

DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA RIEGO POR GOTEO EN VIÑEDOS

Schilardi Carlos²; Funes, Daiana¹; Lunghi Scatolón, Yanela¹; Longo, Vanesa¹; Méjica, Ana Paula¹; Nogal, Paulina¹; Pedra Ramiro¹

(1) Alumnos - Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo.

(2) Hidrología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias-UNCuyo. Almirante Brown (5507), Mendoza – Argentina. E-Mail: cschilardi@fca.uncu.edu.ar

RESUMEN

El agua y la energía son los principales impulsores de la producción agrícola, mientras que el mundo enfrenta una grave crisis energética y de agua. La necesidad de una mayor productividad de cultivos por unidad de área para la creciente población del mundo es una necesidad extrema. Uno de los posibles enfoques de desarrollo sostenible, es el sistema de bombeo solar fotovoltaico. El objetivo principal del presente trabajo es diseñar un sistema de bombeo solar fotovoltaico para el funcionamiento del grupo de bombeo de un equipo de riego por goteo que riega 18,83 has de viñedos. Para el dimensionado del sistema solar fotovoltaico se ha utilizado el método intuitivo. La demanda anual neta y bruta de una hectárea de vid, para la zona proyecto, es de 776 mm ha⁻¹ y 862 mm ha⁻¹. Para cubrir con la demanda anual para toda la superficie cultivada, el equipo de riego deberá operar 1230 h año⁻¹. Las diferentes fuentes de información mostraron sobrestimaciones de la irradiación media diaria del 9% y subestimaciones del 3%, respecto a los datos medidos en la estación meteorológica local. El ángulo de inclinación óptimo para la zona proyecto es de 26,47°. Se observa que las diferencias entre la irradiación media diaria del plano normal respecto al plano inclinado óptimo representan en promedio un 10,5%. El mes más crítico para el diseño del proyecto es el mes de agosto. El dimensionado final requiere la instalación de 120 módulos de paneles fotovoltaicos (12 en serie y 10 en paralelo) con una distancia mínima entre cada uno de 2,47 m. La superficie del parque solar asciende a 390 m². Finalmente, se integró el método de cálculo intuitivo propuesto en una herramienta Excel con programación Visual Basic para Aplicaciones para automatizar el diseño del sistema SPI.

Palabras Clave: energía, solar, riego, goteo, paneles, viñedos

1. INTRODUCCIÓN

El agua y la energía son los principales impulsores de la producción agrícola, mientras que el mundo enfrenta una grave crisis energética y de agua. La necesidad de una mayor productividad de cultivos por unidad de área para la creciente población del mundo, es una necesidad extrema (Li et al, 2017). La creciente tensión en el nexo agua-energía y las interdependencias relacionadas son más evidente que nunca (AIE, 2016); por lo tanto, se requieren enfoques sostenibles para garantizar la seguridad alimentaria y la seguridad energética.

En los últimos años, los sistemas de riego a presión se han incrementado y mejorado la eficiencia en el uso del agua de las zonas de regadío mejorando la productividad de los cultivos y ampliando las fronteras agrícolas, al tiempo que han aumentado sustancialmente la demanda de energía. El aumento progresivo de los costos de energía hace que, en muchas zonas del mundo, sea difícil mantener la rentabilidad de las explotaciones agrícolas (Mérida García et al, 2018). Para remediar esta situación, es esencial buscar nuevas alternativas de irrigación para los sistemas agrícolas que permitan reducir su impacto ambiental, al tiempo que puedan mejorar la rentabilidad agrícola. Uno de los posibles enfoques de desarrollo sostenible, es el sistema de bombeo solar de agua fotovoltaico -SPI, Solar Powered Irrigation- (Li et al, 2017).

