



## **Vitecfv # 25. ACTUALIZACIÓN DE COSTOS FV PARA CUBA.**

DR.C. DANIEL STOLIK MARZO 20 2021

ENVIADO A ROSELL EN FEBRERO 28 2021

Durante más de 30 años he distribuido análisis y cálculos sobre la mayoría de los aspectos relacionados con el costo del kWh FV, teniendo en cuenta costos del Wp, yield kWh/kWp, componentes, sectores, WACC (weight average capital cost), entre otros aspectos.

En la última etapa, durante 5 años, desde febrero 2016 hasta febrero 2021, suman 25 los artículos sobre costos FV, distribuidos en soporte electrónico entre un total de 119 en distintas componentes de la energía y los sistemas FV. Además de 15 capítulos del Libro FV para Cuba y otros múltiples artículos en revistas seriadas ("Ecosolar" y "Energía y Tu", ambas de la editorial CUBASOLAR), así como las presentaciones en el Diplomado de FV y los "Talleres CUBAFV", todo con el gran objetivo de lograr la motivación y el impacto entre directivos, especialistas, ingenieros y personal relacionado con el necesario desarrollo de la energía FV en Cuba y su aporte para la sustitución paulatina de la importación de combustibles fósiles .

A continuación relacionamos los últimos dedicados solo a costos FV a partir del 2016.

### **DISTRIBUIDOS POR GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO, DIRECCION TECNICA - UNE: 2016-2020**

Señal FV # 9, 24 Mar 2016: COSTOS DE LA FV POR SECTORES.  
 Señal FV # 19 23 Abr 2016: COMPONENTES Y COSTOS DE LOS SISTEMAS FV.  
 Señal FV # 23. 24 Jun 2016: EL INVERSOR FV. COSTOS  
 Señal FV # 26. 26 Jun 2016: CÁLCULO DEL COSTO DEL kWh FV.  
 Señal FV # 27. 24 Jun 2016 EL kWh FV y el PPA en CUBA.  
 Señal FV # 28. 24 Jul 2016 ENCADENAMIENTOS Y COSTOS POSIBLES FV EN CUBA.  
 Señal FV # 33. 3 Sep 2016 COSTOS UTILITY FV EN LOS PRÓXIMOS AÑOS.  
 Señal FV # 35. 6 Sep 2016 LOS COSTOS HARD Y SOFT "UTILITY" POR PAÍSES.  
 Señal FV # 36. 6 Sep 2016 COSTOS Y PRECIOS DEL kWh "UTILITY" FV.  
 Señal FV # 52 2 Ene 2017 COSTOS FV Y NUEVO PARADIGMA GENER. ELÉCTRICA.  
 Señal FV # 55 20 Ene.2018 COSTOS kWh FV vs. FÓSIL.  
 Señal FV # 56 28.Ene 2018 COSTOS kWh FV vs. FÓSIL en el 2018.  
 Señal FV # 57 28 Ene 2018 COSTOS kWh FV vs. FÓSIL en el 2018 (segunda parte).  
 Señal FV # 71 5 Ene 2018 COSTOS FV EN 2018.  
 Señal FV # 76 29 Ene2020 EL COSTO FV CONTINUA DISMINUYENDO.  
 Señal FV # 77 9 Feb 2020 GRANDES DIFERENCIAS DE COSTOS FV POR PAISES.  
 Señal FV # 81 24 Feb 2020 APOORTE FV A LA TRANSICIÓN DEL MIX.

### **DEL LIBRO ENERGÍA FV PARA CUBA 2019**

pág. 227-251 capítulo COSTOS FV. 2019  
 pág. 303-327 capítulo FINANCIAMIENTOS FV. 2019  
 pág. 328-251 capítulo ESTRATEGIA FV PARA CUBA. 2019

### **DISTRIBUIDOS POR TRANSICIÓN ENERGÉTICA, DIRECCIÓN POLIT. Y ENERGET.MINEM 2020**

#2 May 5 2020 EVOLUCIÓN Y COMPARRACIÓN DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.  
 #4 May 20 2020 EL GRAN DESARROLLO FV y EÓLICO.  
 #6 May 31 2020 COSTOS FV EN CUBA.  
 #7 Jun 6 2020 POSIBLES COSOS POTENCIALES FV UTILITY EN CUBA.

