

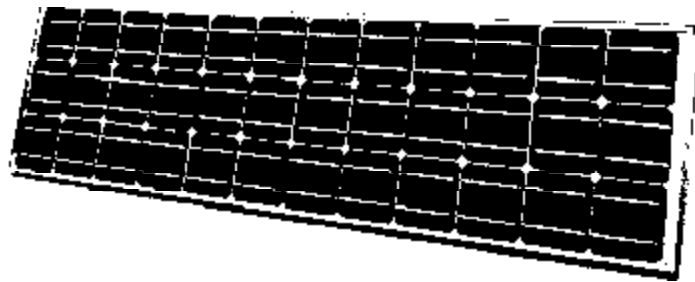
# CAPITULO 4

# EL PANEL

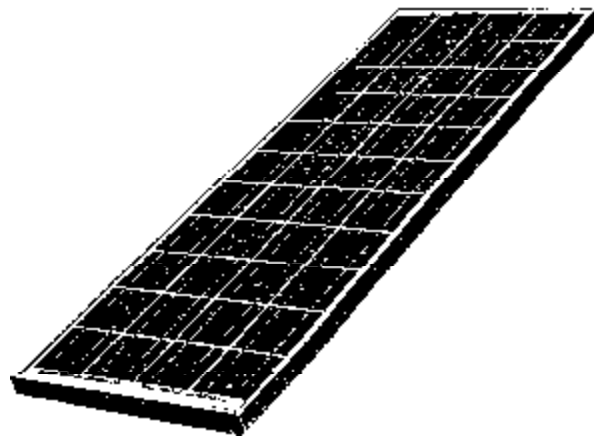
# FOTOVOLTAICO

## EL PANEL FOTOVOLTAICO

A partir de este capítulo, cuando se hace referencia a una celda FV asumiremos que ésta usa al selenio como material semiconductor. Esta es la asunción más práctica, dado que el selenio es el material de mayor uso en el mercado actual. El máximo voltaje de salida de estas celdas es de alrededor de 0,5V. La superficie activa de las celdas está diseñada para sostener una corriente de alrededor de 3,5A. Como el mínimo voltaje usado en los sistemas FVs es de 12V *nominales*, para alcanzar este valor se deben conectar varias celdas *en serie*. ***La estructura mecánica que contiene estas celdas se denomina panel fotovoltaico.*** Las Figuras 4.1 y 4.2 muestran dos de estos componentes.



**Fig. 4.1- Panel FV Cristalino**  
(Cortesía de Siemens Solar Industries)



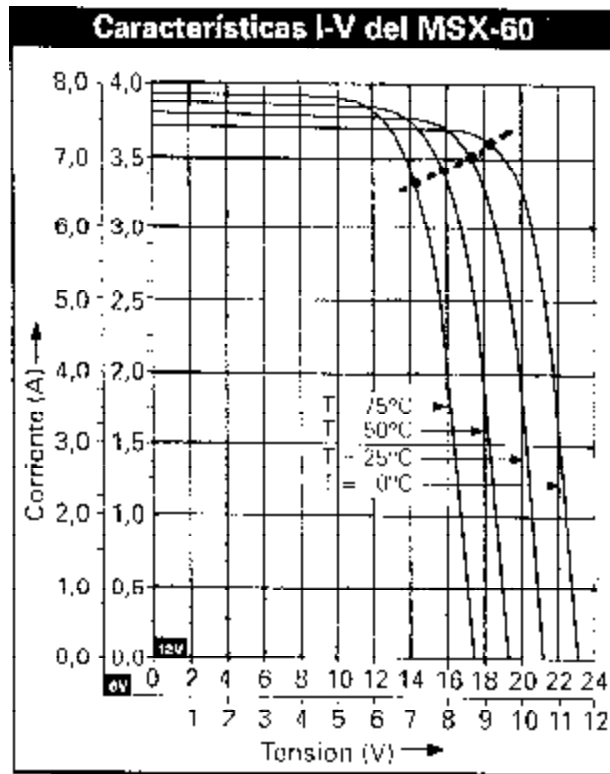
**Fig. 4.2- Panel FV Policristalino**  
(Cortesía de Kyocera America, Inc.)

