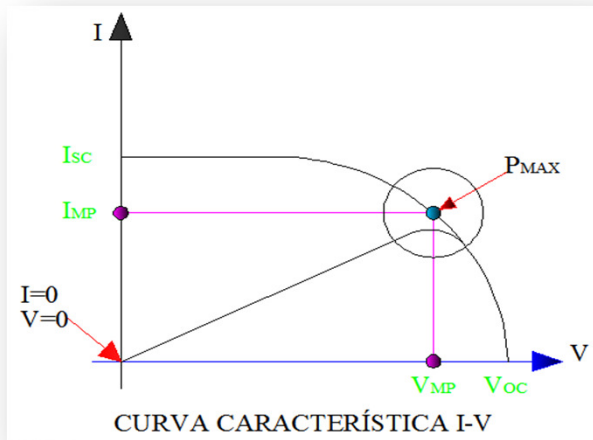


PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

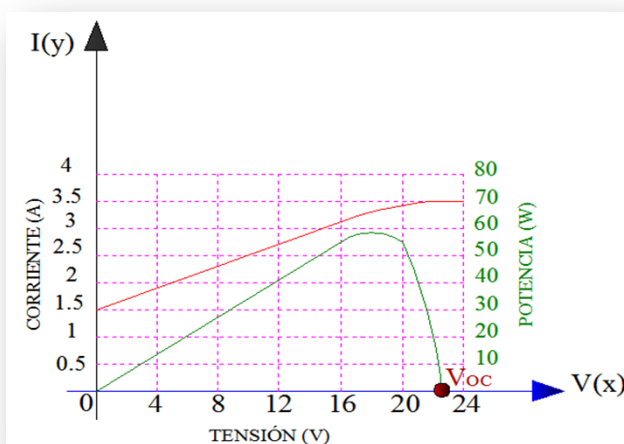


Para entender los parámetros eléctricos de un panel fotovoltaico, es necesario primero comprender perfectamente la curva característica I-V, común a todos los modelos y que explica cómo funciona dicho panel.

En realidad todo el tiempo estamos trabajando con la relación que existe entre la Intensidad y el Voltaje.

El eje de abscisas (x), corresponde al voltaje y el de ordenadas (y) a la intensidad, no utilizamos valores en ninguno de los dos parámetros porque la intención es generalizar y no concretar sobre un modelo. En punto de unión de los ejes x e y, el valor de I y de V es cero. Como veréis hay dos gráficas, una que parte de cero y una que parte de un valor denominado I_{sc} .

POTENCIA (W)



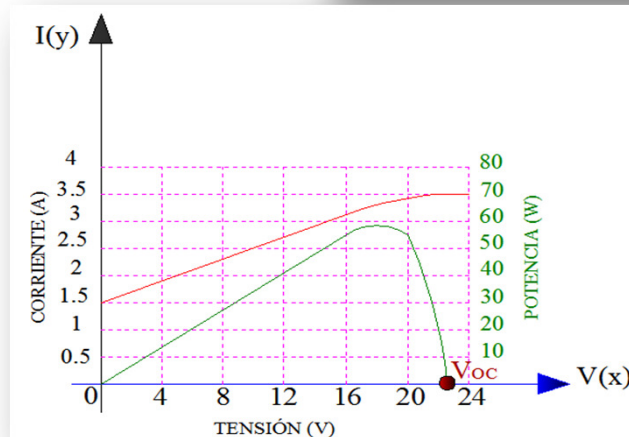
Esta es la curva característica de la potencia, es decir que a a medida que va aumentando el voltaje-intensidad, aumenta la potencia. Para entenderlo de otra forma, a medida que crece la irradiancia, crece la potencia, es directamente proporcional.

Lo podemos ver en la siguiente expresión:

$$P = I \times V$$

Tomando como referencia la gráfica anterior, obtendríamos la siguiente tabla de valores:

VOLTAJE (V)	INTENSIDAD(A)	POTENCIA (W)
4	0,5	2
8	1	8
12	1,5	18
16	2	32
20	2,5	50



Vemos en la gráfica, que al llegar a cierta intensidad, la curva decrece hasta llegar a cero, siempre hablando de intensidad y mientras empieza a decrecer incluso aumenta un poco el voltaje; el punto dónde empieza esa disminución de intensidad se llama **punto de corriente de saturación** o **punto de saturación inversa**.

Tiene una explicación: a medida que va aumentando la temperatura (línea roja), la célula se polariza inversamente debido a la formación de pares electrón-hueco, esto es que los electrones circularán en sentido contrario para el que fue diseñada la célula, creando corrientes inversas.

Estas corrientes inversas irán disminuyendo la corriente directa hasta anularla.

A este fenómeno se le llama corriente de saturación o corriente de saturación inversa y se representa como I_0 .

A medida que aumenta I , hasta llegar a I_0 la curva I - V que hasta ahora iba subiendo en todos sus parámetros, empezará a descender en I e W hasta llegar a cero y llegar también al punto de V_{OC} , que veremos más adelante.

