



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ENERGÍA – DISEÑO BIOCLIMÁTICO

**EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO  
INTERCONECTADO A LA RED UTILIZADO COMO ESTRATEGIA  
BIOCLIMÁTICA PASIVA EN UN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERÍA**

PRESENTA:  
**ENRIQUE BONFIL PÉREZ**

TUTOR  
**DR. SERGIO A. GAMBOA SÁNCHEZ**  
INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES

MÉXICO, D. F. JUNIO 2013



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.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ENERGÍA – DISEÑO BIOCLIMÁTICO

**EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO  
INTERCONECTADO A LA RED UTILIZADO COMO ESTRATEGIA  
BIOCLIMÁTICA PASIVA EN UN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERÍA**

PRESENTA:  
**ENRIQUE BONFIL PÉREZ**

TUTOR  
**DR. SERGIO A. GAMBOA SÁNCHEZ**  
INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES

MÉXICO, D. F. JUNIO 2013

## **Jurado asignado:**

Presidente:	Dr. José Luis Fernández Zayas
Secretario:	Dr. Sergio Alberto Gamboa Sánchez
Vocal:	Dr. David Morillón Gálvez
1er Suplente:	Dr. Jorge Marcial Islas Samperio
2do Suplente:	Dr. Sebastian Pathiyamattom Joseph

Lugar donde se realizó la Tesis:

Instituto de Energías Renovables  
Universidad Nacional Autónoma de México

Tutor de tesis:

**Dr. SERGIO A. GAMBOA SÁNCHEZ**

---

## **Agradecimiento**

*A las instituciones que me han apoyado, pero sobre todo a las personas que han sido partícipes de este proyecto llamado Maestría.*

# Contenido

Resumen	v
Objetivos	vi
Preguntas de investigación	vi
<b>1. Antecedentes</b>	<b>1</b>
1.1. Panorama internacional	1
1.2. Panorama nacional	2
1.3. Generalidades del diseño bioclimático	5
<b>2. Fundamentos del Diseño Bioclimático</b>	<b>5</b>
2.1. Sitio de evaluación	5
2.2. Clima	6
2.2.1. Temperatura	7
2.2.2. Humedad	8
2.2.3. Radiación solar	11
2.2.4. Viento	13
2.3. Carta psicométrica	15
2.3.1. Confort del ser humano	17
2.4. Estrategias bioclimáticas CONAVI	19
2.4.1. Proyecto arquitectónico	20
2.4.2. Tipo de techo	20
2.4.3. Requerimientos en fachada y viento	20
2.4.4. Elección de materiales	21
2.4.5. Relación vegetación-humedad	21
2.5. Proyección grafica de la radiación solar sobre un plano horizontal	21

2.5.1. Evaluación de dimensión idónea	23
2.5.2. Comportamiento del Angulo cenital	26
<b>3. Sistema Fotovoltaico SFV de Si-policristalino</b>	<b>28</b>
3.1. Antecedentes del efecto fotovoltaico	28
3.1.1 Celdas solares	29
3.2. Parámetros eléctricos de salida	31
3.2.1. Complementos de funcionamiento de un SFV	32
3.3. Interconexión a la red eléctrica	34
3.3.1. Recurso solar en horas pico	40
3.3.2. Inversor	42
3.3.3. Eficiencia	43
3.4. Mantenimiento	44
<b>4. Análisis termodinámico y de transferencia de calor</b>	<b>45</b>
4.1. Calor y temperatura	45
4.2. Mecanismos de transferencia de calor.	47
4.2.1 Conducción	47
4.2.2. Convección	53
4.2.3. Radiación	54
4.3. Análisis de los mecanismos en conjunto	56
<b>5. Modelos de evaluación económica de proyectos</b>	<b>63</b>
5.1. Evaluación de los proyectos	63
5.2 Dimensionamiento de los modelos	63
5.2.1. Costo inicial	63

5.2.2. Beneficio de generación eléctrica	65
5.2.3. Beneficio bioclimático del panel fotovoltaico	66
5.3. Flujos de efectivo	67
5.4. Factores de evaluación	75
<b>6. Arqueo y conjunción de resultados</b>	<b>77</b>
<b>Conclusión</b>	<b>90</b>
Trabajo futuro.	91
<b>A. Bibliografía</b>	<b>92</b>
<b>B. Anexos</b>	<b>98</b>



## Resumen

Se ha realizado un trabajo multidisciplinario para dimensionar y caracterizar un sistema fotovoltaico (SFV), como estrategia bioclimática pasiva en la techumbre de una edificación, ubicada en Acapulco Guerrero donde se cuenta con un clima cálido húmedo. Se inicia con el análisis bioclimático que rige los parámetros de confort, seguido del dimensionamiento del SFV que obstruirá a la cubierta del inmueble de la radiación solar directa, además se cuantifica la producción eléctrica; posteriormente se realizaron estudios de transferencia de calor y termodinámicos que muestran la disminución de la temperatura al interior de la edificación, dichos parámetros son utilizados en la evaluación económica de sus respectivos proyectos comparativos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

1.-Conocer las ventajas térmicas y económicas de un sistema fotovoltaico en la techumbre de una edificación cuando se coloca y se analiza de forma bioclimática.

### **Objetivos particulares**

- 1.- Cuantificar la disminución de la ganancia calorífica ante la propuesta bioclimática.
- 2.- Evaluar al proyecto fotovoltaico conociendo los beneficios bioclimáticos.

## **Preguntas de investigación**

¿Utilizar un sistema fotovoltaico interconectado a la red en la cubierta de una edificación, disminuye significativamente la ganancia térmica al interior de ella?

¿Tiene mayores beneficios un sistema fotovoltaico colocado en la techumbre de una edificación cuando se utiliza como estrategia bioclimática pasiva?

# 1. Antecedentes

## 1.1 Panorama internacional

Un aspecto importante algunas veces minimizado o incluso omitido durante la construcción de una edificación es el uso de la energía, tanto en la ejecución como en la utilización futura del inmueble; dicho aspecto al ser olvidado o despreciado genera efectos económicos nocivos así como ambientales que se contraponen a la sustentabilidad idealizada por la Organización de las Naciones Unidas ONU [1, 2].

El sector vivienda consumió en el año 2012 el 23.9% de la energía total mundial siendo 2073.7 Mtep [3]; en lo que respecta a México, en el año 2011 tuvo un consumo del 19.0% de la energía total final del país en el mismo sector, siendo 949.02 PJ [4].

En el ámbito internacional existen leyes y normatividades que regulan las edificaciones de nueva creación y a las ampliaciones por ejemplo, España tiene un marco legal que incluso ha influido en la Unión Europea [5].

*El objetivo principal de este real decreto consiste en establecer el procedimiento básico que debe cumplir la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética, con el que se inicia el proceso de certificación, considerando aquellos factores que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios de nueva construcción o que se modifiquen, reformen o rehabiliten... [6]*

## 1.2 Panorama Nacional

En la Republica Mexica se desconoce la cantidad de edificaciones existentes, los indicadores de vivienda solo representa una fracción de ellas, dejando en otro ámbito a las edificaciones comerciales, educativas, culturales etcétera, que también consumen energía eléctrica, provocando un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> y gases de efecto invernadero (GEI) a la atmosfera, ya que prácticamente el 100% de la electricidad generada en México no es de fuentes renovables Figura 1. [4, 7].

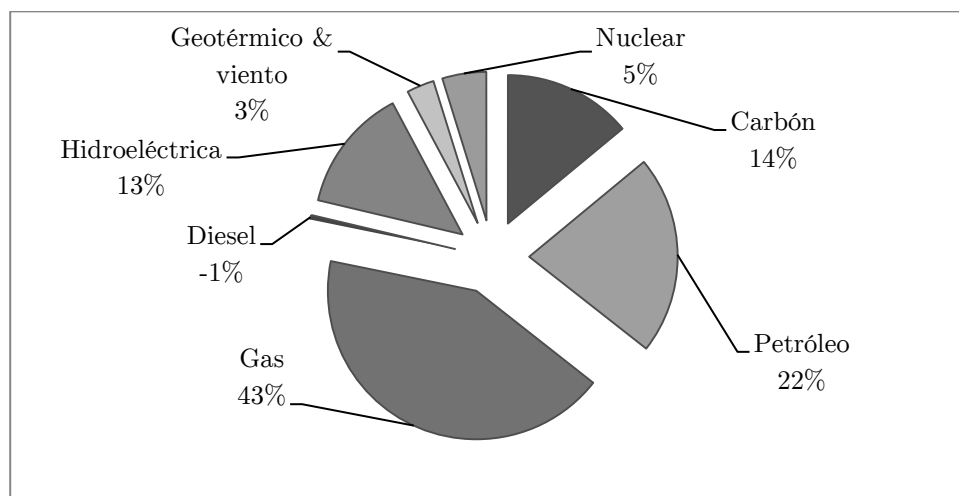


Figura 1. Contribución de la mezcla de generación eléctrica en México [7].

Dicho gasto energético se incrementa en zonas de clima cálido (*principalmente en el litoral costero*) debido a la cantidad de tiempo,  $t$ , fuera de la zona de confort higrotérmico en que se encuentran las edificaciones, ocasionando un mayor gasto eléctrico para climatizar un inmueble, donde la demanda de electricidad llega a ser del 55% del total de la facturación (Figura 2.) que se paga a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) [8], organismo paraestatal responsable de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica en México.

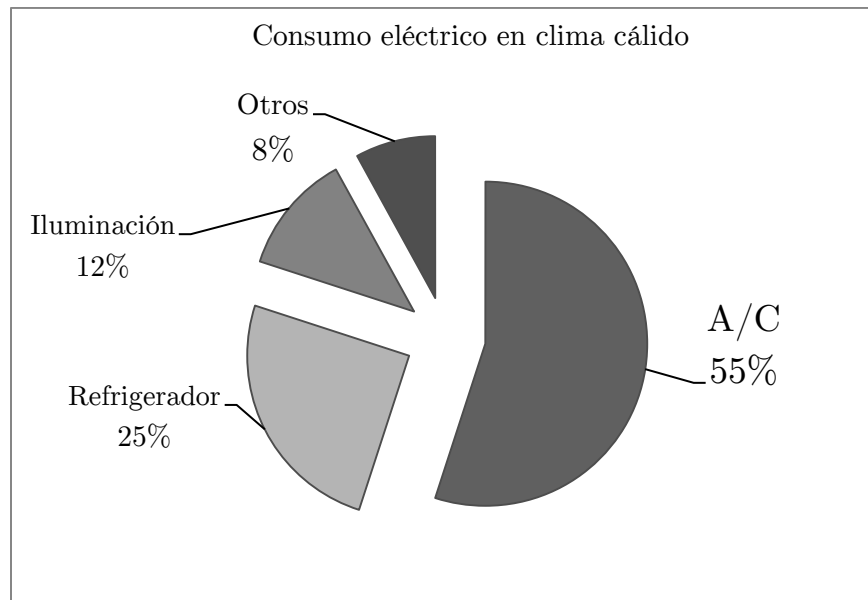


Figura 2. Consumo de electricidad en zonas bioclimáticas con clima cálido en México; aire acondicionado (A/C). FIDE [8].

El *Balance Nacional de Energía 2011* muestra que el consumo eléctrico en el sector habitacional va en aumento por varias causas, entre ellas el incremento en el número de edificaciones construidas, el mayor acceso a la infraestructura en zonas rurales, la creciente tendencia tecnológica y por la barata adquisición de los equipos mecánicos de aire acondicionado y calefacción; el consumo de energía eléctrica en latitudes intertropicales dirección Norte es mayor durante los meses comprendidos de Marzo a Agosto [9] debido a la escasa presencia de materia opaca en la atmosfera (gases y  $H_2O$  suspendida) que impida el libre flujo a la radiación solar directa y por la trayectoria aparente del Sol que durante ese intervalo de tiempo el día tiene más horas de irradiancia,  $G$ , sobre la superficie horizontal del planeta elevando su temperatura,  $T$ , por lo tanto existe menor tiempo para radiar por las noches el calor,  $Q$ , adquirido durante el día [4, 10].

En base al último Censo de Población y Vivienda realizado en México, (Figura 3.), es posible observar la tendencia al alza en las viviendas, que incremento un 176.00%, de 1990 al 2010 llegando a ser un total de 28'614'991 viviendas mexicanas registradas [11]; si

aumentamos la cantidad de edificaciones no residenciales en el país, obtendríamos la cifra que describe la cantidad de edificaciones total en México.

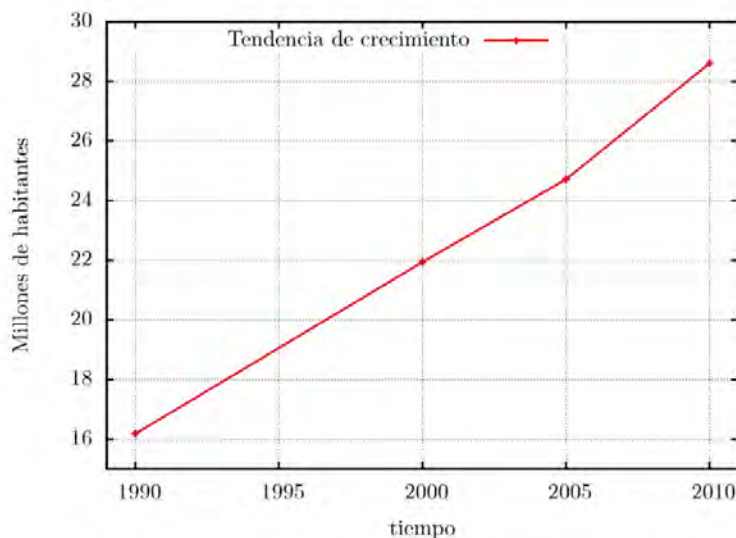


Figura 3. Tendencia de crecimiento de las viviendas en México, INEGI 2010

En México existe la NOM-008-ENER-2001 y la NOM-020-ENER-2011 que se involucran en el uso eficiente de la energía en las edificaciones de uso residencial y no residencial respectivamente, su normatividad rige en todo el territorio nacional a los inmuebles de nueva creación y a las ampliaciones que se hagan en los existentes. A pesar de estos esfuerzos es necesario continuar con las investigaciones para hacer un mejor uso de la energía en los inmuebles.

Por ello se *“requiere de la incorporación de nuevas exigencias a lo largo de todo el proceso constructivo, y de la modificación de costumbres de desarrolladores y usuarios. Así mismo, se debe realizar un mayor esfuerzo a la hora de planificar el ahorro energético”* [1], como lo establece la Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda. No es un tema reciente el cuidado de la energía en las edificaciones, sin embargo es necesario continuar con la difusión de los beneficios que se tienen al hacerlo, promoviendo estrategias que deberán

estar dirigidas a los propietarios, ocupantes, desarrolladores, constructores y demás entes que están involucrados directa o indirectamente en las edificaciones, sean de uso residencial o no [1].

### **1.3. Generalidades del diseño bioclimático**

Una de las vertientes de ahorro y adecuado uso de la energía, se resume en el diseño bioclimático de edificaciones, donde existen estrategias pasivas, o semi-pasivas, con el objetivo de erradicar o minimizar gastos de electricidad por climatización mecánica que produce temperaturas de confort, utilizando metodologías de orientación para cada sitio, tomando en cuenta el clima, técnicas de ventilación, construcción de elementos arquitectónicos para evitar la radiación solar directa por medio de parteluces o queiebrasoles, generación de sombreados, entre otras, son propuestas que pueden ser llevadas a cabo en una construcción nueva o en ampliaciones.

## **2. Fundamentos del Diseño Bioclimático**

### **2.1 Sitio de evaluación**

El sitio de estudio tiene un clima cálido húmedo [12], caracterizado por tener temperaturas promedio superiores a los 22°C, lluvias en verano y parte del otoño. Está presente en las latitudes bajas de México, al sur del Trópico de Cáncer, principalmente en las costas, la Península de Yucatán, la Cuenca del río Balsas y la Depresión Central de Chiapas [12].

En específico se tomara como sitio de análisis a la ciudad y puerto de Acapulco, municipio del Estado de Guerrero que tiene una ubicación de 16.80°N, 99.80°O, para el año 2014 el Norte geográfico se encuentra “*5.46° E changing by 0.11° W per year*” [13] (5.46° Este del Norte magnético cambiando 0.11° al Oeste por año.), se encuentra idealmente sobre nivel

del mar (SNM), tiene una población de 789,971 habitantes [11] de los cuales se dispone una cifra de 203,155 viviendas particulares ( $vp$ ), con un conjunto de cuartos hoteleros de 18,079 [14] lo que juntos representan un potencial de 222,134 espacios propensos a ser climatizados de forma artificial, lo anterior sin tener en cuenta a las edificaciones de otro índole. La cantidad de  $vp$  que tiene Acapulco representa el 44.13% del total de  $vp$  del Estado de Morelos. (460 370  $vp$ ) [11]. Para el año 2010 se contempló que el 99.15% del total de las viviendas particulares dispondrán de energía eléctrica en Acapulco.

El puerto de Acapulco es un sitio cuya actividad nocturna es significativa y por tanto sin importar que no esté presente la radiación directa, los inmuebles continúan climatizados artificialmente sea para la recreación, descanso o para otro tipo de actividades [15].

## 2.2. Clima

En Acapulco Guerrero ( $\phi = 16.80^\circ\text{N}$ ) la temperatura ambiente,  $T^\infty$ , de bulbo seco,  $T_{bs}$ , muestra variaciones anuales en el intervalo de  $T_{max}$  promedio de  $32.99^\circ\text{C}$  y  $T_{min}$  promedio de  $23.13^\circ\text{C}$ ; siendo  $9.89^\circ\text{C}$  la diferencia de temperatura promedio anual,  $\overline{\Delta T}$ , [16], (Temixco muestra  $\overline{\Delta T}$  de  $18.20^\circ\text{C}$ ) [17] en la Figura 4. Se observa la oscilación  $\Delta T/\Delta t$  para el día con  $T^\infty$  más elevada (Tmax-Día-67) en el año y el día que tiene  $T^\infty$  más baja (Tmin-Día-31) en el mismo intervalo de tiempo, para el municipio de Acapulco.



### 2.2.1. Temperatura

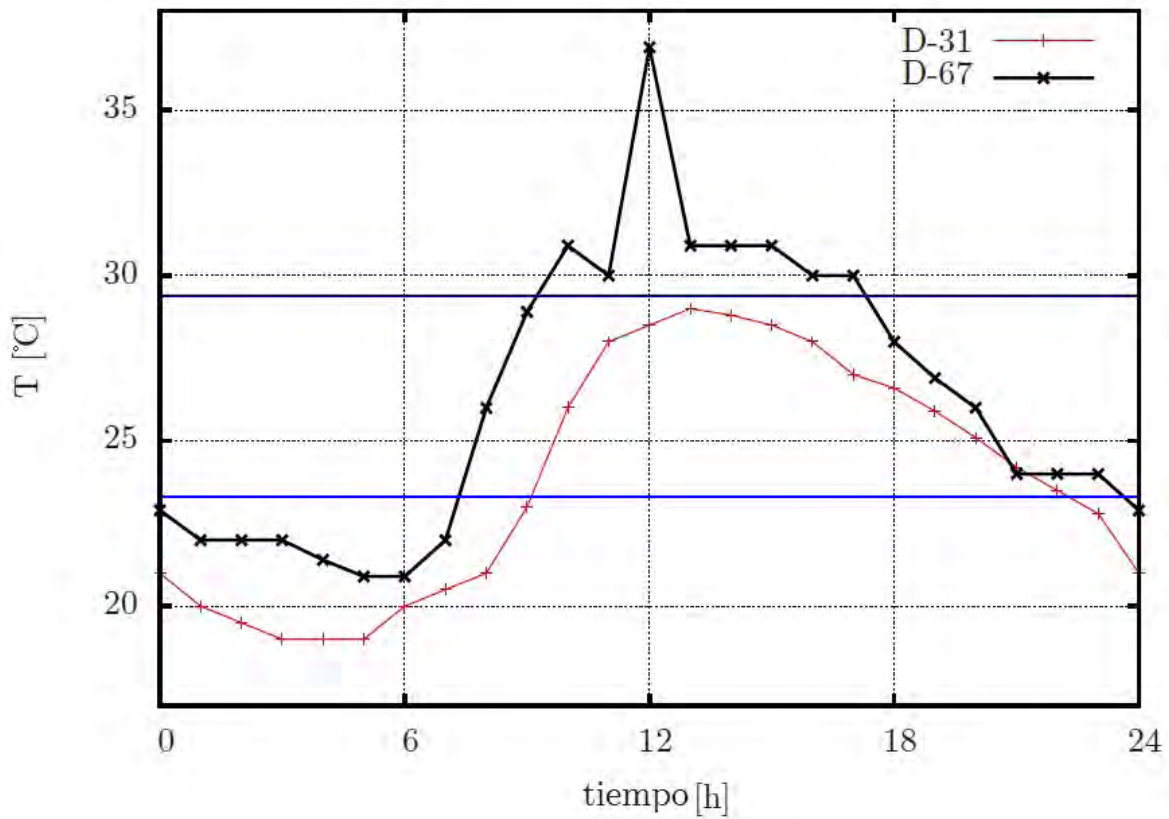


Figura 4. Perfil de  $T_{max}$  y  $T_{min}$ , día juliano 67 y 31 respectivamente. Fuente: Weather data base Energy Plus [18].

Observando la Figura 4. Es posible ver que en  $t = \pm 5$  la temperatura ambiente llega al nivel más bajo diario, por lo que  $\Delta T$  alcanza valores altos cuando  $t = \gamma(0)$  siendo  $\gamma$ , el ángulo solar azimutal. En ambos perfiles se observa que el intervalo de temperatura ambiente es  $\Delta T \approx 10^\circ\text{C}$ . Las líneas que representan al zona de confort para el ser humano son  $T = 23.3^\circ\text{C}$  y  $T = 29.4^\circ\text{C}$  [19].

### 2.2.2. Humedad

El aire atmosférico es una mezcla de Nitrógeno, Oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases, además de vapor de agua (*humedad*); el aire atmosférico cuando se encuentra en el intervalo -10, 50 °C puede tratarse como un gas ideal, considerando un calor específico,  $c_p$ , constante de 1.005 kJ/kg-K. Para identificar la relación de humedad en el aire es necesario conocer los cambios de entalpia,  $\Delta h$ , a los que es sometido dicho gas, el  $\Delta h$  es función exclusiva de la temperatura  $h = h(T)$ . Por lo tanto [20]:

$$P_{as} = \frac{n_{as}\bar{R}T}{V} = \frac{m_a\bar{R}T}{M_aV} \quad (1)$$

$$P_v = \frac{n_v\bar{R}T}{V} = \frac{m_v\bar{R}T}{M_vV} \quad (2)$$

$$n = \frac{m}{M} \quad (3)$$

Donde:

$P_{as}$  =Presion parcial de aire seco.

$P_v$  =Presion parcial de vapor.

$n$  = Cantidad de moles.

$T$  =Temperatura absoluta.

$V$  =Volumen.

$m$  =Masa.

$M$  =Peso molecular.

$\bar{R}$  =Constante de los gases (8.314 J/K mol).

La humedad específica o absoluta,  $\omega_e$ , es la razón de masa de vapor ( $m_v$ ) con la masa de aire seco ( $m_a$ ) y se expresa como:

$$\omega_e = \frac{m_v}{m_a} = \frac{0.622P_v}{P - P_v} \quad \left(\frac{kg}{kg}\right) \quad (4)$$

Cuando al aire seco (sin humedad) se le agrega vapor de agua la  $\omega_e$  aumentara hasta llegar a un punto saturado, donde no podrá recibir más humedad, en ese momento se considera una condición de saturación y se le llama aire saturado, si le es agregada más humedad ésta se condensara ya que se  $h = h(T)$ . Y por tanto:

$$h(T) = \int_0^T c_p T dT \quad (5)$$

La humedad absoluta depende de la presión,  $P$ , [ $\omega_e = \omega_e(P)$ ], para cada condición dependiente de  $P$  se tiene una relación de humedad relativa  $\Phi$  [20].

$$\Phi = \frac{m_v}{m_s} \quad (6)$$

Donde  $m_s$  es la masa de saturación dada en una  $m_a$ . La humedad relativa,  $\Phi$ , promedio anual en Acapulco es del 75% [18], está ligada a la sensación de comodidad que ofrece un ambiente dado, a diferencia de la  $\omega_a$  que solo establece un límite de ocupación de vapor de agua. Entre menos saturada este  $\Phi$  la sensación térmica a cierta  $T$  será más confortable para el cuerpo humano.

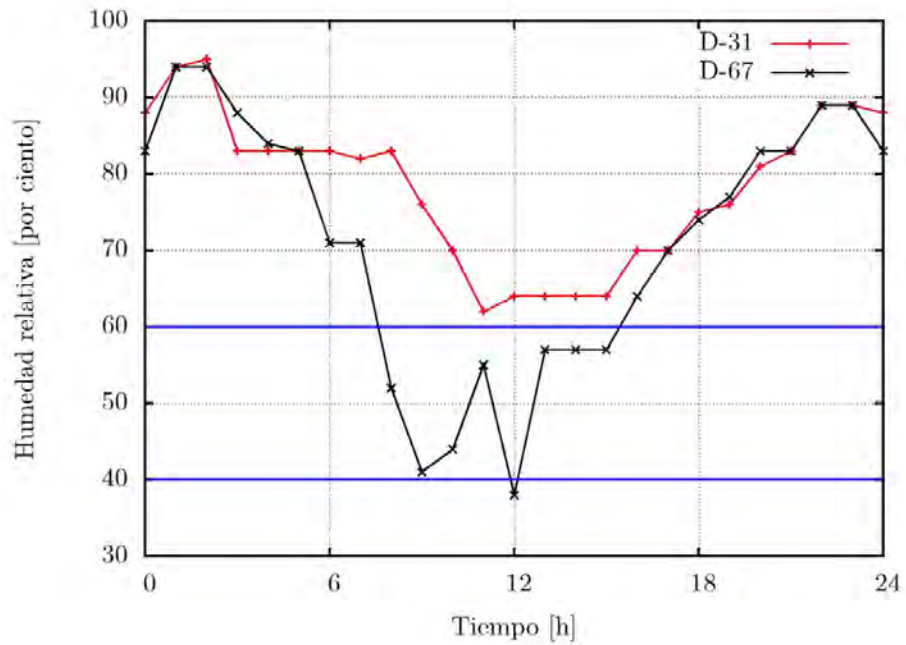


Figura 5. Perfil de  $\Phi$  para Acapulco en D.67 y D-31 el día del año con  $T_{\infty}$  máxima y mínima respectivamente; las líneas en color azul representan el intervalo de confort humano: 40 y 60% [18].

En la Figura 5. Se muestran los perfiles de  $\Phi$  anuales para el día juliano 67 con temperatura ambiente máxima y también se muestra la  $\Phi$  para el día juliano 31 con temperatura ambiente más baja anual, dichos perfiles disminuyen cuando al aire se le aplica calor.

### 2.2.3. Radiación solar.

Los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas que no necesita un medio para transportarse, esta energía es la radiación [21]. El Sol es un cuerpo que emite radiación en forma continua denominada energía solar radiativa; aproximadamente una mil millonésima parte de esa energía tiene contacto con la Tierra ( $1.7 \times 10^{17} \text{W}$ ), propiciando la vida en el planeta al ser la principal fuente de energía. El Sol puede ser considerado un reactor nuclear al tener reacciones continuas de fusión entre dos átomos de hidrógeno (H) para formar uno de helio (He) alcanzando su zona de convección externa temperaturas de 5800 K [22]. La radiación suele considerarse como un *fenómeno superficial* para los sólidos que no son transparentes al flujo térmico, como los metales, la madera, el concreto y la mayoría de los materiales utilizados en la construcción [23].

La irradiancia solar total,  $G_{ts}$ , que llega a la atmósfera se le conoce como *constante solar*, tiene un valor  $G_{ts} = 1368 \text{ W/m}^2$  [24], los principales gases suspendidos en la atmósfera son  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$ , estos no permiten el libre flujo de la radiación por lo que entra alrededor del 70% de ella, la absorción del oxígeno está en la banda angosta  $\lambda = 0.76 \mu\text{m}$ , siendo  $\lambda$ , la longitud de onda electromagnética, el ozono absorbe casi en su totalidad la radiación ultravioleta en longitudes de onda por debajo de  $0.3 \mu\text{m}$ , además que integra ondas en el intervalo  $0.3$  y  $0.4 \mu\text{m}$ , es la razón por la que se dice que el ozono protege al planeta de los daños biológicos ocasionados por la luz ultravioleta; el rango de luz visible es interceptado por el agua y el bióxido de carbono [25].

En un día soleado dentro de zonas intertropicales es posible alcanzar los  $\pm 950 \text{ W/m}^2$ , acotando la banda de longitud de onda a  $0.3$  y  $2.5 \mu\text{m}$ , la energía que no incide sobre la superficie de la Tierra sufre una dispersión por contacto con las moléculas de los gases atmosféricos, por ello, la energía total por unidad área de una superficie horizontal es conocida por radiación solar global,  $G_{To}$  ( $\text{W/m}^2$ ).

$$G_{To} = G_B \cos \theta_G + G_D \quad (7)$$

Donde  $G_B$ , es identificada como radiación solar directa,  $G_D$ , es la radiación difusa presente, mientras que  $\theta_G$ , es el ángulo perpendicular entre  $G_B$  y el plano horizontal. Durante un día soleado  $G_D$  representa en promedio el 10% de  $G_{To}$ , mientras que un día nublado  $G_D \cong G_{To}$ . La irradiancia  $G$  es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie:

$$G = \frac{P_i}{A_s} \quad (8)$$

En la ecuación anterior  $P_i$ , es la potencia incidente y  $A_s$ , es el área superficial donde incide la onda electromagnética. La irradiancia es una magnitud diferente de la insolación, dicha insolación o irradiación solar es función de  $t$ , comúnmente normal diaria, pero puede ser por hora, mensual o anual, la insolación global media en Acapulco (kWh/m<sup>2</sup>-día) [26] se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Insolación global media en Acapulco anual promedio y mensual. (kWh/m<sup>2</sup>-día) [26]

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Guerrero	Acapulco	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5.0	4.7	4.7	6.1	5.3

En ubicaciones cardinales que se encuentran en colindancia con cuerpos grandes de agua como Acapulco que es una franja costera, no se registra  $\partial T / \partial t$  significativo en las variaciones diurnas y nocturnas debido a que  $\Phi$  se encuentra cerca del punto de saturación en la troposfera y estratosfera, actuando como barrera a la trayectoria de retorno de la radiación infrarroja que proviene de los cuerpos ubicados en la superficie del planeta y de ella misma, retardando el efecto de enfriamiento; por el contrario en zonas desérticas, ya que presentan cielos claros con poca humedad relativa [23]. Sobre una superficie inclinada

(panel solar fotovoltaico por ej.), es necesario utilizar la ecuación (9) e identificar la latitud del sitio  $\phi$ .

$$\begin{aligned} \cos \theta_i = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (9)$$

Para conocer el ángulo  $\theta_i$  entre  $G_B$  y la normal de la superficie inclinada, es necesario definir el día juliano del que es función  $\theta_i$ , el ángulo de declinación,  $\delta$ , el ángulo horario solar,  $\omega$ , el ángulo de pendiente entre la superficie inclinada y el plano horizontal,  $\beta$ , donde  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ ; (tomando para esta investigación  $\beta = \phi$ ) además del ángulo azimutal,  $\gamma$ , sí aplica el caso de un giro de la superficie inclinada con respecto a la normal sur [27].

