

Mejora de la rentabilidad de las plantaciones de olivos mediante la implantación de huertos solares



Elias López-Alba*
Angel Gómez-Moreno*
Rafael López-García*
Eloisa Torres-Jiménez*
Pedro Casanova-Peláez**

Ingeniero Industrial
Ingeniero Industrial
Doctor por la Universidad de Jaén
Doctor por la Universidad de Jaén
Doctor por la Universidad de Jaén

UNIVERSIDAD DE JAÉN. EPS.

*Dpto. de Ingeniería Mecánica y Minera y **Dpto. de Ingeniería Electrónica y Automática.
Campus Las Lagunillas, Edif. A3 - 23071 Jaén. Tfno: +34 953 212862. elalba@ujaen.es

Recibido: 13/06/2011 • Aceptado: 05/07/2011

Yield improvement in olive trees plantations installing solar fields

ABSTRACT

• The improvement of economic profitability is field of work in all disciplines. The agrarian areas could be more profitable through the implementation of solar fields and it would be an alternative to increase the benefits. The implementations of solar tracking systems increase the production of electric energy compared with the fix systems. The present study develops a technique of integration of solar tracking systems in an olive field, evaluating the optimal distribution to avoid shadows between them and eliminate the minimum trees. A viability study is developed and it could be concluded that installing solar tracking systems, an economical improvement can be achieved. The technique can be extended to other trees plantation allocated on a particular geographic area.

• **Key words:** Solar fields, solar tracker, olive tree plantation, Profitability

RESUMEN

La mejora de la rentabilidad económica es objeto de estudio en todas las disciplinas. Las plantaciones agrícolas podrían ser más rentables mediante la implantación de huertos solares y sería una alternativa para mejorar el rendimiento económico de estas. La incorporación de sistemas de seguimiento solar incrementa la producción de energía eléctrica con respecto a los sistemas fijos. En el presente estudio se desarrolla una técnica de integración de dichos huertos, aplicándolo a una plantación de olivos y se evalúa la distribución óptima evitar las sombras entre ellos y eliminar las mínimas plantas de las explotaciones. Además se realiza un estudio de viabilidad mediante el cual se concluye si la instalación de sistemas con seguimiento solar produce una mejora económica. La técnica puede ser potencialmente aplicada a cualquier tipo de plantación arbórea situada en cualquier zona geográfica.

Palabras Clave: Huerto Solar, Seguidor Solar, Plantación de Olivos, Rentabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se cuestiona la rentabilidad del monocultivo del olivo tradicional debido a los precios actuales del producto final, la gran competencia con plantaciones superintensivas que reducen los costes de producción [1] o la desaparición de las ayudas económicas establecidas. Por lo tanto, la supervivencia de estas explotaciones olivareras está condicionada a la innovación. Una solución para mejorar la rentabilidad de estas plantaciones podría ser el usar el terreno de la plantación para la instalación de huertos solares de forma que se pudiera producir energía eléctrica.

El auge de la investigación en las energías renovables ha desarrollado los huertos solares como una forma de generación de energía eléctrica en régimen especial utilizando células solares fotovoltaicas [2]. Además, en los últimos años se han desarrollado sistemas de seguimiento solar de dos ejes, que son estructuras móviles que permiten desplazar las placas fotovoltaicas conforme a la trayectoria seguida por el sol [3], mejorando el rendimiento frente a los mecanismos fijos [4] y pudiendo obtener una producción de energía adicional entre el 25% y el 40%

dependiendo de la zona geográfica donde se encuentren instalados.

La superficie oleícola mundial es de 11 millones de hectáreas, de las que aproximadamente 2.5 millones se localizan en España. De esta superficie, 1.5 millones se concentran en Andalucía, estando dedicadas a la obtención de aceituna para almazara 1.4 millones y a la obtención de aceituna de mesa 100.000 ha. El cultivo del olivar se orienta hacia la producción de aceite de oliva, principalmente, en las provincias de Jaén y Córdoba.[5]

En el presente estudio se analiza la posibilidad de implantar seguidores de dos ejes en plantaciones tipo de la provincia de Jaén (entre 123 y 200 olivos /ha), para ello se tendrán en cuenta una serie de variables como las condiciones meteorológicas de la zona, distribución de los olivos en las explotaciones y distribución geométrica de los mecanismos de los seguidores solares fotovoltaicos. Además, se realiza una evaluación económica del rendimiento final de la plantación tras la introducción de seguidores eliminando un número determinado de árboles, comparándolo con la producción agraria solamente o bien el rendimiento económico que se obtiene de huertos solares donde sólo se utilicen paneles fijos o seguidores móviles.

