

# SISTEMA MOVIL DE BOMBEO Y DESALINIZACION DE AGUA

---

Avila, Facundo<sup>(1)</sup>; Vera, Luis H.; Mina, Matías Javier; Sánchez, Ramón Raúl

## RESUMEN

En las regiones semi-áridas o áridas con elevados niveles de irradiancia y volúmenes importantes de aguas subterráneas salinas es posible utilizar la energía solar fotovoltaica para la extracción y la desalinización de agua salobre. Considerando lo expuesto, el Grupo en Energías Renovables, planteó el desarrollo de un prototipo de unidad para el bombeo y desalinización de agua con características móviles cuya fuente de energía sea el Sol.

En el presente trabajo se presentan las características del primer prototipo desarrollado así como el dimensionamiento que permitió determinar la selección apropiada de todos los componentes que forman parte del mismo: el generador fotovoltaico, la batería o acumulador de energía, el regulador de carga para la protección y aislamiento de la batería respecto al resto del sistema, el inversor CC/CA, el cableado de conexionado y los elementos de protección. En forma paralela a los estudios antes mencionados se realizó el sistema experimental portátil que puede ser trasladado en la parte posterior de un vehículo tipo utilitario,

donde se disponen los módulos fotovoltaicos que tiene un sistema de despliegue sobre una estructura rígida anclada en la unidad que contiene el resto de elementos que conforman el sistema fotovoltaico: regulador, batería, inversor, sistema de ósmosis y tablero de protección y comando.

Finalmente, entre las posibles configuraciones de la instalación fotovoltaica se simula el sistema fotovoltaico en diferentes localizaciones mediante la herramienta de software PVSYST, para así validar el comportamiento del sistema desarrollado. Resultados de la simulación muestran que el sistema desarrollado responde adecuadamente una demanda media anual de 10 m<sup>3</sup>/día de agua, para una configuración de 6 módulos de 50 W<sub>p</sub> conectados en serie y conjunto moto-bomba Grundfos 2.5-2.

## ABSTRACT

*In the semi-arid and arid regions with high levels of irradiance and large volumes of saline groundwater it is possible to use photovoltaic generation to extract and desalinate brackish water. Considering the above, the Renewable Energy Group (GER), pro-*

---

<sup>(1)</sup> Grupo en Energías Renovables, Dpto de Física, Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura, UNNE, Av. Libertad 5460, Corrientes, Argentina.

*posed the development of a prototype unit for pumping and water desalination with mobile features whose energy source is the sun.*

*In this paper the characteristics of the first prototype developed and sizing are showed, in order to determine the appropriate selection of all components that form part of the present: the PV generator, battery or energy accumulator, the charge controller for protection and batt insulation from the rest of the system, the DC / AC inverter, cabling and wiring protection elements. In parallel with the above experimental studies laptop system that can be moved in the back of a utility-type vehicle, where the photovoltaic modules having a deployment system on a rigid structure anchored in the unit is made available containing the remaining elements of the PV system: controller, battery, inverter, osmosis system and board protection and control.*

*Finally, among the possible configurations of the photovoltaic system photovoltaic system is simulated at different locations by PVSYST software tool in order to validate the performance of the developed system. Simulation results show that the system responds appropriately developed an annual average demand of 10 m<sup>3</sup> / day of water, for a configuration of 6 modules of 50 Wp connected in series and Grundfos motor-pump set 2.5-2.*

**PALABRAS CLAVES:** Energía Solar Fotovoltaica; Sistema Fotovoltaico; Bombeo de Agua; Desalinización de Agua; Extracción de Agua.

**KEY WORDS:** Photovoltaic Solar Energy; Photovoltaic System; Water Pumping; Water Desalination; Water Extraction.

## INTRODUCCIÓN

En las regiones de Norte y principalmente el noroeste de Argentina existe una problemática relacionada al acceso al agua en las comunidades que viven en zonas semi-áridas o áridas. Regiones con elevados niveles de irradiancia y, en algunos casos, volúmenes importantes de aguas subterráneas salinas<sup>[1]</sup>. En estas condiciones es posible utilizar la energía solar fotovoltaica para la extracción y la desalinización de agua salobre para cubrir las necesidades en zonas áridas que cuenten con ambos recursos, así como en la potabilización de agua de ríos y pozos en regiones aisladas. De esta forma, estamos frente a una combinación tecnológica perfectamente viable para mitigar esta tensión hídrica de manera resolutive, competitiva y sostenible con el medio ambiente, ya que es usual en estas regiones el empleo de motores diésel para la generación de electricidad.