#### 2.2.4. Viento

El *viento* es aire en movimiento causado por la diferencia de temperaturas y de presión, usualmente para representarlo se emplean magnitudes en km/h y m/s, en el confort higrotérmico es empleada esta última. Uno de los factores que altera la dirección y fuerza del viento en un *lugar de acción*, es la cercanía a cuerpos grandes de agua (océanos, lagos, ríos, presas, lagunas), como el caso de Acapulco, la resultante del viento está íntimamente relacionada con el calor específico de la tierra y el océano, el primero tiene un  $cp=1700$  J/kg K por lo tanto se calienta más rápido que el cuerpo de agua de  $cp=4182$  J/kg K generando que el flujo de aire durante la incidencia solar sea proveniente del cuerpo de agua al elevarse por convección natural el aire de la tierra y por el contrario en la noche, ya que el cuerpo de agua debido a su inercia térmica, tendrá un intervalo de pérdida de  $Q$  mayor al de la tierra, logrando flujos en dirección hacia el cuerpo de agua. El *histograma de dirección* de viento correspondiente a Acapulco se muestra en la Figura 6. [18] Donde predominan las corrientes en dirección suroeste.

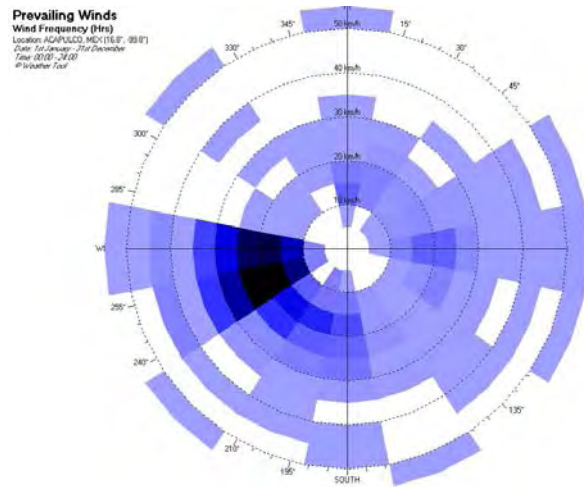


Figura 6. Histograma de dirección de viento anual para Acapulco Guerrero [18].

Si las condiciones iniciales coinciden con el libre flujo de viento dentro de un inmueble, se obtiene su velocidad y tasa de intercambio de aire por medio de la siguiente ecuación [28]:

$$\epsilon = avr \sin \zeta \quad (10)$$

$$fr = \frac{\left( \frac{Rv}{\sqrt{1 + Rv^2}} \right)}{\sin 45} \quad (11)$$

Donde:

$\epsilon$ =tasa de ventilación o cantidad de aire ( $m^3/s$ ).

$r$ =relación entre entrada y salida (0.60fr).

$fr$ =factor de relación de entrada.

$v$ =velocidad del viento (m/s).

$a$ =área de la ebertura de entrada ( $m^3$ ).

$\zeta$ =ángulo que forma la dirección del viento y el plano de la abertura.

$Rv=As/Ae$  (Relación entre la ventana de salida y la de entrada).

$As$ =Área de la abertura de salida de aire ( $m^2$ ).

$Ae$ =Área de la abertura de entrada de aire ( $m^2$ ).



La ventilación juega un papel importante en el confort del ser humano, las estrategias bioclimáticas que toman en cuenta al viento, resultan benéficas para el ahorro energético manteniendo confortable su interior.

### 2.3. Carta psicométrica

La carta psicométrica es utilizada para determinar el comportamiento de un espacio con A/C, en ella es posible identificar dos variables intensivas  $T_{bs}$  y  $\omega_e$  como se muestra en la Figura 7. Donde:  $T_{bh}$ , es la temperatura de bulbo húmedo y  $\mathcal{V}$ , es el volumen cte.

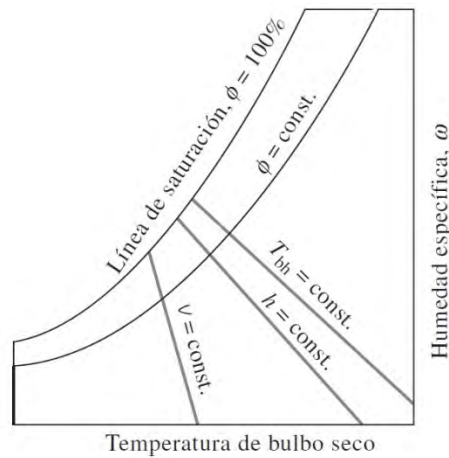


Figura 7. Esquema de una carta psicométrica [20].

El perfil de saturación se observa en la curva de izquierda, dentro de ella se encuentran todos los estados de saturación por lo que representa un 100% de  $\Phi$  contemplando las diversas líneas que existen dentro de la curva que son independientes a ella  $\Phi = \text{cte}$ . En el proceso de acondicionamiento de aire (calentamiento y/o enfriamiento) la carta psicométrica permite identificar de forma rápida los cambios de  $\partial\Phi/\partial T$  así como concluir la posibilidad de humidificar o extraer humedad para lograr condiciones requeridas idóneas.

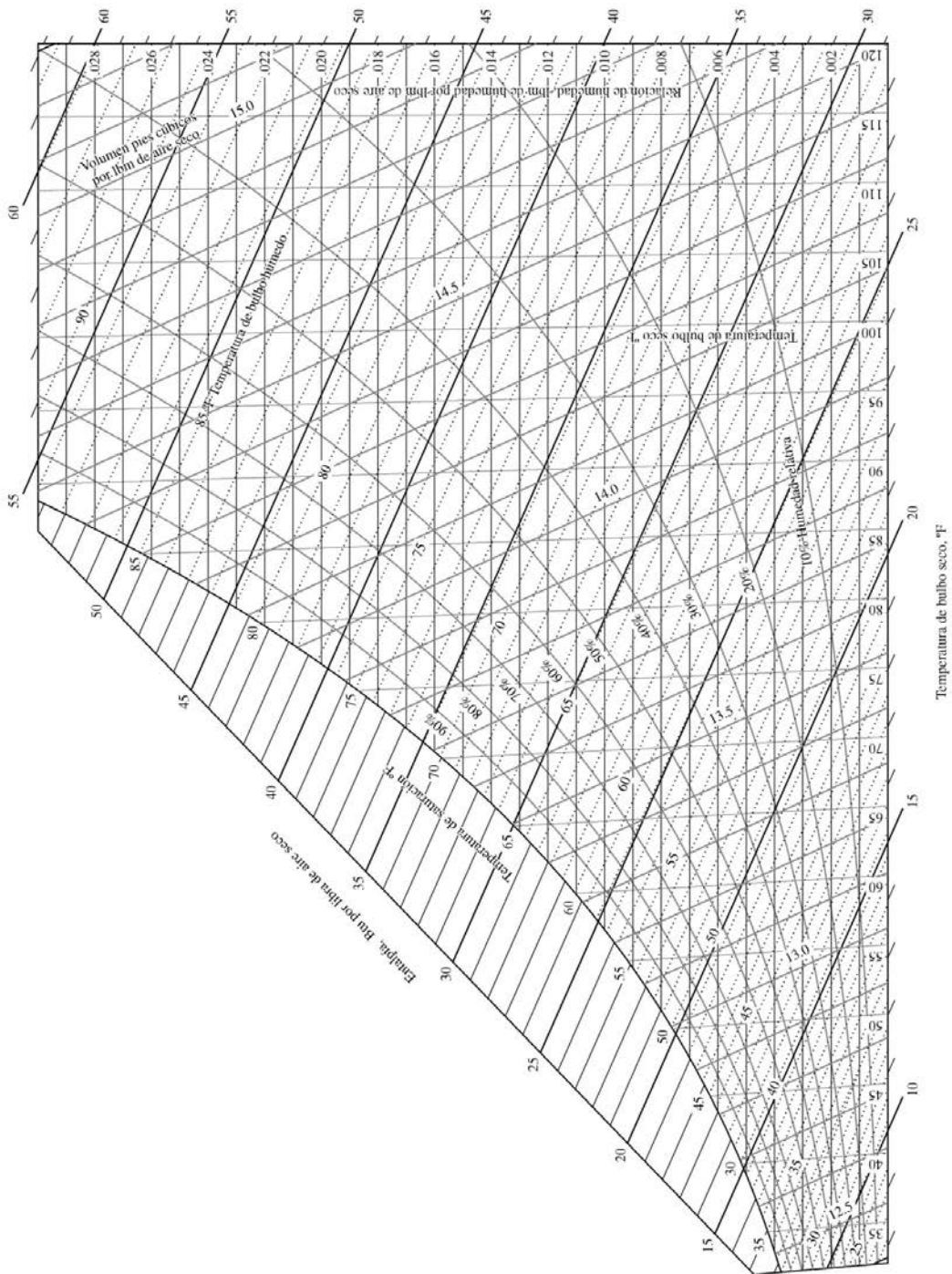


Figura 8. Carta psicrométrica Correspondiente a Acapulco Gro. (101.325 kPa) [29].

Para el caso de Acapulco ( $\overline{\omega_e}$  anual=75%) altitud cero MSNM, se muestra la Figura 8. considerando presión de 1atm (101.325 kPa o 14.696 psia), donde es necesario determinar la  $T_\infty$  para conocer las demás variables en estado estacionario.

### 2.3.1 Confort del ser humano

El confort es un estado higrotérmico de comodidad donde un espacio o ser vivo establecen un parámetro máximo y mínimo. El cuerpo humano puede verse como una maquina térmica que adquiere energía de los alimentos, como cualquier maquina térmica genera calor de desecho, el cual debe ser liberado para continuar con el correcto su funcionamiento; la tasa de generación de calor (Tabla 2.) está íntimamente ligada a la actividad que se realiza. La temperatura promedio a la que el cuerpo humano se encuentra es de 37°C, por lo tanto para encontrarse cómodo es necesario que  $T_\infty < 310.15$  K.

Tabla 2. Índices Metabólicos para diversas actividades del ser humano [29].

Actividad	Índice metabólico W/m2
Dormir	40
Sentado	60
De pie, relajado	70
Caminar a 2 mph (0.89 m/s)	115
Caminar a 3 mph (1.34 m/s)	150
Caminar a 4 mph (1.79 m/s)	220
Leer, sentado	55
Escribir	60
Levantar objetos, empacar	120
Conducir automóvil	60-115
Cocinar	95-115
Limpiar la casa	115-140
Manejar bultos de 50 kg	235

La comodidad del cuerpo humano es una materia que se estudia en ingeniería debido a que las necesidades del espacio a acondicionar para cualquier fin no suelen ser compatibles con

el clima del sitio, por lo que es necesario utilizar métodos mecánicos para hacerlo. Con respecto al humano, su tasa metabólica de liberación de calor depende de la actividad que se realice como se observa en la Tabla 2. Sin embargo debe considerarse que en las actividades de poco esfuerzo físico se disipa el exceso  $Q$  como calor sensible (70%), mientras que al hacerlo como un trabajo intenso la mayor pérdida de calor es por calor latente (60%) [20].

Las principales variables que involucran el confort son la  $T_{bs}$ ,  $\Phi$  y la velocidad del aire ( $\epsilon$ ). La humedad relativa de confort promedio está entre el 40 y 60 por ciento [20], debido a esto se afirma que Acapulco sobre pasa dicho intervalo a lo largo del año; en resumen es posible saber que “la mayor parte de los procesos de acondicionamiento de aire pueden moderarse como procesos de flujo estacionario” [20]; realizando un balance de energía mediante flujos estacionarios de masa de aire seco y de agua se obtiene:

$$\text{Masa de aire seco: } \sum_{in} \dot{m}_a = \sum_{out} \dot{m}_a \quad (12)$$

$$\text{Masa de agua: } \sum_{in} \dot{m}_w = \sum_{out} \dot{m}_w \quad \text{ó} \quad \sum_{in} \dot{m}_a \omega = \sum_{out} \dot{m}_a \omega \quad (13)$$

$$\text{Energía: } \dot{Q}_{in} + \dot{W}_{int} + \sum_{in} \dot{m}h = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum_{out} \dot{m}h \quad (14)$$

Donde:

$\dot{m}_a$ =flujo masico de aire seco

$\dot{m}_w$ =flujo masico de agua

$\dot{Q}$ =flujo de calor

$\dot{W}$ =flujo de trabajo

$h$  =entalpia

Los cambios que sufrirá el sistema en un proceso de calentamiento o enfriamiento, será donde la  $\omega_r = \text{cte.}$ , variando solo  $\partial\Phi/\partial T$ . De tal forma que la temperatura de confort utilizada en el presente estudio será entre 23.3 y 29.4 °C [19]. Parámetro deseado en el interior de la edificación.

#### **2.4. Estrategias bioclimáticas CONAVI**

En México existe una cantidad considerable de edificaciones construidas a las que no es posible modificar su orientación, estructura o construcción para dotarlas de diseño bioclimático, a pesar de ello, es real que las edificaciones están consumiendo energía; por ejemplo, la empresa “*CORPORACION GEO, S.A.B. DE C.V*” en 39 años ha construido 650'000 viviendas de interés social, albergando en ellas a mas de 2.5 millones de habitantes [30]. Esta es una de las razones para que existan esfuerzos y trabajos que mejoraren las condiciones de vida de los usuarios, buscando alcanzar la sustentabilidad en las edificaciones [31].

La problemática que se presenta al hacer propuestas bioclimáticas en una construcción existente que no puede ser modificada (estructural y/o arquitectónicamente), es que cada inmueble presenta condiciones y variables diferentes, como analogía se tiene el movimiento de un fluido, es posible tener un criterio del comportamiento de un flujo  $\Gamma$  dentro de un cilindro, pero no se sabe con certeza el comportamiento del flujo que pasa por una superficie irregular, la ciencia en esos casos, apuesta por experimentación, estudios de laboratorio y simuladores, como el *túnel de viento* que se encuentra en *Ames Research Center (ARC) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, que ayuda a conocer comportamientos en condiciones reales. Con dicha analogía resume que el diseño bioclimático en edificaciones muestra un análisis particular en cada caso, aun cuando las variables se idealicen minúsculas.

Para el caso de Acapulco la *Comisión Nacional de vivienda (CONAVI)* describe las siguientes consideraciones de diseño dependientes de su clima cálido húmedo [1].

Inicialmente los requerimientos de climatización son deshumidificar y enfriar, preponderar la ventilación natural, no se recomienda la utilización de vegetación en interior de la edificación, de forma ambigua se recomienda la utilización de materiales ligeros y como principal punto de acción se propone que los espacios de uso diurno sean muy ventilados, pero el factor más importante del que se basa la presente investigación es “*evitar ganancias solares directa e indirectas todo el año*” [1] haciendo referencia que durante las cuatro estaciones del año es necesario disminuir las ganancias radiativas, particularmente en techumbres.

#### **2.4.1. Proyecto arquitectónico**

El proyecto arquitectónico en clima cálido húmedo se recomienda que sea en lotificaciones separadas de colindancias, configuraciones abiertas y alargadas a la  $T_{\infty}$ , se advierte que la fachada más larga sea normal a los vientos dominantes, la ubicación ideal del planteamiento de diseño sería con espacios de día en dirección Sureste, mientras que los de noche y servicio al Norte, se recomienda que las áreas de mantenimiento y circulación estén colocadas al Noroeste para amortiguamiento térmico.

#### **2.4.2. Tipo de techo**

El tipo de techumbres optimas que se describen son inclinadas a diferentes niveles, la altura mínima que se recomienda de piso a lecho bajo de cubierta en el interior de la edificación es de 2.70m.

#### **2.4.3. Requerimientos en fachada y viento**

Los requerimientos de fachada que pueden obstruir la radiación directa al inmueble son aleros, pórticos, balcones y parteluces que estén a la máxima exposición del viento en cualquier dirección que se encuentren, se recomienda una ventilación al interior de forma cruzada, maximizando la dimensión de las ventanas hacia los vientos con mayor fuerza y velocidad, minimizando las aperturas al exterior dirección Suroeste y Oeste, para evitar la entrada a la radiación solar, Si se requiere acelerar la velocidad del flujo de aire se propone

que la ventana de salida debe ser 25% mayor que la de entrada, además de proponer ventilación sifónica, inducida o techo de succión.

#### 2.4.4. Elección de materiales

Los materiales de construcción recomendados en techos deberán ser “con *aislante térmico, para ahorro de energía*  $R = 2.64 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  y para *confort térmico*  $R = 2.025 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  ” [1], masivos, ligeros y de baja conductividad térmica,  $k$ ; los muros exteriores se recomiendan con aislante térmico, para ahorro de energía  $R = 1.00 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  y para confort térmico  $R = 1.00 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ , sombreados, ligeros y de baja  $k$ , el color y la textura de los acabados exteriores debe ser de alta reflectancia,  $\psi$ , de preferencia en color blanco. De forma complementaria se deja la alternativa de utilizar equipos mecánicos de climatización en forma de ventiladores si es necesario.

#### 2.4.5. Relación vegetación-humedad

La vegetación recomendable es perenne, que no obstruyan la ventilación y que pueda canalizar las corrientes de aire a la edificación, además de aprovechar el sombreado en Sureste, Sur y Suroeste; considerando vegetación de bajo requerimiento de agua, de otra forma aumentara la  $\Phi$  y la sensación de incomodidad higrotérmica.

### 2.5. Proyección grafica de la radiación solar sobre un plano horizontal.

El análisis del movimiento aparente de Sol será evaluado con ayuda de la *grafica estereográfica* la cual está dada por las siguientes ecuaciones [27]:

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n_d}{365}\right) \quad (15)$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (16)$$

$$\alpha_s = 90 - \theta_z \quad (17)$$

$$\gamma_s = C_1 C_2 \gamma'_s + C_3 \left( \frac{1 - C_1 C_2}{2} \right) 180 \quad (18)$$

$$\text{donde: } \sin \gamma'_s = \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \quad (19)$$

$$\text{ó } \tan \gamma'_s = \frac{\sin \omega}{\sin \phi \cos \omega - \cos \phi \tan \delta} \quad (20)$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & \text{if } |\omega| < \omega_{ew} \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (21)$$

$$C_2 = \begin{cases} 1 & \text{if } \phi (\phi - \delta) \geq 0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (22)$$

$$C_3 = \begin{cases} 1 & \text{if } \omega \geq 0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (23)$$

$$\cos \omega_{ew} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \quad (24)$$

Donde:

$\omega$ : Ángulo horario 15° por hora mañana (-) tarde (+)

$\delta$ : Declinación, norte (+), Sur (-)  $-23.45^\circ \leq \delta \leq +23.45^\circ$

$\theta_z$ : Ángulo cenital,  $0^\circ \leq \theta_z \leq 90^\circ$

$\alpha_s$ : Altura solar; ángulo complementario de  $\theta_z$

$\gamma_s$  : Ángulo azimutal, este del sur (-), oeste del sur (+)

$n_d$ : Día Juliano del año.

$\phi$ : Latitud norte



**Stereographic Diagram**  
Location: ACAPULCO, MEX

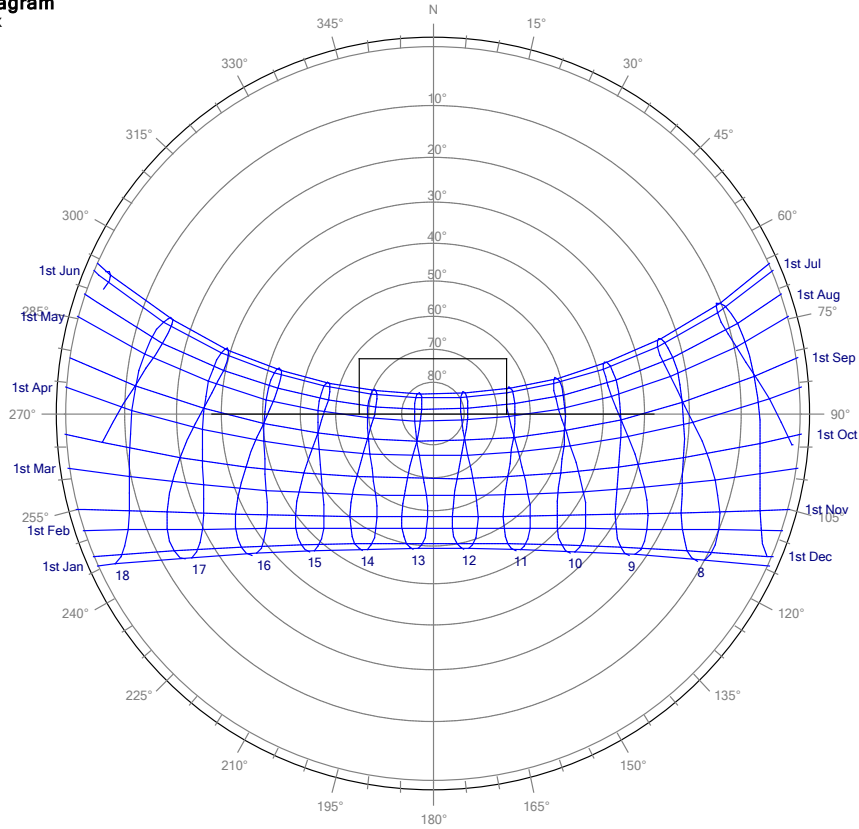


Figura 9. Grafica Estereográfica con analemas para Acapulco Guerrero  $\phi=16.80\text{N}$  [32].

En la Figura 9. Se muestra que durante el solsticio de verano la radiación directa  $G_B$  tiene ángulos azimutales menores a  $0^\circ$  considerando ángulos positivos cuando son normales al Sur, una recomendación bioclimática pasiva para una trayectoria como ésta, es protección solar Norte para evitar la ganancia térmica por la cubierta de una edificación al 100% cuando  $\omega=0$ , en ese intervalo de tiempo es cuando  $T_\infty$  alcanza los valores más altos anuales.

### 2.5.1. Evaluación de dimensión idónea.

El área mínima optima para que suceda  $\omega=0$  en  $\phi = 16.80^\circ\text{N}$  está dada por la trigonometría de la colocación de una superficie opaca (Capítulo 3), que obstruya la  $G_B$ , ya que área superficial de la edificación a evaluar,  $(Av)$ ,  $Av \neq Ap$  donde  $Ap$ , es el área mínima

de la superficie opaca de obstrucción solar, dado que tiene que existir protección Norte, tal como lo demuestra la Figura 10.

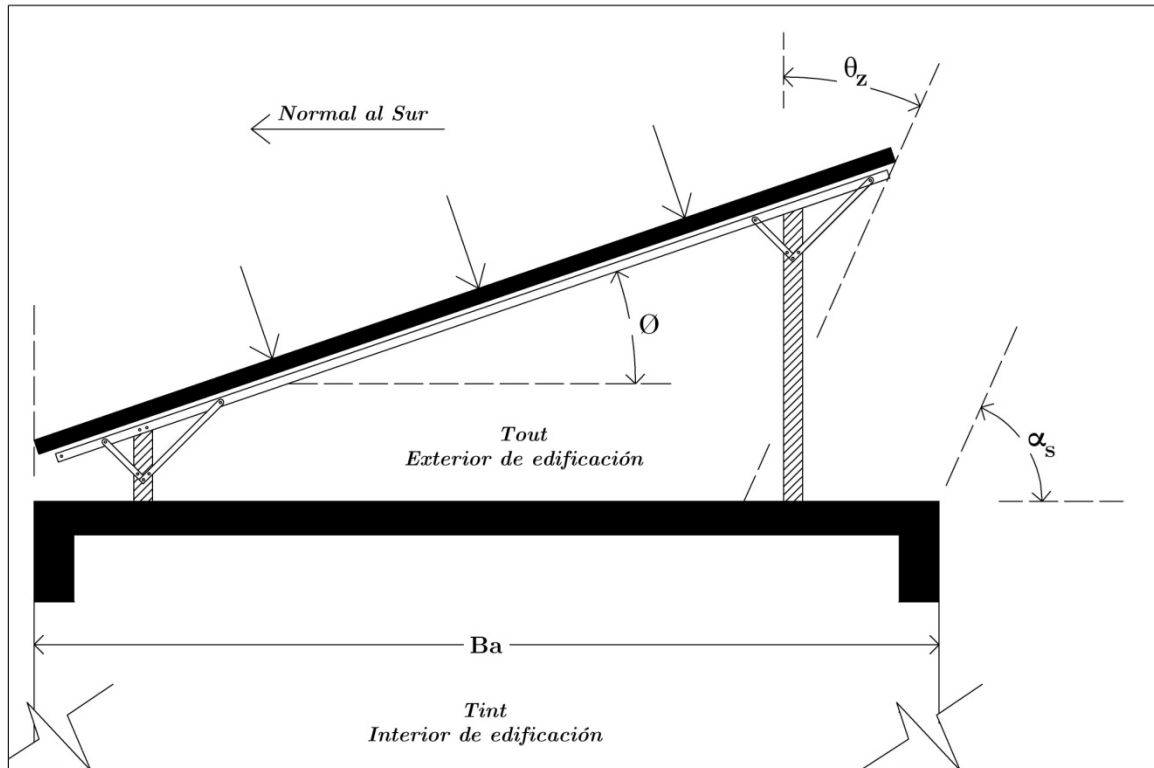


Figura 10. Ángulos de incidencia cuando la condición es  $A_v = A_p$ .

Para encontrar la medida que asegure la protección al Norte se tiene que tomar en cuenta la fecha más cálida del sitio, en base a datos obtenidos por *Energy Plus*, en Acapulco se tiene que entre los días Julianos 110 y 240 se presentan las más altas  $T_{\infty}$  anuales, por ende al cálculo de la  $A_p$  optima es función de la amplitud de la cubierta a evaluar y de su  $\phi$ , pero de ninguna manera la separación del suelo es factor para el análisis de sombreado, sin embargo si lo es para el análisis de transferencia de calor. Como lo muestra la Figura 11.

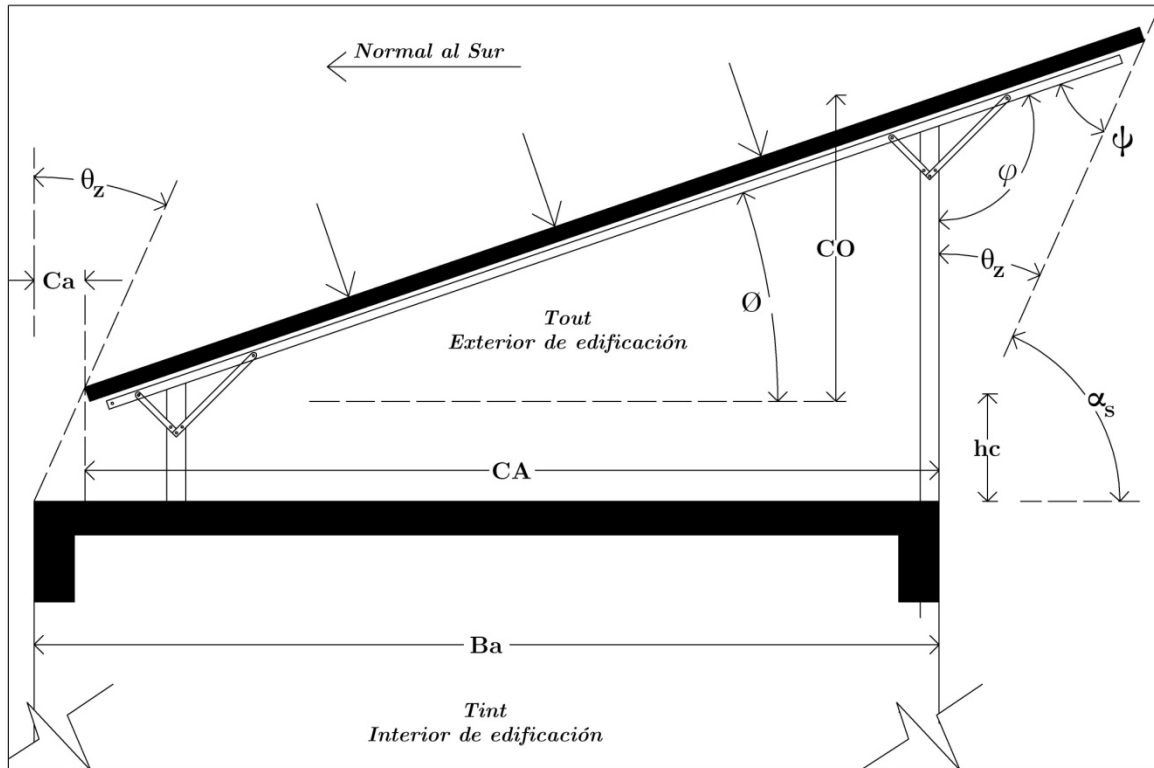


Figura 11. Ángulos de incidencia cuando la condición es  $Av \neq Ap$ , teniendo la superficie opaca cubriendo el extremo Norte cuando  $\omega = 0$

El cálculo del área idónea para completar el factor de sombreado sobre  $Av$  está dado por el día Juliano con  $\delta = 23.45^\circ$  y mayor  $\gamma_s$ , ese día es el número  $\pm 173$  con un  $\theta_z = 6.65^\circ$  (Figura 12.) para  $\phi = 16.80$  sin contemplar corrección de la *ecuación del tiempo* dado que la longitud no corresponde al uso horario de Acapulco -7.00hrs.

### 2.5.2. Comportamiento del Angulo cenital

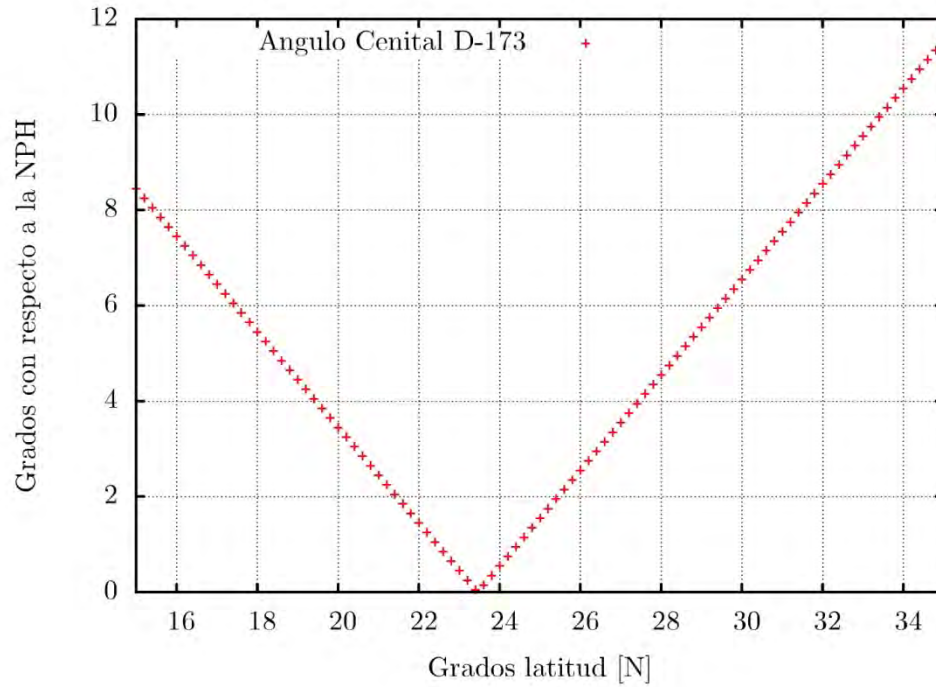


Figura 12. Variación del ángulo cenital día Juliano 173, con respecto a latitudes del intervalo 15,35 dirección Norte. (NPH=normal al plano horizontal)

La dimensión idónea mínima de la cubierta opaca esta dado por las siguientes ecuaciones:

$$D_i = \sqrt{CA^2 + CO^2} + \frac{\sin \theta_z}{\sin \varphi} (\tan \varphi CA + Co) \quad (25)$$

$$CA = B_a - \frac{h_c}{\tan \alpha_s} \quad (26)$$

$$\tan \alpha_s = \frac{Co}{Ca} \quad (27)$$

Donde:

$D_i$ =Dimensión idónea mínima requerida para completar al 100% de obstrucción a  $G_B$  cuando  $\omega = 0$

$CA$ =Cateto adyacente mayor.

$CO$ =Cateto opuesto mayor.

$Ca$ =Cateto adyacente menor.

$Co$ =Cateto opuesto menor.

$Ba$ =amplitud de la habitación cte.

$hc$ =altura desplante de la instalación FV

$\varphi = 90 + \phi$

$\psi = 180 - \varphi - \theta_z$

$A_j$ = Área mínima a cubrir de la radiación solar.

