

## VIABILIDADE TÉCNICA DE DOIS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO FOTOVOLTAICA DE ALTA POTÊNCIA EM ESPANHA

**Carrêlo I.B.\***, **Almeida R. H.\*\***, **Narvarte L.\***, **Carrasco L.M.\***, **Martinez-Moreno F.\***

\* Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid, 28031 Madrid, Spain,  
[isaac.barata@ies.upm.es](mailto:isaac.barata@ies.upm.es), +34 910673486

\*\*Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa,  
Portugal

### RESUMO

Este artigo descreve dois sistemas de irrigação fotovoltaica, um de 360 kWp a caudal variável, instalado em Vilhena e outro de 160 kWp a caudal e pressão constante, instalado em Valhadolide. O objetivo deste artigo é apresentar cada um dos sistemas (componentes e modo de operação) e fazer uma primeira avaliação técnica dos mesmos. Através dos dados que foram monitorizados durante 2017 é analisada a performance e são apresentados alguns resultados relativos à operação e eficiência dos sistemas. Em Vilhena o PR do sistema foi de 0.65, sendo este valor inferior em Valhadolide (0.57). Os PRs hidráulicos são, respectivamente, 0.43 e 0.42.

**PALAVRAS CHAVE:** Fotovoltaico, Irrigação Fotovoltaica, Desenho, Sistema, Monitorização

### ABSTRACT

This article describes two different PV irrigation systems. One of these is installed in Villena with a total peak power of 360 kWp able to pump at variable water flow rate. The other is installed in Valladolid and it has a total peak power of 160 kW, pumping at constant pressure. The aim of this paper is to present each system (its components and operation modes) and to do a first technical evaluation of them. Through the monitoring data collected during 2017 their performance is analyzed and they are presented some results regarding the operation and efficiency of the systems. The PR is 0.65 to Villena's system and 0.57 to the Valladolid's one. The hydraulic PR are 0.43 and 0.42, respectively.

**KEYWORDS:** Photovoltaics, PV Irrigation, Design, System, Monitoring

## INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas fotovoltaicos para bombagem de água não é algo novo, no entanto, relacionado com irrigação de grande escala, é inovador. Hoje em dia, a irrigação para agricultura é baseada no uso de electricidade da rede eléctrica nacional ou do uso de geradores diesel (Aliyu et al, 2018; Carroquino et al, 2015).

Contudo, neste momento está a ocorrer uma mudança de paradigma no que diz respeito ao sector energético. O preço da electricidade está a aumentar de forma galopante e os combustíveis fósseis começam a escassear. Como resultado destas situações, a energia solar fotovoltaica aplicada à bombagem de água aparece como alternativa para fazer face às necessidades dos regantes (Li et al, 2017; Jones e Olsson, 2017).

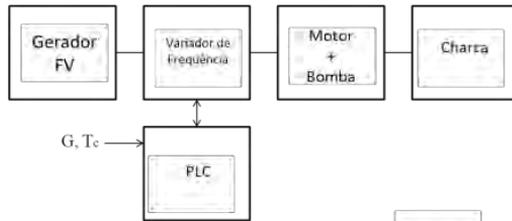
Nesse contexto, surge o MASLOWATEN. Trata-se de um projecto europeu do Horizonte 2020 que tem como principal objectivo a introdução no mercado de sistemas de irrigação fotovoltaica de alta potência, demonstrando a sua viabilidade técnica e económica. O projeto inclui a instalação de 5 demonstradores à escala real, assim como o desenvolvimento de especificações técnicas e procedimentos de controlo de qualidade para sistemas deste género. Este artigo pretende dar a conhecer a viabilidade técnica desta solução, apresentando os resultados de dois dos demonstradores de irrigação fotovoltaica instalados em Espanha, um em Valhadolide e outro em Vilhena.

Este artigo começa por descrever o funcionamento dos sistemas, de seguida apresentam-se os principais resultados da validação técnica durante 2017 e finalmente as conclusões.

## DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS

Os sistemas apresentados são distintos, quer ao nível de potência fotovoltaica instalada, quer ao nível de tipo de irrigação. Ambos estão instalados em Espanha, sendo que um se trata de um sistema a caudal variável de 360 kWp em Vilhena e o outro a pressão e caudal constante de 160 kWp em Valhadolide.