Si bien los sistemas SPI generalmente tienen un alto costo de inversión, tiene muchas características que lo hacen atractivo como fuente alternativa de energía para el bombeo de agua. Es limpio, ya que no produce emisiones de carbono, no genera ruido y tiene un bajo costo de operación y mantenimiento (Aliyu 2018). Para asegurar su adecuado desempeño y rentabilidad, es esencial su óptimo diseño (Muhsen et al, 2018). Su diseño y operación óptimo dependen significativamente de la irradiación solar disponible, la demanda de agua del cultivo, los recursos hídricos disponibles y el beneficio correspondiente de la venta del cultivo (Campana et al, 2015).

A nivel mundial, ya se han iniciado proyectos que solarizan diferentes tipos de riegos presurizados. En Europa, el proyecto Maslowaten, activo en 4 países, desarrolla 5 demostradores para 5 tipos diferentes de riego y genera un total de 820 KWP; también en Chile ya hay proyectos que utilizan energía solar para alimentar sistemas de riego por goteo (INDAP, 2018); otros países como Colombia también cuentan con proyectos similares (García Moreno et al, 2013); llegando finalmente a la Argentina, específicamente Buenos Aires, donde el INTA ha presentado un proyecto que utiliza energía solar para alimentar sistemas de riego por goteo aplicados a campos de cebolla alcanzando una eficiencia en el uso del agua del 90 %, superando el 50% alcanzado con riegos por melga, permitiendo además de optimizar el recurso energético. En San Juan, recientemente se ha instalado un proyecto de riego solar fotovoltaico para el riego gravitacional de papa, en el departamento de Pocitos.

La finca experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, actualmente se encuentra en un proceso de presurización del riego agrícola en aproximadamente 100 ha de cultivos. La provincia de Mendoza y particularmente la zona de estudio cuenta con una de las irradiaciones solares anuales en planos inclinados óptimos más altas del país (Righini y Gallegos, 2011), además de que según el EPRE (Ente Provincial Regulador Eléctrico) el valor de la energía eléctrica, desde el 2016 hasta junio del año 2018, ha aumentado un 600% y según la Universidad de Avellaneda el valor de los combustibles fósiles, desde

finales del 2015, han aumentado un 128% (Fraschina et al, 2018). Es por ello que es imprescindible encontrar una forma de energía capaz de suplir las convencionales y de esa manera lograr producciones más eficientes, rentables y sostenibles con sistemas de riego de mayor eficiencia en el uso del agua. Se ve la necesidad imperiosa de diseñar sistemas solares fotovoltaicos para los cabezales de riego de la finca experimental.

El objetivo principal del presente trabajo es diseñar un sistema de bombeo solar fotovoltaico para el funcionamiento del grupo de bombeo de un equipo de riego por goteo que riega 18,83 ha de viñedos; ubicado en la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCUYO, Mendoza, Argentina. Como objetivo secundario se propone desarrollar una herramienta en Excel con programación Visual Basic para Aplicaciones que permita calcular el diseño del sistema SPI.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio pertenece a la Finca Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCUYO, ubicada a 33° 00' 33,89'' " latitud Sur; 68° 52' 43,33" longitud Oeste; a 942 msnm. Se diseñará un sistema solar de bombeo fotovoltaico para un cabezal de riego por goteo de 18,83 ha de viñedos, donde predomina el cultivar Malbec. El equipo de riego está diseñado en dos turnos de riego con un caudal de operación máximo de 121 m³/h, el grupo de bombeo a solarizar consta de dos bombas centrífugas ubicadas en paralelo, de 60,5 m³/h y cada una de ellas posee una demanda de potencia de 15 HP, se utilizarán dos bombas Speroni CS 50-200 B.