Finalmente, se concluye que realizando un diseño apropiado y teniendo en cuenta la finalidad de la plantación (agraria y energética), permitiéndose en ella las labores propias para el mantenimiento de las plantas y la producción se puede conseguir una convivencia de ambas explotaciones minimizando el impacto de una sobre otra y por lo tanto maximizando el beneficio en cada una de ellas.

2. INTEGRACIÓN DE LOS HUERTOS SOLARES EN EL OLIVAR

2.1 EXPLOTACIONES OLIVARERAS EN LA ACTUALIDAD

Las plantaciones de olivos en su forma tradicional, están realizadas dejando un espacio significativo entre plantas, cuyo sistema de plantación se denomina al marco real o a tresbolillo. El 94% de las explotaciones tienen menos de 130 olivos/ha, y el 6% restante tienen menos de 200 olivos/ha. [6], si bien la media actual en otros lugares donde existen explotaciones olivareras está entre 200 y 300 olivos/ha [7]. Con estos datos se pueden calcular las distancias medias entre plantas para una explotación común de la provincia de Jaén donde las plantaciones tienen la configuración descrita.

Como se puede ver en la Figura 1, las distancias de separación serán entre 7m (200 olivos/ha) y 9m (130 olivos/ha). Al mismo tiempo hay que tener en cuenta, para los cálculos, la envergadura de las plantas, que se estima en 3.5m de diámetro siendo el centro la base del tronco [6]. De la ubicación geométrica de las plantas descrita y para la ubicación de un seguidor que está compuesto de dos partes,

una torre (de 4 metros de altura) y la vela (dimensiones 7m x 12m) [3], es necesario la eliminación de algunas plantas.

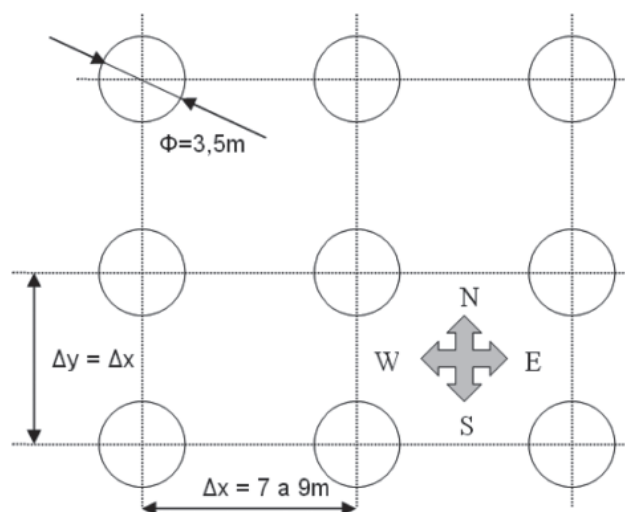


Fig. 1: Esquema de plantación común de olivos en Jaén

Otro aspecto importante a la hora de instalar un huerto solar es la orografía del terreno, así como su orientación, debido a que la radiación incidente instantánea recibida del sol a nivel del suelo varía dependiendo de las diferentes latitudes y altitudes en la que se encuentre. Jaén tiene una latitud de 37.46 N y una altitud de 549 m y hay unas 600.000 ha de olivar, el 25% de la superficie está sobre una pendiente inferior del 10 % que se traduce en inclinaciones del terreno por debajo de 5°, siendo el área utilizable para la implementación de huertos solares unas 150.000 ha [7]. Del resto de superficie se estima que al menos la cuarta parte está con la orientación óptima mostrada en la figura 1 (ladera sur) que representan unas 112.500 ha. Este aspecto es importante a la hora de evitar las sombras entre las superficies de los distintos seguidores ya que en caso contrario reducirían la producción de energía eléctrica considerablemente. Además, hay otras superficies de olivar que se encuentran entre 10° y 20° de pendiente, que sería el límite para no ser necesaria una inversión adicional en las estructuras de los mecanismos, sin tener en cuenta estas últimas, el área potencial de implantación de huertos solares en la provincia de alrededor de 250.000 ha.

Realizando un análisis de los dispositivos fotovoltaicos existentes en el mercado y adaptables a este tipo de explotaciones los hay de superficie de captación cuadrada y rectangular y con áreas entre 50 y 140 m² [8-11]. Se seleccionan dos superficies características (de 8.5mx8.5m y 15.2x8.9m) y se evalúan en las explotaciones con las densidades de plantación indicadas anteriormente.

