



Universidad de Granada

**E.T.S. INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y
MEDIOAMBIENTAL EN LA OPTIMIZACIÓN DEL
CONSUMO ENERGÉTICO Y SOSTENIBILIDAD DE
UNA ALMAZARA PARA LA PRODUCCIÓN DE
ACEITE DE OLIVA VIRGEN EXTRA**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR PRESENTADA POR:

José Contreras Montes

DIRECTOR DE LA TESIS:

Dr. Ovidio Rabaza Castillo

Granada, 22 de octubre de 2.015

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: José Contreras Montes
ISBN: 978-84-9125-684-7
URI: <http://hdl.handle.net/10481/43297>





Título de la Tesis Doctoral

Estudio de la viabilidad técnica y medioambiental en la optimización del consumo energético y sostenibilidad de una Almazara para la producción de aceite de oliva virgen extra.

Director de la Tesis:

Fdo.: Dr. Ovidio Rabaza Castillo
Profesor Contratado Doctor
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Granada





El Doctorando, D. José Contreras Montes, y el director de la tesis, Dr. Ovidio Rabaza Castillo, perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Granada,

GARANTIZAMOS:

Que el trabajo ha sido realizado por el doctorando bajo la dirección del director de la tesis, y hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en la realización del trabajo, se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados y publicaciones.

Granada, 22 de octubre de 2.015

El Director de la Tesis
Fdo.: Dr. Ovidio Rabaza Castillo

El Doctorando
Fdo.: José Contreras Montes





Trabajo presentado para aspirar al grado de Doctor por la
Universidad de Granada

Fdo.: José Contreras Montes





El tribunal nombrado por la Magfca. Sra. Rectora de la Universidad de Granada:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura de la tesis, el día de de 2.016 en
Granada, acuerda otorgarle la calificación de.





Título de la Tesis Doctoral

Estudio de la viabilidad técnica y medioambiental en la optimización del consumo energético y sostenibilidad de una Almazara para la producción de aceite de oliva virgen extra.

Título Del Programa De Doctorado:

Seguridad, calidad y optimización de recursos en infraestructuras y su relación medioambiental

Doctorando:

José Contreras Montes

Director de la Tesis:

D. Ovidio Rabaza Castillo

Universidad de Granada. Departamento de Ingeniería Civil

Granada, 22 de octubre de 2.015





Agradecimientos

En el plano académico, quiero expresar mi agradecimiento a mi director de tesis, el doctor D. Ovidio Rabaza Castillo. Su disponibilidad incondicional hacia mí, como guía incansable en esta difícil tarea, junto con su paciencia y confianza, han sido fundamentales para conseguir este objetivo.

A nivel personal, quiero agradecer a mi esposa, Rosa, su comprensión, paciencia y dedicación en esta difícil pero feliz etapa de nuestra vida. De igual modo, quiero dedicar especialmente este trabajo a mis padres, Pepe y María del Carmen, principales impulsores del mismo ya que, desde niño, me han inculcado el valor del esfuerzo y la constancia. Y a mis dos hijos, Rosa y Pepe, por el tiempo robado a su educación y a sus juegos.

Sin todos ellos no hubiera sido posible realizar esta tesis doctoral.





Resumen

En los últimos años, debido al incremento de los precios del petróleo y de las emisiones de gas del efecto invernadero, se están recomendando las energías renovables como fuentes de energía para diferentes tipos de instalaciones o industrias. La Comisión Europea, para el periodo de 2.010 a 2.020, ha establecido tres objetivos clave relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad energética, que son la reducción de las emisiones de CO₂, el incremento del uso de las energías renovables y el aumento de la eficiencia energética. Un sector clave es la producción de aceite de oliva en las almazaras, donde existe una gran oportunidad de reducir el consumo eléctrico, con grandes beneficios adicionales asociados a la reducción de tecnologías perjudiciales para el medioambiente, y de costes en el mantenimiento de los mismos. Por esta razón, el presente trabajo investiga y compara la viabilidad técnica y medioambiental de las almazaras alimentadas por fuentes de energías renovables, como es la energía solar fotovoltaica conectada a red en Andalucía, comunidad autónoma situada en el sur de España.

Esta región tiene una enorme dependencia energética, pero con una gran cantidad de recursos “verdes” y/o agrícolas para poder ser utilizados. La viabilidad en la sostenibilidad de estos sistemas de energía renovable, se va a estudiar teniendo en cuenta el coste, la generación de energía, la generación de emisiones de CO₂ y la fracción renovable.

Como resultado de ello, en el presente estudio se ha obtenido una reducción en el gasto de energía eléctrica en las almazaras de entre 2% y 37%, y un aumento en el uso de energía renovable entre 2% y 26%. Estos resultados dependen fundamentalmente de la capacidad de producción de aceite de oliva de los diferentes tipos de almazaras, que se han establecido como pequeñas con una producción menor de 1.000 toneladas, medianas con una producción entre 1.000 - 5.000 toneladas y grandes con una producción superior a 5.000 toneladas.





Abstract

In recent years, due to the rise in petroleum prices and greenhouse gas emissions, renewable energy has been recommended as a power source for different types of facilities. For the period 2010 to 2020 the European Commission has established three key objectives related to climatic change and energy sustainability, such as reductions of CO₂ emissions, increases in the use of renewable energy and improvements in energy efficiency. A key industry is olive oil production in olive mills, where there is a great opportunity to reduce electricity consumption, increase additional profits related to the reduction of technologies that are harmful to the environment and to cut back maintenance costs. For this reason, a feasibility study of grid-connected PV systems has been carried out for different types of olive mills in Andalusia (southern Spain).

This region is highly energy dependent, but has an abundance of “green” resources to be exploited. Sustainability viability of these renewable energy systems, will be studied taking into account the cost, power generation, the generation of CO₂ emissions and renewable fraction.

The results of this study contemplate a reduction in spending on electrical power of between 2% and 37%, and an increase in the use of renewable energy of between 2% and 26%. These results depend mainly on the capacity of olive oil production of different types of mills, which have established themselves as small with less output of 1,000 tons, medium with a production between 1000-5000 tons and large with a production above-5,000 tons.





Lista de figuras

Figura. 1 Media del consumo de energía eléctrica de las almazaras en función de su clasificación.....	28
Figura.2: Evolución de la producción de aceite de oliva en España, Italia y Grecia desde año 1990-2011 [16].....	52
Figura 3: Relación España-Andalucía en referencia a la evolución de la producción de aceite de oliva entre 1997-2.010 [16].	53
Figura. 4: Evolución de los precios de aceite de oliva virgen extra en España, Italia y Grecia entre los años 1.992-2.010 [17].	54
Figura 5: Relación precios-consumo de aceite de oliva en España entre los años 1992-2.010 [17].	57
Figura. 6: Consumo de aceites de oliva vírgenes respecto al aceite de oliva total en Andalucía durante la campaña 2008-2.009 [16].	57
Figura 7: Localización de Andalucía resaltada en el Sur de España [18].	62
Figura 8: índice global diario de radiación solar y claridad en Andalucía implementado en el programa HOMER	63
Figura 9: Ajuste básico de cargas y fuentes en HOMER.	89
Figura 10: Cuadro de tarifas implementado en HOMER.	91
Figura 11: Esquema de la instalación fotovoltaica conectada a la red y las diferencias entre el autoconsumo y la medición neta [31].	94
Figura 12: Comparación entre las emisiones de CO2 equivalente en almazaras alimentadas con instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red y sin energías renovables de acuerdo con la política de medición.	98



Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de las almazaras en base a su producción. Consumo eléctrico de las almazaras en base a cada grupo [10].	26
Tabla 2. Clasificación de las almazaras en base a la relación consumo eléctrico-producción [10] (años 2.007-2.009).	27
Tabla 3. Rasgos básicos del olivar: SUPERFICIE	34
Tabla 4. Rasgos básicos del olivar: PRODUCCIÓN	35
Tabla 5. Estructura de las explotaciones olivareras andaluzas	35
Tabla 6. Coste del sistema fotovoltaico y características	90
Tabla 7. Precio de la energía de la red eléctrica.	92
Tabla 8. Precio de Demanda.	92
Tabla 9. Factor de emisión de CO2 equivalente.	92
Tabla 10. Energía.	93
Tabla 11. Valor Neto Actual (NPC)	96
Tabla 12. Coste de la Energía (COE)	96
Tabla 13. Porcentaje Energía Renovable.	97
Tabla 14. Consumo eléctrico anual	97
Tabla 15. CO2 Equivalente para energía eléctrica de red y para instalación fotovoltaica conectada a la red	98
Tabla 16. Precio de la electricidad por tonelada de aceite de oliva producido (año 2014).	99



