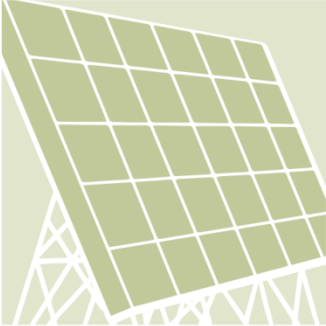


POWERING
AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT



Módulo 8: Montaje

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), 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 de 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.

Implemented by

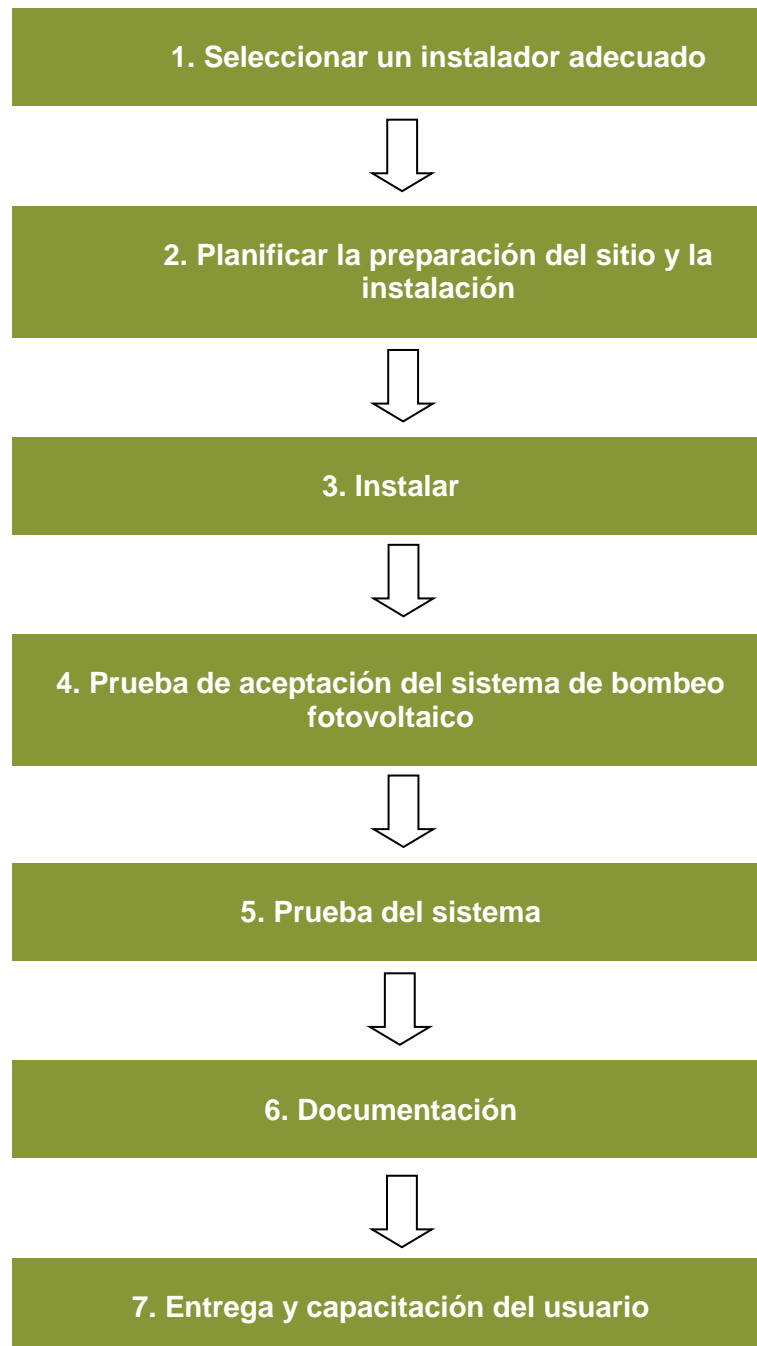
© GIZ y FAO, 2018

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

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
GPFI	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 requiremente (necesidades diarias de agua de los cultivos, siglas en inglés)
W	vatio
Wp	vatios pico

MONTAJE



OBJETIVO DEL MÓDULO Y ORIENTACIÓN

El presente módulo resume los pasos necesarios para la instalación del sistema de riego con energía solar una vez completados el diseño del SPIS y la selección del proveedor de tecnología (v. módulo **DISEÑA**). La instalación de un sistema de riego es un proceso que requiere planificación y toma de decisiones por parte del productor o productora, dado que deberá llevarse a cabo atendiendo a preferencias y requisitos de operación establecidos. Este módulo describe los pasos pertinentes del proceso que culminará con la instalación definitiva del sistema, partiendo del supuesto de que el proveedor de tecnología no es necesariamente el proveedor de los servicios de instalación del SPIS.

PPASOS DEL PROCESO

Con la firma de un contrato o una orden de compra con un proveedor de tecnología se han tomado todas las decisiones en lo que respecta a los componentes del sistema. La cotización u oferta del proveedor debe incluir un plano de disposición del sistema en el que se describen los requisitos específicos de instalación. Con frecuencia no es el productor o productora quien realiza los trabajos de instalación, sino que estos se confían a un instalador o instaladora cualificado que ensambla y monta los componentes del sistema como corresponde. Una instalación de buena calidad sienta las bases para un funcionamiento fiable del SPIS que tenga en cuenta las condiciones específicas del sitio. El proceso de instalación requiere del futuro usuario o usuaria (esto es, del cliente o clienta del SPIS o el agricultor o agricultora) una participación activa en la toma de decisiones.

