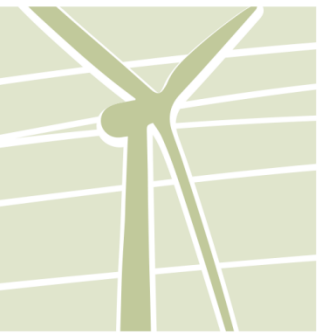
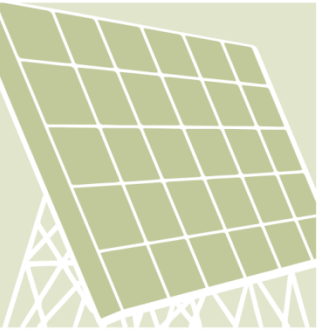


POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 1: Infórmate

La publicación de la Caja de herramientas de sistemas de riego solar ha sido posible gracias al apoyo brindado por la iniciativa mundial *Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development* (PAEGC) (Energización Rural: Un gran desafío energético para el desarrollo). En 2012, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Sida), el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania, la empresa de energía Duke Energy Corporation y la Corporación de Inversiones Privadas en el Extranjero (OPIC) juntaron recursos para crear la iniciativa PAEGC. El objetivo de PAEGC es fomentar nuevos enfoques sostenibles con el fin de acelerar el desarrollo y asegurar el establecimiento de energías limpias que incrementen la productividad y/o el valor de la agricultura en países en desarrollo y regiones emergentes sin acceso a fuentes de energía confiables, asequibles y limpias.

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, por encargo del BMZ como socio fundador de la iniciativa mundial *Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development* (PAEGC) (Energía para la agricultura: Un gran desafío de energía para el desarrollo), y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

Responsable

Proyecto de la GIZ *Sustainable Energy for Food – Powering Agriculture* (Energía sostenible para la alimentación - Energía para la agricultura)

Contacto

Powering.Agriculture@giz.de

Descargar

https://energypedia.info/wiki/Toolbox_on_SPIS

Acerca de

Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development. <https://poweringag.org>

Versión

1.0 (marzo de 2018)

Descargo de responsabilidad

Las denominaciones empleadas y la presentación del material en este producto informativo no implican juicio alguno por parte de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), o los socios fundadores de la iniciativa PAEGC, sobre la condición jurídica o el grado de desarrollo de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la GIZ, la FAO o alguno de los socios fundadores de la iniciativa PAEGC los aprueben o recomienden, dándoles preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan. Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es) o autora(s), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o las políticas de la GIZ, la FAO o ninguno de los socios fundadores de la iniciativa PAEGC.

La GIZ, la FAO y los socios fundadores de la iniciativa PAEGC fomentan la utilización, la reproducción y la difusión del material presentado en este producto informativo. A menos que se indique lo contrario, el material puede ser copiado, descargado e impreso con fines de estudio privado, enseñanza e investigación científica, o para su utilización en productos o servicios no comerciales, siempre que se otorgue a la GIZ y la FAO el debido reconocimiento como fuentes y como titulares de los derechos de autor.

ABREVIATURAS

Ah	amperio hora
CA/CC	corriente alterna / corriente continua
CEM	condiciones estándar de medida
CT	coeficiente de temperatura
CWR	Crop Water Requirement (necesidades de agua de los cultivos, siglas en inglés)
ET	evapotranspiración
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, siglas en inglés)
FV	fotovoltaico
Gd	Daily Global Irradiation (radiación global diaria, siglas en inglés)
GIWR	Gross Irrigation Water Requirement (necesidades brutas de agua de riego, siglas en inglés)
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GPMI	Global Partnership for Financial Inclusion (Alianza Mundial para la Inclusión Financiera, siglas en inglés)
HERA	Programa de la GIZ “Abastecimiento básico de energía orientado a la pobreza”
H _T	Total Head (altura total, siglas en inglés)
IEC	International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional, siglas en inglés)
IFC	International Finance Corporation (Corporación Financiera Internacional, siglas en inglés)
IWR	Irrigation Water Requirement (necesidades de agua de riego, siglas en inglés)
m ²	metro cuadrado
MPPT	Maximum Power Point Tracking (seguimiento del punto de máxima potencia, siglas en inglés)
NIWR	Net Irrigation Water Requirement (necesidades netas de agua de riego, siglas en inglés)
ONG	organización no gubernamental
PVP	Photovoltaic Pump (bomba fotovoltaica, siglas en inglés)
SAT	Site Acceptance Test (prueba de aceptación in situ, siglas en inglés)
SPIS	Solar Powered Irrigation System (sistema de riego solar, siglas en inglés)
TIR	tasa interna de retorno (o de rentabilidad)
UV	ultravioleta
VAN	valor actual neto
Vd	Daily crop water requirement (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

INFÓRMATE

1. Introducción a la energía solar y el riego



2. Generador solar



3. Estructura de montaje



4. Motor, unidad de control / inversor



5. Bomba de agua



6. Sistema de monitoreo



7. Reservorio



8. Cabezal de riego



9. Sistema de fertirrigación



10. Sistema de riego

OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

Debido a los significativos avances de la tecnología y la caída de los precios en el sector fotovoltaico, las bombas solares se han convertido en una alternativa económica, técnica y ambientalmente viable a los sistemas de bombeo tradicionales.

Sin embargo, son pocas las personas conscientes del potencial, pero también de los riesgos asociados al riego solar. Con frecuencia, las bombas solares no están integradas de manera óptima en el sistema de regadío, lo que da lugar a ineficiencias. En consecuencia, la demanda entre los productores y productoras es baja, y son muchos los reparos que oponen las instituciones financieras para su subvención.

El módulo **INFÓRMATE** proporciona una introducción general tanto para asesores y asesoras agrícolas como para proveedores de servicios financieros, con el fin de que comprendan el principio operativo de los sistemas de riego solar (SPIS). El capítulo describe, además, cómo las diferentes configuraciones de los componentes pueden influir en el funcionamiento del sistema en su totalidad. El módulo **INFÓRMATE** permitirá a los proveedores de servicios agrícolas y financieros apoyar a los potenciales usuarios y usuarias de

SPIS con información actualizada sobre los pros y los contras de la tecnología y sus componentes individuales.

DESCRIPCIÓN BREVE DEL MÓDULO

En comparación con los sistemas de energía convencionales, la utilización de energía solar posee algunas características específicas que es preciso considerar a la hora de planificar un sistema de riego solar (v. módulo **DISEÑA**).

Los pasos a seguir para su implementación son descritos en detalle, considerando las distintas configuraciones posibles y los componentes individuales disponibles en un SPIS que opera bajo condiciones variables debido a fluctuaciones diarias y estacionales.

El capítulo incluye además la descripción de cada uno de los componentes de un SPIS y de las relaciones entre ellos, precedida de informaciones básicas sobre la energía solar y el riego. Cuando la energía solar y el regadío se combinan en un sistema de producción agrícola, estamos ante lo que llamamos un sistema de riego solar. En este módulo y en el módulo **DISEÑA** se presentan configuraciones típicas de SPIS.

1. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR Y EL RIEGO

LA ALTERNATIVA SOLAR

Cuando las tecnologías tradicionales de bombeo —como las bombas manuales o las de tracción animal— alcanzan sus límites técnicos, los medios habituales de bombear agua para riego son las bombas de petróleo, gas o gasolina. Pero tales bombas convencionales poseen la doble desventaja de requerir mucho mantenimiento y un suministro regular de combustible, además de la presencia física de personal para su operación. Sobre todo, en zonas remotas en países en desarrollo, el acceso a piezas de recambio, estructuras de mantenimiento o combustible puede ser limitado, lo que da lugar a frecuentes interrupciones de varios días o incluso más prolongadas.

La consiguiente falta de agua puede ser motivo de pérdidas en la cosecha, y supone por tanto un grave riesgo para la explotación agrícola.

En lugares no electrificados, la energía solar puede ayudar a proporcionar acceso a un suministro de electricidad seguro y respetuoso con el medio ambiente. Precisamente en los países en desarrollo, las perspectivas de que la red eléctrica se extienda y alcance las zonas rurales son todavía lejanas. La electrificación de zonas rurales económicamente débiles en África, Asia y Latinoamérica estará basada en gran medida en inversiones en soluciones de electrificación local básica, fuera de la red, para usos domésticos consuntivos, sin que se preste mayor atención a los usos productivos de la energía.



Acceso a la electricidad dondequiera que el sol brille

(Fuente: Lennart Woltering)

Una vez adquiridos los conocimientos necesarios para operar y mantener de manera adecuada una bomba solar fotovoltaica, la probabilidad de que ocurran fallos es mucho menor que en los sistemas de bombeo convencionales.

Las bombas solares para riego han ido cobrando importancia desde 2010. La India, por ejemplo, cuenta con un amplio mercado de tecnología de SPIS. Hay en funcionamiento más de 12 millones de equipos de bombas eléctricas y 9 millones de bombas diésel que proporcionan agua para alrededor de 39 millones de hectáreas de tierras de regadío. Si sólo el 50 % de estas bombas diésel se remplazara con equipos de bombeo solar fotovoltaico, el consumo de petróleo en esta región podría reducirse a alrededor de 225 mil millones de litros por año.