Índice General

1. INTRODUCCIÓN.....	23
1.1 EL CULTIVO DEL OLIVO Y ESTRUCTURAS DE PRODUCCIÓN.....	28
<i>1.1.1 El cultivo del olivo.</i>	<i>28</i>
<i>1.1.2 Estructuras de Producción.....</i>	<i>34</i>
1.2 EL ACEITE DE OLIVA.....	36
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA VIRGEN.....	38
<i>1.3.1 Introducción.....</i>	<i>38</i>
<i>1.3.2 Esquema del proceso de producción.....</i>	<i>41</i>
<i>1.3.3 Descripción del proceso productivo</i>	<i>42</i>
<i>1.3.4 Descripción energética del proceso productivo.</i>	<i>49</i>
1.4 EL MERCADO DEL ACEITE DE OLIVA.....	52
<i>1.4.1 Estudio del precio del aceite de Oliva.</i>	<i>53</i>
<i>1.4.2 Estudio del consumo del aceite de Oliva.....</i>	<i>55</i>
<i>1.4.3 Estudio de la relación establecida entre el precio y consumo.....</i>	<i>56</i>
<i>1.4.4 Conclusiones.....</i>	<i>58</i>
1.5 SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE.....	60
<i>1.5.1 Instalación de energía solar fotovoltaica conectada a la red.....</i>	<i>63</i>
2. OJETIVOS.....	85
3. METODOLOGÍA.....	87
3.1 MODELO DEL SISTEMA.....	88
3.2 ECONOMÍA	89
3.3 MÓDULO FOTOVOLTAICO	89
3.4 ENTRADA DE LA RED.	91
3.5 VALORACIÓN DEL CO2 EQUIVALENTE.....	92
4. RESULTADOS.....	93
4.1 IMPACTO ECONÓMICO.....	95
4.2 SOSTENIBILIDAD E IMPACTO AMBIENTAL.....	96



4.3	IMPACTO EN EL MERCADO	99
5.	CONCLUSIONES.	101
6.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	103
7.	BIBLIOGRAFÍA.	104
APENDICE A: PUBLICACIONES CIENTÍFICAS EN REVISTAS INDEXADAS		
	EN JCR.	109
APENDICE A: PUBLICACIONES CIENTÍFICAS EN REVISTAS NO		
	INDEXADAS EN JCR.	110
APENDICE A: CONTRIBUCIONES PRESENTADAS EN CONGRESOS		
	INTERNACIONALES.	111



1. INTRODUCCIÓN.

Es una realidad, que actualmente el desarrollo de nuestra sociedad está conduciendo a un aumento continuo y constante de la demanda energética. En esta situación de crecimiento, una gran cantidad de países están adoptando distintas estrategias para conseguir armonizar su nivel de desarrollo, con el respeto por el medio ambiente. En España, el uso de energías renovables y de biomasa como fuente sostenible de energía primaria, se está situando como una alternativa viable para las empresas, aunque no única, destinada a reducir, tanto nuestra dependencia de otras fuentes de energía, como el volumen de residuos generado por la actividad agrícola.

En los últimos años, debido al alza de los precios del petróleo y de las emisiones de gas, se están aconsejando las energías renovables como fuentes de alimentación para distintos tipos de infraestructuras, y por ello, desde el año 2010 hasta el año 2020, la Comisión Europea ha establecido tres objetivos claves relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad energética, como son la reducción de emisiones de CO₂, el aumento del uso de energías renovables y el aumento de la eficiencia energética.

La producción de electricidad, de calor o de biocombustibles a partir de fuentes de energías renovables se ha convertido en una prioridad alta en las estrategias de política energética a nivel nacional y mundial [1]. Desde la década de los 90, la energía solar fotovoltaica (PV) se ha considerado una opción tecnológicamente importante para la generación de electricidad de forma ambientalmente sostenible [2], pero la evolución durante los primeros años del siglo XXI ha sido exponencial: Se ha pasado de 1,6 GW de PV de capacidad instalada en el año 2.000 a 138,9 GW en 2013 [3]. En Europa, la energía solar fotovoltaica cubre el 3% de la demanda de electricidad y el 6% de la demanda máxima de electricidad. Se ha llegado a la máxima capacidad instalada por año en 2.010, (22.250 MW/año) y disminuyendo en 2.012 (17.726 MW/año) y 2013 (10.975 MW/año), aunque de acuerdo con las previsiones de la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica, la capacidad instalada anual se verá incrementada en los próximos años, estimando que alcanzará en 2.018 entre 8.290 MW/año (peores previones) y 17.185 MW/año (mejores previsiones).



Actualmente la energía fotovoltaica es una de las fuentes de energía renovable más utilizada en el sector de la agricultura con diversas aplicaciones [4,5], como son los sistemas de bombeo de agua para riego, o la producción de electricidad en el sector agroalimentario [6,7], aunque de momento no está siendo utilizada en las almazaras para la producción de aceite de oliva.

Es muy importante el sector de producción de aceite de oliva en Europa, ya que ésta produce aproximadamente el 73% de la producción mundial [8], estando repartida por la Cuenca del Mediterráneo, concretamente en España, Italia, Portugal, Francia, Chipre, Eslovenia y Malta. Según datos disponibles del año 2.010, el 50% de las plantaciones de olivar están situadas en España, el 26% en Italia y el 22% en Grecia [9], siendo España donde se produce aproximadamente entre el 62- 66% de la totalidad de aceite de oliva europea comercializado internacionalmente. En el año 2.011, el 45% de la producción fue comercializada en Europa, siendo España el mayor productor e Italia el mayor comprador, dentro de la Unión Europea. Entre el año 2.010 y 2.011 las exportaciones a países fuera de la eurozona fueron de 447.000 toneladas, de las cuales España vendió aproximadamente 225.000 toneladas e Italia 160.000 toneladas, siendo Estados Unidos, Brasil, Japón, Australia, Rusia y China los países que más aceite de oliva importaron [9]. Como podemos ver a raíz de estos datos, esta industria agroalimentaria es muy importante para los países del sur de Europa, y en particular para España como máximo productor de aceite de oliva.

Un sector clave en Andalucía (España), son las fábricas de aceite o almazaras, donde existe una gran oportunidad de reducir el consumo eléctrico, con grandes beneficios adicionales asociados a la reducción de tecnologías perjudiciales para el medioambiente y de costes en el mantenimiento de los mismos. Por esta razón, el presente trabajo investiga y compara la viabilidad técnica y medioambiental de las almazaras alimentadas por distintas fuentes de energías renovables, como son la energía solar fotovoltaica, la biomasa o mixtas, conectadas a red en Andalucía. Esta región, tiene una enorme dependencia energética, pero con una gran cantidad de recursos “verdes” y/o agrícolas para poder ser utilizados. La viabilidad en la sostenibilidad de estos sistemas de energía renovable, se va a estudiar teniendo en cuenta el coste, la generación de energía, la generación de emisiones de CO₂ y la fracción renovable.



Con respecto al precio de aceite de oliva, éste ha tocado techo desde hace varios años, y es muy importante para la rentabilidad del sector reducir el coste de producción del aceite de oliva, por lo tanto es necesario enfocar el esfuerzo en la reducción del consumo de energía, uno de los costes más importantes en esta industria Agroalimentaria. Por lo tanto, la optimización o minimización del consumo de energía en las almazaras se ha convertido en una prioridad entre las preocupaciones de los responsables de su gestión.

Además, hay un interés común relacionado con la contratación de energía para este tipo de instalaciones ya que la mayoría de la producción se hace sólo para un período de cuatro o cinco meses (de diciembre a abril normalmente). Las instalaciones y los contratos de suministro eléctrico han sido diseñados para cumplir con estos picos de consumo, por lo que las instalaciones están "sobredimensionadas", lo que implica costes innecesarios el resto del año.

A pesar de que las almazaras son instalaciones simples que invitan a pensar que sólo hay unos pocos puntos en los que podemos actuar, este trabajo demuestra que es posible reducir el consumo de energía de fuentes tradicionales (combustible, red eléctrica, etc.) con la ayuda de las fuentes renovables, obteniendo resultados similares en la producción a menor coste.

Tal como demostraremos, el uso de energías renovables es la mejor solución para reducir el coste de la energía y las emisiones de CO₂ equivalente a la atmósfera, sin embargo no todas las fuentes renovables son adecuadas para este fin. De acuerdo a las condiciones climáticas en el sur de Europa, un tipo de sistema ha sido analizado; la energía solar.

La investigación desarrollada en este artículo está basada totalmente en los datos obtenidos de un estudio realizado por la Federación Andaluza de Empresas Cooperativas Agrarias (FAECA) [10], donde se analizaron los consumos energéticos reales y de producción de 87 Almazaras, quedando estas almazaras clasificadas en tres grandes grupos en función de la producción de aceite de oliva, tal como se puede ver en la Tabla 1.



Tabla 1. Clasificación de las almazaras en base a su producción. Consumo eléctrico de las almazaras en base a cada grupo [10].

Clasificación Almazaras	Total producción (Tn)	Consumo eléctrico (kWh)
Pequeñas	< 1000	92.000
Medianas	[1000, 5000]	435.000
Grandes	> 5000	922.500

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la viabilidad de este sistema, lo que demuestra que el paradigma de la paridad de la red es posible y rentable, y contribuir a futuros estudios en otros países, que es la tendencia en la política de la Unión Europea. Determinaremos si la energía que consumen las pequeñas, medianas y grandes almazaras en Andalucía, puede ser económicamente satisfecha por las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red. El estudio también ayudará a la comprensión del uso de las energías renovables en las actividades comerciales, como la industria agroalimentaria. Además vamos a investigar el potencial de la energía solar de la región, presentando un modelo de carga de las almazaras, junto con el análisis de los patrones de radiación solar de Andalucía, donde las condiciones climáticas son similares en toda la cuenca mediterránea y hay otras regiones importantes productoras de aceite de oliva.