La instalación del sistema comienza eligiendo un proveedor de servicios apropiado. A continuación, habrá que

hacer una planificación detallada de los trabajos necesarios. En la planificación de la instalación se tomarán en consideración todos los requisitos planteados por el productor o productora y el instalador o instaladora. Una vez instalados los componentes del sistema, se deberán poner a prueba su funcionamiento correcto y el desempeño global del sistema.

El productor o productora, como futuro usuario o usuaria del sistema, debe seguir muy de cerca este proceso para asegurarse de que el SPIS se ha instalado de conformidad con la planificación acordada, y también para comprender su funcionamiento. Una vez terminada la instalación, el productor o productora debe insistir en que se le entregue la documentación apropiada y en recibir una introducción en la operación del sistema.

1. SELECCIONAR UN INSTALADOR ADECUADO

Al seleccionar al proveedor de tecnología se debe ya pensar en la instalación. Los proveedores de equipos deben especificar si la instalación del sistema está incluida en sus cotizaciones. Si está incluida en el contrato de compra de los componentes del sistema, el proveedor designará un instalador o instaladora.

Si los proveedores de tecnología no realizan la instalación directamente, deberían recomendar un instalador o instaladora cualificado, para el cual habrá que firmar un contrato por separado para los servicios de instalación. Para ello, se hará una preselección de instaladores e instaladoras cualificados, y se pedirá a los candidatos y candidatas que presenten sus cotizaciones u ofertas a fin de evaluarlas y tomar una decisión final (v. módulo **DISEÑA**).

Los instaladores o instaladoras se elegirán teniendo en cuenta su cualificación general y sus conocimientos de los productos específicos (componentes del sistema) por los que ha optado el productor o productora. Las condiciones de garantía de algunos proveedores de tecnología solo permiten que la instalación sea llevada a cabo por instaladores o instaladoras certificados, y por tanto los proveedores de tecnología deben recomendar proveedores de servicios certificados.

Para realizar una oferta, el instalador o instaladora visita el sitio y, junto con el productor o productora, examina la instalación prevista.

A la hora de seleccionar instaladores o instaladoras apropiados, se debe

- verificar si el proveedor de tecnología está en condiciones de recomendar un instalador cualificado de sus redes de trabajo;
- verificar si el instalador o instaladora está habilitado para

instalar los componentes del sistema/marcas adquiridos;

- verificar la experiencia del instalador o instaladora en relación con instalaciones realizadas en la zona (lista de referencias, otros productores y productoras);
- obtener claridad sobre los servicios posteriores a la instalación ofrecidos por los instaladores o instaladoras y su disponibilidad para el mantenimiento, la solución de problemas y reparaciones.

RESULTADO / PRODUCTO

- Preselección de instaladores e instaladoras cualificados;
- cotizaciones/ofertas de servicios de instalación;
- selección de un instalador o instaladora basada en la relación costo/calidad;
- contrato de servicios de instalación.

DATOS REQUERIDOS

- Lista de instaladores o instaladoras cualificados y certificados proporcionada por el proveedor de tecnología;
- disposición del sistema y descripción de los componentes del mismo (establecidas en el contrato con el proveedor de tecnología);
- lista de precios por unidad (cotizaciones/ofertas de los instaladores o instaladoras);
- información sobre los servicios posteriores a la instalación.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor/instalador (proveedor de tecnología);

- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La instalación puede estar incluida en el contrato de compra de los componentes del sistema; pero puede ser también que haya que contratarla por separado.
- Puede no ser factible que el mismo instalador o instaladora sea capaz de instalar el generador fotovoltaico, la motobomba, el tanque de almacenamiento y el sistema de riego.
- La garantía de los componentes del sistema depende de que la instalación sea realizada por un proveedor de servicios cualificado y certificado.
- Se recomienda trabajar con un instalador o instaladora que pueda prestar también servicios de mantenimiento, solución de problemas y reparación.

2. PLANIFICAR LA PREPARACIÓN DEL SITIO Y LA INSTALACIÓN

El instalador o instaladora seleccionado deberá tener en cuenta las condiciones específicas del sitio en su cotización u oferta. En este paso del proceso, ya tendría que haber tomado nota de los puntos de vista del productor o productora en lo que respecta a la ubicación, la distribución espacial y la protección del sistema previsto. Una vez firmado el contrato de servicios de instalación, se hará una planificación detallada de la instalación.

Para ello, puede que se requieran una nueva visita al terreno y un examen de todos los aspectos relevantes junto con el productor o productora.

El objetivo de la planificación de la instalación es:

- verificar el acceso al sitio y las condiciones de almacenamiento de los materiales;
- determinar la localización y la distribución espacial exactas de los componentes del sistema (generador fotovoltaico, bomba de agua, unidades de control, tanque de almacenamiento de agua, red de distribución del agua, tuberías de riego);
- evaluar las condiciones específicas del sitio que tienen relevancia para la instalación (condiciones de suelo/subsuelo, perfil de superficie, fuente de agua, riesgos en materia de seguridad);
- identificar los trabajos preparatorios (desmantelamiento de antiguas instalaciones, limpieza /rehabilitación del pozo y pruebas de bombeo, movimiento de tierras, despeje del sitio, preparación del campo);
- planificar los trabajos preparatorios y la instalación;
- identificar medidas preventivas de salud y seguridad.