Pero hay más ventajas para el medio ambiente. Un sistema solar que reemplaza a una unidad generadora diésel típica ahorra alrededor de 1 kg de CO₂ por kilovatio hora de generación. Esto ya tiene en cuenta las emisiones durante el ciclo de vida del sistema FV. Además, el bombeo solar FV también ayuda a evitar el riesgo de contaminación de suelos y de aguas subterráneas con combustibles y lubricantes. Un motor diésel produce alrededor de 300 kg de aceite residual durante su vida útil, y no siempre está garantizada su eliminación segura y respetuosa con el medio ambiente. Por otra parte, si los sistemas FV no se dimensionan y planifican de forma adecuada, existe el riesgo de un bombeo excesivo de las aguas superficiales y subterráneas, habida cuenta de que el suministro de luz solar para el bombeo es ilimitado (v. módulo **SALVAGUARDA EL AGUA**).



Motobomba vieja de diésel
(Fuente: Andreas Hahn, 2015)



Trabajador agrícola experimentado en energía FV
(Fuente: Andreas Hahn, 2015)

CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA SOLAR

Radiación solar

La energía solar tiene algunas características que es preciso considerar a la hora de planificar un sistema de riego con energía solar. La radiación solar captada por un panel solar nunca es constante, debido a las variaciones diarias y estacionales a que está sujeta. La intensidad de la radiación solar sobre una superficie recibe el nombre de "irradiancia" (S). La irradiancia se mide en vatios dividido por metro cuadrado [W/m²].

La irradiancia varía en el transcurso del día, alcanzando valores máximos de alrededor de 1.000 W/m² si se mide sobre una superficie horizontal, a nivel del mar y en torno al mediodía en un día despejado. La energía transportada por la radiación incidente sobre una superficie durante cierto periodo de tiempo recibe el nombre de "radiación solar global" (G). La radiación solar global depende del sitio donde se mida, dado que en ella influyen, entre otros factores, las nubes, la humedad del aire, el clima, la altitud y la latitud. La radiación solar global incidente sobre una superficie horizontal es medida por una red de estaciones meteorológicas esparcidas por todo el mundo, y se expresa en kilovatios hora dividido por metro cuadrado [kWh/m²].

Ángulo de inclinación

La mayoría de los paneles solares se instala con un ángulo de inclinación "α" fijo para aumentar el rendimiento energético. El ángulo de inclinación depende del sitio y debe ser calculado. Esto puede hacerse

fácilmente con la ayuda de herramientas de software tales como la base de datos meteorológicos METEONORM, que proporciona datos climáticos para casi cualquier sitio del mundo. Una estimación rápida del ángulo de inclinación adecuado puede hacerse a partir de la latitud del lugar en que está instalado el sistema de bombeo.

Así, los valores típicos del ángulo de inclinación pueden estimarse recurriendo a la siguiente regla:

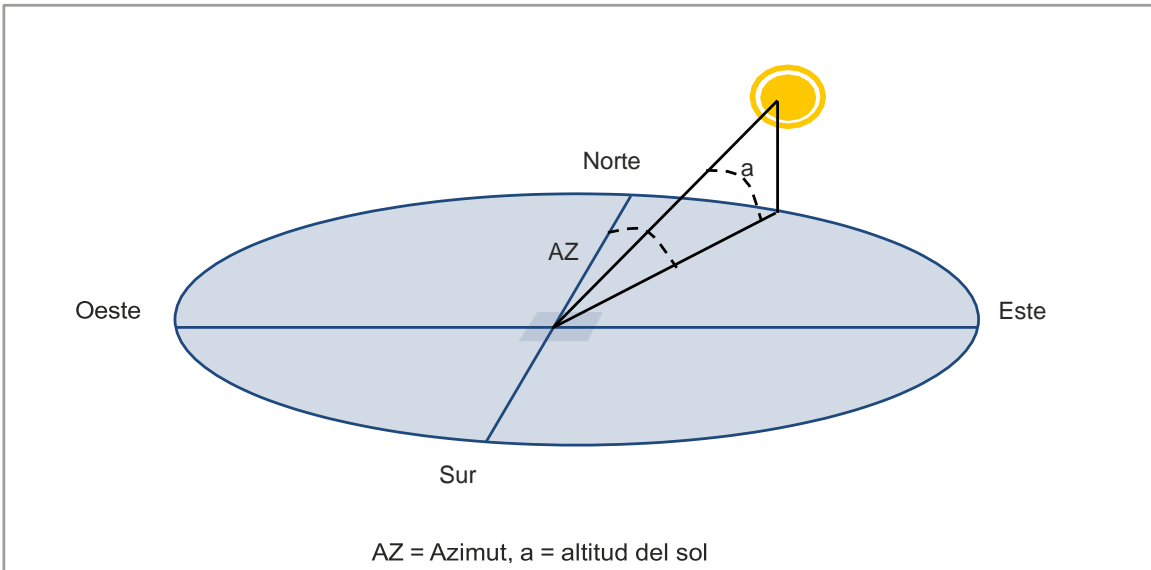
$$\alpha = \text{valor absoluto de la latitud geográfica} + / - 10^{\circ}$$

Para permitir que el polvo acumulado y el agua de lluvia se escurran sobre la superficie del panel, el ángulo de inclinación debería ser como mínimo de 15°, incluso si el sistema está instalado próximo al ecuador. Para ajustar las aplicaciones, en los meses de invierno el ángulo de inclinación puede aumentarse en hasta +10°, y en los meses de verano disminuirse en hasta -10°.

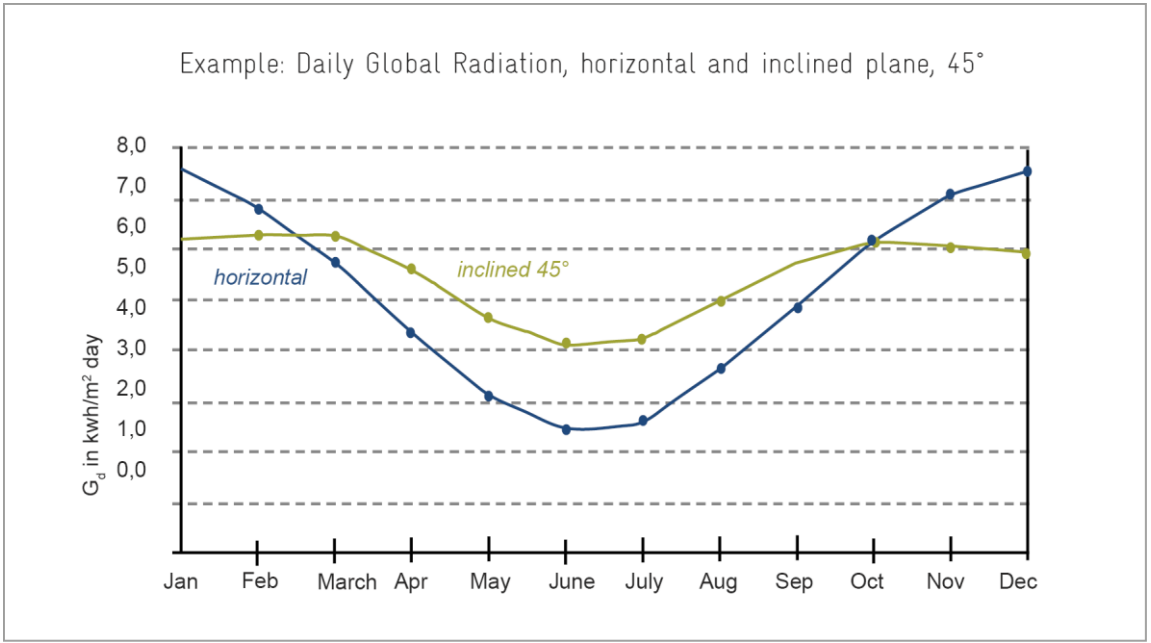
Orientación del generador solar

Al objeto de maximizar el rendimiento energético, en el hemisferio norte los paneles deben colocarse mirando hacia el sur, mientras que en el hemisferio sur deben orientarse hacia el norte. Es posible desviarse de la orientación norte/sur verdadera, pero ello disminuirá el rendimiento energético global.

Otro método para aumentar el rendimiento energético de un generador solar es el seguimiento solar (v. apartado 2).



Movimiento diario del sol en el hemisferio sur
(Fuente: Reinhold Schmidt 2012)



Cambio de la radiación global incidente en una superficie horizontal y en otra inclinada en el transcurso del año
(Fuente: Reinhold Schmidt, Aplicaciones de energía solar fotovoltaica; diseño, implementación, experiencias, junio de 2012)

PRINCIPIOS DEL RIEGO

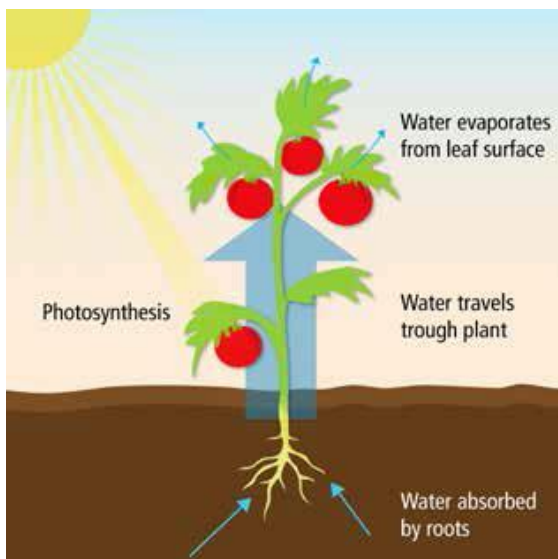
El riego es la aplicación controlada de agua para responder a las necesidades de los cultivos. El agua utilizada para ello puede extraerse de lagos, reservorios, ríos o pozos (aguas subterráneas) cercanos, o también de fuentes no convencionales, tales como aguas residuales tratadas y aguas desaladas o de drenaje agrícola. El agua de riego es llevada a las tierras de cultivo por tubos, mangueras o zanjas.

