GAMECHANGE SOLAR
REPOWERING THE PLANET

White Paper:

OPTIMIZACIÓN DEL SEGUIDOR MEDIANTE LA MÁXIMA CAPTURA DE IRRADIANCIA DIFUSA Y CONTROL INDIVIDUAL DEL SEGUIDOR

Autores:
Scott Van Pelt, P.E., Chief Engineer
Andrew Barron Worden, CEO
Anthony Assal, Engineering Project Manager

Fecha de Lanzamiento: December 1st, 2020

Resumen

A medida que los seguidores de un solo eje se convierten en la opción común para las plantas de energía solar a gran escala a nivel global, los fabricantes de seguidores y los propietarios de proyectos han trabajado para optimizar el algoritmo de seguimiento para la máxima producción de energía. En particular, dos funciones están siendo ofrecidas por múltiples proveedores de seguidores, incluido GameChange Solar:

- Captura de irradiación difusa, donde los seguidores se ponen en posición horizontal en días nublados.
- Control individual del seguidor, donde cada fila del seguidor gira según su propio horario basado en la elevación de esa fila en relación con las filas adyacentes.

Varios fabricantes de seguidores han hecho declaraciones públicas sobre la medida en que estas dos funciones pueden aumentar la producción de energía. Como se muestra en el análisis desarrollado en este documento, es posible que las dos funciones enumeradas anteriormente sean utilizadas para aumentar la producción de energía de un solo seguidor aproximadamente un 5% en el transcurso de un solo día. Esto se alinea con las afirmaciones que han sido realizadas por otros fabricantes de seguidores.

Sin embargo, es importante que este aumento de un 5% de la producción de energía se ponga en contexto. Varios fabricantes de seguidores han emitido comunicados de prensa y afirmaciones similares sobre este tema que podrían resultar engañosas, ya que no aclaran que el aumento calculado de energía es solamente durante un solo día para un seguidor en una elevación ventajosa con respecto a los seguidores próximos, y que el día utilizado para calcular el incremento en la producción de energía tiene un perfil meteorológico muy específico que no es indicativo del clima de una planta solar típica en el transcurso de un año entero.

Este documento técnico busca aclarar el aumento esperado en el rendimiento energético debido a la captura de irradiación difusa y el control individual de cada seguidor sobre el transcurso de un día ideal para un seguidor ideal en un año típico para una planta de energía solar típica.

© 2021 GameChange Solar Corp. | 230 East Ave, Suite 100, Norwalk, CT 06855 | +1-212-388-5160 | gamechangesolar.com

Análisis Un Día - Un Seguidor

A medida que los seguidores de un solo eje se convierten en la opción habitual para plantas de energía solar a gran escala, los fabricantes de seguidores y los propietarios de proyectos han trabajado para optimizar el algoritmo de seguimiento para la máxima producción de energía. Dos funciones en particular están siendo ofrecidas por múltiples proveedores de seguidores, incluido GameChange Solar:

- Captura de irradiación difusa, vendida bajo la marca registrada WeatherSmart™
- Control individual del seguidor, vendido bajo la marca registrada PowerBoost™

WeatherSmart™ aprovecha el fenómeno donde las mesas de seguimiento generarán más energía cuando rotan a la en posición horizontal en días completamente nublados. Al ubicarse en posición horizontal, los paneles en la mesa de seguimiento están expuestos al hemisferio completo de irradiación difusa. Si la mesa de seguimiento continuara en seguimiento normal bajo un cielo completamente nublado, evitaría que la irrandiación difusa de esta parte del hemisferio llegue a los módulos PV, reduciendo por tanto la producción de energía.

A medida que la energía solar se vuelve más común, las parcelas óptimas para instalaciones solares son cada vez más y más escasas. Las plantas de energía solar son ahora comúnmente construidas en propiedades con grandes cambios de elevación y topografía. En estos casos, lo óptimo es que cada seguidor rote según su propio programa de ángulo de inclinación según la hora del día. En particular, en las primeras y últimas horas del día, cuando las sombras proyectadas por los seguidores son más largas, y cuando la función de anti-sombreado está en funcionamiento, la rotación de cada tracker según su propio ángulo de seguimiento, teniendo en cuenta la elevación relativa de las mesas de seguimiento adyacentes, optimizará la producción de energía. El impacto de la elevación del terreno en el sombreado entre filas puede ser visto en las Figuras 1A y 1B, mostradas a continuación. Observe en la Figura 1A y el lado derecho de la Figura 1B, donde el terreno es plano, cómo las sombras en las mesas de los seguidores llegan a los postes de las mesas anteriores, mientras que las sombras de las mesas situadas en el lado izquierdo de la Figura 1B, que se ubican en terreno con pendiente ascendente, alcanzan el pasillo entre las mesas. Gracias al ajuste individual del ángulo de cada seguidor, el algoritmo anti-sombreado se puede configurar para que cada mesa sea perpendicular al haz de luz del sol durante el máximo tiempo posible sin sombrear al seguidor próximo.