Una buena planificación antes de la instalación contribuye a evitar demoras en el proceso de instalación, dado que los trabajos preparatorios y de instalación pueden programarse para su realización consecutiva. Es posible también que el productor o productora tenga ciertas ideas particulares respecto a la ubicación, la distribución espacial y la protección del futuro sistema que el instalador o instaladora deberá tener en cuenta antes de juntar y montar los componentes. Las condiciones específicas del sitio, tales como la exposición a fuertes vientos, inundaciones, animales vagabundos y los riesgos de robo y vandalismo (v. **INFORMATE**, estructura de montaje), son factores que influyen en la instalación y en los materiales a utilizar (tuercas de seguridad, aerosol, juntas, etc.).

La planificación de la instalación debe tener en cuenta el calendario de cultivos y el plan de trabajo agrícola específico de la explotación (v. **DISEÑA**, paso 2 del proceso). Los trabajos de instalación no deberían entorpecer innecesariamente la rutina de producción de la explotación.

De necesitarse más de un instalador o instaladora (p. ej., uno para el sistema de bombeo solar y otro para el sistema de riego), esta circunstancia deberá tenerse en cuenta en la planificación. Los diferentes instaladores o instaladoras deben trabajar de manera coordinada.

Muchas veces se subestiman los recursos de terreno necesarios para establecer el SPIS. Los generadores fotovoltaicos y el tanque de almacenamiento de agua (de formar parte del sistema) ocuparán un terreno que de otro modo estaría disponible para cultivos. Los componentes del sistema deben distribuirse en el espacio de manera que los paneles solares no se vean afectados por la sombra producida por otros componentes, o de forma que haya suficiente espacio para

poder llegar a elementos del sistema que necesiten mantenimiento.

Nota: Los instaladores estiman que para asegurar el buen funcionamiento y mantenimiento de los paneles solares se debería reservar una superficie aproximadamente dos veces mayor que la que ellos ocupan. Ello es necesario a fin de dejar espacio para el cercado y permitir la circulación por la instalación cuando haya que realizar tareas de mantenimiento, así como para reducir el impacto de sombras.

La cooperación entre el productor o productora y el instalador o instaladora en la labor de planificación permitirá también que ambas partes lleguen a un claro entendimiento común del proceso de entrega del sistema, y facilitará la tarea de capacitar al usuario o usuaria tras la entrega.

RESULTADO / PRODUCTO

- Localización de cada componente del sistema;
- lista de trabajos/requisitos preparatorios;
- calendario de trabajos preparatorios y de la instalación;
- calendario de entrega del sistema y de capacitación del usuario o usuaria.

DATOS REQUERIDOS

- Plano de instalación del sistema (establecido en el contrato con el proveedor de tecnología);
- datos sobre el estado del pozo/fuente de agua;
- datos sobre las condiciones del suelo/subsuelo.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La planificación de la implementación requiere que el instalador o instaladora visite el sitio y lo examine conjuntamente con el agricultor o agricultora.
- Se deben tener en cuenta las condiciones y riesgos específicos del sitio.
- La instalación requiere recursos de terreno.
- Antes de proceder a la instalación deben identificarse los trabajos preparatorios que haya que realizar.
- Los trabajos preparatorios deben concluirse antes de proceder a la instalación.
- La planificación de la instalación debe incluir un calendario de entrega del sistema y capacitación del usuario o usuaria.
- Puede que haya que coordinar el trabajo de varios instaladores e instaladoras.



Un instalador visita el sitio de un SPIS en Tamalé, Ghana (Fuente: Lennart Woltering)

3. INSTALAR

La instalación de los diferentes componentes del sistema de riego con energía solar será llevada a cabo por un instalador o instaladora profesional contratado o contratada a tal efecto. El instalador o la instaladora procederá de acuerdo con la disposición y las especificaciones técnicas del sistema proporcionadas por el proveedor de servicios tecnológicos (instalador, proveedor), y teniendo en cuenta las opiniones del productor o productora en lo que respecta a la ubicación y la distribución espacial.

El instalador o la instaladora requerirá temporalmente acceso al sitio, y un espacio de ensamblaje y almacenamiento para descargar y ensamblar los componentes del sistema. Los productores y productoras deben tener esto en cuenta, sobre todo cuando se trata de pequeñas explotaciones en las que escasean los espacios sin cultivar.

El tiempo real requerido para ensamblar, montar y conectar los diferentes componentes de un SPIS depende del tamaño del sistema y las condiciones del sitio. Puede que el instalador o instaladora tenga que llevar a cabo el proceso de instalación en varias etapas. Un trabajo parcial que consume mucho tiempo es el de establecer una buena cimentación para la estructura de montaje de los paneles solares y el tanque de almacenamiento de agua (de ser parte del sistema).

Estas obras de cimentación se realizan a menudo con hormigón armado, y podrían requerir trabajos previos de excavación y tiempo de curación del cemento después del vaciado.

Es muy importante que el productor o productora y, de ser posible, también el asesor o la asesora agrícola se tomen el tiempo para estar presentes durante la instalación del sistema, a fin de:

- estar disponibles para proporcionar información y tomar decisiones;
- verificar que se instalen todos y cada uno de los componentes;
- comprender mejor los diferentes componentes del sistema, sus particularidades y la ubicación de las conexiones, interruptores, etc. (¡hacer preguntas!);
- vigilar que la instalación se ajuste a la disposición, los planos y el calendario establecidos (conformidad de los componentes), o tomar nota de cualquier desviación debida a circunstancias imprevistas.