Los productores y productoras que recurren al riego dependen menos de las precipitaciones para la explotación de sus tierras, ya que pueden suplir las lluvias con irrigación para aportar a los cultivos la cantidad de agua necesaria. Además, el control del agua mejora la eficiencia de otros insumos —tales como fertilizantes y productos fitosanitarios— que mejoran el rendimiento de las cosechas. Así, el riego refuerza la capacidad del productor o productora de controlar el rendimiento de

sus cultivos, lo que es importante para una productividad estable y la integración en los mercados.

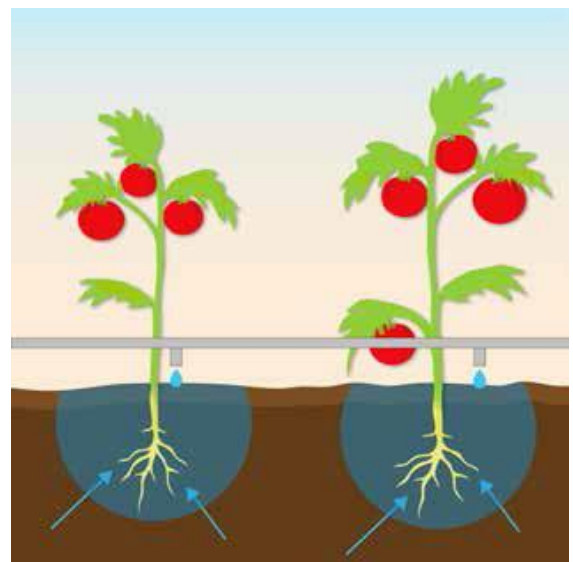
Con el riego se repone el agua almacenada por el suelo en la zona radicular de los cultivos. Impulsadas por el sol y la fotosíntesis, las plantas captan la humedad del suelo a través de sus raíces, dando origen a un flujo de nutrientes que circula por el tronco o tallo y llega hasta las hojas, donde el agua es devuelta a la atmósfera a través de la **transpiración** foliar. Así, sólo el agua absorbida a través del sistema de raíces contribuye al crecimiento de la planta y sus frutos.

Importante: La mayor parte del agua aplicada a las tierras de cultivo a través del riego debe concentrarse en la zona radicular de las plantas, y el volumen del agua de riego no debe exceder la capacidad de absorción de las plantas.



La fotosíntesis convierte la energía de la luz solar en energía química, que da origen a un flujo de nutrientes en la planta.

(Fuente: GFA)



En el sistema de riego por goteo, el agua es aplicada directamente allí donde se la necesita; esto es, en la zona radicular.

(Fuente: GFA)

NECESIDADES DE AGUA

La cantidad de agua que una planta necesita se expresa como “necesidades de agua de los cultivos” (CWR por sus siglas en inglés). Ella depende del clima y el cultivo, así como también de la gestión y las condiciones ambientales. Esta necesidad de agua es más elevada en zonas soleadas, calurosas, secas y ventosas. La especie, la variedad y la etapa de crecimiento de los cultivos determinan la cantidad de agua que las raíces necesitan absorber para que la planta se desarrolle en condiciones óptimas. Los productores y productoras pueden reducir las necesidades de agua de los cultivos, por ejemplo, mediante el acolchado o mantillo (*mulching*), modificando la densidad de las plantas o aplicando tecnologías de riego diferentes.

Así, las necesidades de agua de un cultivo determinado dependen en gran medida de la ubicación y varían día a día. Para calcularlas, es preciso recoger datos regionales in situ con el apoyo —por ejemplo— de los servicios de extensión locales (v. módulo **DISEÑA**). Las necesidades de agua de los cultivos se expresan comúnmente en milímetros (mm) o metros cúbicos por hectárea (m³/ha). Por lo normal, los cultivos requieren diariamente alrededor de 5 a 30 m³ de agua por hectárea. Los detalles de esta evaluación se describen en el módulo **DISEÑA**.

Es importante hacer notar que el agua es un bien que tiene su precio (tarifas, costos de bombeo) y un recurso escaso por el que compiten otros usuarios y usuarias (industria, sector energético, consumo doméstico, etc.). Esto debería tenerse en cuenta en las evaluaciones de viabilidad económica y ambiental.

EFICIENCIA DEL RIEGO

Cuando se riega, es importante aplicar la cantidad justa de agua en el momento justo. Un volumen de agua deficitario llevará a que las plantas se marchiten y a una reducción del rendimiento. Un volumen

excesivo llevará al desperdicio de agua, así como a un aumento de la escorrentía, la erosión, la lixiviación de nutrientes a través del suelo y la salinización, dando lugar finalmente a una reducción del rendimiento. Un sistema de irrigación eficiente al 100 % debería proporcionar a todas las plantas del campo la misma cantidad de agua. No obstante, ocurre que las plantas próximas a la fuente de agua tienden a recibir más agua que las situadas en el otro extremo del campo. Como consecuencia, los rendimientos de la explotación se ven comprometidos por el hecho de que algunas plantas reciben demasiada agua, mientras que otras no reciben suficiente. En las grandes explotaciones, esto puede tener graves consecuencias en los gastos de operación y la gestión de los recursos hídricos. La uniformidad de la distribución del agua en el campo de cultivo está determinada por la elección de la tecnología de riego. Los tres métodos de riego comúnmente utilizados son:

- riego de superficie;
- riego por aspersión;
- riego por goteo.

Los métodos de irrigación por superficie, tales como los de riego por inundación, por surcos y por tablares, no consiguen más de un 60 % de eficiencia en la aplicación del agua al campo de cultivo, dado que sólo una cantidad limitada de agua alcanza realmente la zona radicular.

Los sistemas de riego por aspersión y por goteo recurren a una red de tubos para distribuir el agua en el campo de cultivo, reduciendo de este modo las pérdidas por evaporación que son comunes a los métodos de riego de superficie. Los sistemas de aspersión logran una eficiencia media de aplicación al campo de cultivo del 75 %, mientras que los sistemas por goteo pueden llegar a un 95 % de uniformidad en la distribución. El riego por goteo permite liberar agua lentamente en la zona radicular de las plantas. Como resultado, las condiciones de humedad del suelo son buenas, y no hay pérdidas de

agua entre las plantas o sobre ellas. Los rendimientos de las cosechas pueden duplicarse, y es posible lograr ahorros importantes de agua, energía y trabajo.

SISTEMAS DE RIEGO SOLAR

El uso de energía solar con fines de irrigación puede ser de gran utilidad, ya que habitualmente el riego se practica en zonas rurales que tienen poco acceso a un suministro fiable de electricidad o de combustibles fósiles. Por otro lado, la radiación solar es un recurso abundante en muchos países en desarrollo en los que el riego es esencial para la seguridad alimentaria y el comercio internacional. Y finalmente, los sistemas de riego con energía solar (SPIS) se autorregulan pasivamente, dado que el volumen de agua bombeado aumenta en los días despejados y calurosos en que las plantas necesitan más agua, y a la inversa. Es importante señalar que un SPIS es algo más que una simple bomba solar utilizada para el riego. Los paneles, las bombas y los sistemas de riego están diseñados en función de la disponibilidad de agua y las necesidades de agua de los cultivos locales. El SPIS es un sistema en el que los diferentes componentes, desde la bomba hasta la planta, están integrados y armonizados.

Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de un SPIS es sencillo. Un generador solar proporciona electricidad para una bomba accionada por un motor eléctrico, la cual suministra agua ya sea directamente a un sistema de riego, o bien a un reservorio elevado. Entre los criterios fundamentales para el diseño de un SPIS figuran un mínimo de mantenimiento, una máxima confiabilidad y el uso eficiente de los recursos. Una característica específica de los SPIS es el hecho de que por lo general no requieren respaldo de batería. Esto es una ventaja, ya que las baterías exigen un mantenimiento intensivo, son costosas y se deben reemplazar regularmente.

Componentes de un SPIS

Los componentes individuales de un SPIS se presentan en los próximos apartados. La tabla más abajo muestra que hay disponibles diferentes opciones de tecnologías que dependen de las condiciones específicas del lugar y las capacidades de los productores y productoras. Los componentes y las alternativas tecnológicas pueden combinarse unas con otras de muchas maneras diferentes, pero algunas configuraciones resultan mejores atendiendo a la situación in situ.

