

ESTRUTURA DELTA PARA SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PV

Almeida R. H.^{***}, Carrelo I. B.*, Narvarte L.*, Lorenzo E.***

* Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid, Carretera de Valencia, km 7, 28031 Madrid, España, rita.hogan@ies.upm.es

** Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande Edifício C1, Piso 1, 1749-016 Lisboa, Portugal

RESUMO

Este artigo apresenta um novo tipo de estrutura estática chamada delta, $\Delta S(60)$. Esta estrutura foi desenvolvida com o objetivo de obter perfis constantes de irradiância diária, extremamente importante nalgumas aplicações fotovoltaicas (como por exemplo, em sistemas de irrigação). Uma comparação do desempenho desta estrutura é feita com duas representativas do estado de arte atual: uma estrutura estática orientada ao Equador, S(25), e uma estrutura com seguidor de eixo horizontal, 1xh. É possível concluir que a hipótese de utilizar a $\Delta S(60)$ é particularmente interessante em sistemas de irrigação PV – a potência pico necessária com a $\Delta S(60)$ é menor que com a S(25), sendo a diferença ainda maior se consideramos o período de rega de maio a setembro.

PALAVRAS CHAVE: Irrigação PV, Estrutura PV, Perfis diários constantes

ABSTRACT

This article presents a new type of static structure called delta, $\Delta S(60)$. This structure was developed with the objective of obtaining constant irradiance daily profile, extremely important in some photovoltaic applications (namely in irrigation systems). A comparison of the performance of this structure is made with two representative of the current state of art: a static structure oriented to Equator, S(25), and a structure with North-South horizontal axis tracker, 1xh. It is possible to conclude that the hypothesis of using $\Delta S(60)$ is particularly interesting in PV irrigation systems - the required peak power with $\Delta S(60)$ is smaller than with S(25), and if we consider only the irrigation period (from May to September) this difference is even bigger.

KEYWORDS: PV irrigation, PV structure, Constant daily profiles

INTRODUÇÃO

Este paper apresenta um novo tipo de estrutura estática chamada delta, $\Delta S(60)$. Esta foi desenvolvida com o objetivo de obter um perfil constante de irradiância diária semelhante ao obtido com um seguidor de eixo N-S horizontal, 1xh, uma vez que este perfil é essencial para distintas aplicações fotovoltaicas (PV), nomeadamente sistemas de irrigação PV (EIP-Water, 2012), (Closas e Rap, 2017), (Hartung e Pluschke, 2018).

À primeira vista a melhor estrutura para obter este perfil de irradiância constante seria a 1xh, porém há situações em que as estruturas estáticas continuam a ser a melhor opção por motivos de fiabilidade e custo. Nesse seguimento surgiu a ideia de estudar esta nova estrutura.

Neste trabalho uma análise do desempenho da estrutura $\Delta S(60)$ é comparada com duas representativas do estado de arte atual: uma estrutura estática orientada ao Sul, S(25), e um seguidor de eixo N-S horizontal, 1xh, no âmbito de sistemas de irrigação PV a pressão e caudal variável. Como caso representativo, é simulado um sistema em Valhadolide, Espanha, que bombeia água desde um poço (com uma altura estática de 95 m) para um depósito de 5 m. A análise é realizada ao longo de 2 períodos distintos: ano inteiro e de maio a setembro, representando este último caso um período típico de rega na Península Ibérica.

O sistema 1xh foi simulado e otimizado. De seguida, as potências pico necessária para $\Delta S(60)$ e S(25) para bombear a mesma quantidade de água nos 2 períodos referidos foram calculadas.

Este trabalho começa por incluir uma breve descrição da estrutura. De seguida apresenta-se o caso de estudo (incluindo as características do sistema e os principais parâmetros de simulação), bem como os principais resultados obtidos. Finalmente, alguns comentários são apresentados.

ESTRUTURA DELTA

$\Delta S(60)$ é uma estrutura estática sobre solo onde metade dos módulos PV estão orientados para Este e os restantes para Oeste, tendo ambos os lados o mesmo ângulo de inclinação, $\beta=60$ (Fig. 1). Com este ângulo, a superfície de painel vista pelo Sol é igual em 3 momentos do dia: pela manhã, quando o Sol está perpendicular às superfícies orientadas a Este; ao meio-dia; e pela tarde, quando o Sol está perpendicular às superfícies orientadas a Oeste. Aproximadamente, estes momentos ocorrem 4 horas antes do meio-dia, ao meio-dia e 4 horas depois. A irradiância direta no plano do gerador tende a ser igual nestes momentos, o que leva a uma irradiância global no mesmo plano razoavelmente constante durante 8 horas por dia.