RESULTADO / PRODUCTO

- Sistema de riego con energía solar completo.

DATOS REQUERIDOS

- Plano de instalación del sistema (establecido en el contrato con el proveedor de tecnología);
- lista de componentes y presupuestos;
- planificación de la instalación.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- Se debe poner espacio temporalmente a disposición para el acceso al sitio, almacenamiento de material y ensamblaje de los componentes.
- Puede que la instalación deba llevarse a cabo en etapas en caso

de que haya que realizar obras de cimentación, etc.

- El productor o productora debe estar presente durante la instalación para acompañar y vigilar el proceso.



Instalación de un sistema de riego por goteo
(Fuente: Lennart Woltering)

4. PRUEBA DE ACEPTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

Una vez finalizada la instalación, se deberá ensayar el funcionamiento y el desempeño del sistema en presencia del futuro usuario o usuaria (el productor o productora). El ensayo comprende una serie de análisis separados. El primer paso es la prueba de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico, que involucra al generador fotovoltaico, el sistema de montaje y seguimiento (de ser parte del sistema), el controlador y la motobomba de agua. Estos componentes representan el “motor” del SPIS, y su desempeño es vital para el aprovechamiento óptimo del sistema de riego.

Esta prueba de aceptación (denominada también “prueba de aceptación del sitio [SAT, por sus siglas en inglés]) constituye el segundo nivel de prueba de equipos en términos de la gestión de calidad. Los fabricantes de componentes de sistemas están obligados a realizar un “ensayo de aceptación en fábrica” (FAT, por sus siglas en inglés), antes de entregar los productos a los distribuidores. A la hora de evaluar un SPIS, lo ideal sería que se presentasen ambos niveles de ensayo, pero esto no siempre es fácil de conseguir.

La prueba de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico comprende los siguientes pasos principales:

- verificación visual de los componentes principales y sus uniones/conexiones;
- verificación visual del cableado y el aislamiento;
- verificación mecánica del sistema de montaje y seguimiento;
- verificación funcional de la motobomba fotovoltaica;
- verificación funcional del controlador electrónico/inversor de la motobomba fotovoltaica;
- existencia de la documentación del sistema (hojas de datos técnicos,

plano del cableado eléctrico, procedimientos operativos);

- medición de la irradiación solar, la potencia eléctrica, la carga de bombeo y el flujo de agua para poder establecer la diferencia entre el flujo calculado y el flujo real medido.

Las mediciones suelen llevarse a cabo conforme al siguiente orden:

Medición de la irradiación solar --> cálculo de la potencia eléctrica producida --> medición y cálculo de la altura total de bombeo --> medición del flujo real de agua ---> comparación entre el flujo de agua medido y el flujo de diseño

Las diferentes mediciones deben efectuarse dentro de un intervalo de tiempo breve y en condiciones de cielo despejado. Es aconsejable realizar como mínimo dos pruebas de aceptación, una con niveles de irradiación solar alta (800 – 1.000 W/m²), y otra con niveles de irradiación solar baja (aprox. 500 W/m²). Los equipos necesarios para el ensayo serán facilitados por el instalador.

Importante: Verificar la estanqueidad de sellados y juntas y el ajuste de tornillos y pernos.

Verificar si existen indicaciones de corrosión, y grietas en el hormigón de cimentación.

Verificar si existen filtraciones en tuberías y accesorios.

Registrar eventuales deficiencias y fallos de funcionamiento y aclararlos con el instalador o instaladora para que los repare.

Los resultados de la prueba de aceptación deben compararse con el desempeño del sistema de bombeo fotovoltaico previsto en el diseño. La herramienta **DISEÑA –**

Herramienta de cálculo del bombeo

puede utilizarse para registrar los datos más importantes y compararlos con los valores de diseño. El protocolo de la prueba de aceptación será firmado por el instalador o instaladora y el productor o productora.

La herramienta **MONTAJE – Prueba de aceptación** ofrece más detalles sobre los pasos a dar, el equipo requerido y los cálculos a efectuar para llevar a cabo la prueba de aceptación.

RESULTADO / PRODUCTO

- Prueba completa de aceptación del sistema de bombeo de agua fotovoltaico;
- comparación del desempeño real y el desempeño de diseño;
- protocolo de la prueba de aceptación;
- **MONTAJE – Prueba de aceptación.**

DATOS REQUERIDOS

- Resultados de la medición de la irradiación solar, la altura total de bombeo y el flujo de agua;
- potencia eléctrica calculada, altura total de bombeo según diseño y flujo de agua según diseño;
- observaciones de la verificación visual.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La prueba de aceptación *in situ* es obligatoria para verificar si el desempeño del sistema de bombeo fotovoltaico corresponde al diseño.

- La prueba debe realizarla el instalador o instaladora en presencia del productor o productora y teniendo en cuenta todos los criterios relevantes.
- La prueba requiere condiciones de cielo despejado, y que se realicen como mínimo dos mediciones.
- Se recomienda una inspección minuciosa de todas las partes mecánicas.