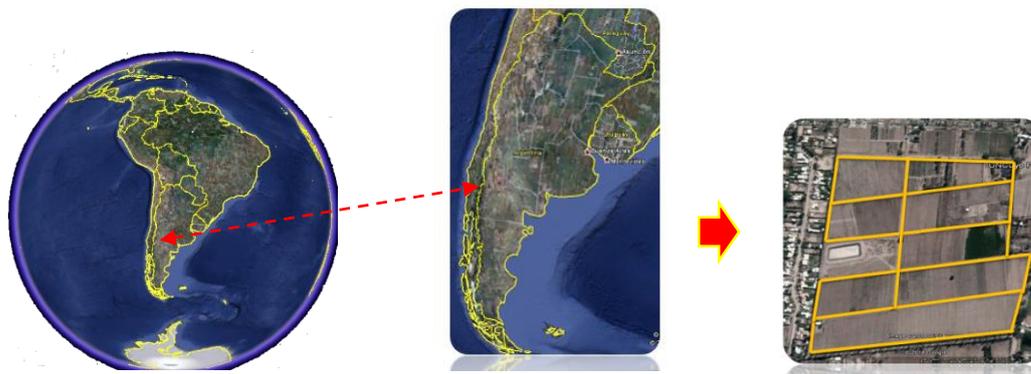


Figura 1: Lugar de ubicación de la Finca Experimental de Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO.

Los datos meteorológicos necesarios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se han obtenido de la estación meteorológica Chacras de Coria de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCUYO (serie 1994-2014). Para el cálculo de las demandas y programación del riego del cultivo se ha utilizado la metodología del coeficiente único propuesta por el manual de FAO 56 (FAO, 1998) y las metodologías propuestas por Rodrigo López et al (1992) y Pizarro (1996), esto permite determinar las horas de bombeo mensuales y anual de proyecto.

La oferta solar de la zona proyecto se ha determinado con los datos locales obtenidos de la estación meteorológica de la estación Chacras de Coria (piranómetro). Además, también se ha obtenido la radiación media mensual de otras fuentes de información: a) Nasa (<https://power.larc.nasa.gov/>), b) Sisifo (<https://www.sisifo.info/es/DataInput> - Carrillo et al, 2015), y c) Atlas Solar de la República Argentina (Gallegos y Righini,

2007); con el objetivo de comparar el grado de exactitud de las diferentes fuentes de información de la oferta solar respecto a los datos medidos en la estación meteorológica local.

Los métodos de dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en métodos intuitivos, analíticos, numéricos y de inteligencia artificial (Khatib et al., 2013; Chauhan y Saini, 2014). Para el dimensionado del sistema solar fotovoltaico se ha utilizado método intuitivo (figura 3), ya que es el método más simple, que se basa en el mes más desfavorable de la radiación solar mensual promedio (Campana et al., 2013; Ebaid et al., 2013; Al-Smairan, 2012). Se integrará el método de cálculo intuitivo propuesto en una herramienta Excel con programación Visual Basic para Aplicaciones para automatizar el diseño del sistema. Para el diseño del sistema solar fotovoltaico se propone un sistema On-Grid como detalla la figura 2.

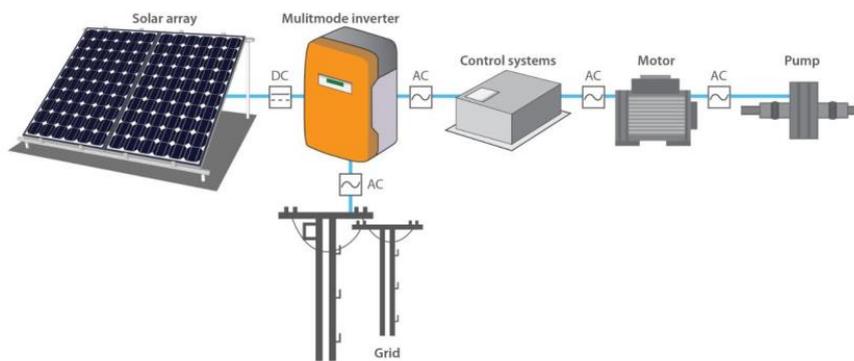


Figura 2: Configuración de bombeo solar, utilizando una combinación de energía solar y de red como fuente de energía (NSW, 2014).