La energía consumida por las almazaras se puede dividir en dos tipos: eléctrica y térmica, donde la primera es suministrada por la red eléctrica, y se consume en las etapas de limpieza de aceituna (transportadores, ventiladores, lavadoras, motores, etc...) y obtención de aceite (molinos, batidoras, centrífugas, etc...), y la segunda, se utiliza para calentar tanto el agua necesaria en las centrifugas, como el agua que mantiene la temperatura de la batidora, alrededor de 30°C, además de la temperatura ambiente de la bodega, entre 15°C y 20°C. Habitualmente, el agua se calienta a través de una caldera, que tradicionalmente utilizaba combustibles fósiles como es el diesel, mientras que en la actualidad consumen biomasa como fuente de energía.

Además de las fases que afectan directamente al proceso de la producción de aceite de oliva, hay otras instalaciones que requieren electricidad para el funcionamiento, tales como oficinas, iluminación y aire acondicionado.

El consumo medio de energía de las diferentes Almazaras de acuerdo con su producción se muestra en la Tabla 1.



Obviamente, como se aprecia en la Tabla 1, el consumo de energía depende de la producción de Aceite de Oliva, por tanto, conociendo la producción media anual y el consumo eléctrico de las almazaras estudiadas [10], se ha podido representar en la tabla 2, el consumo eléctrico por tonelada de aceite de oliva para cada uno de los tres grandes grupos de almazaras previamente definidos:

Tabla 2. Clasificación de las almazaras en base a la relación consumo eléctrico-producción [10] (años 2.007-2.009).

Clasificación almazaras	Consumo eléctrico/Total producción (Kwh/t)	Coste eléctrico/Total producción (€/t)
Pequeña	177.11	26.75
Media	194.55	21.26
Grande	131.55	15.48

Como era de esperar, las almazaras clasificadas como grandes son las más eficientes ya que presentan menores valores específicos de consumo. Es de suponer, que este tipo de almazaras han sido, en su mayoría, resultado de reciente construcción o ampliación, y por lo tanto cuentan con tecnologías más modernas y eficientes.

Por el contrario, el hecho de que la relación del coste por producción sea más elevado en las almazaras pequeñas, puede ser debido a que los costes fijos de producción son similares a los de una almazara mediana, y sin embargo se repercuten sobre una menor producción de aceite.

Con los datos mostrados en las tablas anteriores y los recursos disponibles, podemos desarrollar un modelo que nos permitirá dimensionar el sistema energético de las almazaras utilizando energías renovables, con el objetivo de maximizar la sostenibilidad de este sector de la industria agroalimentaria.

La temporalidad caracteriza a este sector agro-alimentario porque depende directamente de la climatología. Como consecuencia de ello, los consumos energéticos a lo largo del año no son constantes. De las almazaras auditadas por FAECA [10] se obtuvieron

los consumos energéticos a lo largo de un año. Estos datos se muestran en la Figura 1, donde se puede observar claramente la temporalidad de dichos consumos.

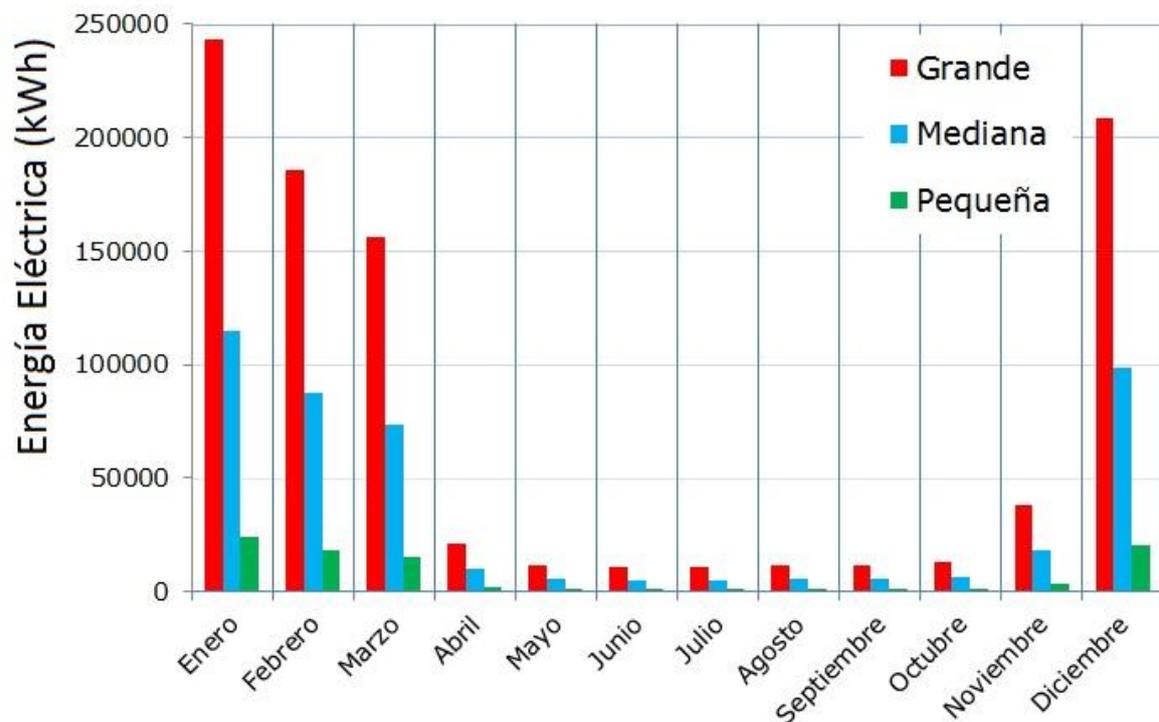


Figura. 1 Media del consumo de energía eléctrica de las almazaras en función de su clasificación.

Como se puede observar en la figura 1, el consumo eléctrico llega a su nivel más alto entre los meses de diciembre y marzo. Dado que la aceituna es un producto perecedero, coincide la temporada de recogida de la cosecha con la de producción de aceite. Durante el resto del año, el único consumo eléctrico existente en la almazara se corresponde con las tareas de envasado y el trabajo de oficina.

1.1 El cultivo del olivo y estructuras de producción.

1.1.1 El cultivo del olivo.

El olivo es una especie propia de la cuenca mediterránea, longevo, de unas dimensiones que pueden alcanzar hasta los 15 m. de altura, de copa ancha, tronco grueso, y de hoja perenne, de 2 a 8 cm. de longitud [11,12].



El olivo pertenece a la familia de las Oleaceae y su nombre científico es *Olea europea*. El origen del olivo es incierto, aunque según las diversas teorías proviene de Siria e Irán, del norte de Afganistán o bien en otra establece que viene de ambas zonas. En lo que sí coinciden las teorías es en que fueron los fenicios los primeros que adaptaron al olivo como cultivo productivo.

El olivo es un árbol perennifolio que puede alcanzar alturas considerables, como ya hemos comentado alturas de hasta 15 m., aunque se prefiere en formas bajas, para la explotación agrícola, ya que de esta forma se puede recolectar mejor la aceituna.

La base del tronco se llama peana y su sistema radicular consta de raíz pivotante que se ramifica mucho. Sus hojas son lanceoladas, decusadas y coriáceas, con flores masculinas con distintos grados de desarrollo del pistilo. Es una especie andromónica, lo que le confiere un carácter particular, donde lo que puede condicionar es la falta de agua. Posteriormente a la floración, en los días o semanas siguientes, se origina la caída de flores y de frutos de tamaño pequeño, de forma que el cuajado es de aproximadamente entre 1 o 2% [11], aunque depende mucho de la climatología que se da en esta época del año, pues un calor o frío excesivo puede disminuir considerablemente el cuajado de los frutos, haciendo que sufra el olivo y que la cosecha sean muy bajas. Debido a que es una especie anemófila, su polinización se realiza a través del viento, siendo parcialmente autocompatible. Es recomendable por los expertos que la polinización sea cruzada y que se sitúen los polinizadores, aunque las plantaciones monovarietales suelen ser la norma.

El fruto o aceituna, es una drupa de color vinoso negro al madurar y alto contenido energético, del que se obtiene a través de diversos procesos el aceite de oliva. Está constituida por cuatro partes que son: epicarpio (tejido exterior-piel), mesocarpio o pulpa, endocarpio o hueso y en último lugar la semilla o almendra. Unos márgenes aceptables de la composición de la misma serán entorno a un 15-25% de aceite (la mayor cantidad se encuentra en el mesocarpio), un 40-60% de agua de vegetación, y de un 20 a 35% de hueso y tejidos vegetales [13].

El olivo es una especie adaptada al terreno en climas mediterráneos, que al ser de fácil cultivo se ha instalado en terrenos todo tipo de lugares, desde más productivos a menos, con mayor o menor pendiente, etc... Es un cultivo que no tolera temperaturas menores de -10°C [11] y no suele presentar problemas de heladas, con excepción de años



en los que la climatología es especialmente dura o de variedades que se producen antes de temporada, en las que el fruto sufre daños.

Es un árbol que necesita pocas horas de frío y muchas de calor, habitualmente entre la brotación y la floración transcurren de 3 a 4 meses, y de la floración hasta la recolección, de 6 a 7 meses. Los elementos meteorológicos que más afectan son las temperaturas elevadas durante la floración los vientos secos, lo que suele producir el aborto ovárico generalizado, donde no cuaja el fruto y por consiguiente reduciéndose, considerablemente la producción.