2.2. ALGORITMO DE CÁLCULO DE CAPTACIÓN Y GENERACIÓN DE ENERGÍA

Seguidamente se evalúa la ganancia, que representa la captación energética, y producción energética de las configuraciones seleccionadas (con un espaciado entre plantas de 7m y 9m, Figura 1). Inicialmente se evalúa la radiación incidente sobre superficie horizontal a través de una base de datos adecuada, como Censolar [12]. Estos datos serán evaluados para instalaciones fijas con máxima captación (inclinación de 30° en Jaén [4]) y con seguimiento a dos ejes. Debido a las dos componentes de radiación que se obtienen, directa, que es la que incide en el seguidor formando un determinado ángulo con respecto a la normal a este, y difusa, que es la que recibe el seguidor de las direcciones celestes, se utilizan diferentes métodos para aproximar su incidencia en superficies inclinadas, estos son los modelos isotrópos y anisótropos. Duffie y Beckman (1991) utilizan esta metodología [13]. Se utilizan modelos para el análisis de las componentes de la radiación horizontal y la variación de ésta a lo largo de día, y después la radiación incidente para superficies inclinadas [14-17]. Se calcula la radiación incidente en función de un año tipo. Las pérdidas existentes son atribuidas a: restricciones de seguimiento y geometría (pérdidas mínimas del 1%), debido a las altas temperaturas que alcanzan en las placas solares se producen perdidas de eficiencia de los equipos eléctricos respecto a la disposición fija (alrededor del 5%) [4], si bien la mayor fuente de perdidas es la generación de sombras entre los distintos elementos y será la que condicione las distancias entre los distintos mecanismos, (entre el 2% y el 6% de la energía máxima captada [18]), que presenta unas pérdidas menores que las obtenidas por captación con inclinación fija, que supone entre el 3% y el 8% como mínimo.

Los seguidores solares fotovoltaicos de dos ejes, producen mayor cantidad de energía eléctrica que las instalaciones fijas y el coste de la instalación y mantenimiento es superior, pudiendo dejar de ser económicamente rentables al aparecer las pérdidas por sombras entre mecanismos. El seguidor de dos ejes basado en el mecanismo de biela manivela consiste en un dispositivo cinemático para el seguimiento solar con accionamiento hidráulico, permitiendo el giro en el plano acimutal y cenital. Figura 2. El conjunto se componen de cuatro apartados fundamentales: el sistema de giro para el plano acimutal (base), la estructura del mecanismo (torre y vela), el sistema de movimiento en el plano cenital, el sistema de control y el sistema de accionamiento.

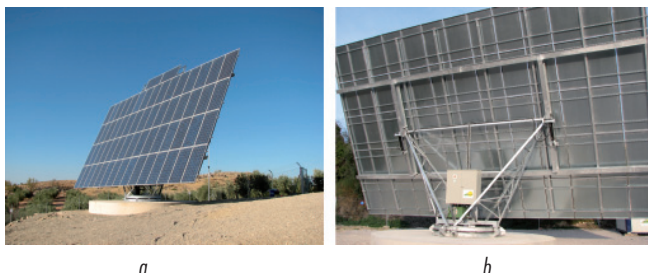


Fig. 2 a) Imagen de la parte frontal de un seguidor de dos ejes. b) Imagen de la parte trasera.

Para decidir cómo repercuten las disposiciones y distancias entre los seguidores al tener en cuenta las sombras entre ellos, se precisa de unas consideraciones geométricas muy exhaustivas, teniendo que evaluar todos los posibles obstáculos externos existentes, para lo cual se utilizan procedimientos geométricos [19]. Para ello se establece el algoritmo de la Figura 3, evaluando lo que sucede considerando una determinada geometría del seguidor de forma instantánea y después integrando los resultados. Este análisis considera la mejora en la captación solar que se obtiene al evaluar diferentes disposiciones, relaciones ancho-largo (H-L) de la superficie útil captadora de los sistemas de seguimiento y distancias de separación entre los mismos. En el algoritmo mostrado en la Figura 3, se considera el terreno llano, que como se indicó anteriormente era la mayor parte de la superficie de cultivo del olivo en la provincia de Jaén. Además, cabe destacar que las sombras de las propias plantas sobre las superficies colectoras se superponen a las de los elementos adyacentes, teniendo menor importancia.

Evaluando geoméricamente las posiciones en las peores condiciones (invierno debido a la menor altura solar), las distancias entre plantas no suponen pérdidas adicionales significativas sobre las que los propios seguidores efectúan entre sí.

