.

Explicado lo anterior, a continuación se presenta el flujo de efectivo a 25 años con amortización del financiamiento.

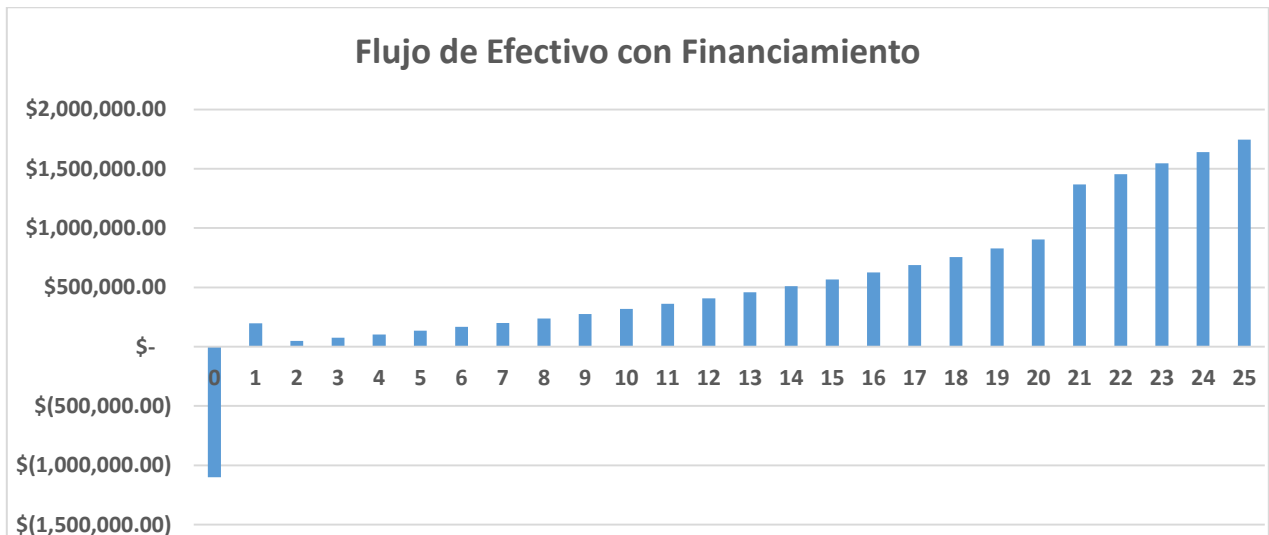


Ilustración 24 Flujo de Efectivo con Financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

A su vez, se presenta una tabla de este flujo de efectivo en los 25 años de vida del proyecto tomando en cuenta los 20 años de amortización del crédito junto con una gráfica que representa el flujo de efectivo acumulado.

Periodo	Inversión	Ahorro	Deducción de Impuestos	Saldo	Pago Capital	Intereses	Pago Total	Flujo	Flujo VP	Flujo Ac
0	\$ 1,099,609.53			\$ 4,398,438.11				-\$ 1,099,609.53	-\$ 1,099,609.53	-\$ 1,099,609.53
1		\$ 405,620.81	\$ 175,937.52	\$ 4,278,868.52	\$ 119,569.59	\$ 263,906.29	\$ 383,475.88	\$ 198,082.45	\$ 183,409.68	-\$ 916,199.85
2		\$ 431,037.01		\$ 4,152,124.75	\$ 126,743.77	\$ 256,732.11	\$ 383,475.88	\$ 47,561.13	\$ 40,776.00	-\$ 875,423.85
3		\$ 458,045.79		\$ 4,017,776.36	\$ 134,348.39	\$ 249,127.49	\$ 383,475.88	\$ 74,569.91	\$ 59,196.00	-\$ 816,227.85
4		\$ 486,746.93		\$ 3,875,367.06	\$ 142,409.30	\$ 241,066.58	\$ 383,475.88	\$ 103,271.06	\$ 75,907.31	-\$ 740,320.54
5		\$ 517,246.50		\$ 3,724,413.21	\$ 150,953.85	\$ 232,522.02	\$ 383,475.88	\$ 133,770.62	\$ 91,042.04	-\$ 649,278.50
6		\$ 549,657.16		\$ 3,564,402.12	\$ 160,011.09	\$ 223,464.79	\$ 383,475.88	\$ 166,181.29	\$ 104,722.40	-\$ 544,556.10
7		\$ 584,098.68		\$ 3,394,790.37	\$ 169,611.75	\$ 213,864.13	\$ 383,475.88	\$ 200,622.80	\$ 117,061.48	-\$ 427,494.63
8		\$ 620,698.30		\$ 3,215,001.92	\$ 179,788.46	\$ 203,687.42	\$ 383,475.88	\$ 237,222.43	\$ 128,163.90	-\$ 299,330.73
9		\$ 659,591.26		\$ 3,024,426.15	\$ 190,575.76	\$ 192,900.11	\$ 383,475.88	\$ 276,115.38	\$ 138,126.43	-\$ 161,204.30
10		\$ 700,921.25		\$ 2,822,415.84	\$ 202,010.31	\$ 181,465.57	\$ 383,475.88	\$ 317,445.37	\$ 147,038.63	-\$ 14,165.67
11		\$ 744,840.97		\$ 2,608,284.92	\$ 214,130.93	\$ 169,344.95	\$ 383,475.88	\$ 361,365.10	\$ 154,983.30	\$ 140,817.63
12		\$ 791,512.71		\$ 2,381,306.13	\$ 226,978.78	\$ 156,497.10	\$ 383,475.88	\$ 408,036.83	\$ 162,037.04	\$ 302,854.67
13		\$ 841,108.90		\$ 2,140,708.62	\$ 240,597.51	\$ 142,878.37	\$ 383,475.88	\$ 457,633.02	\$ 168,270.71	\$ 471,125.38
14		\$ 893,812.78		\$ 1,885,675.26	\$ 255,033.36	\$ 128,442.52	\$ 383,475.88	\$ 510,336.90	\$ 173,749.83	\$ 644,875.21
15		\$ 949,819.09		\$ 1,615,339.90	\$ 270,335.36	\$ 113,140.52	\$ 383,475.88	\$ 566,343.21	\$ 178,535.00	\$ 823,410.21
16		\$ 1,009,334.75		\$ 1,328,784.42	\$ 286,555.48	\$ 96,920.39	\$ 383,475.88	\$ 625,858.87	\$ 182,682.24	\$ 1,006,092.45
17		\$ 1,072,579.67		\$ 1,025,035.60	\$ 303,748.81	\$ 79,727.07	\$ 383,475.88	\$ 689,103.79	\$ 186,243.36	\$ 1,192,335.81
18		\$ 1,139,787.51		\$ 703,061.86	\$ 321,973.74	\$ 61,502.14	\$ 383,475.88	\$ 756,311.63	\$ 189,266.25	\$ 1,381,602.06
19		\$ 1,211,206.60		\$ 361,769.70	\$ 341,292.17	\$ 42,183.71	\$ 383,475.88	\$ 827,730.72	\$ 191,795.19	\$ 1,573,397.25
20		\$ 1,287,100.80		\$ -	\$ 361,769.70	\$ 21,706.18	\$ 383,475.88	\$ 903,624.92	\$ 193,871.11	\$ 1,767,268.36
21		\$ 1,367,750.54						\$ 1,367,750.54	\$ 271,711.51	\$ 2,038,979.87
22		\$ 1,453,453.79						\$ 1,453,453.79	\$ 267,349.03	\$ 2,306,328.89
23		\$ 1,544,527.20						\$ 1,544,527.20	\$ 263,056.59	\$ 2,569,385.48
24		\$ 1,641,307.27						\$ 1,641,307.27	\$ 258,833.07	\$ 2,828,218.55
25		\$ 1,744,151.59						\$ 1,744,151.59	\$ 254,677.36	\$ 3,082,895.91