Queda sobradamente contrastado que el olivo es muy resistente a la sequía, dada la climatología de las zonas sobre las que están habitualmente plantados, aunque el óptimo de precipitaciones se sitúa en torno a los 650 mm [11] bien repartidos. Por ello, se ha introducido el cultivo del olivar en regadío, para suplir estas carencias de agua y poder obtener cosechas más regulares. Cuando se dice que el olivo es un cultivo fácil es también debido a que resistente a los suelos calizos, aunque existen diferencias en función del tipo de variedad de aceituna. Suele ser muy tolerante a la salinidad y es un árbol que busca mucho la luz, de forma que una ausencia de ésta disminuye la formación de flores o induce a que las que se formen no puedan producir fruto.

Actualmente en España, se cultivan aproximadamente 25 variedades de aceituna, pero solo unas cuantas tienen importancia debido a su volumen de plantación. Existen numerosas variedades locales y comarcales que pueden clasificarse en dos categorías, variedades de aceituna para producción aceite y variedades de aceituna de mesa.

Las principales variedades son: picual, hojiblanca, lechín de Sevilla, manzanilla de Sevilla, picudo, lechín de Granada, verdial de Huelva, Gordal Sevillana, Verdial de Velez Málaga, aloreña, empeltre, cornicabra, castellana, manzanilla cacereña, arbequina, Farga, morrut, Sevillana-Cataluña, morisca, verdial de Badajoz, sevillenca, blanqueta, villalonga [11,12].

Entre el grupo de variedades de mesa destacan la Manzanilla Sevilla, quizá la más conocida y distribuida en todo el mundo, muy productiva con buena relación entre la pulpa y hueso, apenas sin adherencia, y la Gordal Sevillana, cuyos frutos son de grandes dimensiones, pero en contrapartida de pobre calidad.



Las variedades para aceite más empleadas son las siguientes:

- **Picual.** Variedad más representativa de la región. La planta es de porte vigoroso y cultivo sencillo. Extraordinaria por su rendimiento graso, teniendo rendimientos de entre el 22% al 25% en función de las zonas, y por su contenido en ácido oleico, que supera el 75% [11,12]. Relación pulpa-hueso es de 5,6, su rápida entrada en producción, su floración se realiza en mayo y su maduración en función de la climatología del año suele ser en noviembre, y su fácil mecanización durante la recolección. Esta planta es muy susceptible a *Verticillium*, propensa al repilo, a la cochinilla, a la mosca, pero tolerante a la tuberculosis. Produce un aceite muy estable, con un ligero sabor amargo, que si bien es un inconveniente frente a otros aceites más afrutados, es un aspecto positivo puesto que estos componentes solo los que le confieren la estabilidad frente a la oxidación. Por este motivo es un aceite susceptible de ser mezclado con otros de distintas características, aunque es muy consumido y apreciado en las zonas en las que se produce.
- **Hojiblanca.** Después de la variedad picual y la cornicabra, es la variedad de mayor relevancia en España. Variedad con doble vertiente, por un lado se utiliza como variedad de mesa y por otro para almazara, producción de aceite, aunque no tiene un gran rendimiento graso. La planta tiene un porte medio alto, con copas de densidad media, que se debe controlar mediante la poda puesto que puede alcanzar gran tamaño por sus largas ramas. Tiene alta resistencia al desprendimiento del fruto, lo que dificulta su recolección, teniendo su floración a principios de mayo y su maduración para cosechar a finales de noviembre. Tiene una alta tolerancia al frío y a suelos de tipo calizos, susceptible al repilo, tuberculosos de la mosca y de la verticilosis. Fruto de tamaño aceptable, con una relación pulpa-hueso elevada, sobre 7,9, con un rendimiento graso medio bajo, sobre un 17%, dependiendo de la zona, y alto contenido oleico, sobre un 76% [11,12]. Aceite muy valorado por sus características organolépticas, color dorado o verdoso, dependiendo de la zona productora, afrutado, ligero amargor y picante en garganta.
- **Cornicabra o cornezuolo.** Es la segunda variedad con más hectáreas plantadas, aunque es la tercera a nivel de producción. Planta de porte medios, con una buena adaptación a suelos pobres y zonas extremas por frío o heladas. La característica



fundamental de fruto y por la que suele reconocer es por su forma alargada, asimétrica y algo curva, con maduración tardía, con un rendimiento graso de entre el 19% al 22%, un contenido en ácido oleico del 77% [11,12] aproximadamente y con una relación pulpa-hueso de 5. Tiene muy mal comportamiento frente a las principales plagas y enfermedades. Aceite de alta calidad por sus características organolépticas, color amarillo oro, afrutado y equilibrio entre el dulce, amargo y picante.

- **Arbequina.** Es una variedad que se está extendiendo mucho en los últimos años, es originaria de Cataluña, debido a la buena calidad de los aceites que producen y de las reducidas dimensiones de la planta, lo que permite altas densidades de plantación, y por consiguiente altas producciones por hectárea. Hoy en día es la variedad utilizada para las plantaciones de olivar superintensivo. Es un árbol de porte reducido. Que se adapta con facilidad a los terrenos escasos de nutrientes, aunque no se desarrolla bien en terrenos calizos. Una característica importante es que tiene una rápida entrada en producción, cuando el resto de variedad habitualmente la inician entorno al 4 o 5 año, esta variedad a partir del 3 año empieza un aumento exponencial de la producción, con un rendimiento graso de entre 20% al 22%, un contenido de ácido oleico del 66% [11,12] y relación pulpa-hueso de 4,5, todo ello la hace ser una variedad más rentable. Su floración se inicia en mayo, maduración a partir de octubre, por lo que habitualmente se puede cosechar a mediados de noviembre. Es una variedad resistente al repilo, a la verticilosis, a la mosca y a la cochinilla. Muy buena calidad de aceite; de color amarillo verdoso, olor fresco y afrutado, sabor afrutado, levemente dulce, algo amargo y un poco de picor.
- **Picudo.** Planta de buen porte, alta densidad de copa, que se adaptan bien a terreno calizos, tolerante al frío y al tener buena capacidad germinativa, se emplea como polinizadora de otras variedades. Fruto con una relación pulpa-hueso de 6,3, con un rendimiento graso de entre el 19% al 24%, un contenido en ácido oleico del 63% [11,12], es muy sensible al repilo La maduración del fruto se da entre noviembre y diciembre, aprovechándose además de cómo variedad productora de aceite, como



aceituna de mesa. Aceite susceptible ante la oxidación, por lo que puede ser mas perecedero, color amarillo verdoso, afrutado, dulce, con un ligero toque amargo.

El olivar tiene unas necesidades hídricas determinadas, que hacen que por debajo de los 800 mm de precipitación, el riego sea necesario si quiere rentabilizar el olivar con unas producciones adecuada. El sistema más adecuado y habitual en las plantaciones de olivar es el riego localizado por goteo, con unas aportaciones de agua de entre 1.800-1.900 litros por olivo y año [11,12], repartidos durante los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, cuyo riego va en función de las precipitaciones mensuales, complementando la falta de agua con el riego hasta la cantidad necesaria, puesto que una cantidad superior de riego no incrementaría la producción. Cada agricultor debe realizar los riegos en función de la zona en la que se encuentre, de forma que la aportación de agua al olivo sea a la adecuada, para ello debe tener en cuenta la climatología del año en concreto.

Habitualmente se realiza un abonado nitrogenado, en forma de urea al 4% y en proporciones de 0,5 a 1 Kg por planta, que pueden aportarse vía foliar para estandarizar la aplicación. También se realiza un abonado potásico cuya respuesta es más tardía y donde se suelen aportar entre 300 y 400 g por planta [11].

En el olivar tradicional de secano, las explotaciones de olivar tienen marcos de plantación muy amplios, donde la densidad media de plantación es de entorno a 72 olivos por hectárea, aunque actualmente se están intensificando las plantaciones gracias al riego y a las nuevas técnicas de cultivos, dando lugar en la actualidad plantaciones de olivar intensivos, marco 5 x 5 m., con una densidad media de unos 400 árboles/Ha [11], y superintensivos, marco 4 x 1,8 m., con una densidad media de unos 1.320 árboles/Ha.

El fundamental la poda en el olivo, puesto que es una de las actuaciones principales para obtener una adecuada cosecha para el año siguiente. La formación del olivar tradicional de secano se ha realizado desde siempre a 3 o 4 pies por planta [11], sin embargo en la actualidad, para disminuir los costes de recolección se tiende a la plantación a un solo pie por árbol, de forma que se facilita mucho la recolección y por consiguiente disminuyendo los costes del cultivo. Es muy importante la poda de regeneración, que se realiza de forma bianual, estando muy desaconsejadas por los expertos las podas severas.



El olivo es una especie que alterna la producción en función de los años, por lo que cuando tiene una abundante cosecha, le precede a otra con escasa floración, es decir a una escasa cosecha, a lo que se denomina vecería del olivo.

Se lleva estudiando desde hace muchos años las posibles soluciones a la vecería y los expertos en la materia aconsejan para evitarla una reducción de la cantidad de frutos o aceitunas, realizando una poda el año anterior al que se estima se tendrá una alta cosecha, que se realice el aclareo intenso de los frutos recién cuajados y que se realice una recolección temprana. Otra acción que atenúa la vecería es dotando a la plantación de olivar de riego por goteo, lo que hace que se regularicen las cosechas de unos años a otros, y aunque atenúa la vecería no la elimina, ya que está siempre presente en el olivo.