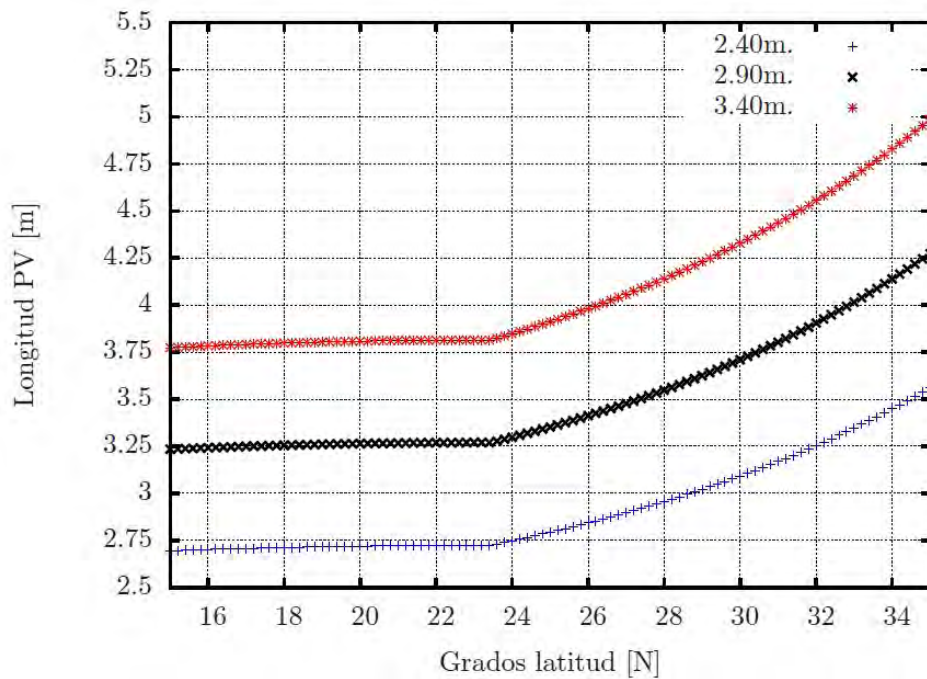


Figura 13. Isométricas de amplitud de  $A_p$  en diferentes latitudes y longitudes de superficies opacas (en adelante llamados paneles fotovoltaicos para este trabajo).

En la Figura 13. Es posible observar el comportamiento de la amplitud óptima de la superficie opaca propuesta para la obstrucción solar directa durante todo el año, en diferentes latitudes y con  $Av = 2.40, 2.90$  y  $3.40$  metros, lo cual demuestra que para  $\phi \leq 23.45$  la distancia es isométrica con respecto a la amplitud de la habitación, cuando  $\phi > 23.45$  la asíntota aumenta, lo cual resulta lógico, dado que es significativa cuando  $\phi \rightarrow 90^\circ$ ; el cálculo de la distancia óptima de la *superficie opaca* cuando  $Av = 2.40\text{m}$  ( $2.40\text{m} \times 2.40\text{m}/\text{habitación-min}$ ) [33] y  $\phi = 16.80^\circ$  es:  $D_i = 2.71\text{m}$  por lo tanto el área mínima  $A_j = 6.5\text{m}^2$ .

### **3. Sistema Fotovoltaico de Si-policristalino.**

#### **3.1. Antecedentes del efecto fotovoltaico.**

A mediados del siglo XX se descubrió de forma accidental que la unión semiconductor *p-n* producía voltaje,  $V$ , a la exposición de la *luz*; alrededor de 1960 se publicaron diversos artículos en los cuales se basan los estudios posteriores en el desarrollo de celdas fotovoltaicas, por ejemplo, se dio a conocer la *teoría de bandas*, los aspectos termodinámicos de la transformación de energía solar-eléctrica y sobre todo, se identificó uno de los objetivos primordiales de este fenómeno, la eficiencia de la conversión energética ( $\eta$ ) [34 - 36].

### 3.1.1. Celdas solares

La unión  $p-n$  es el resultado de dopar un material *tipo-n* y otro *tipo-p*, que al juntarse en delgadas laminas provocan que los electrones excedentes del material  $n$  se reacomoden en los huecos del material *tipo-p*, equilibrando así las cargas libres que al ser recombinadas tienen como resultado un campo eléctrico que interactúa con las cargas positivas e inmóviles de los átomos pentavalentes de la región del material *tipo-n*, con las cargas negativas inmóviles de los átomos trivalentes del material *tipo-p*, dicho campo eléctrico aumenta cuando se reagrupan las cargas libres en la unión, a esta región se le conoce como zona de depleción, la dirección del flujo de difusión de *electrones-huecos* es opuesta al campo eléctrico hasta llegar a un punto de equilibrio en  $t$  muy corto [37].

Las pares huecos se forman cuando la unión  $p-n$  es expuesta a la luz y absorbe cierta cantidad fotones, estos portadores de cargas móviles son los causantes de la perturbación en la zona de depleción, arrastrando a los huecos al lado  $p$  y trayendo a los electrones al lado  $n$ , generando voltaje, que aunque pequeño, es posible utilizarlo para entregar una  $I$  a una carga [37] simplemente conectándola a ambas uniones de la celda, en ese momento deben fluir los electrones fuera del lado  $n$  para hacer el recorrido a la carga y retornar al lado  $p$  cerrando un circuito, este proceso es conocido como efecto fotovoltaico [38].

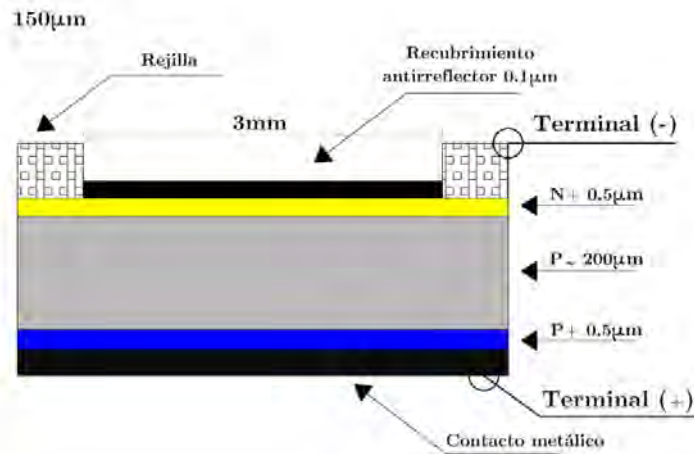


Figura 14. Estructura de una celda fotovoltaica de Si policristalino.

Las celdas fotónicas (Figura 14.) han sido tipificadas como celdas solares por convención, sin embargo es evidente que no solo realizan el proceso estando a la exposición solar, para los fines de esta investigación se utilizara el termino celdas solares para referirse a ellas; dentro de las características que producen están los parámetros de salida de corriente de corto circuito,  $I_{sc}$ , y el voltaje de circuito abierto,  $V_{oc}$ . La corriente de una celda en específico puede ser identificada con su respectivo perfil de comportamiento en relación I-V cuando  $V_o = 0$ , sabiendo que  $V_{oc}$  es función de la  $I_o = 0$ , en resumen, sucede cuando la corriente inicial se encuentra sin carga alguna. Las celdas solares producen V y I a razón de una  $\eta$  establecida en un punto asignado, sin embrago la lógica de entre más energía sobre la superficie expuesta a la radiación solar provocara mayor  $\eta$  en el campo eléctrico en la unión  $p-n$  no es correcta, ya que las celdas muestran una distorsión de esta energía expuesta por consecuencia del aumento de  $T$  en ella, provocando una disminución en el voltaje de salida,  $V_{out}$ , del diodo [39].



### 3.2. Parámetros eléctricos de salida

La potencia de salida de las celdas solares se normaliza con respecto a *Standard Test Conditions* “Condiciones Estándar de Prueba (STC)”, siendo los parámetros de  $G = 1000 \text{ W/m}^2$  temperatura paramétrica,  $T_p = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , una irradiancia espectral=ASTM E-892. Además de las STC existen las *Nominal Operating Cell Temperature Conditions* “Condiciones de Temperatura de Operación en la Celda (NOCT)” donde la  $G = 800 \text{ W/m}^2$ ,  $T_p = 42 \text{ }^\circ\text{C}$  y su irradiancia espectral es igual a la STC.

Para la comercialización de las celdas solares se utilizan bases acumulativas, con las que se logran acoplar varias celdas en arreglo caracterizado en serie, paralelo o la conjunción de ambos, esto depende de las propiedades que el comerciante identifica como potencial activo de mercado y del tipo semiconductor utilizado como se observa en la Tabla 3. Comúnmente se caracterizan las celdas solares a 12V de corriente directa, CD, donde su corriente de salida,  $I_{out}$ , así como su potencia máxima,  $P_{mp}$ , dependen del arreglo eléctrico entre ellas como se ha mencionado anteriormente. Una cualidad de las celdas solares es que solo entregan CD por las características de funcionamiento *p-n*.

Tabla 3. Eficiencia y características de diferentes tecnologías solares con sus respectivos semiconductores [40].

Tipo de celda	$\eta$ (%)	Vca (V)	Jcc (mA/cm <sup>2</sup> )	FF
Si cristalino	25	0,705	42,7	0,828
Si policristalino	20,4	0,664	38	0,809
Si amorfo	9,5	0,859	17,5	0,63
Si nanocristalino	10,1	0,539	24,4	0,766
GaAs cristalino	26,1	1,038	29,7	0,847
orgánica	5,15	0,876	9,39	0,625
InGaP/GaAs/Ge	32	2,622	14,37	0,85
CdTe	16,7	0,845	26,1	0,755

Se llama sistema fotovoltaico (SFV) al acoplamiento de varios paneles solares, los cuales pueden ser utilizados de forma autónoma o interconectados a la red eléctrica, en México solo la CFE está facultada para transmitir y distribuir la energía eléctrica en el territorio nacional [7]. En este trabajo solo se abordara la segunda opción de funcionamiento, la conectada a la red eléctrica [41]. Los también llamados sistemas interconectados a la red pueden derivarse en centralizados o descentralizados, siendo plantas solares de gran extensión las centralizadas, ubicándolas en áreas considerables que pueden alcanzar potencias pico de MW, mientras que los descentralizados son los sistemas utilizados de forma independiente o semi-independiente en edificaciones, logrando potencias que oscilan los kW.

### **3.2.1. Complementos de funcionamiento de un SFV**

Los SFV interconectados inyectan toda la energía eléctrica de salida a la red pública, transformando la CD en corriente alterna, AC, por medio de un inversor de corriente, que a su vez incluye un circuito de seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) para maximizar la  $\eta$  del proceso.

Las celdas solares entregan voltajes promedio  $V_{oc} = 0.5V$ , por esta razón es necesario conectar varias celdas en serie para alcanzar un  $V=12$ . La conexión entre celdas se hace en el exterior de ellas, logrando interconectar el conjunto en un solo modulo que depende del área expuesta para conocer la potencia de salida, además de la eficiencia de la celda que depende del tipo de tecnología utilizada (semiconductor) la continuidad del circuito que forma el panel se recubre principalmente de *Etil-vinil-acetato* (EVA) que es una resina transparente a la radiación solar que resiste las condiciones climáticas a las cuales estará expuesto el panel como se aprecia en la Figura 15., algunos fabricantes han desarrollado paneles fotovoltaicos cubiertos por cristal de baja reflectividad,  $\psi$ , que protege a las celdas y sus conexiones de la abrasión y proporcionando rigidez al modulo, la parte posterior

también es cubierta con diferentes materiales para aumentar la vida útil, comúnmente es empleado el *Tedlar*, que es un polímero en color blanco muchas veces visible.

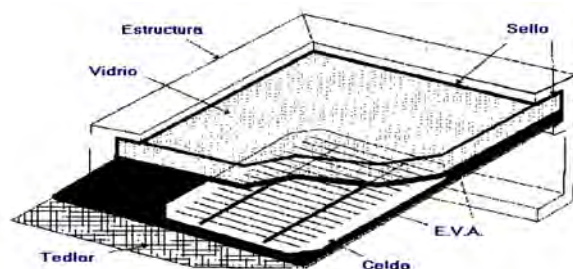


Figura 15. Sección transversal de un panel solar comercial en el año 2014 [42].

En el 2014 gran parte de los paneles fotovoltaicos comercializados tienen marcos perimetrales de aluminio, con la intención de mejorar las condiciones mecánicas del producto además de facilitar su instalación. La mayoría de los paneles que se encuentran en el mercado contienen de 36 a 72 celdas solares, proporcionando 12 ó 24V bajo condiciones óptimas de operación; la tecnología y los medios actuales han logrado comercializar SFV con vida útil entre 20 y 25 años [43, B1].

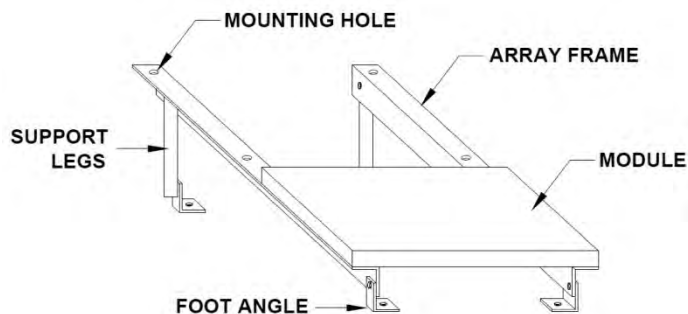


Figura 16. Estructura-soporte de SFV fijos, el material comúnmente utilizado es acero y aluminio, anclado con barrenos estándar que pueden ser fijados en cubiertas o en postes.

Un SFV está compuesto de  $n$  cantidad de paneles como se ha descrito antes, cuya colocación requiere de estructuras y soportes como se muestra en la Figura 16. que se clasifican en fijos o de seguimiento, para esta investigación será empleada la base fija y

rígida que mantiene al SFV estático de fuerzas externas, además de ser necesario para fijarse en la posición recomendada por el fabricante la cual depende de la  $\phi$  del sitio. En la Tabla 4. se observan las inclinaciones del SFV con respecto al plano horizontal que maximizan el funcionamiento fotoeléctrico.

Tabla 4. Inclinación con respecto al plano horizontal recomendada por fabricantes de SFV [B2].

SITE LATITUDE IN DEGREES (latitud en grados °C)	FIXED TILT ANGLE (Ángulo fijo de inclinación)
0°-- 15	15°
15°-- 25°	SAME AS LATITUDE (igual a la latitud)
25°-- 30°	$\phi + 5^\circ$
30°-- 35°	$\phi + 10^\circ$
35 -- 40°	$\phi + 15^\circ$
40°+	$\phi + 20^\circ$

La mejor orientación para un SFV en latitud Norte es normalizándolo al sur geográfico, puesto que la mayor parte del año la radiación solar directa está en esa dirección por lo tanto la captación es optima. El movimiento aparente del Sol se desplaza  $15^\circ/h$  por lo tanto es posible cuantificar la cantidad de energía normal al colector, sabiendo que existen factores de proyección que no son perpendiculares al panel fuera del medio día solar [44].

### 3.3. Interconexión a la red eléctrica

En un sistema fotovoltaico es importante colocar el cableado ideal para su instalación, de otro modo pueden existir pérdidas considerables de energía por efecto Joule, además se asegura una instalación confiable, durable y con buen desempeño, es necesario que no exceda el 5% la caída total del voltaje en las principales ramificaciones del. La temperatura máxima a la que puede estar expuesto un panel es de aproximadamente  $90^\circ C$ , por lo tanto es indispensable considerar un factor de corrección ( $fc$ )  $fc=1.25$  en la  $I_{max}$  que sea parámetro de funcionamiento para el conductor [41].

Las características de protección eléctrica para un SFV difieren de otras fuentes de energía, debido a que comúnmente se encuentran en la práctica circuitos de AC, por lo tanto los

procedimientos de protección en la instalación eléctrica de CD son diferentes. Los SFV se comportan como generadores de I en situaciones de falla, mientras que una fuente convencional AC se comporta como una fuente de voltaje, por lo tanto en CD no es posible disparar interruptores termomagnéticos o fusibles de sobrecarga, que son sensibles a valores nominales de operación. No existe posibilidad de abrir un circuito una vez cerrado en una celda solar a menos de que no exista flujo de fotones, sin embargo el riesgo de sufrir una descarga eléctrica con niveles bajos de irradiancia es alto, puesto que el  $V_{max}$  de una celda ocurre bajo estas condiciones.

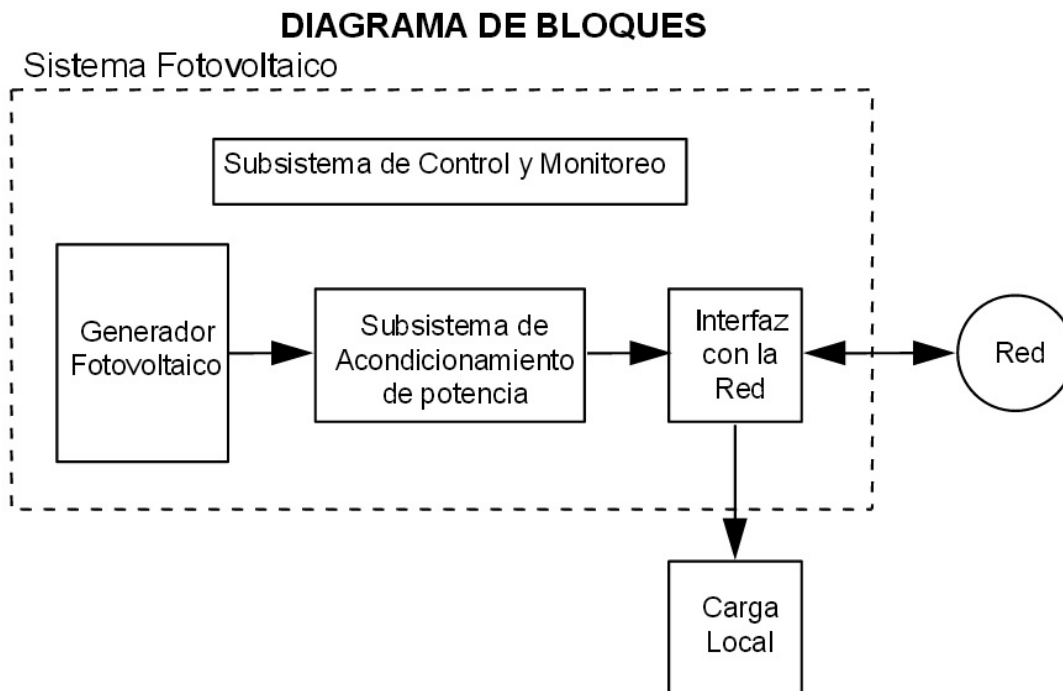


Figura 17. Diagrama de bloques de un SFV interconectado a la red eléctrica [45].

La Figura 17. Muestra el diagrama de instalación de un SFV interconectado a red, se observa el sistema de acondicionamiento de potencia (*inversor de corriente*), ya que las celdas solares generan voltaje en CD, por lo que es necesario estandarizar el voltaje nominal a 127 V en AC y a una frecuencia de 60Hz (*parámetros de CFE*) por medio de

los inversores de voltaje. La salida del inversor se conecta a un medidor bidireccional que diversifica la facturación del consumo eléctrico en un intervalo de tiempo [46].

El inversor necesario en un sistema interconectado a red es un “inversor de fuente de corriente”, la potencia inyectada depende de la capacidad de generación del SFV, la  $I_{out}$  debe ser fuente de corriente por consecuencia de la baja impedancia a la entrada de la red. Las consideraciones del inversor a utilizar en la investigación son.

Potencia máxima de salida del SFV ( $P_{mp}$ )

Características dependientes del modelo seleccionado ( $I_m, V_m, V_{oc}$ )

Estándares eléctricos de la red, (V, frecuencia)

Nivel de distorsión armónica permitido en el cálculo.

La tecnología empleada para la evaluación del SFV en de los siguientes capítulos será de Si policristalino de línea KYOCERA modelo KD140SX-UFBS con las especificaciones eléctricas de las Tablas 5, 6.

Tabla 5. Condiciones Estándar de Prueba STC para el panel solar seleccionado para la investigación, modelo KD140SX-UFBS [B1].

<i>Standard Test Conditions</i> STC KD140SX-UFBS (Condiciones Estándar de Prueba)		
Parámetro	Cantidad	U
Potencia máxima pico ( $P_{mp}$ )	140	W
Voltaje máximo pico ( $V_{mp}$ )	17.7	V
Corriente máxima pico ( $I_{mp}$ )	7.91	A
Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ )	22.1	V
Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ )	8.68	A
Tolerancia	+7/-0	%

Tabla 6. Condiciones de Temperatura de Operación en la Celda NOCT para el panel solar seleccionado para la investigación, modelo KD140SX-UFBS [B1].

<i>Nominal Operating Cell Temperature Conditions</i> NOCT KD140SX-UFBS (Condiciones de Temperatura de Operación en la Celda)		
Parámetro	Cantidad	U
Potencia máxima pico ( $P_{mp}$ )	101	W
Voltaje máximo pico ( $V_{mp}$ )	16.0	V
Corriente máxima pico ( $I_{mp}$ )	6.33	A
Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ )	20.2	V
Corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ )	7.03	A

La selección del panel es función del requerimiento superficial descrito en el Capítulo 2, por lo tanto no se han considerado cargas específicas de abasto del SFV, una vez seleccionado el modelo se dispone la cuantificación eléctrica que brindaran las celdas a la edificación de estudio. Verificando los diagramas de funcionamiento del panel establecido en el párrafo anterior en las Figuras 18 y 19.

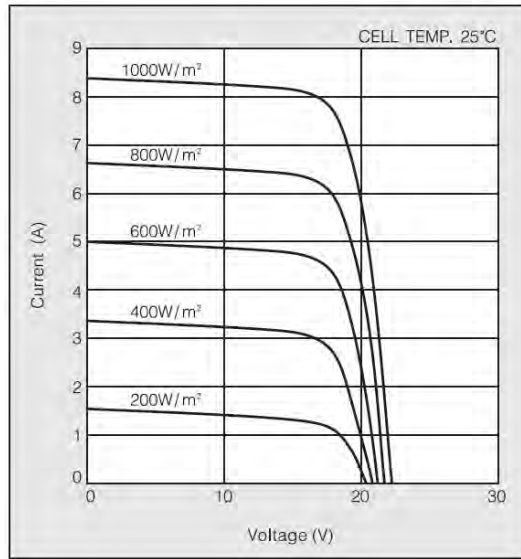


Figura 18. Diagrama I-V del modelo KD140SX-UFBS para diferentes valores de irradiación arrojando variaciones en la corriente y voltaje de operación [B3].

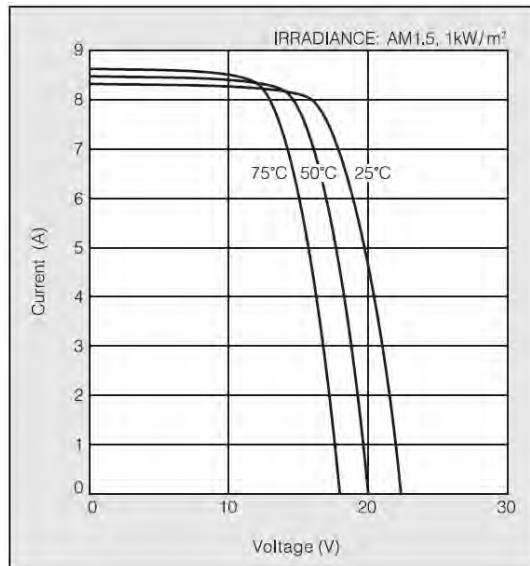


Figura 19. Diagrama I-V del modelo KD140SX-UFBS para diferentes valores de temperatura arrojando variaciones en la corriente y voltaje de operación [B1].



Las dimensiones del panel KD140SX-UFBS a lo largo, ancho y espesor son: 59.1"× 26.3"×1.81" respectivamente (1.50m× 0.69m×0.04m) por lo que se necesitan ocho piezas KD140SX-UFBS para cubrir el área mínima calculada (ancho mínimo 2.40m,  $D_i=2.71m$  por lo tanto el área mínima  $A_j=6.5m^2$ ) con el arreglo matricial de los paneles fotovoltaicos 2r x 4c (dos renglones por cuatro columnas) se logra un área efectiva  $A_f=8.28m^2$ , como se muestra en la Figura 20.

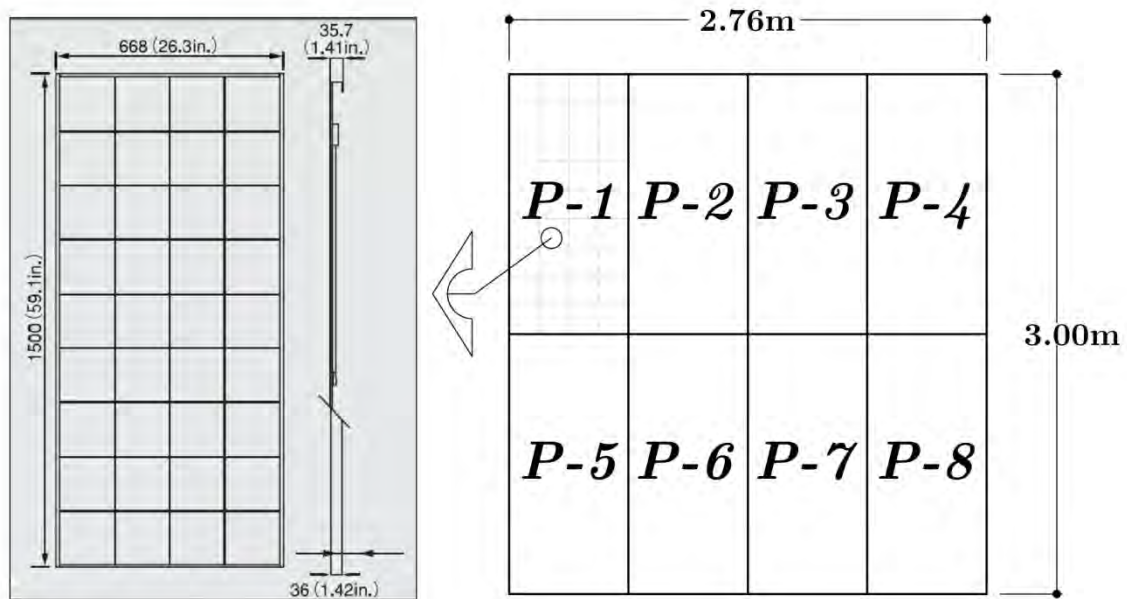


Figura 20. Arreglo matricial de 8 paneles KD140SX-UFBS ( $A_j=6.5m^2$ ,  $A_f=8.28m^2$ ) normalizando el sentido longitudinal de ellos al Sur geográfico.

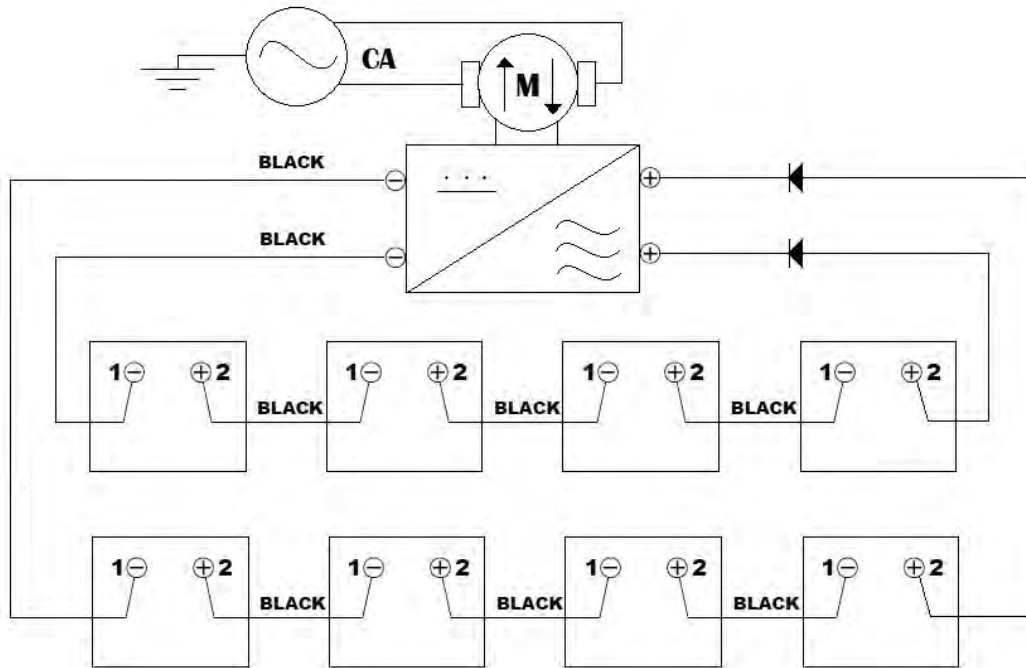


Figura 21. Diagrama eléctrico de conexiones del SFV ( $V_{mp}=17.7$  V y  $I_{mp}=7.91$  A bajo STC c/panel de  $140$   $WP_{mp}$ ) logrando  $V_{mp}=70.8$  V y  $I_{mp}=15.82$  A [B2].

Dicho arreglo logra un potencial pico de  $WP_{mp} = 1.12$  kW; la configuración de conexión es 4s x 2p (cuatro serie por dos en paralelo) logrando un  $V_{mp}=70.8$  V y  $I_{mp}=15.82$  A (Figura 21).

### 3.3. Recurso solar en horas pico

La cantidad de horas pico,  $h_p$ , que existen en lugar determinado pueden ser calculadas en función de la irradiancia, para ello es necesario calcular la cantidad de energía debajo de la curva que representa la  $f(G)$  con respecto a  $t=24$  hrs y normalízalas con el parámetro  $1000\text{W}/\text{m}^2$  que es la cantidad de energía ideal según la STC, teniendo como resultado la irradiación diaria, visto de forma matemática se expresa:

$$\text{energía} = \int_{t_1}^{t_2} P_i(t) dt \quad (28)$$

Al normalizar la ecuación anterior con respecto al área superficial de contacto en el Sistema Internacional de medidas queda:

$$\frac{\text{energía}}{\text{m}^2} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_i(t)}{\text{m}^2} dt \quad (29)$$

$$\text{Irradiación} = \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt \quad (30)$$

Por lo tanto las  $h_p$  pueden ser calculadas diariamente, o en promedio de un intervalo de  $t$ , por ejemplo se puede conocer la cantidad de  $h_p$  que hay en Acapulco conociendo la Insolación promedio diaria durante cada uno de los meses del año; la Figura 22. Muestra la cantidad de energía normalizada en  $G_{STC} = 1000\text{W}/\text{m}^2$ .

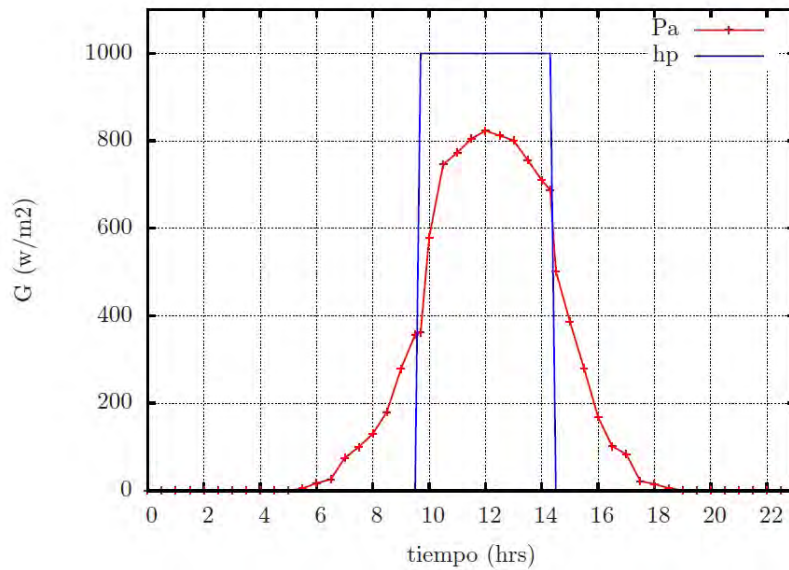


Figura 22. Irradiación promedio anual en Acapulco, donde  $h_p=5.7$  hrs (Pa, es la radiación global media sobre el plano horizontal de Acapulco) Base de datos: Energy Plus.