Principales alternativas tecnológicas para los componentes más importantes de un SPIS

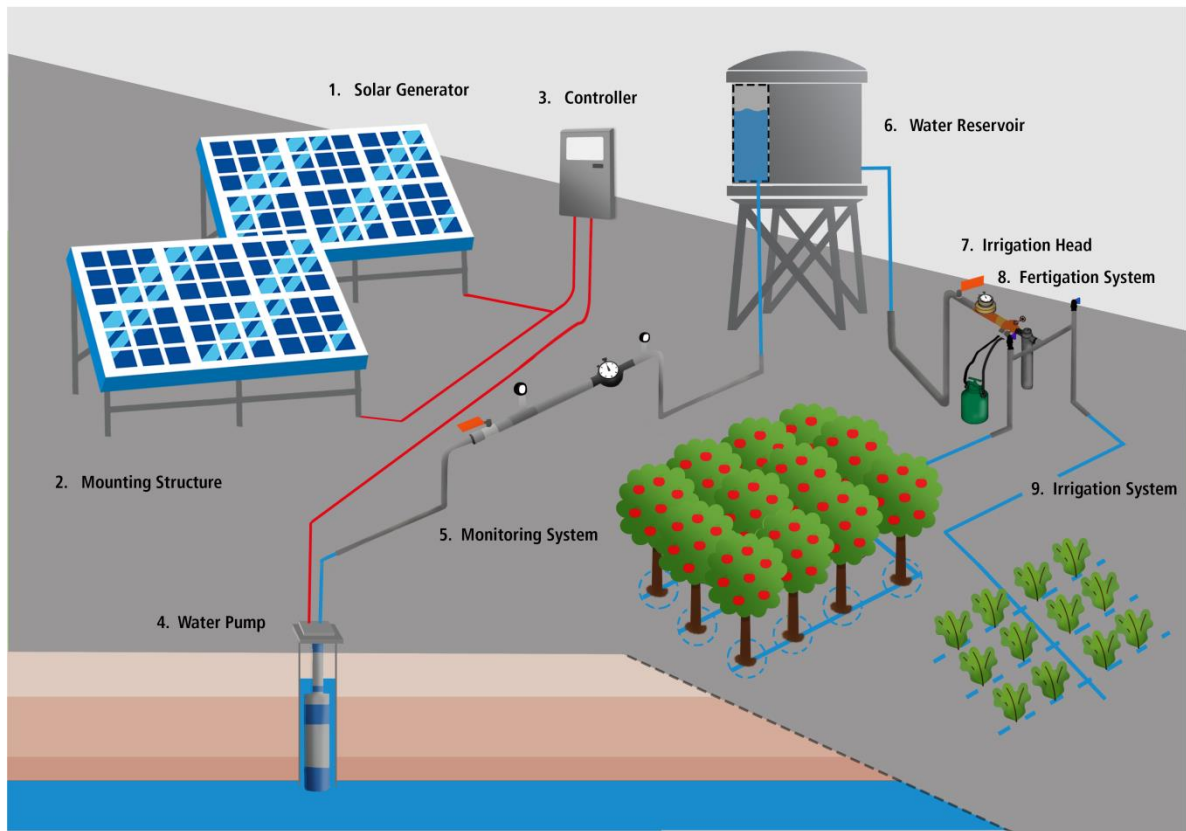
Componente	Posibilidades tecnológicas		Dependiendo de:
Sistema solar	fijo	con seguimiento	los costos y la intensidad del mantenimiento
Bomba	de superficie	sumergible	los costos y la (geo)hidrología
Reservorio	con reservorio	sin reservorio	los costos y el sistema de riego
Sistema de riego	de superficie	por goteo o aspersión	los costos y el sistema de bombeo

Configuraciones del SPIS

La configuración más común de los SPIS es la que consta de un generador solar colocado sobre una estructura de montaje fija, que proporciona electricidad para una bomba sumergible instalada en un pozo de sondeo. Esta bombea agua a un reservorio elevado unos metros por encima del campo de cultivo. Allí, el agua es almacenada a una presión constante y liberada a un sistema de riego por goteo de baja presión, donde es filtrada y mezclada con fertilizantes antes de ser liberada lentamente a las plantas. La figura de más abajo muestra esta configuración.

Pero la instalación de un filtro de agua a la salida del tanque puede resultar crítica o problemática, dado que las pérdidas de presión en el filtro puede que alcancen fácilmente varios metros y que, a una altura baja del tanque, el flujo de agua acabe deteniéndose por completo. Por lo tanto, es recomendable instalar el filtro a la entrada del tanque para mantener el agua limpia en su interior. Se recomienda usar un tanque de agua cerrado.

Esta configuración también sería posible con un sistema de seguimiento solar, pero este requeriría una mayor inversión económica y más mantenimiento que el montaje fijo de los paneles solares. El reservorio elevado proporciona al sistema de riego por goteo una presión y un suministro de agua estables para conseguir una distribución del agua lo más uniforme posible. El desempeño del riego por goteo disminuye cuando pequeñas partículas suspendidas en el agua obstruyen los goteros. Los filtros impiden que esto suceda, pero sólo a condición de que estén diseñados correctamente para la calidad del agua y el sistema de riego previstos, y sólo si se limpian con regularidad. Esto tiene mayor importancia en el caso de usar agua superficial dado que éstas están por lo general menos limpias que el agua subterránea.. Se recomienda contar, además, con un sistema de monitoreo instalado entre la bomba y el reservorio a fin de medir el flujo de agua y la presión.

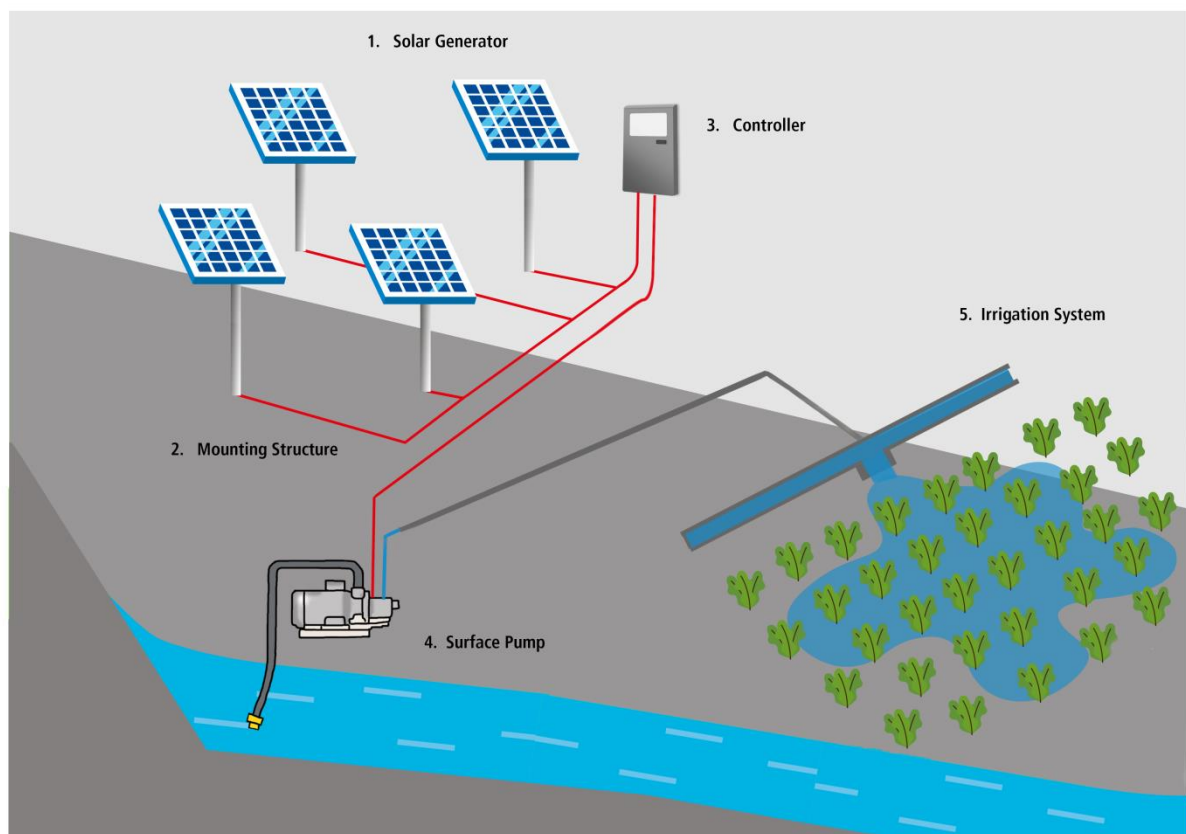


Configuración según mejores prácticas de los diferentes componentes de un SPIS
(Fuente: GFA)

La configuración más sencilla de un SPIS es la que consta de un generador solar montado sobre una estructura fija que suministra electricidad para una bomba de superficie instalada en un reservorio o río, la cual bombea agua directamente a un sistema de riego de superficie, por ejemplo, a través de una red de canales abiertos. En esta configuración, el agua bombeada no pasa por un reservorio elevado. La presión y el caudal de bombeo al sistema de riego guardan relación con la irradiancia solar real, la cual varía en el transcurso del día, sobre todo tratándose de un generador solar fijo. La principal ventaja de esta configuración es su sencilla instalación y su costo relativamente bajo. No obstante, su

desventaja radica en que el productor o productora tiene poco control de la distribución del agua en el campo durante el día, debido a que no hay un reservorio elevado que regule la presión y el flujo. El productor o productora tendrá que utilizar, por ejemplo, válvulas volumétricas (v. CABEZAL DE RIEGO) o dividir su campo en sectores manejables para controlar el riego del cultivo lo mejor que pueda.

Otra configuración que se puede encontrar en terreno es la que corresponde a soluciones **híbridas**, en las que se utilizan para el riego bombas tanto solares como de diésel.