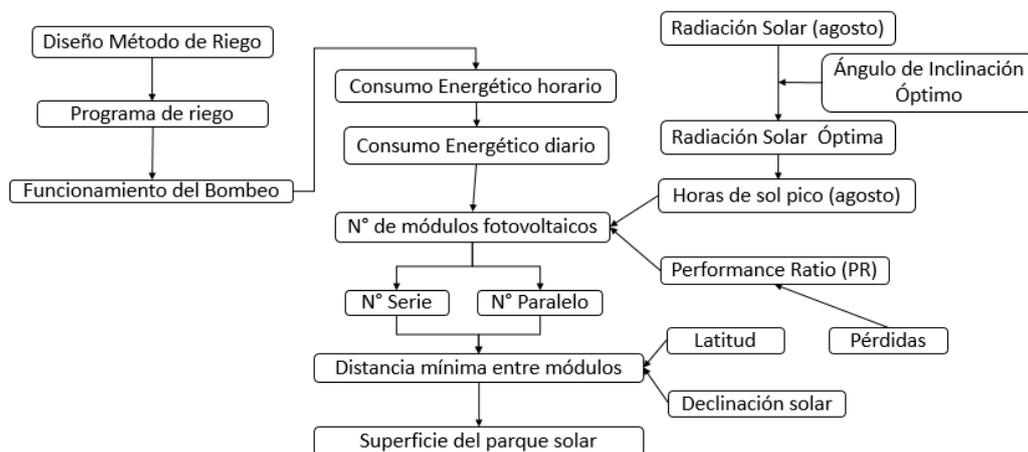


Figura 3: Esquema de dimensionamiento del sistema fotovoltaico por el método intuitivo.

La Tabla 1, resume las principales características eléctricas del panel fotovoltaico seleccionado para el proyecto (Módulo monocristalino ISF-255, marca Isofotón). Se ha considerado una relación de performance del panel fotovoltaico de 84,27%; donde se han considerado las siguientes pérdidas: 1) Por dispersión de potencia de los módulos: 3%; 2) Pérdidas por incremento de temperatura de las celdas fotovoltaicas: 2,33%; 3) Pérdidas por acumulación de suciedad en los módulos: 3%; 4) Pérdidas por sombras:

2%; 5) Pérdidas por degradación de los módulos: 1%; 6) Pérdidas eléctricas: 1,5%; y 7) Pérdidas por reflectancia: 2,9%. El ángulo de inclinación óptimo para la instalación de los paneles solares se ha determinado según Santamaría y Castejón 2010, la orientación es norte para maximizar su rendimiento (hemisferio sur).

Tabla 1: Principales características eléctricas del panel fotovoltaico ISF-255

Variable	ISF-255
Potencia nominal (Pmax)	255 W
Tensión en circuito abierto (Voc)	37,9 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,86 A
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmax)	30,9 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8,27 A
Eficiencia	15,40%
Tolerancia de potencia (% Pmax)	0/+ 3%

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 resume la demanda mensual neta y bruta del cultivo de la vid, como así también las horas de bombeo mensuales. Se detalla: Eto – evapotranspiración de referencia, Kc – coeficiente de cultivo, Pef – precipitación efectiva, NN – necesidad neta de riego, EAP – eficiencia de aplicación del método de riego, LR – requerimiento de lixiviación, NB – necesidad bruta de riego, Ha regadas – superficie total bajo riego, Hs bombeo – horas de bombeo mensuales para cubrir la demanda bruta de riego del cultivo.