La energía que proporcionara el SFV,  $E_{sp}$  (kWh), a lo largo del año en promedio diario se muestra en la Tabla 7. Calculada a partir las siguientes ecuaciones [47]:

$$E_{sp} = h_p(WP_{mp}) \quad ( 31 )$$

$$h_p = \frac{I_s(\text{kWh/m}^2)}{G_{STC} (\text{W/m}^2)} \quad ( 32 )$$

Tabla 7. Energía  $E_{sp}$  (kWh) de máxima efectividad del SFV en promedio diario para cada mes en un intervalo anual para Acapulco Guerrero, utilizando 8 paneles KD140SX-UFBS con  $\eta = 13.5\%$

Datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$I_s$ (kWh/m <sup>2</sup> )	4.80	5.30	6.10	5.90	5.60	5.10	5.30	5.40	4.90	5.20	5.00	4.70
$E_{sp}$ (kWh)	5.38	5.94	6.83	6.61	6.27	5.71	5.94	6.05	5.49	5.82	5.60	5.26

### 3.3.2. Inversor

En los SFV es recomendable que el inversor utilizado sea de una capacidad mayor a la entrada al de los parámetros de salida del arreglo fotovoltaico, tanto en  $WP_{mp}$  como en  $V_{mp}$  y  $I_{mp}$ , recordando que la salida del inversor debe ser homologada a la red eléctrica, para eso es importante que su configuración *out* (salida) sea en el mejor arreglo senoidal posible. El inversor a utilizar es un microinversor marca *Enphase* modelo M215 de 215W, sus características de operación se muestran en la Tabla 8. [B4]

Tabla 8. Características del microinversor marca *Enphase* modelo M215 de 215W con una eficiencia  $\pm 92\%$

Datos	Rangos	Unidades
Potencia de entrada SCT CD	190-250	W
Voltaje máximo de entrada DC	45	V
Rango de operación DC	16-36	V
Corriente máxima de corto circuito	15	A
Potencia máxima de salida AC	215	W
Rango de voltaje nominal AC	208/179-232	V
Derivación máxima de corriente	por 20A/25 tres fases	A

El tiempo de vida del inversor por garantía se especifica en 20 años, sin embargo para el análisis económico se tomara un valor de 10 años, justificando los daños frecuentes que sufre el inversor [B4].

### 3.3.3. Eficiencia

La entropía,  $S$ , está presente en cada proceso del universo, por lo tanto siempre hay una pérdida de energía  $\vartheta$  en los procesos energéticos en general. En lo que respecta al SFV dimensionado en este trabajo tiene una pérdida  $\vartheta=13.5\%$  cada panel, el arreglo fotovoltaico al exceder la temperatura de funcionamiento marcada por la STC [Ecuación (33) donde  $T_c$  es la temperatura de la celda] generando una disminución de su rendimiento alrededor de  $\vartheta=9.0\%$ , el cableado utilizado pierde energía por el movimiento de la energía cinética en su interior alrededor de  $\vartheta=3.7\%$ , a la entrada del inversor se tendrá un proceso de acoplamiento de CD a AC que disminuirá la cantidad de energía de salida intercambiándola por calor  $\vartheta=\pm 8.0\%$ , al salir del inversor la energía tiene que ser conducida nuevamente cableado, el que repite la pérdida  $\vartheta=3.7\%$ ; con estas cifras es posible determinar de forma teórica la eficiencia del SFV ( $\eta_f$ ) desarrollado en esta investigación  $\eta_f=0.785\%$  de la energía calculada (Tabla 9.).

$$T_c = T_\infty + 0.03G \quad (33)$$

Tabla 9. Eficiencias de conversión y transmisión de energía desde el SFV a la red.

Datos	Factor de proporción
-Eficiencia $\eta$ del panel KD140SX-UFBS	0.135
-Eficiencia $\eta$ del arreglo fotovoltaico	0.910
-Eficiencia $\eta$ del sistema de protecciones y cableado	0.963
-Eficiencia $\eta$ del inversor	$\pm 0.920$
-Eficiencia $\eta$ del sistema de protecciones y cableado a la red eléctrica.	0.963
-Eficiencia $\eta_f$ final entregada a la red	$\pm 0.785$

Una vez calculada la  $\eta_f$  es posible determinar la energía neta entregada  $E_{out}$  del SFV a la red eléctrica, utilizando los datos previamente obtenidos de la Tabla 7. Para cada mes del año en promedio diario, como se muestra en la Tabla 10. [48].

Tabla 10. Energía neta entregada  $E_{out}$  del SFV a la red eléctrica utilizando 8 paneles KD140SX-UFBS con  $\eta = 13.5\%$  y  $\eta_f = \pm 0.785$

Datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$E_{sp}$ (kWh)	5.38	5.94	6.83	6.61	6.27	5.71	5.94	6.05	5.49	5.82	5.60	5.26
$E_{out}$ (kWh)	4.22	4.66	5.36	5.19	4.92	4.48	4.66	4.75	4.31	4.57	4.40	4.13

Cabe señalar que tanto  $E_{out}$  como  $E_{sp}$  son resultados bajo condiciones idóneas de operación, dado que se consideran condiciones constantes.

### 3.4 Mantenimiento

Su mantenimiento es casi nulo, aún cuando los fabricantes recomiendan hacer tres revisiones periódicas al año, para detectar y corregir problemas en el SFV antes de que se genere una falla total de operación; en términos generales es necesario remover el polvo

acumulado sobre los paneles, verificar la ventilación entre los componentes, valorar el estado de la estructura de soporte, revisar las conexiones y de ser necesario hacer pruebas con un multímetro [42].

La mala o nula ventilación bajo los SFV podría causar que se sobrecalienten y por lo tanto que la  $\eta$  se vea disminuida [49], para aminorar este efecto es necesario proporcionar espacio a la convección libre del aire detrás de los paneles y no solo en la parte superior, a pesar que no existe referencia del fabricante sobre la brecha de ventilación óptima. Existe investigación al respecto y por lo tanto para fines de esta investigación los paneles no estarán colocados a menos de 0.16m de la techumbre [50].

## 4. Análisis termodinámico y de transferencia de calor entre modelos comparativos

### 4.1. Calor y temperatura

El calor es energía en tránsito, originada por diferencias de  $T$  entre dos cuerpos o más, donde la energía es transferida de una región a otra hasta alcanzar su equilibrio termodinámico, tal como lo establece la *Ley Cero de la termodinámica* [51].

Se sabe que la temperatura de un cuerpo varía de su posición con el tiempo, por muy grande que sea el intervalo, en coordenadas rectangulares Figura 23. La variación de temperatura se expresan como:  $T(x, y, z, t)$ , en donde  $(x, y, z)$  son las variaciones de cada una de las direcciones y  $t$  indica la variación con el tiempo; sin embargo para simplificar el análisis se utilizan sistemas unidimensionales y no se considerara la variación con respecto al *tiempo*, logrando resultados admisibles [55]. “*Es casi imposible realizar el análisis de transferencia de calor de una casa con exactitud*” [23], por ello el estado permanente utiliza las peores condiciones o el promedio de ellas, ya que se necesita conocer la velocidad promedio o máxima de las *pérdidas-ganancias* de calor.

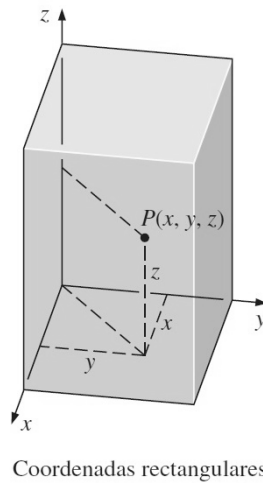


Figura 23. Coordenadas rectangulares en conducción de calor [23].

Publicaciones demuestran [52] que para un clima como el de Temixco Morelos ( $\phi = 18.85^\circ$ ), no es recomendable utilizar modelos en *estado permanente o estacionario*, ya que el gradiente de temperatura  $\partial T/\partial t$  puede tener un intervalo significativo en  $t = 24\text{hrs}$ , por ejemplo: un día promedio anual en  $\phi = 18.85^\circ$  registra a las 6:00hrs una  $T_\infty = 11.0^\circ\text{C}$  mientras que a las 15:00hrs  $T_\infty = 33.0^\circ\text{C}$  [53]; lo que significa que el gradiente de temperatura en dicho día, varió  $22.0^\circ\text{C}$ . En capítulos anteriores se ha descrito que la  $T_\infty$  en la Ciudad de Acapulco varía en promedio al año solo  $9.89^\circ\text{C}$  lo que significa un 55.05% menor al intervalo promedio anual de  $T_\infty$  de Temixco Morelos.

El análisis se realizara en forma unidimensional, justificando que la transferencia de calor es normal a la dirección del gradiente de temperatura, habiendo determinado en el capítulo 2 las dimensiones del solido opaco, que asegura cubrir de la radiación solar directa al 100% la cubierta horizontal de una edificación previamente asignada, cuando  $\omega = 0$  durante los 365 días del año con un SFV. Concluyendo el registro de curvas isotérmicas a en toda el área de la cubierta o techumbre, despreciando la ganancia de calor en otras direcciones.



## 4.2. Mecanismos de transferencia de calor

### 4.2.1. Conducción

La *conducción* es uno entre tres mecanismos de transferencia de calor, está presente en la transportación de energía cinética entre partículas a nivel atómico [29] en la cubierta de la edificación a estudiar la cual es sólida, construida a base de concreto armado de 10cm de espesor; la dirección de ocurrencia, es en sentido decreciente de la temperatura a consecuencia de lo establecido en la *Segunda Ley de la Termodinámica* [29].

La *ecuación general de conducción de calor* se muestra en la ecuación (34) considerando las direcciones  $x, y$  y  $z$ , cuando el límite  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  y  $\Delta t \rightarrow 0$ , se muestra como:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (34)$$

Donde  $\dot{q}$  es la generación interna de calor ( $\text{W}/\text{m}^3$ ),  $\rho$  es la densidad,  $c_p$  es el calor específico y  $k$  es la conductividad térmica del material; la cual está mostrada como una variable; para el presente trabajo se supone a  $k$  constante en el intervalo  $T^\infty$  de Acapulco, por lo tanto se obtiene el operador Laplaciano [54].

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (35)$$

O bien desarrollando:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (36)$$

La *difusividad térmica* del material se expresa como:  $\alpha = k/\rho c$ , la ecuación anterior se conoce como ecuación de *Fourier-Biot* la cual puede ser reducida al estado estable por la *ecuación de Poisson*:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = 0 \quad (37)$$

La ecuación (37) sigue siendo multidimensional y además con generación interna de calor por lo tanto al contemplar solo el gradiente de temperatura en  $\Delta x$  y sin ningún producto de calor en el interior de material se logra reducir a:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \quad (38)$$

La ecuación diferencial (38), no muestra la información que prevalece sobre una superficie (*temperatura o flujo específico*), a pesar de ello, es sabido que el perfil del flujo de calor y la distribución de  $T$  dependen de las propiedades y condiciones sobre las superficies, por tal motivo la teoría completa del problema a resolver se abrevia determinando la situación de sus límites, utilizando la expresión matemática conocida como condiciones de frontera y resolviendo la su ecuación diferencial, por lo tanto la solución general es:

$$T(x) = C_1 x + C_2 \quad (39)$$

Al eliminar las derivadas mediante un proceso de integración típico, la solución general incluye constantes arbitrarias  $C_1$ ,  $C_2$ , las cuales pueden contener  $n$  cantidad de soluciones, por tanto es necesario agregar valores específicos para que la ecuación satisfaga dichas incógnitas para tener una solución particular, en éste caso, sobre las temperaturas que se registran en Acapulco Guerrero en ciertas condiciones claramente identificadas. La condición inicial  $t = 0$  en estado permanente tiene un orden:  $T(x, y, z, 0) = f(x, y, z)$ , nótese que la condición inicial no tiene derivadas con respecto a  $t$ , así se expresa una condición de frontera que se encuentra en la práctica con frecuencia, dependiente de la temperatura específica inicial, el flujo específico de calor, convección sobre la superficie y de la radiación, estos dos últimos también son mecanismos de transferencia de calor que están involucrados en el presente análisis.

Para las condiciones de frontera, que delimitan una temperatura específica de forma unidimensional, se puede expresar como  $T(0, t) = T_1$  cuando  $x = 0$ , asignándole un valor de  $L$  al espesor del material a estudiar, por lo tanto cuando  $x = L$  la condición será  $T(L, t) = T_2$ . Las temperaturas específicas están representadas por  $T_1$  y  $T_2$ , contemplándose constantes en estado permanente [55].

En la dirección  $x$  la razón de la transferencia de calor a través de un medio, es directamente proporcional a la diferencia de  $T$  entre  $T_1$  y  $T_2$ , y es inversamente proporcional a la distancia que hay entre dos puntos  $x = 0$  y  $x = L$ , de forma diferencial se expresa como:

$$q = -kA_s \frac{dT}{dx} \quad (W) \quad (40)$$

Dicha ecuación (40) unidimensional es conocida como *Ley de Fourier de la conducción de calor*, donde  $A_s$  es el área superficial. La velocidad de la transferencia de calor por unidad de área puede ser expresada como  $q''$  ( $W/m^2$ ). Las condiciones de frontera utilizadas cuando el flujo de calor es enteramente por conducción puede expresarse por la ecuación:

$$q''_0 = -k \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} \quad (41)$$

$$-k \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = q''_L \quad (42)$$

Cuando la condición de frontera es por el mecanismo de transferencia de calor conocido como convección, el cálculo se basa en un balance de energía superficial donde la misma cantidad de energía en conducción será la misma que se presente en la superficie expuesta a la convección (*en la misma dirección*), lo cual en la práctica es una condición de frontera

muy frecuente, ya que la mayor parte de las superficies en conducción están expuestas a la convección, por lo tanto es posible ver la ecuación como:

$$h_1[T_{\infty_1} - T(0, t)] = -k \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} \quad (43)$$

$$-k \frac{\partial T(L, t)}{\partial x} = h_2[T(L, t) - T_{\infty_2}] \quad (44)$$

Donde  $h_1$  y  $h_2$  son los coeficientes de transferencia de calor por convección y las temperaturas ambientes de cada frontera están representadas por  $T_{\infty_1}$  y  $T_{\infty_2}$ . En algunos casos la transferencia de calor para un balance de energía conductivo es igual a uno enteramente radiativo, en donde la ecuación se representa:

$$\varepsilon_1 \sigma [T_{a1}^4 - T_a(0, t)^4] = -k \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} \quad (45)$$

$$-k \frac{\partial T(L, t)}{\partial x} = \varepsilon_2 \sigma [T_a(L, t)^4 - T_{a2}^4] \quad (46)$$

Donde  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$  son las emisividades de cada material expuesto en las superficies,  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  y es conocida como constante de *Stefan-Boltzmann*,  $T_{a1}^4$  y  $T_{a2}^4$  son las temperaturas absolutas circundantes en las superficies solidas. Incluso las dos últimas ecuaciones pueden ser consideradas en conjunto, por lo tanto se les denomina como una combinación entre convección y radiación que juntas se igualan a la energía de la superficie conductiva. Las ecuaciones de convección y radiación se describen en la continuación de este capítulo.

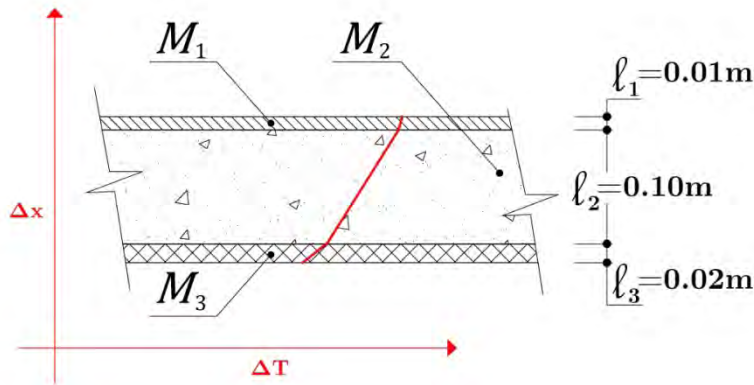


Figura 24. Comportamiento del perfil de Temperatura en cuerpos no homogéneos, (losa de concreto armado utilizado en la construcción de edificaciones mexicanas).

Algunos cuerpos no son homogéneos (Figura 24.), por lo que al ser de diferentes materiales tienen diferentes propiedades y deben ser analizados de forma independiente, por ejemplo el caso de la cubierta de una edificación convencional de *CORPORACION GEO, S.A.B. DE C.V*[30], techos a base de concreto armado  $M_2$  en una capa de espesor  $\ell_2$ , adosando en el interior de la edificación otra capa de aplanado cemento-arena  $M_3$  de espesor  $\ell_3$  además de recubrir la envolvente con impermeabilizante  $M_1$  de espesor  $\ell_1$ . La unión entre capas es lo que se identifica como frontera en la interfaz del cuerpo integrado, la probabilidad de que las uniones no sean continuas y presenten *huecos* a nivel milímetro o microscópico es una definición que se desprecia en la mayoría de los casos sin perder la precisión del cálculo, dicha interfaz al ser una superficie, no puede almacenar energía, por lo tanto la  $T$  de la unión debe ser la misma [56].

$$T_A(x_1, t) = T_B(x_1, t) \quad (47)$$

Donde  $T_A$  es la temperatura de la unión del material inicial al flujo de calor y  $T_B$  es la temperatura de la interfaz del material final al proceso de conducción.

El cálculo de transferencia de calor a través de las células fotovoltaicas es complejo, puesto que es un sólido que no permite un balance de energía neto entre la superficie expuesta a la

radiación solar y la superficie inferior, debido a la transformación de energía radiante en energía eléctrica dependiente de la  $\eta$  de la célula, además de la  $\dot{q}$  que se presenta por el movimiento de los electrones par-hueco del proceso fotoeléctrico que pierde energía en movimiento cinético y  $Q$ , la celda fotovoltaica no es un cuerpo homogéneo, además que resta al balance energético la generación eléctrica dependiente de la  $G$  expuesta en la superficie. Matemáticamente expresado por:

$$E_{s1} = E_{s2} + E_G \quad ( 48 )$$

Donde  $E_{s1}$  es la energía total que incide en la superficie expuesta a la radiación solar,  $E_{s2}$  es la energía total residual de la dirección del flujo conductivo de calor,  $E_G$  es la energía eléctrica del sistema.

Tabla 11. Valores numéricos asignados a las variables sustituidas en la evaluación conductiva [57-59].

Valores asignados						
Material	L	$k$ (W/mK)	$cp$ (kJ/kg K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\epsilon$	$\alpha$
Glass (vidrio)	0.0030	1.8				
Arc	$1.00 \times 10^{-7}$	32.0				
PV cell	$2.25 \times 10^{-4}$	148.0	0.677	2330	0.90	0.77
EVA	$5.00 \times 10^{-4}$	0.35				
Read Contact	$1.00 \times 10^{-5}$	237.0				
Tedlar	0.0001	0.2			0.85	
Impermeabilizante asfaltico	0.0010	0.9	1.000	2100	0.90	0.80
concreto	0.1000	4.9	0.840	1920	0.88	0.60
Aplanado cemento-arena	0.0200	2.5	0.840	1860		

Los materiales, longitudes y propiedades físicas utilizadas en la evaluación analítica se muestran en la Tabla 11. Considerando los principales cuerpos que participan en la transferencia de calor.

#### 4.2.2. Convección

En la práctica, la convección natural y forzada conviven simultáneamente, para el análisis convectivo entre la cara opuesta del panel fotovoltaico la superficie libre del techo de la edificación se utilizara el criterio: “*El análisis de un caso específico debe determinarse por el mecanismo predominante. Si la convección libre y la convección forzada tienen aproximadamente la misma importancia ambos mecanismos deben tenerse en cuenta*” [60]. Se expresa que el viento es considerado como convección forzada, aunque cabe la incógnita de que velocidad es límite del fenómeno viento [61], para tal efecto se empleara la *Ley de enfriamiento de Newton*:

$$q = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (W) \quad (49)$$

Donde  $h$  ( $W/m^2K$ ) es el coeficiente de transferencia de calor por convección, para la evaluación se utilizaran los valores expresados en la Tabla 12.

Tabla 12. Valores numéricos asignados a las variables sustituidas en la evaluación convectiva. [62, 61].

Valores	$h$ ( $W/m^2K$ )
Coeficiente de convección libre típica en gases	25
Coeficiente en techos	13
Coeficiente en interior	6.6

Los coeficientes convectivos han sido evaluados bajo las mismas condiciones en ambas evaluaciones, dado que los resultados pudieran verse afectados al modificar en cualquier caso su valor.

### 4.2.3. Radiación

La radiación es energía que se propaga en forma de ondas electromagnéticas, una de sus características es que no necesita un medio para transferirse, todos los cuerpos con temperatura absoluta  $T_a > 0$  K emiten radiación térmica de forma continua. Las ondas electromagnéticas están relacionadas por su frecuencia  $\nu$  y su longitud de onda  $\lambda$ , y son directamente proporcionales  $\lambda = c/\nu$ , donde  $c$  es la velocidad de propagación en un medio.

Un cuerpo negro es la idealización de un modelo que logra absorber y emitir la radiación en todas las longitudes, en teoría ningún otro cuerpo puede hacerlo. El poder de emisión espectral de un cuerpo negro,  $E_{b\lambda}$ , se conoce como *ley de Planck* por su teoría cuántica, se expresa:

$$E_{b\lambda}(\lambda, T_a) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T_a) - 1]} \quad \left( \text{W/m}^2 \cdot \mu\text{m} \right) \quad ( 50 )$$

Donde:

$$C_1 = 2\pi h c_0^2 = 3.74177 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4/\text{m}^2 \text{ y}$$

$$C_2 = h c_0/kb = 1.43878 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Y la variable  $T_a$  es la temperatura termodinámica de la superficie,  $kb = 1.38065 \times 10^{-23}$  J/K y se conoce como constante de Boltzmann, al evaluar dicha ecuación con  $T_a$  del Sol alcanza su pico en la región del espectro electromagnético que se conoce como rango de luz visible, desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, por lo tanto dicha luz se encuentra en sintonía con el ojo humano.

La integración de  $E_{b\lambda}$  a lo largo de todo el espectro de  $\lambda$  da como resultado el total del poder de emisión de un cuerpo negro,  $E_b$ .

$$E_b(T_a) = \int_0^\infty E_{b\lambda}(\lambda, T_a) d\lambda = \sigma T_a^4 \quad (\text{W/m}^2) \quad ( 51 )$$



La anterior ecuación es conocida como la *ley de Stefan-Boltzmann*, y se expresa para todo el espectro, de ser necesaria la integración en cierto intervalo, solo es necesario definir los valores iniciales y finales.

$$E_{b,0-\lambda}(T_a) = \int_0^{\lambda} E_{b\lambda}(\lambda, T_a) d\lambda \quad (\text{W/m}^2) \quad (52)$$

Ésta última ecuación no tiene una solución trivial, por lo que a su solución numérica se le define como función de radiación de un cuerpo negro,  $f_{\lambda}$ (adimensional).

$$f_{\lambda}(T_a) = \frac{\int_0^{\lambda} E_{b\lambda}(\lambda, T_a) d\lambda}{\sigma T_a^4} \quad (53)$$

La radiación que nos compete en la investigación es la térmica sobre la superficie de cuerpos opacos o semiopacos que no permiten el libre paso de la radiación térmica; el flujo radiativo que incide sobre una superficie se le llama irradiancia  $G$  ( $\text{w/m}^2$ ), a la cantidad de energía que es absorbida por el material opaco o semiopaco se le conoce como absorptividad  $\alpha$ , una parte de la irradiancia es reflejada en diferentes direcciones opuestas al flujo inicial, debido a este fenómeno se le identifica como  $\psi$ , para cuerpos semiopacos existe otra variable relativa identificada como transmisibilidad,  $\tau$ . Dichas variables están determinadas por la teoría del cuerpo negro, donde ningún cuerpo puede emitir más que él, de ahí que en a los materiales de práctica se les asocia otra variable relativa llamada emisividad,  $\varepsilon$ ,  $0 < \varepsilon < 1$ . Partiendo de la 1a ley de la termodinámica es posible hacer un balance de energía en relación al flujo  $G$ :

$$G_{\alpha} + G_{\psi} + G_{\tau} = G \quad (54)$$

$$\alpha + \psi + \tau = 1 \quad (55)$$

En cuerpos apacos (ej. concreto)  $\tau = 0$ , por lo tanto  $\alpha + \psi = 1$ . En cuerpos que se encuentran en equilibrio térmico la energía emitida por unidad de área superficial,  $A_s$  debe ser igual a la absorbida, por lo tanto:

$$A_s \varepsilon \sigma T_a^4 = A_s \alpha \sigma T_a^4 \quad (56)$$

A la ecuación (56) se le conoce como *ley de Kirchhoff* por la conclusión  $\varepsilon(T_a) = \alpha(T_a)$ , que en su forma espectral es dependiente de su longitud de onda:  $\varepsilon_\lambda(T_a) = \alpha_\lambda(T_a)$ . Para el balance energético se utilizara la ecuación de *Stefan-Boltzmann*.

$$q = \varepsilon \sigma A_s (T_{as}^4 - T_{a2}^4) \quad (W) \quad (57)$$

Donde  $T_{as}$  es la temperatura absoluta de la superficie que emite radiación,  $T_{a2}$  tomara valores de la temperatura del cielo en esta investigación y por lo tanto  $T_{a2} = T_{sky}$ .

$$T_{sky} = 0.0552 T_\infty^{1.5} \quad (58)$$

Utilizando la ecuación (58) se puede conocer la temperatura del cielo  $T_{sky}$  utilizada en el intercambio radiativo de la superficie con la atmosfera [63].

### 4.3. Análisis de los mecanismos en conjunto

Para conocer la cantidad de energía y las temperaturas que tendrán las edificaciones expuestas a la radiación solar se realizara el siguiente balance, partiendo de las superficies expuestas a la irradiancia.

$$\alpha A_s G = h A_s (T_s - T_\infty) + \varepsilon \sigma A_s (T_{as}^4 - T_{sky}^4) \quad (59)$$

Donde la solución de la ecuación cuadrática dará el resultado de la temperatura de la superficie  $T_s$  expuesta a la radiación solar, cuando la radiación emitida y la pérdida de calor por convección son iguales a la energía absorbida en la superficie.

El investigador de la Universidad de Nevada en Reno *Yunus A. Çengel* describe las condicionantes a que se enfrenta la ingeniería para resolver modelos matemáticos, la disyuntiva está entre los modelos complejos y los sencillos.

*Preparing very accurate but complex models is usually not so difficult. But such models are not much use to an analyst if they are very difficult and time-consuming to solve. At the minimum, the model should reflect the essential features of the physical problem it represents. There are many significant real world problems that can be analyzed with a simple model. (La preparación de modelos muy exactos, pero complejos, no suele ser tan difícil. Pero no sirven de mucho a un analista si son muy difíciles y requieren de mucho tiempo para resolverse. En lo mínimo, el modelo debe reflejar las características esenciales del problema físico que representa. Existen muchos problemas significativos del mundo real que se pueden analizar con un modelo sencillo) [23].*

El modelo en conjunto del análisis termodinámico se resume en la aplicación de las ecuaciones de transferencia de calor, en cada uno de los mecanismos involucrados en el sistema descrito con anterioridad y aplicando la 1a ley de la termodinámica.

La energía interna,  $U$ , es la suma de las energías microscópicas de un sistema, y se denota  $u$ , a la energía interna en términos de masa  $m$ ; cuando el análisis de sistemas incluye el comportamiento de algún fluido, es frecuente utilizar la combinación de las propiedades  $u$  y  $Pv$  a la cual se le identifica como entalpía, dicho de otra forma  $h = u + Pv$ , donde  $Pv$  es el trabajo de flujo necesario para iniciar el movimiento del fluido y mantenerlo. Recordando que un gas ideal obedece la relación:

$$Pv = RT_a \quad \text{o tambien,} \quad P = \rho RT_a \quad (60)$$

Donde  $P$ , representa la presión absoluta,  $v$  es el volumen específico,  $T_a$  es la temperatura absoluta,  $\rho$  es la densidad y  $R$  es la constante del gas. En bases experimentales es posible determinar que el aire a  $T_\infty$  es viable considerarlo como un gas ideal con un error

despreciable. Por otro lado el calor específico  $cp$  es relativo a los diagramas  $PvT$ , por tanto el calor específico que refiere a la energía necesaria para elevar la temperatura por unidad de masa de una sustancia mientras el volumen se mantiene constante, es el  $cp$  a volumen constante y se denota  $c_v$ , mientras que a la energía necesaria para elevar la temperatura por unidad de masa de una sustancia mientras la presión se mantiene constante es el  $cp$  a presión constante y se denota  $c_p$ . Para denotar la cantidad de energía entre un modelo y otro se expresa que  $c_p > c_v$ , para los gases ideales se expresa:

$$c_p = c_v + R \quad ( 61 )$$

Dado que un gas ideal solo depende de  $T$ , los cambios diferenciales en la energía interna  $u$  y en la entalpia  $h$  de un gas ideal se puede expresar en términos de masa y de los  $cp$  como:

$$du = c_v dT \quad ( 62 )$$

$$dh = c_p dT \quad ( 63 )$$

La  $u$  y  $h$  de un gas ideal durante cambios finitos de un determinado proceso se expresan de forma aproximada usando valore de  $cp$  promedio.

$$\Delta U = mc_{v-prom} \Delta T \quad (J) \quad ( 64 )$$

$$\Delta H = mc_{p-prom} \Delta T \quad (J) \quad ( 65 )$$

Solo teniendo en cuenta la cantidad de calor  $Q$  (J) trasferido en el proceso de análisis descrito podrá identificarse la cantidad de energía transferida. Al indicar el intervalo de tiempo se obtiene:

$$Q = \int_0^{\Delta t} q dt \quad ( 66 )$$

Sabiendo que  $q$  (J/s) es razón de transferencia de calor (por unidad de tiempo) cuando  $q = cte$  la ecuación anterior se reduce a  $Q = q\Delta t$ , la razón de transferencia de calor por unidad de área perpendicular a la dirección del flujo de calor se expresa como:

$$q'' = \frac{q}{A_p} \quad (\text{W/m}^2) \quad (67)$$

La primera ley de la termodinámica es conocida como el principio de conservación de la energía y se resume como: un proceso donde interviene energía y no se puede crear más, ni destruir la existente, sólo puede cambiar de forma. Dicho como balance energético es:

$$\left( \begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que entra en el} \\ \text{sistema} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Energía total} \\ \text{que sale del} \\ \text{sistema} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Cambio en la} \\ \text{energía total} \\ \text{del sistema} \end{array} \right) \quad (68)$$

La energía se puede transferir desde un sistema o hacia otro por medio de calor, flujo de masa o trabajo. Dentro un sistema simple que sea compresible existe energía interna, cinética y potencial, expresado en el siguiente balance de energía:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_s \quad (69)$$

Donde  $E_{in}$  y  $E_{out}$  son la transferencia neta de energía por calor, trabajo y/o masa que entra o sale del sistema respectivamente, mientras que  $\Delta E_s$  es el cambio de la energía interna, cinética o potencial y su unidad en el *sistema internacional de medida* es el Joule (J). En forma de razones se expresa como:

$$e_{in} - e_{out} = \frac{de_s}{dt} \quad (70)$$

Donde  $e_{in}$  y  $e_{out}$  son la velocidad neta de transferencia de calor, trabajo o masa que entra o sale del sistema en J/s respectivamente,  $de_s$  el cambio de la energía interna, cinética o potencial. Sí el proceso es estacionario  $\Delta E_s = 0$  entonces la ecuación (69) se simplifica  $E_{in} - E_{out} = 0$ , por tanto  $E_{in} = E_{out}$ . En estados estacionarios compresibles simples, en

ausencia de efectos significativos, el cambio de la energía total de un sistema durante un proceso es el cambio de su energía interna  $\Delta E_s = \Delta U_s$ .