O primeiro sistema consiste numa bomba submersível de 250 kW (Caprari - E12S55FUS/10A+ MAC 12340 /1C/DF/V-8) num poço com 400 m de profundidade que bombeia a um caudal nominal de 226 m<sup>3</sup>/h. A água bombeada ao largo dos dias de funcionamento é acumulada num reservatório de 173,000 m<sup>3</sup>, elevado 12 metros do nível da boca do poço. De forma a poder maximizar a produção de energia ao largo do dia e com um perfil constante utilizou-se um seguidor de eixo norte sul horizontal dividido em 72 strings de 20 módulos cada. O sistema inclui um variador de frequência de 355 kW (OMRON A1000 CIMR-AC4A0675AAA) que transforma a corrente contínua produzida pelo gerador em corrente alterna para alimentar o conjunto motobomba. Este sistema inclui também um PLC que funciona como “cérebro” do sistema. Em condições normais o PLC está permanentemente a estimar a potência fotovoltaica disponível através da medida de irradiancia e temperatura de célula presente no sistema e a executar uma rotina de Seguimento do Ponto de Máxima Potência (MPPT). Tem também implementadas rotinas para comportamentos anormais, como passagem de nuvens, falta de água no poço e outros factores externos. A Figura 1 inclui os principais componentes do sistema.



**Figura 1 – Configuração do sistema de Vilhena**

Para uma melhor visualização do sistema apresenta-se na Fig. 2 parte do gerador fotovoltaico instalado, na Fig. 3 a charca de 173000 m<sup>3</sup> e na Fig. 4 o variador de frequência utilizado.



**Figura 2 - Gerador fotovoltaico**



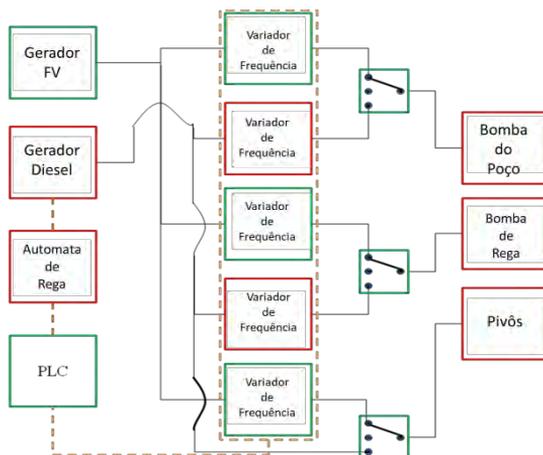
**Figura 3 - Charca de 173000 m<sup>3</sup>**



**Figura 4 - Variador de frequência**

O segundo sistema é mais complexo, conciliando dois tipos de irrigação. Por um lado bombeia desde um poço a caudal variável para um tanque intermédio de 1000 m<sup>3</sup> e desde aí bombeia a pressão e caudal constante através de pivots com aspersores de baixo consumo. A primeira bomba consiste numa bomba submersível de 92 kW (Caprari - E10S50S/6C+MAC10125DS-8V) com um caudal nominal de 162 m<sup>3</sup>/h e a segunda consiste numa bomba de superfície de 30 kW (Caprari - MEC-AS2/80A+FELM 30KW 2P) que pode funcionar a 3, 4 ou 5 bar consoante o(s) setor(es) de rega. Como no sistema anterior, um seguidor de eixo norte-sul horizontal foi instalado, sendo neste caso composto por 32 strings de 20 módulos cada.

Este sistema era previamente alimentado por um gerador diesel, que foi mantido como back-up e acrescentaram-se dois variadores de frequência que alimentam cada uma das bombas. Estes variadores têm um PLC interno onde estão programadas as diferentes rotinas, sendo as principais o MPPT no primeiro variador e o controle de pressão no segundo. Este sistema tem também um PLC externo que faz o controle da operação do sistema global, decidindo de acordo com a potência estimada em cada momento e de acordo com outros sinais externos como a intenção de regar, o nível de água no depósito, entre outros, que bombas devem funcionar. Ainda que seja um sistema só fotovoltaico, o proprietário como salvaguarda requereu que existissem 3 modos de operação: só fotovoltaico, híbrido e 100% diesel. A configuração do sistema está presente na Fig 5.



**Figura 5 - Configuração do sistema de Valhadolide**

As Fig. 6, 7 e 8 apresentam informação similar às Fig. 2, 3 e 4, isto é, a Fig. 6 inclui parte do gerador fotovoltaico, a Fig. 7 o depósito intermédio e a Fig. 8 o conjunto de variadores de frequência.



**Figura 6 - Gerador fotovoltaico**



**Figura 7 - Depósito intermédio**



Figura 8 - Conjunto de variadores de frequência

## RESULTADOS

Tanto o sistema de Vilhena como o de Valhadolide estão em funcionamento desde o ano passado (2017). Ainda assim, o período de funcionamento de cada um dos sistemas foi distinto. O primeiro sistema funcionou durante todo o ano, ao passo que o segundo funcionou apenas durante o período de rega (que em 2017 foi de março a outubro). Este período de rega pode ser distinto de ano para ano de acordo com as colheitas e a disponibilidade de água.