### **vitecfv DISTRIBUIDOS POR LA UNIVERIDAD DE LA HABANA (250 SUSCRIPTORES) 2020-2021**

Vitecfv # 1 1 Nov 2020 FV PARA CUBA  
 Vitecfv # 4 19 Nov 2020 PENETRACIÓN Y COSTOS FV  
 Vitecfv # 15 31 Ene 2021 COSTOS FV POR SECTORES EN CUBA  
 Vitecfv # 17 6 Feb 2021 COSTOS FV EN 2020

## COSTOS FV EN CUBA ENTRE INVERSIÓN CON FUERZAS PROPIAS VS PPA

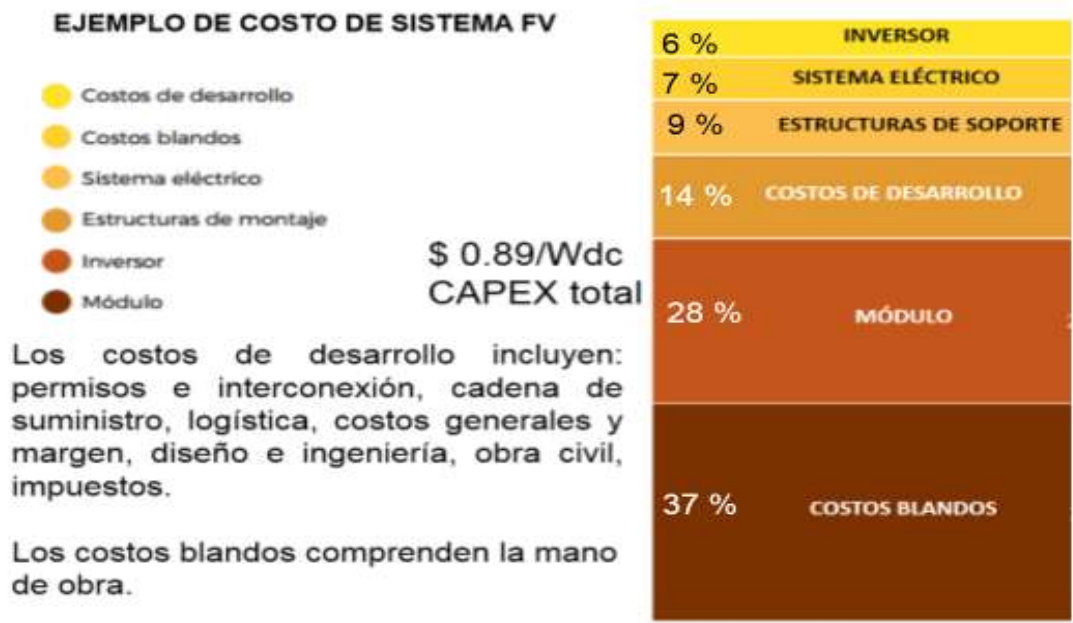
Producto de los análisis del comportamiento y la evolución de costos de mejores prácticas por países, posibles de aplicar, teniendo en cuenta las características propias de Cuba se muestran los costos aproximados para una instalación de nivel utility de 200 MW.

Antes que todo se impone realizar una valoración para minimizar o prescindir de muchas de las componentes de los sistemas finales FV y que relacionados a continuación para el nivel utility.