Para un universo cerrado de masa fija, la energía  $E_s$  es la mayor parte de los sistemas en la práctica, es la energía interna  $U_s$ . Para el caso estacionario que no comprende cambios en la velocidad en el proceso el balance de energía es:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta U_s = mc_v \Delta T \quad (71)$$

El cambio de la energía interna está expresada en términos de la masa fija  $m$ ,  $c_v$ , y el cambio en la temperatura  $(T_1 - T_2)$ , cuando solo existe transferencia de calor y no trabajo en el sistema la relación del balance energético es:

$$Q = mc_v \Delta T \quad (J) \quad (72)$$

Donde  $Q$  es la cantidad neta de transferencia de calor que entra o sale del sistema analizado. Para la evaluación analítica es necesario determinar la cantidad de masa que sufrirá el cambio, por tanto:

$$m = \frac{PV}{RT} \quad (73)$$

Donde  $P$  depende de la altitud del sitio de análisis con  $\phi=16.80N$  tiene una altura SNM=0 por lo tanto  $P = 1atm \rightarrow 101.33kPa$ , el volumen  $V$  es función de las medidas de construcción de una habitación en Acapulco que establece 2.40m mínimo por lado, se determina una altura interior mínima de 2.30m por lo tanto tiene un  $V=13.25m^3$ , el  $c_p$  es considerado a presión cte., puesto que en un fenómeno real, el aire escapa por grietas en las edificaciones y con mayor medida por los sellos de las puertas y ventanas, por lo tanto se utiliza un  $c_p$  en función de la temperatura promedio  $T_{prom}$  a climatizar  $c_p = 1.007 \text{ kJ/kg K}$ ; el intervalo máximo y mínimo de  $\Delta T$  con el que se avaluó la Figura 25. Van desde 0 a 15 grados mientras que la temperatura de confort máxima admisible es  $T_{C-max} = 29.40 \text{ }^\circ\text{C}$ , por lo tanto la constante  $R = 0.2870 \text{ kJ/kg K}$  que es equivalente a  $R=0.2870kPa \text{ m}^3/\text{kg K}$ .

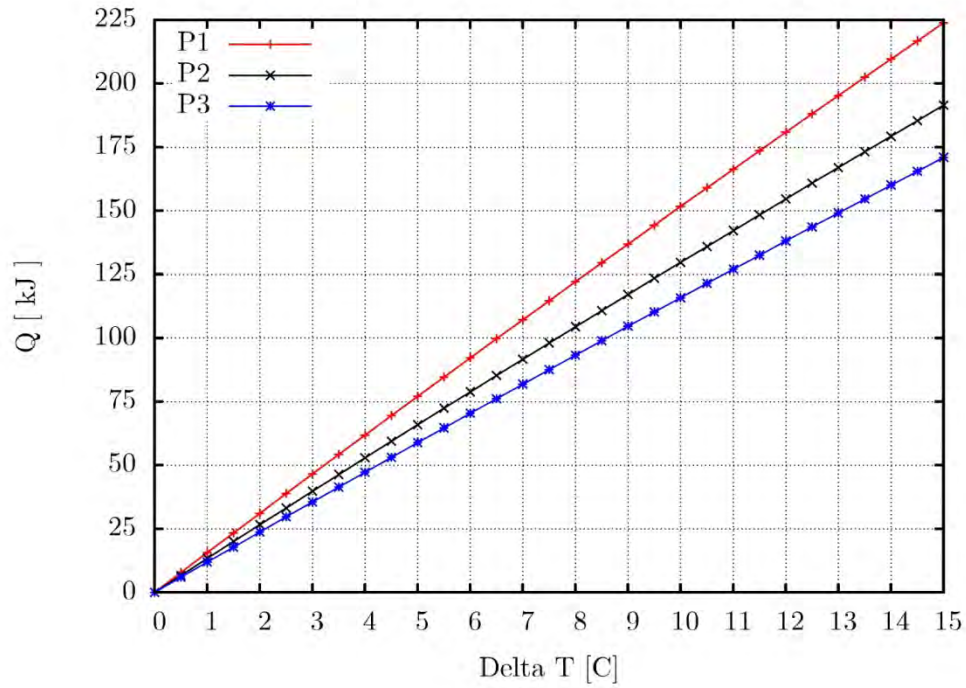


Figura 25. Calor  $Q$  necesario para climatizar una edificación,  $P1=101.33\text{kPa}$ ,  $P2=86.66\text{kPa}$ ,  $P3=77.40\text{kPa}$ .

La Figura 25. muestra que para  $P1=101.33\text{kPa}$ =Acapulco, es mayor la cantidad de energía que se requiere para climatizar de forma mecánica un cierto intervalo de temperaturas, en comparación con Temixco Morelos con  $P2=86.66\text{kPa}$  y México Distrito Federal= $77.40\text{kPa}$ , por lo tanto se resume que entre más altitud tenga el sitio de análisis menor es la cantidad de energía  $Q$  necesaria para climatizar un ambiente;  $P1 > P2 > P3$  la energía necesaria para climatizar al límite máximo de confort  $29.4^\circ\text{C}$  es  $Qa > Qb > Qc$ , siendo  $Qa, Qb, Qc$  el calor necesario para cada una de las presión de referencia. Los resultados de la evaluación energética hecha en este trabajo se muestran en la Figura 26.

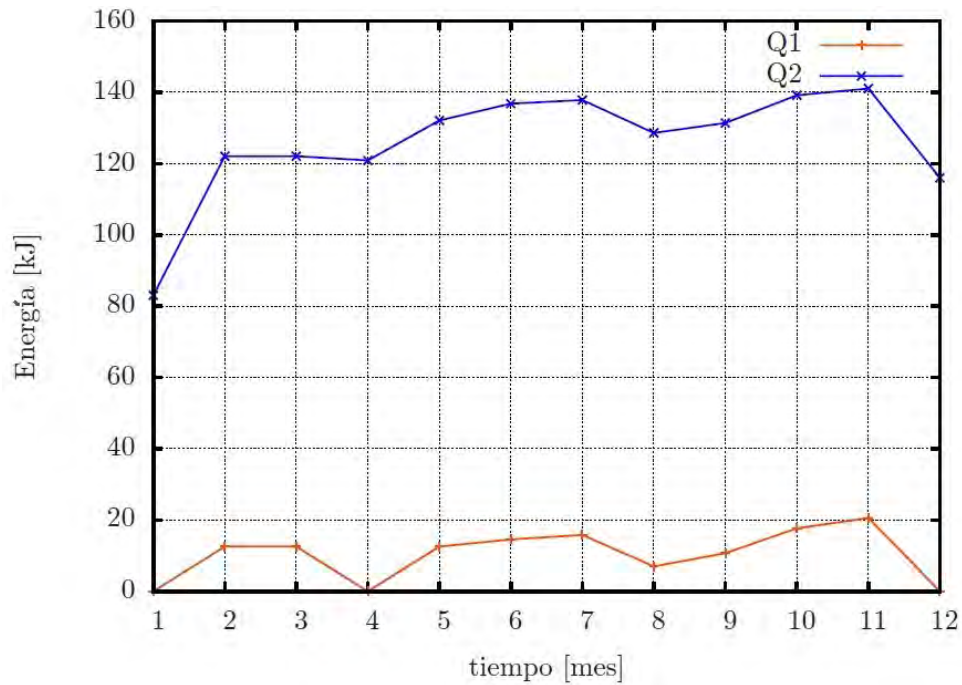


Figura 26. Cantidad de energía  $Q$  necesaria para climatizar la edificación de estudio utilizando el SFV como estrategia bioclimática pasiva,  $Q1$ =con SFV, mientras que  $Q2$ =sin SFV.

Como era de esperarse  $Q1 < Q2$ , nótese que el signo resultante de la ecuación (72) indica solo la dirección del flujo calor, dicho signo evidencia el tipo de diseño bioclimático a estudiar, uno de enfriamiento sería con signo negativo y por el contrario en calentamiento, una edificación eficiente energéticamente hablando es aquella que se diseña de tal forma que en invierno minimice la pérdida de calor y la maximice en verano [23]. A partir de estos resultados es posible determinar aspectos económicos en vida útil del inmueble [23].



## 5. Modelos de evaluación económica de proyectos

### 5.1. Evaluación de los proyectos

Entre los objetivos de la evaluación de proyectos se encuentran por ejemplo: la identificación cuantitativa de las ventajas y desventajas de ejecutar una acción, saber la relación numérica del *costo-beneficio* del proyecto, dar a conocer la tasa de retorno de inversión del mismo, entre otros; el presente capítulo se ocupa de la evaluación de los proyectos “*SFV como generador de electricidad y SFV generador de electricidad y utilizado como estrategia bioclimática*” ya que previas evaluaciones no incluyen al SFV como beneficio bioclimático [58].

### 5.2. Dimensionamiento de los modelos

Las herramientas matemáticas y estadísticas que se presentan a continuación, consideran al SFV como factor de reducción en la ganancia de calor por radiación solar a un inmueble, al proyectar sombra en la techumbre de la edificación a lo largo del año, lo cual representa un aditivo económico al tema de climatización mecánica asociada al confort térmico. Aunado a esto, se idealiza identificar mayores elementos y ventajas para la utilización de las ER, haciendo hincapié en lo dispuesto en la *Ley General para el Cambio Climático de México*, que se ha fijado la meta para el año 2024 de generar producto de las ER el 35% de su demanda eléctrica nacional [64].

#### 5.2.1. Costo inicial

Se realiza la evaluación de seis proyectos; el Proyecto A20 es la condición inicial y de referencia, representa a una edificación que no cuenta con SFV para la producción de electricidad y por lo tanto no existe ninguna inversión, el consumo de energía eléctrica continua siendo 100% de la red pública, el modelo se plantea para  $t = 20$  años que es la vida útil de los módulos fotovoltaicos a evaluar; El Proyecto B20 (*la terminación numérica*

del nombre del proyecto representa el intervalo de  $t$ ) es un análisis incluyendo como beneficio sólo la generación eléctrica del SFV descrito en el Capítulo 3, al que se le atribuye una  $\eta=13.5\%$  bajo condiciones teóricas de funcionamiento; la evaluación hecha al proyecto C20 describe un modelo que anexa además de la generación eléctrica, la reducción en consumo eléctrico anual a causa de la obstrucción de la  $G$  sobre la superficie horizontal de la edificación, logrando disminuir la temperatura al interior del inmueble, siendo éste el proyecto con el análisis bioclimático.

Tabla 13. Costo de inversión inicial y de conservación del SFV descrito en el Capítulo 3. [B4-B7].

Costo de inversión inicial y de conservación del SFV			
Descripción	Cantidad	P.U.	Importe
1.-Modulo Kyocera KD140GX-LPU de 140 W	8	\$355.32	\$2,842.56
2.-Cable conector Enphase con dos entradas para microinversor	1	\$49.50	\$49.50
3.-Conector terminado Enphase ET-TERM10	1	\$19.60	\$19.60
4.-Microinversor marca Enphase modelo M215 de 215W	2	\$210.00	\$420.00
5.-Bastidor de Aluminio 6.3mm para módulos de 140 W. fijación a piso o losa de concreto	8	\$120.00	\$960.00
6.-Caja de seccionamiento, 10 metros de cable de uso rudo para conectar inversor a centro de carga y tierras físicas	1	\$101.12	\$101.12
7.-Medidor bidireccional marca Sentinel a dos fases	1	-	
8.-Instalación de sistema FV de 140W, en techo o losa de concreto, el cable se fija en pared sin ranuraciones, no se incluye obra civil y conexiones a centro de carga existentes.	1	\$364.30	\$364.30
		USD	\$4,757.08
	Tipo de cambio	\$13.45 MN	\$63,982.73
		16% IVA	\$10,237.24
		Total en MN	\$74,219.96
No se incluye el trámite ante CFE, flete de envío de paneles solares, ni obra civil alguna.			
Mantenimiento preventivo anual	3	\$200.00 MN	\$600.00MN

Las evaluaciones son calculadas con base en los costos de inversión que muestra la Tabla 13. Haciendo ver que se considera el Impuesto al Valor Agregado (IVA) IVA=16% [66], por ser significativo en el gasto corriente.

### 5.2.2. Beneficio de generación eléctrica

Con base en la Tabla 10. es posible calcular el beneficio económico que se tendía en la facturación anual promedio por consumo eléctrico en una edificación, que utiliza el SFV descrito en este trabajo; también es posible calcular el rango de consumo energético bimestral sabiendo que el pico máximo de generación del SFV es de 300kWh en t=2 meses, por lo tanto en una edificación (vivienda) se asume una facturación en tarifa mensual Domestica de Alto Consumo (DAC) 2014, en la Región Sur y Peninsular del país por su ubicación geográfica de Acapulco [65, B7].

Tabla 14. Beneficio económico diario promedio para cada mes  $B_{dprom}$ , Beneficio económico promedio mensual  $B_{mprom}$ .

Datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$E_{out}$ (kWh)	4.22	4.66	5.36	5.19	4.92	4.48	4.66	4.75	4.31	4.57	4.40	4.13
$C_{1A}$ (\$/kWh)	3.53	3.55	3.58	3.53	3.56	3.55	3.58	3.53	3.56	3.55	3.58	3.53
$B_{dprom}$ ( \$ )	14.91	16.52	19.18	18.34	17.49	15.89	16.68	16.79	15.32	16.21	15.75	14.60
$B_{mprom}$ ( \$ )	462.06	462.68	594.69	550.24	542.21	476.58	517.02	520.38	459.66	502.36	472.43	452.46

En la Tabla 14. Se observa la ventaja económica que genera el SFV en promedio al mes,  $B_{mprom}$ , dando como resultado un beneficio económico anual,  $B_{Aprprom} = \$6974.82$  MN, con IVA=16% cantidad adjudicada solo a la ventaja de interconectar el SFV a la red. Para conocer el beneficio térmico de colocar el SFV como estrategia bioclimática pasiva se utilizaran los datos que se muestran en la Figura 27. previa evaluación en mostrada en el Capítulo 6.

### 5.2.2. Beneficio bioclimático del panel fotovoltaico

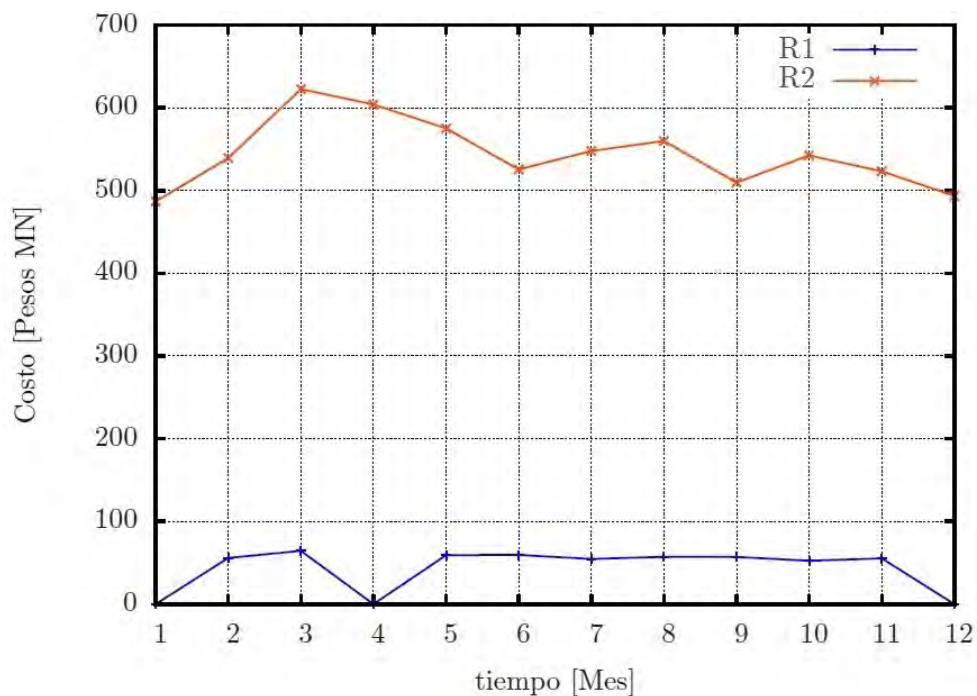


Figura 27. Costos por concepto del uso de A/C en la edificación de estudio. R1=con SFV, R2=sin SFV.

La Figura 27. Exhibe los costos por climatización mecánica al interior de la edificación en promedio al mes, por lo tanto  $R1 < R2$ , el beneficio bioclimático del SFV promedio anual ( $B_{pb}$ ) es  $B_{pb} = \$5860.19$  MN, para el cálculo se ha utilizado la ecuación (74) donde  $P_{a/c}$  es la cantidad de energía necesaria para climatizar al inmueble con un A/C de 1/2 Ton de 1.2kW dado el volumen a climatizar  $V=470$  BTU [B8].

$$B_{pb} = P_{a/c} \left( \frac{I_s}{1000W/m^2} \right) C_{1A} \quad (74)$$

El Beneficio del panel solar bioclimático  $B_{pb}$  está en función de las  $\Delta T$  mostradas en los perfiles de  $T$  evaluados en el Capítulo 4. Por otro lado, el proyecto A20, B20 y C20 representan similitud en los proyectos A40, B40 y C40, la modificación es el intervalo de tiempo en el análisis. Nótese que los proyectos a evaluar dependen de 20 y 40 años, en

función de la vida útil de generación eléctrica de un SFV, para las siguientes evaluaciones se supone una generación eléctrica *constante* a lo largo de su vida útil en un plazo de  $\pm 20$  años [B1], sin embargo para un uso bioclimático puede ser ampliado el rango de  $t$  ya que no se necesita la generación eléctrica, logrando extender el intervalo de utilidad a 40 años como propuesta.

### 5.3. Flujos de efectivo

Los flujos de efectivo para los seis proyectos (A20, B20, C20, A40, B40 y C40) se muestran a continuación:

$I_x$  = Inversión inicial.

$W_o$  = Costo corriente  $I_x(1.00 \times 10^{-3})$

$W_x$  = Costo por sustitución de inversores con m.o. (@10 años)

$W_{om}$  = Costo de operación y mantenimiento anual.

$B_{ep}$  = Beneficio eléctrico anual que genera el SFV ( $B_{Aprom}$ )

$B_{pb}$  = Beneficio del SFV bioclimático ( $B_{pb}$ )

$B_x$  = Beneficio arbitrario

$V_r$  = Valor residual.

$FNE$  = Flujo Neto de Efectivo.

3.75% = Mínima tasa atractiva de retorno (MARR\*) \*siglas en ingles [67].

Tabla 15. Proyecto A20. Flujo de efectivo para un modelo sin SFV en  $t=20$  años.

Año	$I_x$ (\$)	$W_o$ (\$)	$W_x$ (\$)	$W_{om}$ (\$)	$B_{ep}$ (\$)	$B_{pb}$ (\$)	$B_x$ (\$)	Vr	FNE (\$)
Proyecto A20									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00

La Tabla 15. Es el parámetro inicial de comparación en la evaluación, en ella es posible ver que no existe ningún tipo de inversión de capital ni de recuperación o beneficio económico, a diferencia de la Tabla 16. Que es el comparativo de una evaluación estándar donde solo se considera la aportación de capital por concepto de generación eléctrica, (evitando gastos por consumo eléctrico a CFE) sin embargo en la Tabla 17. Se agrega el beneficio bioclimático, muestra el ahorro económico por obstruir la radiación solar directa a la techumbre de una edificación minimizando al interior la ganancia de calor; éstas tres tablas están graduadas en  $t = 20$  años.

Tabla 16. Proyecto B20. Flujo de efectivo para un modelo que considera el beneficio de un SFV como generador de energía en  $t=20$  años.

Año	$I_x$ (\$)	$W_o$ (\$)	$W_x$ (\$)	$W_{om}$ (\$)	$B_{ep}$ (\$)	$B_{pb}$ (\$)	$B_x$ (\$)	$V_r$	FNE (\$)
Proyecto B20									
0	74,219.76	0	0	0	0	0	0	0	-74,219.76
1	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
2	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
3	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
4	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
5	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
6	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
7	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
8	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
9	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
10	0	74.22	6,246.23	600.00	6,974.82	0	0	0	54.37
11	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
12	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
13	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
14	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
15	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
16	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
17	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
18	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
19	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
20	0	74.22	0.00	1,000.00	6,974.82	0	0	0	5,900.60

Tabla 17. Proyecto C20. Flujo de efectivo para un modelo considerando los beneficios de un SFV como generador de energía y como estrategia bioclimática en  $t=20$  años.

Año	$I_x$ (\$)	$W_o$ (\$)	$W_x$ (\$)	$W_{om}$ (\$)	$B_{ep}$ (\$)	$B_{pb}$ (\$)	$B_x$ (\$)	$V_r$	FNE (\$)
Proyecto C20									
0	74,219.76	0	0	0	0	0	0	0	-74,219.76
1	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
2	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
3	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
4	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
5	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
6	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
7	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
8	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
9	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
10	0	74.22	6,246.23	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	5,914.56
11	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
12	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
13	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
14	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
15	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
16	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
17	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
18	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
19	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
20	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79



La Tabla 18. Muestra la condición inicial de un proyecto con cero inversión y por lo tanto cero recuperación, a diferencia de la Tabla 15. El tiempo de evaluación es de 40 años.

Tabla 18. Proyecto A40. Flujo de efectivo para un modelo sin SFV en  $t=20$  años.

Año	$I_x$ (\$)	$W_o$ (\$)	$W_x$ (\$)	$W_{om}$ (\$)	$B_{ep}$ (\$)	$B_{pb}$ (\$)	$B_x$ (\$)	$V_r$	FNE (\$)
Proyecto A40									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
1	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
2	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
3	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
4	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
5	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
6	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
7	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
8	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
9	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
10	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
11	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
12	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
13	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
14	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
15	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
16	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
17	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
18	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
19	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
20	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
21	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
22	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
23	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
24	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
25	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
26	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
27	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
28	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
29	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
30	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
31	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
32	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
33	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
34	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
35	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
36	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
37	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
38	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
39	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00
40	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00

Tabla 19. Proyecto B40. Flujo de efectivo para un modelo que considera el beneficio de un SFV como generador de energía en  $t=40$  años.

Año	$I_x$ (\$)	$W_o$ (\$)	$W_x$ (\$)	$W_{om}$ (\$)	$B_{ep}$ (\$)	$B_{pb}$ (\$)	$B_x$ (\$)	$V_r$	FNE (\$)
Proyecto B40									
0	74,219.76	0	0	0	0	0	0	0	-74,219.76
1	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
2	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
3	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
4	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
5	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
6	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
7	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
8	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
9	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
10	0	74.22	6,246.23	600.00	6,974.82	0	0	0	54.37
11	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
12	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
13	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
14	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
15	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
16	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
17	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
18	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
19	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
20	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	0	0	0	6,300.60
21	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
22	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
23	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
24	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
25	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
26	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
27	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
28	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
29	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
30	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
31	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
32	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
33	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
34	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
35	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
36	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
37	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
38	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
39	0	74.22	0.00	0.00	0	0	0	0	-74.22
40	0	74.22	0.00	1,000.00	0	0	0	0	-1,074.22

Tabla 20. Proyecto C40. Flujo de efectivo para un modelo considerando los beneficios de un SFV como generador de energía y como estrategia bioclimática en  $t=40$  años.

Año	Ix (\$)	Wo (\$)	Wa/c (\$)	Wom (\$)	Bp (\$)	Bpb (\$)	BISR (\$)	Vr	FNE (\$)
Proyecto C40									
0	74,219.76	0	0	0	0	0	0	0	-74,219.76
1	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
2	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
3	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
4	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
5	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
6	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
7	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
8	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
9	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
10	0	74.22	6,246.23	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	5,914.56
11	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
12	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
13	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
14	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
15	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
16	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
17	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
18	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
19	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	12,160.79
20	0	74.22	0.00	600.00	6,974.82	5,860.19	0	0	11,760.79
21	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
22	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
23	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
24	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
25	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
26	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
27	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
28	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
29	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
30	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
31	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
32	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
33	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
34	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
35	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
36	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
37	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
38	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
39	0	74.22	0.00	600.00	0	5,860.19	0	0	5,185.97
40	0	74.22	0.00	1,000.00	0	5,860.19	0	0	4,785.97

La Tabla 19. Deja al descubierto el análisis de un proyecto convencional de sistemas fotovoltaicos, donde al paso de su vida útil los beneficios se reducen a cero al dejar de haber generación eléctrica, por lo tanto al ampliar la evaluación a 40 años resulta indiferente si el gasto  $W_0$  no se realiza, nótese que en el año 10 es necesario cambiar el inversor. Observando la Tabla 20. Es evidente un cambio, ya que la generación eléctrica no depende del beneficio bioclimático ni viceversa; al estar colocado el SFV en la techumbre de una edificación provoca sombra, logrando una disminución en la temperatura del interior del inmueble. Justificando así una mayor rentabilidad en el proyecto bioclimático, ya que puede extender su vida útil sin generar electricidad.

Para la evaluación de los flujos de efectivo de las Tablas 15-20. Se utilizaran las siguientes técnicas de evaluación de proyectos [68, 69]:

*PW= Present worth analysis of projects with equal lives* (Análisis de proyectos de valor presente con vidas iguales)

*CW= Capitalized worth analysis of projects with equal lives* (Capitalización del valor de análisis de proyectos con vidas iguales)

*AW= Annual worth analysis of projects with equal lives* (Análisis del valor anual de proyectos con vidas iguales)

*CWA= Capitalized worth analysis of projects with equal lives* (Capitalización del valor de análisis de proyectos con vidas iguales)

*D/B= Capitalized worth analysis disadvantages/benefits of projects with equal lives*  
(Análisis B / C convencional de proyectos con vidas iguales)

*CPA= Conventional payback period analysis on projects with equal lives* (Análisis convencional del periodo de recuperación de la inversión en proyectos con vidas iguales)

*RIA= Return on original investment analysis of projects with equal lives* (análisis de retorno sobre la inversión original de proyectos con vidas iguales)

#### 5.4. Factores de evaluación

Los factores de evaluación económica utilizan ecuaciones y notaciones diferentes, en seguida se muestran al extremo izquierdo las ecuaciones seguidas de su notación:

$$P = F \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] \dots \dots (P/F, i\%, n) \quad (75)$$

$$P = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots \dots (P/A, i\%, n) \quad (76)$$

$$A = P \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \dots \dots (A/P, i\%, n) \quad (77)$$

Donde  $P$ =*worth present*,  $F$ =*future worth* (valor futuro),  $A$ =*annualized worth*,  $i$ =MARR (10%=0.1) y  $n$  toma los valores del tiempo de análisis, las ecuaciones (75), (76) son utilizadas para el cálculo del *valor presente*, mientras que la ecuación (77) es empleada para la *recuperación de capital*. A continuación se muestran las ecuaciones para encontrar el valor de cada una de las técnicas de evaluación de proyectos descritas para este trabajo:

$$PW = \sum_{j=0}^n FNE_j (P/F, i\%, n) \quad (78)$$

$$AW = PW(A/P, i\%, n) \quad (79)$$

$$AW = CWA \quad (80)$$

$$CW = \frac{CWA}{i} \quad (81)$$

$$(D/B) = \frac{B}{C} \begin{cases} B = bvp - dvp \\ C = Ix - Vr \end{cases} \quad (82)$$

$$bvp = \sum_{j=1}^n (Bp + Bpb + Bx)_j(P/F, i, n) \quad (83)$$

$$dvp = \sum_{j=1}^n (Wo + Wx + Wom)_j(P/F, i, n) \quad (84)$$

$$CPA = Ix / \sum_{j=1}^n FNE_j \quad (85)$$

$$RIA(\%) = \frac{B_{ap}}{Ix} \quad (86)$$

$$B_{ap} = \sum_{j=1}^n FNE_j / n \quad (87)$$

Este capítulo considera solo ocho técnicas de evaluación de proyectos, puesto que la intención es resaltar que el modelo bioclimático es más factible y benéfico en comparación con el modelo sin diseño bioclimático.

## 6. Arqueo y conjunción de resultados.

Para obtener los resultados finales de un SFV utilizado como estrategia bioclimática pasiva en un clima cálido húmedo, ha sido indispensable encontrar la relación entre la techumbre de la edificación y la cantidad de paneles necesarios para cubrirla durante todo el año, garantizando el sombreado cuando  $\omega=0$  en función de  $\phi$  debido al movimiento aparente del Sol; la Figura 28. muestra el resultado esperado cuando la techumbre de la edificación tiene 2.40m de largo normales al Sur geográfico en latitudes que van desde los 15 hasta los 35 grados.

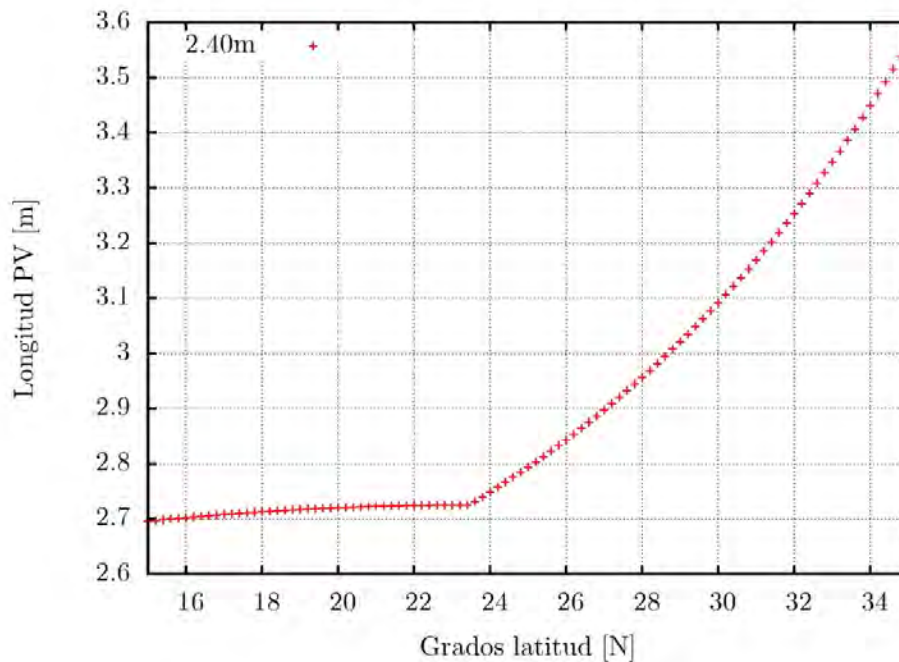


Figura 28. Longitud mínima del SFV normal al Sur para una edificación de 2.40m en latitudes del intervalo 15-35 grados.

Una vez obtenida la longitud necesaria del SFV (ancho mínimo 2.40m,  $D_i=2.71\text{m}$ , área mínima  $A_j=6.5\text{m}^2$ ) se realizó un estudio comercial para identificar los paneles fotovoltaicos que se encuentran disponibles en el mercado para cubrir el área mínima requerida, (Capítulo 2) puesto que el dimensionamiento del SFV está en función de  $A_j$  y no de una carga eléctrica en particular; ocho piezas KD140SX-UFBS han sido elegidas para cubrir el área mínima con el arreglo matricial 2r x 4c logrando un área efectiva de  $A_f=8.28\text{m}^2$ . La cantidad de energía neta que el SFV entrega a la red eléctrica se muestra en la Tabla 21. (Capítulo 3).

Tabla 21. Energía neta entregada  $E_{out}$  del SFV a la red eléctrica utilizando 8 paneles KD140SX-UFBS con  $\eta = 13.5\%$  y  $\eta_f=\pm 0.785$

Datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$E_{out}$ (kWh)	4.22	4.66	5.36	5.19	4.92	4.48	4.66	4.75	4.31	4.57	4.40	4.13

Teniendo en cuenta la capacidad de ahorro energético y económico que provocaría el SFV escogido en este trabajo, es posible realizar una evaluación de proyecto con estas características, sin embargo el objetivo de esta investigación es conocer el beneficio bioclimático de la colocación y utilización del SFV en una techumbre típica de México, por ello ha sido necesario cuantificar el  $Q$  que se tendrá en el interior de la edificación con y sin la estrategia bioclimática pasiva.