Tabla 12 Flujo de Efectivo con Financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

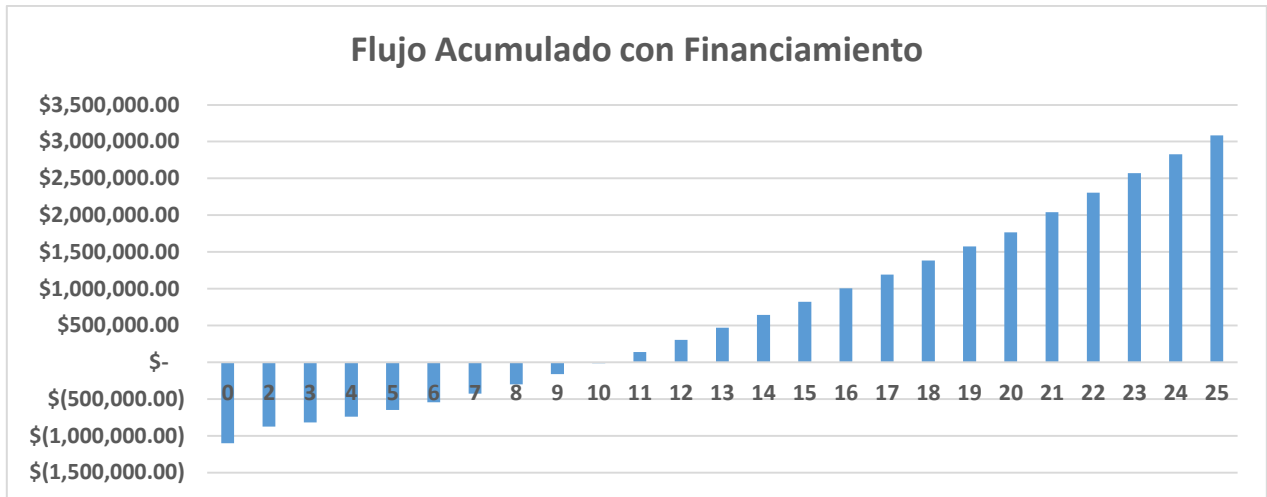


Ilustración 25 Flujo Acumulado con Financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.1.2.1 Cálculo del VPN

$$\begin{aligned}
 VPN = & -1,099,609.53 + \frac{405,620.81 + 175,937.52 - 383,475.88}{(1 + 0.08)^1} \\
 & + \frac{431,037.01 - 383,475.88}{(1 + 0.08)^2} + \frac{458,045.79 - 383,475.88}{(1 + 0.08)^3} \\
 & + \frac{486,746.93 - 383,475.88}{(1 + 0.08)^4} + \dots + \frac{1,744,151.59}{(1 + 0.08)^{25}}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, queda que el **VPN= \$3, 082,895.91 MXN.**

Es decir, al término de 25 años se obtendrá un beneficio de \$3, 082,895. 91 MXN.

### 3.6.1.2.2 Cálculo de TIR

$$\begin{aligned}
 TIR; & -1,099,609.53 + \frac{405,620.81 + 175,937.52 - 383,475.88}{(1 + i)^1} \\
 & + \frac{431,037.01 - 383,475.88}{(1 + i)^2} + \frac{458,045.79 - 383,475.88}{(1 + i)^3} \\
 & + \frac{486,746.93 - 383,475.88}{(1 + i)^4} + \dots + \frac{1,744,151.59}{(1 + i)^{25}} = 0
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, queda que la **TIR=19.91%.**

Es decir, al término de 25 años se obtendrá una rentabilidad del 19.91 %.

### 3.6.1.2.3 Cálculo de Relación B/C

$$B/C = \frac{\frac{198,082.45}{(1 + 0.08)^1} + \frac{431,037.01 - 383,475.88}{(1 + 0.08)^2} + \dots + \frac{1,744,151.59}{(1 + 0.08)^{25}}}{1,099,609.53}$$

Por lo tanto, queda que la relación **B/C a 25 años = 3.80**.

Es decir, por cada unidad monetaria invertida, se recuperarán 3.80 unidades monetarias a un plazo de 25 años.

En este análisis se observa que el TIR está varias veces por encima de la tasa de interés y es también mayor a la TIR del caso 1; se puede observar que el **VPN = \$3, 082,895. MXN**; lo cual es apenas menor que en el primer caso. Sin embargo, lo que aumentó mucho más con respecto al primer caso es la relación B/C la cual en el primer caso fue de 1.56 y en este segundo caso es de 3.80; es decir más del doble con respecto al primer caso.

Además de todo lo anterior, se recupera la inversión para el año 11. Por lo tanto; definitivamente se opta por financiar a 20 años el 80% del valor del proyecto.

### 3.6.2 Fuentes de Financiamiento (Capital propio, fondo autogenerado, crédito, fideicomiso, otras fuentes)

Como se ha mencionado anteriormente, para este proyecto se optará por un crédito bancario preferencial enfocado a proyectos de energías renovables. Se optó por un 80% de amortización del proyecto; es decir, financiar un equivalente de \$ 4,398,438.11 MXN en un periodo de 20 años a pagos iguales con una tasa de interés  $i=6\%$  anual. En el siguiente punto se explica la amortización del financiamiento.