1.1.2 Estructuras de Producción.

El cultivo del olivo es indispensable en Andalucía para contribuir al asentamiento de la población rural, contribuyendo a frenar su éxodo, tanto por la cantidad de explotaciones familiares, que obtienen de este tipo de explotación agrícola una parte importante de su renta, como por la cantidad de empleo que su recolección genera, lo que provoca que incluso otras personas de distintos lugares vengan a la región.

Tabla 3. Rasgos básicos del olivar: SUPERFICIE

ESPAÑA		ANDALUCIA		GRANADA	
Has	% *	Has	%*	Has	%*
2.100.000	100	1.300.000	62	168.000	8

* Porcentaje sobre el total nacional ** Porcentaje sobre el total provincial

El olivo ocupa, con más de 2.100.000 Has aproximadamente, el 12% de la superficie cultivada en España. En Andalucía, con más de 1.300.000 Has, aproximadamente el 60% del olivar nacional, está considerado como cultivo básico, ocupando el 30% de la superficie cultivada y estando presente, en mayor o menor medida, en todas las provincias de esta comunidad autónoma.



Tabla 4. Rasgos básicos del olivar: PRODUCCIÓN

	ESPAÑA		ANDALUCIA		GRANADA	
	Miles Tm	%*	Miles Tm	%*	Miles Tm	%*
Aceituna almazara	4.554,60	100	3.767,60	83	488.000	10,7
Producción aceite	921,7	100	754,1	82	95.000	10,3

* Porcentaje sobre el total nacional ** Porcentaje sobre el total provincial

La distribución de las plantaciones de olivar en Andalucía, en base a su tamaño, nos indican que el 90% de las explotaciones de olivar tienen menos de 10 Has, que el tamaño medio es de 4,9 Has, que la explotación más frecuente es de 1,79 Has y que el tamaño correspondiente al 50% de la superficie de olivar es de 14,3 Has.

Tabla 5. Estructura de las explotaciones olivareras andaluzas

Tamaño (Has) de explotación	Nº explotaciones	% Sobre total explotaciones	Superficie que ocupan	% Sobre el total superficie
0 a 1	84.174	31,1	48.350	3,7
1 a 5	131.320	48,6	320.603	24,5
5 a 10	30.253	11,2	216.566	16,6
10 a 15	9.710	3,6	120.826	9,2
15 a 25	7.081	2,6	146.135	11,2
25 a 40	3.690	1,4	118.218	9
mas 40	4.038	1,5	336.798	28,8
TOTAL	270.266	100	1.307.497	100

Como se puede observar de los resultados de las tablas expuestas, existen una gran cantidad de explotaciones pequeñas y escasas explotaciones de grandes dimensiones. Por el contrario, las explotaciones de olivar inferiores a 5 Has., aunque son una mayor cantidad, ocupan una menor superficie labrada que las superiores a 100 Has. Por lo que podemos concluir que existe una concentración de tierras en pocas explotaciones y una concentración de explotaciones en pocas tierras.



El estudio de la distribución de superficies entre explotaciones, nos advierte que la mayoría de las plantaciones de olivar poseen un tamaño insuficiente para que sean viables económicamente, lo que se acentúa más aún en una región dónde la gran mayoría de estas plantaciones son de olivar tradicional de secano, con marcos de plantación muy amplios, con altos costes de recolección y con producciones medias. Es de vital importancia la transformación de este tipo de plantaciones tradicionales y/o su sistema de explotación para que puedan ser económicamente rentables.

1.2 El aceite de oliva.

Las almazaras son un tipo de industria agroalimentaria, que partiendo de la aceituna como materia prima, producen aceite de oliva, el cual en base a sus características se puede clasificar como aceite de oliva virgen extra, aceite de oliva virgen y el aceite de oliva (mezcla del aceite de oliva lampante y aceite de oliva virgen).

A partir del los orujos que se generan en las almazaras se obtiene el aceite de orujo, pero éste se produce en otro tipo de industrias extractoras, que recogen este subproducto de la propia almazara para llevarlo a sus instalaciones y poder extraer, a través de procesos físico-químicos, el aceite residual en el orujo.

También cabe reseñar la industria del aderezo, que como en las almazaras, parten de la aceituna como materia prima, aunque en este caso se dedican a la producción de aceituna de mesa.

Los requisitos que debe cumplir un aceite de oliva para su comercialización están basados en el Reglamento de ejecución (UE) nº 1348/2013 de 16 de diciembre de 2013 que modifica al Reglamento (CEE) nº 2568/91 del 11 de julio de 1991, relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis.

En este Reglamento se define el aceite de oliva virgen, como aquel que se obtiene del fruto del olivo, únicamente por procedimientos mecánicos u otros procedimientos físicos aplicados en condiciones, especialmente térmicas, que no produzcan la alteración del producto, y que no hayan tenido otro tratamiento que el lavado, la decantación, la centrifugación y el filtrado [14,15]. Dentro de esta tipología de aceites y en base a las



características organolépticas y de acidez del mismo, se pueden establecer dos categorías [14,15] :

1. Aceite de oliva virgen extra: aquel cuya acidez es inferior a 0,8%, no representa defecto organoléptico y es el de mayor calidad al conservar todas las características del fruto.
2. Aceite de oliva virgen: aquel que por una serie de defectos en las características organolépticas del aceite, en el color, olor o sabor, debidos a la propia aceituna o al proceso de producción, hacen que la calidad de este aceite no sea óptima. El grado de acidez de este aceite es superior a 0,8% e inferior a 2%.

Además de estos aceites de primerísima calidad, también se puede producir el aceite lampante, que a diferencia de los anteriores que son aptos para el consumo, esta categoría de aceite agrupa aquellos que no son aptos para el consumo de la forma en que se obtienen, ya que, por causa de su sabor, olor y/o alto índice de acidez, este aceite debe ser refinado en industrias extractoras para ser consumido. El refinado del aceite consiste en una serie de procesos físico-químicos, como la decoloración, la desodorización, etc..., que produce la pérdida de casi todas las propiedades y características organolépticas del aceite. Este aceite resultante es el que una vez mezclado en una determinada proporción con el aceite de oliva virgen se denomina como aceite de oliva, cuyo nivel de acidez no debe superar el 1,0% [14,15].

Por último, y como se ha descrito anteriormente, el denominado aceite de orujo se produce en otro tipo de fábricas extractoras, a partir del los orujos que proceden de las almazaras. Este aceite de orujo producido se subdivide en las categorías de: aceite de orujo de oliva crudo, que se destina a refino con vistas al consumo humano o a usos técnicos, aceite de orujo de oliva refinado, y aceite de orujo de oliva, formado por una mezcla de aceite de orujo de oliva refinado y de aceite de oliva virgen aptos para el consumo en la forma en que se obtienen (en ningún caso debe denominarse aceite de oliva).

Es importante saber que la acidez de un aceite de oliva nos informa sobre la cantidad de ácidos grasos libres que están presentes en el aceite. La diferencia de grado de acidez entre un aceite de oliva y otro reside principalmente en el estado de la aceituna antes de la



elaboración del aceite, debido a que la liberación de ácidos grasos se incrementa conforme se deteriora la aceituna, bien puede ser por golpes durante la recolección o el almacenaje en las tolvas de recepción o espera, o bien por enfermedades o plagas existentes en el fruto. También afecta el punto de madurez del fruto en el momento de su recolección, así como el tiempo de almacenaje antes de su procesado.

En las almazaras además de la producción de aceite de oliva, se generan una serie de de subproductos que describimos a continuación:

- Orujo, que se obtiene en las almazaras con un proceso de extracción basado en la centrifugación de tres fases.
- Alperujo, que se obtiene en las almazaras con un proceso de extracción basado en la centrifugación 2 fases, tal y como se va a estudiar en el presente trabajo, dado que en la actualidad es el tipo de proceso más utilizado en almazaras, estando en desuso el de 3 fases.
- Hueso de aceituna, subproducto obtenido por la separación pulpa-hueso de orujos o alperujos. Al tener un alto poder calorífico se utiliza como biomasa en las propias calderas de las almazaras para producir el agua caliente que se utilizará en los procesos, calefacción en bodega, etc..
- Orujillo que es el subproducto obtenido tras el secado y extracción del aceite de orujos o alperujos, que se produce en otro tipo de industria extractora. Al igual que el hueso de aceituna, debido a su poder calorífico también se utiliza en las calderas como biomasa.

1.3 Descripción del proceso de producción de aceite de oliva virgen.

1.3.1 Introducción.

En esta parte del trabajo quedan reflejadas todas y cada una de las actuaciones realizadas sobre el fruto, la aceituna, desde su recolección hasta la extracción y almacenamiento del aceite obtenido de ellos.



El proceso de extracción de aceite actualmente más habitual en las Almazaras es el sistema continuo, denominado ecológico o de dos fases, siendo toda la maquinaria soporte de acero inoxidable con lo que se consigue aceite virgen de gran calidad. La pasta homogeneizada es tratada en los decanters horizontales de donde resultan las dos fases que dan nombre genérico al sistema de extracción. Al final del proceso de extracción obtendremos, por un lado aceite y por otro alperujo.