Los resultados se han obtenidos en base a datos meteorológicos de *Energy Plus* (Tabla 22.) evaluando un día típico promedio mensual para conocer los valores anuales, las ecuaciones y modelos empleados se encuentran en el Capítulo 4. Los perfiles de temperatura se muestran en las Figuras 28-31.



Tabla 22. Base a los datos meteorológicos de *Energy Plus* utilizados para la evaluación de los perfiles de  $T$ .

Datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$T_{\infty \min}$ (°C)	21.80	21.90	21.90	22.90	24.80	25.00	25.10	25.30	24.90	24.70	23.80	22.70
$T_{\infty \text{prom}}$ (°C)	26.20	26.20	26.10	26.70	27.90	28.30	28.40	28.10	27.90	28.00	27.40	26.60
$T_{\infty \max}$ (°C)	30.40	30.10	30.10	30.20	31.20	31.40	31.50	30.90	31.10	31.60	31.80	30.00
$T_{\text{sky}}$ (K)	291.93	291.50	291.50	291.65	293.09	293.38	293.52	292.66	292.94	293.67	293.96	291.36
$\Phi_{\text{prom}}$ (%)	74.80	75.30	75.00	74.70	77.80	76.70	78.00	79.60	80.70	79.00	79.20	77.80
Recurso Solar (hrs)	4.80	5.30	6.10	5.90	5.60	5.10	5.30	5.40	4.90	5.20	5.00	4.70

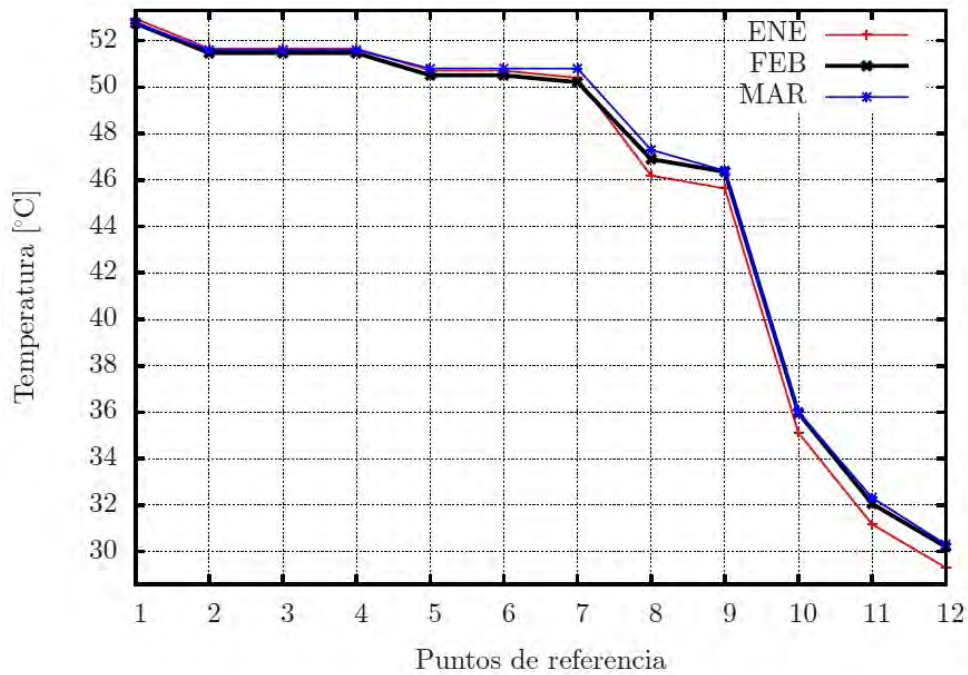


Figura 29. Perfil de temperatura promedio para cada uno de los puntos de referencia de la Tabla 23. durante Enero, Febrero y Marzo.

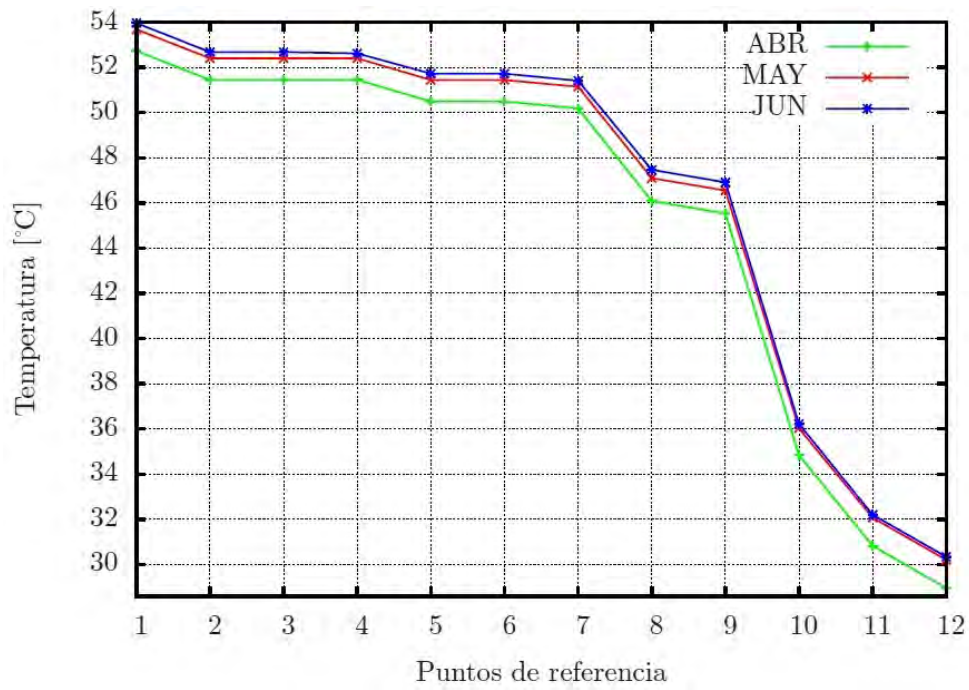


Figura 30. Perfil de temperatura promedio para cada uno de los puntos de referencia de la Tabla 23. durante Abril, Mayo y Junio.

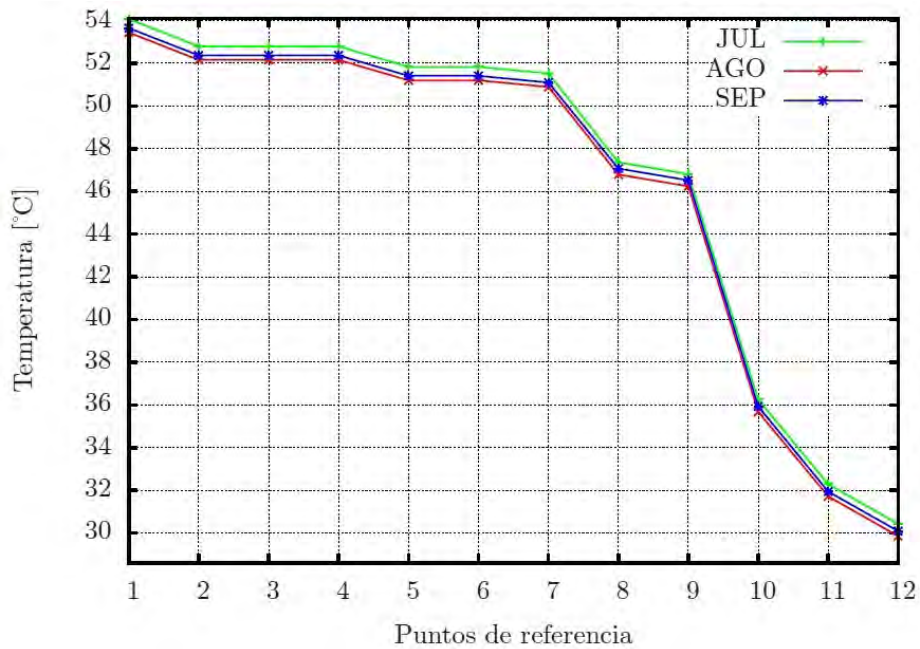


Figura 31. Perfil de temperatura promedio para cada uno de los puntos de referencia de la Tabla 23. durante Julio, Agosto y Septiembre.

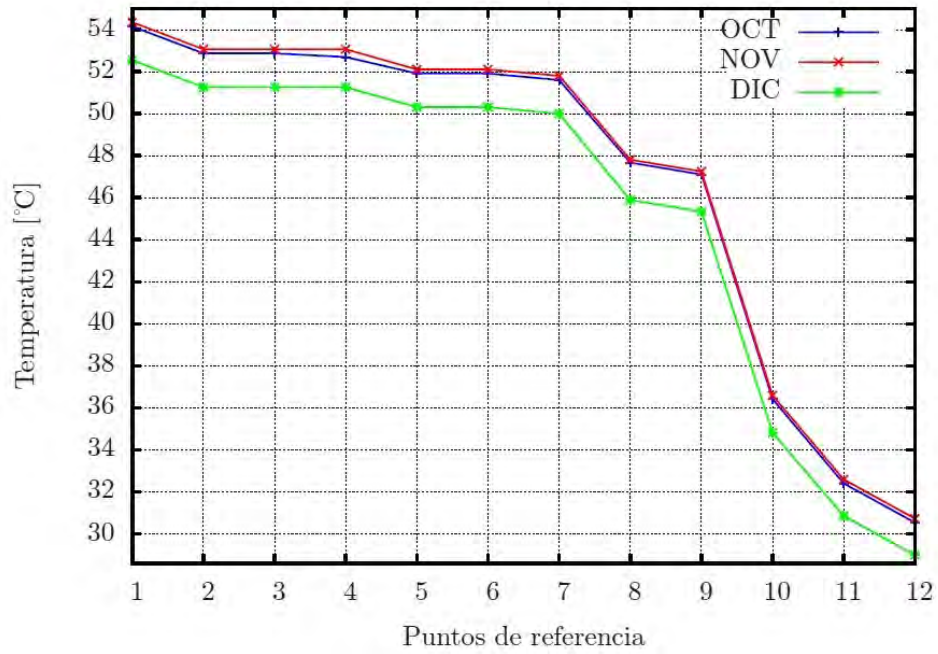


Figura 32. Perfil de temperatura promedio para cada uno de los puntos de referencia de la Tabla 23. durante Octubre, Noviembre y Diciembre.

Los puntos de referencia de los perfiles se muestran en la Tabla 23. que representa la temperatura de las superficies del modelo expuestas a la radiación, conducción y a la convección, iniciando por el cristal del panel fotovoltaico hasta la temperatura ambiente interior de la edificación. Como es posible observar en las Figuras 29-32. los perfiles de temperatura entre ellas no varían significativamente, debido a que la  $T_{\infty}$  de Acapulco se mantiene prácticamente constante en un intervalo anual, por lo tanto es viable conceptualizar la obstrucción de la radiación solar directa sobre las techumbres durante todo el año, con el fin de minimizar la ganancia calorífica no deseada al interior de los inmuebles.

Tabla 23. Puntos de referencia del proceso de transferencia de calor desde un SFV hasta el interior de una edificación, incluyendo temperaturas de las superficies del modelo (Modelo bioclimático).

PUNTOS DE REFERENCIA		ENE	FEB	MARZ	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
1	TS glass (vidrio)	52.94	52.75	52.75	52.73	53.68	53.96	54.07	53.44	53.65	54.15	54.35	52.54
2	T ARC	51.66	51.47	51.47	51.45	52.40	52.68	52.79	52.16	52.37	52.87	53.07	51.26
3	T celda solar SI	51.66	51.47	51.47	51.45	52.40	52.68	52.79	52.16	52.37	52.87	53.07	51.26
4	T EVA	51.66	51.47	51.47	51.45	52.40	52.68	52.79	52.16	52.37	52.87	53.07	51.26
5	T <i>read contact</i>	50.71	50.51	50.51	50.49	51.44	51.72	51.83	51.20	51.41	51.91	52.11	50.31
6	TS int Tedlar	50.71	50.51	50.51	50.49	51.44	51.72	51.83	51.20	51.41	51.91	52.11	50.31
7	Text Tedlar under FV	50.40	50.21	50.21	50.18	51.14	51.41	51.52	50.89	51.10	51.60	51.80	50.00
8	TS impermeabilizante	46.19	46.90	46.90	46.09	47.10	47.47	47.36	46.79	47.07	47.67	47.81	45.89
9	TS concreto	45.64	46.36	46.36	45.53	46.55	46.91	46.81	46.24	46.52	47.11	47.25	45.34
10	TS aplanado cem-are	35.12	35.97	35.97	34.84	36.03	36.22	36.25	35.68	35.93	36.42	36.59	34.81
11	TS under aplanado	31.17	32.06	32.06	30.82	32.07	32.20	32.28	31.71	31.94	32.40	32.59	30.85
12	T $\infty$ interior	29.31	30.21	30.21	28.96	30.21	30.34	30.42	29.85	30.09	30.54	30.73	28.99

Para el modelo que no utiliza el SFV como estrategia bioclimática pasiva se obtienen los valores mostrados en la Tabla 24. Donde los puntos de referencia de transferencia de calor inician desde el número 8, al ser el impermeabilizante el primer material expuesto a la radiación directa.

Tabla 24. Puntos de referencia del proceso de transferencia de calor del impermeabilizante hasta el interior de una edificación, incluyendo temperaturas de las superficies del modelo. (Modelo no bioclimático)

PUNTOS DE REFERENCIA		ENE	FEB	MARZ	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
8	TS impermeabilizante	65.00	67.62	67.62	67.54	68.3	68.62	68.70	68.10	68.25	68.78	68.91	67.21
9	TS concreto	64.11	66.73	66.73	66.65	67.41	67.73	67.80	67.20	67.36	67.89	68.02	66.32
10	TS aplanado cem-are	47.09	49.71	49.71	49.63	50.39	50.71	50.80	50.20	50.34	50.87	51.00	49.30
11	TS <i>under</i> aplanado	40.69	43.31	43.31	43.23	43.99	44.31	44.40	43.80	43.94	44.47	44.60	42.90
12	T $\infty$ interior	34.83	37.45	37.45	37.37	38.13	38.45	38.50	37.90	38.08	38.61	38.74	37.04

Los datos obtenidos en las Tablas 23, 24. Se muestran en Figura 33. Donde es posible apreciar la diferencia en los perfiles de temperatura para los puntos de referencia 8-12, que van desde el impermeabilizante hasta la  $T_{\infty}$  del interior de la edificación.

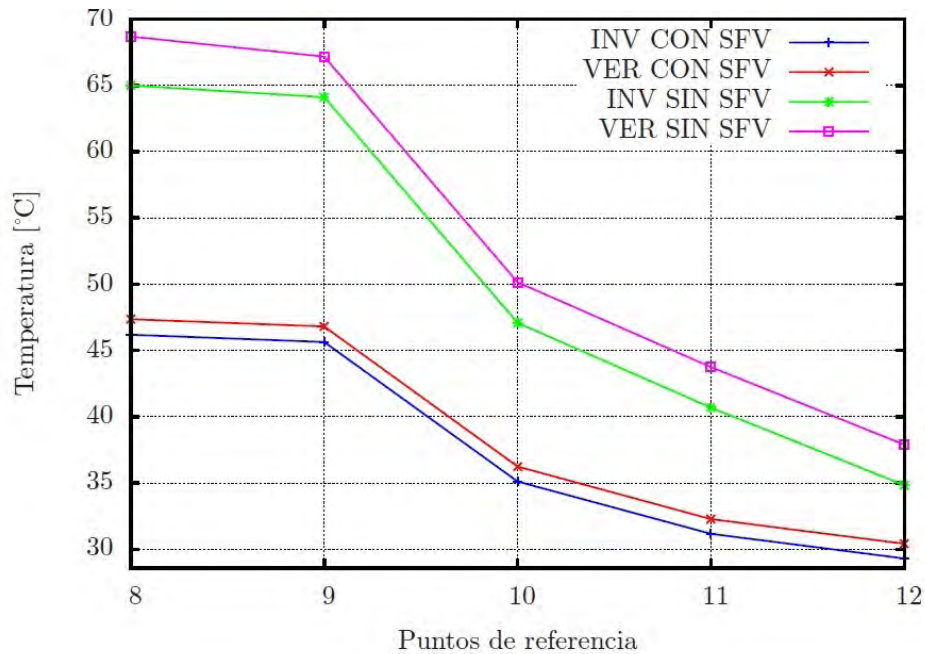


Figura 33. Perfil de temperatura para los puntos de referencia 8-12 con estrategia bioclimática pasiva y sin estrategia bioclimática. Comparativo entre verano e invierno.

La Figura 33. Expone los valores de temperatura en la superficie del impermeabilizante cuando está cubierto por el SFV y cuando no lo está, dejando expuesta dicha superficie a la radiación solar directa, en el primer caso se obtienen temperaturas de  $\pm 46.5^{\circ}\text{C}$  mientras que en el segundo se observan  $T = \pm 67.0^{\circ}\text{C}$  lo que representa una disminución del 69% con respecto a la temperatura más alta.

La  $T_{\infty}$  del interior de la edificación también es afectada cuando se encuentra colocado el SFV sobre la techumbre por obvias razones, cuando se obstruye la radiación solar directa

se obtienen temperaturas  $\pm 29.8^{\circ}\text{C}$ , mientras que sin el SFV la  $T = \pm 36.5^{\circ}\text{C}$ . Los anteriores valores son promedio de un análisis entre verano e invierno.

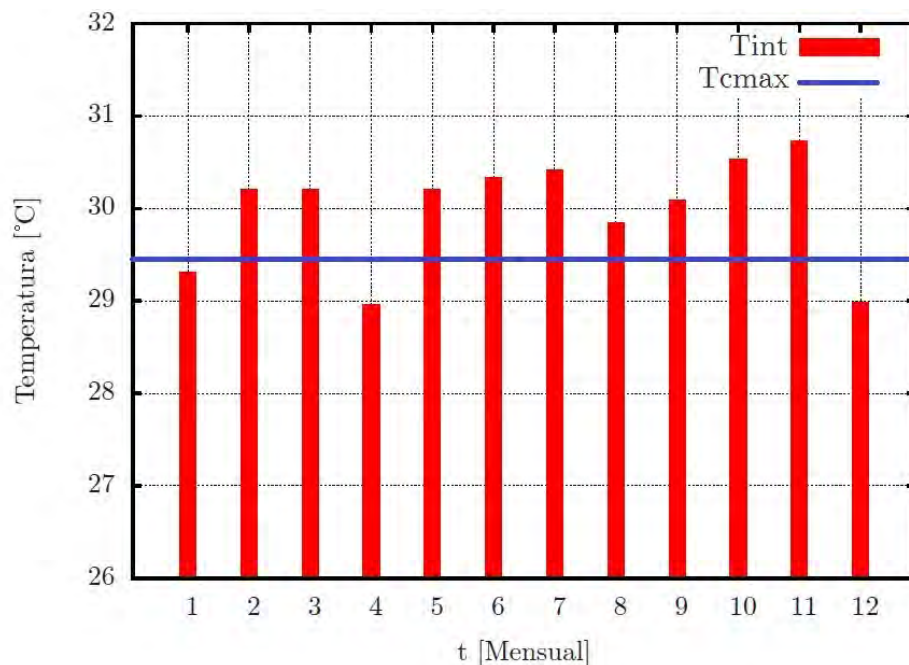


Figura 34. Comparativo anual promedio de la  $T_{\infty}$  al interior de la edificación de estudio, utilizando al SFV como estrategia bioclimática pasiva con respecto a la temperatura máxima de confort  $T_{cmax}$  para el ser humano  $T_{cmax} = 29.4^{\circ}\text{C}$ .

En la Figura 34. se observa que al utilizar el SFV como estrategia bioclimática pasiva se logra acotar al perfil de temperatura del interior del inmueble, a los valores máximos de confort utilizados en este trabajo, obteniendo con ello una disminución en  $\Delta T$  y en el consumo de energía eléctrica necesario para climatizar con A/C al inmueble.

Al identificar las temperaturas interiores en los modelos, es conveniente cuantificar la cantidad de electricidad necesaria para lograr estar al límite de la  $T_{cmax}$  utilizando climatización mecánica como lo muestra la Figura 35. con la intención de tener datos de referencia para la evaluación de proyectos.

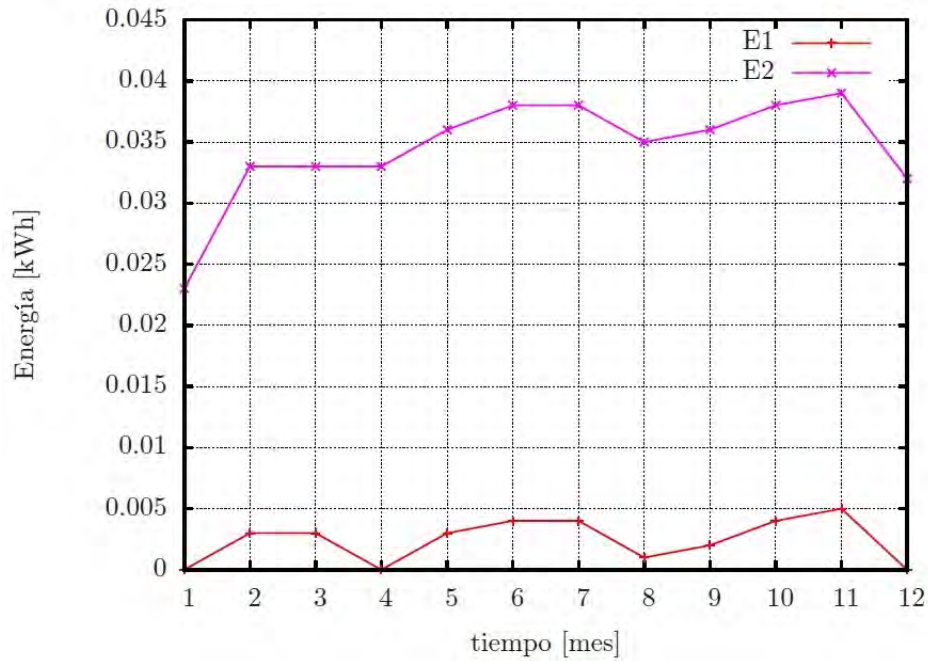


Figura 35. Cantidad de electricidad diaria promedio necesaria para climatizar el inmueble de referencia en el límite máximo de confort. E1=con SFV, E2=sin SFV

La Figura 35. muestra la cantidad diaria promedio de energía que se necesita, para climatizar la edificación de estudio a 29.4°C, cuando no se utiliza al SFV como estrategia bioclimática es necesario un 580% más de electricidad que un modelo con SFV utilizado como estrategia bioclimática. Para la evacuación de proyectos se han tomado promedios mensuales.

Como resultados finales se muestran a continuación los comparativos de salida, en la evaluación de los proyectos descritos en el Capítulo 5, con ayuda de las Figuras 36-39.

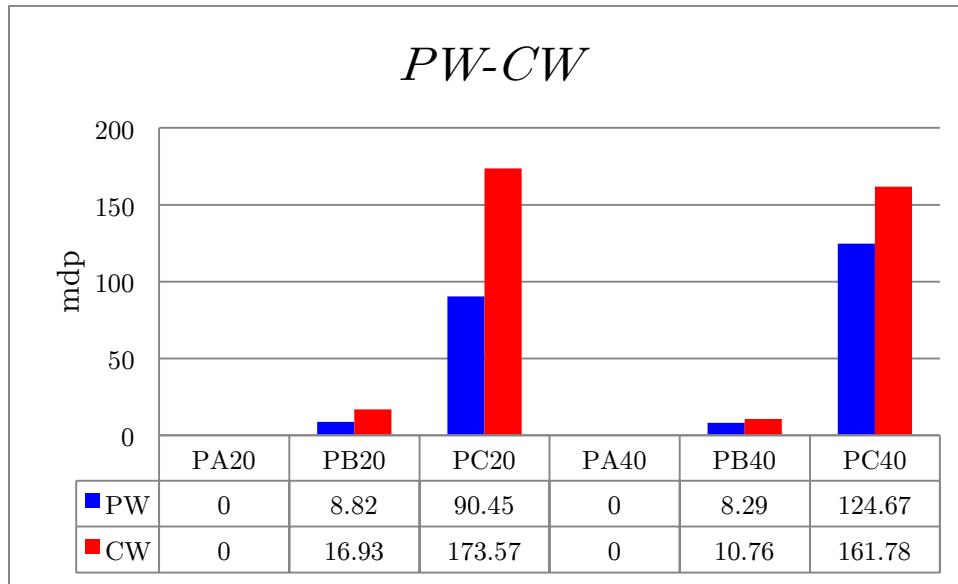


Figura 36. Resultados para el Análisis de proyectos de valor presente con vidas iguales (*PW*) y Capitalización del valor de análisis de proyectos con vidas iguales (*CW*).

El *PW* (color azul) muestra que  $PC \gg PB > PA$ , por ello son más factibles los proyectos con diseño bioclimático, para *PW* y *CW* entre más grande sea el valor con respecto a cero el proyecto es mejor; es posible observar un incremento significativo en los análisis PC20 y PC40 por lo que en este caso los proyectos que incorporan al SFV como estrategia bioclimática resultarían una mejor opción de inversión. *CW* disminuye conforme  $n$  incrementa, debido a que el *PW* es multiplicado por el producto de la ecuación (77) *recuperación de capital*.



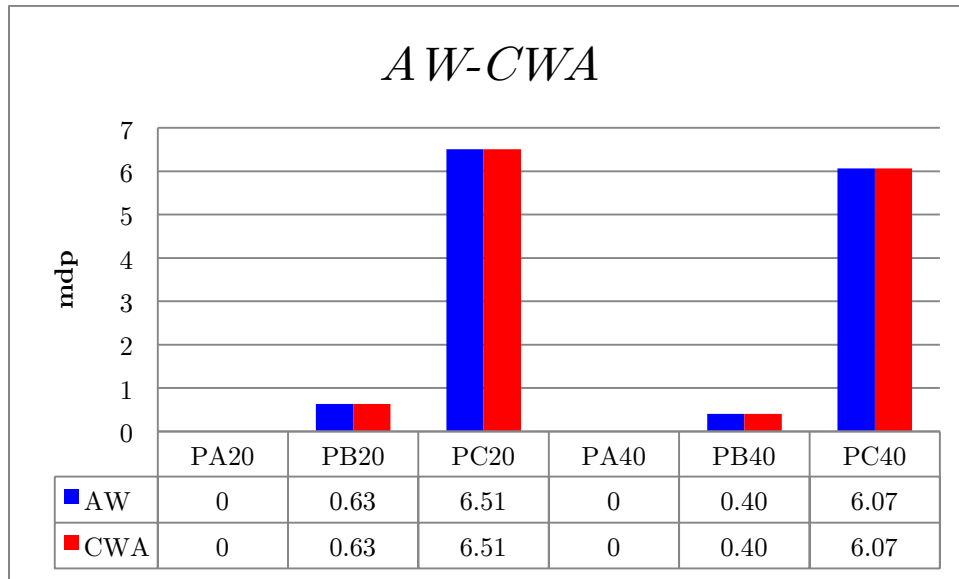


Figura 37. Resultados para el Análisis del valor anual de proyectos con vidas iguales (*AW*), y Capitalización del valor de análisis de proyectos con vidas iguales (*CWA*).

La técnica del *AW* y *CWA* muestran igualdad en sus valores  $AW=CWA$ , una vez más los  $PC \gg PB > PA$ . Obsérvese que  $PC_{20} > PC_{40}$ , debido a que entre más grande  $n$ , *AW* disminuye. Por lo tanto con estas técnicas se demuestra que los proyectos bioclimáticos son mejores.

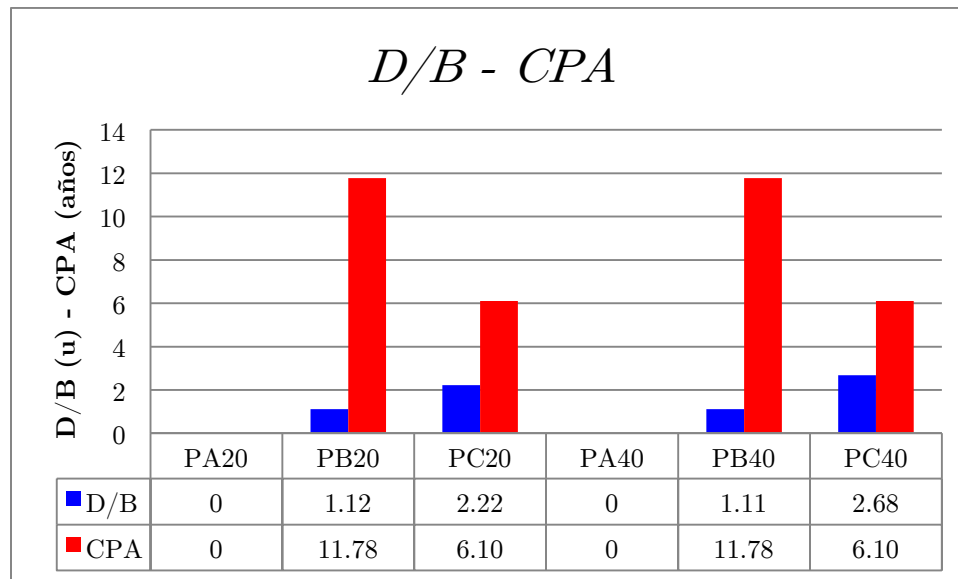


Figura 38. Resultados para el Análisis D/B convencional de proyectos con vidas iguales y el Análisis convencional del periodo de recuperación de la inversión en proyectos con vidas iguales (*CPA*).

El Análisis convencional D/B (Beneficios vs desventajas por sus siglas en ingles) muestra nuevamente que  $PC > PB > PA$ . Las consideraciones cuando el cociente de D/B es  $\mathbb{R}$  son:

D/B  $> 1$  .....aceptable

D/B =1 .....indiferente

D/B  $< 1$ .....rechazado

Sí D/B son imaginarios ( *i* ), la consideración es diferente:

D/B  $> 1$  .....rechazado

D/B =1 .....indiferente

D/B  $< 1$ .....aceptado

Por lo tanto los proyectos que no consideran la ventaja bioclimática resultan indiferentes a la inversión, sin embargo PC20 y PC40 son proyectos aceptables,  $PC20 > PB20$  en un 198%,  $PC40 > PB40$  en un 241% en tanto que  $PC40 > PC20$  en un 121%, por lo tanto es evidente que sería escogido el PC40 sobre los demás.

Por otro lado el periodo de recuperación de la inversión *CPA* entre más pequeño es mejor, en los *PC* el tiempo de recuperación se estima en  $t = 6.10$  años, mientras que el tiempo en los *PB* es de  $t = 11.78$  años. Por lo tanto  $PC's < PB's$  con lo que los proyectos bioclimáticos tienen preferencia de aceptación. Nótese que en el *CPA* no se tomo en cuenta el valor temporal del dinero, (*su depreciación a través del tiempo*).

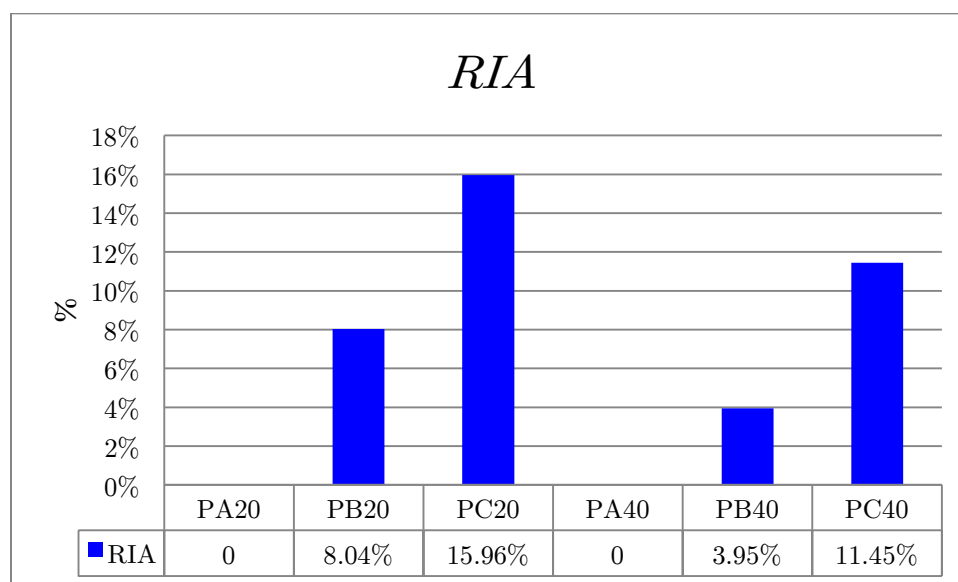


Figura 39. Resultados para el análisis de retorno sobre la inversión original de proyectos con vidas iguales (*RIA*).