GameChange Solar ha realizado análisis utilizando el software de ingeniería estándar de la industria PVsyst para cuantificar las ganancias de energía de las dos funciones mencionadas anteriormente.

El siguiente análisis se realiza para un seguidor localizado en un proyecto de muestra con un tamaño de aproximadamente 96 MWdc, ubicado en Carolina del Norte, EE. UU. El proyecto utiliza módulos de 365W, una distancia entre filas (pitch) de 6 metros y una pendiente del terreno de un 10% hacia el este en esta parte del bloque inversor. Los modelos se crearon tomando en cuenta el caso base de operación normal del seguidor, el caso donde las mesas del seguidor van a una inclinación plana en días nublados para calcular la ganancia de energía de WeatherSmart™ y un caso con espacio entre filas ajustado para modelar el backtracking de los seguidores cuando se tiene en cuenta la elevación relativa del terreno para calcular la ganancia de energía de PowerBoost™.

Más específicamente, este estudio se realizó utilizando PVsyst como software de modelado y los datos meteorológicos disponibles en Meteonorm. Esta simulación reproduce las condiciones climáticas y topográficas ideales necesarias para maximizar las ganancias potenciales utilizando un sistema de seguimiento con las funciones de mejoramiento de rendimiento mencionadas anteriormente. La metodología usada para modelar el beneficio potencial de PowerBoost™ es convertir el espaciado entre filas para una ubicación con una pendiente del 10% a una distancia equivalente entre filas que genera la misma longitud de sombras en términos de una superficie plana utilizando las ecuaciones trigonométricas apropiadas. Esto resulta en un espaciado entre filas mayor para un área de pendiente positiva y un espaciado entre filas más reducido para un área de pendiente negativa. Utilizando los valores de la proyección sobre un terreno plano, se realizaron cuatro análisis separados a través de PVsyst para maximizar las ganancias potenciales. Los análisis realizados incluyen la utilización de un backtracking normal con un espaciado entre filas en terreno plano, un backtracking con separación entre filas de elevación positiva, un backtracking con separación entre filas de elevación negativa, y un caso de seguimiento plano para reproducir la posición de defensa durante un día nublado. Se generaron varios resultados utilizando estos criterios y se calcularon las ganancias correspondientes. Se asumió que WeatherSmart™ entraba en operación cada hora. El porcentaje de ganancia se calculó utilizando la producción total de energía por PowerBoost™ + WeatherSmart™ y la energía generada para un caso de backtracking normal sin ninguna de las anteriores funciones de mejoramiento de rendimiento.

© 2021 GameChange Solar Corp. | 230 East Ave, Suite 100, Norwalk, CT 06855 | +1-212-388-5160 | gamechangesolar.com

Figura 1A: Sombras de la mesa de seguimiento en terreno plano
(Observe que la sombra de cada mesa llega a los postes de la mesa detrás de ella)