Midiendo la irradiación solar durante la prueba de aceptación *in situ*

(Fuente: Reinhold Schmidt)

5. PRUEBA DEL SISTEMA

Una vez ensayado el sistema de bombeo fotovoltaico, se deberá verificar y ensayar el funcionamiento de los otros componentes del sistema, así como el funcionamiento del sistema en su conjunto. Este paso de la prueba debe regirse por los mismos principios que la prueba precedente de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico. Se pondrán a prueba, como mínimo, los siguientes elementos:

- dispositivos de control de la extracción y la descarga de agua (contadores de agua);
- válvulas de distribución, tuberías de distribución y conectores;
- reservorios y filtros (de formar parte del sistema);
- tuberías de riego y dispositivos de riego (emisores, miniaspersores), haciendo una prueba de aplicación uniforme del agua (v. la herramienta **MANTENIMIENTO – Guía sobre la aplicación uniforme del agua**).

La prueba del sistema para los componentes mencionados comprende:

- Verificaciones visuales (pernos, tornillos, etc.);
- verificación mecánica de los soportes de montaje del tanque y tuberías;
- verificación funcional de la distribución y descarga del agua, así como del tanque de almacenamiento y el filtrado del agua;
- existencia de la documentación del sistema (hojas de datos técnicos, esquema hidráulico, procedimientos operativos);
- medición de la entrada de presión de agua y la distribución de la presión en todas las secciones del sistema y la descarga de agua.

Las mediciones suelen llevarse a cabo “de la cabeza a los pies”, empezando por la liberación de agua al conducto de suministro (al estanque de almacenamiento o inyección directa) y terminando con las bocas de lavado de las tuberías de riego. Se deben realizar mediciones de presión en todas las uniones/nodos de distribución del sistema a fin de evaluar la distribución hidráulica en todas las secciones. Estas mediciones deben tener en cuenta las variaciones de presión durante el día causadas por la fluctuación de los niveles de irradiación solar. Los resultados deben documentarse como perfil hidráulico del sistema de riego.

Calibración: La descarga de agua a las estaciones de riego debe calibrarse a fin de gestionar de manera eficiente la distribución de agua a los cultivos. Entre las diferentes estaciones de riego pueden existir diferencias de presión, y en un sistema de bombeo fotovoltaico carente de tanque de almacenamiento elevado las entradas de presión varían, haciendo que la descarga de agua de los dispositivos de riego difiera de una estación a otra en el transcurso del día. La descarga de agua de los dispositivos de riego debe medirse a diferentes horas del día a fin de calcular la descarga real de agua, que luego podrá gestionarse variando el intervalo de riego por unidad de superficie.

Nota: Esta medida de calibración es una actividad que requiere mucho tiempo.

El hecho de que existan diferencias considerables entre los cálculos de diseño y el desempeño real puede ser señal de un diseño deficiente (achacable a la recogida de datos o a la mala elección de los componentes) o de un trabajo de instalación deficiente. La calidad del trabajo de instalación tiene una influencia directa en el desempeño y la sostenibilidad del sistema, y una mala instalación de equipos de excelente calidad puede afectar el funcionamiento completo del sistema. La

herramienta **MONTAJE – Lista de verificación de la calidad del trabajo de instalación** incluye varios indicadores de la calidad de instalación agrupados en diferentes categorías. El objetivo es evaluar si la calidad de la instalación está en consonancia con las buenas prácticas, los requisitos de seguridad y la sostenibilidad global de la instalación.

RESULTADO / PRODUCTO

- Prueba del sistema para el sistema de riego completada;
- comparación del desempeño real y el desempeño de diseño;
- protocolo de la prueba del sistema;
- perfil hidráulico del sistema de riego;
- datos de la descarga de agua para todas las secciones de riego.

DATOS REQUERIDOS

- Resultados de la medición de la presión y la descarga de agua en todas las secciones de riego;
- valores calculados de la presión del sistema y la descarga de agua;

- observaciones de la verificación visual.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La prueba del sistema *in situ* es obligatoria para verificar si el desempeño del sistema de riego está a la altura del rendimiento previsto en el diseño.
- La prueba debe realizarla el instalador o instaladora en presencia del productor o productora.
- La prueba debe incluir mediciones de la presión y la descarga de agua en todas las secciones de riego.
- La calibración del sistema de descarga del agua de riego es importante para poder gestionar de manera eficiente la distribución de agua a los cultivos.



Medición del flujo de agua
(Fuente: Reinhold Schmidt)

6. DOCUMENTACIÓN

Un SPIS consta de múltiples componentes, cada uno de los cuales tiene especificaciones técnicas y requisitos de operación y mantenimiento particulares. De hecho, algunas tecnologías mecánicas y eléctricas pueden sufrir desperfectos si no se manejan correctamente. La operación cuidadosa del sistema no solo previene fallos y costosas reparaciones, sino que asegura también un tiempo de vida más prolongado del sistema. Si bien existen hojas de datos técnicos e instrucciones para la instalación de la mayoría de los componentes individuales de un SPIS, es raro encontrar manuales de operación que cubran el sistema en su integridad. Dado que los SPIS se diseñan para casos individuales, los manuales de operación y mantenimiento deberían adaptarse a las necesidades de los usuarios y usuarias particulares.

El proveedor y el instalador o instaladora deben proporcionar una documentación exhaustiva del sistema y sus requisitos de operación y mantenimiento durante las pruebas de aceptación y del sistema o a la hora de la entrega final del sistema. Esto debe acordarse con el proveedor de tecnología y/o el instalador o instaladora durante la negociación del contrato.