### 3.6.3 Amortización del Financiamiento

Como he mencionado anteriormente, la financiación de este proyecto estaría a base de un crédito bancario especializado en el financiamiento de proyectos de construcción; el monto total de financiamiento es de \$ 4,398,438.11 MXN en un periodo de 20 años a una tasa de interés  $i=6\%$  anual. En este modelo, se realizarán pagos anuales iguales durante 20 años.

Periodo	Saldo	Interés	Pago		
			Capital	Intereses	Total
0	\$ 4,398,438.11				
1	\$ 4,278,868.52	\$ 263,906.29	\$ 119,569.59	\$ 263,906.29	\$ 383,475.88
2	\$ 4,152,124.75	\$ 256,732.11	\$ 126,743.77	\$ 256,732.11	\$ 383,475.88
3	\$ 4,017,776.36	\$ 249,127.49	\$ 134,348.39	\$ 249,127.49	\$ 383,475.88
4	\$ 3,875,367.06	\$ 241,066.58	\$ 142,409.30	\$ 241,066.58	\$ 383,475.88
5	\$ 3,724,413.21	\$ 232,522.02	\$ 150,953.85	\$ 232,522.02	\$ 383,475.88
6	\$ 3,564,402.12	\$ 223,464.79	\$ 160,011.09	\$ 223,464.79	\$ 383,475.88
7	\$ 3,394,790.37	\$ 213,864.13	\$ 169,611.75	\$ 213,864.13	\$ 383,475.88
8	\$ 3,215,001.92	\$ 203,687.42	\$ 179,788.46	\$ 203,687.42	\$ 383,475.88
9	\$ 3,024,426.15	\$ 192,900.11	\$ 190,575.76	\$ 192,900.11	\$ 383,475.88
10	\$ 2,822,415.84	\$ 181,465.57	\$ 202,010.31	\$ 181,465.57	\$ 383,475.88
11	\$ 2,608,284.92	\$ 169,344.95	\$ 214,130.93	\$ 169,344.95	\$ 383,475.88
12	\$ 2,381,306.13	\$ 156,497.10	\$ 226,978.78	\$ 156,497.10	\$ 383,475.88
13	\$ 2,140,708.62	\$ 142,878.37	\$ 240,597.51	\$ 142,878.37	\$ 383,475.88
14	\$ 1,885,675.26	\$ 128,442.52	\$ 255,033.36	\$ 128,442.52	\$ 383,475.88
15	\$ 1,615,339.90	\$ 113,140.52	\$ 270,335.36	\$ 113,140.52	\$ 383,475.88
16	\$ 1,328,784.42	\$ 96,920.39	\$ 286,555.48	\$ 96,920.39	\$ 383,475.88
17	\$ 1,025,035.60	\$ 79,727.07	\$ 303,748.81	\$ 79,727.07	\$ 383,475.88
18	\$ 703,061.86	\$ 61,502.14	\$ 321,973.74	\$ 61,502.14	\$ 383,475.88
19	\$ 361,769.70	\$ 42,183.71	\$ 341,292.17	\$ 42,183.71	\$ 383,475.88
20	\$ -	\$ 21,706.18	\$ 361,769.70	\$ 21,706.18	\$ 383,475.88
<b>Suma</b>			<b>\$ 4,398,438.11</b>	<b>\$ 3,271,079.45</b>	<b>\$ 7,669,517.56</b>

Tabla 13 Amortización del Financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

Del análisis anterior, se puede obtener la siguiente tabla resumen que muestra la tasa de interés mensual, el total de intereses a pagar, el plazo de pago y el monto final a pagar.

**Tasa de Interés**

<b>6.00%</b>			
<b>Resumen de resultados</b>			
<b>Tasa de Interés Anual</b>	<b>No. de Anualidades</b>	<b>Total de Interés</b>	<b>Pago final total</b>
<b>6.00%</b>	<b>20</b>	<b>\$ 3,271,079.45</b>	<b>\$ 7,669,517.56</b>

Tabla 14 Resumen del Financiamiento a 20 años

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta la evolución histórica de los pagos del financiamiento: saldo, el capital y el interés. Básicamente, se pagan al principio los intereses; a medida que éstos se pagan el saldo de financiamiento disminuye.