Tabla 1: Demanda neta, demanda bruta y horas de bombeo para un ciclo hidrológico seco del cultivo.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep1	Oct	Nov	Dic
ETo (mm/día)	5,9	5,1	4,0	2,7	1,9	1,3	1,6	2,4	3,4	4,8	5,8	6,3
Kc	0,7	0,7	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7
ETc (mm/día)	4,1	3,5	2,4	1,3	0,0	0,0	0,0	0,9	1,8	3,1	4,0	4,4
ETc (mm/mes)	128,5	97,1	74,2	37,9	0,0	0,0	0,0	29,4	54,2	96,3	121,4	136,7
Pef (mm/mes)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NN (mm/mes)	128,5	97,1	74,2	37,9	0,0	0,0	0,0	29,4	54,2	96,3	121,4	136,7
EAP (K)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
LR	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1 - LR (K)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
NB (mm/mes)	142,7	107,9	82,5	42,1	0,0	0,0	0,0	32,7	60,2	107,0	134,9	151,9
NB (L/s/ha)	0,5	0,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
Ha regadas	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8
NB (L/s)	10,0	8,4	5,8	3,1	0,0	0,0	0,0	2,3	4,4	7,5	9,8	10,7
NB (m3/ha.mes)	1427,4	1078,9	824,6	421,4	0,0	0,0	0,0	326,5	602,4	1070,2	1348,7	1519,0
NB Total (m ³)	26877,5	20316,3	15527,2	7935,6	0,0	0,0	0,0	6148,6	11343,8	20151,7	25395,4	28602,8
Hs bombeo	203,6	153,9	117,6	60,1	0,0	0,0	0,0	46,6	85,9	152,7	192,4	216,7

De la Tabla 1, se observa que la demanda anual neta y bruta de una hectárea de cultivo de vid, para la zona proyecto, es de 776 mm ha⁻¹ y 862 mm ha⁻¹. Para cubrir con la demanda anual para toda la superficie cultivada, el equipo de riego deberá operar 1230 hs año⁻¹.

Tabla 2: Irradiación media diaria mensual (Kwh/m²) según diferentes fuentes de información.

Mes	NASA	SISIFO	ATLAS SOLAR	FCA
Enero	7,96	7,12	7,25	6,97
Febrero	7,28	5,41	6,00	6,02
Marzo	6,3	3,82	5,00	5,15
Abril	5,11	2,71	3,50	4,20
Mayo	4,09	2,16	2,75	3,22
Junio	2,96	2,43	2,43	2,90
Julio	3,53	3,36	3,36	3,17
Agosto	3,96	4,53	4,53	3,95
Septiembre	4,17	5,62	5,62	4,81
Octubre	6,02	6,90	6,90	5,81
Noviembre	7,07	7,64	7,64	6,85
Diciembre	7,39	8,08	8,08	7,19

Comparando los datos de irradiación media diaria mensual solar obtenidos in-situ en la estación meteorológica Chacras de Coria respecto a las diferentes fuentes de información se observa que en promedio para un año: 1) Atlas Solar: sobrestima la irradiación media diaria solar en un 2,78%, 2) Sisifo: subestima la irradiación media diaria solar en un 3,21% y 3) Nasa: sobrestima la irradiación media diaria solar en un 9,65%. La Tabla 3 muestra el ajuste de la irradiación media diaria solar del plano normal al plano de inclinación para el funcionamiento óptimo de los paneles solares (Santamaría y Castejón, 2010). El ángulo de inclinación óptimo para la zona proyecto es de 26,47°. Se observa que las diferencias entre la irradiación media diaria del plano normal respecto al plano inclinado representan en promedio un 10,5%. El mes más crítico para el diseño del proyecto es agosto.

Tabla 3: Irradiación media diaria mensual (kWh/m²) normal y en función del ángulo de inclinación óptimo para los paneles solares.