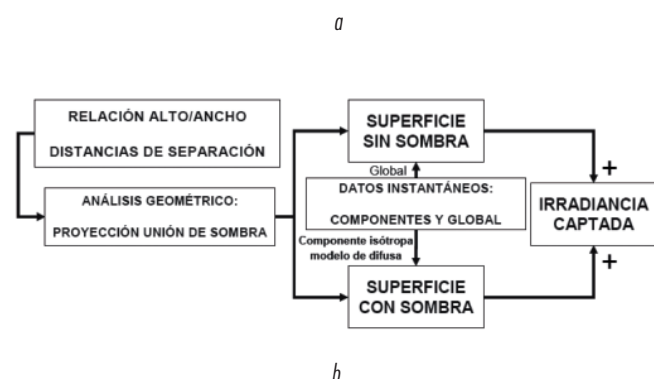
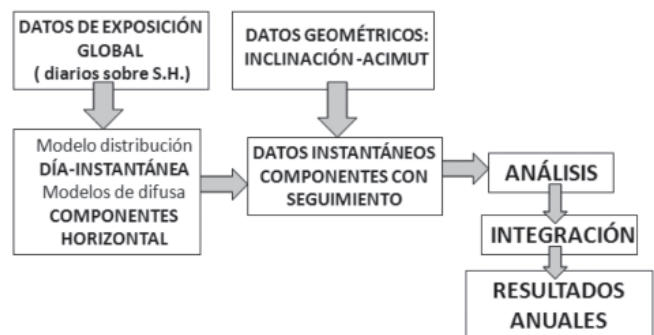


Fig.3: Algoritmo para cálculo de captación y generación de energía: a) Procedimiento general; b) Procedimiento de análisis

Dada una orientación, la elección del tipo de malla, cuadrada o diagonal, dará lugar a diferentes proyecciones de sombras en el captador objeto de estudio, para ello se realiza el modelo posicionando el seguidor en el centro y

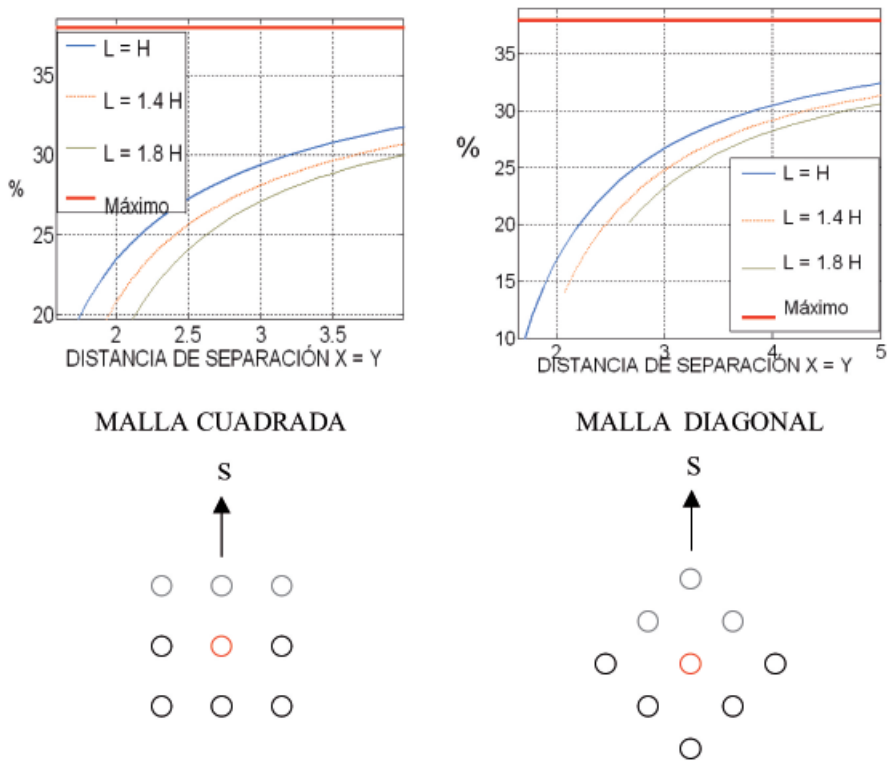


Fig. 4: Ganancia energética solar anual respecto a la máxima con inclinación fija, en función de la separación entre seguidores y tipo de malla, en Jaén

se analiza el efecto de las sombras de seguidores colindantes según el tipo de malla, obteniéndose el porcentaje de ganancia energética dependiendo de la separación entre seguidores con respecto a la ganancia máxima que es un 38% y en función de la geometría del panel. Figura 4, [20].