### COSTO SISTEMA FV LLAVE EN MANO NIVEL UTILITY

Equipo (\$/W)	EPC + Costos Blandos	Conexión
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulos FV</li> <li>• Estructuras de montaje</li> <li>• Inversores</li> <li>• Interruptores</li> <li>• Cajas de conexión</li> <li>• Cableado</li> <li>• Transformador de Medio Voltaje</li> <li>• Equipo Monitoreo/ Estación meteorológica</li> <li>• Transporte</li> <li>• Resto del Sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño</li> <li>• Ingeniería Eléctrica</li> <li>• Gestión de proyecto</li> <li>• Margen del EPC</li> <li>• Obra civil</li> <li>• Topografía</li> <li>• Permisos, inspecciones</li> <li>• Movilización y desmovilización</li> <li>• Caminos de acceso</li> <li>• Estudios geotecnia</li> <li>• Concreto</li> <li>• Alambrado perimetral</li> <li>• Nivelación del terreno</li> <li>• Control de vegetación</li> <li>• Seguridad</li> <li>• Alquiler de equipos y consumibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de conexión a red: \$/kW</li> <li>• Inspección de la conexión: \$/kW</li> <li>• Tarifa de conexión: \$/kW</li> <li>• Permisos : \$/kW</li> <li>• Conexión a la red de alta tensión: \$/kW</li> <li>• Compra o alquiler de terrenos</li> <li>• Puesta en marcha</li> </ul>
	<p><b>MANO DE OBRA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de módulos</li> <li>• Instalación de bastidores</li> <li>• Pilotaje</li> <li>• Instalación del resto del sistema</li> <li>• Instalación caja de conexión</li> <li>• Instalación del inversor</li> <li>• Interruptores</li> <li>• Monitoreo /estación meteorológica</li> </ul>	

Como hemos analizado anteriormente, los costos FV por sectores son disimiles por países, no tanto para el nivel utility, para el cual exponemos a continuación un ejemplo aproximados de buenas prácticas actuales. **NIVEL UTILITY**



Realmente el compartimiento de los costos fluctúa por países. Del gráfico anterior se desprende un comportamiento promedio del que no debemos separarnos mucho, que se puede tener en cuenta con un acápite de costos imprevistos, que para un costo total FV aproximado de 0.90 USD/Wp, o sea: 900 USD/kWp, los costos por componentes referidos son los siguientes:

Costos	USD/kWp
Blandos	329,30
De desarrollo	124,60
Modulo	249,20
Inversor	53,40
Sistema eléctrico	62,30
Estructuras soportes	80,10
Total aproximado	900.00

Nótese (en rojo) que los costos blandos y de desarrollo, más susceptibles de afrontar costos en CUP suman unos 454 USD/kWp, aproximadamente la mitad del costo total de la instalación FV. En color azul se muestran los costos de insumos tangibles.

## ASPECTO FINANCIERO

El problema más grave del problema financiero es la falta de liquidez para efectuar las importaciones mínimas necesaria en MLC, por lo que en esta ocasión pondremos el énfasis en este aspecto.

Con la disminución de los costos del sistema fotovoltaico, sobre todo los *hardcost*, la componente de Costos de Capital se ha convertido en uno de los factores de mayores costos de las instalaciones fotovoltaicas. En el libro FV para Cuba , también en Ecosolar # 70 , 2019, pag, 27-33, se muestra la influencia de los por cientos habituales del Costo Ponderado (*Weighted average cost of capital* - WACC), con tasas de intereses de 5 %, 7.5 % y 10 %, donde se aprecia que el 5 % de WACC origina el encarecimiento en un 33 %, del costo total del sistema FV y un WACC de 10 % origina costos mayores que el resto de todos los demás costos *hard* y *soft* juntos.