Considerando lo expuesto, el Grupo en Energías Renovables, planteó el desarrollo de un prototipo de unidad para el bombeo y desalinización de agua con características móviles cuya fuente de energía sea la radiación solar. Sistema que responda a necesidades comunidades rurales en zonas semi-áridas con acceso restringido al agua, donde la instalación de un sistema de bombeo solar para cada vivienda tiene asociado una elevada inversión económica que origina. Por esta razón, se plantea un sistema móvil que responda a las necesidades de una comunidad rural, la cual se organizara en forma de cooperativa para que el sistema sea utilizada por cada usuario según un cronograma determinado y un volumen de agua a ser bombeado. De esta forma se responde a dos puntos claves para el crecimiento de las comunidades: La unión de estos habitantes

y el acceso al agua (elementos fundamentales para cualquier cadena productiva). De esta forma en las áreas rurales las comunidades mantendrán los sistemas de agua y visarán de encargados de las perforaciones y de la unidad proyectada. Situación que propiciará altos niveles de movilización por parte de la comunidad, comprometiendo las entidades gubernamentales locales y municipales.

Además, esta iniciativa permitirá sensibilizar a los productores agropecuarios en las ventajas y la practicidad del uso de sistemas fotovoltaicos para bombeo de agua en zonas rurales con dificultad de abastecimiento de combustibles convencionales y además concientizar a los mismos en la posibilidad de operar con energía gratuita del sol y bajísimos costos de mantenimiento.

El prototipo funcional, totalmente operativo, servirá, en una primera instancia como una herramienta demostrativa y de capacitación. La cual, podrá ser luego replicable entre los productores de la provincia y productores de la región.

El proyecto tiene un alto impacto social por cuanto pequeños y medianos productores se asociaran para crear un programa del uso del sistema y se los capacitara para la adopción de la tecnología, y al apropiarse del mismo la replicabilidad del proyecto permitirá expandir sus horizontes.

## METODOLOGIA

El objeto del presente proyecto es el diseño de un sistema que funcione con energía solar fotovoltaica, cuyas características le permita desplazarse a regiones aisladas y responder a las necesidades de suministro de agua en regiones semi-áridas y áridas del NEA .

Para ello se planteó el dimensionamiento y simulación de un generador solar fotovoltaico que suministra la energía eléctrica necesaria para alimentar un sistema de bombeo autónomo y una unidad potabilizadora desalinizadora portátil capaz de suministrar agua potable <sup>[2]</sup>, para su uso agrario, a partir de agua salina o agua dulce en cualquier localización de NEA, que incluso puede ser replicada para responder a necesidades similares en otros países.

Específicamente, las tareas principales fueron la definición del sistema en cuanto a la localización y las variables dependientes de éste, la determinación de la energía necesaria, y la selección apropiada de todos los componentes que forman parte del mismo: el generador fotovoltaico, las baterías o acumuladores de energía, los reguladores de carga para la protección y aislamiento de las baterías respecto al resto del sistema, los inversores CC/CA, el cableado de conexión y los elementos de protección.

Finalmente, entre las posibles configuraciones de la instalación fotovoltaica se simuló el sistema fotovoltaico en diferentes localizaciones mediante la herramienta de software PVSYST <sup>[3]</sup>, para así validar los resultados obtenidos

En forma paralela a los estudios antes mencionados se realizó el sistema experimental que permita responder al objetivo planteado, para lo cual se desarrolló un sistema portátil que puede ser trasladado en la parte posterior de un vehículo tipo utilitario, donde se dispusieron los módulos fotovoltaicos, los cuales cuentan con un sistema de despliegue sobre una estructura rígida anclada en la unidad de potabilización (para tener un sistema compacto de fácil transporte). El equipo en su conjunto

se sitúa, debido a su portabilidad, completamente expuesto al sol y libre de sombras que impidan la captación de energía solar, así como, próximo al recurso hídrico para minimizar las pérdidas hidráulicas.