## CAPITULO 4- EL PANEL FOTOVOLTAICO

<b>VOLTAJE DE SALIDA</b>	El número de celdas en un panel, y por lo tanto su voltaje de salida, depende de la estructura cristalina del semiconductor usado. El fabricante, teniendo en cuenta este factor, así como el comportamiento anticipado para el caso más desfavorable, decide en el número mínimo que garantiza la carga efectiva del banco de baterías. Puede observarse que el panel de la Fig. 4.1 utiliza treinta y seis (36) celdas en serie, el de la Fig. 4.2 cuarenta y cuatro (44).
<b>FORMA GEOMETRICA</b>	Cuando la forma geométrica de las celdas es un cuadrado, la superficie del panel será la mínima para un número dado de celdas, ya que el espacio entre ellas es prácticamente nulo. Esto permite la realización de un panel de menor tamaño, lo que abarata algo el costo del mismo y el de su transporte. Un panel de menor tamaño minimiza la superficie requerida para satisfacer la carga del sistema, reduciendo la superficie expuesta al viento. Los paneles modernos tienen celdas cuadradas (o con esquinas redondeadas), los más antiguos tienen celdas circulares.
<b>ENSAMBLADO MECANICO</b>	Los detalles del ensamblado mecánico de un panel varía con cada fabricante. A pesar de ello existen puntos comunes para todas las realizaciones. Para proteger las celdas, éstas son firmemente adheridas a una superficie de sostén. Esta, a vez, pasa a formar una estructura “sandwich”, con dos capas plásticas de protección, una en la parte superior (translúcida y con protección a los rayos ultra-violetas) y otra en la parte inferior. El frente del panel (zona expuesta a la luz solar), tiene un vidrio templado (resistente al impacto) que protege a las celdas de los agentes meteorológicos (lluvia, granizo, nieve, polvo) y los golpes. El vidrio usado tiene un bajo contenido de plomo, para no reducir la transmitividad de la luz a través del mismo. La parte posterior tiene una capa dieléctrica (aisladora) y una cubierta de protección. Un marco de aluminio sirve para dar rigidez mecánica al conjunto, facilitando a su vez el montaje del panel al soporte. El marco exterior es de aluminio para evitar su deterioro por oxidación. Varios agujeros, ubicados en distintas partes de su perímetro, hacen innecesario el uso de máquinas de perforar, evitando el riesgo de dañar, accidentalmente, el panel FV.
<b>CONTACTOS ELECTRICOS</b>	En la parte trasera del panel se encuentran los contactos eléctricos. Las versiones más modernas tienen una caja de plástico, con tapa removible y agujeros laterales para la entrada y salida de los cables de conexión. Tanto la tapa como los agujeros laterales están diseñados para brindar protección ambiental y permitir un mejor anclado mecánico para los cables de conexión. Dentro de la caja se hallan dos bornes de salida. El terminal positivo tiene el símbolo (+), o una marca de color rojo; el
<b>POTENCIA DE SALIDA</b>	negativo tiene el símbolo (-), o una marca de color negro. La potencia máxima de salida de un panel FV es, sin duda alguna, la característica más importante del mismo. Salvo en casos de muy bajo consumo, la implementación de un sistema FV requiere el uso de paneles con potencias de salidas de 30 o más watts. Paneles con potencias por debajo de 30W no ofrecen una solución práctica, ya que la diferencia en costo no es suficiente para justificar el mayor número de paneles requeridos. Numerosas compañías ofrecen paneles con una potencia de salida en exceso de 40 W, y recientemente, han aparecido paneles de 100W. Los datos técnicos

**CURVAS I-V** de tres paneles FVs forman parte de este capítulo.

Si los valores de potencia luminosa y la orientación del panel *permanecen constantes*, la corriente de salida de un panel F.V. *varía con el valor del voltaje en la carga y su temperatura de trabajo*. Esto se debe a las características intrínsecas de los materiales semiconductores. La Figura 4.3 muestra, en forma gráfica, la relación entre la corriente y el voltaje de salida para un panel FV (curva I-V), para cuatro temperaturas de



trabajo, cuando el nivel de radiación permanece constante.

**CURVAS I-V:  
ZONA DE  
TRANSICION**

**Fig. 4.3- Relación I-V para un panel FV**

Si bien se ha seleccionado un panel en particular para esta ilustración, los restantes tienen un comportamiento similar, ya que utilizan celdas de silicio. Puede observarse que el valor máximo para el voltaje de salida corresponde a un valor de corriente nulo (voltaje a circuito abierto), mientras que el valor máximo para la corriente corresponde a un voltaje de salida nulo (salida cortocircuitada). Todas las curvas tienen una zona donde el valor de la corriente permanece *prácticamente constante* para valores crecientes del voltaje de salida, hasta que alcanzan una zona de transición. A partir de esta zona, pequeños aumentos en el voltaje de salida ocasionan bruscas disminuciones en el valor de la corriente de salida. El comienzo de la zona de transición se alcanza para menores valores del voltaje de salida cuando la temperatura de trabajo se incrementa.