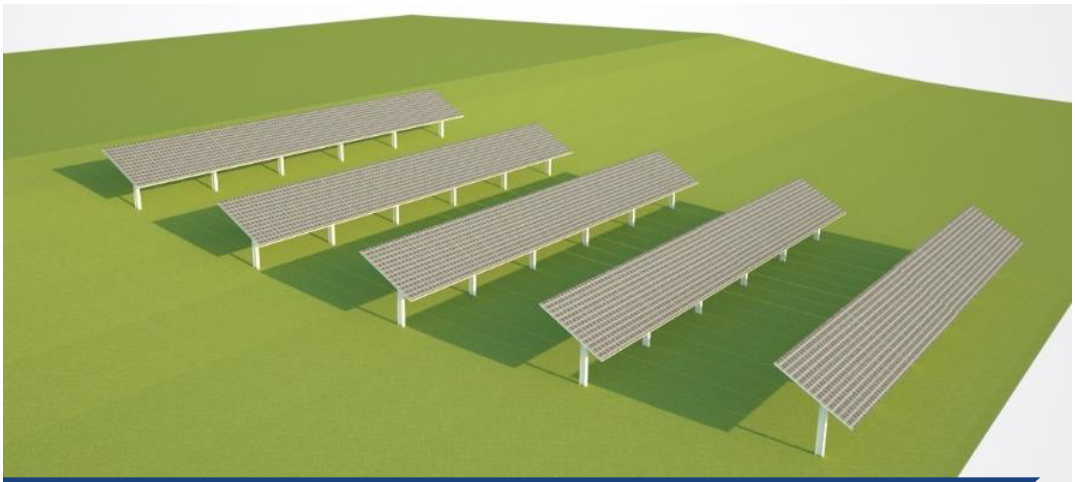


Figura 1B: Sombras de la mesa de seguimiento en terreno con pendiente variable (Observe que la longitud de la sombra proyectada por las mesas es más corta para las mesas en la pendiente)

Se puede observar en la **Figura 2** las funciones de optimización de los seguidores a lo largo de un día. La línea azul representa el rendimiento de un seguidor sin ninguna de estas funciones (caso base). La línea naranja representa el rendimiento del seguidor con PowerBoost™ + WeatherSmart™ en funcionamiento. Por la mañana, cuando el seguidor del caso base está realizando backtracking utilizando un algoritmo que tiene en cuenta la elevación relativa de los seguidores adyacentes, el seguidor optimizado es más perpendicular al haz de la luz del sol. Se tiene en cuenta el hecho de que los seguidores en una pendiente al este pueden estar en una inclinación más alta (más perpendicular al rayo del sol) sin sombrear a las filas detrás. Al mediodía, el cielo se vuelve nublado. En este momento, el seguidor se mueve a la posición horizontal donde se maximiza la entrada de irradiación difusa. Al final del día, el cielo se despeja y el seguidor de nuevo retrocede. Sin embargo, en este momento, el seguidor se mueve considerando la misma posición que el caso base ya que el seguidor de ejemplo es ahora la mesa controladora de los seguidores.

© 2021 GameChange Solar Corp. | 230 East Ave, Suite 100, Norwalk, CT 06855 | +1-212-388-5160 | gamechangesolar.com