Figura 1.a: Prototipo montado en un vehículo utilitario.

#### Descripción general de la instalación y funcionamiento.

La instalación de bombeo fotovoltaico está compuesta principalmente por un generador FV, un sistema motor/bomba, un sistema de tuberías, un sistema de baterías, cableado de interconexión y del inversor DC/AC.

Los módulos fotovoltaicos se instalaron en un soporte desplegable, alojado en el interior de la unidad potabilización. Toda la instalación fue provista de protecciones frente a sobrecargas, sobredescargas, contactos directos e indirectos.

La energía solar captada por los módulos fotovoltaicos, y transformada en corriente continua, parcialmente se almacena en baterías, dimensionadas para abastecer las necesidades de suministro energético en caso de insuficiencia de energía solar y para los sistemas auxiliares. La carga de las baterías se gestiona mediante un regulador de carga; que también cumple la función de protección de las baterías frente a las posibles so-



Figura 1.b: Prototipo montado en un vehículo utilitario.

brecargas y descargas del sistema, adecuando siempre la tensión de trabajo dentro de los márgenes de tensión permitidos para los niveles de carga de la batería, al igual que se encargan de aislar las baterías del resto del sistema en caso de ser necesario.

Para la transformación de corriente continua a corriente alterna se emplea un inversor de onda sinusoidal modificada. Este dispositivo se encarga de la gestión y conversión de la corriente continua, procedente del banco de baterías, en corriente alterna, con una calidad apta para ser utilizada por cualquier equipo de consumo eléctrico conectado a los inversores.

Excepto los módulos fotovoltaicos, el resto de elementos que conforman el sistema fotovoltaico: reguladores, baterías, inversores, se instalan en el interior de la unidad, con el fin de protegerlos de la intemperie y de las condiciones ambientales.

Teniendo en cuenta que las medidas aproximadas de la unidad son 1,20 x 1,30 m con una altura de 0,95 m, la superficie

disponible sobre ésta para la colocación de los módulos fotovoltaicos es de = 1,6 m<sup>2</sup>, sin embargo dada la incorporación de una estructura soporte desplegable, la superficie disponible para la instalación de los módulos fotovoltaicos puede llegar a 3,2 m<sup>2</sup> como máximo, debido a condiciones de seguridad por inestabilidad por vientos.

### Dimensionamiento del sistema.

Las necesidades básicas de agua para consumo humano (mínimo vital) en áreas rurales de países en desarrollo se ha estimado en 20 l/día. El abastecimiento de agua en zonas rurales, bien para consumo humano o de animales de granja, se caracteriza en cambio por una demanda de agua casi constante a lo largo del año. Las necesidades de agua para consumo de animales domésticos oscilan entre los 50 l/día de un

caballo hasta los 0.1 l/día para un ave de corral. Esta información sirve para tener una idea estimativa del volumen de agua diaria a bombear, por ejemplo: para una familia rural de 4 personas con 4 caballos tendríamos un volumen diario de unos 300 l/día. Cuando se analizan las familias minifundistas de la región Norte de Argentina, se observan que el volumen diario de agua se encuentra en el orden de 1m<sup>3</sup>/día.

Considerando la movilidad del sistema, se planteó el caso de que el mismo concurre al pozo en cuestión al menos una vez cada 5 días, bombeando la cantidad de agua necesaria para cubrir la demanda de los días siguiente. Teniendo en cuenta esto y considerando una altura manométrica de unos 15 a 20 metros se aplica la siguiente fórmula para calcular la potencia pico de generación necesaria:

$$P_P = \frac{E_h}{\eta_{mb}} \cdot \frac{1000}{F_m(1 - \delta(T_c - 25))G_{dm}} \quad [4]$$

Siendo:

$E_h = \gamma \cdot Q \cdot H$ , la energía hidráulica necesaria

$\eta_{mb}$  el rendimiento del conjunto motor-bomba, considerado entre 0,4 y 0,6

$F_m = 0,9$

$\delta$  la variación de la potencia con la temperatura, igual a 0,005

$T_c = 0,3 \cdot G$ , donde G es la irradiancia

$G_{dm}$  la irradiancia media mensual

Estos resultados arrojan una potencia Pico de generación de entre 300 y 400 Wp, donde la potencia de la bomba a utilizar debe ser al menos igual a la potencia del generador.