**EFFECTO  
DE LA  
TEMPERATURA  
DE TRABAJO**

Tanto la corriente de cortocircuito como el voltaje a circuito abierto, se ven afectados por la temperatura de trabajo, pero el tipo de variación, así como su magnitud porcentual, son distintos para estos dos parámetros. Si tomamos como referencia los valores a 25°C, la corriente de cortocircuito *aumenta moderadamente* (+ 1,6% a 50°C; + 3,3% a 75°C), mientras que el voltaje a circuito abierto *disminuye*

*sensiblemente* (- 9,5% a 50°C; - 16,7% a 75°C).

Es por ello que los fabricantes tratan de ofrecer un voltaje de circuito abierto elevado a 25°C, de manera que el incremento en la temperatura de trabajo no impida el proceso de carga de las baterías. Cuando la temperatura de trabajo es menor que 25°C, el voltaje de circuito abierto crece, y la corriente de cortocircuito disminuye.

### MAXIMA POTENCIA DE SALIDA

Para cada condición de trabajo se puede calcular la potencia de salida del panel multiplicando los valores correspondientes al voltaje y la corriente para ese punto de la curva I-V. En particular, la potencia de salida es *nula* para dos puntos de trabajo: circuito abierto y cortocircuito, ya que la corriente o el voltaje de salida es nulo. Por lo tanto, si la salida de un panel es cortocircuitada, éste no sufre daño alguno. Entre estos dos valores nulos, la potencia de salida alcanza un valor máximo que varía con la temperatura. El valor máximo que corresponde a una temperatura de trabajo de 25°C se denomina “*valor óptimo*” o “*valor pico*” (Wp) del panel. Para determinarlo, se usan los valores estandarizados: potencia luminosa de 1 Sol; espectro luminoso correspondiente a M1,5. Los valores de voltaje y corriente asociados con este máximo (Vp e Ip) son los dados en la hoja de especificaciones para el panel. La Fig. 4.3 muestra, en línea de puntos, la ubicación de los valores de potencia máxima en función de la temperatura de trabajo. Estos están ubicados al comienzo de la zona de transición de la curva I-V para la temperatura en consideración. El valor de la potencia de salida a 0°C es el mayor de todos ellos.

### FACTOR DE DEGRADACION

Para la mayoría de los paneles FVs, cuando la temperatura de trabajo aumenta, el valor de la potencia de salida disminuye. En la práctica, debido a la disipación de calor dentro de las celdas del panel, salvo en climas muy fríos, la temperatura de trabajo excede los 25°C. Cuando ello ocurre, la potencia de salida nunca alcanza el valor pico especificado por el fabricante. El diseño de un sistema FV debe tener en cuenta esta degradación del panel, a fin de asegurar que los requerimientos eléctricos del sistema pueden ser satisfechos durante los días más calurosos del verano. Para el período invernal, si el mínimo para la temperatura promedio es menor a los 25°C, no se considera ninguna degradación para la potencia de salida pico. La degradación puede ser calculada usando los valores dados por las curvas I-V a alta temperatura, pero este proceso es tedioso e impreciso, dada la pobre resolución de las curvas publicadas por los fabricantes. Por ello es mucho más conveniente usar factores de

### EVALUACION DE LA POTENCIA DE SALIDA

degradación dados en forma porcentual con relación a la potencia pico.

El personal técnico de la revista “HOME POWER” ha llevado a cabo una serie de evaluaciones, usando paneles con celdas de diferente tipos, a temperaturas de trabajo no inferiores a los 50°C. Los resultados de estas pruebas han sido publicados en tres de sus números: el 24 (Págs 26-30) y el 33 (Págs 17-20) y el 49 (Págs 28-33). La última evaluación es la más interesante por dos motivos: fué llevada a cabo despues de un largo tiempo de uso de los paneles puestos a prueba y la temperatura de trabajo es la de verano. Ellos evaluaron nueve (9) paneles con tres (3) tipos diferentes de

### RESULTADOS

celdas: cristalina, policristalina y amorfa. Los resultados muestran que la mayoría de los paneles, independientemente del tipo de celda, ofrecen un coeficiente de degradación que oscila entre 0,7 y 0,86%. Sin

embargo es interesante destacar que tres paneles no siguen esta regla.