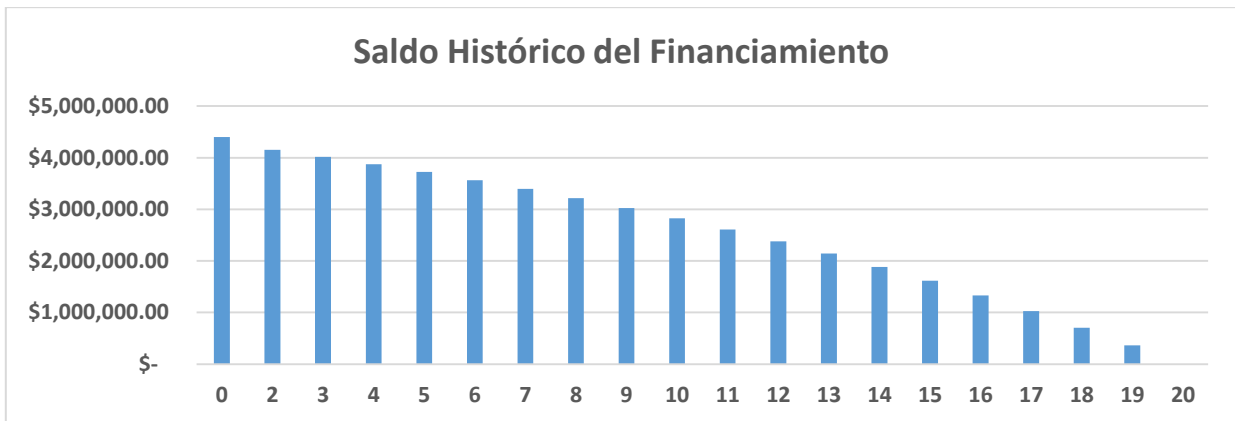


Ilustración 26 Saldo Histórico del Financiamiento

Fuente: Elaboración Propia

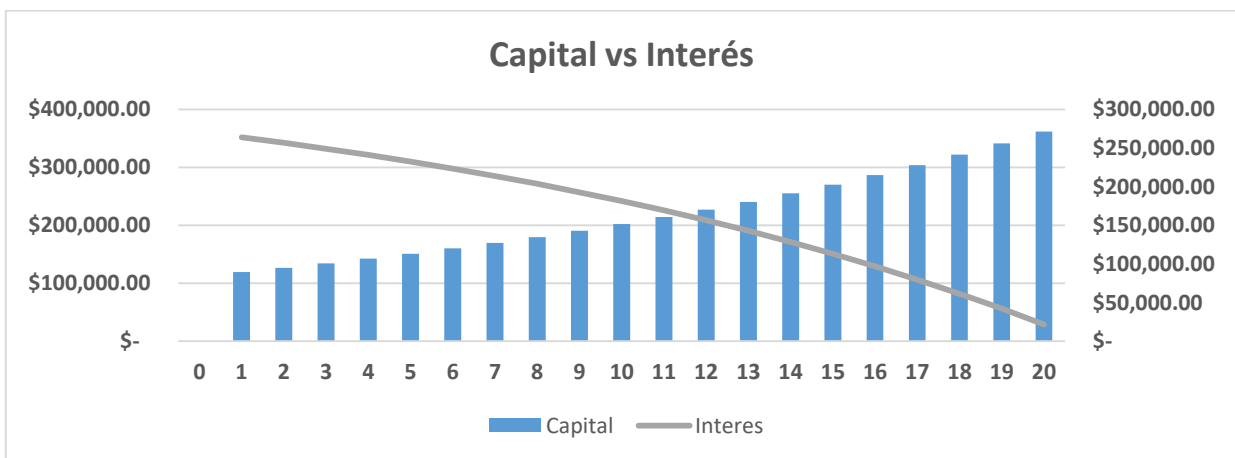


Ilustración 27 Capital vs Interés

Fuente: Elaboración Propia

## 4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

---

Durante mi formación profesional, aprendí toda una gama de conocimientos técnico-matemáticos que me permiten resolver problemas variados; sin embargo, es muy distinta la realidad a las aulas. Me he dado cuenta que por más preparado académicamente que se esté, no puedes hacer las cosas por ti solo; es necesario contar con un equipo de trabajo integral de perfiles variados y que complementen tu formación académica, profesional y social. Te das cuenta que el factor técnico no es el más decisivo, sino el humano.

Personalmente, pienso que el fin de la Ingeniería es servir al prójimo, resolver los problemas sociales que nos rodean. Puedes proponer un proyecto que sea innovador, técnicamente viable, económico, realizable, ecológicamente amigable y que te dé una buena remuneración económica; sin embargo, si éste no ayuda a resolver una necesidad social presente o sólo se restringe a un sector muy pequeño de la sociedad, tiene poca o ninguna relevancia para el desarrollo de la misma.

Este escrito presenta de una manera muy breve y resumida el desarrollo de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en una nave industrial; cuyo fin es que el consumo eléctrico en dicha nave industrial se vea reducido y por lo tanto se genere un ahorro para el propietario de la misma.

El proyecto Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red 200 kW en Nave Industrial tiene como principal objetivo la generación de energía eléctrica limpia para satisfacer las necesidades operativas de la empresa textilera que ahí reside. Como ya se vio, el proyecto tendrá un costo de \$5, 498, 047.64 MXN, una vida útil de hasta 25 años, una generación de hasta 337,804.16 kWh en el primer año, un periodo de recuperación de la inversión de 11 años, un VPN = \$3, 082, 895,91 MXN, una TIR a 25 años del 19.91% con un financiamiento del 80% del costo total y una relación B/C = 3.80.

Los indicadores financieros anteriores quieren decir que es un proyecto en el cual no sólo se genera un ahorro para el cliente, sino que también se obtiene estímulos fiscales por el mismo. A lo anterior se le suman la generación de 20 empleos directos durante el periodo de la instalación del sistema que está programado para 1 mes de duración; además de una reducción de emisiones a la atmósfera equivalente a 237,032.85 kg de CO<sub>2</sub>. Sinceramente, pienso que este debe ser y será el futuro de la generación de energía eléctrica en el país y en el mundo.



## BIBLIOGRAFÍA

---

- Comisión Reguladora de Energía. (2016). Manual de Requerimientos Técnicos para la Interconexión de Centrales Eléctricas al Sistema Eléctrico Nacional. Blvd. Adolfo López Mateos 172, Merced Gómez, 03930 Ciudad de México, CDMX: CRE.
- COSS BU, Raúl. (2007). Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión. México: Limusa.
- Especificación CFE G0100-04. (2008). Interconexión a la Red Eléctrica de Baja Tensión de Sistemas Fotovoltaicos con Capacidad de Hasta 30 kW. México: CFE.
- Gilberto Enríquez Harper. (2014). Instalaciones y Sistemas Fotovoltaicos. México Df: Limusa.
- Gilberto Enríquez Harper. (2015). El ABC de las Instalaciones Eléctricas en Sistemas Eólicos y Fotovoltaicos. México, D.F.: Limusa.
- Jhonny de Jesús Meza Orozco. (2013). Evaluación Financiera de Proyectos. 10 Casos Prácticos Resueltos con Excel. Colombia: ECOE Ediciones.
- Max Enrique Alvarado Contreras & Gerardo Cruz Peralta. (2016). Manual del Instalador Fotovoltaico Sistemas Autónomos. Oaxaca, México: CCEEA.
- Miguel Pareja Aparicio. (2010). Energía Solar Fotovoltaica Cálculo de una Instalación Fotovoltaica. Barcelona, España: Marcombo.
- Rodolfo Martínez Strevel. (23/05/2013). Photovoltaic in Mexico, Recent Developments and Future. BUTECSA, 1, 29. 20/01/2018, De [http://www.eclareon.com/sites/default/files/03\\_strevel.pdf](http://www.eclareon.com/sites/default/files/03_strevel.pdf) Base de datos.
- Secretaría de Energía. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Actualización). México: Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Energía. (2016). Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad Menor a 0.5 MW. México: Diario Oficial de la Federación.