### Selección de la bomba.

Desde el punto de vista eléctrico, el sistema cuenta con varios tipos de fuente de alimen-

tación de energía eléctrica. Es alimentado por sistema de generación fotovoltaico, una batería (a través de un inversor CC/AC) o el suministro de alguna red eléctrica externa.

Este último aspecto hace que poco conveniente utilizar bombas convencionales que se encuentran comúnmente en venta. Es necesario buscar alguna que funcione tanto con corriente alterna como con continua y

con un rango de tensiones considerables.

Se concluyó por seleccionar una bomba sumergible de rotor helicoidal Grundfos SQ Flex 2.5 [5] y un sistema de desalinización de agua por osmosis inversa. La bomba utilizada resulta sumamente versátil ya que está pensada para el suministro de agua en lugares remotos y/o aislados de la red eléctrica. La misma puede funcionar tanto en corriente continua como alterna, en un rango de tensiones de 30 a 300 V y en funcionamiento continuo o intermitente. Además, cuenta con la función de seguimiento de punto de máxima potencia (MPPT), lo cual permite un mejor aprovechamiento energético.

#### Selección del sistema de generación.

En cuanto a la generación, se planteó un arreglo con paneles fotovoltaicos. El arreglo consta de 8 paneles de 50 Wp, lo que le da una potencia total de 400 Wp. Se dispusieron 6 paneles en serie para la alimentación principal (300 Wp) de la bomba y 2 en paralelo (100 Wp) para la carga de la batería. Estos dos paneles van colocados de tal manera que pueda ir cargando la batería mientras el vehículo con el sistema se desplazan hacia el lugar donde se extraerá agua y también una vez estando en el lugar donde se hará el bombeo. Existe la posibilidad de conectar los 8 paneles en serie para situaciones donde se demande mayor potencia o las condiciones climáticas sean poco favorables.

La batería es seleccionada según las cargas que se alimentarán y de la capacidad del ar-

reglo fotovoltaico de cargarla en un tiempo adecuado. En principio se necesita suficiente energía para poder hacer funcionar la bomba y el desalinizador en caso de no tener el recurso solar suficiente, además de la necesaria para alimentar la lógica cableada, pilotos, etc. Se decidió colocar entonces una batería de 220 Ah y 12 V.

#### Diseño de Tablero de protección y comandos.

El sistema cuenta con un tablero de protección y mando, donde se manejan los tipos de configuración de módulos, las configuraciones con las distintas fuentes de energía así como también la eventual parada de emergencia. Todo esto se logra con lógica cableada, la cual consta de contactores, relés auxiliares, pulsadores, hongo de emergencia, pilotos luminosos, llaves conmutadoras, etc. Todo el circuito auxiliar de mando es alimentado por 220 V de corriente alterna que se obtienen a