Finalmente, en el estudio se realizará el análisis de las posibles interacciones con las labores del campo, evaluando qué aspectos deben tenerse en cuenta para una posible modificación geométrica y de control de los sistemas predeterminados.

3. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN

3.1. EVALUACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA

La energía anual captada en Jaén es de 5.2 MJ/m² sobre superficie horizontal [12], entre 5.67 y 5.85 GJ/m² para inclinación fija de máxima captación (30° en Jaén) y entre 7.38 y 8.06 GJ/m² para seguimiento sin restricciones, según sea el modelo de radiación difusa utilizado; isotrópico o anisótropo. Los modelos isotrópicos consideran la acción de la radiación difusa de manera menos precisa obteniendo resultados inferiores de captación de entorno al 3% [21], sin embargo el cálculo en los modelos anisótropos de la componente difusa de la radiación es más aproximada incluso siendo bastantes aceptables los resultados de producción eléctrica de sistemas con seguimiento en latitudes similares a la de nuestro país [16,22].

En lo que respecta a las sombras, se evalúa qué ganancia adicional se tiene respecto a una superficie inclinada para una altura unitaria H=1m de superficie colectora y diferentes anchuras L (m). La Figura 5 presenta estos resultados, considerando un modelo anisótropo donde la máxima ganancia es del 38% anual sobre superficie fija y su cálculo se realiza de forma anual,

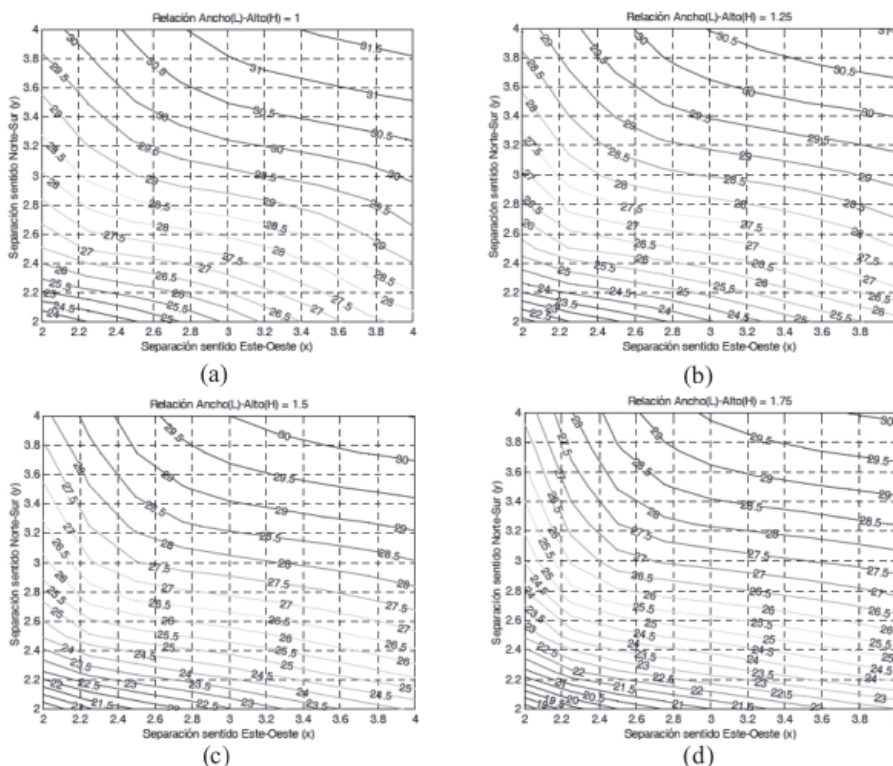


Fig. 5: Ganancias de captación (%) de sistema de seguimiento respecto a superficie fija considerando sombreado entre elementos (máxima ganancia 38%): a) Relación ancho-alto=1; b) Relación ancho-alto=1.25; c) Relación ancho-alto = 1.5; d) Relación ancho-alto=1.75.

siendo el eje de abscisas y ordenadas las distancias de separación, teniendo en cuenta la anchura del panel, entre los seguidores.

Con estas configuraciones, y considerando la posición inclinada para la captación, todas ellas pueden ser integradas en una explotación, eliminando un número de plantas mínimo. Así los sistemas más pequeños se puedan integrar prácticamente en todas las fisionomías, mientras que los sistemas más grandes sólo permiten su integración en explotaciones con menor densidad de plantación.