La documentación debe cubrir los siguientes aspectos principales:

- plano de disposición del sistema que abarque todos los componentes de la fuente de agua, el sistema de bombeo, el almacenamiento de agua y el sistema de riego (y planos de conexiones y cableado);
- hojas de datos técnicos de todos los componentes del sistema, incluido un registro de los números de serie de módulos y otros componentes; por ejemplo, para reivindicar la propiedad al presentar una reclamación de seguro;

- directrices de operación para todos los componentes del sistema;
- información sobre la garantía e instrucciones y programas de mantenimiento para todos los componentes del sistema;
- instrucciones de seguridad, advertencias de riesgo para la salud y procedimientos de emergencia;
- datos de contacto de servicios de mantenimiento/repación, servicios de asistencia, etc.

Idealmente, el manual de operación incluye también información sobre las repercusiones negativas de la extracción excesiva de agua sobre el medioambiente. Un sistema de riego diseñado de manera sistemática funciona respetando el principio de extracción sostenible de agua y de acuerdo con la disponibilidad de los recursos hídricos y los correspondientes derechos/permisos de agua.

RESULTADO / PRODUCTO

- Documentación de todos los componentes del SPIS, incluidas especificaciones técnicas, planos de conexiones/cableado, instrucciones de seguridad, procedimientos de emergencia e información en materia de mantenimiento;
- manual de operación del sistema;
- datos de contacto/servicios de asistencia en casos de emergencia.

DATOS REQUERIDOS

- Especificaciones técnicas de los componentes del SPIS.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;

- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La documentación de todos los componentes del sistema debe ser completa y comprensible.
- Las instrucciones de seguridad y en casos de emergencia deben

estar indicadas con claridad y fijadas en un lugar visible del componente respectivo del sistema.

- El instalador o instaladora debe proporcionar un manual de operación con todos los procedimientos e informaciones pertinentes.

7. ENTREGA Y CAPACITACIÓN DEL USUARIO

El paso final del proceso de instalación es la entrega formal del SPIS al usuario o usuaria (el productor o la productora). La entrega se combina normalmente con una introducción detallada a todos los aspectos técnicos del sistema y un adiestramiento práctico en el funcionamiento del mismo, previsto en su diseño. Este paso debe planificarse minuciosamente, dado que el usuario o usuaria debe tener suficiente tiempo para examinar, junto con el instalador o la instaladora, todos los componentes del sistema y todos los aspectos relacionados con su operación y mantenimiento.

Antes de dar este paso, deben haberse cumplido todos los demás requisitos, en particular las pruebas de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico y del sistema, y la documentación del sistema. Lo ideal es que el usuario o usuaria haya podido acompañar y seguir el proceso completo de instalación, incluidos los pasos de pruebas. Así, habrá adquirido ya buenos conocimientos sobre el sistema, y habrá tenido la oportunidad de familiarizarse con sus principales características técnicas y operativas.

En las etapas de pruebas del proceso de instalación se han identificado y registrado defectos o problemas de calidad, y el instalador o instaladora y el usuario o usuaria han llegado a un acuerdo sobre cómo y cuándo se corregirán tales defectos. Esto ha quedado establecido en los protocolos de las pruebas. La entrega del sistema no debe tener lugar antes de que se hayan llevado a cabo todas las reparaciones y enmiendas.

Normalmente, la entrega y las actividades de capacitación e instrucción correspondientes tienen lugar durante la realización de una prueba final del sistema. Esto no debe entenderse como un ejercicio teórico de sala de clases. El material de apoyo de la capacitación debe incluir las directrices de operación y el manual que se

entregan como parte de la documentación del sistema.

Son características importantes de la orientación y capacitación:

- una introducción a los aspectos específicos de todos los componentes del sistema;
- funcionamiento del sistema en condiciones diferentes; en particular, gestión de la distribución de agua a los cultivos basada en la gestión de la presión y la duración del suministro;
- precauciones de seguridad y protección de los componentes del sistema;
- riesgos para la salud y el medioambiente;
- procedimientos de emergencia;
- trabajos y programas de mantenimiento.

La entrega concluye con la firma de un protocolo de entrega en el que constan el estado del sistema y todas las actividades llevadas a cabo para instruir y capacitar al productor o productora.

RESULTADO / PRODUCTO

- Protocolo de entrega.

DATOS REQUERIDOS

- Datos de la prueba de aceptación del sistema de bombeo fotovoltaico y de la prueba del sistema;
- documentación y manual de operación del sistema.

PERSONAS / PARTES INTERESADAS

- Productor o productora;
- proveedor de servicios de instalación;
- proveedor de servicios agrícolas.

ASUNTOS IMPORTANTES

- La entrega solo debe tener lugar si el sistema funciona perfectamente y se han subsanado todas las deficiencias.
- La entrega debe ir acompañada de una introducción práctica y

capacitación del usuario o usuaria que incluya información sobre precauciones de seguridad, protección del sistema y riesgos.

- Se debe preparar y firmar un protocolo de entrega.