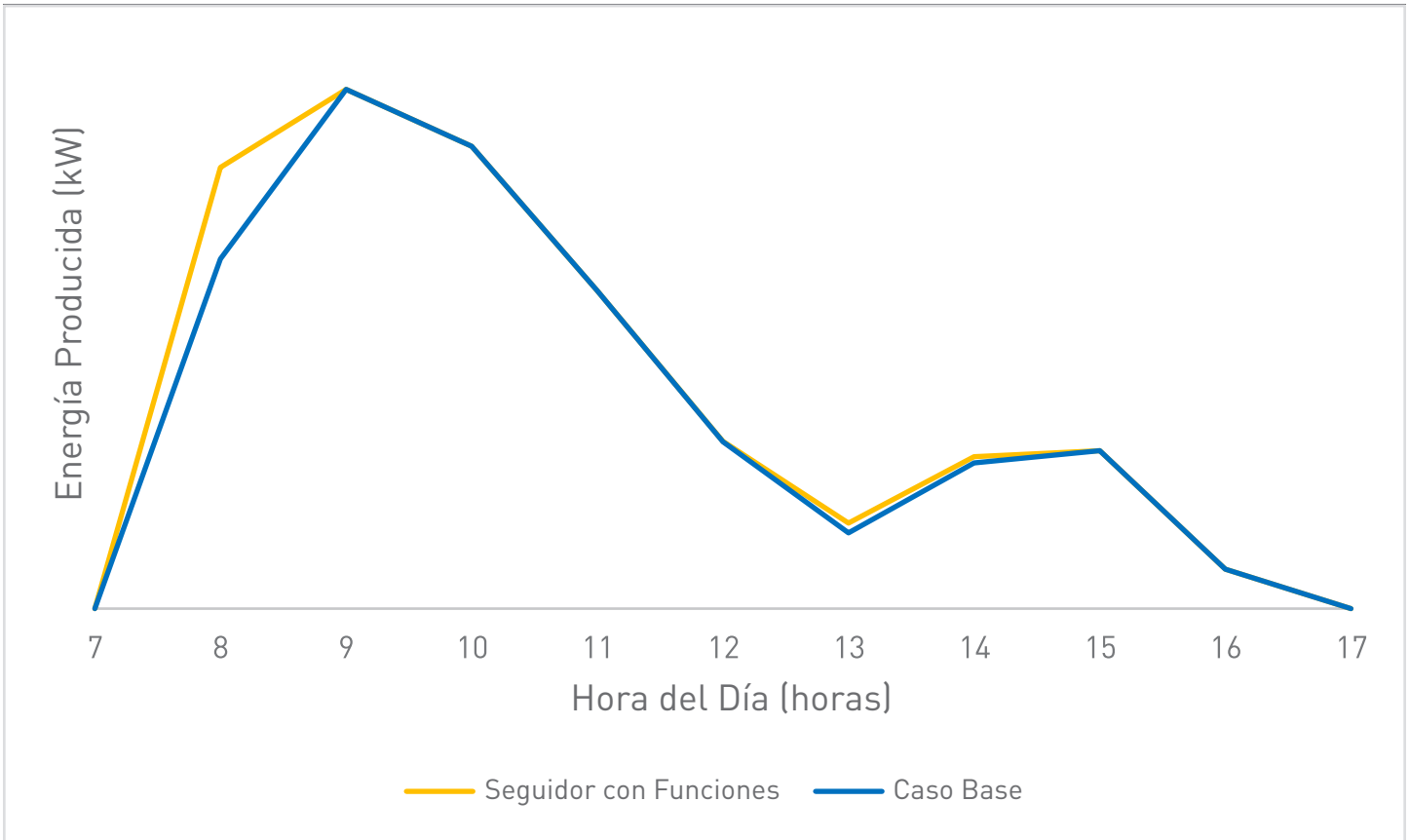


Figura 2: Producción de Energía durante el Día

Como resultado de maximizar la captura de irradiancia difusa y el control del seguidor individual, el seguidor de ejemplo cosecha un 4.8% más de energía en el transcurso del día.

Algunas notas importantes para poner en perspectiva este aumento en la producción de energía:

- El análisis anterior es para un seguidor individual. No todos los seguidores de la planta de energía solar estarán ubicados en la misma pendiente del terreno. Los que se encuentren en un terreno más plano tendrán aumentos más pequeños en la producción de energía debido al control individual de la mesa.
- El análisis anterior, y especialmente el aumento porcentual resultante en la producción de energía, se basa en un perfil meteorológico específico por la cantidad y tipo de irradiación que está llegando a los módulos en el día analizado. Por tanto, requiere que la ubicación de la planta esté soleada al comienzo de la mañana y al final de la tarde, cuando las ventajas de la operación independiente por cada seguidor pueden ser observadas, poniendo fin a un período de tiempo completamente nublado durante la mitad del día. Es importante tener en cuenta que, durante la mitad del día, cuando la planta solar normalmente está funcionando a máxima potencia, el cielo se supone que está nublado, lo que da como resultado una menor producción de energía incluso cuando se tiene en cuenta la posición horizontal para maximizar la recolección de irradiación difusa. El resultado de este perfil de irradiancia es una producción de energía relativamente baja durante todo el día, produciendo un menor denominador para el cálculo del porcentaje de aumento en la producción de energía debido a la captura de irradiación difusa y control individual de la mesa.
- Este aumento de rendimiento es solo por un día. Como los lugares típicos tendrán 80 o menos días completamente nublados durante el curso del año (aproximadamente un 20% o menor), la producción de energía indicada anteriormente se diluirá. En otras palabras, el porcentaje de aumento en la producción de energía en el transcurso de un año debido a la optimización de los algoritmos de control del seguidor para la captura de irradiación difusa y la operación de filas individuales serán significativamente menores que en un solo día cuando ambas funciones se utilizan en secuencia.

© 2021 GameChange Solar Corp. | 230 East Ave, Suite 100, Norwalk, CT 06855 | +1-212-388-5160 | gamechangesolar.com

Análisis Anual de la Planta Completa

A modo de comparación, el análisis de producción anual de energía de la planta completa para todo el año se presenta a continuación. Este análisis es para el ya mencionado proyecto de 96MWdc en Carolina del Norte, EE. UU. que se utilizó en el análisis de un solo día. El proyecto utiliza módulos de 365W y una separación entre filas (pitch) de 6 metros. Sin embargo, la topografía varía en toda la planta.