Los países con menores costos de instalaciones FV tienen WACC muy bajos y los intereses con frecuencia se pagan a bancos nacionales. En el caso de Cuba que cataloga con relación a otorgamiento de créditos e inclusive de los Contratos de Compra Venta de Energía Eléctrica (PPA) como país de mucho riesgo económico, por lo general se plantean altos WACC que encarecen en gran medida los costos FV que complican más la falta de liquidez en MLC. Por ello, por difícil que sea, se hace necesario seleccionar la vía de esfuerzo de financiamiento propio, importando estrictamente lo que no podamos resolver en el país, lo que en gran parte se refiere a los módulos e inversores FV y en segunda instancia de no poder hacerse en el país, a insumos eléctricos (como cableado) e insumos mecánicos metálicos (como estructuras soportes). Los aspectos de diseño, instalación, montaje, O-M, y otros aspectos que dependen fundamentalmente de labor humana se deben viabilizar con financiamiento en moneda nacional (CUP). A favor del criterio que se debe dedicar un financiamiento en MLC a la FV, que ciertamente requiere de un tremendo esfuerzo, está que la importación para aumentar la generación FV tributa a la sustitución de importación de combustibles fósiles, de tal forma que al cabo de pocos años, las instalaciones FV que se añaden se autofinancian con el costo evitado de los fósiles.

## EL COSTO DEL MODULO FV

El costo del Wp del modulo FV ha disminuido sostenidamente como hemos monitoreado durante muchos años y ha sido uno de las causas mas importantes para elabaratamiento del kWh FV. Los costos actuales (28 Febrero 2021) a puerta de fabrica el costo mayorista en centavos de USD por Wp de modulos de silicio cristalino son los siguientes .

tipo	maximo	minimo	promedio
polycristalino	20	17	17,8
monocristalino	35	19	20,6

Se aprecia un acercamiento del costo mono cristalino al poly, que por disponer de mayor eficiencia se hace recomendable para aumentar la generacion por unidad de area , por ejemplo en techos y cubiertas.

Actualmente han aumentado las alternativas de ofertas de modulos con mayor potencia , como se muestra a continuacion, todas de tecnologia PERC monocristalinas, costo mayorista en centavos de USD por Wp

De obleas de Si	Potencia Wp	maximo	minimo	promedio
158 mm	405-445	35	19,5	20,5
166 mm	440-445	35,5	19	20,3
182 mm	535-540	35	21,5	22,8
210 mm	590-595	35	22,5	25

El costo del flete incrementa un poco el costo de compra spot en economía de escala a puerta de fábrica, pero también es más barato cuando se importa en grandes cantidades y no en forma atomizada. Actualmente para el traslado vía marítima desde Quingdao en China hasta Mariel, el costo aproximado del contenedor de 20 pies es de 2 040 USD/contenedor y el de 40 pies 3405 USD. En este último caben entre 600 y 720 módulos FV en dependencia del área y potencia de los módulos. Aproximadamente se pueden trasladar un total 250 kWp de módulos FV por contenedor. El cálculo muestra que el aumento del costo del Wp puesto en Mariel es aproximadamente de 1,5 centavos de USD/Wp. Por ejemplo, 4 contenedores suman 1 MWp para parques FV o también para unas 500 instalaciones de 2 kWp cada una del sector residencial. La compra unificada en empresas importadoras-distribuidoras y comercializadoras, tributa a este abaratamiento también.

## COSTOS FV POR SECTORES

Como hemos reflejado en múltiples análisis anteriores y sus causas, el costo de instalación del kWh FV generado más barato corresponde a las instalaciones de nivel utility y se va encareciendo para los sectores industrial - comercial , y mas para el residencial, la diferencia entre los extremos (mínimo utility vs máximo residencial) varía notablemente, para algunos países se estrecha notablemente mientras que para otros es mas del doble. Para Cuba otro reto es estrechar el margen entre los costos por sectores, a este propósito contribuye el hecho de realizar las compras e importaciones en grandes cantidades, no mediante picotillos, sino a través de empresas mayoristas y distribuidoras con empresas mayoristas, con medidas como las expuestas en el vitefcv #15 y el # 17. La definición concreta de los costos por cada sector es sumamente compleja, no obstante estan presentes aspectos para Cuba que pueden ayudar al establecimiento de costos aproximados entre los sectores, como: Rango de gran homogeneidad del yield (kWh/kWp) para todo el país y la compra e importación conjunta de componentes en MLC para todos los sectores, medida que tributa a disminuir notablemente la diferencia de los costos en divisas.