Durante o ano de 2017, o sistema de Vilhena bombeou 525903 m<sup>3</sup> enquanto que o de Valhadolide bombeou 325924 m<sup>3</sup> durante 2674 e 2036 horas, respectivamente. É importante referir que existem algumas situações que condicionam o número de horas de funcionamento. Para o primeiro caso importa referir que sempre que o sistema pára, mantém-se nesse estado durante 8 minutos, de forma a esvaziar as tubagens. No segundo caso está dependente do nível de água no depósito, sendo que a bomba do poço e a bomba de rega deixam de funcionar quando o nível de água no depósito é máximo ou mínimo, respectivamente.

Na Tabela 1 podem-se verificar, de forma sumária, alguns dados da monitorização que está instalada em cada sistema.

Tabela 1 – Dados recolhidos pelo sistema de monitorização

		Vilhena	Valhadolide	
			Bomba do Poço	Bomba de rega
Volume de Água	[m <sup>3</sup> ]	525903	325924	317386
Horas de Irrigação	[h]	2674	3007	3195
Caudal médio	[m <sup>3</sup> /h]	197	108	99
Energia Contínua FV	[kWh]	589637	161435	42858
Energia Alterna FV	[kWh]	572665	152739	39447

Com base nestes dados é possível apresentar as eficiências de cada componente (Tabela 2).

Tabela 2 - Eficiências dos componentes de ambos os sistemas

	Vilhena	Valhadolide	
Eficiência		Bomba do Poço	Bomba de rega
$\eta_{VF}$	0.97	0.95	0.93
$\eta_{MB}$	0.67	0.60	0.68
$\eta_{VF+MB}$	0.65	0.57	0.63

É igualmente possível calcular o *Performance Ratio* (PR) de acordo com as especificações técnicas desenvolvidas no projecto MASLOWATEN [developed under MASLOWATEN project] cujos valores calculados se podem verificar na Tabela 3. O PR é definido pela Equação (1), enquanto o PR<sub>Hid</sub> vem calculado pela Equação (2).

$$PR = \frac{E_{AC}}{P^*} \times \frac{1}{\int_t (G/G^*)dt} \quad (1)$$

$$PR_{Hid} = \frac{E_H}{P^*} \times \frac{1}{\int_t (G/G^*)dt} \quad (2)$$

Aplicando as equações 1 e 2 a ambos os sistemas, chegamos aos resultados apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Performance ratios, eléctrico e hidráulico de ambos os sistemas**

	<b>Vilhena</b>	<b>Valhadolide</b>
PR	0.65	0.57
PR <sub>Hid</sub>	0.43	0.42

## CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que ambos os sistemas estão a funcionar de acordo com o que se esperava inicialmente. No entanto, são necessárias mais horas de funcionamento de forma a demonstrar a viabilidade técnica desta solução.

Durante o ano de 2017, o sistema de Vilhena foi capaz de bombear 525903 m<sup>3</sup> ao passo que o sistema de Valhadolide bombeou 325924 m<sup>3</sup> durante as mais de 2000 horas de funcionamento em ambos os casos. Importa ressaltar que a diferença que existe entre os PRs de ambos os sistemas, em que o sistema de Valhadolide tem um valor ligeiramente inferior porque está relacionado com as necessidades de rega do utilizador, ao passo que o sistema de Vilhena sempre que potência fotovoltaica disponível é superior ao valor de arranque, o sistema começa a funcionar.

Em futuros trabalhos apresentaremos uma forma de desagregar a performance dos distintos componentes de cada sistema (o factor humano, eléctrico e hidráulico).

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível graças ao financiamento do programa Horizon 2020 da União Europeia no projeto *Market uptake of an innovative irrigation Solution based on LOW WATER-ENergy consumption* (MASLOWATEN), acordo de subvenção número 640771, bem como ao apoio financeiro do Programa MIT Portugal em Sistemas Sustentáveis de

Energia e da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), bolsa PD/BD/105851/2014 e projeto IDL UID/GEO/50019/2013.

## REFERÊNCIAS

Aliyu M., Hassan G., Said S. A., Siddiqui M. U., Alawami A. T. and Elamin I. M. (2018)., A review of solar-powered water pumping systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 87, 61-76

J. Carroquino, R. Dufo-López and J. L. Barnal-Augustin (2015)., Sizing of off-grid renewable energy systems for drip irrigation in Mediterranean crops. *Renewable Energy*, 76, 566-574

Li G., Jin Y., Akram M.W. and Chen X. (2017). Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79, 440-468

Jones L.E. and Olsson G. (2017). Solar Photovoltaic and Wind Energy Providing Water. *Global Challenges* 1

developed under MASLOWATEN project (2017). Technical Specifications for Photovoltaic Irrigation Systems.