Mes	kWh/m ² /d	
	Plano normal	Plano inclinado
Enero	6,97	7,70
Febrero	6,02	6,65
Marzo	5,15	5,69
Abril	4,2	4,64
Mayo	3,22	3,56
Junio	2,9	3,21
Julio	3,17	3,50
Agosto	3,95	4,37
Septiembre	4,81	5,32
Octubre	5,81	6,42
Noviembre	6,85	7,57
Diciembre	7,19	7,95

Tabla 4: Módulos y variables para el dimensionado del proyecto

Módulo	Variable	Unidad	Resultado
Bomba	Caudal	m ³ /h	121
	Altura manométrica	m	46
	Rendimiento Global de la bomba	%	65
	Tensión nominal de la bomba	Voltios	380
Panel	Potencia pico del módulo	kW	0,255
	Coefficiente de temperatura	-	0,0044
	Temperatura nominal de operación de la célula	°C	45
	Tensión en el punto de máxima potencia	Voltios	30,9
	Altura total de la estructura	m	1,65
Manejo riego	Horas de riego diarias	h	11,23
	Horas de sol pico del mes crítico (Agosto)	h	10,92
	Temperatura media mensual en la zona proyecto	°C	25,9
	Radiación media mensual (Agosto)	(Wh/m ²)	140,83
	Latitud	Grados	33,01
	Declinación solar en el solsticio de invierno	Grados	23,45

Tabla 5: Resultado del dimensionado del sistema solar de bombeo fotovoltaico (SPI)

Variables	Unidad	Resultado
Consumo energético horario	kW/h	23,33
Consumo energético diario	kW/h	262,03
Temperatura media mensual de trabajo	°C	30,30
Módulos fotovoltaicos totales	°N	112
Módulos fotovoltaicos en serie	°N	12
Módulos fotovoltaicos en paralelo	°N	10
Distancia mínima entre módulos	°N	2,47
Superficie del parque solar	m ²	390

La tabla 4 considera para cada módulo de trabajo las principales variables utilizadas para el dimensionado del proyecto. La Tabla 5, resume los principales resultados del dimensionado del sistema de bombeo fotovoltaico, se destaca la superficie total del parque solar y la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios tanto en serie como en paralelo, lo que da un requerimiento total de 120 módulos para el proyecto. La figura 4 muestra un esquema del parque solar y la Figura 5 resume la aplicación en Excel con Visual Basic para aplicaciones desarrollado para el cálculo de proyecto.

La aplicación desarrollada cuenta con tres módulos de trabajo: 1) Datos, 2) Cálculo y 3) Resultados; la misma permite imprimir un informe con el resumen de las variables de entrada y resultados de dimensionado, utiliza el método intuitivo para el cálculo del sistema solar fotovoltaico (Campana et al., 2013; Ebaid et al., 2013; Al-Smairan, 2012).