Configuración sencilla –con sistema de monitoreo– de los diferentes componentes de un SPIS

(Fuente: GFA)

2. GENERADOR SOLAR

El generador solar proporciona la energía necesaria para el funcionamiento de la unidad motor-bomba. Consiste en un conjunto de paneles solares, los cuales están formados a su vez por celdas solares individuales. Éstas utilizan lo que se conoce como “efecto fotovoltaico” para convertir la luz solar directamente en electricidad. Las celdas solares están hechas de materiales semiconductores especialmente preparados, tales como el silicio cristalino. Cuando la luz incide en la superficie del semiconductor, se genera un campo eléctrico. Este efecto es óptimo cuando los rayos del sol inciden directamente en las celdas, pero también se produce en condiciones de radiación solar indirecta. En un día nublado, los paneles solares pueden producir normalmente entre un 10 y un 25 % de su capacidad nominal. Conectando un cable a la cara posterior de la célula solar, el voltaje del campo eléctrico hace que fluya una corriente eléctrica.

La celda solar

Para proteger las celdas de tensiones mecánicas y humedad, las cadenas de celdas vienen encapsuladas en un material adhesivo transparente (p. ej., etilvinilacetato [EVA]) que también brinda aislamiento eléctrico. Para estabilizar la estructura y proporcionar aislamiento eléctrico, las celdas se colocan habitualmente entre una capa de plástico que cubre su cara posterior, y otra de vidrio que cubre su cara externa. El laminado final queda protegido por un marco de aluminio que permite la instalación del panel solar sobre una estructura de montaje.

Los paneles solares suelen estar certificados por la Comisión Electrotécnica Internacional¹ (IEC por sus siglas en

inglés), cuyo certificado de aprobación se ha convertido en uno de los testimonios de calidad de paneles solares mundialmente aceptados. No obstante, las pruebas estándar de la IEC no evalúan la durabilidad de los módulos solares por un periodo de 25 años. Los paneles estándar vienen normalmente con una garantía del producto de 10 años y una garantía de desempeño lineal de 25 años que promete como mínimo un 80 % de la potencia máxima al final del año 25.

Nota: Los paneles solares se evalúan en vatios pico (Wp) según su potencia máxima en las condiciones estándar de medida (CEM) definidas a nivel internacional:

(irradiancia = 1.000 W/m², temperatura de la célula = 25°C, masa de aire (AM) = 1,5)

La potencia eléctrica de los paneles depende principalmente de la irradiancia solar captada por el panel y la temperatura de la celda solar, la cual aumenta considerablemente en condiciones normales de operación, y puede alcanzar fácilmente 40 a 65 °C, dependiendo de las condiciones específicas del sitio. Esto da lugar a una producción de electricidad menor que bajo condiciones estándar de medida. El coeficiente de temperatura (CT) indica la reducción de potencia por cada °C de aumento de temperatura; para silicio cristalino es de aproximadamente -0,5 % por °C.

El conjunto de paneles solares puede estar conectado en serie, en paralelo o de forma mixta, dependiendo de la energía eléctrica requerida (voltaje, corriente y potencia). Combinar paneles solares en serie significa conectar el terminal positivo de un panel con el terminal negativo del próximo. Ello permite elevar el voltaje al nivel requerido (a diferencia de la conexión

¹ IEC – Normas internacionales y sistemas de evaluación de la conformidad para todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y afines.

en paralelo, que permite aumentar la intensidad de la corriente o amperaje).

3. ESTRUCTURA DE MONTAJE

La potencia de un panel solar depende no sólo de la irradiancia y la temperatura de la celda, sino también de la orientación y del ángulo de inclinación de la superficie del panel. Para maximizar la potencia, deberá hallarse la orientación óptima característica del sitio.

Opciones de montaje:

Existen básicamente dos alternativas para el montaje de paneles solares sobre una estructura de metal:

- instalación con ángulo de inclinación fijo;
- instalación sobre un seguidor solar con orientación variable.

La instalación fija de los paneles solares sobre una estructura rígida es el método más económico, fiable y común. Para los sistemas de mayor tamaño, se recomiendan por lo general soportes metálicos que se hunden en el suelo con martinete. Estos hacen innecesaria la cimentación con hormigón y permiten ahorrar costos de mano de obra y materiales. En los países en desarrollo se hace a menudo una cimentación sencilla con hormigón en las instalaciones de menor tamaño, representando esta práctica una solución apropiada siempre que se cumplan los requisitos de estática. La instalación se orienta normalmente hacia el norte o el sur a fin de contar con una distribución de la producción energética relativamente buena a lo largo del día.

Cuando la estructura de montaje cambia su orientación con respecto al sol moviéndose en torno a uno o dos ejes, se dice que estamos ante un **seguidor solar** (v. figura en la próxima página).

El seguimiento solar tiene dos ventajas:

- incremento de la radiación solar captada – la cantidad de radiación solar recibida por los paneles solares aumenta entre un 25 y

35 % (valor medio anual), dependiendo del tipo de seguidor y el sitio de la instalación;

- distribución uniforme de la irradiancia solar a lo largo del día; la electricidad generada, al igual que el flujo de agua de la bomba, permanecen casi constantes a lo largo del día. Esto es importante en una configuración de SPIS en que el agua es bombeada directamente al campo, sin pasar por un tanque.

Desventajas del seguimiento solar:

- el seguimiento solar es costoso y aumenta considerablemente el costo total del sistema;
- las partes mecánicas y el motor eléctrico del sistema de seguimiento requieren un mantenimiento regular y piezas de recambio.

Esto debe tenerse en cuenta especialmente cuando las instalaciones planificadas están destinadas a usuarios o usuarias de zonas apartadas o de sitios con servicios técnicos limitados.

Una alternativa interesante y relativamente nueva al seguimiento solar pueden ser las **instalaciones orientadas en las direcciones este y oeste**, aunque éstas requieren más paneles para obtener una producción energética estable a lo largo del día. Pero con la caída de los precios de los paneles, esta podría ser una alternativa interesante para las zonas apartadas y los sistemas de menor tamaño, dado que son más baratas y requieren mucho menos mantenimiento (que las soluciones de seguimiento solar).

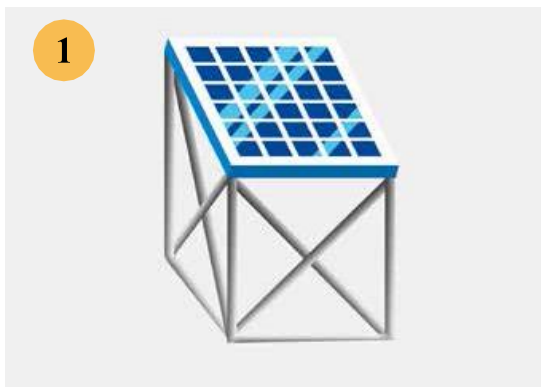
Para ambas opciones de montaje, es importante evitar la corrosión galvánica que se produce al conectar estructuras de metal. Esta puede evitarse seleccionando materiales con potenciales de corrosión

similares, o rompiendo la conexión eléctrica mediante el aislamiento de los metales.

La estructura de montaje y el robo

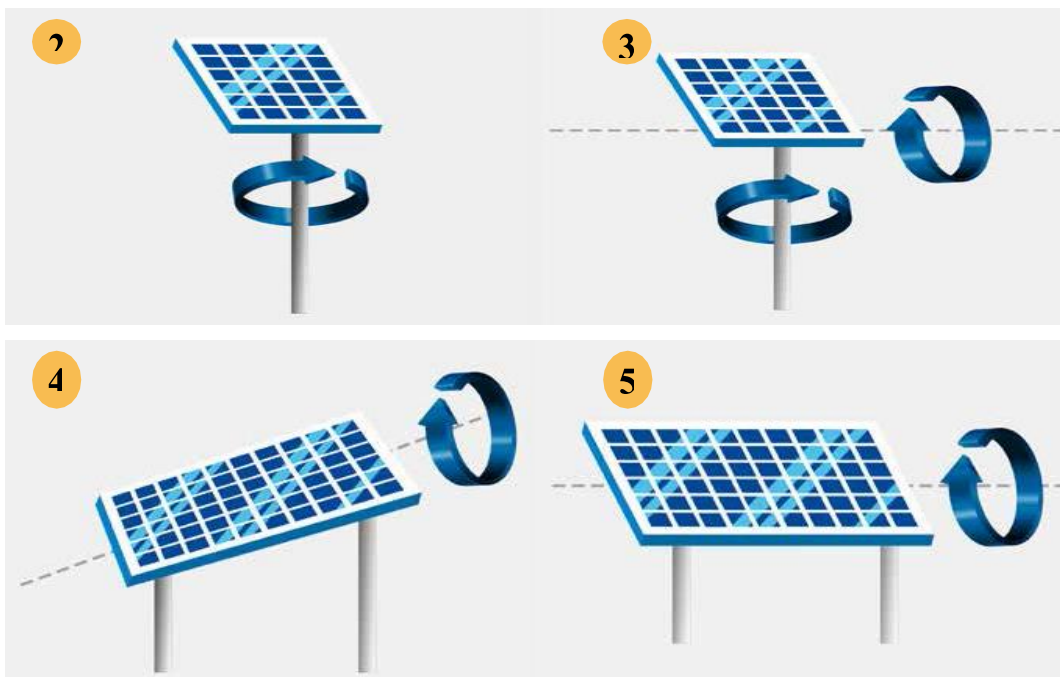
El tipo y la calidad de la estructura de montaje son también un factor determinante en lo que respecta al riesgo de robo de los paneles fotovoltaicos. Con la creciente difusión de las instalaciones fotovoltaicas aplicadas a la generación de energía, ha ido aumentando también el riesgo de robo. Entre las medidas corrientes de prevención de robo figuran:

- uso de tuercas de seguridad;
- pintar con aerosol indeleble la identificación del propietario en la cara posterior de los paneles;
- integrar los paneles solares en la estructura de montaje (no extraíble);
- colocar la estructura de montaje en sitios de difícil acceso, recurriendo para ello a estructuras elevadas, cercas o sistemas fotovoltaicos flotantes.



