

## vitecfv # 33 OTRA VEZ FV con SEGUIDORES vs SISTEMAS FIJOS.

DR.C. DANIEL STOLIK

5 MAYO 2021

Este vitecfv # 33 lo dividimos en dos partes:

1.- Publicación textual sobre el tema en la Señal FV # 15 de abril 2016 (hace 5 años) distribuido por el Grupo de Gestión del Conocimiento de la Dirección Técnica de la UNE, cuyo análisis mantiene plena vigencia.

2.- Actualización en 2020 de la problemática para Cuba

## PRIMERA PARTE

### SEÑAL FV # 15.

Dr. C. Daniel Stolik. 23.ABRIL 2016

### SISTEMAS FV CON SEGUIDORES (TRACKERS) VS SISTEMAS FV FIJOS.

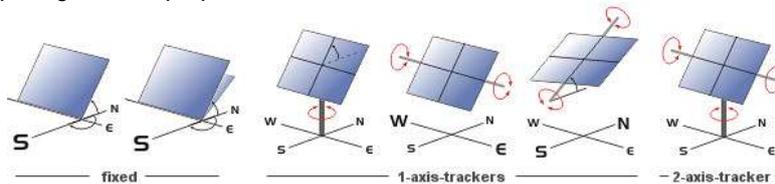
Determinar qué sistema FV es mejor entre fijo o con seguimiento (tracking) no es nada simple, depende de muchos factores como: costos, eficiencia de conversión, tipos de estructuras, posibilidades de fijaciones al suelo, disponibilidad de tierras y áreas, factores geográficos (latitud, magnitud de radiación solar, relación entre directa vs difusa), dependencia de la carga y resistencia al viento, por lo que para la toma de decisiones al respecto hay que tener en cuenta la importancia de cada característica.

Existen distintos tipos de sistemas con seguimiento (tracking):

1.- De un solo eje con variantes de:

- Eje vertical en que el módulo cambia el azimut de este a oeste.
- Eje horizontal en que el módulo gira de este a oeste con distintos ángulos de inclinación (tilt).
- Eje horizontal en que el módulo gira norte- sur.

2.- De dos ejes que sigue al sol perpendicularmente en todo momento



Ejemplos de dos ejes:



Ejemplos de un eje:



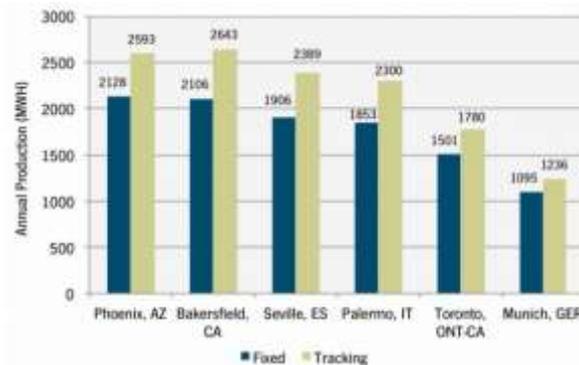
Horizontal este-oeste

Horizontal norte-sur

### SISTEMAS FV CON SEGUIMIENTO

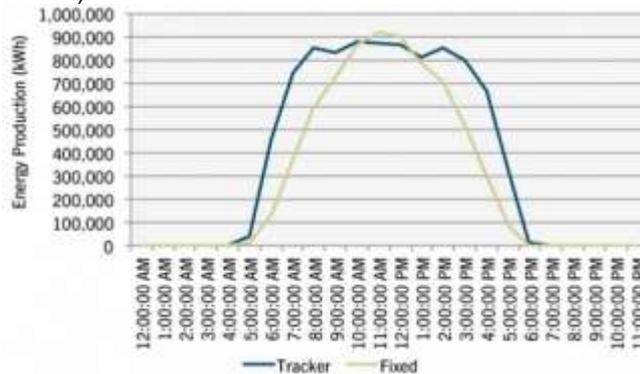
**AUMENTO DE LA GENERACIÓN FV.** Constituye La ventaja mayor de los sistemas con seguimiento, como promedio es de un 12 % a un 30 % mayor en comparación con el sistema FV fijo, en dependencia del lugar geográfico, latitud, relación entre radiación directa vs difusa, entre otros factores. En el siguiente

gráfico se muestran ejemplos en varios países entre 13 % y 22 % de aumento de la generación FV con seguimiento:



Fuente: GTM Solar Balance-of-System: To Track or Not to Track

**AUMENTO TEMPORAL DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA**, es otra ventaja de los sistemas con seguimiento a horas más tempranas y más tarde también como se indica en el siguiente es el gráfico (trackers con línea azul):



