

## VITECFV #58. CONTINUACIÓN DE LOS VITECFV.

Los vitecfv continúan, el último se publicó el 20 de noviembre de 2021, o sea, unos 3 meses. Hoy ahí va el #58, con el tema del abaratamiento de la FV, aspecto que ha tenido una evolución sostenida espectacular durante más de 70 años, fue en 1969 que promovimos el primer curso de celdas solares FV en Escuela de Verano de la Facultad de Física de la UH, cuando la FV era extremadamente cara, desde que entonces ya se pronosticaba una sostenida disminución de sus costos.

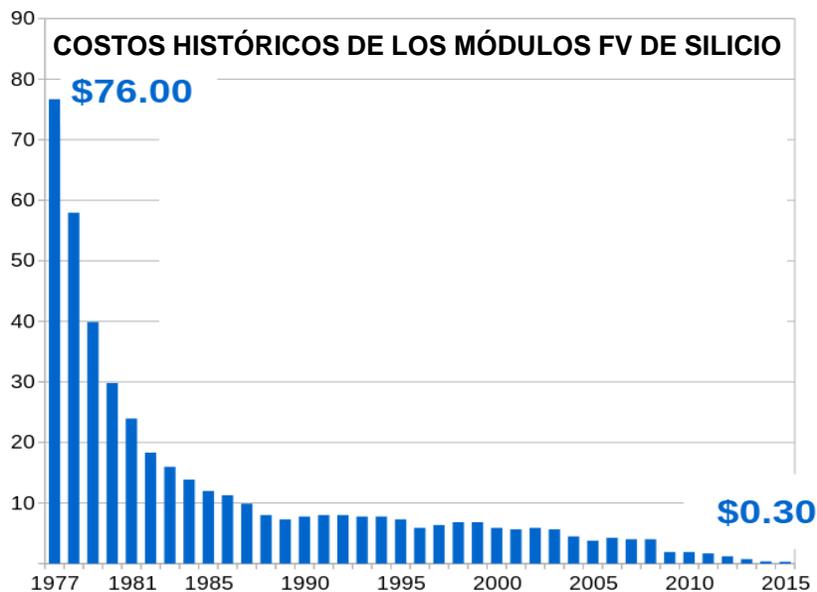
Para actualizar este aspecto, primero brindo textualmente la señal # 3 de hace 6 años distribuida por el Grupo de Gestión del Conocimiento de la Dirección Técnica de la UNE y en el próximo vitecfv una actualización del mismo hasta hoy.

**SEÑAL FV # 3.** Autor: Dr. C. Daniel Stolik. 1.3.16  
(TEXTUAL DE HACE 6 AÑOS) DATOS PRIMARIOS DE: BLOOMBERG, EIA, NREL, IEA, DEL PROPIO AUTOR, ENTRE OTROS

### ¿COMO SE HA PODIDO ABARATAR TANTO LA FV?

La respuesta es sencilla, fundamentalmente se debe a la disminución de los costos de producción de los módulos (paneles) FV, aspecto que se corrobora en el siguiente gráfico.

USD/Wp



Source: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com

Nótese de la tabla que el rango de costo de producción del módulo FV ha ido de 76 USD/Wp a 30 centavos/Wp, o sea, ha disminuido más de 200 veces en menos de 40 años.

Por su parte el módulo está compuesto por capas de vidrio plano, EVA (etilvinilacetato), celdas FV (soldadas con estaño en arreglos paralelos y en serie),

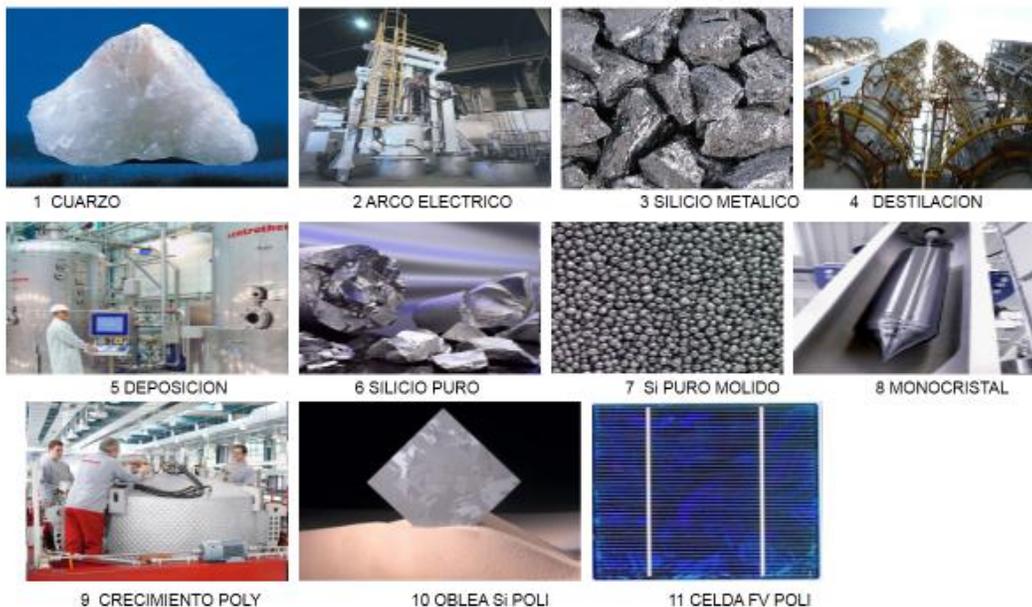


<b>MW</b>	<b>3.3</b>	<b>19</b>	<b>46</b>	<b>64</b>	<b>440</b>	<b>1400</b>	<b>17000</b>	<b>53000</b>
<b>\$/Wp</b>	<b>30</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1.8</b>	<b>0.55</b>

**¿A QUE SE DEBE LA DISMINUCIÓN DEL COSTO DE LA CELDA SOLAR FV CON SU MAYOR APORTE AL ABARATAMIENTO DEL MODULO Y FINALMENTE EN EL SISTEMA FV?**

Nos referiremos específicamente a las celdas de silicio cristalino que componen más del 90 % de la producción anual mundial FV. Sobre la existencia y comparación de distintos tipos de celdas solares trataremos en próximas señales FV.