La aceituna es transportada hasta la almazara por los propios agricultores, donde una vez en la almazara, se vuelca en la tolva de recepción, procediéndose a la limpieza y lavado del fruto, y posteriormente a su pesado. Las aguas sucias de lavado de aceituna se envían al depósito de evaporación, previa decantación. La aceituna es transportada mediante cintas hacia las tolvas aéreas de almacenamiento, antes de entrada al molino, dedicándose unas tolvas a la aceituna procedente del vuelo, que tendrá prioridad en el procesado al ser de mayor calidad, y otras a la aceituna del suelo, de menor calidad, y que nunca se mezcla con la de vuelo, para poder obtener la máxima calidad de los aceites. De las tolvas pasa al molino donde el fruto es triturado y mediante sinfín elevador o bomba de masa, pasa a la termobatidora donde se homogeneizara la masa de aceituna a temperatura controlada.

Una vez terminado el proceso del batido, la masa se inyecta en el decanter horizontal, y por acción de las fuerzas centrifugas, se forman dos anillos hidráulicos por diferencia de densidad (aceite y alpeorujo), donde el último, sale del recipiente que los contiene por el mismo orificio, mientras que el aceite lo hace por otro orificio independiente. Por un lado, obtendremos aceite, que continúa su procesado en la almazara, y por otro alpeorujo (alpechín y orujo que es la piel, pulpa y hueso mezclados). En circunstancias normales se trabaja en dos pasadas, extrayendo en la primera el mejor aceite, incluso por variedades (dependiendo de las producidas en la zona), a baja temperatura (muy importante para obtener la máxima calidad del aceite), y en la segunda agotando las masas a temperatura elevada, donde se produce un aceite de menor calidad. Cuando se concentran en exceso las entregas de aceituna por parte de los agricultores, o surgen averías inesperadas, puede suceder que se trabaje en una sola pasada.

El aceite de oliva virgen es enviado a un tamiz vibratorio para eliminar impurezas, siendo posteriormente bombeado a los depósitos de decantación, donde permanece 24 horas sometido a sangrados automáticos, para seguir eliminando sólidos o restos que



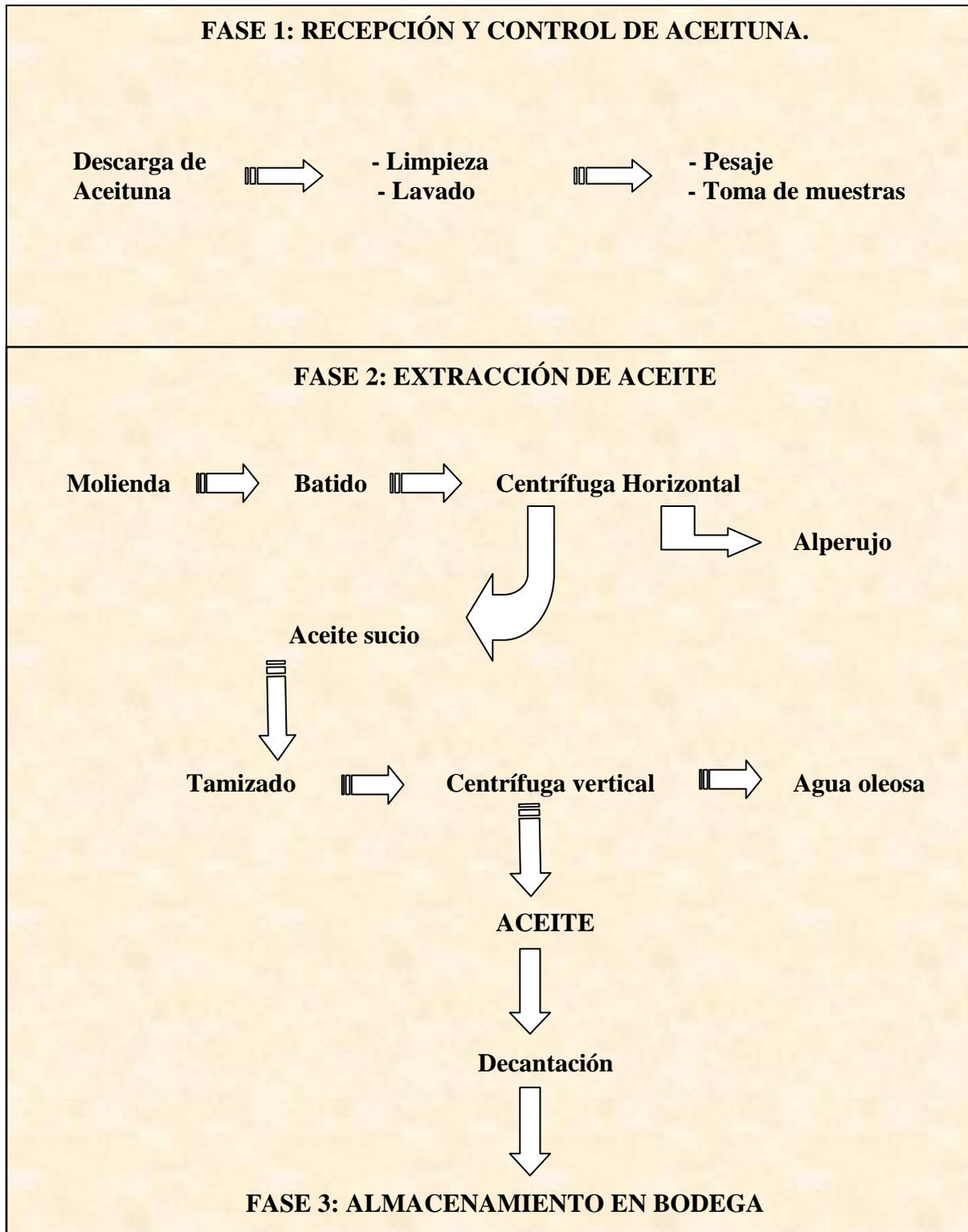
quedan en el aceite. Este sistema de procesado no genera efluentes o alpechines ya que no se añade agua de lavado de aceites y las aguas castradas en los depósitos de decantación, se reenvían a la termobatidora. El aceite ya limpio se puede almacenar en los depósitos, donde permanecerá hasta su envasado y posterior comercialización.

No se producen prácticamente alpechín o efluentes de proceso, ya que el que contiene la aceituna pasa al orujo y al no lavar o limpiar el aceite, no se generan aguas de lavado de aceite en las centrifugas verticales. Únicamente se limpia en centrifuga el aceite de castración de los depósitos de bodega, pero esta cantidad es insignificante, y estos efluentes se incorporan a los orujos. Los orujos procedentes de los sistemas de dos fases son muy acuosos, al contener las jámilas que antiguamente eran separadas y vertidas a las balsas preparadas al efecto. El destino de estos orujos es actualmente el almacenaje en tolvas y su traslado a la industria extractora de aceite de orujo, donde es agotado de su contenido graso mediante métodos físico-químicos [12].



1.3.2 Esquema del proceso de producción

El proceso descrito en este anejo queda como sigue gráficamente [12]:





1.3.3 Descripción del proceso productivo

La aceituna recogida en el día se traslada directamente a la almazara, no sufriendo en el campo manipulación alguna. Ya en la fábrica, experimenta distintas fases en su proceso de elaboración, donde la primera es la recepción y control de la aceituna [12], que consiste en:

- Recepción de la aceituna en tolvas de acero inoxidable, donde de los remolques llenos de aceituna se descargan.
- La limpieza de la aceituna se realiza mediante la ventilación, donde se eliminan las hojas y tallos, y el cribado que es la retirada de piedras de diámetro superior a la aceituna, así como los palos que ésta trae.
- Se realiza el lavado de la aceituna por flotación se separan piedras y barro.
- Posteriormente se realizar la toma de muestras. Con un molinete se extraen de la cinta transportadora que va a báscula, dos muestras representativas de la partida de aceituna que se ha recepcionado.
- A través de una pesadora continua, se controla la entrada de cada partida, quedando reflejada en el correspondiente tickets que adquiere el interesado.
- La báscula tiene un sistema de bypass que permite separar aceituna de suelo y de vuelo o bien por variedades.
- Por último la aceituna llega a las tolvas de espera o almacenamiento, donde permanece la aceituna no más de 24 h, hasta su procesado.

La segunda fase es el proceso de extracción de aceite de oliva [12] de las aceitunas, ha sido considerado desde la antigüedad un arte, que durante siglos los maestros de almazara han sabido desarrollar adaptándose a los medios y a las circunstancias de cada momento e implantando mejoras técnicas que se han ido desarrollando.

Es un proceso complejo por la variabilidad de la propia aceituna, que incluso siendo de una misma variedad y zona, cada día, cada semana, puede variar en cuanto a su contenido de agua, aceite y pulpa, cambiando el proceso a desarrollar de en la extracción y dificultando muchas veces este proceso.



El sistema de extracción actual consta de tres pasos bien diferenciados. El primero es la preparación de la pasta de aceituna, que incluye la molienda y el batido de la misma. El segundo es la separación de las partes sólida y líquida, en la que se separan del aceite las partículas sólidas y la humedad de que contiene después del decanter, proceso que se lleva a cabo en la centrífuga vertical. Existen otras etapas auxiliares y/o complementarias que tienen lugar durante el proceso como son el almacenamiento de la aceituna, transporte de la masa y del aceite, etc..