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO I_{SC}

Básicamente, cuando hablamos de un cortocircuito, nos viene a la mente la chispa generada por el arco voltaico y el aumento de calor debido a que la corriente eléctrica pasa de un polo a otro sin resistencia alguna.

Aplicando la ley de Ohm, $I = V/R$, podemos deducir que:

Si la resistencia entre dos puntos de diferente potencial es cero (cuando por ejemplo, juntamos dos conductores activos de diferente signo) la intensidad tenderá al infinito.

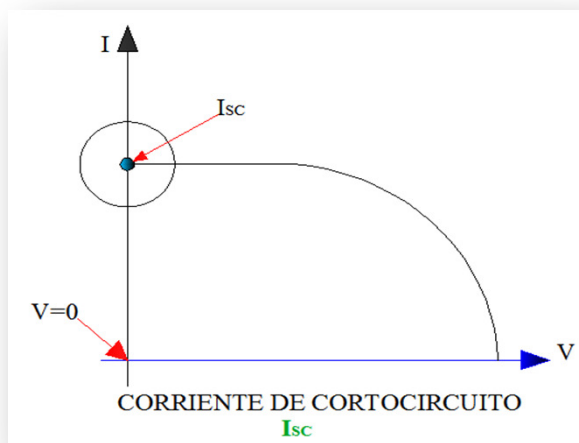
$$I = V/R; \quad I = V/0 \quad I = \infty \text{ A.}$$

Esta definición sirve para entender el siguiente caso, aunque no sea aplicable en su totalidad. En el panel fotovoltaico no se produce el efecto de arco pues la I nunca tenderá al infinito, y uno de los motivos es precisamente el explicado anteriormente definido como punto de saturación inversa.

En realidad, poner a un panel en cortocircuito, puede ayudarnos a averiguar su estado de salud eléctrica.

En resumen, la corriente de cortocircuito ocurre cuando la resistencia del módulo FV es proxímadamente cero y se calcula cuando el voltaje del módulo es también cero.

Entonces $I = I_{SC}$ para $V = 0$



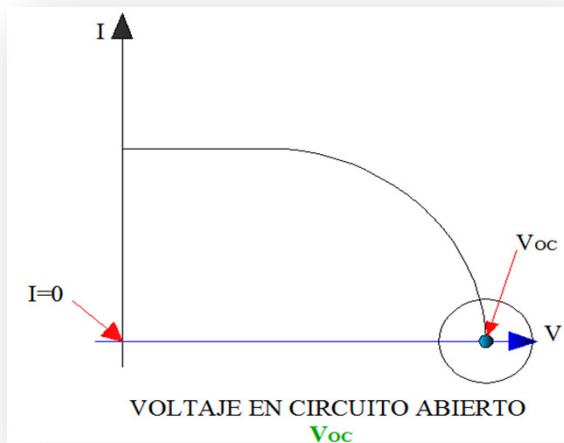
La corriente de cortocircuito ocurre al principio de polarización de la célula y representa el valor máximo de corriente en el cuadrante de potencia $I-V$.

$$I_{SC} = I_{MAX} = I_L$$

Es importante aclarar que para una célula ideal, esta corriente de cortocircuito es la corriente

total producida en dicha célula mediante la irradiación solar, es decir cuando esta celda recibe la mayor excitación de fotones en su estructura interna.

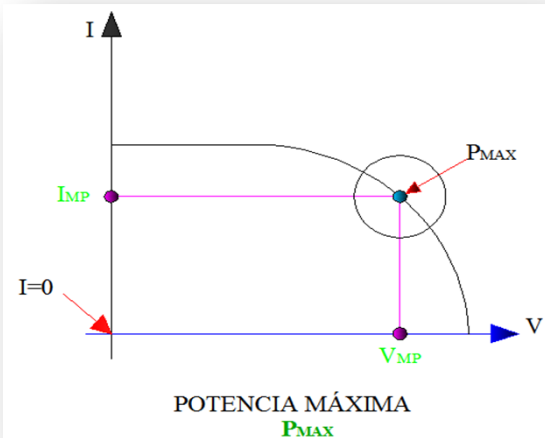
VOLTAJE EN CIRCUITO ABIERTO. V_{OC}



El voltaje en circuito abierto o V_{OC} es el que puede medirse en la célula FV cuando no pasa corriente a través de él, o sea que, no tiene carga alguna conectada.

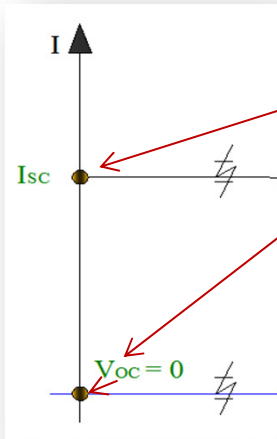
$$V = V_{OC} \text{ cuando } I = 0$$

Se define también, como el voltaje máximo en el cuadrante I-V de potencia.