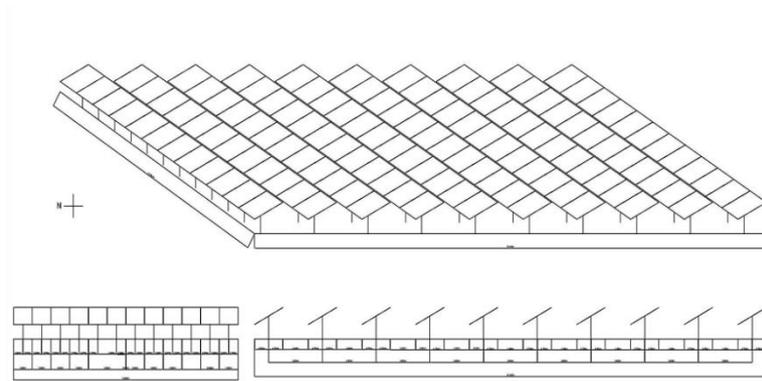


Figura 4: Esquema de la disposición de paneles solares en serie y paralelo

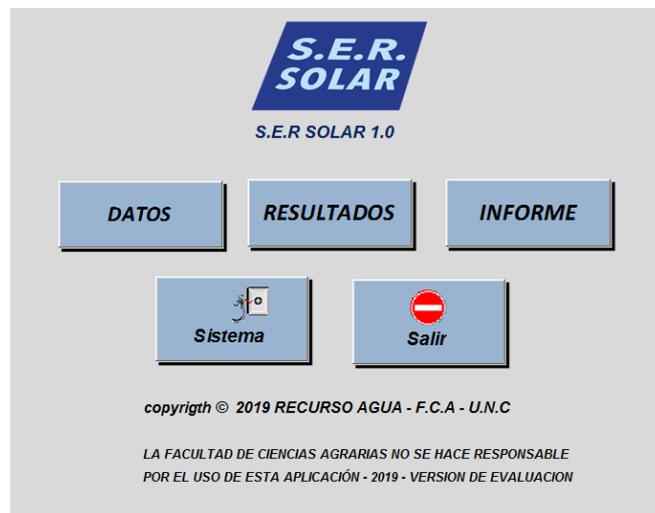


Figura 5: Aplicación S.E.R Solar para el cálculo SPI por el método intuitivo

4.CONCLUSIONES

Se ha diseñado un sistema de bombeo solar fotovoltaico (On-Grid) para un cabezal de riego por goteo de 18,83 ha de viñedos. El equipo de riego está diseñado en dos turnos de riego con un caudal de operación máximo de 121 m³/h. El grupo de bombeo a solarizar, consta de dos bombas centrífugas ubicadas en paralelo, de 60,5 m³/h; y cada una de ellas posee una demanda de potencia de 15 HP.

Para el dimensionado, se ha utilizado método intuitivo (figura 3), ya que es el método más simple, que se basa en el mes más desfavorable de la radiación solar mensual promedio (Campana et al., 2013; Ebaid et al., 2013; Al-Smairan, 2012). Si bien este método puede llevar a un tamaño excesivo o inferior del proyecto, lo que a su vez aumenta el costo o disminuye la confiabilidad del sistema, es el método más simple (Campana et al., 2013, 2015; Martíre et al., 2008; Hamidat y Benyoucef, 2009).

La demanda anual neta y bruta de una hectárea de cultivo de vid, para la zona proyecto, es de 776 mm ha⁻¹ y 862 mm ha⁻¹. Para cubrir con la demanda anual para toda la superficie cultivada, el equipo de riego deberá operar 1230 hs año⁻¹.

Comparando los datos de irradiación media diaria mensual solar obtenidos in-situ en la estación meteorológica Chacras de Coria respecto a las diferentes fuentes de información se observa que en promedio para un año: 1) Atlas Solar: sobrestima la irradiación media diaria solar en un 2,78%, 2) Sisifo: subestima la irradiación media diaria solar en un 3,21% y 3) Nasa: sobrestima la irradiación media diaria solar en un 9,65%. El ángulo de inclinación óptimo para la zona proyecto que es de 26,47°. Se observa que las diferencias entre la irradiación media diaria del plano normal respecto al plano inclinado representan en promedio un 10,5%. El mes más crítico para el diseño del proyecto es agosto.

Se ha seleccionado el módulo solar fotovoltaico IS-255, Isofotón como panel solar para el proyecto. El dimensionado final requiere la instalación de 120 módulos de paneles fotovoltaicos (12 en serie y 10 en paralelo) con una distancia mínima entre cada uno de 2,47 m; para evitar sombreado entre ellos. La superficie del parque solar asciende a 390 m². Finalmente, se integró el método de cálculo intuitivo propuesto en una herramienta Excel con programación Visual Basic para Aplicaciones para automatizar el diseño del sistema SPI.

5.BIBLIOGRAFÍA

Al-Smairan, M., 2012. Application of photovoltaic array for pumping water as an alternative to diesel engines in Jordan Bahja, tall Hassan station: case study. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 4500–4507.

Campana, P.E., Li, H., Yan, J., 2013. Dynamic modelling of a PV pumping system with special consideration on water demand. *Appl. Energy* 112, 635–645.

Campana, P.E., Li, H., Zhang, J., Zhang, R., Liu, J., Yan, J., 2015. Economic optimization of photovoltaic water pumping systems for irrigation. *Energy Convers. Manage.* 95, 32–41.