En la Figura 6, se puede ver el esquema de la disposición genérica de los seguidores dentro de la plantación, y en la Tabla 1 se indican los resultados para diferentes unidades y configuraciones de la plantación. Los resultados en ambos casos son muy similares.

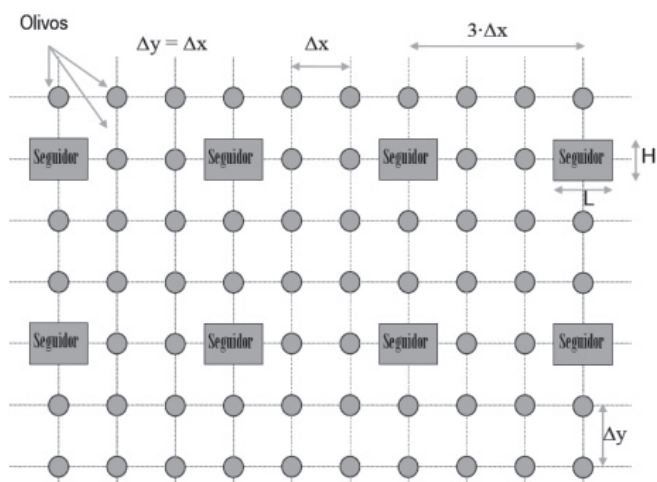


Fig. 6: Configuración de la explotación integrada

Finalmente, se concluye con los análisis en ambos tipos de plantaciones y para dos geometrías distintas del panel solar, que para que la instalación sea rentable frente a otra con inclinación fija, el sobrecoste de inversión debe ser inferior a

ese margen de entre el 19 y 21% que es la ganancia adicional tras el estudio de sombras entre seguidores móviles, Tabla 1.

A modo experimental se ha realizado una instalación de 50 kWp compuesta por tres seguidores de dimensiones 13m x 7m. Figura 7.



Figura 7: Huerto solar en fase experimental

3.2. ESTUDIO DE VIABILIDAD

A continuación se presenta el estudio de viabilidad, para ello se tienen en cuenta los resultados de la energía producida en las situaciones de seguidores con superficie inclinada y con seguimiento introducidos en plantaciones de olivos (Tabla 1). La reducción de ingresos debido a la eliminación de plantas se estima a partir del número de olivos eliminados (entre el 12% y 13%) dependiendo de las dimensiones de los seguidores y su posición, la rentabilidad total por hectárea debido a la producción de aceituna es de 1104.25 € [23]. La ganancia económica debido a la instalación de los paneles, será calculada dependiendo de las condiciones de la potencia de la instalación siendo 0.4 €/kWh para huertos solares de menos de 100Kwp y de 0.2 €/kWh para instalaciones mayores de 100Kwp, de acuerdo con las cifras establecidas en el RD 436/2004 [24]. Conviene aclarar que las actualizaciones normativas posteriores han venido a incrementar el importe de la retribución, mejorando

Energías anuales	Plantación 7m x 7m	Plantación 9m x 9m
Energía captada sobre superficie horizontal	5,2 GJ/m ²	
Ganancia de energía captada con inclinación fija de 30° sobre superficie horizontal	9,1 a 12,4%	
Ganancia de energía captada con seguimiento sin restricciones. Frente a superficie inclinada a 30°	30 – 38%	
Energía captada con restricciones	7- 7,36 GJ/m ²	7-7,37 GJ/m ²
Energía eléctrica producida con inclinación fija a 30°	173 – 178 kWh/m ²	
Energía eléctrica producida con seguimiento (ganancia % sobre superficie inclinada fija)	206 – 217 kWh/m ² (19 – 21%)	
Dimensiones seguidor del ejemplo	8,5m x 8,5m	15,2m x 8,9m
Número de olivos efectivos por ha.	200	123
Número de olivos efectivos arrancados por ha. (%)	25 (12%)	16 (13%)

Tabla 1: Resultados para diferentes soluciones características

	Inclinación 30°		Con Seguimiento	
Precio de Venta	0,4 €/kWh	0,2 €/kWh	0,4 €/kWh	0,2 €/kWh
Ganancia económica	664 €/m ² año	332 €/m ² año	798 €/m ² año	399 €/m ² año
Coste de Mantenimiento	33,2 €/m ² año	16,6 €/m ² año	39,9 €/m ² año	19,95 €/m ² año
Inversión Potencia Instalada	5,2 €/Wp		5,824 €/Wp	
TIR (25 años)	13,52%	5,57%	14,58%	6,26%

Tabla 2: Estudio de viabilidad

en consecuencia la rentabilidad del proyecto aquí analizado [25].