Según diversos estudios, dentro de la pasta obtenida en la molienda podemos encontrar tres formas de aceite; la primera llamada aceite suelto o “mosto suelto”, separado de la pasta de aceituna sin apenas presión; en segundo lugar, el aceite normal o “mosto normal” que se genera cuando se separa la pasta cuando se somete a un proceso de filtrado, presión o centrifugación, ya que se encuentra en la masa, pero no está totalmente separado de ésta, y es el que mayor cantidad de aceite presenta. Y por último y en tercer lugar está el aceite ocluido, que es la parte del aceite normal que no se separa de la pasta de aceituna tras un proceso de presión o centrifugación.

Este proceso de extracción se lleva a cabo en la zona de la fábrica denominada como ALMAZARA, que da nombre a este tipo de industria. Se compone de las siguientes etapas:

Molienda:

Este proceso de preparación de la pasta es considerado como la etapa de mayor importancia, que consta de dos pasos complementarios y bien diferenciados, la molienda y el batido. Desde el punto de vista técnico, la preparación de la pasta se considera desde el inicio de la molienda de la aceituna hasta el momento en el que se inyecta la pata en el decanter. Las características organolépticas del aceite, así como la cantidad o volátiles dependerán directamente del tipo de molienda efectuada. El cometido de este proceso es romper la estructura de la aceituna, liberando el aceite existente en la vacuolas del mesocarpio, originando la pasta de la aceituna, que está compuesta por dos partes sólidas, pulpa y hueso, y dos partes líquidas, aceite y aguas vegetales.

Durante la molienda al romperse las membranas de las células que componen la aceituna, se van dejando libres los glóbulos de aceite, y estos a su vez van formando gotas de aceite de mayor o menor dimensión, y que quedan mezcladas con el agua de vegetación



o alpechín y con residuos de agua de tratamientos anteriores, como el lavado de la aceituna o el agua de adición.

Hay varios parámetros para controlar la molienda, importantes aunque en ocasiones incompatibles tecnológicamente. Los más destacados son los siguientes:

- Tipo de molino y material de construcción del mismo.
- Uniformidad y grado de la molienda, para conseguir trozos de aceituna de igual tamaño, fino y así obtener una mayor efectividad durante el batido.
- Intentar evitar durante el proceso la oxidación de la pasta y que no repercuta de forma negativa en las características organolépticas de la misma.
- Impedir en lo posible la incorporación de trazas metálicas de la maquinaria de proceso.
- Prevenir el calentamiento de la pasta debido al rozamiento generado por la alta velocidad del rotor del molino con el contacto de la aceituna.
- Evitar la formación de emulsiones, para ello se debe controlar la adición de agua, la excesiva aireación en el molido, aumento de temperatura, tiempo de molido, velocidad de rotación, molienda muy fina, permanencia de la pasta en el molino, etc..

En resumen, se producirá una pérdida en la calidad del aceite si la velocidad de rotación es muy alta lo que genera aumento de temperatura en la pasta de aceituna. La excesiva exposición al aire que origina rancidez. La alta relación superficie-pasta que da lugar a pérdidas en los aromas. Incorporar impurezas causa alteraciones en el color y sabor del aceite. Por último, no controlar el grado de molienda da origen a pastas difíciles para la extracción de aceite [12].

Batido:

La operación de batido tiene la función de formar una fase oleosa continua, fomentando la formación de gotas dispersas de aceite en la pasta. Esta fase consiste en un removido lento y constante de la pasta de aceituna, que se realiza en unos depósitos de acero inoxidable con un sistema de calentamiento por doble camisa, es decir un doble depósito alrededor del mismo con agua caliente a una determinada temperatura, que se traslada a la pasta. La finalidad del batido es facilitar la reunión de las minúsculas gotas de aceite en gotas de un mayor diámetro, lo que permite el inicio de la formación del aceite.



Debido a este sistema que aúna movimiento, tiempo y temperatura, se consigue que una fase oleosa continua se separe del resto de los componentes de la pasta, que debe realizarse sin llegar a generar emulsiones y papillas que no permitan la extracción es posteriores procesos.

Para alcanzar este objetivo el proceso se basa en un movimiento lento de la pasta para provocar la formación de las gotas de aceite, aportar a la masa de una temperatura adecuada para disminuir la viscosidad del aceite y que las gotas se desplacen con una mayor facilidad y realizarlo en un tiempo determinado para que se pueda dar lugar a lo expuesto.

Los parámetros fundamentales del batido son:

- Tiempo de batido. Un exceso del tiempo da lugar a la disminución de los polifenoles y componentes volátiles y por consiguiente reduce la estabilidad del aceite. Un menor tiempo del adecuado puede ser insuficiente para la formación de gotas de aceite. Lo habitual es 90 minutos aunque puede variar dependiendo de la variedad de aceituna, momento de recogida, etc...
- Velocidad de giro del batido. Se produce la misma problemática que la descrita en el tiempo de batido. Generalmente la velocidad de batido suele oscilar entre 15-30 rpm.
- Temperatura. Es un parámetro de vital importancia que pretende la calidad y el rendimiento de obtención de aceite. Si se aumenta la temperatura de batido con respecto a la normal, 28-30°C, se incrementa el agotamiento en el proceso, al disminuir la viscosidad del aceite, obteniendo una mayor cantidad de aceite, pero se corre el riesgo de perder los componentes volátiles, como los aromas, aumentar la formación de AGL-acidez del aceite y de peróxidos, lo que disminuye la estabilidad del aceite.

En resumen, a temperaturas y tiempos bajos mejoran la calidad y estabilidad, pero no la extracción de aceite. En cambio, a temperaturas y tiempos altos se aumenta la extracción de aceite pero decrece la calidad y la estabilidad. Por ello, es importante llegar a una temperatura y tiempo adecuados en función de las características de la aceituna sobre la que se esté trabajando [12].



Centrifugado: Extracción de aceite sólido-líquido:

Existen distintos sistemas de extracción de aceite, pero nos vamos a centrar en el sistema más implantado en la actualidad, que es el de centrifugación CONTINUA EN DOS FASES, que recibe el nombre al mantener las condiciones de trabajo, alimentación de pasta desde la batidora con un caudal continuo, y obtener en este proceso por una parte ALPEORUJO (orujo y alpechín) y por otra MOSTO (aceite con agua y partículas sólidas).

En este proceso, la centrifuga horizontal pone en rotación la masa batida inyectada desde la batidora, de forma que el aceite (de menor densidad que el agua, la piel, la pulpa y el hueso) forma un anillo central que tiene una salida independiente del resto en el decánter.

El equipo en si es un cilindro horizontal, ahusado por uno de sus extremos, que contiene en su interior un sinfín que se encarga de hacer entrar la pasta desde la batidora.

El decanter separa el aceite de la masa de aceituna aplicando la fuerza centrífuga, es decir, aprovechando la altísima velocidad de rotación y el diferente peso específico de las diversas fases a separar, tanto el aceite y como el alperujo. La fuerza centrífuga hace que el orujo mezclado con el agua de lavado, el llamado alperujo, se acumule en la parte ahusada del cilindro y de ahí, a través de una válvula, sale al exterior. La misma fuerza centrífuga arrastra el aceite al extremo opuesto debido al diferente peso específico de este. Desde el decanter el aceite pasa a la centrífuga vertical, previo paso por un tamiz que elimina las partículas sólidas del aceite obtenido [12].

Tamizado:

La función del tamiz es eliminar las partículas sólidas del aceite obtenido, evitando así la entrada de sólidos en la centrifuga vertical, mejorando y prolongando su eficacia.

Desde la centrifuga horizontal el aceite se encauza hacia un tamiz que realiza el primer filtrado y que además sirve de depósito para el traslado del aceite a la a la centrifuga vertical.

Los tamices habitualmente son vibratorios y deben ser limpiados con frecuencia para eliminar las impurezas de los orificios de las telas y que estén siempre libres [12].



Centrifugado vertical:

El aceite obtenido hasta el momento no se puede considerar acabado, puesto que suelen contener impurezas sólidas y líquidas. Por este motivo, previamente a su envío a la bodega es necesario que se realice el proceso de centrifugación vertical que elimina los "finos" (partículas de piel y hueso de la oliva), los restos de agua de vegetación y de lavado que pudieran quedar, y así obtener el aceite limpio y clarificado.

Las centrifugas verticales respecto al proceso antiguo de decantación ha conseguido, aparte de una disminución de la mano de obra y menor espacio ocupado en las almazaras, realizar la separación en el menor tiempo posible para evitar el contacto de las impurezas con el aceite, que merma la calidad del mismo.

La centrifuga vertical es un equipo de alta velocidad, funciona entre 5.500 – 7.000 rpm. aplicando un chorro de agua en el centro que por acción de la fuerza centrífuga atraviesa el anillo de aceite exterior, y que consigue eliminar del aceite partículas de cualquier especie o separar líquidos de distinta densidad, que en este caso es el agua que se ha ido añadiendo durante el proceso (se añade entre un 5-10% de agua a una temperatura que no debe sobrepasar los 30-35°C), además de los restos de agua de vegetación y de lavado que pudieran quedar [12].

Decantación:

Antes del envío del aceite a bodega es aconsejable su almacenamiento en unos depósitos previos que permitan además de decantar el aceite, evaluar la calidad del mismo. Se debe controlar la acidez, parámetros de calidad y analizar las características organolépticas (olor, color y sabor) para clasificar el aceite en lotes y poder distribuirlos correctamente a depósitos seleccionados en la bodega.