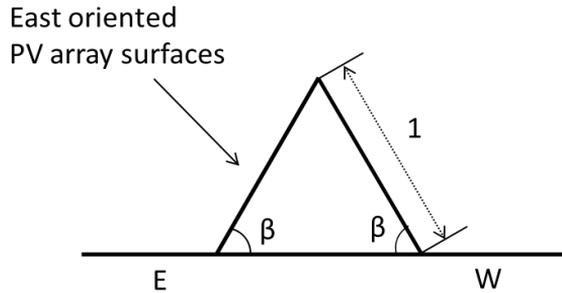


Fig. 1. Estrutura delta, $\Delta S(\beta)$: o gerador PV é dividido em duas metades - uma orientada a Este e outra a Oeste.

$\Delta S(60)$ foi incorporada no SISIFO, um programa de simulação de sistemas PV desenvolvido no Instituto de Energia Solar da Universidade Politécnica de Madrid (IES-UPM, 2018).

CASO DE ESTUDO: BOMBAGEM DE POÇO A DEPÓSITO, VALHADOLIDE, ESPANHA

Um exercício de simulação foi realizado para um sistema de bombagem de poço a depósito em Alaejos, Valhadolide, Espanha (41.307 Norte, 5.215 Oeste).

Os valores da média diária mensal de irradiação horizontal, $G_{dm(t)}$, foram obtidos do PVGIS (European Commission, 2018) e os respectivos perfis de irradiância diários calculados utilizando o SISIFO (IES-UPM, 2018). O modelo de Erbs (Erbs et al, 1982) foi utilizado para a decomposição dos valores mensais globais nas componentes direta e difusa, o modelo de Collares-Pereira e Rabl (Collares-Pereira e Rabl, 1979) para obter valores de irradiância instantânea a partir dos valores de irradiação diária, e o modelo de Perez (Perez et al, 1986) para transposição dos valores de irradiância do plano horizontal para o plano do gerador. A sujidade foi estabelecida em 2%, as perdas em AC e DC são, respetivamente, 1 e 3%, a relação entre a potência nominal e a do gerador 0.96, a reflectância do solo é 0.3 e o tempo de simulação é 1 minuto.

No que diz respeito à estrutura fotovoltaica propriamente dita foram utilizadas as seguintes separações entre filas: 3, 4.5 e 1.5 para 1xh, $\Delta S(60)$ e $S(25)$.

O sistema inclui uma moto-bomba Caprari E8P95/7ZC MAC870-8V e um variador de frequência OMRON RX 75 kW e bombeia água de um poço com uma altura estática de 95 m para um depósito de 5 m, sendo considerados 5 m adicionais de perdas por fricção.

RESULTADOS

A potência pico do sistema 1xh é 80 kWp e a Fig 2 inclui o volume de água bombeado ao longo do ano com as três estruturas em estudo para esta mesma potência.