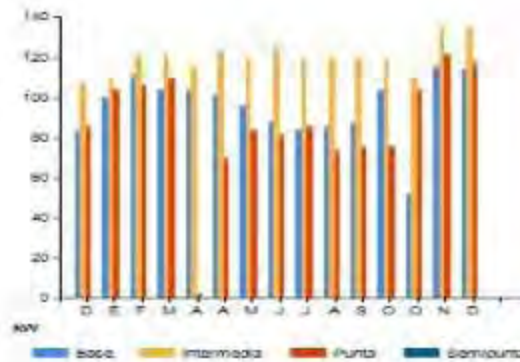
## **ANEXOS**

---

- Recibo de Consumo Eléctrico.
- Ficha Técnica del Módulo Solar.
- Ficha Técnica del Inversor.
- Ficha Técnica del Sistema de Montaje.
- Ficha Técnica de la Techumbre



## Consumo histórico kWh



Período	Demanda máxima kW	Consumo total kWh	Factor Potencia %	Factor Carga %	Precio medio (MWh)
DIC 16	107	34,031	100.00	43	1.7086
ENE 17	112	37,598	100.00	45	1.8146
FEB 17	121	40,486	99.99	50	1.8912
MAR 17	122	45,563	99.99	50	2.0320
ABR 17	97	1,524	99.97	55	1.4286
ABR 17	86	36,258	99.98	42	1.8250
MAY 17	119	47,558	99.99	54	1.6220
JUN 17	125	46,359	99.97	52	1.6262
JUL 17	120	43,570	99.98	49	1.6414
AGO 17	120	46,875	99.97	53	1.5585
SEP 17	120	44,265	99.97	51	1.5786
OCT 17	89	44,230	99.96	55	1.5485
OCT 17	106	9,478	99.93	43	1.9573
NOV 17	134	50,309	99.94	52	1.8210
DIC 17	117	46,119	99.98	46	1.8987

Instancias y recursos a disposición de los usuarios para atender quejas:



Conoce el servicios de los diferentes suministradores:  
<http://usuariocalificado.cre.gob.mx/UsuarioCalificado/ListadoSuministrador>



Nuestro compromiso es seguir conectados contigo. **CFE-contigo**

¿En qué podemos ayudarte?



● **310 - 330 W SOLAR PANEL**

**S72PC**

**Módulo con 72 celdas**

S72PC-310, S72PC-315, S72PC-320,  
S72PC-325, S72PC-330.



**BENEFICIOS**

-  -Resistente a impactos de granizo con una velocidad de hasta 23 m/s.
-  -Amplios rangos de operación de (-40°C hasta +90°C).
-  -Soporta cargas mecánicas superiores a 5,400 Pa de nieve, y superiores a 2,400 Pa en viento.
-  -Libre de problemas de Degradación por Potencial Inducido (PID).
-  -Aislamiento eléctrico de 3,600 V por un segundo.
-  -Celdas libres de Micro Cracks.
-  -Resistencia de aislamiento mayor a los 100 MΩ.
-  -Alta resistencia a la corrosión por niebla salina y amoníaco.
-  -Libre del efecto de Degradación Inducida por la Luz (LID).
-  -Tolerancia positiva.

El módulo solar S72PC utiliza 72 celdas policristalinas solares, con un óptimo diseño integrando un sistema de manufactura robusto y automatizado con pruebas de calidad sobre la lista de materiales, y con 3 pruebas de ELT antes de embarcar. Todos los módulos Solartec están diseñados y probados bajo las siguientes normas:

- IEC 61215 / Evaluación de diseño y fabricación
- IEC 61730 / Requisitos de seguridad del módulo.
- IEC 61701 / Prueba de corrosión por niebla y salinidad.
- IEC 62804 / Método de ensayo de detección de la degradación por potencial inducido.
- IEC 62716 / Prueba de corrosión por amoníaco.
- UL 1703 / Seguridad para módulos fotovoltaicos de placa plana.
- NMX-J-643 / Especificaciones fotovoltáicas parte 1 a la 11.
- NMX-J-618 / Seguridad módulos PV (construcción) parte 1 a la 8.
- G0108-04 / Especificación de CFE.

**CALIDAD DE GARANTÍA**

Se garantiza un óptimo funcionamiento en los primeros 10 años ante los defectos de fábrica en el módulo fotovoltaico.

**GARANTÍA DE RENDIMIENTO**

-Durante el primer año se garantiza una potencia nominal de salida del módulo no menor al 97.5%.

-Del año 2 al año 10 se garantiza una potencia nominal de salida del módulo (o mejor) al 95%.

-Del año 11 al año 25 se garantiza una potencia nominal de salida del módulo (o mejor) menor al 90%, manteniendo una degradación límite del 0.70% anual.



**Condiciones de Operación**

Temperatura	-40°C hasta +90°C
Carga Máxima de Viento	2,400 Pa.
Carga Máxima de Nieve	5,400 Pa.
Resistencia al Impacto de	Granizo con velocidad de 23 m/s
Conductividad a Tierra	≤ 1 Ω.
Resistencia de aislamiento	≥ 100 MΩ.
Humedad Relativa	95% / 85°C

[www.solartec.mx](http://www.solartec.mx)

**S72PC**







Hoja de datos

Powador  
48.0 TL3 Park  
72.0 TL3 Park



## En el Park reside la fuerza.

Los inversores de corriente trifásica sin transformador Powador 48.0 TL3 y 72.0 TL3 Park.

Los equipos permiten un dimensionamiento extremadamente flexible de la instalación FV. Para garantizar una adaptación óptima, los equipos incorporan tres seguidores de MPP por separado que se pueden cargar tanto de forma simétrica como asimétrica: cada uno de los inversores Powador 48.0 TL3 Park es capaz de procesar 20 kW, en el caso del Powador 72.0 TL3 Park se alcanzan los 24 kW. Así se pueden cumplir todos los requisitos técnicos de dimensionamientos más complejos que normalmente trae consigo la construcción no homogénea del generador FV. Disponer de tres seguidores tiene la ventaja adicional de poder compensar los errores que se pueden producir entre los módulos, por ejemplo, por diferencias de

temperatura e irradiaciones solares no uniformes. Por cada seguidor MPP se pueden conectar, según el modelo del aparato, un string (variante M) o bien cuatro strings (variante XL). Es posible conectar hasta cinco strings por cada uno de los tres seguidores MPP del Powador 72.0 TL3 XL. El rango de tensión de entrada en estos equipos está dimensionado ampliamente: a partir de 250 V los equipos se conectan a la red y la alimentación durante su funcionamiento incluso con 200 V. El grado de rendimiento máximo es del 98%. Lo impresionante además es el grado de rendimiento europeo del 97,8% ya que incluso en los rangos de potencia inferiores, los equipos realizan un alto rendimiento de carga parcial: con una potencia nominal del 5% trabajan ya con un grado de rendimiento del 95%.