Aunque estrechemos al máximo la diferencia de los costos por sectores es muy difícil que se iguallen debido a distintas causas relacionadas con la economía de escala

propia de cada sector. Para definir una diferencia adecuada, tendiente para que sea la menor posible, estimo partir de los costos promedios del nivel utility, que son los más evidentes actualmente y definir un encarecimiento para el resto, que puede ser a partir de multiplicar el costo utility por un factor, como por ejemplo (sujeto a cambio): 1,1 para industrial-comercial y 1,2 para residencial y social, más un cierto nivel de reserva o imprevistos. Este sería un procedimiento que ayudaría a la planificación de los financiamientos FV por sectores.

## EROGACIÓN EN MLC

Todos los costos y financiamientos son importantes para el desarrollo de la estrategia FV, pero de las diferentes barreras, la mayor de todas es la falta de liquidez en MLC. Analicemos los resultados esperados de acuerdo con las inversiones en MLC, con los costos aproximados de un kWp de instalación FV,

Costos de importación en MLC en 2021

Costos en USD	USD/kWp
Módulo	210
Inversor central	60
Sistema eléctrico	70
Estructuras soportes	80
Imprevistos en MLC	80
Total	500

Es a los 15 años que hay que contemplar el cambio del inversor.

En los costos en CUP, tanto no todos los Costos de Desarrollo, así como como los Costos Blandos relacionados anteriormente, serían tan caros en Cuba como en otros países (ver vitecfv # 4) o inclusive, algunos pudieran obviarse, de acuerdo con un análisis al respecto, que no abordamos en esta ocasión.

## EJEMPLO EN PARQUE FV DE 200 MW FV. RESULTADOS APROXIMADOS SUJETO A MODIFICACIONES:

**PARA UN PARQUE DE 200 MW FV LA EROGACION EN MLC PARA CUBRIR LOS COSTOS DUROS ES DE 100 MILLONES DE USD**

## COSTOS DEL kWh FV EN LAS COMPONENTES POR MLC:

De acuerdo con costos mostrados, así como de las características del país: Yield promedio 1480 kWh/kWp y de 1350 kWh/kWp teniendo en cuenta la pequeña disminución anual de la eficiencia del módulo. Vida útil de los módulos actualmente 30 años. Horas pico en 30 años : 40 500 horas. El costo del kWh FV es de:

**1,25 centavos de USD**

De acuerdo con el análisis comparativo entre muchos países, el costo en CUP que incluye también la O-M entre otros costos, posiblemente debe estar en alrededor de un 40 % del costo equivalente en MLC, de ser así este aspecto a corroborar, el cálculo del aporte por el financiamiento en CUP sería de:

**25 centavos de CUP = equivalente a 1 centavo de USD**

**Costo total equivalente en USD de: 2,25 centavos de USD/kWh FV**

Los costos FV continuaran disminuyendo, ya mas ligeramente, en los próximos años. Ver la disminución de las subvenciones y la aparición del autofinanciamiento FV en el libro de "Energia FV para Cuba"

#### COSTOS DE INVERSIÓN EXTRANJERA EN PPA (Power Purchase Agreement)

##### Parque de 200 MW FV

PPA de 20 AÑOS Centavos USD/kWh	EROGACION TOTAL USD en 20 años
9 cents.	504 000 000 USD
8	448 000 000
7	392 000 000
6	336 000 000
5	280 000 000
4	224 000 000

LOS COSTOS EN PPA SON EN CUALQUIER VARIANTE MUCHO MAS CAROS, SOBRE TODO EN LA EROGACIÓN EN MLC.

EN PROXIMAS VITECFV CONTINUAREMOS CON ESTE IMPORTANTE TEMA

Dr,C Daniel Stolik

[stolik@imre.uh.cu](mailto:stolik@imre.uh.cu)

[danielstolikhov@gmail.com](mailto:danielstolikhov@gmail.com)