La configuración de una simulación para la cuantificación de la ganancia de energía por la implementación de WeatherSmart™ se logró utilizando el software PVsyst de simulación junto con Meteonorm. El primer paso fue poder crear un criterio para determinar qué cuenta como nubosidad. Se utilizó Meteonorm para generar un archivo csv con datos meteorológicos para las ubicaciones propuestas en un formato que incluía:

- Mes
- Día
- Hora
- Nubosidad (Octas)
- Irradiación global
- Irradiación difusa

Este formato fue utilizado para comparar la relación entre nubosidad y la relación entre irradiación difusa e irradiación global. Se observaron períodos de tiempo en los que la primera o la segunda mitad del día estaba cubierto completamente de nubes. La nubosidad total fue definida tomando un mínimo valor medio de Octa de 7,75 sobre 8, el cual, durante un período de 8 horas, representa al menos 6 horas con valores de "8" y otro no menor de "7". Al comparar la relación entre la irradiación difusa y global con periodos de tiempo que se ajustan a los criterios definidos para la nubosidad total, la proporción encontrada no fue inferior al 90%.

Se utilizó una simulación de PVsyst para determinar la producción de energía anual, la cual tuvo en cuenta los siguientes parámetros:

- Panel: Jinko JKM 365M-72-V
- Inversor: Siemens Sinacon PV4560
- Tamaño / cantidad de módulos en serie: 27/9730
- Rango de movimiento: ± 52 °
- Pitch: 6 metros
- Pérdidas: se utilizaron los valores predeterminados de PVsyst
- El backtracing está habilitado de forma predeterminada para GameChange
- Los seguidores requieren un modelo 3D creado con el componente "Near Shadings" de PVsyst. Para esta simulación, se hizo un sistema cuadrado y simplificado.

Después de configurar todos los parámetros de entrada específicos necesarios del proyecto, se realizaron dos variantes diferentes para PVsyst. La primera variante utiliza específicamente el rango de movimiento designado para el proyecto. Esto serviría como caso de control para representar la operación de seguimiento habitual. Una segunda variante se ejecutó con el rango de movimiento limitado a una posición horizontal (ej.: -1° a + 1°). Esta variante representa la operación de la posición horizontal de WeatherSmart™. Los resultados para las respectivas variantes se generaron en un archivo csv con los siguientes parámetros:

- Hora (año, mes, día, hora)
- Energía inyectada en la red (EGrid)
- Irradiación global
- Irradiación difusa
- Ángulo solar

Durante la parte posterior al procesamiento de este análisis, para cada intervalo de tiempo, la proporción entre irradiación difusa e irradiación global fue calculada. Posteriormente fue creado un año simulado de seguimiento con la función WeatherSmart™ habilitada. Los resultados de las dos simulaciones fueron unificados en un modelo combinado separado, con los valores predeterminados para cada intervalo de tiempo del caso de control, y cualquier hora que tuviera una proporción entre la irradiación difusa/global mayor a un 90% utilizando los valores de salida de la variante ROM restringida. Los resultados de estos dos modelos se muestran en las Figuras 3 y 4. Para comparar los efectos simulados de la implementación de WeatherSmart™, la producción total para el caso unificado y el caso de control fueron comparadas. Restando 1 de la relación de los valores del caso unificado y el caso de control, nos muestra el porcentaje de ganancia de la implementación del algoritmo WeatherSmart™ en los momentos de la supuesta nubosidad.

© 2021 GameChange Solar Corp. | 230 East Ave, Suite 100, Norwalk, CT 06855 | +1-212-388-5160 | gamechangesolar.com

$$\text{Ganancia WeatherSmart}^{\text{™}} = \frac{\text{WeatherSmart}^{\text{™}}\ \text{Producción}}{\text{Producción Normal}} - 1 = \frac{166619\ \text{MWh}}{165714\ \text{MWh}} - 1 = 0.55\%$$

Para el caso de PowerBoost™, se configuraron variantes adicionales de PVsyst con la intención de reproducir el comportamiento de seguimiento de un sistema completo construido en una pendiente con un sistema en terreno plano que PVsyst pueda utilizar. El criterio para determinar el espacio entre filas equivalente fue determinar en qué ángulo del sol las mesas inclinadas dejan de realizar backtracking y encontrar el mayor espacio entre filas para un terreno plano que resulte en el mismo ángulo del sol cuando se detiene el backtracking.