SPIS provisto de un reservorio elevado, utilizado para riego dentro y fuera del invernadero

(Fuente: Lennart Woltering)

LECTURAS COMPLEMENTARIAS, ENLACES Y HERRAMIENTAS

Enlaces

Centre for Land and Water: Knowledge Resources for Primary Industry. Recuperado de <http://www.claw.net.nz/resources/irrigation/>

Hahn, A., Sass, J. & Fröhlich, C. (2015): Manual and tools for promoting SPIS. Multicountry - Stocktaking and Analysis Report. GFA Consulting Group. Recuperado de [actualmente en proceso de revisión]

Schultz, R. & Suryani, A. (2015): EnDev2 Indonesia: Inspection Guide for Photovoltaic Village Power (PVVP) Systems. Editado por la GIZ. Recuperado de https://energypedia.info/images/3/39/Inspection_Guide_for_PVVP_150524_%28GIZ_2015%29.pdf

Herramientas de SPIS

MONTAJE – Prueba de aceptación: pautas para comparar la capacidad instalada con la capacidad real de una bomba

MONTAJE – Lista de verificación de la calidad del trabajo de instalación: lista de verificación para inspeccionar la calidad del trabajo de instalación

También son relevantes las siguientes herramientas asociadas a otros módulos:

PROMUEVE – Herramienta de evaluación rápida de SPIS: sobre el análisis del mercado de prestación de servicios

DISEÑA – Herramienta de cálculo del bombeo: para verificar la prueba de aceptación de SPIS

MANTENIMIENTO – Guía para la aplicación uniforme del agua: que debería aplicarse inmediatamente después de crear el sistema

GLOSARIO TÉCNICO

Acuífero	Formación(es) geológica(s) subterránea(s) que contiene(n) cantidades utilizables de aguas que puede(n) abastecer pozos y manantiales para uso doméstico, industrial y de riego.
Altura de succión	Distancia vertical de la superficie del agua a la bomba. Esta distancia está limitada por la física a máximo 6 metros, y debería minimizarse para obtener los mejores resultados. Esto se aplica solo a las bombas de superficie.
Bomba	Convierte energía mecánica en energía hidráulica (presión y/o flujo). Bomba sumergible: una combinación de motor/bomba diseñada para ser instalada íntegramente por debajo de la superficie del agua. Bomba de superficie: bomba no sumergible que se instala a una altura no mayor de 6 metros por encima de la superficie del agua.
Cabezal de riego	En un sistema de riego, unidad de control donde se regula la cantidad, la calidad y la presión del agua utilizando diferentes tipos de válvulas, reguladores de presión, filtros y, posiblemente, un sistema de irrigación química (quimigación).
Carga (altura de bombeo)	Valor de la presión atmosférica en un sitio específico y en condiciones específicas. [m]: Carga total (dinámica): Suma de las cargas estática, de presión, fricción y velocidad contra las que una bomba trabaja al bombear a una velocidad de flujo específica. [m] Pérdida de carga: Pérdida de energía en el flujo del fluido. [m]
Cebado	Proceso de llenar manualmente el tubo de succión y entrada de una bomba de superficie. Generalmente, el cebado es necesario cuando la bomba debe situarse encima de la fuente de agua.
Coeficiente de cultivo (Kc)	Relación que existe entre la evapotranspiración real de un cultivo específico y su evapotranspiración potencial (o la evapotranspiración de referencia). Es diferente para cada cultivo y cambia con el tiempo según la etapa de crecimiento del cultivo.
Corriente (I)	Corriente eléctrica es el flujo de electricidad que circula por un conductor cuando existe un voltaje a lo largo del mismo, o la velocidad de flujo de la carga eléctrica, expresada en amperios [A].
Descenso	Descenso del nivel del agua en un pozo a causa del bombeo.
Eficiencia de la irrigación	Proporción del agua de riego aprovechada en relación con el agua de riego aplicada. [%]
Eficiencia de los paneles solares	La eficiencia de un panel solar es la razón entre la luz incidente en el panel y la cantidad de electricidad producida. Se expresa

	como porcentaje. La mayoría de los sistemas tienen una eficiencia de alrededor de 16 %, lo que significa que el 16 % de la energía lumínica es convertido en electricidad.
Emisor	Pequeño dispositivo dispensador de microirrigación, diseñado para disipar la presión y descargar un flujo reducido y uniforme de agua en forma de gotas o chorros finos, con una descarga constante que no varía de forma significativa debido a pequeñas diferencias en la altura de presión. Conocido también como “gotero”.
Evaporación	Pérdida de agua en forma de vapor de la superficie del suelo o de hojas húmedas. [mm]
Evapotranspiración (ET)	Pérdida de agua por la acción combinada de la evaporación y la transpiración. La ET de un cultivo (ETc) puede estimarse calculando a partir de datos meteorológicos la ET de referencia de un cultivo de referencia determinado (ETo de césped cortado), y multiplicando el resultado por un coeficiente de cultivo (Kc). La ETc, o el agua perdida, es igual a las necesidades de agua de un cultivo. [mm]
Flujo por gravedad	Utilización de la gravedad para producir presión y flujo de agua; por ejemplo, elevando el estanque de almacenamiento por encima del punto de uso, de manera que el agua fluya sin necesidad de bombeo.
Fotosíntesis	Es el proceso utilizado por las plantas y otros organismos para convertir energía lumínica en energía química que puede ser liberada más tarde y servir de combustible para las actividades de los organismos (transformación de la energía).
Infiltración	Acción y efecto de penetrar el agua en el perfil del suelo.
Insolación	Tasa a la cual la energía solar alcanza una unidad de superficie terrestre, medida en vatios por metro cuadrado [W/m^2]. Llamada también “irradiancia solar”.
Irradiación (Radiación)	Integración o suma de la insolación (igual a la irradiancia solar) durante un periodo de tiempo expresada en julios por metro cuadrado (J/m^2) o vatios-hora por metro cuadrado [Wh/m^2].
Irrigación o riego	Irrigación o riego es la aplicación controlada de agua para responder a las necesidades de los cultivos.
Irrigación con fertilizantes (o fertirrigación)	Aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego. Una forma de irrigación química o quimigación.
Irrigación química (o quimigación)	Proceso de aplicar productos químicos añadidos al agua (fertilizantes, insecticidas, herbicidas, etc.) a los cultivos o al suelo a través de un sistema de riego.
Latitud	La latitud especifica la posición norte-sur de un punto situado sobre la superficie de la Tierra. Es un ángulo que va de 0° en el ecuador a 90° (norte o sur) en los polos. Las líneas de latitud constante, o paralelas, discurren de este a oeste describiendo círculos paralelos al ecuador. La latitud se utiliza junto con la