Desde la curva característica I-V, es fácil calcular la potencia máxima que desarrolla la célula FV.

La potencia en los puntos I_{SC} y V_{OC} es cero Watos si utilizamos la ecuación



Cuando I_{SC} tiene el valor máximo

V_{OC} vale 0

Los dos valores están sobre el mismo eje (y).

Por lo que si los valores:

$$V_{CO} = 0 \text{ y } I_{SC} = Z_{max}, \text{ la ecuación } P = V \cdot I$$

$$P = 0 \cdot Z_{max} = 0. \quad P(W) = 0$$



Cuando V_{OC} tiene el valor máximo

I_{SC} vale 0

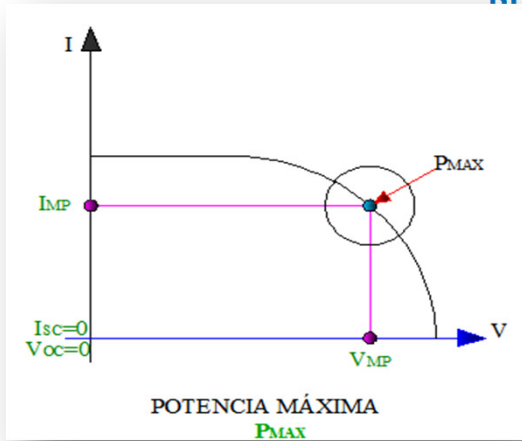
Los dos valores están sobre el mismo eje (x).

Por lo que si los valores:

$$V_{CO} = y_{max} \text{ y } I_{SC} = 0, \text{ la ecuación } P = V \cdot I$$

$$P = y_{max} \cdot 0 = 0. \quad P(W) = 0$$

..... y se cumple la condición antes



La potencia máxima ocurre entre esos dos puntos (su intersección en la gráfica) cuando la corriente y el voltaje tienen un valor de I_{MP} (intensidad máxima potencia) y V_{MP} (voltaje máxima potencia) respectivamente.

Este es el Valor que "busca" el algoritmo de carga de los reguladores MPPT (**Maximum Power Point Tracking**, o punto seguimiento de máxima potencia) y de los inversores conectados a red, evidentemente para conseguir la mayor potencia que ofrezca el campo solar.

Es necesario comentar que muchos de los parámetros eléctricos (valores) que justifica el proveedor en sus fichas técnicas, distan de lo que realmente obtendríamos haciendo las mediciones reales con las condiciones determinadas por STC.

Para ello no está de más el conocer algunas ecuaciones que nos permitan por medio del cálculo orientarnos un poco.

La eficiencia de una célula FV (η) es el porcentaje de potencia convertida a energía eléctrica de la radiancia absorbida por la célula, cuando ésta está conectada a una carga.

Este término se calcula usando la relación del punto de máxima potencia P_{MAX} , dividido entre la irradiancia que llega a la celda (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula FV (A_C en m^2).

La ecuación es:

$$\eta = P_{MAX} / (E \cdot A_C)$$

La STC especifica una temperatura de $25^\circ C$ y una irradiancia de $1000 W/m^2$ con una masa de aire espectral de AM 1,5 y un ángulo de inclinación de $41,81^\circ$ con respecto a la horizontal.

Os propongo el siguiente ejemplo: Nos disponemos a medir la eficiencia de una célula.

Para ello disponemos de los siguientes datos:

Voltaje en circuito abierto: $36,8 V$

Intensidad en cortocircuito: $8,75$

Irradiancia : Suponemos la ideal de $1.000 W/m^2$

La superficie de la célula es de $155 mm \times 155 mm$ ($0,155 m^2$)

Su potencia máxima es de $5,39 W$.

A partir de la ecuación $\eta = P_{MAX} / (E \cdot A_C)$ y sustituyendo los valores:

Su rendimiento =

$$\eta = 5,36 / (1000 \cdot 0,0240) = 5,36 / 24,025 = 0,2231 = 22\%$$

Este valor nos indica que esta célula es capaz de transformar de la irradiancia incidente y transformarla en tensión el **22%**. Teniendo en cuenta que hemos utilizado los valores de V_{OC} e I_{SC} .

Utilizando los valores de $VMPP$ y $IMPP$, este resultado se convertiría en un **16,8 %**, mucho más cercano a lo que indica el fabricante en su catálogo.

FACTOR DE LLENADO.

Otro término usado para medir la eficacia de una célula FV es el llamado "factor de llenado" (Fill Factor) que se expresa con FF.

El FF, se define como la relación existente entre el P_{MAX} dividido entre el producto del V_{OC} (voltaje en circuito abierto) e I_{SC} (intensidad de cortocircuito).

La ecuación es:

$$FF = P_{MAX} / (V_{OC} \cdot I_{SC})$$

Sustituyendo por los valores anteriormente expuestos:

$$FF = 5,36 / (36,8 \cdot 8,75) = 5,36 / 32,2 = \\ = 172,59$$