Para sitios sin control individual por seguidor, deben ser tomadas medidas conservadoras para evitar las sombras durante las horas de producción. En el caso de la planta analizada en Carolina del Norte, la pendiente promedio a lo largo de la planta era horizontal, pero debido a las pendientes este-oeste locales, el espacio entre filas asumido para calcular los ángulos de seguimiento fue artificialmente limitado a 2 pies (60,96 cm) para inducir el back-tracking antes y evitar el sombreado entre filas en áreas con pendiente este-oeste. Para entender el efecto sobre la producción, se ejecutó un modelo PVsyst con un espacio ajustado entre filas de 5,39 metros y lo comparamos con el caso nominal. El efecto de reducir el espacio entre filas en 60,96cm fue una caída en producción de 1%.

El espacio entre filas ajustado fue utilizado para el modelo de PVsyst y descargado a un archivo csv. Para cada día, los ángulos del sol fueron comparados con el ángulo donde se detenía el back-tracking y, si el ángulo del sol estaba por debajo, el valor de la variante con el espacio entre filas más grande fue incorporado al modelo combinado.

Caso Base – Valores y Resultados Principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	73.5	36.87	5.53	96.8	90.8	8510	8404	0.906
Febrero	89.1	41.93	6.56	116.9	110.5	10186	10056	0.897
Marzo	132.5	48.74	11.04	175.7	168.3	14902	14706	0.873
Abril	166.4	68.53	15.50	217.0	208.1	17794	17572	0.845
Mayo	178.9	85.89	19.87	227.2	217.2	18251	18028	0.827
Junio	189.0	82.90	23.97	240.2	230.2	19118	18896	0.820
Julio	187.6	89.77	25.69	235.7	225.4	18649	18433	0.816
Agosto	172.6	79.86	25.53	219.6	209.9	17432	17230	0.818
Septiembre	134.6	66.53	21.58	172.2	163.9	13975	13807	0.836
Octubre	112.6	46.94	16.26	149.8	142.5	12538	12383	0.862
Noviembre	73	32.89	11.05	97.4	91.7	8316	8211	0.879
Diciembre	67.8	29.63	6.72	92.6	86.9	8080	7979	0.899
Año	1577.5	710.47	15.83	2040.9	1945.5	167751	165703	0.847

Figura 3: Caso Base de Producción (6 metros)

Peor Caso Nominal: Valores y Resultados Principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	73.5	36.87	5.53	95.7	89.5	8391	8286	0.903
Febrero	89.1	41.93	6.56	115.5	109.1	10054	9926	0.896
Marzo	132.5	48.74	11.04	174.3	166.8	14760	14566	0.871
Abril	166.4	68.53	15.50	215.4	206.1	17627	17407	0.843
Mayo	178.9	85.89	19.87	225.3	215.0	18063	17842	0.826
Junio	189.0	82.90	23.97	238.5	228.1	18948	18728	0.819
Julio	187.6	89.77	25.69	234.5	223.8	18510	18296	0.814
Agosto	172.6	79.86	25.53	218.2	208.1	17289	17088	0.817
Septiembre	134.6	66.53	21.58	170.8	162.2	13837	13671	0.835
Octubre	112.6	46.94	16.26	148.2	140.7	12380	12227	0.860
Noviembre	73	32.89	11.05	96.5	90.6	8220	8116	0.877
Diciembre	67.8	29.63	6.72	91.0	85.3	7933	7834	0.897
Año	1577.5	710.47	15.83	2023.9	1925.2	166011	163985	0.845

Figura 4: Producción ajustada en el peor de los casos (5,39 metros)

© 2021 GameChange Solar Corp. | 230 East Ave, Suite 100, Norwalk, CT 06855 | +1-212-388-5160 | gamechangesolar.com

Para este análisis anual en particular, WeatherSmart™ estuvo activo en un total de 75,5 días al año. En los días que WeatherSmart™ estaba activo, la ganancia promedio de producción para un solo día fue un 5% (teniendo en cuenta que PowerBoost™ también estaba activo en esos días). PowerBoost™ proporcionó una ganancia promedio adicional diaria por encima de WeatherSmart™ de un 1,17% en los días que WeatherSmart™ estaba activo. En una comparación mes a mes, WeatherSmart™ y PowerBoost™ contribuyeron cantidades similares a la ganancia total de producción para la planta.