La celda solar FV de silicio se logra a partir del siguiente proceso:



Para aclarar en qué pasos se logra el abaratamiento es necesario describir el proceso de formación de la celda solar FV de silicio que se logra de la forma siguiente:

- 1.- En el cuarzo y la arena sílice se encuentra el  $\text{SiO}_2$ , el silicio contenido en la corteza terrestre es del 26 %.
- 2.- A partir del  $\text{SiO}_2$  en potentes hornos de arco eléctrico se logra Si grado metalúrgico (Si-m).
- 3.- Este Si-m puede tener un 97 % de pureza, que es insuficiente tanto para la microelectrónica como para la FV.
- 4.- Se liga el Si-m con ácido clorhídrico para obtener tetra cloruro de Si líquido ( $\text{Si-m} + 4\text{HCl} = \text{SiCl}_4 + 4\text{H}$ ) y poderlo purificar por destilaciones sucesivas, hasta purezas de 99.9999999999 % para microelectrónica y 99.999999% para FV.
- 5.- El silicio del  $\text{SiCl}_4$  puro se deposita en una barras de pequeño diámetro de silicio puro sólido, que va ensanchándose, se realiza en cámaras de deposición química al vapor (CVD-chemical vapor deposition). Este Si puro es amorfo, no es aun cristalino.

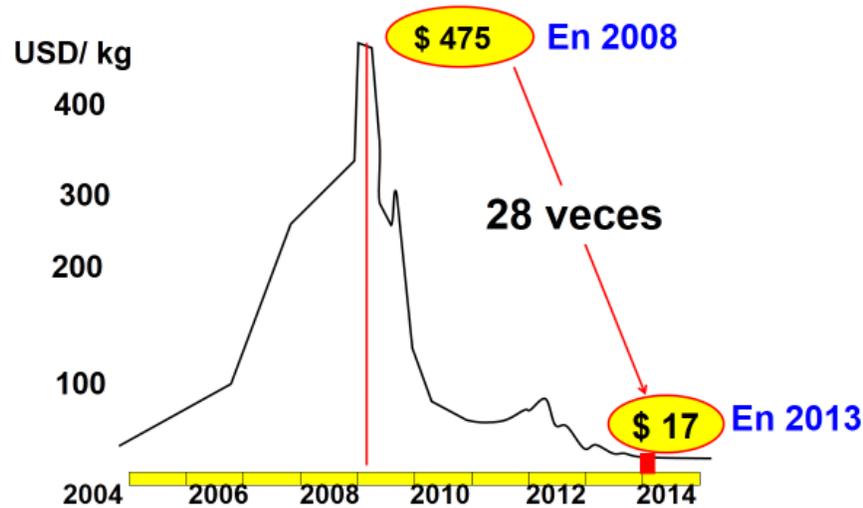
6 y 7.- El silicio puro se muele para poderlo crecer en forma cristalina,  
 8,- Se crece en lingotes cilíndricos mono cristalinos mediante el método Czocralsky).  
 y 9.- en lingotes cúbicos de gran volumen poly (multi) cristalinos mediante el método de intercambio de calor (HEM).

10,- Los lingotes se cortan hasta llegar a finas obleas mono o poly mediante técnicas de multi hilos abrasivos adiamantados.

11.- La celda solar FV se obtiene mediante un proceso que se ha convertido en muy automatizado que incluye la formación de la juntura p-n, metalización de contactos, restauración de superficie, deposición de capas anti reflectantes ente otros aspectos.

El proceso de abaratamiento de la Celda FV incluye:

**Costo del Si-sog (grado solar de 99.999999 % de pureza).**



Al principio el Si puro para la FV era en base a la chatarra del Si puro para la microelectrónica, cuando no bastaba para la FV comenzó a encarecerse hasta un máximo en el 2008, después dejó de ser un subproducto micro electrónico y comenzó el abaratamiento por la producción de nuevas plantas específicas de Si-sog, (pureza 99.999999). Las nuevas plantas se basaban en mayor economía de escala, ver tabla siguiente al respecto:

año	2001	2007	2009	2010	2015
Ton.	2 000	30 000	92 000.	145 000	330 000
% FV	< 20 %				> 95%

**Menos gasto eléctrico.** Sobre todo en la cámara de CVD para obtener el si puro que paso de consumir > 200 kWh / kg hasta unos 35 - 50 kWh / kg

**Disminución del espesor y menos silicio por Wp:** Ha pasado paulatinamente de más de 350 a 160 micrómetros y para el 2020 el espesor será de unos 100 mm,

**Aumento de la eficiencia de las celdas.** También contribuye a disminuir la cantidad de silicio por celda FV.

**Disminución de Si por Wp** ha ido de más de 13 g / Wp a unos 6 g / Wp y continúa disminuyendo

En próxima **Señal FV** analizaremos la competencia y predominio de los distintos tipos industriales de celdas solares FV

**HASTA AQUÍ LA REMEMORACIÓN DE HACE 3 AÑOS**

DEBIDO ASU EXTENSION EN EL PRÓXIMO VITECFV BRINDAMOS LA ACTUALIZACION DE LOS ULTIMOS 6 AÑOS (HASTA 2021)

Dr.C. Daniel Stolik