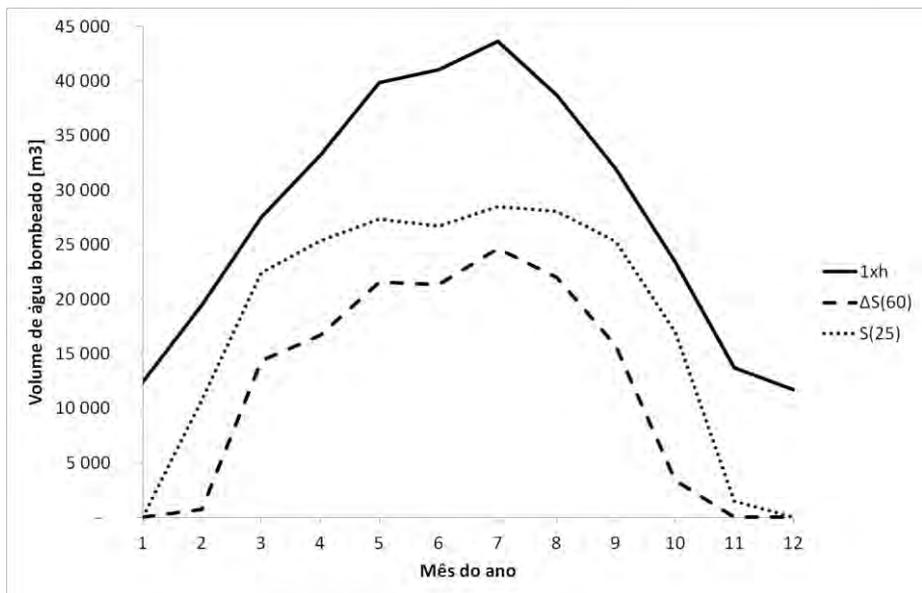


Fig. 2. Volume de água bombeado em cada mês do ano com as três estruturas em estudo (1xh com linha contínua, $\Delta S(60)$ com tracejada e S(25) com pontos).

Como se pode verificar na Fig 2 a estrutura 1xh é a que permite a bombagem de um maior volume de água (336681 m³/ano e 195235 m³ de maio a setembro), seguida da S(25) e finalmente da $\Delta S(60)$. Quantificando, $\Delta S(60)$ com 80 kWp bombeia 42% e 54% do bombeado pela 1xh para todo o ano e o período de maio a setembro respectivamente. Já no caso da S(25) estes mesmos valores sobem para 63% e 70% (ver Tabela 1).

Tabela 1. Percentagem do volume de água bombeado por $\Delta S(60)$ e S(25) quando comparado com 1xh. Nas 3 situações a potência do sistema é 80 kWp.

Período	Volume de água/ Volume água _{1xh} x 100 [%]	
	$\Delta S(60)$	S(25)
Anual	42	63
Período de irrigação	54	70

Sabendo que a quantidade de água bombeada com as duas estruturas alternativas, $\Delta S(60)$ e S(25), é menor que a 1xh, o próximo passo é calcular a potência necessária em $\Delta S(60)$ e S(25) para igualar o volume de água bombeado pela estrutura 1xh. A Fig. 3 representa o volume de água bombeado anualmente por $\Delta S(60)$ e S(25) para distintas potências pico com o objetivo de atingir o mesmo montante de água da 1xh. Tanto o volume de água como a potência pico estão normalizados pelos valores correspondentes ao 1xh, isto é, 336681 m³ e 80 kWp. Os pontos pretos no gráfico representam o sobredimensionamento necessário em cada uma das estruturas (apresentados também na Tabela 2). A Fig. 4 inclui a mesma

informação considerando apenas o período de irrigação, sendo neste caso o volume de água objetivo 195235 m³.