El retorno anual de la inversión original esta dado por la técnica *RIA*, en la Figura 39. Es posible observar que los proyectos *PC* serian nuevamente aceptados por tener un porcentaje de retorno más atractivo en comparación con los proyectos *PB*.

## Conclusión

Este trabajo ha dejado en evidencia que una estrategia bioclimática pasiva puede ser llevada a una edificación sin modificar o cambiar su arquitectura y/o estructura, además se concluye que las ER no solo producen energía eléctrica, sino que pueden tener diferentes utilidades elevando su plusvalía.

Cuando se dimensiona un SFV en función de una techumbre a cubrir, es posible obtener una disminución en la ganancia calorífica al interior de una edificación de cualquier giro que sea dicho inmueble, esta investigación no especifica el uso celoso en viviendas. Al disminuir la temperatura en el interior del inmueble se obtienen condiciones cercanas al confort higrotérmico en sitios que así lo requieran, en este caso en zonas con clima cálido húmedo.

Adosando un SFV a la cubierta de una edificación se logra erradicar o aminorar el consumo eléctrico por climatizar de forma mecánica a un inmueble, en este caso se habla de disminución de  $T$ , por ser una recomendación bioclimática de la CONAVI. Para otros sitios la estrategia tendrá que ser apegada a su clima; al no utilizar o disminuir el consumo eléctrico por uso de A/C o ventilación forzada, se logra un ahorro de energía, que propicia una disminución en la generación de GEI y ahorro económico.

Se ha encontrado que las evaluaciones de proyectos fotovoltaicos no consideran un valor agregado, el simple hecho que la edificación sea más confortable cuando se obstruye la radiación directa, (*clima cálido húmedo*), este trabajo ha demostrado que el retorno de la inversión en función del dimensionamiento idóneo es:  $t = 6.10$  años cuando se analiza de forma bioclimática, a diferencia de un modelo convencional que solo evalúa la generación eléctrica del SFV, teniendo un retorno en  $t = 11.78$  años.

Por otro lado se ha demostrado que la estrategia bioclimática amplía la vida útil de los paneles solares, al encontrar y cuantificar dicho beneficio, para disminuir la ganancia termina a la techumbre no es necesario que el SFV continúe con la generación eléctrica.

## **Trabajo futuro**

Existen varios aspectos a considerar en un trabajo futuro, desde la validación particular de las bases de datos climatológicos, hasta la posible obtención y comparación de datos experimentales. Incluyendo la refinación de las variables implicadas en este trabajo.

## A. Bibliografía

- [1] *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*, 1a edición, 2006, Impreso y hecho en México, CONAFOVI Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda P. 23, 24, 50, 53, 54
- [2] Robert Constanza, Gar Alperovits, and others, *Building a Sustainable and Desirable Economy-in-society-in-Nature*. 2012, New York: United Nations Division for sustainable Development.
- [3] *Energy Balances of OCDE countries y Energy Balances of Non OCDE countries*, AIE, edición 2012
- [4] *Balance Nacional de Energía 2011* Secretaría de Energía SENER
- [5] El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable*, 2a edición, Madrid España 2007.
- [6] *Real Decreto 47/2007*, Ministerio de la Presidencia Española, Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.2007, España.
- [7] E. Santoyo-Castelazo, H. Gujba, A. Azapagic, *Life cycle assessment of electricity generation in Mexico*. Energy, Available online 18 February 2011, Energy 36 (2011) 1488e1499
- [8] *Taller sobre la envolvente térmica y el ahorro de energía* 2009 Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica FIDE.
- [9] Sector Eléctrico Nacional, *Ventas Internas de Energía Eléctrica*, Comisión Federal de Electricidad CFE.
- [10] Sabady Pierre, *Arquitectura Solar*, primera edición, Grupo editorial CEAC, Barcelona España 1989
- [11] INEGI; Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *Censo de Población y Vivienda 2010*
- [12] INEGI; Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *Carta de Climas* 1:1 000 000

- [13] *National Geophysical Data Center*, National Oceanic and Atmospheric Administration *NOAA*.
- [14] INEGI; Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *Base de datos del Estado de Guerrero*. 2000-2010.
- [15] Gobierno del Estado de Guerrero, página electrónica oficial.
- [16] US Department of Energy. (Archivo extensión WEA)
- [17] *Data base* Software Meteonorm, aplicada a Temixco Morelos México
- [18] Weather Data File, From Energy Department US, Energy Plus.
- [19] Mesa A. y Morillón D. (1997). Parámetros que intervienen y se interrelacionan para definir la zona de confort higrotérmico, dentro de un ambiente arquitectónico, diseñado para la práctica de actividades deportivas. Memorias de ANES, Chihuahua, México.
- [20] Cengel Yunus, A. Boles Michael, *Termodinámica*, séptima edición, editorial Mc Graw-Hill p 149, 760, 746, 747, 738, 739
- [21] Peixoto, J., and Oort, A. (1992). Chapter 14: *The Ocean-Atmosphere Heat Engine*. In *Physics of Climate* (pp. 365-400). Woodbury, NY: American Institute of Physics Press.
- [22] Modest M., *Radiative Heat Transfer*, Ed. Academic Press, 2da Edicion, 2003.
- [23] Cengel Yunus, Transferencia de Calor y Masa un enfoque practico, 2da ed., México 2006, V.O. Heat Tranfer, a Practical Approach, p 3, 6, 28, 63, 64, 209, 688
- [24] Government Earth-observatory of NASA, earthobservatory.nasa.gov/Features/SOURCE/
- [25] Marshall, J., and Plumb, R.A. (2008). Chapter 8: *The general circulation of the atmosphere*. In *Atmosphere, Ocean, and Climate Dynamics: an Introductory Text* (pp. 139-161).
- [26] R. Almanza S., E. Cajigal R., J. Barrientos A. Tabla A-1. *Insolación global media inclinación a latitud en México en kWh/m<sup>2</sup>-Día*. Actualización de los Mapas de Irradiación Global solar en la Republica Mexicana 1997 Southwest Technology Development Institute, NMSU, 1999

- [27] Duffie J A, Beckman W A, Solar engineering of thermal processes, John Wiley & Sons, New York, 1991.
- [28] Givoni, Man, Climate and Architecture, 1981 Architectural Science Services. Publishers. Ltd. London., p 8
- [29] ASHRAE, 2001 Handbook of Fundamentals, Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.
- [30] Catalogo Nacional de Casas GEO. <http://www.casasgeo.com/>
- [31] Rubén Salvador Roux Gutiérrez, Dra. DMB y RG. *Manual Normativo para la producción de vivienda sustentable de interés social en México*, UAT, UNAM, 1er encuentro Académico CONAVI-CONACyT, febrero del 2010.
- [32] Grafica estereográfica, Software Ecotec 2011 versión Trial 30 days. Energy Plus
- [33] Reglamento de Construcción vigente del Municipio de Acapulco.
- [34] Miguel Alonso Abella, *Sistemas Fotovoltaicos*, Era Solar, segunda edición 2005, ISBN 84-86913-12-8, Madrid España. Páginas; 51, 99, 128, 157, 263.
- [35] Krishnan Rejeshwar, Robert McConnell, Stuart Litch, *Solar Hydrogen Generation*, Springer 2008, ISBN: 978-0-387-72809-4, NY USA. Pg; 7, 12, 44.
- [36] Steven S. Hegedus and Antonio Luque, Status, Trends, *Challenges and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics*, *Handbook of photovoltaic science and engineering*; pg. 11.
- [37] Gilbert M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, Wiley-Interscience, 2004, ISBN 0-471-28060-7, USA. Pg; 217, 220, 221, 456, 457, 460, 461, 565.
- [38] John P. McKelvey, *Solid State and Semiconductor Physics*, a Harper International edition, 1966, NY, USA. Pg; 461.
- [39] Felix A. Farret, M. Godoy, Integration of Alternative Sources of Energy, Wiley-Interscience, 2006, ISBN-13: 978-0-471-71232.9, N.J. USA. Pg.; 132, 136, 137, 159, 273.
- [40] Magíster Marcela P. Barrera, *Simulación y caracterización de celdas solares multijuntura y de silicio cristalino para aplicaciones espaciales*, República Argentina 2009. Tesis Doctorado.



- [41] The German Energy Society, *Planning & Installing Photovoltaic Systems*, DGS, Second edition 2008, ISBN-13: 978-1-84407-442-6, Berlin, Germany. Pg; 1, 20, 23, 166, 309, 321.
- [42] Isidro Elvis Pereda Soto, *Celdas Fotovoltaicas en Generación Distribuida*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial Mención Electricidad, Santiago de Chile, 2005
- [43] John K. Kaldellis Marina Kapsali, Kosmas A. Kavadias, *Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece*, Renewable Energy, Volumen 66 , junio de 2014, Pages 612-624
- [44] Roger A. Messenger, Jerry Ventre, *Photovoltaic Systems Engineering*, CRC PRESS, Second edition 2004, ISBN 0-8493-1793-2, USA. Pg; 28, 35, 37, 38, 69, 100, 335.
- [45] *Especificación para la Interconexión a la Red Eléctrica de Baja Tensión de Sistemas Fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW*. Especificación CFE G0100-04, Junio 2007, México.
- [46] Rashid Muhammad H., *Electrónica de Potencia*, Tercera Edición, Pearson educacion. Mex. 2004, ISBN 970-26-0532-6, Impreso en México. Páginas; 226, 232, 248,264, 285.
- [47] *Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. NIST Technical*, notel 297,1994 Edition.
- [48] Rocío Mazón-Hernández, Francisco Vera-García, Antonio Sánchez, Blas Zamora Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, Universidad Politécnica de Cartagena, *Desarrollo de una instalación para reducir la temperatura de paneles fotovoltaicos y mejorar su eficiencia*. P.38-40
- [49] M. D'Orazio, C. Di Perna, E. Di Giuseppe, *Experimental operating cell temperature assessment of BIPV with different installation configurations on roofs under Mediterranean climate*, Volume 68, August 2014, Pages 378–396
- [50] Moshfegh B, Sandberg M. *Flow and heat transfer in the air gap behind photovoltaic panels*. Renew Sustain Energy Rev 1998;2:287e301.
- [51] ASHRAE, 1997 Handbook of Fundamentals, Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.Cap 3.


- [52] G. Barrios, G. Huelsz, J. Rojas, J.M. Ochoa, I. Marincic, *Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings*, Energy and Buildings, 13 March 2012
- [53] Sistema Meteorológico Nacional. México
- [54] Cuevas Sergio. Modulo 1. *Conceptos básicos y mecanismos fundamentales de la transferencia de calor*, UNAM
- [55] Ozisik Necati M. *Heat Transfer a Basic Approach*, Mc Graw-Hill international edition 1985
- [56] Carslaw H. S., and Jaeger J. C. *Conduction of Heat in Solids*, 2th edition, Oxford Science Publications
- [57] Bejan Adrian, *Heat Transfer*, University of Michigan, edition John Wiley & Sons, ISBN 0471502901, 9780471502906 Inc., 1993
- [58] A. D. Jones and C. P. Underwood, *a thermal model for photovoltaic systems*, Solar Energy Vol. 70, No. 4, pp. 349–359, 2001, 001 Elsevier Science Ltd
- [59] Aníbal Figueroa Castrejón, Héctor Valerdi Madrigal, Pablo David Elías López, Edwin Israel Tovar Jiménez, Gloria María Castorena Espinosa, Víctor Armando Fuentes Freixane; *Análisis térmico comparativo por medio de simulación numérica de tres viviendas de interés social en tres diferentes climas de la Republica Mexicana*, Distrito Federal México.
- [60] Donald Leiton, *Teoría y probabilidad de transferencia de calor*, ed. Mc. Graw. P 195.
- [61] Incropera P. Frank, De Witt P. David, *Fundamentos de Transferencia de Calor*, cuarta edición, School of Mechanical Engineering, Prentice Hall Hispanoamericana S.A. de C. V. traducion al español 1990.
- [62] NORMA Oficial Mexicana *NOM-020-ENER-2011*, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolverte de edificios para uso habitacional.
- [63] Anthony Dominguez a, Jan Kleissl a, Jeffrey C. Luvall, *Effects of solar photovoltaic panels on roof heat transfer*, Solar Energy 85 (2011) 2244–2255, Available online 6 July 2011.

- [64] Gibrán S. Alemán-Navaa, Victor H. Casiano-Floresa, Diana L. Cárdenas-Chávez, Rocío Díaz-Chavezb, Nicolae Scarlatc, Jürgen Mahlknechta, Jean-Francois Dallemanc, Roberto Parraa, *Renewable energy research progress in Mexico*. Revista: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volumen 32 , abril de 2014, Pages 140-153
- [65] Comisión Nacional de Electricidad CFE, Conoce tu tarifa>consulta tu tarifa. México 2014
- [66] *Ley del Impuesto al Valor Agregado*, Última reforma publicada DOF 07-12-2009, México
- [67] Doruk Sen, Murat Tunc, Taylan Ozilhan, *Investment analysis of a new solar Power Plant*, International Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2013; 2(6): 229-241.
- [68] Donald S. Remer, Armando P. Nieto. *A compendium and comparison of 25 project evaluation techniques. Part 1: Net present value and rate of return methods*. Original Research Article International Journal of Production Economics, Volume 42, Issue 1, November 1995, Pages 79-96
- [69] Donald S. Remer, Armando P. Nieto. *A compendium and comparison of 25 project evaluation techniques. Part 2: Ratio, payback, and accounting methods*. Original Research Article International Journal of Production Economics, Volume 42, Issue 2, December 1995, Pages 101-129

## B. Anexos

B1: ficha tecnica de panel solar Si-policristalino Kyocera KD 140F, SX Series.

OFF-GRID HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE

 **KD 140 F, SX Series**  
KD140SX-UFBS

**CUTTING EDGE TECHNOLOGY**  
As a pioneer with over 35 years in the solar energy industry, Kyocera demonstrates leadership in the development of solar energy products. Kyocera's Kaizen Philosophy, commitment to continuous improvement, is shown by repeatedly achieving world record cell efficiencies.

**QUALITY BUILT IN**




- UV stabilized, aesthetically pleasing black anodized frame
- Supported by major mounting structure manufacturers
- Easily accessible grounding points on all four corners for fast installation

**RELIABLE**

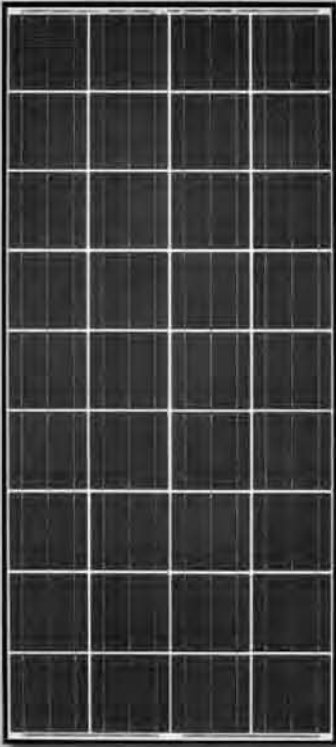
- Proven superior field performance
- Tight power tolerance
- Only module manufacturer to pass rigorous long-term testing performed by TÜV Rheinland

**QUALIFICATIONS AND CERTIFICATIONS**

UL Listing  
QIGU.E173074

NEC 2008 Compliant, UL 1703, and ISO 14001  
UL 1703 Certified and Registered, UL Fire Safety Class C, Class I, Div II  
Certified IEC61215 Ed 2 IEC61730 by JET



**SOLAR by KYOCERA**

## ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Standard Test Conditions (STC) <i>STC = 1000 W/M<sup>2</sup> irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum*</i>		
KD 140SX-UFBS		
P <sub>max</sub>	140	W
V <sub>mp</sub>	17.7	V
I <sub>mp</sub>	7.91	A
V <sub>oc</sub>	22.1	V
I <sub>sc</sub>	8.68	A
P <sub>tolerance</sub>	+7/-0	%

Nominal Operating Cell Temperature Conditions (NOCT) <i>NOCT = 800 W/M<sup>2</sup> irradiance, 20°C ambient temperature, AM 1.5 spectrum*</i>		
T <sub>noct</sub>	-45	°C
P <sub>max</sub>	101	W
V <sub>mp</sub>	16.0	V
I <sub>mp</sub>	6.33	A
V <sub>oc</sub>	20.2	V
I <sub>sc</sub>	7.03	A

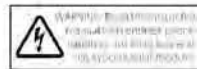
Temperature Coefficients		
P <sub>max</sub>	-0.46	%/°C
V <sub>mp</sub>	-0.52	%/°C
I <sub>mp</sub>	0.0066	%/°C
V <sub>oc</sub>	-0.36	%/°C
I <sub>sc</sub>	0.060	%/°C
Operating Temp	-40 to +90	°C

System Design		
Series Fuse Rating	15 A	
Maximum DC System Voltage (UL)	600 V	
Hailstone Impact	1 in (25mm) @ 51mph (23m/s)	

System Design		
Series Fuse Rating	15 A	
Maximum DC System Voltage (UL)	600 V	
Hailstone Impact	1 in (25mm) @ 51mph (23m/s)	

\*3.0°C to module temperature correction of 1%  
©2014 Kyocera Solar, Inc. All rights reserved. KYOCERA SOLAR IS A KYOCERA GROUP COMPANY

NEC 2008 COMPLIANT  
UL 1703 LISTED  
CERTIFIED IEC61215 & IEC61730 BY IET



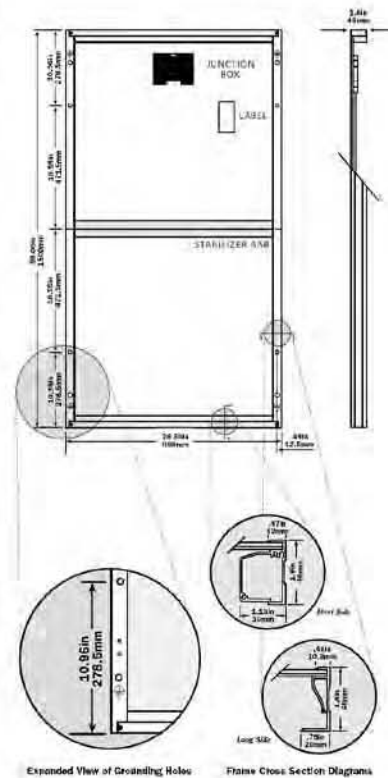
011613

## MODULE CHARACTERISTICS

Dimensions: <i>length/width/height</i>	59.06in/26.30in/1.8in (1500mm/668mm/46mm)
Weight:	28.4lbs (12.9kg)

## PACKAGING SPECIFICATIONS

Modules per pallet:	20
Pallets per 53' container:	54
Pallet box dimensions: <i>length/width/height</i>	63.19in/27.56in/49.02in (1605mm/700mm/1245mm)
Pallet box weight:	650lbs (295kg)



OUR VALUED PARTNER

KYOCERA Solar, Inc. 800-223-9580 800-523-2329 fax www.kyocerasolar.com

## B2: manual de instalación de panel fotovoltaico Si-policristalino Kyocera KD 140F, SX Series

**Table 1. Recommended Tilt Angles for Stand Alone Fixed Systems - Based on Winter Performance**

SITE LATITUDE IN DEGREES	FIXED TILT ANGLE
0° TO 15°	15°
15° TO 25°	SAME AS LATITUDE
25° TO 30°	LATITUDE + 5°
30° TO 35°	LATITUDE + 10°
35° TO 40°	LATITUDE + 15°
40° +	LATITUDE + 20°

For grid tie installations where the solar modules are attached to a permanent structure, PV modules should be tilted at an angle equal to the site's latitude. This will typically result in the highest annual energy output.

### 7. INSTALLING THE KDxxxSX-UFBS SERIES MODULES

The minimum spacing is 25.50 mm between the PV module and the mounting surface around the perimeter of PV module. The frame of each PV module has 3.5339 mm diameter mounting holes (Refer to Module Mounting Specifications). These are used for fixing PV modules to the supporting structure. PV module frames must be attached to a supporting structure using 1/8" (3.175 mm) stainless steel screws in a minimum of four (4) places symmetrical on PV module. The stainless steel screw used for fixing the module frame should secure with an adequate torque (usually, 19 N-m (14 ft-lb)). An example of a ground mounted structure is shown in Figure 2. The four holes close to the corners of the module are most often used for installation. Refer to the Mounting Specifications for the position of these holes. Clearance between PV module frame and the mounting surface may be required to prevent the junction box from touching the surface, and to circulate cooling air around the back of PV module. Spacing between PV modules must be a minimum of 1/8" (3.2 mm) to allow for thermal expansion. If the modules are to be installed on the roof or wall of a building, the stand-off method or the rack method is recommended.

**STAND-OFF METHOD:** PV modules are supported parallel to the surface of the building wall or roof. Clearance between PV module frames and surface of the wall or roof is required to prevent PV module and / or wiring from damage. The clearance should be at least 6.35 mm (1/4 inch) if other mounting means are employed, this may affect the Listing For Fire Class Ratings.

**RACK METHOD:** The supporting frame is used to mount PV modules at correct tilt angles. PV modules specified in this installation manual are not designed for Building Integrated Photovoltaic (BIPV) application as part of a roof or wall. The mounting design may have an impact on the fire resistance.

**OTHER:** Other method(s) certified by a registered professional engineer, and in compliance with local codes.

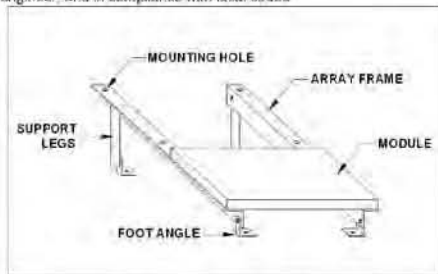


Figure 2. Basic Rack or Stand-off Mounting Structure

### 8. MODULE WIRING

As shown in Figure 3 Standard Wiring Examples, Kyocera PV modules utilize the Type "IM" junction box (see J-box details). This junction box, located on the back side of the module, is weatherproof and is designed to be used with standard wiring or conduit connections. A cable clamp with a minimum rating of IP65 must be used to maintain the weatherproof integrity of the junction box. Bypass diodes are preinstalled at factory.

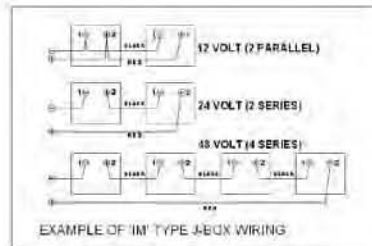


Figure 3. Standard Wiring Examples

To wire Kyocera PV modules:

- Determine the nominal system array voltage of your system. Each panel is equivalent to a 12 VDC nominal block. Standard array voltages 12, 24 and 48 volt are shown as examples in Figure 3.
- Open the "IM" box cover by loosening the screws in the cover.
- The wire used to interconnect PV modules may be single or two conductors, from 14AWG (2.08 mm<sup>2</sup>) up to 10AWG (5.26 mm<sup>2</sup>) (single conductor copper wire in a SSBULCHRRBSSEAWT cable insulated for 60°C minimum jacket cable. This cable is suitable for applications where wiring is exposed to the direct rays of the sun. The maximum and minimum outer diameters of the cable that may be used with the cable connector are 8 mm and 6 mm respectively (Figure 4).
- Using a flat blade screw driver, remove only the appropriate "KNOCK-OUTS" from the sides of the "IM" box.
- Route wires through the knock-outs and clamps refer to installation example (see Figure 5).
- Gently hand tighten the terminal screws with cross slot (Phillips-head) screwdriver. Do not over tighten, as the terminal can be damaged. (Recommendation Torque : 1.5N-m (13.3 in-lb))
- The output wiring from the final module is generally run to a separate array junction box. In commercial system, this wiring from the array box to the next component (i.e. fuse box, or charge regulator, etc.) is generally run in conduit. The maximum electrical rating of an acceptable series fuse is 15 amperes.
- After checking that PV module wiring is correct, close all the junction boxes. Use a Phillips head screw driver to secure all screws on the junction box cover to ensure a waterproof seal. Refer to the cable clamp specifications for The KDxxxSX-UFBS series modules. Refer to below for a cable clamp of our designation. (Manufacturer / Part Number) Cable Clamp : LAPP / S2212 (NPT-1/2") Nut : LAPP / 911371K (NPT-1/2")

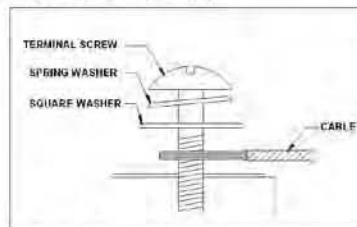


Figure 4. Ring or Spade Terminal Connectors

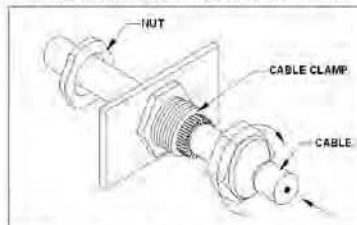


Figure 5. Installation Example of Cable Clamp

#### NOTE: MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE IS 600VDC.

KD series modules and most PV system components have a maximum system voltage rating of 600 volts DC. Some grid-tie solar systems operate at or near this voltage rating. Like other polycrystalline solar modules, the open circuit voltage of the KDxxxxS-XJFBSS series module increases as the ambient temperature decreases. Maximum System Voltage is computed as the sum of the open-circuit voltage of the series-connected PV modules for the lowest expected ambient temperature. Refer to the National Electrical Code Article 690.7(a) for determining the maximum number of the KDxxxxS-XJFBSS series modules that can be placed in series. Temperature coefficients, specific to the module of use, can be used to provide the most accurate prediction of module voltage under temperature extremes.

**NOTE:** Limit the maximum number of series connections of the KDxxxxS-XJFBSS series modules so that the system voltage is less than 600V.

**NOTE:** Under normal conditions, PV modules may produce more current and/or voltage than reported in the standard test conditions. Therefore, when voltage evaluations for components, capacity of conductors, size of fuses, and size of control systems connected to the module output are determined, multiply the values of short-circuit current (I<sub>sc</sub>) and open-circuit voltage (V<sub>oc</sub>) that are marked in the KDxxxxS-XJFBSS series modules by the factor of 1.25. Refer to Section 690.8 of the National Electrical Code for an additional multiplying factor of 1.25 which may also be applicable.

### 9. GROUNDING

Before installation, contact the local code authorities to determine the necessary grounding requirements. Attach all PV module frames to an earth ground in accordance with the National Electric Code (NEC) Article 250. Proper grounding is achieved by connecting PV module frames and all metallic structural members continuously to one another using a suitable grounding conductor. The grounding conductor shall be of copper, copper alloy or another material suitable for use as an electrical conductor per NEC. The grounding conductor must then make a connection to earth using a suitable earth grounding electrode. Ensure positive electrical contact through the anodizing on PV module frame extrusion by utilizing one of the following methods. Attach the grounding conductor:

- (1) **Remove the die cast stainless steel fastener from the frame and install a stainless steel fastener with a spring washer and a nut.** Attach the screws with adequate torque (usually 132 in-lb). Avoid direct contact of copper ground conductor to aluminum frame.
  - (2) **Use a ground lug (manufacturer: L.SCO, model: GBL-4DBT). Tighten the screws with adequate torque (usually 62 in-lb). Use #10-32 stainless steel hardware to attach the lug to the module frame (torque to 40 in-lb). A stainless steel star washer, positioned between the lug and the anodized surface of the frame, must be employed to break through the anodized layer of the frame extrusion and electrically connect the ground lug to the conducting aluminum frame material.** As a general rule, avoid direct contact of copper or copper alloyed ground conductors with the aluminum module frame.
- All ground bond securing hardware in contact with either the aluminum module frame and/or copper or copper alloy ground conductors must be stainless steel.

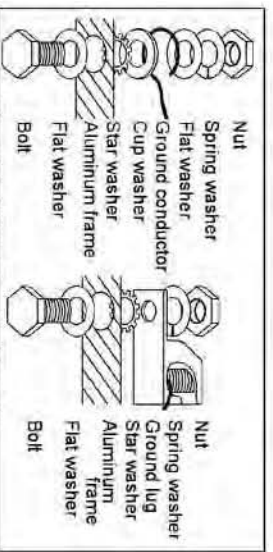


Figure 6. Installation Example of Grounding

### 10. BLOCKING DIODES

In systems utilizing a battery, blocking diodes are typically placed between the battery and PV module output to prevent battery from discharging at night. The KDxxxxS-XJFBSS series modules are made of polycrystalline cells with high electrical backflow resistance to nighttime battery discharging. As a result, the KDxxxxS-XJFBSS series modules do not contain a blocking diode when shipped from the factory. Most PV charge regulators and inverter incorporate a nighttime disconnected feature, however.

### 11. BYPASS DIODES

Partial shading of an individual module in a source circuit string (i.e. two or more modules connected in series) can cause a reverse voltage across the shaded cells within the module. Module output current is then forced through the shaded area by the remaining illuminated cells and other PV modules in series with the partially shaded module(s). The current forced through the shaded cells within the PV module (or modules) causes additional module heating and severe loss of power. The purpose of bypass diodes is to provide a low-resistance current path around the shaded cells, thereby minimizing PV module heating and array current losses. The KDxxxxS-XJFBSS series modules employ bypass diodes that have:

- Rated Average Forward Current [I<sub>AV</sub>]. **Above** maximum system current at highest PV module operating temperature.
- Rated Repetitive Peak Reverse Voltage [V<sub>RRM</sub>]. **Above** maximum system voltage at lowest PV module operating temperature.

### 12. MAINTENANCE

The KDxxxxS-XJFBSS series modules are designed for long life and require very little maintenance. Under most weather conditions, normal rainfall is sufficient to keep the module glass surface clean. If dirt build-up becomes excessive, clean the glass surface only with a soft cloth using mild detergent and water. **USE CAUTION WHEN CLEANING THE BACK SURFACE OF THE PV MODULE TO AVOID PENETRATING THE BACK SHEET.** PV modules that are mounted flat (0° tilt angle) should be cleaned more often, as they will not "self clean" as effectively as modules mounted at a 15° tilt or greater. Once a year, check the tightness of terminal screws and the general condition of the wiring. Also, check to be sure that mounting hardware is tight. Loose connections may result in a damaged PV module or array.

### 13. SPECIFICATIONS

Under certain conditions, a photovoltaic module may produce more voltage and current than reported at Standard Test Conditions (STC). Refer to Section 690 of the National Electrical Code for guidance in series string sizing and choosing over-current protection.