Fuente: GTM Solar Balance-of-System: To Track or Not to Track

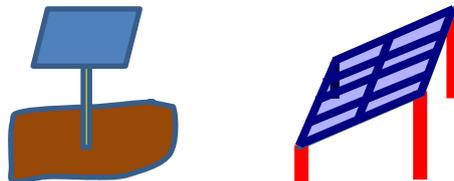
#### SISTEMAS FV FIJOS

Entre las ventajas de los sistemas fijos están por:

**SENCILLEZ MECÁNICA:** No tiene partes móviles, diseños más sencillos, de fácil instalación.

**COSTOS:** Inicial, de instalación y de mantenimiento más bajos. Cuando los módulos FV eran mucho más caros, los trackers tenían el propósito de sacar más energía a los módulos, ahora que los módulos son mucho más baratos no siempre tienen sentido los trackers. El sistema con seguidores con parte mecánica en movimiento siempre añade un costo inicial complementario y mayor costo de O-M.

**CARGA DE VIENTO:** El fijo más es fácil y más barato de fijar, calcular, diseñar, y de resistir fuertes vientos, aspecto muy importante en zonas de huracanes.

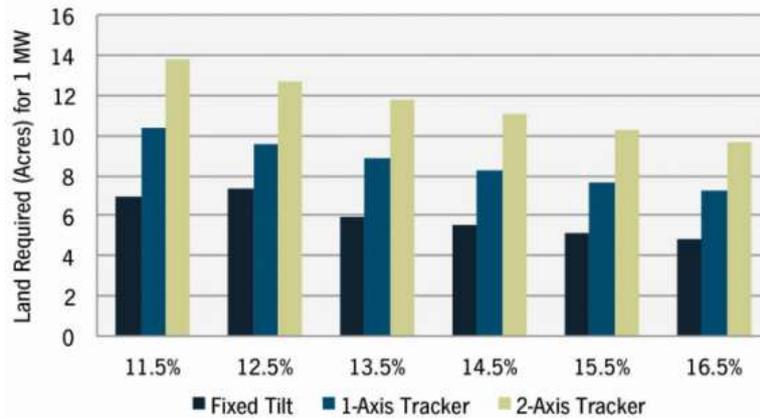


El sistema de seguimiento sobre un poste necesita mucha más robustez y es más vulnerable que el fijo con postes delanteros y traseros

#### ÁREA:

Se necesita comparar el costo del mantenimiento de los trackers con el costo de aumentar el número de módulos en instalación fija (sin trackers) para lograr la misma energía FV. Con módulos más baratos la variante costo beneficio que puede ser mejor es la de instalar más módulos fijos. Por ejemplo en California un sistema con seguimiento de 1 eje de 20 MW o un sistema fijo de 24 MW (utilizando inversores centrales y la misma técnica de cableado) producen la misma energía.

La utilización de menos área de instalación se muestra en el siguiente gráfico comparativo de requerimiento de tierra en función de la eficiencia de conversión del módulo FV:



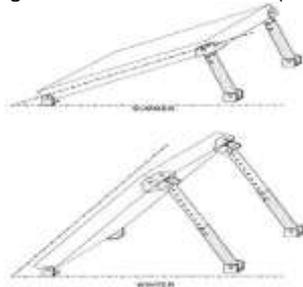
Fuentes: GTM Solar Balance-of-System: To Track or Not to Track

**RADIACIÓN.** El montaje de sistemas fijos es una buena opción en lugares de alta radiación difusa. Además existe la posibilidad de utilizar la radiación albedo (reflexión difusa en superficies) en algunos tipos de instalaciones.



El albedo en superficies blancas alcanza un 90% de reflectividad con posible aumento de > 30 % de eficiencia con utilización de módulos bifaciales que se comercializan actualmente

**ALINEAMIENTO:** El sistema fijo tiene mucha menor dependencia al desalineamiento angular del modulo con la radiación directa del sol. Además existe la posibilidad de cambiar el tilt manualmente (con aumento de la radiación entre 2 y 8 soles) mediante sistemas mecánicos manuales de barras (rack system) cambiando el ángulo (tilt) 4 veces al año (a la mitad entre solsticios y equinoccios), que pueden aumentar la producción de energía FV hasta en un 5 %. (fuente: NREL *Solar Radiation Data Manual*).



**GARANTÍA.** En sistemas fijos las garantías son por más tiempo, mientras que la de los seguidores (trackers) está en un rango entre 2 y 10 años.