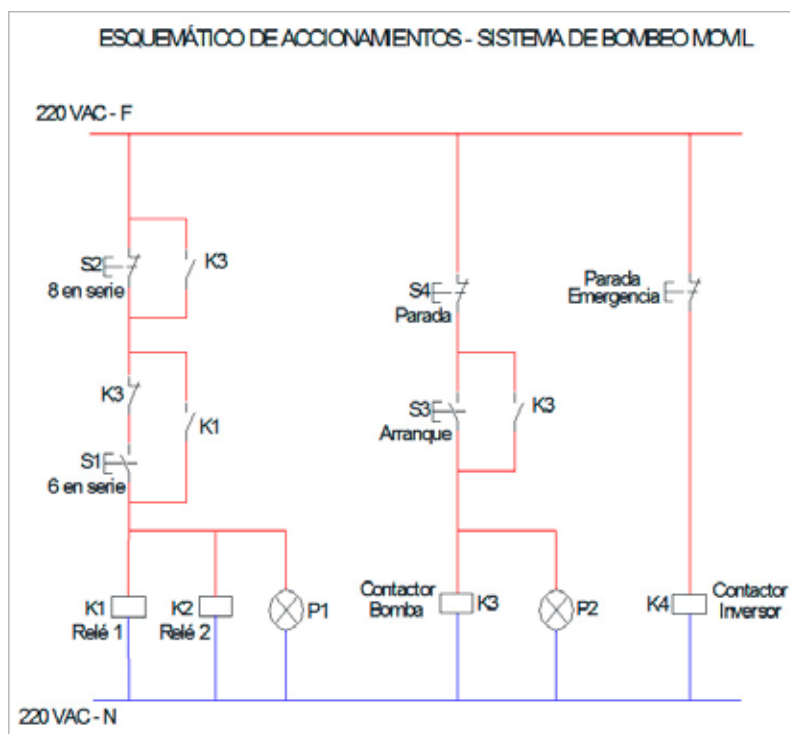


Figura 1.a: Circuito Esquemático de Accionamientos

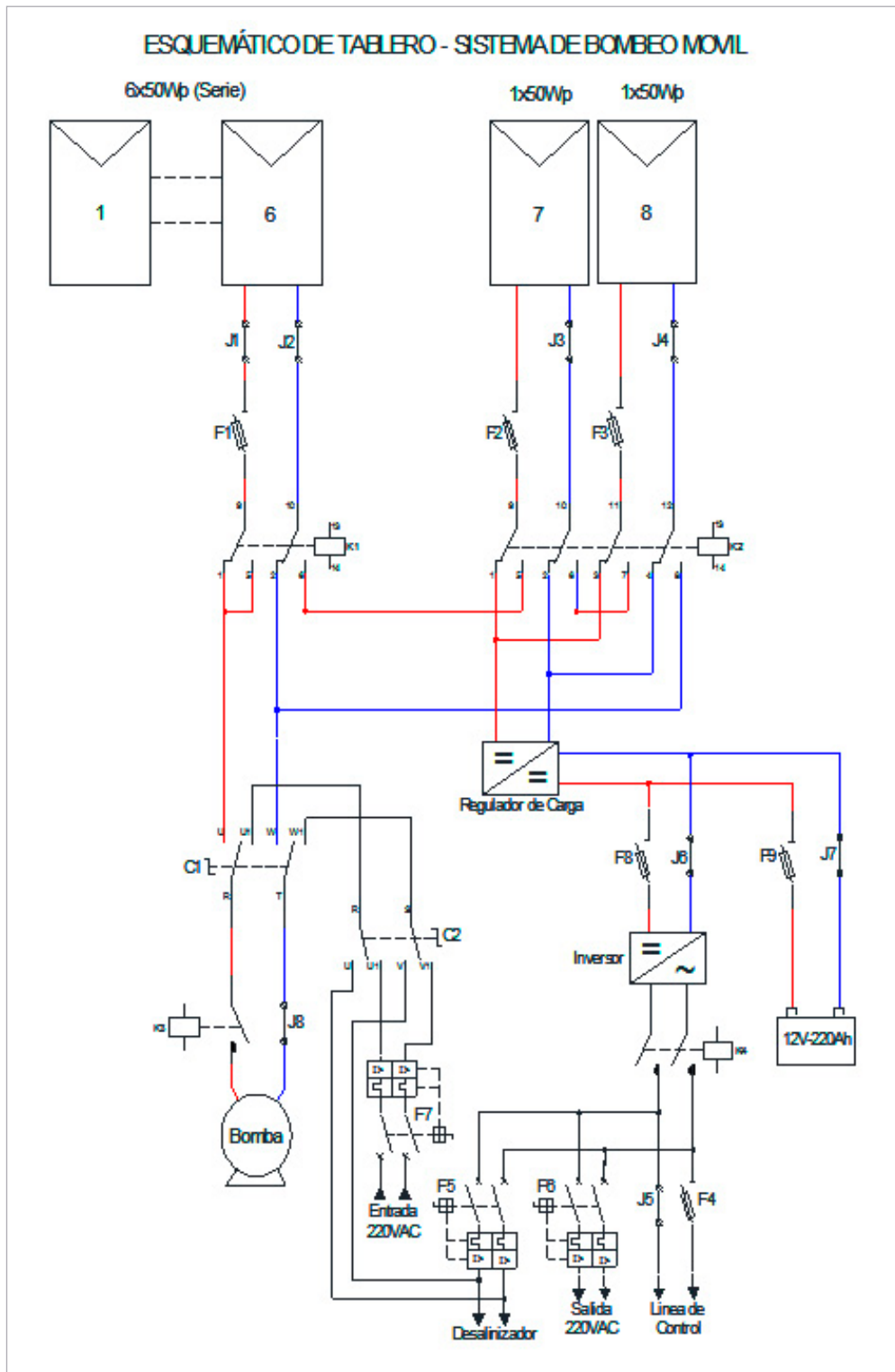


Figura 1.b: Circuito Esquemático de Tablero



través del inversor CC/CA, el cual toma energía de la batería de 12 V 220 Ah.

En cuanto a los dispositivos de protección se cuenta con interruptores automáticos y fusibles que protegen a todos los elementos que constituyen el sistema de posibles sobrecorrientes y cortocircuitos.

La energía proveniente de los módulos fotovoltaicos acomete al tablero a través de conductores de tipo "Preensamblado" de 4 mm<sup>2</sup> de sección, los cuales se seleccionaron teniendo en cuenta la corriente admisible de los mismos y caída de tensión. Estos son protegidos por los fusibles F1, F2 y F3 que se encuentran en portafusibles seccionables tipo "tabaquera" para permitir el corte de energía. Como se puede apreciar en la figura 2, F1 corresponde al arreglo de 6 paneles en serie, F2 al panel n°7 y F3 al n°8.

Luego se deriva a los relés auxiliares K1 (doble inversor) y K2 (cuádruple inversor), los cuales se encargan de realizar las 2 interconexiones de módulos anteriormente mencionadas; 6 en serie + 2 en paralelo para en estado de mínima energía, y 8 en serie para cuando se energizan sus bobinas. Estos se accionan desde los pulsadores S1 y S2 ubicados en la tapa del tablero, y cuenta con un piloto luminoso P1 para indicar la conexión de todos los paneles en serie.

Como muestra la figura 1, la línea de comandos cuenta con enclavamientos eléctricos que impiden realizar la maniobra mientras la bomba está en funcionamiento, ya que los contactos de los relés no soportarían el arco producido por la corriente que consume la misma. Esto se logra con contactos auxiliares del contactor de bomba K3.