La comunicación perfecta con estos equipos resulta sencilla ya que están dotados de un registrador de datos integrado con servidor Web, una pantalla gráfica para

visualizar los datos de funcionamiento así como de una conexión USB. Por otra parte, el registrador de datos permite la conexión directa con el portal de Internet Powador-web para la evaluación y visualización profesional de los datos de funcionamiento. Los inversores cuentan con una serie de ajustes predefinidos programados que dependen del país y que pueden ser seleccionados fácilmente in situ durante la instalación. Independientemente, es posible configurar el idioma deseado de manejo. Evidentemente todas las estaciones Powador cumplen con los requisitos de la directiva de media tensión.

Los colectores de ramales con fusibles por ramal y protección contra sobretensión para la variante XL de equipos suponen una gran ventaja en materia de costes. En cambio en las variantes M se usa el colector de ramal externo Powador Mini-Angus. Disponible a partir del tercer trimestre de 2013.

## Datos técnicos

Powador 48.0 TL3 Park | 72.0 TL3 Park

48.0 TL3 Park		72.0 TL3 Park	
<b>Magnitudes de entrada</b>			
Potencia max. recomendada del generador FV	48.000 W	72.000 W	
Rango MPP	200 V - 800 V*	200 V - 850 V**	
Tensión miscal	250 V	250 V	
Tensión en vacío	1.000 V	1.000 V	
Corriente de entrada máx.	3 x 34,0 A	3 x 36,0 A	
Número de seguidores MPP	3	3	
Potencia máx. / seguidor	20 kW	24 kW	
Número de strings / reguladores MPP	3 x 1 en la versión M 3 x 4 en la versión XL	3 x 1 en la versión M 3 x 4 en la versión XL	
<b>Magnitudes de salida</b>			
Potencia nominal (Ø 277 V)	40.000 VA	60.000 VA	
Tensión de la red	480 V / 277 V (3 / N / PE)	480 V / 277 V (3 / N / PE)	
Corriente nominal	3 x 48,1 A	3 x 72,2 A	
Frecuencia nominal	50 Hz	50 Hz	
Inductivo	0,80 inductivo	0,80 inductivo	
Capacitivo	0,80 capacitivo	0,80 capacitivo	
Número de fases de alimentación	3	3	
<b>Datos eléctricos generales</b>			
Grado de aislamiento equip.	95,0 %	95,0 %	
Consumo propio: Desconexión nocturna	1,3 W	1,3 W	
Concepto de circuito	Automático, sin transformador	Automático, sin transformador	
Vigilancia de red	Específica de cada país	Específica de cada país	
<b>Datos mecánicos</b>			
Indicador	Pantalla gráfica + LEDs	Pantalla gráfica + LEDs	
Elementos de montaje	Cruz de 4 posiciones + 2 roscas	Cruz de 4 posiciones + 2 roscas	
Puertos e interfaces	Ethernet, USB, RS485, salida 50	Ethernet, USB, RS485, salida 50	
Rede de aviso de fallos	Contacto de cierre libre de potencial 230 V / 1 A	Contacto de cierre libre de potencial 230 V / 1 A	
Conexiones	Conexión de CA mediante bornes roscaables, ejecución 1 x M20, sección transversal máx. 50 mm² flexible; Conexión de CC de la variante M: bornes con resorte de 0-35 mm² ***; conexión de CC de variante XL: bornes roscaables y de resorte de 10 mm², ejecución Ø x M32	Conexión de CA mediante bornes roscaables, ejecución 1 x M20, sección transversal máx. 50 mm² flexible; Conexión de CC de la variante M: bornes con resorte de 0-35 mm² ***; conexión de CC de variante XL: bornes roscaables y de resorte de 10 mm², ejecución Ø x M40	
Temperatura ambiente	-20 °C - +40 °C ****	-20 °C - +40 °C ****	
Control de temperatura	>75 °C: Ajuste de potencia en función de la temperatura, > 85 °C: desconexión	>75 °C: Ajuste de potencia en función de la temperatura, > 85 °C: desconexión	
Refrigeración	Refrigeración forzada / ventilador con regulación de revoluciones, máx. 600 m³/h	Refrigeración forzada / ventilador con regulación de revoluciones, máx. 600 m³/h	
Tipo de protección	IP34	IP34	
Emisión de ruidos	38 dB (A) (debido al funcionamiento de los ventiladores)	38 dB (A) (debido al funcionamiento de los ventiladores)	
Interruptor de CC	Integrado	Integrado	
Carcasa	Chapa de acero	Chapa de acero	
Alt. x An. x Pro	1.360 x 840 x 325 mm	1.360 x 840 x 325 mm†	
Peso	151 kg	173 kg	

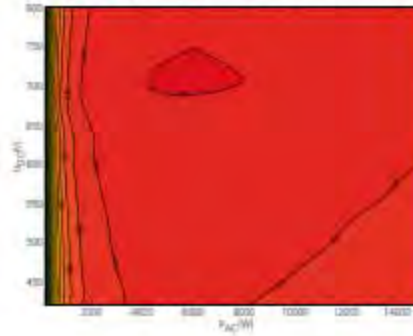
\* Con bornes de 4 x 5, se reduce la potencia de entrada a 36,0 kVA. \*\* Con bornes de 5 x 8, se reduce la potencia de entrada a 60,0 kVA. † Dimensiones de montaje con bornes de 5 x 8. ‡ Dimensiones de montaje con bornes de 4 x 5. \*\*\*\* Temperatura ambiente máxima permitida en función de la configuración de los seguidores y de la configuración de los seguidores.





## Representación gráfica del grado de rendimiento

Diagrama 3D del grado de rendimiento Powador 48.0 TL3 Park



ES 30000048-120115

### Powador 48.0 TL3 Park | 72.0 TL3 Park

Grado de rendimiento del 98,0 %

3 seguidores MPP,  
carga simétrica y asimétrica

Menu en varios idiomas

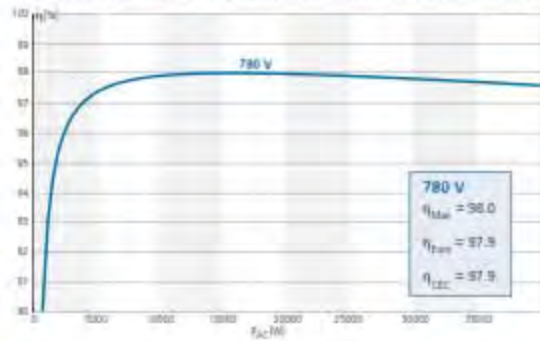
Pantalla gráfica

Variante XL con colector de  
ramales integrado que supone un  
ahorro de costes

Servidor web integrado

Puerto USB para  
actualizaciones

Curvas características de grado de rendimiento Powador 48.0 TL3 Park



El fabricante no se responsabiliza de los errores de impresión. Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad por instituciones sin ánimo de lucro.