Sistemas solares (Fuente: Reinhold Schmidt, 2015):

1. instalación fija
2. seguidor de un eje, azimut
3. seguidor de dos ejes, azimut e inclinación
4. seguidor de un eje, inclinación del eje sur/norte
5. seguidor horizontal de un eje, eje norte/sur.



4. MOTOR, UNIDAD DE CONTROL / INVERSOR

Motor eléctrico

Los generadores solares siempre producen corriente continua (CC). En relación a los motores que dejan girar la bomba existen diferentes tipos de motores que se utilizan en aplicaciones con sistemas fotovoltaicos:

- Motores de corriente continua CC **con** escobillas, estos motores son relativamente económicos pero la principal desventaja de estos es que éstas están sujetas a desgaste y deben reemplazarse a intervalos regulares (1 – 2 años); se usan en aplicaciones muy pequeñas por ejemplo de agua potable.

- Motores de corriente continua CC **sin** escobillas, las motobombas solares usan normalmente este tipo de motor y destacan por su alta eficiencia; es un motor sincrónico trifásico con imanes permanentes como rotor y usa una conmutación electrónica (inversor).

- Motores **convencionales** mono o trifásicos que requieren también un inversor en operación junto con un generador solar.

En las aplicaciones de bombeo/riego se usan normalmente motores de CC sin escobillas (conmutación electrónica) o motores convencionales de corriente alterna. En consecuencia, se necesita una unidad de control o inversor entre el generador solar y el motor.

Unidad de control/inversor

Esta unidad de control o inversor cumple principalmente dos funciones: primero, el seguimiento del punto de máxima potencia

(MPPT por sus siglas en inglés) para maximizar la utilización de la potencia producida por el generador solar y segundo, el inversor que convierte la corriente continua del generador solar en corriente alterna trifásica de frecuencia variable, es decir la bomba puede girar con diferentes revoluciones.

Además, el control o inversor tiene incorporado la opción de conexión de sensores externos, por ejemplo, un sensor instalado en el pozo para evitar una marcha en seco de la motobomba y un sensor de nivel que controla el nivel de agua en el tanque de acumulación.

El mercado ofrece hoy dos diferentes configuraciones de sistemas de bombeo solar:

1. La motobomba solar: es un paquete de la motobomba junto con la unidad de control/inversor. Estos sistemas tienen una muy alta eficiencia y destacan por su confiabilidad técnica, larga vida útil y muy fácil instalación y operación, pero también presentan un mayor costo de inversión inicial

2. La motobomba convencional con inversor solar de bombeo: se usa en esta configuración una motobomba convencional mono o trifásica en conjunto con un inversor solar para bombeo; principal ventaja es el menor costo inversión inicial, pero requiere más conocimientos en el diseño y operación del sistema.



Controlador con visualizador e
indicador LED de fallo

(Fuente: Andreas Hahn, 2015)

5. BOMBA DE AGUA

A la hora de instalar una bomba de agua existen, dependiendo de la fuente de agua, dos posibilidades: que la bomba sea sumergible, o de superficie. Las bombas de superficie se instalan a menudo junto a la fuente de agua, y aspiran el agua por succión. Las bombas de superficie pueden bombear agua desde una profundidad máxima de seis metros. Las bombas sumergibles se instalan bajo el agua en pozos y perforaciones de sondeo, e impulsan el agua hacia la superficie.

Las bombas sumergibles se instalan a profundidades que van de 10 a 120 metros. Utilizando interruptores de control (tales como flotadores en tanques y pozos de agua), las bombas sumergibles pueden operarse en modo automático, al contrario de las bombas de superficie, que suelen requerir la presencia de un operador u operadora que compruebe regularmente el comportamiento de cebado de la bomba. La utilización de cámaras primarias y válvulas antirretorno puede evitar la pérdida de cebado.

Las bombas de superficie poseen varias ventajas en comparación con las sumergibles: son más baratas, más fáciles de instalar y de fácil acceso para su mantenimiento, y pueden utilizarse para una fertirrigación fácil y sencilla por su lado de succión/entrada.

Las bombas de agua solares se construyen por lo general de acero inoxidable no corrosivo, y están diseñadas para bombear agua limpia sin sólidos ni fibras. La vida útil de una electrobomba sumergible depende en gran medida de la calidad del agua y la instalación. Si la bomba está instalada en un pozo perforado bien revestido (y por tanto con reducida intromisión de sedimentos), las bombas sumergibles pueden alcanzar una duración de 7 a 10 años. En los pozos y perforaciones de sondeo muy mal contruidos y con alto contenido de sedimentos, la parte hidráulica de la bomba de agua puede que

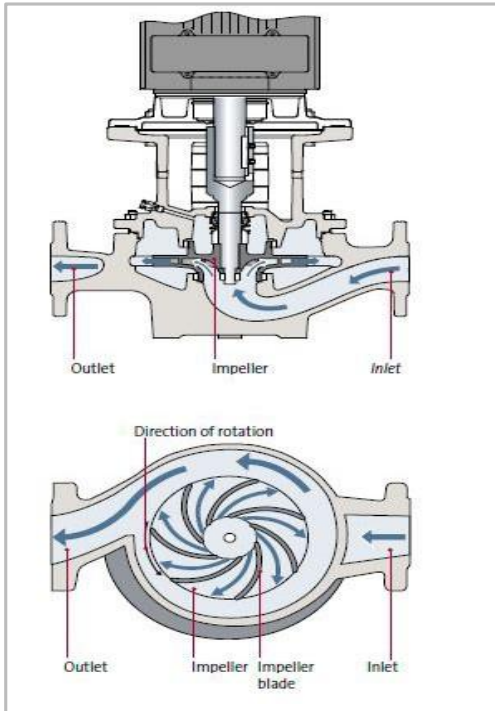
deba reemplazarse al cabo de 2 o 3 años. A fin de prever un funcionamiento seguro del sistema, son necesarios dos elementos de seguridad:

- sensor de nivel de agua instalado en el tanque de almacenamiento que apague la bomba a fin de evitar desbordamientos;
- segundo sensor de nivel de agua instalado cerca de la motobomba en el pozo para evitar la marcha en seco de la bomba.

Hay dos tipos de bombas habituales en los sistemas de bombeo solar actuales; a saber, las bombas centrífugas, y las de rotor helicoidal.

Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga genera un incremento de presión transfiriendo al fluido energía mecánica del motor a través del impulsor rotatorio. El fluido fluye a través de la entrada al centro del impulsor, y las paletas de éste lo transportan hacia afuera. La fuerza centrífuga incrementa la velocidad del fluido, transformándose esta energía cinética en presión. La presión puede aumentarse añadiendo simplemente varias etapas (bombas multietapas) colocadas en serie. Las bombas centrífugas se utilizan por lo general cuando las presiones de bombeo son bajas y la demanda de agua es elevada. Por esta razón, las bombas centrífugas son la opción preferida para los sistemas de riego.



Bomba centrífuga

(Fuente: Grundfos)

Bomba de rotor helicoidal

Una bomba de rotor helicoidal es un tipo de bomba de cavidades progresivas. Al girar un rotor helicoidal dentro del estátor (parte fija o estática), se van formando entre ambos cavidades selladas que transportan hasta la salida de la bomba secciones discretas del material bombeado.

Este movimiento, semejante al de un tirabuzón, produce un flujo libre de pulsaciones, y no se requieren válvulas, dado que el rotor helicoidal sella las secciones discretas de material. El caudal está determinado por la velocidad del rotor, y es independiente de la presión de salida. Las bombas de rotor helicoidal se utilizan típicamente en las aplicaciones con cargas de bombeo elevadas y caudales de agua bajos, tales como las de abastecimiento de agua potable.



Bomba de superficie montada sobre una estructura móvil

(Fuente: Lennart Woltering)

6. SISTEMA DE MONITOREO

El sistema de monitoreo, operado por el productor o la productora in situ o en línea, permite leer la presión, el flujo de agua y el nivel de agua, ayudando a evaluar el desempeño del sistema.

Se utiliza para:

- observar y dar seguimiento al funcionamiento y el desempeño del sistema;
- controlar las cantidades de agua bombeada al sistema;
- recoger datos del sistema para la prueba de aceptación tras su instalación; y
- evitar impactos ambientales negativos (p. ej., agotamiento de aguas subterráneas).

En definitiva, el seguimiento es importante para asegurarse de que el sistema funciona dentro de unos límites sostenibles que garanticen la productividad a largo plazo de la explotación.

Algunos fabricantes de bombas solares han incluido sistemas de monitoreo en su cartera de productos. Todos los SPIS deberían contar con un sistema de monitoreo básico que comprenda medidores de presión, un caudalímetro y un medidor del nivel de agua con sonda de inmersión (*dipper*). Este es un instrumento sencillo para comprobar el nivel de agua en un pozo. Al entrar el electrodo de metal en contacto con la capa freática, se enciende una luz, y el valor exacto podrá leerse en la cinta métrica de la sonda. El control repetido del nivel de agua a lo largo del día y posibilita la estimación del comportamiento dinámico del pozo. El nivel dinámico de agua es un parámetro importante para determinar la carga o altura total de bombeo (v. módulo **DISEÑA**).