El ARCO Trilaminar Modelo M52L, con celdas cristalinas, exhibe un coeficiente de degradación de 0,05%, el Siemens M52L, también con celdas cristalinas, de 0,32%, y el Unisolar UPM880, del tipo amorfo, tiene un coeficiente de degradación negativo (más salida de poder que la nominal) de -0,066%. La temperatura de trabajo de todos los paneles osciló entre los 50 y 55°C. La mayoría de los paneles tenían 5 años de uso, y ninguno menos que un año. La potencia nominal ( $V_p \times I_p$ ) oscila entre los 22 y 105W.

### NOTA

Para nuestros cálculos, asumiremos un coeficiente de degradación para la potencia de salida del 0,6%/°C sobre los 25°C. Si Ud. desconoce el coeficiente de degradación del panel que ha elegido trate de obtener esa información del fabricante o use el coeficiente dado anteriormente para calcular su sistema.

La temperatura de trabajo que alcanza un panel FV obedece una relación lineal dada por la expresión:

$$T_t = T_a + k R \quad (1)$$

donde  $T_t$  es la temperatura de trabajo del panel,  $T_a$  es la máxima temperatura ambiente,  $R$  es el valor de la radiación solar en  $\text{mW/cm}^2$ , y  $k$  es un coeficiente que varía entre 0,2 y 0,4 °C.cm<sup>2</sup>/ mW, dependiendo de la velocidad promedio del viento. Cuando ésta es muy baja, o inexistente, el enfriamiento del panel es pobre o nulo, y  $k$  toma valores cercanos o iguales al máximo (0,4). Si la velocidad promedio del viento produce un enfriamiento efectivo del panel, el valor de  $k$  será el mínimo (0,2). El valor de  $R$  varía entre 80 y 100mW/cm<sup>2</sup>. Para locaciones con alto valor de insolación diaria se usa el valor máximo. Si existen nubes pasajeras que reducen el valor de irradiación, el valor de  $R$  se reduce a 80mW/cm<sup>2</sup>. El producto  $kR$  representa el incremento de temperatura que sufre el panel sobre la máxima temperatura ambiente.

### TEMPERATURA DE TRABAJO

El primer paso en el cálculo de la potencia de salida de un panel FV trabajando a una temperatura mayor que los 25°C, es determinar los valores de radiación solar y ambientales para la zona en que éste será usado. Asumiremos, como ejemplo, las siguientes condiciones: radiación solar: 80 mW/cm<sup>2</sup>; máxima temperatura de verano: 30°C; baja velocidad promedio del viento durante esa estación:  $k = 0,3$ . Reemplazando estos valores en la expresión (1) tendremos:

$$T_t = 30 + (0,3 \times 80) = 30 + 24 = 54^\circ\text{C}$$

Una vez conocido este valor, se determina el incremento en la temperatura de trabajo respecto a la de prueba (25°C). En nuestro ejemplo este valor es de 29°C. La expresión (2) da el valor de la potencia de salida de un panel trabajando a una temperatura  $T_t$ .

$$P_t = P_p - (P_p \times \delta \times \Delta T) \quad (2)$$

Donde  $P_t$  es la potencia de salida a la temperatura de trabajo ( $T_t$ );  $P_p$  es la potencia pico del panel (a 25°C);  $\delta$  es el coeficiente de degradación (0,6%/°C) y  $\Delta T$  es el

## CAPITULO 4- EL PANEL FOTOVOLTAICO

incremento de temperatura por sobre los 25°C.

Asumiendo que  $P_p=60W$ , reemplazando los valores dados para cada una de las variables se tiene:

$$P_t = 60 - (60 \times 0,006 \times 29) = 60 - 10,44 = 49,56 \text{ W}$$

Con un error de +0,08% podemos redondear este valor a 49,6W. Para temperaturas de trabajo más elevadas, como es común en las zonas desérticas, donde la radiación es elevada y los vientos son inexistentes durante el verano, la temperatura de trabajo del panel se elevará, incrementándose la pérdida de la potencia de salida.

### PRESENTACION

#### DE LOS DATOS TECNICOS

Para familiarizar al lector con la lectura de las especificaciones técnicas de un panel FV, usaremos las proporcionadas por las compañías Solarex, Kyocera y Siemens, para sus modelos MSX-60, LA361K51 y M55, respectivamente. Los tres paneles han sido elegidos por tener valores similares para la potencia pico de salida. Los datos técnicos para un panel FV contienen los siguientes tópicos: información genérica, eléctrica y mecánica.