### CONCLUSIÓN

En Cuba (fuente: ECURED. Energía Solar) “A diferencia de los países continentales secos, la nubosidad en Cuba es muy alta, debido principalmente a los mares que la rodean. La radiación difusa tiene un valor promedio mayor de 40%. La cantidad promedio de días nublados por mes es mayor que 10, aunque es difícil encontrar un día que no salga el Sol aunque sea por un momento”.

De acuerdo con lo anterior en lugares de alta radiación difusa disminuye el aporte que pueden dar los sistemas FV con seguimiento de la radiación directa del sol. Además de factores ya expuestos, entre otros, como: sencillez, abaratamiento de módulos, menor área de ocupación, estandarización de los parques FV, menores costos iniciales y de O-M, mayor resistencia a los vientos huracanados, posible seguimiento parcial manual en algunos sistemas FV instalados, posibilidades en un futuro próximo de utilizar la radiación albedo, se recomienda desarrollar fundamentalmente las instalaciones fijas de los sistemas FV.

\*\*\*\*\*

## SEGUNDA PARTE. ACTUALIZACIÓN

DR. C. DANIEL STOLIK MAYO 5 2021

### EFICIENCIA

Que los sistemas con seguimiento motivan el aumento de la eficiencia no es nada nuevo, surgió desde que comenzó el desarrollo de la energía FV en el mundo y así lo hemos reflejado desde hace muchos años. Por supuesto que el aumento de la eficiencia FV es un aspecto primordial, pero en dependencia de los costos, o sea, se plantea como la necesidad de lograr mayor eficiencia a un costo mínimo. Un ejemplo es el de las celdas FV de AsGa multijuntura, que poseen el récord de eficiencia logrado en laboratorio de un increíble 47 %, pero son tan caros que solo compiten en sistemas espaciales extraterrestres.

### COSTOS

La información sobre el costo real de los sistemas con seguimiento es muy diversa, pero todas, unas más, otras menos, reconocen, entre ventajas y desventajas, que son más caras, por lo que el problema se reduce a comparar el aumento de la eficiencia con el aumento del costo, así como cuanto son los años de recuperación entre fijos y con seguimiento. En el artículo [What is a solar tracker and is it worth the investment?](https://www.solarreviews.com), de Enero 2021 (<https://www.solarreviews.com>) se plantea que como promedio el costo de seguimiento de un eje es un 50 % más caro que el fijo y el de 2 ejes es el doble más caro y se pone en duda el beneficio económico del seguimiento

### ÁREA Y RADIACIÓN SOLAR.

En la Señal # 15 se muestra que los sistemas con seguimiento requieren de mucha mayor área de ocupación, los sistemas de seguimiento son muy utilizados en áreas desérticas, como Atacama en: - Chile, - Mohave en California, - Emiratos Árabes Unidos, entre otros, que además de poseer mucha área también tienen los niveles más altos del mundo de radiación solar con un altísimo nivel de radiación directa. Pero eso puede ser distinto y se hace necesario hacer un análisis integral en cada país para su aplicación.

### PAPEL DEL MÓDULO FV EN INSTALACIONES FIJAS VS SEGUIMIENTO.

Ya habíamos analizado anteriormente como desde un principio el alto costo de los módulos FV propiciaba la alternativa de sistemas con seguimiento, el problema era tratar de sacarle todo el jugo al módulo, mucho más caro que el resto del sistema FV, pero este aspecto ha ido cambiando notablemente con el paso de los años. En el artículo La Energía FV: oportunidad y necesidad para Cuba, publicado en Encomia. y Desarrollo vol 152 no. 2 de jul-dic 2014, mostraba la siguiente evolución del costo promedio de los módulos FV .

Evolución del costo aproximado en USD del Wp del módulo

1975	1980	1990	2000	2010	2013	...	PRONOSTICO 2020
70	30	9	5	2	0,70		0,35

Nótese como continuó disminuyendo el costo el módulo e inclusive como me quedé corto en el pronóstico del 2020, el promedio del 2020 es de 18 centavos de USD/Wp para el poli cristalino y de 21 centavo USD para el monocristalno.

### MERCADO MUNDIAL DE INSTALACIONES FIJAS VS SEGUIMIENTO.

Añadir más módulos fijos se convirtió en otra alternativa que ha competido con las instalaciones con seguimiento, aspecto que ha dependido notablemente de las características de cada país. El resultado ha sido que hoy la mayoría de las instalaciones FV en el mundo son fijas, se estima que el mercado mundial de sistemas con seguimiento en 2019 era de unos 9,5 mil millones de USD, mientras que el total que incluyen los fijos fue mayor de 130 mil millones, o sea que un 93 % fueron de instalaciones fijas, por supuesto que ambas continuaran aumentando, pero la competencia depende mucho de factores, sobre todo de financiamiento económico del nivel de erogaciones en MLC de esta competencia. En el caso de Cuba este aspecto de erogación de MLC es crucial. En este sentido el problema no es tanto tecnológico como económico-financiero.