La salida de potencia de K1 se conecta

con la llave conmutadora C1, la cual permite seleccionar si la bomba se alimenta con corriente continua o alterna. Luego se pasa al contactor de bomba K3 el cual se encarga de comandar la misma a través de los pulsadores S3 y S4 de arranque y parada que se encuentran en la tapa del tablero. Además se tiene un piloto luminoso P2 para indicar cuando la bomba está en marcha.

La salida de potencia de K2 se conecta con el regulador de carga, el cual se encarga de administrar la energía proveniente de los módulos fotovoltaicos para la óptima carga de la batería. Luego se tienen los fusibles F9 y F8, los cuales protegen la batería y la entrada del inversor respetivamente.

Entre la salida del inversor y las cargas que este alimenta se antepuso el contactor K4, el cual se comanda desde el hongo de emergencia ubicado en el frente del tablero. Si se acciona el mismo K4 abre, dejando sin tensión a toda la línea de comandos y allí todos los componentes correspondientes vuelven a su posición de mínima energía (Bomba parada y arreglo de 6 serie + 2 paralelos).

Finalmente, la salida del inversor alimenta:

- La línea de comandos, protegida a través del fusible F4 ubicado en un portafusibles seccionable.
- El sistema de desalinización de agua, el cual se protege a través del interruptor termomagnético F5. En este punto se derivan los 220 V de corriente alterna para la posible alimentación de la bomba desde el inversor. Estos llegan a una llave conmutadora C2 que permite seleccionar entre alimentar desde una entrada externa de 220 V ubicada en la tapa del tablero



(protegida por el interruptor termomagnético F7) y que se pueden obtener desde alguna red de distribución cercana, o bien desde el inversor.