### INFORMACION

#### GENERICA

El tipo de celda, los detalles sobre el ensamblado mecánico, la eficiencia de conversión y el tipo de garantía dada por el fabricante, forman parte de la información genérica.

### PARAMETROS

#### ELECTRICOS

Los valores de potencia, voltaje y corriente pico, así como los valores del voltaje a circuito abierto y corriente de cortocircuito del panel forman parte de la información eléctrica. Esta es complementada con notas aclaratorias al pie de página, cuya función es especificar las condiciones usadas durante la evaluación de un determinado parámetro. Muchos fabricantes incorporan información sobre las curvas I-V para diferentes temperaturas de trabajo, así como para distintos niveles de radiación. Si esta información no le satisface, escribiendo al fabricante o distribuidor del producto le permitirá obtener más información, o con mayor detalle.

### NOTAS

Los valores dados para la potencia pico de salida son, comúnmente, valores típicos. Esto significa que algunos paneles pueden tener un valor más alto o más bajo que el especificado. Observe que la compañía Solarex garantiza un valor mínimo para la potencia pico de sus paneles, mientras que la compañía Siemens garantiza que el valor medido en fábrica no varía más de +/-10% del especificado como el óptimo. Algunos fabricantes incluyen un coeficiente de degradación para la potencia de salida, mientras que otros no lo proporcionan. Si el lector considera que la información provista no le satisface, contacte al fabricante o al distribuidor como se indicó anteriormente, o utilice el coeficiente de degradación adoptado en esta publicación.

### PARAMETROS

#### MECANICOS

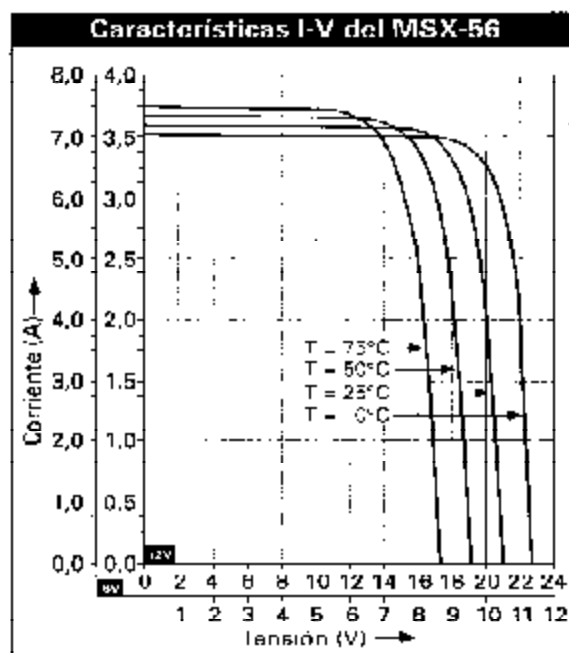
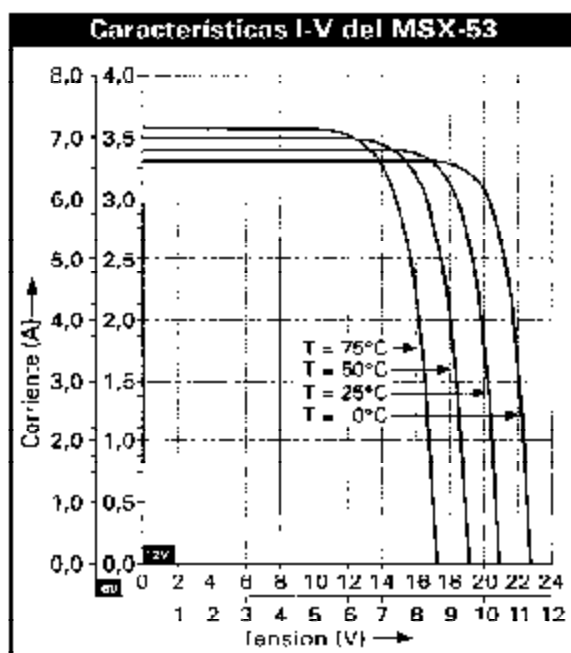
La información mecánica proporciona las dimensiones físicas del panel, las que incluyen las perforaciones de montaje. Algunos fabricantes complementan esta información con notas de precaución de manejo.