Sobre todo en los casos en que el agua se bombea directamente al sistema de riego, sin pasar por un reservorio elevado, es

importante vigilar el flujo y la presión del agua en el sistema de riego, dado que la cantidad de agua suministrada a las plantas puede variar mucho a lo largo y ancho del campo. La imagen de más abajo muestra un sistema de seguimiento compuesto por un caudalímetro y medidores de presión, instalados en cada extremo del filtro, los cuales permiten controlar la pérdida de presión del agua al pasar por el filtro.

Un sistema de seguimiento más avanzado incluiría sensores para medir:

- la irradiancia solar (p. ej., sobre superficies horizontales e inclinadas);
- las precipitaciones, la humedad relativa y la velocidad del viento;
- la altura total de bombeo.



Sistema de seguimiento

(Fuente: Reinhold Schmidt, 2015)

Además, el sistema de seguimiento puede ampliarse incorporando sensores instalados en el reservorio y en el propio sistema de riego.

Otros dispositivos de seguimiento más avanzados (y costosos) pueden incluir también el registro automático de datos. El registrador de datos registra y almacena de forma continua todos los parámetros del sistema durante un periodo de tiempo de cierta duración. Programas informáticos especiales permiten llevar a cabo rápidos análisis de datos in situ. En los lugares

apartados no conectados a la red pública, los registradores de datos funcionan a menudo con energía solar, y hasta pueden incluir dispositivos de comunicación modernos (sistema global de comunicaciones móviles [GSM]), con la opción de vigilar el desempeño del sistema a través de teléfonos móviles inteligentes (v. también módulo **MANTENIMIENTO**).

7. RESERVORIO

En un sistema de riego, los reservorios pueden cumplir varias funciones: pueden acumular y almacenar el agua bombeada durante el día, pueden proporcionar presión para que el sistema de riego distribuya el agua en toda el área cultivada y, en los sistemas de riego por goteo de tamaño pequeño, pueden utilizarse para añadir fertilizantes solubles al agua. Teniendo en cuenta que el caudal de las bombas solares varía en el transcurso del día debido a la irregularidad de la radiación solar, un reservorio puede servir para moderar la cantidad de agua disponible para el riego.



Tanque elevado

(Fuente: Andreas Hahn)

Hay muchas maneras de almacenar agua, las cuales van desde los simples reservorios excavados a cielo abierto y los tanques de hormigón o de plástico, hasta los costosos tanques elevados de metal.

Los reservorios abiertos son baratos y relativamente fáciles de construir, pero sus grandes desventajas son las pérdidas de agua por evaporación y la fácil acumulación de desechos y sedimentos, así como el crecimiento de algas. Tales efectos pueden reducirse sensiblemente cubriendo los reservorios de agua, por ejemplo, con una tela de plástico. La evaporación y el desarrollo de algas pueden reducirse instalando los paneles

solares sobre estructuras de montaje flotantes.

Tanques de agua elevados: Esta es la configuración clásica de un sistema de riego con energía solar. El agua bombeada se almacena en un tanque de agua elevado, y el riego funciona por gravedad. El tanque elevado hace las veces de batería en la que la energía se almacena en forma de agua. La presión del sistema de riego depende de la altura del nivel del agua en el tanque de almacenamiento. Este permite también regar antes de la salida del sol. Existen tanques de plástico listos para usar que están disponibles en diferentes tamaños, son fáciles de instalar y no se corroen, como es el caso de los depósitos de metal u hormigón.

Para velar por el funcionamiento seguro del sistema, en el tanque de agua se debería instalar un sensor de nivel de agua que apague la bomba cuando haya que evitar un desbordamiento. Si hay una bomba de agua sumergible instalada en un pozo, se requerirá un segundo sensor de nivel de agua que impida que la bomba funcione en seco. A menudo, tales sensores están integrados por defecto en la unidad motor/bomba. Como los tanques de agua suelen almacenar enormes cantidades de agua, es importante que los cimientos y la estructura de sustento de los mismos cumplan los requisitos de estática.



Reservorio de agua abierto impermeabilizado con lámina de plástico

(Fuente: Jan Sass, 2014)

8. CABEZAL DE RIEGO

El cabezal de riego es la parte del sistema de irrigación en que se gestionan la cantidad, la calidad y la presión del agua (v. también el módulo **RIEGA**). Es indispensable en los sistemas que funcionan bajo presión, como los de riego por aspersión y goteo.

Normalmente, el cabezal de riego cuenta con los siguientes elementos:

- **válvulas** para controlar la cantidad de agua que fluye a las diferentes estaciones de un sistema de riego;
- **filtros** para eliminar partículas que podrían bloquear los emisores de goteros o las boquillas de los aspersores;
- **un sistema de fertirrigación** para añadir fertilizantes solubles al agua de riego;
- **reguladores de presión**.

En los sistemas de riego de superficie, el cabezal de riego puede que disponga únicamente de válvulas, mientras que en

los sistemas de riego por goteo y por aspersión, dispone como mínimo de una válvula y un filtro.

Válvulas

El sistema de irrigación está dividido por lo general en varias secciones a efectos de controlar mejor la cantidad y la presión del agua en el campo. El agua que fluye a cada sección está controlada por válvulas manuales o automáticas. Las válvulas automáticas pueden estar gobernadas por el volumen o el tiempo. El agricultor determina el volumen de riego requerido por sección, y la válvula automática se cierra tan pronto se haya alcanzado el valor previsto. La utilización de válvulas volumétricas se recomienda, en especial, en los casos en que el agua es bombeada directamente al sistema de irrigación sin pasar por un reservorio. Entre las desventajas de las válvulas automáticas se cuentan su costo elevado y la necesidad de reemplazarlas regularmente. Además, se requiere electricidad para operar el dispositivo.



Cabezal de riego con filtro de disco y múltiples válvulas que guían el agua a diferentes secciones del sistema de riego

(Fuente: Lennart Woltering)

Filtro

El filtro es un componente esencial de los sistemas de riego por goteo y por aspersión, dado que reduce el riesgo de obstrucción de las boquillas y los emisores. Las obstrucciones están causadas por material inorgánico, tal como la arena y la arcilla, y orgánico, tal como las algas y las bacterias, que se acumula y atasca los emisores. Los filtros deben limpiarse varias veces al día, dependiendo de la calidad del agua de riego (esto es, de la presencia de sedimentos, sales disueltas, etc.).

Al inicio, un análisis del agua puede proporcionar información sobre el tamaño y la cantidad de partículas presentes en el agua, y a partir de esta información se podrá identificar la tecnología de filtrado más adecuada para el caso. No obstante, puede que ésta no sea una solución factible para todas las explotaciones, ya que es posible que algunas de ellas no tengan acceso a equipos para pruebas o a laboratorios. Las aguas de superficie procedentes de reservorios o ríos requieren un filtrado con mucha mayor frecuencia que las de pozos o sondeos, en los que el agua es filtrada de manera natural por el suelo.

A la hora de elegir un filtro para un SPIS, es importante tener en cuenta que:

- los filtros deben adaptarse al caudal de la bomba;
- la pérdida de presión debida al filtro debería minimizarse y vigilarse;
- el mantenimiento del filtro debería ser fácil, y su tiempo de vida largo.

Hay tres sistemas principales de filtros:

1. Filtro de malla: utiliza una malla de acero inoxidable, polipropileno, nailon o poliéster para separar las partículas presentes en el agua. La pérdida de presión en los filtros de malla tiende a ser elevada, por lo que su uso no está recomendado en SPIS.
2. Filtro de disco: un elemento de filtro de disco contiene una pila de discos

comprimidos con una serie de ranuras solapadas. El agua sin filtrar pasa a través de la pila de discos comprimidos a presión, y es forzada a fluir a través de las ranuras entrelazadas de las anillas de los discos, donde las impurezas quedan atrapadas. La superficie de retención de las impurezas es muy extensa, lo que explica la pérdida de presión comparativamente baja. Para su limpieza manual, las anillas del filtro deben ser sacadas de su envoltorio y lavadas con agua limpia. Cuando se van a utilizar filtros de disco en SPIS, es aconsejable instalar un modelo de tamaño algo mayor a fin de reducir la característica caída de presión —que es proporcional al caudal—, o bien instalar dos filtros que trabajen en paralelo. Los intervalos de mantenimiento deberían ser breves a fin de reducir de manera significativa la pérdida de presión acumulada. Los sistemas de retrolavado automático trabajan con una presión considerablemente más elevada, y por tanto no se ajustan al concepto de minimización de la presión de los SPIS.

3. Filtro de material granulado/arena: estos filtros tienen una gran capacidad para eliminar partículas presentes en el agua. El agua se hace pasar por un tanque de metal lleno de arena, en el que ésta retiene las partículas grandes y pequeñas. Al final, las impurezas quedan retenidas en los espacios entre los granos de arena, lo que hace necesario un retrolavado con agua limpia. Los filtros de arena requieren altas presiones para trabajar y para el retrolavado, lo que los hace menos adecuados para los SPIS.

9. SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN

Fertirrigación o fertigación es la inyección de **fertilizantes** en un sistema de irrigación. El término surge de la combinación de las palabras “fertilizante” e “irrigación”. El sistema de fertirrigación está conectado al cabezal de riego.