- Una salida de 220 VCA para cualquier uso que se le quiera dar, ubicada en la tapa del tablero y protegida por el interruptor termomagnético F6.

## RESULTADOS

El dimensionado del sistema fotovoltaico presentado en este trabajo se ha basado en el cálculo preliminar del mes crítico, esta metodología sirve para la evaluación de los equipos comerciales que responden a las consignas de diseño. Con el objetivo de verificar el dimensionamiento y deter-

minar de forma más exacta las capacidades del sistema, se ha realizado una simulación de la instalación fotovoltaica utilizando la herramienta de software PVSYST.

Para dicha simulación se han ingresado los datos utilizados en el dimensionado previo, con detalles de cada componente utilizado, de esta forma se ha podido obtener el comportamiento del sistema en diferentes condiciones de irradiancia, demanda y generación FV. Es importante destacar que la simulación se realizó utilizando un generador FV caracterizado por 6 módulos de 50 Wp conectados en serie, ya que esta es la condición de menor potencia que se puede presentar en caso de estar cargando batería y bombeando agua en forma simultánea.

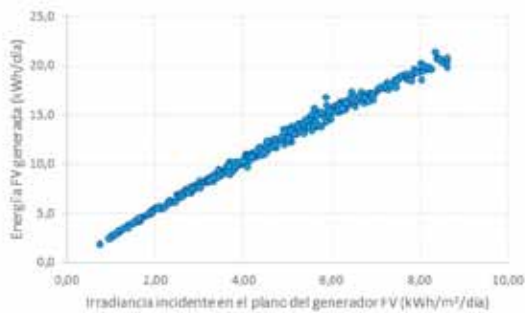


Figura 3.a: Relación entre Irradiancia Incidente y Energía FV generada

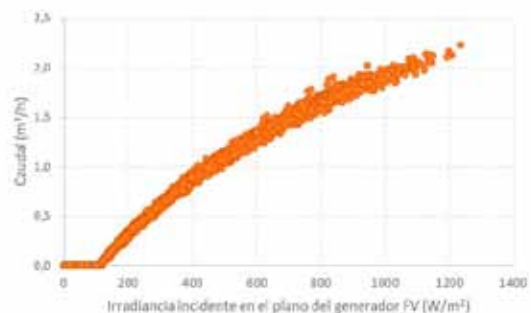


Figura 3.b: Relación entre Irradiancia Incidente y Caudal.

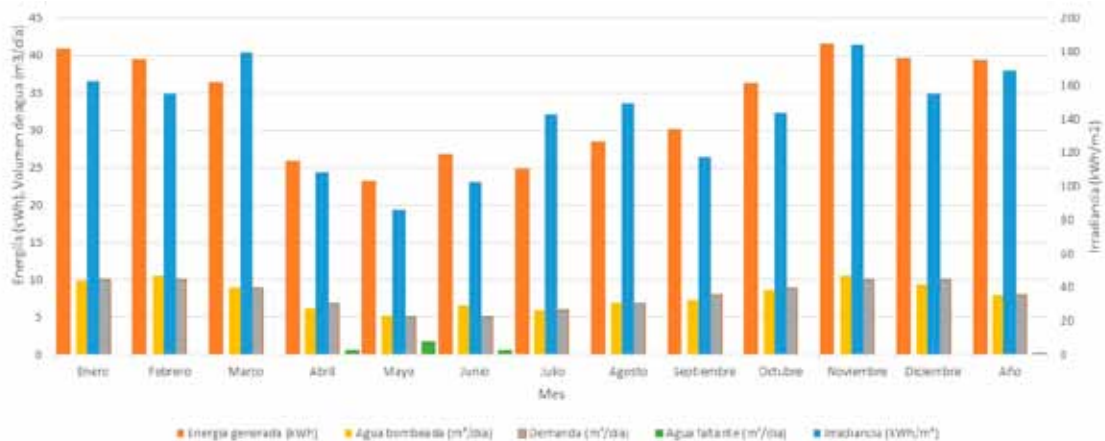


Figura 3.c: Comportamiento anual del sistema.