### INFORMACION

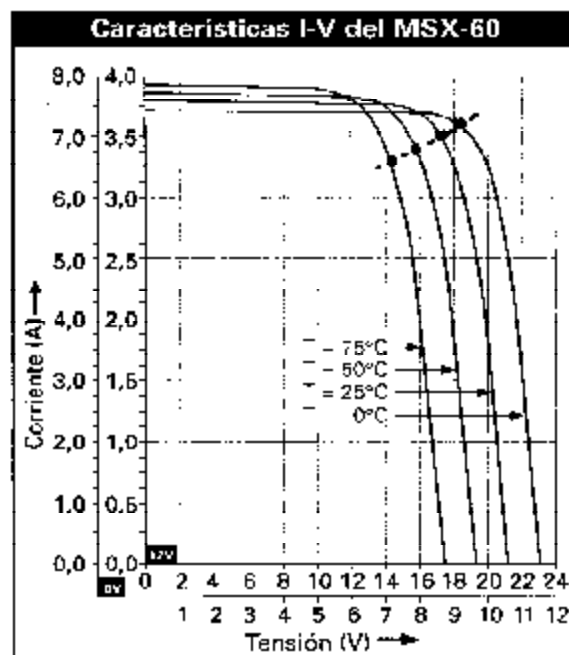
#### TECNICA

Las Figuras 4.4 a 4.6 reproducen las hojas de especificaciones eléctricas y mecánicas para los tres paneles mencionados en este capítulo.

## Características Físicas



Potencia máxima típica (P <sub>mp</sub> )	53 W	56 W	60 W
Voltaje a potencia máxima (V <sub>mp</sub> )	16,7 V	16,8 V	17,1 V
Corriente de corto circuito (I <sub>sc</sub> )	3,2 A	3,35 A	3,5 A
Potencia máxima (mínima garantizada)	50 W	54 W	58 W
Corriente de corto circuito (I <sub>sc</sub> )	3,4 A	3,6 A	3,8 A
Voltaje de circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	20,6 V	20,8 V	21,1 V
Coefficiente de temperatura para voltaje de circuito abierto	73 mV/°C	73 mV/°C	73 mV/°C
Coefficiente de temperatura para corriente de corto circuito	3,0 mA/°C	3,3 mA/°C	3,0 mA/°C
Efecto aproximado de la temperatura sobre la potencia	-0,38%/°C	-0,38%/°C	-0,38%/°C
Temperatura nominal de operación de la célula	45°C	45°C	45°C



## Notas:

(1) Estos datos representan el rendimiento típico de las células medidos en los terminales de salida, y no toman en consideración el efecto de equipos adicionales tales como diodos y cables. Los datos se basan en mediciones hechas bajo condiciones normales de prueba (STC). Estas son las siguientes: iluminación de 1 KW/m<sup>2</sup> (1 soL) y distribución espectral de AM 1.5, temperatura de la célula a 25°C salvo que la curva especifica otra.

(2) Para determinar las características eléctricas de módulos configurados para voltajes nominales de 6V, utilice la escala de 6V en las gráficas. Sin embargo, para mayor exactitud, divida entre dos los valores de voltaje a 12 V y multiplique por dos los valores de la corriente a 12V, los cuales están marcados en las tablas; la potencia permanece constante.

(3) Bajo casi todas las condiciones climáticas, las células solares operan a mayor temperatura que la del ambiente. Hay que tener presente esto cuando se lean los datos y especificaciones de un módulo. La temperatura nominal de operación de la célula indica este aumento, y es conocida como la temperatura de la célula bajo Condiciones de Operación Standard (SOC). Estas condiciones son: temperatura ambiente de 20°C, radiación solar de 0,81KW/m<sup>2</sup>, AM 1.5 y velocidad media del viento de 1 m/seg.