Los costes de mantenimiento están estimados a partir de la explotación experimental introducida y comentada en el texto en el apartado 3.1. Además esos costes están contractados con las instalaciones realizadas por empresas del sector. El mantenimiento de las instalaciones es del 5% de la ganancia de energía, y la inversión de la instalación con seguimiento es un 12% debido a los elementos mecánicos y del control para su funcionamiento que llevan en comparación con los sistemas fijos [3]. El resto de los elementos son comunes para ambas disposiciones. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

El TIR obtenido a 25 años supone un 1% de incremento de la disposición de los paneles con seguimiento frente a los que tienen una inclinación de 30°, así pues el tiempo de retorno de la inversión es de 11 años para los paneles con inclinación frente a los 10 años de los paneles con seguimiento.

3.3. ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD CON LAS LABORES DEL CAMPO.

Seguidamente se analizan las limitaciones de estos sistemas en las explotaciones sobre las que se ha desarrollado el estudio, abarcando las limitaciones propias de los seguidores, así como los problemas generados tras su instalación sobre el desarrollo normal de las labores del campo.

- Profundidad: las labores tradicionales en el terreno se realizan con profundidades máximas de 20cm. Debido a las implantaciones de los seguidores, se tendrá en cuenta en las nuevas plantaciones que la profundidad en la preparación del suelo será mayor, debido a la necesidad de labores de subsolado y drenajes, y la misma estructura de los mecanismos, por lo tanto el cableado debe instalarse al menos a 1.5 m de profundidad.
- Disposición del cableado. Debido a que bajo la copa del olivo es donde se propagan las raíces de las plantas, los cables se deben de instalar por el centro de las calles, llevando cables de uno a otro elemento hasta la zona o punto de evacuación de energía a la red.
- Incompatibilidades entre las labores y los giros y altura del seguidor. Al realizar determinadas labores, los mecanismos deben quedar inmóviles y

en posición horizontal. De esta forma, la superficie colectora quedarán a una altura similar o superior a las copas de los árboles y no interferirán en las labores del campo.

- Altura de los seguidores para que no hagan sombras a los árboles. La pequeña diferencia de altura entre el centro de gravedad de estos dispositivos y las copas de los árboles no interfiere en sombras significativas en aquellos. Si bien puntualmente sí aparecen sombras importantes, la mayor parte del día los árboles quedan libres de sombreado alguno.

Estos dos últimos apartados se asocian también a la estrategia de seguimiento. Para evitar interacciones con sistemas de anchuras elevadas, la posición horizontal debe adquirirse una vez el sistema esté orientado al sur. Al contrario, al comenzar el día, primero debe adquirirse la inclinación oportuna, para después buscar el acimut necesario. Cuando se desarrollen tareas del campo, deben quedar inmóviles y en horizontal. La generación eléctrica disminuye en esos periodos, pero se evitan posibles accidentes y deterioros de los equipos y plantas. Finalmente, los elementos de control, generación y transformación eléctricos están integrados en cada elemento seguidor, por lo que no interaccionan en absoluto con las labores del campo

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha estudiado la viabilidad de la instalación de paneles solares en superficies arbóreas, eliminando el menor número de plantas posibles y valorando sus posibles interacciones con las labores agrarias cotidianas.

La instalación de paneles solares con seguimiento frente a los de inclinación fija mejora la rentabilidad, para demostrar esto último se ha realizado un estudio sobre las pérdidas de ganancia energética provocadas por las sombras que se originan entre los paneles y que dependen de las distancias que separen a estos en la plantación.

El estudio de viabilidad en dos plantaciones tipo de 7m x 7m y 9m x 9m y considerando los paneles solares de 8.5m x 8.5m y 15.2m x 8.9m, muestra que la tasa interna de retorno (TIR) para paneles con seguimientos es de 10 años frente al de los seguidores fijos que es de 11 años así pues la solución más conveniente sería la instalación con seguimiento ya que el tiempo de retorno de la inversión es 1 año menos. La

mejora de la rentabilidad de las plantaciones es posible al mismo tiempo que se puede desarrollar el trabajo agrícola que se realiza en la actualidad (apartado 3.3).

El análisis realizado es generalista, pudiéndose obtener resultados más precisos haciendo una particularización para la plantación y las características técnicas de los paneles a emplear y su eficiencia energética.