Los principales resultados obtenidos tras la simulación de la instalación fotovoltaica en la ciudad de Resistencia se resumen en la Figura 3:

A través de la simulación se determinó, para el sistema descrito, la relación entre la irradiancia solar recibida por el generador FV y su capacidad energética para diferentes condiciones de operación, es decir, permite calcular la cantidad de energía solar incidente es convertida y, de esta forma, determinar la eficiencia de conversión.

También se ha podido relacionar el valor de la irradiación incidente sobre el generador FV y el caudal de agua que puede ser bombeado. Estos son los primeros pasos para crear nomogramas para la selección del sistema de generación y moto-bomba que se adapte la demanda.

En la Figura 3.c se ven los resultados anuales de simulación. A través de su análisis se determinó que la demanda de agua es respondida en el 90% de los casos. En 4 meses existe un déficit en el volumen de agua bombeada pero, también se observa, que existe una importante cantidad de agua que no es bombeada debido a que el volumen del depósito se encontraba lleno. Esto hecho lleva a concluir que con un tanque elevado de mayor capacidad este déficit de abastecimiento de agua puede ser solucionado.

El valor de eficiencia del sistema completo, que se encuentra próximo al 90% nos permite afirmar que el acoplamiento entre el generador, sistema hidráulico y conjunto moto-bomba es adecuado. A seguir se resumen los resultados principales de la simulación:

- Agua Bombeada 2925 m<sup>3</sup>
- Necesidades de agua 3038 m<sup>3</sup>
- Agua faltante 3.7%

- Energía En la Bomba 394 kWh
- Específico 0.13 kWh/m<sup>3</sup>
- Energía FV no utilizada (depósito lleno) 47 kWh
- Fracción no Utilizada 10.6 %
- Eficiencia del sistema 89.5 %
- Eficiencia de la bomba 41.7 %

## CONCLUSIONES

Se dimensionó, diseñó y construyó un sistema de bombeo y desalinización de agua móvil alimentado principalmente por generación eléctrica fotovoltaica capaz de satisfacer las necesidades de minifundistas de la región, sirviendo además como herramienta demostrativa y de capacitación, pudiendo luego ser replicable a otros productores de la región.

Claramente se ven los beneficios e impacto del proyecto asociados a un sistema que permitirá crear la unidad de comunidades rurales a través de un elemento transversal como es el uso de la energía solar para el acceso al agua, unión que a su vez puede ser el impulsora de desarrollos productivos creando cadenas de valor a los productos ofrecidos por dicha comunidad

De esta forma se responde a dos puntos claves para el crecimiento de las comunidades: La unión de estos habitantes y el acceso al agua (elementos fundamentales para cualquier cadena productiva). En las áreas rurales las comunidades mantendrán los sistemas de agua y visaran de guardianes de las perforaciones y de la unidad proyectada. Situación que proporciona altos niveles de movilización por parte de la comunidad, comprometiendo las entidades gubernamentales locales y municipales.

## REFERENCIAS

- [1] Kullock, D., Catani, E., Reca, A., Menendez, J., Entre otros. (2004). *Perspectivas del Medio Ambiente en la Argentina*. 2006, de Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación Sitio web: [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/GEO/File/Geo\\_Argentina\\_2004.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/GEO/File/Geo_Argentina_2004.pdf)
- [2] Sanchez, M. (2010). *Apuntes de Dimensionado y puesta en marcha de instalaciones para bombeo solar fotovoltaico*. 2010, de Grupo de tecnologías apropiadas, UC3M.
- [3] PVSYST. (2012). *Powerful Photovoltaic Software*. 2012, de PVSYST SA Sitio web: <http://www.pvsyst.com/en/>
- [4] Abella, M., & Lozano, S.. (2001). *SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: INTRODUCCION AL DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACIONES DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. España: SAPT. SOCIEDAD ANONIMA DE PUBLICACIONES TECNICAS.
- [5] Grundfos. (2010). *Grundfos SQ Flex System*. 2010, de Grundfos Sitio web: <http://net.grundfos.com/App1/WebCAPS/streamliterature/Grundfosliterature-1569.pdf>