**Fig. 4.4- Hoja de Especificaciones para el Panel MX-60**  
(Cortesía de Solarex Corp.)

### Characteristic Physics

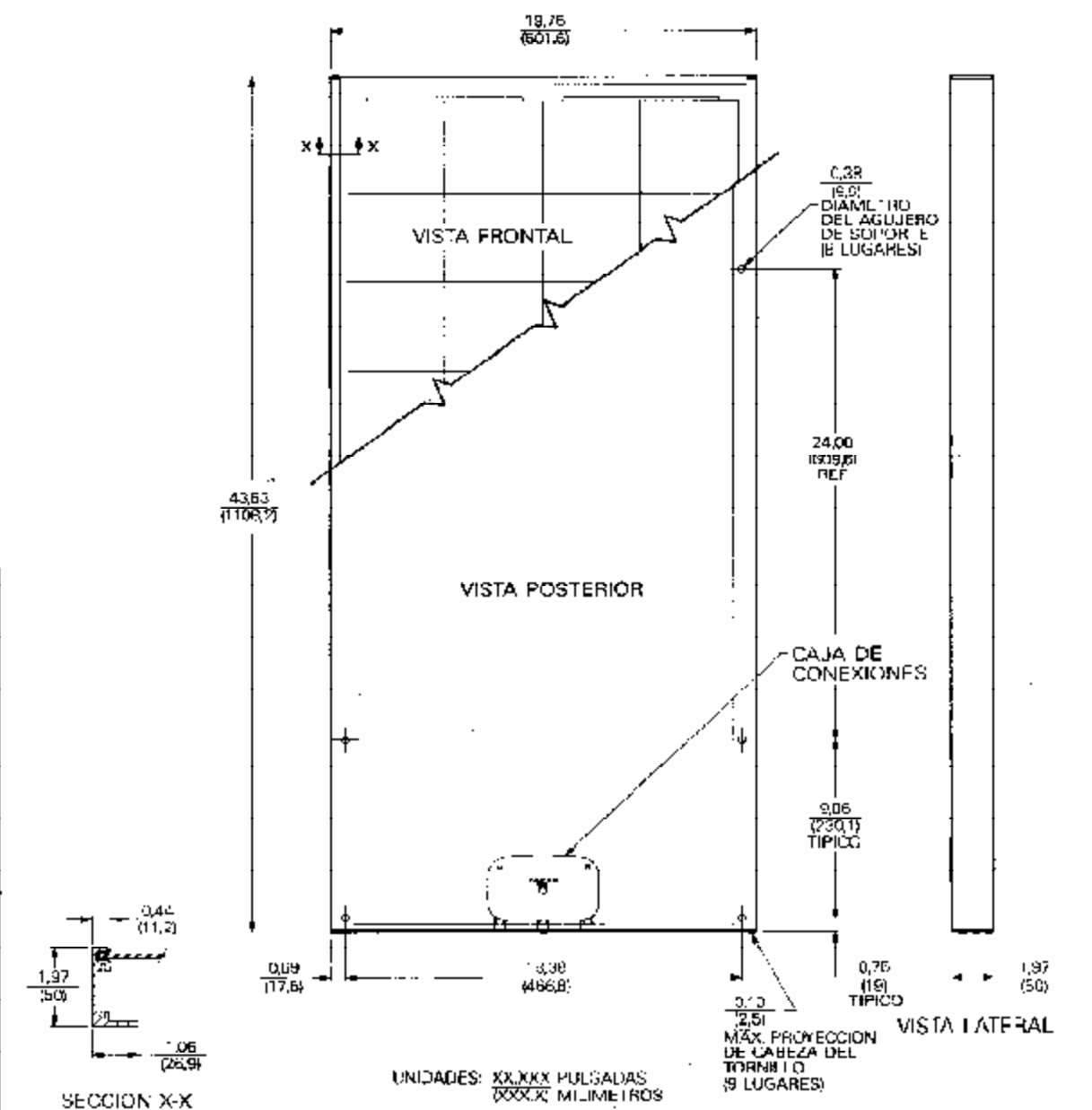
Los módulos MBX-00, -50 y -53 son mecánicamente idénticos. Solamente difieren en potencia eléctrica.

**IPSA**

15.9 litres  
(7.2 kg)

## Dimensions

Las dimensiones sin paréntesis están expresadas en pulgadas.  
Las Dimensiones entre paréntesis están en milímetros.



☐ 331 Solarix Corporation

Especificaciones sujeta a variación sin previo aviso.