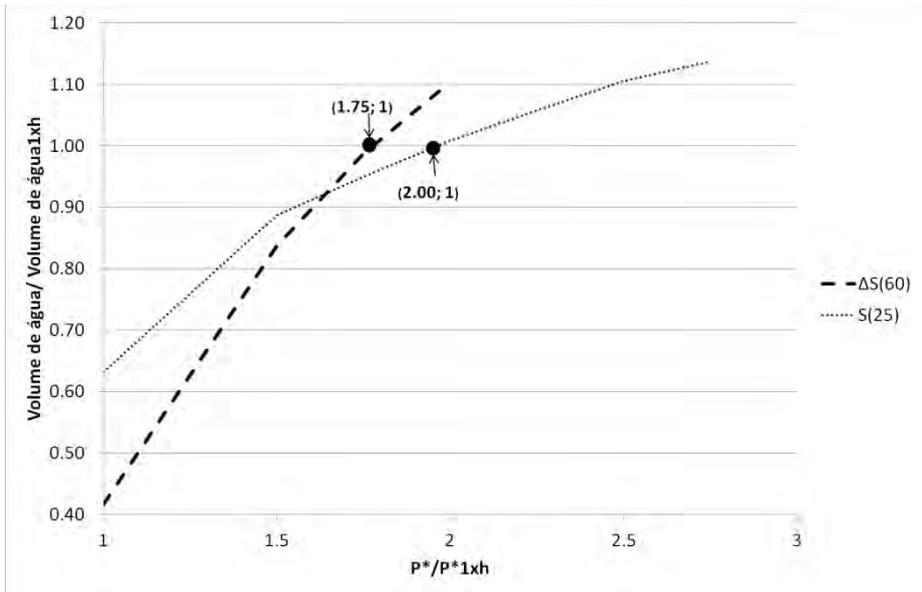


Fig. 3. Volume de água bombeado anualmente por ΔS(60) e S(25) normalizado pelo volume de água bombeado pelo sistema de 80 kWp 1xh (Volume de água/Volume de água_{1xh}) em função da sua potência pico normalizada pela potência pico de 80 kWp 1xh (P*/P*_{1xh}). Os pontos com Volume de água/Volume de água_{1xh}=1 representam o sobredimensionamento necessário em ΔS(60) e S(25) para igual o desempenho de 80 kWp 1xh.

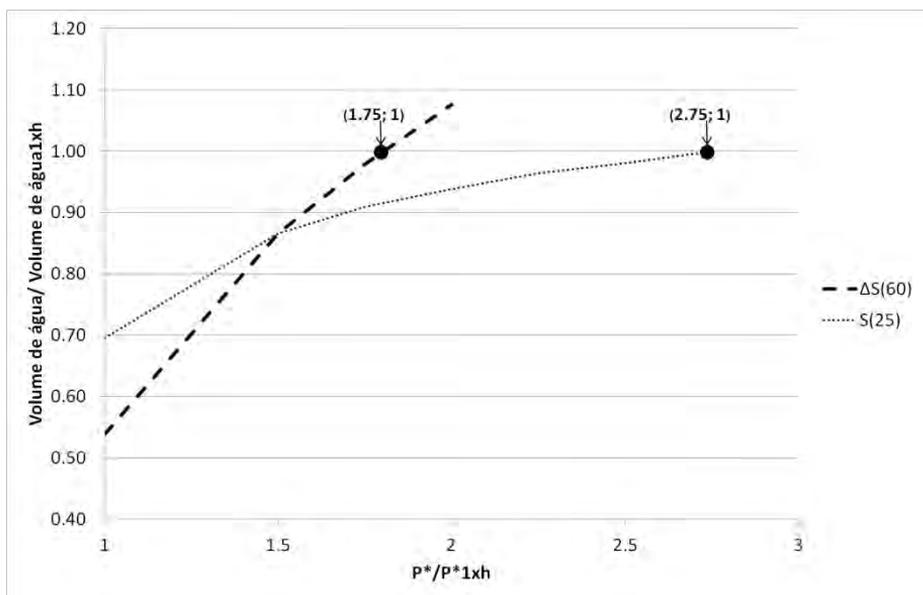


Fig. 4. Volume de água bombeado durante o período de irrigação por $\Delta S(60)$ e $S(25)$ normalizado pelo volume de água bombeado pelo sistema de 80 kWp 1xh ($\text{Volume de água}/\text{Volume de água}_{1xh}$) em função da sua potência pico normalizada pela potência pico de 80 kWp 1xh (P^*/P^*_{1xh}). Os pontos com $\text{Volume de água}/\text{Volume de água}_{1xh}=1$ representam o sobredimensionamento necessário em $\Delta S(60)$ e $S(25)$ para igual o desempenho de 80 kWp 1xh.

É interessante notar que apesar de para a mesma potência a $S(25)$ conseguir bombear mais água que a $\Delta S(60)$, para alcançar o mesmo volume de água da 1xh, a $\Delta S(60)$ necessita de menos potência pico que a $S(25)$: na $\Delta S(60)$ 1.75 a potência de 1xh para os 2 períodos considerados; na $S(25)$ o dobro em termos anuais e 2.75 vezes mais de maio a setembro (ver Tabela 2). Esta diferença é justificada uma vez que na estrutura $S(25)$ a moto-bomba atinge a sua frequência máxima (50 Hz) durante uma grande parte do ano (como se pode verificar na Fig. 5).

Tabela 2. Potência pico PV normalizada pela potência de 1xh para garantir a mesma quantidade de água bombeada que 1xh.