	longitud para especificar la ubicación precisa de puntos de interés sobre la superficie de la Tierra.
Lixiviación	Desplazamiento de materiales solubles a través del perfil del suelo con el agua.
Necesidades brutas de agua de riego	Expresa la cantidad de agua que requiere el sistema de riego. [mm]
Necesidades de agua de los cultivos	Cantidad de agua que necesita una planta. Depende del clima y el cultivo, así como también de la gestión y las condiciones ambientales. Es lo mismo que la evapotranspiración de los cultivos.
Necesidades netas de agua de riego	Suma de las necesidades de agua de los cultivos para cada planta durante un periodo de tiempo determinado. Las necesidades netas de agua de riego determinan la cantidad de agua que debe llegar a los cultivos para satisfacer su demanda de agua en el suelo. [mm]
Percolación profunda	Movimiento del agua hacia abajo a través del perfil del suelo por debajo de la zona radicular. Esta agua se pierde para las plantas y acaba en las napas subterráneas. [mm]
Pérdida por fricción	Pérdida de presión debido a la fricción del agua en el interior de la tubería. Depende del tamaño de la tubería (diámetro interno), la velocidad de flujo y la longitud de la tubería. Se determina consultando una tabla de pérdidas por fricción disponible en una obra de consulta de ingeniería o recurriendo a un proveedor de tuberías. [m]
Pérdidas de conducción	Pérdida de agua de un canal o tubería durante el transporte debido a filtraciones, fugas, evaporación u otras pérdidas.
Potencia (P)	La potencia es la cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo. La potencia eléctrica, por ejemplo, depende de la cantidad de corriente y el voltaje del sistema, siendo igual a la corriente multiplicada por el voltaje ($P = I \times V$). [W]
Presión	Medida de la fuerza presente en un sistema. Esta es la fuerza dividida por área (sección transversal) que mueve el agua a través de la tubería, los aspersores y los emisores. La presión estática es la que se mide cuando el agua no fluye, y la dinámica la que se mide cuando el agua fluye. La presión y el flujo se afectan mutuamente. [bar, psi, kPa]
Radiación solar global (G)	Energía transportada por la radiación solar (directa + difusa) que incide sobre una superficie durante cierto periodo de tiempo. La magnitud de 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 por metro cuadrado. [kWh/m ²].
Riego de superficie	Método de irrigación que utiliza la superficie del suelo para transportar el agua mediante el flujo por gravedad desde la

	<p>fuente a las plantas. Los siguientes son métodos comunes de riego de superficie:</p> <p>Riego por surcos – el agua se aplica a cultivos en hilera a través de acequias o canales pequeños excavados entre las hileras con implementos de labranza</p> <p>Riego por compartimientos (bancales o eras) – el agua es aplicada a una superficie completamente nivelada rodeada por diques</p> <p>Riego por inundación – el agua es aplicada a la superficie del suelo sin controles de flujo, tales como surcos o crestas.</p>
Riego por goteo	Agua que se aplica a la superficie del suelo a través de emisores de muy bajo caudal (gotas o chorros finos de agua). También conocido como “microirrigación”.
Salinidad (salino)	La salinidad hace referencia a la cantidad de sales disueltas en el agua del suelo.
Seguimiento del punto de máxima potencia, MPPT	Es un circuito electrónico dentro del inversor que deja operar el generador solar en el punto de máxima potencia eléctrica.
Transpiración	Agua captada por las raíces de las plantas y transpirada por las hojas. [mm]
Tubos laterales	Tubo(s) que van de las válvulas de control a los aspersores o tubos emisores de gotas.
Viabilidad financiera	Capacidad de generar suficientes ingresos para cubrir los gastos de funcionamiento y las necesidades financieras, y, en el mejor de los casos, producir beneficios. La viabilidad financiera suele evaluarse aplicando los enfoques de “valor actual neto” (VAN) y de “tasa interna de retorno” (TIR), junto con una estimación de la sensibilidad de los elementos de costo e ingreso (v. módulo INVIERTE).
Voltaje (U o V)	Voltaje o tensión eléctrica es el potencial existente entre dos puntos, o la diferencia de carga entre dos puntos, expresado en voltios [V].
Zona radicular	Profundidad o volumen de suelo del que las plantas extraen agua con eficacia. [m]