Chauhan, A., Saini, R.P., 2014. A review on Integrated Renewable Energy System based power generation for stand-alone applications: configurations, storage options, sizing methodologies and control. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 38, 99–120.

Carrillo José Manuel, Muñoz Javier, Makibar Aitor, Luna Alberto, Narvarte Luis; 2015. ISIFO: the open-source simulation tool of PV systems developed in PVCROPS. Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. DOI: 10.4229/EUPVSEC20152015-5BV.2.7. ISBN: 3-936338-39-6.

Dhiaa Halboot Muhsen, Tamer Khatib, Tawfeeq Enad Abdulabbas, 2018. Sizing of a standalone photovoltaic water pumping system using hybrid multi-criteria decision making methods. *Solar Energy* 159 (2018) 1003–1015.

Ebaid, M.S.Y., Qandil, H., Hammad, M., 2013. A unified approach for designing a photovoltaic solar system for the underground water pumping well-34 at Disi aquifer. *Energy Convers. Manage.* 75, 780–795.

FAO, 1998. Manual de Riego y Drenaje N° 56. Evapotranspiración del Cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ISBN 92-5-304219-2. 353 pág.

Fraschina Santiago, Domench Patricia, Calzoni Jorge, 2018. Infografía Costo Tarifario. Observatorio de Políticas Públicas. Universidad Nacional de Avellaneda.

García Moreno Flor, Bedoya Fierro Juan, Arturo López Martínez Germán, 2013. Scale model of an automated irrigation system, powered by solar photovoltaic energy: a new perspective for colombian agroindustrial development. Tecnura Vol. 17 Número Especial 2 pp. 33 – 47.

Hamidat, A., Benyoucef, B., 2009. Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage. Energy Policy 37, 1489–1501.

Ibrahim M. Elamin Mansur Aliyu, Ghassan Hassan, Syed A. Said, Muhammad U. Siddiqui, Ali T. Alawami, 2018. A review of solar-powered water pumping systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews 87 (2018) 61–76.

IEA, 2016. World Energy Outlook. Int. Energy Agency. Fr.

INDAP, 2018. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. [<https://www.indap.gob.cl/noticias/detalle/2018/09/07/con-instalaci%C3%B3n-de-100-paneles-solares-mejoran-condiciones-de-riego-agr%C3%ADcola-en-san-esteban>]

Khatib, T., Mohamed, A., Sopian, K., 2013. A review of photovoltaic systems size optimization techniques. Renew. Sustain. Energy Rev. 22, 454–465.

Li, Guiqiang; Jin, Yi; Akram, M.W.; Chen; Xiao; 2017. Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 79 (2017) 440–458.

Martiré, T., Glaize, C., Joubert, C., Rouvière, B., 2008. A simplified but accurate prevision method for along the sun PV pumping systems. Sol. Energy 82, 1009–1020.

Barrios, P., & Rodríguez Díaz, J. A., 2019. Comparing the environmental and economic impacts of on- or off-grid solar photovoltaics with traditional energy sources for rural irrigation systems. Renewable Energy, 140, 895–904.

NSW, 2014. Solar-powered pumping in agriculture: A guide to system selection and design. NSW Farmers Association with the assistance of Global Sustainable Energy Solutions Pty Ltd. (GSES) and funding from the NSW Office of Environment and Heritage. ISBN: 978-0-9942464-1-7. 103 pág.

Pizarro, Fernando, 1996. Riegos Localizados de Alta frecuencia. 513p.

Righini y Gallegos, 2011. Atlas de Energía Solar de la República Argentina. ISBN: 978-987-9285-36-7. 47 pág.

Rodrigo Lopez, J.; Hernandez Abreu, J; Perez Regalado, A.; Gonzales Hernadez J., 1992. Riego Localizado. Centro Nacional de Tecnología de los regadíos, España. 405 p.

Santamaría y Castejón, 2010. Instalaciones solares fotovoltaicas. Editorial Editex S:A, España, 192 pág. ISBN 9788497716550.