#### KYOCERA Solar Group Sales Office

■ KYOCERA Corporation  
Corporate Solar Energy Group  
6-1 Sakuda Tobanone-cho, Fushimi-ku, Kyoto 612-8501, Japan  
Phone: 81-75-8014-3476  
Fax: 81-75-8014-3479  
<http://www.kyocerasolar.com>

■ KYOCERA Solar, Inc.  
7817 East Acorn Drive, Scottsdale, AZ 85260, U.S.A.  
Phone: 1-480-948-8000 or 1-900-225-9690  
Fax: 1-480-483-4431

<http://www.kyocerasolar.com/>

■ KYOCERA Solar Pty Ltd  
Level 3, 6-10 Talavera Road, North Ryde NSW 2113, Australia  
Phone: 61-2-9870-3348  
Fax: 61-2-9888-9673  
<http://www.kyocerasolar.com.au/>

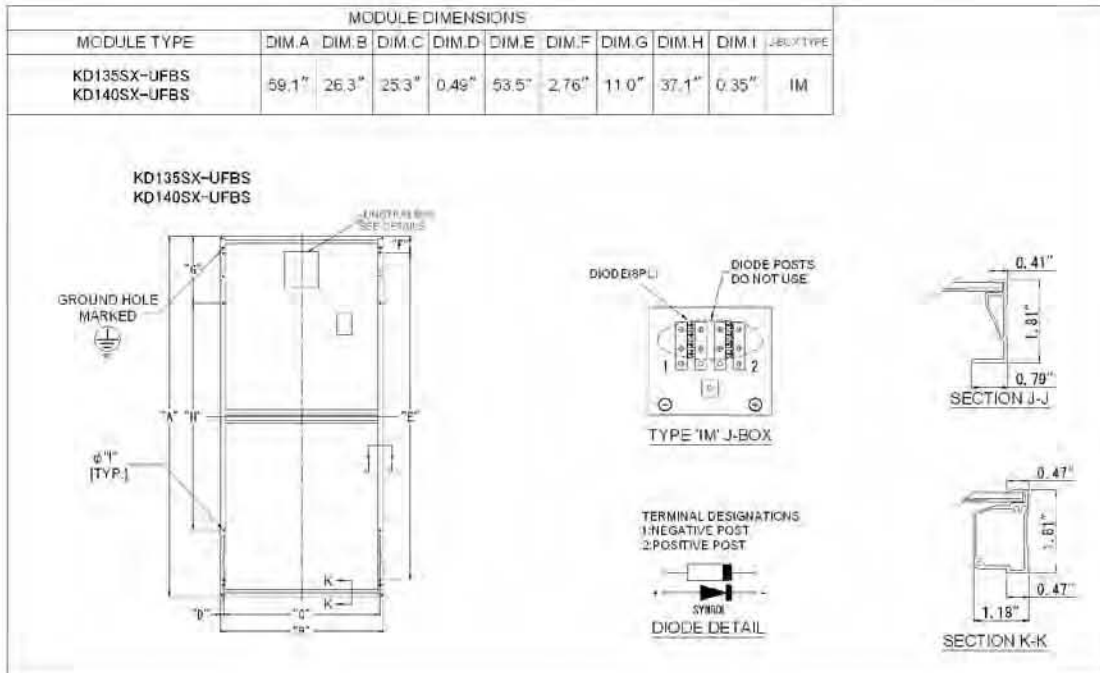
■ KYOCERA Solar do Brasil Ltda.  
Av. Adolpho de Meireles, 3700, Jd. Siqueira, 55-B, Balneário Camboriú, 89.010-005  
Rio de Janeiro, 22796-881, Brazil  
Phone: 55-21-3724-3800  
Fax: 55-21-3724-3911  
<http://www.kyocerasolar.com.br/>

**Table.2 The KDxxxSX-UFBS Series Module Specification**

<b>Electrical Characteristics : @ STC</b>		
Model Type	KD135SX-UFBS	KD140SX-UFBS
Rated Power, Watts (Pmax) (W)	135	140
Open Circuit Voltage (Voc) (V)	22.1	22.1
Short Circuit Current (Isc) (A)	8.37	8.68
Voltage at Load (Vpm) (V)	17.7	17.7
Current at Load (Ipm) (A)	7.63	7.91
Maximum System Voltage	600	
Recommended maximum number of PV modules connected in series	21	
Factory installed Bypass Diode (Qty)	8	
Series Fuse Rating (A)	15	
<b>Thermal Characteristics :</b>		
Temp. Coefficient of Voc (V / °C)	$-0.80 \times 10^{-3}$	$-0.80 \times 10^{-3}$
Temp. Coefficient of Isc (A / °C)	$5.02 \times 10^{-3}$	$5.21 \times 10^{-3}$
Temp. Coefficient of Vpm (V / °C)	$-9.20 \times 10^{-3}$	$-9.22 \times 10^{-3}$
<b>Physical Characteristics :</b>		
Length, Inches (mm)	59.1 (1500)	
Width, Inches (mm)	26.3 (668)	
Depth (frame), inches (mm)	1.81 (46)	
Weight Pounds (kg)	28.4 (12.9)	
Mounting Hole Diameter, Inches (mm)	0.35 (9) Qty-4pcs.	
Grounding Hole Diameter, Inches (mm)	0.35 (9) Qty-4pcs.	
Application Class	Class A	


**NOTES**

- (1) The electrical characteristics are within +/-5% (UL verified 10% tolerance, according to UL 1703) of the installed values of Pmax and within +/-10% of the installed values of Isc and Voc under standard test conditions (irradiance of 1000W/m<sup>2</sup>, AM 1.5 spectrum, and a cell temperature of 25 deg C).
- (2) See module specification sheet for most recent electrical characteristics.
- (3) See module drawing for mounting grounding holes locations.

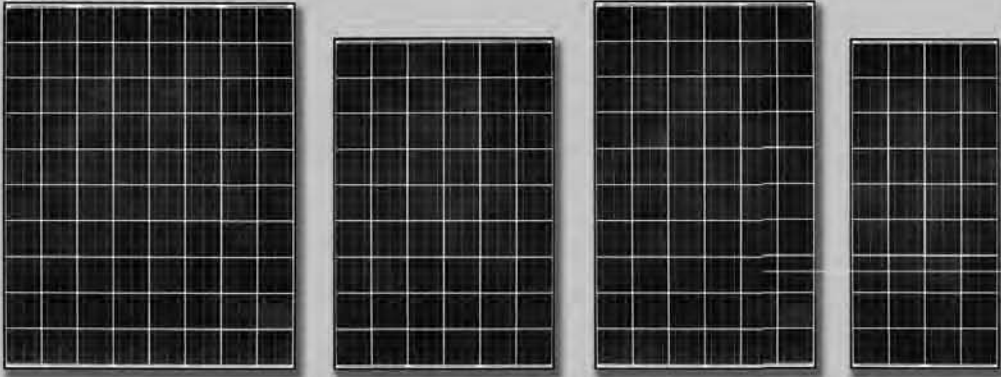




**KD MODULES**

 **KYOCERA**

**KD F Series Family**




**KYOCERA KD MODULES**

Kyocera multicrystal photovoltaic KD Modules utilize a larger, more powerful, high efficiency 156mm x 156mm solar cell and produce higher output per module.

- Quality locking plug-in connectors to provide safe and quick connections
- UV stabilized, heavy duty, and aesthetically pleasing black anodized aluminum frame
- Easily accessible grounding points on all four corners for fast installation
- Proven junction box technology with 12 AWG PV wire to work with transformerless inverters

**RELIABLE**

- Proven superior field performance
- First module to pass rigorous long-term testing performed by TÜV Rheinland
- Pass Salt Mist Corrosion Test Severity 6, most severe test conditions, performed by TÜV Rheinland

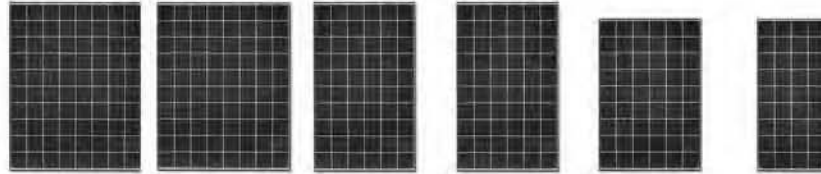


**KYOCERA EMPOWERS YOUR FUTURE**

Kyocera began research and development of solar energy back in 1975. Since then, we have been leading the solar industry with the development of the most efficient and cost-effective systems available. With over 39 years of experience in solar, Kyocera is a natural industry leader. Our modules are ideal for a wide range of applications from utility-scale to on-grid commercial and residential, providing superior field performance among the competition. Kyocera stands behind its products and has a proven reputation within the solar industry for quality and reliability.

**SOLAR by KYOCERA**

SPECIFICATIONS



Standard Test Conditions (STC)  
 STC = 1000 W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C module temperature, AM 1.5 spectrum\*

	KD325	KD220	KD250	KD245	KD220	KD140
Maximum Power	325W	320W	250W	245W	220W	140W
Number of Cells	80	80	60	60	54	36
Tolerance	+5% / -0%	+5% / -0%	+5% / -0%	+5% / -0%	+5% / -0%	+7% / -0%
Maximum System Voltage	600V	600V	600V	600V	600V	600V
Maximum Power Voltage	40.3V	40.1V	29.8V	29.8V	26.6V	17.7V
Maximum Power Current	8.07A	7.99A	8.39A	8.23A	8.28A	7.91A
Open Circuit Voltage	49.7V	49.5V	36.9V	36.9V	33.2V	22.1V
Short Circuit Current	8.69A	8.60A	9.09A	8.91A	8.98A	8.68A
Series Fuse Rating	15A	15A	15A	15A	15A	15A
Length	65.4"	65.4"	65.4"	65.4"	59.1"	59.1"
Width	52.0"	52.0"	39.0"	39.0"	39.0"	26.3"
Depth	1.81"	1.81"	1.81"	1.81"	1.81"	1.81"
Weight	60.6 lbs	60.6 lbs	44.1 lbs	44.1 lbs	41.0 lbs	28.4 lbs
Termination Method	Locking Plug-in Connectors					

\* Subject to variation in your circuit environment of ±2%  
 KYOCERA America, Inc. and its subsidiary companies  
 may not be liable for specifications, visit [www.kyocerasolar.com](http://www.kyocerasolar.com)

NEC 2008 COMPLIANT  
 UL 1703 LISTED  
 CERTIFIED IEC61215 ED2 IEC61730 BY JET  
 IEC 61701 Ed. 2 Severity 6 (Salt Mist Corrosion Test)

\*\*Always read the instructions  
 manual before installing any  
 solar equipment to ensure  
 safe Kyocera Solar Modules

032114

Datasheet

## M215™ Microinverter



The Enphase Energy Microinverter System improves energy harvest, increases reliability and dramatically simplifies design, installation and management of solar power systems.

The Enphase System includes the microinverter, the Envoy Communications Gateway™ and Enlighten®, Enphase's monitoring and analysis software.

**PRODUCTIVE** [ - Maximum energy production  
- Resilient to dust, debris and shading  
- Performance monitoring per module

**RELIABLE** [ - System availability greater than 99.8%  
- No single point of system failure

**SMART** [ - Quick and simple design, installation and management  
- 24/7 monitoring and analysis

**SAFE** [ - Low voltage DC  
- Reduced fire risk

[e] enphase  
ENERGY



## M215™ — MICROINVERTER TECHNICAL DATA

Input Data (DC)		M215-60-2LL-S22/S23 and M215-60-2LL-S22-NA/S23-NA (Ontario)	
Recommended input power (STC)	190 - 260W		
Maximum input DC voltage	45V		
Peak power tracking voltage	22V - 36V		
Operating range	16V - 36V		
Min./Max. start voltage	22V/45V		
Max. DC short circuit current	15A		
Max. input current	10.5A		
Output Data (AC)		@208 Vac	@240 Vac
Maximum output power	215W	215W	
Nominal output current	1.0A (rms at nominal duration)	0.9A (rms at nominal duration)	
Nominal voltage/range	208V/183-229V	240V/211-264V	
Extended voltage/range	208V/179-232V	240V/206-269V	
Nominal frequency/range	60.0/59.3-60.5 Hz	60.0/59.3-60.5 Hz	
Extended frequency range	60.0/59.2-60.6 Hz	60.0/59.2-60.6 Hz	
Power factor	>0.95	>0.95	
Maximum units per 20A branch circuit	25 (three phase)	17 (single phase)	
Maximum output fault current	1.05 Arms, over 3 cycles; 25.2 Apeak, 1.74ms duration		
Efficiency			
CEC weighted efficiency	96.0%		
Peak inverter efficiency	96.3%		
Static MPPT efficiency (weighted, reference EN50530)	99.6%		
Dynamic MPPT efficiency (fast irradiation changes, reference EN50530)	99.3%		
Night time power consumption	46mW		
Mechanical Data			
Ambient temperature range	-40°C to + 65°C		
Operating temperature range (internal)	-40°C to + 85°C		
Dimensions (WxHxD)	17.3 cm x 16.4 cm x 2.5 cm (6.8" x 6.45" x 1.0")*		
Weight	1.6 kg (3.5 lbs)		
Cooling	Natural convection - No fans		
Enclosure environmental rating	Outdoor - NEMA 6		
* without mounting bracket			
Features			
Compatibility	Pairs with most 60-cell PV modules		
Communication	Power line		
Warranty	25-year limited warranty		
Monitoring	Free lifetime monitoring via Enlighten software		
Compliance	UL1741/IEEE1547, FCC Part 15 Class B CAN/CSA-C22.2 NO. 0-M91, 0.4-0.4, and 107.1-01		



B5: Cotización empresa Solartronic, S.A de C.V.



**Solartronic, S.A. de C.V.**  
 Av. Morelos Sur No.90, 62070 Chilitlán, Cuernavaca, Mor., México  
 Tel Fax: +52(55)318 9714 e-mail:mexico@solartronic.com

Cuernavaca, Morelós, Abril 03 de 2014  
 Cotización: 2189

**ENRIQUE BONFIL**  
**ACAPULCO, GUERRERO**

En atención a su amable solicitud, tenemos al agrado de presentar la siguiente oferta comercial.

**SOL-RED-0.480k Sistema solar para interconexión a red pública a base de un arreglo solar multicristalino marca Yingli de 480 Wp. Generación diaria de aproximada de 2 kWh. Salida a 220/240 VCA mediante inversores CD/CA de 215 W instalados en los mismos paneles.**

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO U.	PRECIO
2	YL240P-29b-H4 Módulo Fotovoltaico Policristalino de 240 W, Vmp=29.5V, Imp=8.14A, Voc=37.5V, Isc=8.65A	USD 303.00	USD 606.00
2	Microinversor marca Enphase modelo M215 de 215W, para dos fases 240V	USD 210.00	USD 420.00
1	Cable conector Enphase con dos entradas para microinversor	USD 49.50	USD 49.50
1	Conector terminado Enphase ET-TERM10	USD 19.60	USD 19.60
1	SB-X2 Bastidor de aluminio 6.3mm para 2 módulos de 24W, Fijación a piso o losa de concreto	USD 154.80	USD 154.80
1	Caja de seccionamiento, 10 metros de cable uso rudo para conectar inversor a centro de carga y tierras físicas	USD 150.00	USD 150.00
		<b>Sub total:</b>	<b>USD 1,399.90</b>
		<b>IVA:</b>	<b>USD 223.98</b>
		<b>Total:</b>	<b>USD 1,623.88</b>

**Opcionalmente**

CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO U.	PRECIO
1	Medidor bidireccional marca Sentinel a dos fases	USD 645.00	USD 645.00
1	Instalación de sistema FV de 480W, en techo o losa de concreto, el cable se fija en pared sin ranuras, no se incluye obra civil y conexión a centro de carga existente	USD 250.00	USD 250.00
		<b>Sub total:</b>	<b>USD 895.00</b>
		<b>IVA:</b>	<b>USD 143.20</b>
		<b>Total:</b>	<b>USD 1,038.20</b>

Nota: No se incluye el trámite ante CFE, flete de envío de paneles solares, ni obra civil alguna, el cableado es visible por pared, si se desea que la instalación sea en tubería conduit se cotizaría por separado, después de una visita al lugar

Sin más por el momento y en espera de sus comentarios, quedo de usted como su atento y seguro servidor.

ATENTAMENTE

Isaias Rodríguez Ramirez



**CONDICIONES COMERCIALES**

1. Estos precios NO incluyen accesorios para instalación ni transporte y mantenimiento del equipo.
2. Vigencia de oferta 30 días
3. Suministro: 01 año de garantía de soporte en integración del sistema, y tres días de instalación y pruebas del sistema.
4. El precio es en dólares americanos o su equivalente en pesos por cada cabi por el cambio de venta en billete verde según el promedio de las cotizaciones que reporten las casas de cambio principales, vigentes en el día de la oferta.
5. Condiciones de pago: 100% a la orden de compra mediante depósito o transferencia electrónica a moneda nacional en alguna de las siguientes cuentas:

<b>Scotia Bank Inverlat</b> No. 03902156598 CLABE: 044540039021565985 Sucursal: 008	<b>DOLARES</b> <b>Scotia Bank Inverlat</b> No. 03900002593 SWIFT#: MBCOMXMM
----------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

6. Lugar de Entrega: LAB Cuernavaca, Morelos.
  - a. El envío de la mercancía será por cuenta y riesgo del cliente, Solartronic se libera de toda responsabilidad.
  - b. El cliente es responsable por la mercancía a partir del momento en que se entrega en el punto de destino y por el seguro de la mercancía en caso de siniestro o pérdida.

B6: Cotización empresa Solar HS, S.A. de C.V.

<b>Datos del Cliente</b> Cliente: Acapulco Oro Dirección: Teléfono: Email: b.morales@live.com.ar <b>NUMERO DE COTIZACION: 07032013 Interconexion a la RED</b>			
<b>Especificaciones SISTEMA FOTOVOLTAICO</b> Usos: GENERACION DE ENERGIA # kWh		Fecha: 03/05	Precios (USD)
		CANTIDAD	PRECIO UNITARIO TOTAL
Modulos Monofasicos de 250 watts	8	\$750.00	\$6,000.00
Bastidores de para 8 Modulos	2	\$145.00	290.00
Instalacion de los equipos	1		1,887.00
Incluye:			
<b>No incluye medidor bidireccional, gestion con CFE.</b> Cotización sujeta a tipo de cambio Los trabajos de albanileria y pintura corren a cargo del cliente FORMA DE PAGO: 80% ANTECIPADO, Y 20% CON EQUIPO FUNCIONANDO		SUBTOTAL	\$8,177.00
		IVA	\$1,308.32
		Total	\$9,485.32
		Gran Total en M.N.	\$123,793.43
ATTE: SERGIO MEJIA REYNA sergiomelia@solarhs.com.mx www.solarhs.com.mx			
01 (777) 2-43-28-30 Cuernavaca Morelos.		Av. Atlixcomtlan 136 Col. Acapulco Oro Cuernavaca, Morelos (01 777) 2-43-28-30	







**DATOS DE REFERENCIA**

Cliente:	Enrique Bonfil Perez		
Telefono-email:	enbop@ier.unam.mx		
Ubicación del Proyecto:	Guadalajara	Jal	
Necesidad de energía por día, promedio por año:	8.62	kwh	
Consumo en kwh bimestre promedio por año (MAY-2013-MAY-2014):	517.2	kwh	Solo referencia no hay recibo CFE
No. de hilos:	1		
Voltaje de operación:	127	vac	
Insolación global media del lugar promedio anual:	5	kwh/m2 día	(5d)

<b>SISTEMA FOTOVOLTAICO RECOMENDADO</b>	<b>1</b>	<b>kw potencia nominal</b>
Para generar en promedio	<b>5</b>	<b>kwh/día</b>

**Parametros de configuración**

Numero de paneles solares	4	paneles
Potencia del panel solar	250	w
Área necesaria para instalación paneles	8.8	m2 aprox
Numero de inversores	10	paneles
Potencia máxima en cc del Inversor	0.250	kw
Potencia máxima en ca del Inversor	0.236	kw
Temperatura ambiente max. frío	0	°C
Temperatura ambiente max. caliente	45	°C
Frecuencia de la red	59.3-60.5	Hz
Rango de voltaje de salida	127	vac
Corriente máxima del generador	7.2	amp

**Datos de Pago en recibo CFE**

Total de consumo promedio anual en kw actual según recibo CFE	8.62	kwh día	costo por día
Kw en consumo básico los primeros 75kw (\$ 80 por kw)	0	kwh día	\$0.00
Kw en consumo intermedio por cada uno de los siguientes 65kw (\$ 1.09 por kw)	0	kwh día	\$0.00
Kw en consumo excedente por cada kwh adicional a los anteriores (\$ 3.19 por kw)	0	kwh día	\$0.00
Kw en consumo tarifa alto consumo DAC (\$ 3.97 por kw)	8.62	kwh día	\$34.22
Consumo mensual en pesos por kwh actual	\$1,026.64	kwh/mes	
Consumo bimestral actual en pesos	\$2,053.28	Iva incluido	
Consumo anual en pesos	\$12,319.70	Iva incluido	
Costo promedio de Tarifa pagada a CFE (DAC)	\$4.14	kwh/mes	
Consumo proyectado a 10 años	\$216,195.22	Iva incluido	

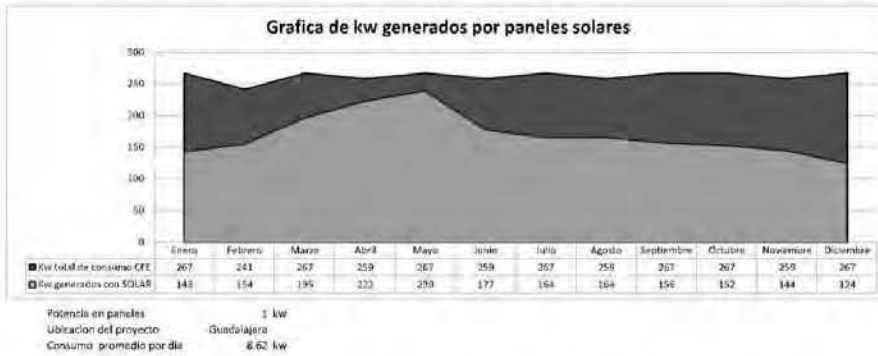
\* tasa de incremento promedio anual del 12% al precio del kwh (entre 2002-2012)



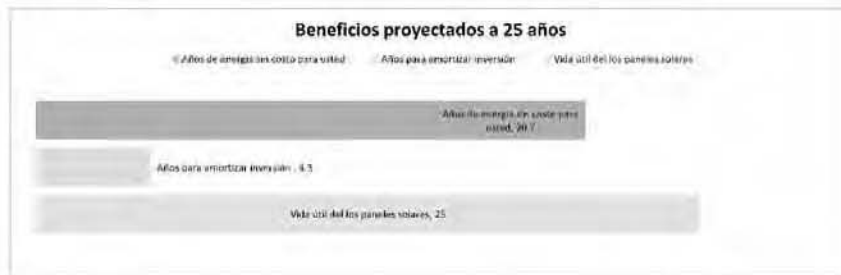
**\* Datos del sistema recomendado**

Producción de energía por bimestre promedio anual	300	kwh
Consumo de energía a pagar a CFE mensual	3.62	kwh/día
Pago a CFE estimado por bimestre	\$362.72	pesos M.N.
Costo de inversión del equipo	\$41,953.14	pesos M.N.
Periodo de amortización Estimado	4.3	años
Porcentaje de aportación del equipo solar	64.88%	%
Vida útil del equipo proyectada mayor a	25	años
Periodo de uso de energía GRATIS después de amortizar	20.7	años

\* Datos informativos para análisis



Meses	* Insuficiencia Global media inclinación a latitud en México en kWh/m <sup>2</sup> día			Consumo actual en kw pagados a CFE			Ahorros con paneles solares actualización por año +12%				
	*Energía solar kWh/m <sup>2</sup> día	Energía generada por panel kw/día	porcentaje de ahorro	kwh mensual	precio a kw	pago a CFE	ahorro anual	Acumulado	costo inversión		
Enero	4.6	4.6	143	53%	267	\$ 4.14	\$ 1,106.29	1 año	\$ 8,425.51	\$ 8,425.51	\$ 41,953.14
Febrero	5.5	5.5	154	64%	241	\$ 4.14	\$ 999.23	7 año	\$ 9,436.57	\$ 17,867.07	\$ 41,953.14
Marzo	6.3	6.3	195	73%	267	\$ 4.14	\$ 1,106.29	3 año	\$ 10,568.96	\$ 28,431.01	\$ 41,953.14
Abril	7.4	7.4	222	85%	259	\$ 4.14	\$ 1,070.60	4 año	\$ 11,837.23	\$ 40,268.26	\$ 41,953.14
Mayo	7.7	7.7	239	89%	267	\$ 4.14	\$ 1,106.29	5 año	\$ 13,257.70	\$ 53,525.96	\$ 41,953.14
Junio	5.9	5.9	177	68%	259	\$ 4.14	\$ 1,070.60	6 año	\$ 14,848.67	\$ 68,374.58	\$ 41,953.14
Julio	5.3	5.3	164	61%	267	\$ 4.14	\$ 1,106.29	7 año	\$ 16,630.46	\$ 85,005.03	\$ 41,953.14
Agosto	5.3	5.3	164	61%	258	\$ 4.14	\$ 1,070.60	8 año	\$ 18,626.11	\$ 103,631.14	\$ 41,953.14
Septiembre	5.2	5.2	156	58%	267	\$ 4.14	\$ 1,106.29	9 año	\$ 20,861.24	\$ 124,492.38	\$ 41,953.14
Octubre	4.9	4.9	152	57%	267	\$ 4.14	\$ 1,106.29	10 año	\$ 23,364.58	\$ 147,856.98	\$ 41,953.14
Noviembre	4.8	4.8	144	56%	258	\$ 4.14	\$ 1,070.60	11 año	\$ 26,168.84	\$ 174,025.82	\$ 41,953.14
Diciembre	4	4	124	46%	267	\$ 4.14	\$ 1,106.29	12 año	\$ 29,308.55	\$ 203,333.87	\$ 41,953.14
Promedio mensual anual =	5.575	porcentaje	64.68%	Pago anual	\$ 13,025.68						



\* Estos datos son solo de carácter informativo/proyección para análisis y estudio sobre los consumos y ahorros de energía estimados a futuro.

B8: ficha técnica de los parámetros de Carrier para A/C.

CMYK

Carrier  
www.carriercca.com

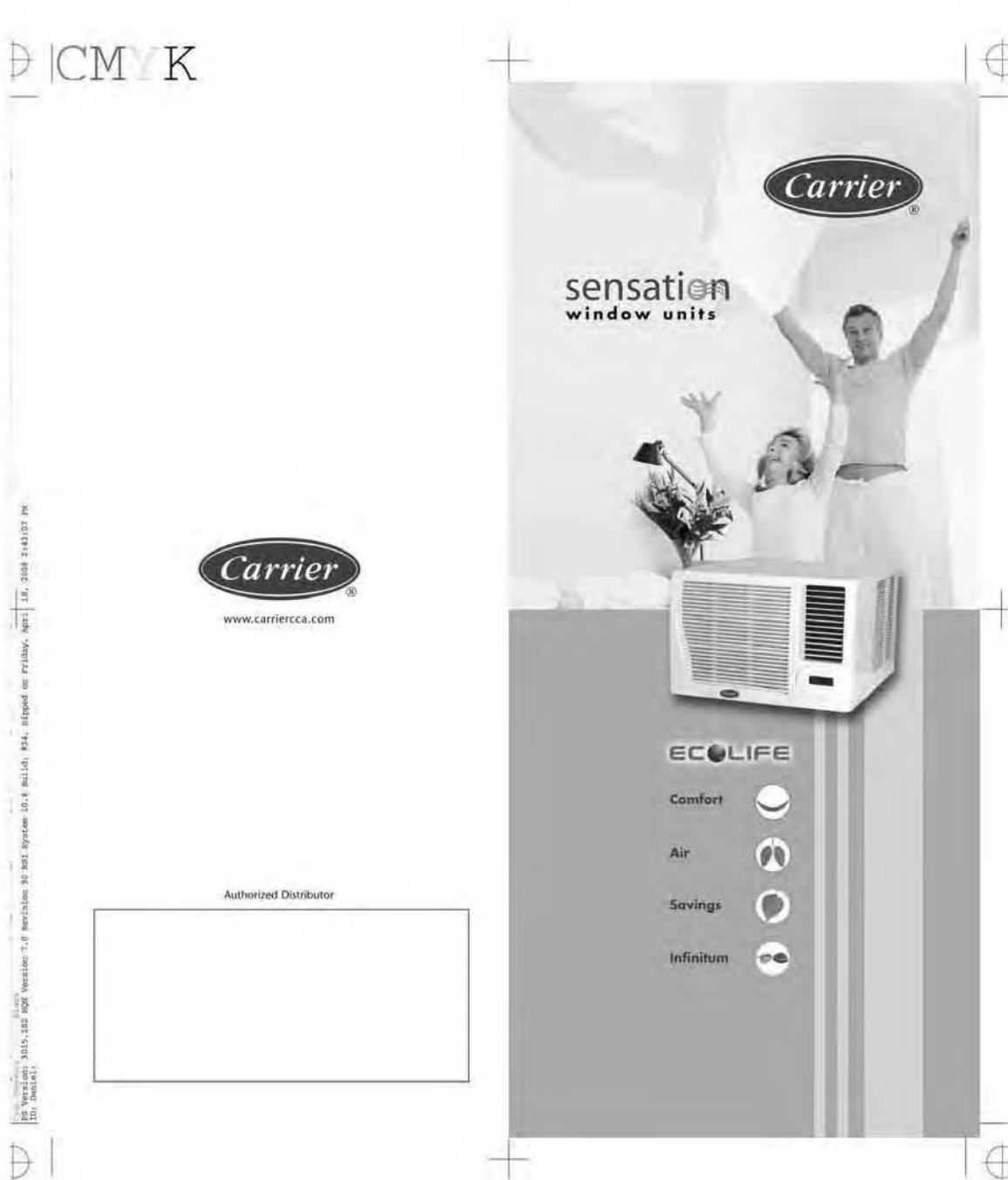
Authorized Distributor

Carrier  
sensation  
window units

ECOLIFE

- Comfort
- Air
- Savings
- Infinitem

PS Version: 3015\_302\_R00K Version: 7.0 Revision: 90 B8I System: 10.4 Build: #14, Shipped on Friday, April 16, 2009 2:43:07 PM  
100\_Daniel1



## sensation window units



5,000 BTU



8,000 - 24,000 BTU

- Timer function: 24 hours
- Window or wall installation
- Blue Infinitem protection
- DRY: automatic dehumidifier
- EXHAUST: air renovation
- Airswing: automatic air distribution
- 14 temperature levels
- Modern and compact design
- Operation: remote and manual

### ECOLIFE



#### Ecological Comfort

The Ecolife unit offers the perfect combination of cooling capacity, air movement, humidity and noise level during operation.



#### Ecological Air

At Carrier we worry about your health and about creating real comfort. That is why our window units have the EXHAUST and DRY function that renovates polluted air and humidity in the room.



#### Ecological Savings

Carrier window units are developed with high standards of energy efficiency, which translates into lower payments of energy consumption.



#### Ecological Infinitem

Anticorrosion Protection: Blue Infinitem creates a barrier between the aluminum and the copper tube, thus preventing corrosion. It lengthens the life of the unit up to three times compared to the normal aluminum blades. In addition, it can be used in coastal and urban surroundings.

Model	WRCA051R 1/2 ton	WRCAR081R 3/4 ton	WRCAR121R 1 ton	WRCAR123R 1 ton	WRCAR183R 1.5 ton	WRCAR243R 2 ton
Type	remote/manual	remote/manual	remote/manual	remote/manual	remote/manual	remote/manual
BTU/HR Capacity	5,000	8,000	12,000	12,000	18,000	24,000
EER	9.9	9.8	9.8	9.8	9.7	8.5
V-F-Hz	115-1-60	115-1-60	115-1-60	220-1-60	220-1-60	220-1-60
Noise level (low - high)	54 - 62	56 - 58	54 - 58	54 - 58	56 - 63	58 - 62
Dimensions - in (length - width - height)	17.7x13.1x12.4	17.7x22.8x13.8	22.0x23.6x14.8	22.0x23.6x14.8	25.9x30.3x16.9	25.9x30.3x16.9
Package size - in (length - width - height)	20.2x15.6x13.8	20.9x26.8x16.9	25.9x18.0x28.5	25.9x18.0x28.5	28.9x31.1x19.7	28.9x33.9x19.7
Net weight - kg	21	36	44	44	62	70
Weight - kg	25	40	47	47	66	74
Amperes (A)	4.95	7.4	11.1	5.6	8.4	12.9

Carrier is a registered trademark of Carrier Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners. © 2008 Carrier Corporation.