Así mismo el estudio se podría extrapolar a otro tipo de plantaciones distintas a las del olivar, si bien requeriría un análisis de la disposición de las plantas, y de la interacción con las labores agrícolas a desarrollar.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al proyecto del Plan Propio de apoyo a la investigación de la Universidad de Jaén titulado 'Desarrollo y optimización mecánica de un sistema de seguimiento solar de dos ejes para el aprovechamiento energético del olivar jiennense' (RFC/PP 2006).

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sánchez-Martínez JD, Gallego-Simón VJ, Araque-Jiménez E. "El monocultivo olivarero jiennense: ¿del productivismo a la sostenibilidad?", *Boletín de la A.G.E.* 2008. Vol. 47 p. 245-270.
- [2] Abella MA, Chenlo F. "Sistemas Fotovoltaicos Conectados a red. Estimación de la Energía Generada", *Era Solar.* 2006. Vol.132 p. 52-67.
- [3] Palomar JM, Casanova-Peláez P, Díaz-Garrido FA et al. "Nuevo sistema de seguimiento solar de dos ejes basado en mecanismo biela manivela". *Dyna Ingeniería e Industria.* 2009. Vol. 84, nº 8 p. 671-680.
- [4] Díaz FA, Cruz-Peragón F, Carazo-Álvarez JD, et al. *Justificación energética para sistemas solares con seguimiento en dos eje.*, Proceedings of the II International Congress of Energy and Environment Engineering and Management. Badajoz. 2007. p. 51. ISBN 8496560457.
- [5] Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- [6] Anónimo, "Datos Estadísticos del Olivar en la Provincia de Jaén". *Asociación Española de Municipios del Olivo.* 2001.
- [7] Barranco D, Fernández-Escobar R, Rallo L. "El cultivo del olivo". 3ª Edición. *Mundi-Prensa y Junta de Andalucía.* 1999. ISBN: 84-89802-48-03
- [8] Mecasolar. 2008. www.mecasolar.com [última consulta 13/jun/2011]
- [9] Solener. 2008. www.solener.com [última consulta 13/jun/2011]
- [10] Solaritd. 2008. www.solaritd.com [última consulta 13/jun/2011]
- [11] Proenersol Seguidores. 2008. www.proenersolseguidores.es
- [12] Anónimo, "Valores medios de irradiación solar sobre superficie horizontal". *Centro de Estudios de la Energía Solar.* Sevilla, 1993.
- [13] Duffie JA, Beckman WA. *Solar engineering of thermal processes.* 3ª Edición. Wiley, NewYork (US). 2006. p928. ISBN: 13-978-0-471-69867-8.

- [14] Liu BYH, Jordan RC. "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation", *Solar Energy.* 1960. Vol. 4 p.1-19.
- [15] Collares-Pereira M, Rabl A. "The average distribution of solar radiation-Correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values", *Solar Energy.* 1979. Vol.22, p. 155-164
- [16] Reindl D T, Beckmann WA, Duffie JA. "Evaluation of hourly tilted surface radiation models", *Solar Energy.* 1990. Vol. 45 p. 9-17
- [17] Feuermann D, Zemel A. "Validation of models for global irradiance on inclined surfaces", *Solar Energy.* 1992. Vol. 48 (1) p. 59-66
- [18] Gordon JM, Kreider JF, Reeves P. "Tracking and stationary flat plate solar collectors: yearly collectible energy correlations for photovoltaic applications", *Solar energy.* 1991. Vol. 47 (4) p. 245-252.
- [19] Appelbaum J, Bany J. "Shadow effect of adjacent solar collectors in large scale systems", *Solar Energy.* 1979. Vol. 23 p. 497-507.
- [20] Gómez Moreno A, Casanova-Peláez PJ, Palomar J M, et al. *Estimación analítica de pérdidas de captación debido a sombras en huertos solares con sistemas mecánicos de seguimiento.* Actas del XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar.Vigo. 2008. Vol. 2, p. 907-912. ISBN: 978-84-612-4470-6.
- [21] Kambezidis, HD, Psiloglou BE, Gueymard C. "Measurements and models for total irradiance on inclined surface in Athens, Greece", *Solar Energy.* 1994. Vol. 53 (2) p. 177-185.
- [22] Hay JE. "Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces", *Solar Energy.* 1979. Vol 23 p.301-307.
- [23] Costes de producción en el Olivar Jiennense. Diputación Provincial de Jaén. Turismo y Desarrollo Local Sostenible.
- [24] España. Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Boletín Oficial del Estado, 27 de marzo del 2004
- [25] España. Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Boletín Oficial del Estado, 26 de junio del 2007