[www.kaco-newenergy.es](http://www.kaco-newenergy.es)

Si representamos local

Mounting systems for  
solar technology



## MiniRail XPRESS Technical Data Sheet

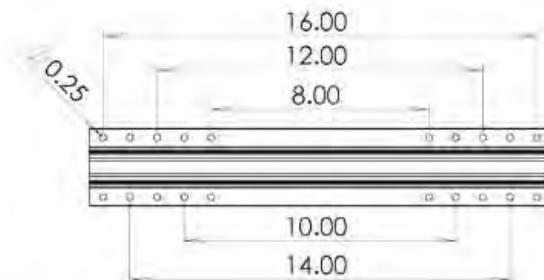
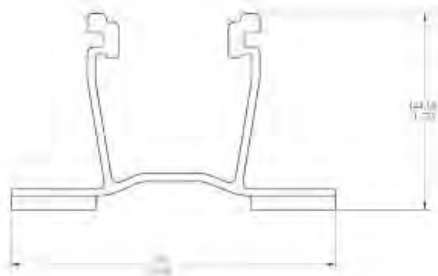
### Overview:

MECHANICAL PROPERTIES	
Material:	6000 Series Aluminum
Ultimate Tensile Strength:	37.7 ksi (260 MPa)
Yield Strength:	34.8 ksi (240 MPa)
Weight:	0.84 lbs./pc. (0.378 kg/pc.)
Finish:	Mill

SECTION PROPERTIES	
Sx:	0.183 in <sup>3</sup> (2.9988 cm <sup>3</sup> )
Sy:	0.176 in <sup>3</sup> (2.8841 cm <sup>3</sup> )
A (X-Section):	0.507 in <sup>2</sup> (3.2709 cm <sup>2</sup> )



### General Dimensions:



Dimensions in [mm] Inches

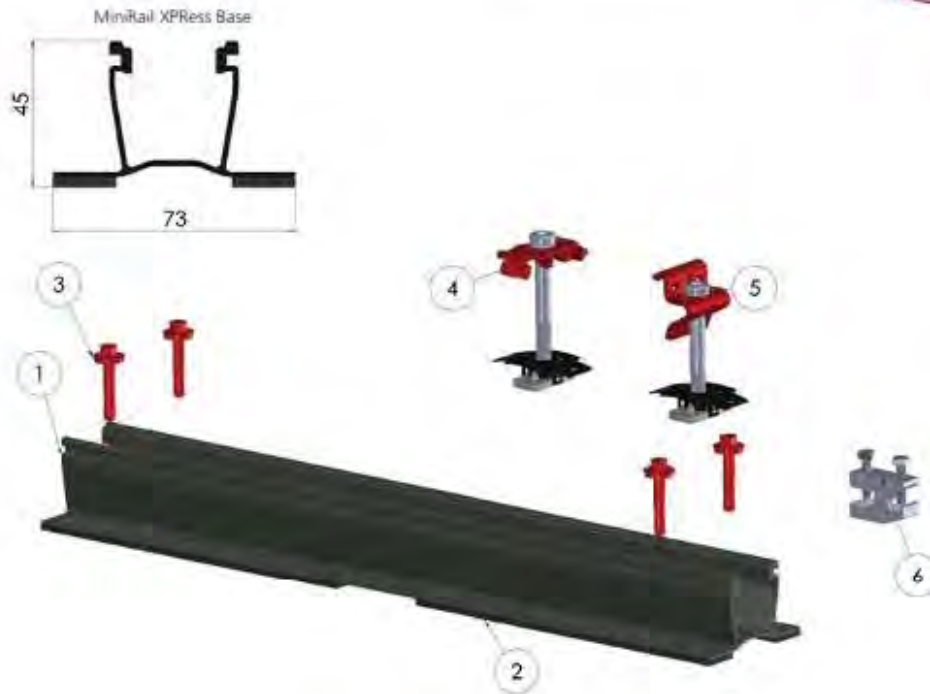
### Notes:

- ▶ Structural values and span charts determined in accordance with Aluminum Design Manual and ASCE 7-10
- ▶ UL2703 Listed System for Bonding

# MiniRail XPress

## Technical Sheet

Mounting systems for  
solar technology



Top view of modules

\*\*All dimensions are in mm unless otherwise specified

ITEM NO.	DESCRIPTION	ITEM NO.	DESCRIPTION
1	MiniRail XPress Base 17 in, Mill	4	Mid Clamp Set
2	Pre-Applied EPDM Strips	5	End Clamp Set
3	Screws - JTS-2-6x36	6	ILSCO SGB-4

MiniRail XPress Technical Sheet US4-1017

# MiniRail XPress

Technical Sheet

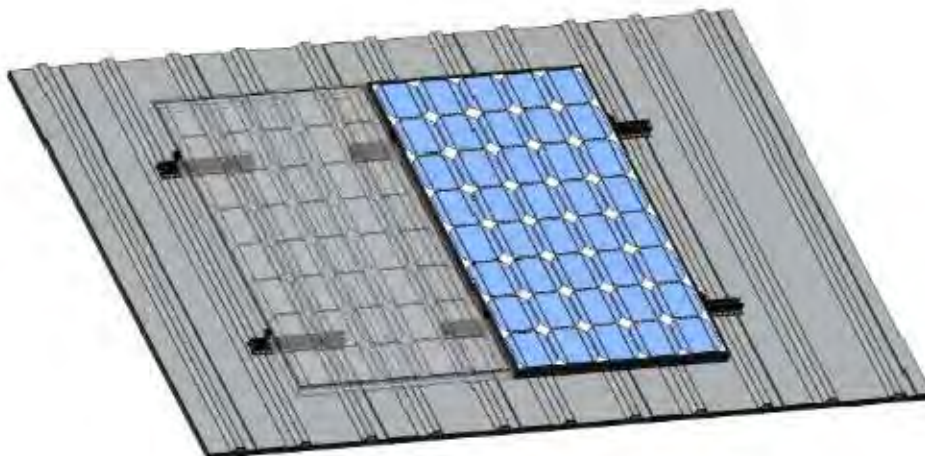
Mounting systems for  
solar technology



End Clamp Set



Mid Clamp Set



MiniRail XPress Technical Sheet US4-1017

## 1. Descripción

Perfil acanalado de configuración trapezoidal fabricado en Planta mediante una roladora estacionaria a partir de rollo de acero Ternium Zintro, Ternium Zintro Alum o Ternium Pintro, diseñado para ser utilizado como cubierta de fijación expuesta.