### **ALTERNATIVAS PARA CUBA**

En el libro de Energía FV para Cuba y en otras vitecfv hicimos recomendaciones de costos y financiamientos teniendo en cuenta la enorme erogación en divisas ocasionadas por la importación de combustibles fósiles y la falta de liquidez en MLC del país. En 2011 recomendábamos la utilización de las PPA con inversión extranjera, pero de acuerdo con los desarrollos alcanzados, en los años recientes, recomendamos la utilización del esfuerzo propio, importar solo el "hardcost" y financiar el "softcost" en moneda nacional, todo con vista al aumento de la FV y la disminución de las erogaciones en divisas. Mucho más factible en instalaciones fijas de acuerdo con la experiencia de las instalaciones FV de Cuba en los últimos años.

### **VALORACIONES CONCRETAS**

Como ejemplo supongamos que negociamos un PPA con inversionista extranjero de 60 MW FV con seguimiento este-oeste, con pago de 9 centavos de USD por los kWh suministrados. Teniendo en cuenta el aumento del factor de capacidad y aumento del yield (1450 kWh/kWp) en plena producción anual, calculamos que hay que pagar cada año en divisas por la generación entregada al SEN por 87 millones de kWh, la cantidad de 7,83 millones de USD al año y 156, 6 millones de USD en 20 años.

De negociar 1000 MW en PPA en estas condiciones, la erogación seria de 132 millones de USD/año y de 3 132 millones en 20 años.

De hacerlo por la vía de diferenciar los costos hard y soft, es cierto que la erogación inicial requiere de un mayor esfuerzo, pero que vale la pena, ya que la erogación en divisas es 3 veces menor, lo que propicia la posibilidad de reducir mucho más la importaciones de combustibles fósiles, que debe ser el primer gran propósito de la estrategia de la sustitución de los fósiles.

### **ALTERNATIVAS DE INSTALACIONES FIJAS**

A.- **EN ORIENTACIÓN NORTE-SUR** de instalaciones más bien pequeñas, montar sistema con cambio manual de ángulo (tilt), cambiar manualmente 3 veces en el año el ángulo para aumentar la radiación directa por el paso de los rayos solares que provienen entre los trópicos de cáncer y capricornio durante un ciclo de 1 año. Por ejemplo, válido en instalaciones residenciales, sociales y comerciales. Otra posibilidad es la de instalar módulos bifaciales en superficies blancas pintadas con pintura de techo.

B.- **EN ORIENTACIÓN ESTE-OESTE FIJAS.** Esta variante es válida hasta instalaciones de mucha potencia, sobre todo de nivel utility en suelo y para techos y cubiertas de grandes áreas. Es una alternativa que está en auge, ya que permite una instalación compacta continua con un aumento notable del número de módulos en una misma área (ya que no se producen sombras para alejar las líneas de módulos). Por ejemplo en instalación fija norte sur donde cabrían 80 módulos en este-oeste compacto podrían caber unas 120, el resultado es que disminuye un poco la eficiencia por módulo, pero aumenta por área, además, también ensancha la curva de generación FV en horas más tempranas y más tarde de sol. Tampoco necesitan de variante bifacial y la superficie se calienta menos (toda el área está cubierta de módulos). Lógicamente que esta variante ha sido posible gracias al gran abaratamiento de los módulos y estimo que es una mejor variante para Cuba que la de este-oeste con seguimiento.

### **OTROS ASPECTOS**

No abundaremos en otros aspectos ya analizados, como la carga de viento, que en el fijo más es fácil y más barato de anclar, calcular, diseñar, y de resistir fuertes vientos, aspecto muy importante en zonas de huracanes. La O-M es más sencilla y barata. Tiene mucha menor dependencia al desalineamiento angular del módulo con la radiación directa del sol. Las garantías son por más tiempo. Más fácil y económica preparación del lugar, sin requerir cavar trincheras en suelo como en el caso con seguimientos, entre otros factores. El aumento de la eficiencia es real con seguimiento pero no es suficiente.

Para no alargar este vitecfv, quedo a disposición de profundizar colectivamente en la problemática que ha sido estudiada por nuestra sostenida vigilancia tecnológica al respecto.

Estimo que es necesario concentrar esfuerzos, que la opción fija es más conveniente y segura para Cuba, sobre todo que permite disminuir la erogación en MLC.

Dr..C. Daniel Stolik

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

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