La fertirrigación se practica de manera extensiva en la agricultura y la horticultura comerciales, y se utiliza principalmente para añadir la cantidad deseada de nutrientes adicionales al agua de riego. Se aplica por lo general a los cultivos de alto valor, como las verduras y los árboles frutales. Los sistemas de riego por goteo se prestan especialmente bien para la fertirrigación por su frecuencia de operación y por el hecho de que en ellos la aplicación de agua puede ser fácilmente controlada por el productor o productora. Los fertilizantes líquidos representan a menudo un riesgo de obstrucción a causa de las reacciones químicas que suelen producirse entre la materia orgánica e inorgánica en el agua de riego. Para reducir este efecto de obstrucción, es aconsejable lavar el sistema con agua pura después de utilizar fertilizantes líquidos. Los fertilizantes que se presentan como solución pueden inyectarse directamente en el sistema de riego, mientras que los que se presentan en estado seco granular (p. ej., urea) o cristalino deben mezclarse con agua para formar una solución. Teniendo en cuenta la presión operativa relativamente baja (0,2–0,5 bares) de los SPIS, pueden considerarse las siguientes opciones de fertirrigación:

1. tanques de presión diferencial;
2. boquillas Venturi;
3. bombas dosificadoras eléctricas;
4. bombas dosificadoras hidráulicas.

Los tanques de presión diferencial son simples dispositivos de inyección en los que la cantidad de fertilizante inyectada disminuye lentamente con el tiempo, como

al vaciarse un cubo. Estos tanques no son apropiados cuando la concentración química deba mantenerse relativamente constante durante la inyección.

Las boquillas Venturi hacen uso del “efecto Venturi”. Debido a la elevada pérdida de presión de las boquillas Venturi y al hecho de que la presión proporcionada por las bombas de agua fotovoltaicas no es constante (lo que causaría una fuerte fluctuación de la concentración del fertilizante), la boquilla Venturi no está recomendada en un sistema de fertirrigación.

Las bombas dosificadoras eléctricas son los dispositivos de inyección más caros, pero permiten una concentración constante y precisa de los nutrientes inyectados, además de ser sistemas robustos.

Para aplicaciones fuera de la red, **las bombas dosificadoras hidráulicas** instaladas directamente en la línea de suministro de agua son apropiadas para su uso en SPIS. Trabajan con presiones de sistema comparativamente bajas, y las dosis serán directamente proporcionales al volumen de agua que ingresa en la bomba dosificadora, con independencia de las variaciones de flujo y presión que puedan darse en la línea principal.

Por otra parte, la forma más sencilla de fertirrigación es añadir un fertilizante soluble (p. ej., urea) al agua almacenada en el reservorio elevado de un sistema de riego por goteo de baja presión.

El desafío que plantea la fertirrigación es el control de la concentración a lo largo del tiempo. Una sobredosis afectaría al medio ambiente y al presupuesto de costos de producción.

Si para la fertirrigación se utilizan **bombas de superficie**, se recomienda inyectar el fertilizante en la parte de succión de la bomba, ya que ésta es una forma barata, fácil y confiable de fertirrigar.

“Quimigación” es el término genérico que se aplica a la inyección de **fertilizantes**, acondicionadores del suelo y otros productos solubles en agua en un sistema de irrigación. En un sistema de irrigación por goteo, la quimigación puede utilizarse para inyectar productos químicos que diluyen detritos y otros materiales que tienden a obstruir salidas y codos estrechos. Transcurrido cierto tiempo, el agua tratada y los materiales disueltos en ella se expulsan lavando las líneas de goteo. Se necesitará la asistencia de ingenieros de agua para desarrollar un plan de quimigación que se ajuste a las necesidades del agricultor y a la calidad del agua disponible en la explotación.

10. SISTEMA DE RIEGO

En la producción agrícola, el agua es el insumo más importante que requieren las plantas para su crecimiento. “Irrigación” es la aplicación controlada de agua a través de sistemas creados por el ser humano para satisfacer las necesidades de agua de las plantas que las lluvias no pueden cubrir por sí solas. Son varios los métodos que pueden utilizarse para el riego (empezando por el simple método de regar las plantas con un cacharro o un balde). La elección de un sistema de riego particular depende principalmente del cultivo a regar, la disponibilidad de agua, las necesidades de agua de riego y el suministro de energía, así como de la capacidad financiera de la unidad familiar a cargo de la explotación. Las bombas solares suministran agua a la granja, desde donde ésta puede ser recogida para su distribución posterior a mano. Alternativamente, el agua puede ser bombeada directamente al campo de cultivo a través de un sistema de canales (riego de superficie) o tubos (riego por aspersión y por goteo). En principio, las bombas solares pueden utilizarse para suministrar agua a sistemas de irrigación de todo tipo. El tamaño (y el costo) del generador fotovoltaico está determinado principalmente por las necesidades de

agua y presión del sistema de riego. Pero es importante tener en cuenta que los SPIS son relativamente caros, y que para asegurar su viabilidad financiera los productores y productoras necesitan plantar cultivos de alto valor. Por otro lado, los ahorros de agua tendrán una influencia positiva en los costos de inversión para la adquisición del sistema de bombeo solar y en el medio ambiente.

Los sistemas de riego de superficie no siempre son adecuados para la producción de cultivos de alto valor, y están lejos de ser eficientes en cuanto al consumo de agua. No obstante, los SPIS se utilizan ampliamente para riego de superficie por el hecho de que no requieren que el productor o productora adopte un método nuevo de irrigación. Los SPIS no suelen dedicarse al riego por aspersión, porque esta modalidad de riego requiere para su operación presiones de agua relativamente altas, y por tanto precisa generadores fotovoltaicos caros.

Las tecnologías de riego que ahorran agua y trabajan a presiones comparativamente bajas son la opción preferida en conexión con los sistemas de bombeo fotovoltaicos.



Gotero individual (Fuente: Andreas Hahn, 2015)

Los sistemas de irrigación por goteo operan normalmente a presiones altas de 1–10 bares. Afortunadamente, la tecnología ha sido modificada para adaptarse a presiones bajas y una operación más simplificada. Estos sistemas de riego por goteo de baja presión pueden proporcionar una aplicación del agua con un 80 % de uniformidad, incluso desde unos pocos metros de presión. El desempeño

depende en gran medida de la presión, el tamaño del campo bajo riego y posibles pendientes en el terreno. La irrigación por goteo con energía solar es la combinación de dos sistemas que encajan muy bien. La irrigación por goteo es ideal para la producción de cultivos de alto valor, tales como verduras y frutas, y gracias a su alto grado de eficiencia es posible hacer un cálculo bastante conservador del tamaño de la bomba solar.

Aptitud de los métodos de irrigación para su utilización con bombas fotovoltaicas

Método de distribución	Eficiencia típica de la aplicación del agua	Altura típica	Aptitud para su utilización con bombas fotovoltaicas
Riego por inundación	40–50 %	0,5 m	apenas rentable
Canales abiertos	50–60 %	0,5-1 m	depende de las condiciones locales
Aspersor	70–80 %	10-20 m	no
Riego por goteo de baja presión	80 %	1-10 m	sí
Riego por goteo de alta presión	85–95 %	10-100 m	no

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Lecturas complementarias

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith M. (1998): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. En: *FAO Irrigation and drainage paper* 56. Recuperado de https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf
- Burney, J., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R. & Pasternak, D. (2009): Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano–Sahel. En: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107 (5), 1848–1853. doi: 10.1073/pnas.0909678107. Recuperado de <http://www.pnas.org/content/107/5/1848.abstract>
- Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) (2008): Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers: Earthscan (Planning and Installing Series). Recuperado de https://books.google.de/books?id=fMo3jJZDkpUC&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Hahn, A., Sass, J. & Fröhlich, C. (2015): Manual and tools for promoting SPIS. Multicountry - Stocktaking and Analysis Report. GFA Consulting Group. Recuperado de http://energypedia-uwe.idea-sketch.com/wiki/File:Stocktaking_and_Analysis_Report_-_Final_Draft.pdf
- KPMG (2011): The Rising Sun. A point of View on the Solar Energy Sector in India. India. Recuperado de <https://www.kpmg.de/docs/The-Rising-Sun.pdf>
- NREL National Renewable Energy Laboratory (2012): Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics. Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>
- Raghavan, S. V., Bharadwaj, A., Thatte, A. A., Harisch S., Iychettira, K.K., Perumal, R. & Nayak, G. (2010): Harnessing solar energy: Options for India. Center for Study of Science, technology and Policy (CSTEP). High Grounds, Bangalore. Recuperado de <https://www.slideshare.net/abyshares24/harnessing-solar-energyoptionsforindiafull-report>
- Schmidt, R. (2012): Aplicaciones de Energía Solar Fotovoltaica; Diseño, Implementación, Experiencias.
- Woltering, L., Pasternak, D. & Ndjunga, J. (2011): The African Market Garden: The Development of an Integrated Horticultural Production System for Smallholder Producers in West Africa. En: *Irrigation and Drainage* 60 (5), 613-621. doi: 10.1002/ird.610.

Enlaces

- European Commission, Joint Research Centre (2012): Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology. Recuperado de <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>.
- Irrigation Association (2017): Irrigation Glossary. Recuperado de <http://www.irrigation.org/IRIGlossary>.
- Meteonorm: Meteonorm Software. Irradiation data for every place on Earth. Recuperado de <http://www.meteonorm.com/en/>.

NASA (2016): Surface meteorology and Solar Energy. With the collaboration of Atmospheric Science Data Centre. Recuperado de <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>.

Algunos fabricantes de sistemas de montaje / seguimiento ofrecen herramientas de diseño específicas para un producto que suelen hallarse en las páginas web pertinentes de los mismos.

Herramientas de SPIS

No hay herramientas para este módulo.