6068 23 2'81

**Para más información, por favor comunicarse con:**

**Solarex Corporation**  
1335 Plaxard Drive  
Rockville, MD 20850  
USA

**Tel:** 1-301-948-0202  
**FAX:** 1-301-948-7148  
**Toll:** 866-555-5555

**Solarex Corporation**  
Centro Direzionale Colleoni  
Palazzo Colleoni 2  
20041 Agrate Brianza  
Milan, Italy

**Tel:** 39-39-636-251  
**FAX:** 39-39-636-256  
**E-Mail:** [info@nordic.com](mailto:info@nordic.com)



**Fig. 4.4- Hoja de Especificaciones para el Panel MX-60**  
(Cortesía de Solarex Corp.)



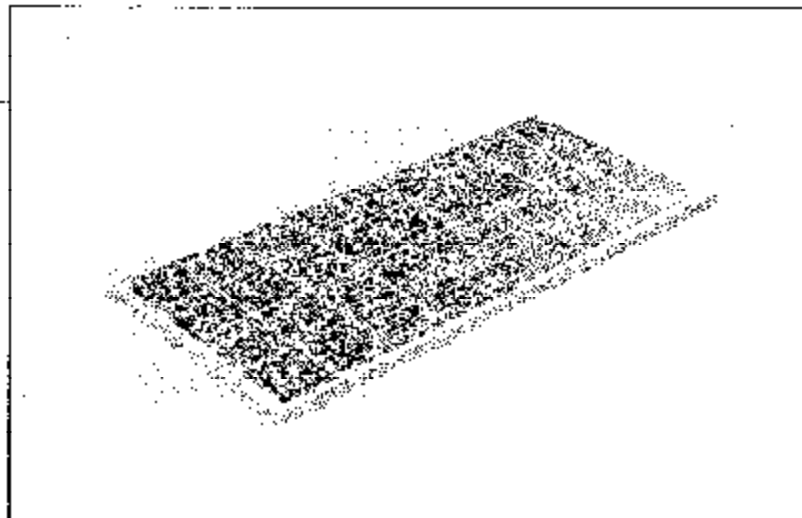


MODELO LA361K51

**LA361K51**

**MÓDULO  
FOTOVOLTAICO  
POLICRISTALINO  
DE ALTO  
RENDIMIENTO**

POTENCIA TÍPICA 51.0 W



### CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS KYOCERA

La avanzada tecnología e instalaciones térmicas automatizadas de Kyocera hacen posible estos módulos solares policristalinos que tienen un rendimiento de transformación de más del 14%.

Para brindar a las células a máxima protección, aun en las condiciones ambientales más severas, se encuentran encapsuladas en una base de acetato de vinilo etilénico con fluoruro de polivinilo, entre una cubierta de vidrio templado y un respaldo de papel de aluminio.

La totalidad del laminado se encuentra dentro de un armazón de aluminio anodizado que asegura su resistencia estructural y facilidad de instalación.

### USOS TÍPICOS

Estaciones repetidoras de microondas y de radio  
Electrificación de aldeas en lugares apartados  
Instalaciones médicas en áreas rurales  
Corriente eléctrica para casas de campo  
Sistemas de comunicaciones de emergencia  
Sistemas de vigilancia de datos ambientales y de calidad del agua  
Faros, boyas y balizas de navegación marítima

Bombas para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado  
Balizamiento para protección aeronáutica  
Sistemas de protección catódica  
Sistemas de desalación  
Vehículos de recreo  
Señalización ferroviaria  
Sistemas para cargar los acumuladores de barcos de vela

### ESPECIFICACIONES

#### ■ Especificaciones eléctricas

MODELO	LA361K51
Potencia de salida	51.0 vatios
Tensión óptima	16.9 voltios
Corriente óptima	3.02 amperios
Tensión de circuito abierto	21.2 voltios
Corriente de cortocircuito	3.25 amperios
Largo	985 mm
Ancho	445 mm
Grosor	38 mm
Peso	5.3 kg

Nota: Las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones de prueba de 100 mW/cm<sup>2</sup> de irradiancia, espectro de masa de aire de 1.5 y células a 25°C.

Kyocera se reserva el derecho de modificar las presentes especificaciones sin aviso previo.

También se aceptan pedidos especiales de laminados y módulos con especificaciones señaladas por el cliente.

#### ■ Especificaciones físicas

(en mm)

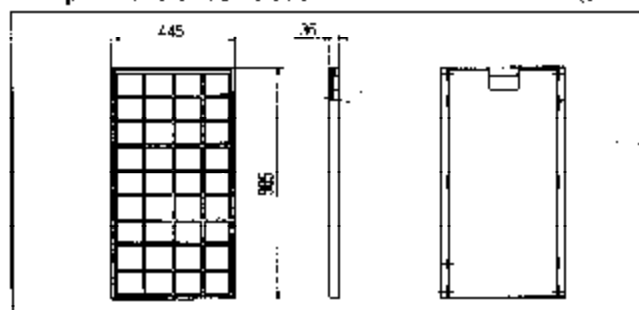


Fig 4.5- Hoja de Especificaciones para el Panel LA361J51

(Cortesía de Kyocera Corp.)