## 2. Usos

Muros, cubiertas y faldones de naves industriales, bodegas y construcciones en general.

## 3. Sustrato y Recubrimientos

Sustrato y Recubrimientos		
Producto	Grado	ETP
Ternium Zintro	Py= 33 Ksi min	N3 ETP MEXUNI P05 AST A653 2008
Ternium Zintro Alum	Py= 33 Ksi min	NE ETP MEXUNI P07 AST A792 2008
Ternium Pintro	Py= 33 Ksi min	N3 ETP MEXUNI P09 TER CONSTRUCCION

Colores estándar: Consultar: N3ETP MEXUNI P09 CONSTRUCCIÓN

## 4. Características del Producto

- Mediana capacidad estructural y de desagüe.
- Pendiente mínima 10%, longitud máxima de vertiente 20.00 mts.  
\*Cubiertas con pendientes menores y/o longitudes mayores pueden facilitar la entrada de agua en una cubierta.
- Traslape transversal mínimo recomendado 200 mm (7.9").

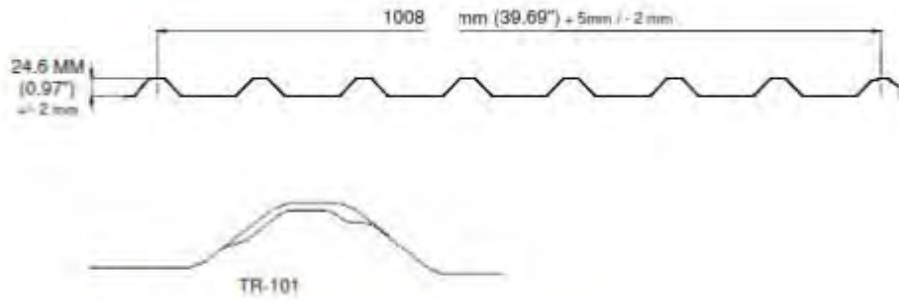
## 5. Rango Dimensional

- Disponible en calibres 22, 24, 26 y 28. Calibres 20 y 30 bajo consulta técnica
- Longitudes Min. 2440 mm. (8') Max. 12000 mm. (39'4.4")
- Longitudes estándar: 2440 mm. (8'), 3050 mm. (10'), 3660 mm. (12').

- Para longitudes especiales favor de contactar a su ejecutivo de ventas



**E. Geometría**



Dimensiones		
Poder Cubriente		
Nominal	Min	Max
1008 mm (39.7")	1006 mm (39.61")	1013 mm (39.89")

**7. Propiedades y Capacidades de Carga**

**Propiedades de la sección (Section Properties)**

Calibre (Gauge)	Espesor Nominal (Polg)	Peso Área (Area Weight)		Compresión Superior S+ (Top flange in compression)			Compresión Inferior S- (Bottom flange in)			Cortante (Shear) $V_w$ (Kg/ft) (lb/ft)
		(Kg/m <sup>2</sup> )	(Kg/m <sup>2</sup> )	I <sub>xx</sub> + (cm <sup>4</sup> /m)	S <sub>xx</sub> + (cm <sup>3</sup> /m)	M <sub>ax</sub> + (kg-m)	I <sub>xx</sub> - (cm <sup>4</sup> /m)	S <sub>xx</sub> - (cm <sup>3</sup> /m)	M <sub>ax</sub> - (kg-m)	
30 *	0.0120	3.25	3.22	3.14	1.73	24.01	2.13	1.54	21.47	556
28	0.0149	3.96	3.92	4.04	2.39	33.21	2.82	2.10	29.15	870
26	0.0179	4.69	4.64	4.88	2.99	41.58	3.61	2.71	37.66	1258
24	0.0209	5.42	5.37	5.68	3.54	49.18	4.46	3.22	44.84	1485
22	0.0299	7.61	7.52	8.05	5.03	69.89	7.20	4.79	66.59	2109
20 *	0.0359	9.07	9.00	9.59	6.00	83.46	9.09	5.83	81.08	2516

Espesores nominales de acero base de acuerdo a N3 ETP MEXUNI P05 AG Calibres.

Tolerancia % ASTM

Pesos Teóricos +/- 7%

NOTAS:

- (\*) Calibres fabricados sólo bajo consulta técnica.

Capacidad de carga admisible (kg/cm <sup>2</sup> ). Entablamiento distribuido																	
Condición de apoyo	Calibre	*SEP. MAX. MTS	Separación entre apoyos (Mts.)														
			Carga Viva						Succión de viento								
			1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00			
Simple	30	0.70	189									169					
	28	0.95	262	152	94							229	158	115			
	26	1.15	300	183	114	75						297	205	149	113		
	24	1.35	300	213	132	87	59					300	244	178	135	105	
	22	1.90	300	300	188	123	84					300	300	264	201	157	
	20	2.00	300	300	223	147	100					300	300	300	244	191	
Doble	30	0.85	165									185					
	28	1.10	226	156	114							257	178	130			
	26	1.45	293	203	148	113						300	224	164	125		
	24	1.70	300	242	177	134	105					300	265	194	147	116	
	22	2.00	300	300	263	200	156	125				300	300	276	210	164	132
	20	2.00	300	300	300	243	190	153				300	300	300	250	196	157
Triple	30	0.85	206									229					
	28	1.10	282	196	143							300	223	163			
	26	1.45	300	254	186	142						300	280	205	157		
	24	1.70	300	300	222	169	117					300	300	243	185	145	
	22	2.00	300	300	300	239	165	119				300	300	300	263	207	166
	20	2.00	300	300	300	284	197	141				300	300	300	300	247	199
Cuatro o mas	30	0.85	193									215					
	28	1.10	263	183	134							299	208	152			
	26	1.45	300	237	173	132						300	262	192	146		
	24	1.70	300	282	207	157	123					300	300	227	173	136	
	22	2.00	300	300	300	234	176	126				300	300	300	246	193	155
	20	2.00	300	300	300	285	210	150				300	300	300	293	230	185