Mes	Seguimiento Normal (MWh)	Seguimiento WeatherSmart™ (MWh)	Seguimiento WeatherSmart™ / PowerBoost™ (MWh)
1	8405	8461	8544
2	10057	10100	10131
3	14704	14805	14921
4	17572	17654	17817
5	18029	18097	18119
6	18896	19023	19088
7	18434	18518	18536
8	17231	17289	17432
9	13808	13860	13914
10	12384	12472	12560
11	8212	8319	8394
12	7980	8021	8050

Figura 5: WeatherSmart™ + PowerBoost™ Comparación de Producción por Mes

Por lo tanto, la ganancia porcentual en la producción de energía anual para todo el sitio anualmente es 1,08%, como se demuestra a continuación:

$$\text{WeatherSmart™ / PowerBoost™ Ganancia} = \frac{\text{Producción Combinada}}{\text{Producción Normal}} - 1 = \frac{167507\ \text{MWh}}{165714\ \text{MWh}} - 1 = 1.08\%$$

Este informe está basado en un análisis realizado por GameChange Solar Corp. ("GameChange"). El informe se presenta tal cual, sin garantías en cuanto a la exactitud de la información aquí presentada. GameChange no será responsable de las partes que confíen en la información o conclusiones de este informe.

© 2021 GameChange Solar Corp. | 230 East Ave, Suite 100, Norwalk, CT 06855 | +1-212-388-5160 | gamechangesolar.com

GAMECHANGE SOLAR
REPOWERING THE PLANET

MÁS DE 6 GW VENDIDOS

Líder Global en Estructura Fija y Seguidores (Trackers)

GENIUS TRACKER™

Seguidor Solar con la Mejor Producción de Energía e Instalación Más Rápida del Mundo

MAXSPAN™

Sistemas de Estructura Fija con Hincado Directo de Mejor Calidad y Precio

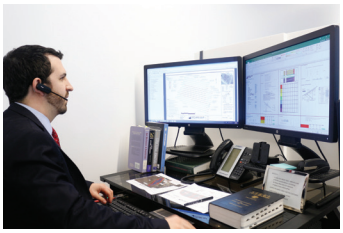
POUR-IN-PLACE™ SISTEMA DE BALASTO

La Mejor Solución para Sitios Rocosos y Vertederos

PRECIOS COMPETITIVOS
VALOR INCOMPARABLE

En GameChange Solar nos motiva la misión de repotenciar el planeta con energía solar fotovoltaica. Asumimos nuestra parte al reducir continuamente nuestros precios de nuestros seguidores solares y de nuestras estructuras fijas. Con más de 6 GW en ventas, los sistemas de GameChange combinan perfectamente un proceso rápido de instalación, una alta calidad bancable y un valor añadido inmejorable a través de una ingeniería superior, un diseño innovador y una fabricación a gran escala.

El Mejor Servicio al Cliente en el Mercado



Ingeniería Superior Estructural, Civil, Mecánica y Eléctrica

Equipo de Logística propio para Entregas a Tiempo

Solución Integral para Geotécnica, Pull Test y Servicios Llave en Mano

GameChange Solar Capital Intro™

Presentaciones de Financiamiento de Proyectos

GameChange Solar trabaja con IPP, empresas de capital privado y empresas de servicios públicos que invierten en proyectos convirtiéndose en propietarios. A estos inversionistas les presnetamos a los desarrolladores y EPC que tienen proyectos para construir. Esto permite que se financien y construyan más proyectos, lo que fomenta nuestra misión de renovar el planeta con energía solar fotovoltaica.

El programa Capital Intro™ de GameChange Solar actualmente tiene más de $20 mil millones de dólares en capital disponible de múltiples fuentes.

JUNTOS PODEMOS REPOTENCIAR EL PLANETA

OFICINA CENTRAL:
230 East Ave, Suite 100
Norwalk, CT, USA
Teléfono: +1 (212) 388-5160
gamechangesolar.com/la
media@gamechangesolar.com

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO:
Brimfield, Massachusetts, USA

OFICINAS DE EUROPA:
Dublin, Irlanda
Zug, Suiza
Madrid, España

OFICINAS DE ASIA:
Wuxi, China
Mumbai, India