Período	P^*/P^*_{1xh}	
	$\Delta S(60)$	$S(25)$
Anual	1.75	2
Período de irrigação	1.75	2.75

A Fig. 5 mostra o perfil diário de água bombeada para o caso anual das 3 estruturas no dia típico do mês de junho. É possível verificar a grande semelhança existente entre as estruturas 1xh e $\Delta S(60)$. Relativamente à $S(25)$ pode-se observar a saturação nos 50 Hz e por isso o perfil constante ao longo do dia. O perfil da $S(25)$ com 2.25 a potência pico da

1xh é muito semelhante, isto é, as horas de funcionamento total são as mesmas, sendo também igual o número de horas de funcionamento a frequência nominal (aumentado apenas o volume de água bombeado entre o início/fim do dia e a chegada aos 50 Hz).

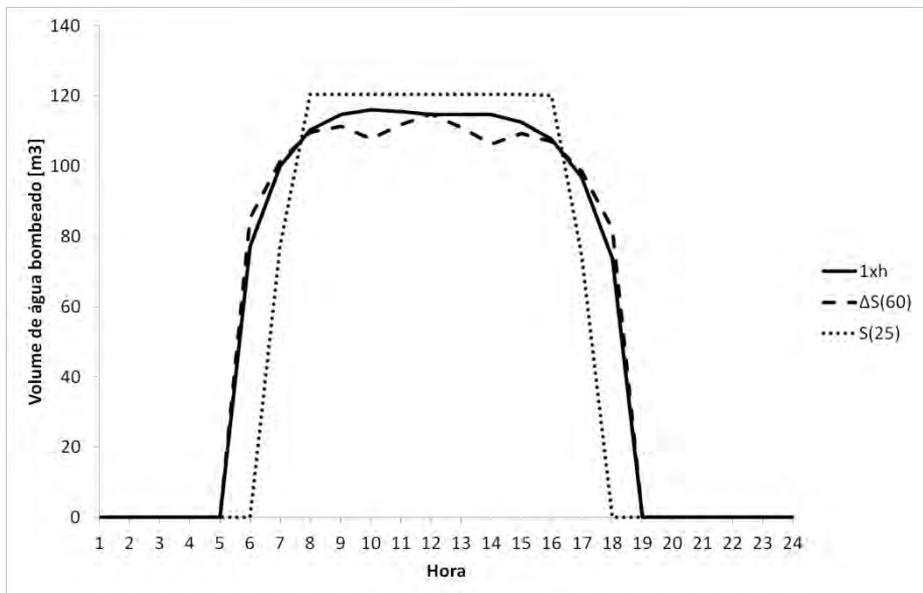


Fig. 5. Volume de água bombeado no dia típico de junho com as 3 estruturas em estudo.

COMENTÁRIOS FINAIS

Um novo tipo de estrutura, $\Delta S(60)$, é proposto e o seu desempenho num sistema de irrigação PV desde um poço a um depósito em Valhadlde, Espanha, é comparado com o de duas estruturas típicas em sistemas PV: S(25) e 1xh.

É possível concluir que a hipótese de utilizar a $\Delta S(60)$ é particularmente interessante em sistemas de irrigação PV – a potência pico necessária com a $\Delta S(60)$ é menor que com a S(25), sendo a diferença ainda maior se consideramos o período de rega de maio a setembro. Se a potência pico da estrutura 1xh é 80 kWp, durante o período de irrigação a de $\Delta S(60)$ tem de ser 140 kWp e a S(25) 220 kWp.

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

- Collares-Pereira, M. e Rabl, A. (1979). The average distribution of solar radiation-correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy* 22, 155-164.
- Closas, A. e Rap, E. (2017). Solar-based groundwater pumping for irrigation: Sustainability, policies, and limitations. *Energy Policy* 104, 33-37.
- EIP-Water (2012). European Innovation Partnership Water - Strategic Implementation Plan. Brussels.
- Erbs, D.G., Klein, S.A. e Duffie, J.A. (1982). Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Solar Energy* 28, 293-302.
- European Commission, J.R.C. (2018). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), disponível em <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- Hartung, H. e Pluschke, L. (2018). The benefits and risks of solar-powered irrigation - a global overview. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Rome.
- IES-UPM (2018). Simulación de Sistemas Fotovoltaicos (SISIFO), disponível em <http://sisifo.info/>
- Perez, R., Stewart, R., Arbogast, C., Seals, R. e Scott, J. (1986). An anisotropic hourly diffuse radiation model for sloping surfaces: Description, performance validation, site dependency evaluation. *Solar Energy* 36, 481-497.