Se denomina decantación a dejar el aceite obtenido en reposo en unos depósitos para que por acción de la gravedad y de las diferentes densidades del aceite y los líquidos de origen vegetal, el agua añadida incluso algunas partículas sólidas residuales, se depositen en el fondo cónico de los depósitos de decantación y puedan ser extraídos, dejando en la parte superior solamente el aceite [12].

Por último tenemos la fase diferenciada del almacenamiento en bodega [12], realizándose en un recinto de la fábrica dedicado exclusivamente para este fin. El aceite de oliva, al ser un producto perecedero pero que se consume todo el año, necesita ser



almacenado y mantenido en óptimas condiciones durante el tiempo necesario hasta su comercialización, por ello puede considerarse más una conservación que almacenamiento, ya que es necesario mantener las características que lo hacen ser un producto absolutamente natural y diferente al resto de grasas vegetales que lo hacen considerarse un zumo de fruta.

El aceite debe pasar, antes de su comercialización, por un período de maduración, evitando el contacto con la luz, calor, cambios de temperatura y el oxígeno, por lo que se almacena en depósitos aéreos y cilíndricos de acero inoxidable, habitualmente de 50.000 kilos por depósito, que se llenan en su totalidad y son purgados continuamente o inertizados con nitrógeno y otros gases no oxidantes para conservar el aceite en las mejores condiciones. Además periódicamente se le "castra" el agua y sólidos que han decantado y aún contenga, a través de un salida que poseen en el fondo.

Durante este tiempo, el aceite, correctamente almacenado, va perdiendo parte de su amargor. Los aceites elaborados por el sistema de dos fases son más amargos, picantes, etc., por lo que cuando se desee atenuar estos atributos, habrá que cuidar las condiciones térmicas de la bodega, manteniendo una temperatura de 20-22°C de forma permanente, para que el tiempo de maduración sea lo más corto posible, para evitar procesos oxidativos y mantener la viscosidad del aceite a niveles bajos, que faciliten la sedimentación de partículas y separación del agua. Asimismo, la bodega estará exenta de olores extraños con el fin de evitar la alteración de los caracteres sensoriales de los aceites almacenados.

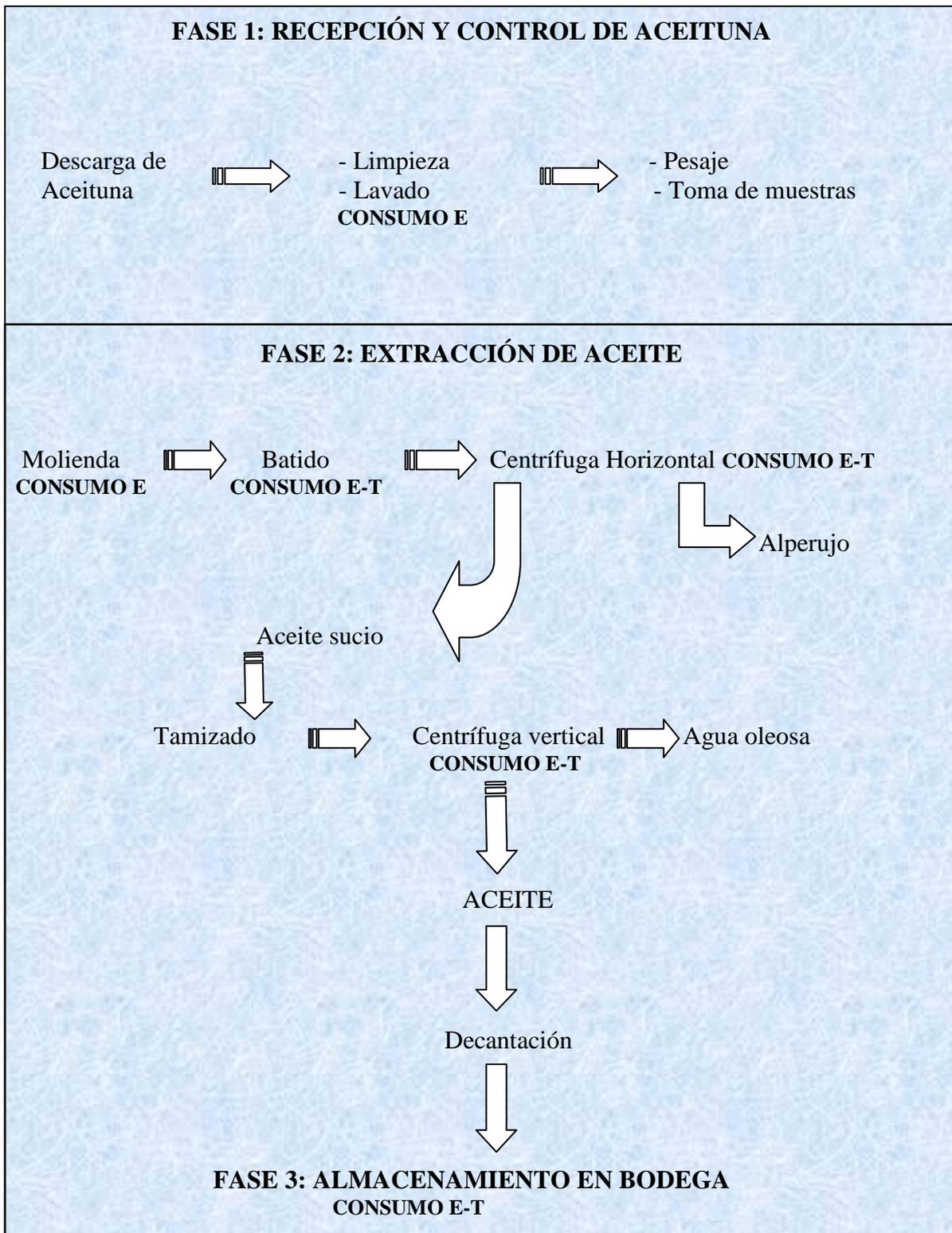
La bodega debe estar a unos 20 -22°C para mantener la viscosidad del aceite a niveles bajos, que faciliten la sedimentación de partículas y separación del agua [12].

Los factores que degradan el aceite son el tiempo, el oxígeno del aire, algunos metales, la luz y la temperatura. Por ello, una bodega debe estar independiente de la zona de almazara, tener un buen aislamiento térmico y sistema de climatización que evite las oscilaciones de temperatura y permita mantener una temperatura constante todo el año, estando recomendada una baja luminosidad natural.



1.3.4 Descripción energética del proceso productivo.

El proceso desde el punto de vista energético se puede describir gráficamente de la siguiente forma [10]:





En la gran mayoría de las almazaras, y uno de los motivos por los que se realiza el presente estudio, el consumo eléctrico procede del suministro general de la red eléctrica, donde el centro de transformación suministra la demanda de alumbrado y fuerza de la almazara. Tal y como se describe en el grafico anterior, los consumos eléctricos se encuentran fundamentalmente en las siguientes fases, dentro del proceso de producción de aceite:

- Fase de recepción y limpieza del fruto: consumo de los motores de cintas transportadoras, cribas, lavadoras, despalladoras, etc...
- Fase de molturación de la aceituna: consumo eléctrico del molino de martillos o discos.
- Fase de centrifugación de la masa de aceituna. Consumo eléctrico de motores para las bombas y centrífugas horizontales y verticales.
- Almacenamiento: consumo eléctrico de las bombas de trasiego de aceite de unos depósitos a otros.

Además del consumo de electricidad en la fase de proceso y almacenamiento de las almazaras, también se origina un consumo, aunque proporcionalmente es menor, aunque constante durante todo el año, en oficinas y administración, iluminación general de la fábrica, climatización, etc...

En resumen, las almazaras necesitan para su correcto funcionamiento de distintos tipo de suministros energéticos, como es la electricidad proveniente de la red de distribución de la compañía, que se utiliza para el funcionamiento de todos los motores de la industria, así como para las instalaciones auxiliares, alumbrado, etc., combustibles fósiles, habitualmente gasóleo, o biomasa que se consume en las calderas para la generación de calor necesaria en los procesos producción, en la calefacción de la zona de bodega y oficinas.

La producción de agua caliente mediante la caldera de biomasa, se destina a los consumos térmicos o necesidades de agua caliente, en distintas fases del proceso, como para mantener la temperatura de la masa en la batidora, o adición de agua en la centrifuga para ayudar a la extracción del aceite, o para que los aerotermos de la bodega mantengan una temperatura adecuada y constante en los meses de más frío.



Habitualmente para la obtención de la energía térmica se utilizan calderas de agua caliente mediante la utilización de biomasa, de orujillo o el hueso de aceituna, aunque en almazaras mas obsoletas se siguen utilizando sistemas de generación de energía térmica alimentados con gasóleo fundamentalmente, el motivo puede ser que no dispongan de medios para obtener el orujillo, o porque los gastos de transporte desde el punto de compra son muy altos

Según el centro de eficiencia de Unión Fenosa el combustible utilizado en las almazaras para generación de energía térmica fundamentalmente para calderas de agua caliente, se distribuye en un 57 % orujillo, 28% fuel, 8% leña, 5% electricidad y 2% hueso [10].

La distribución de potencias medias según las principales fases descritas que componen el proceso de producción de aceite: recepción, fabricación, almacenamiento y envasado es la siguiente [10]:

- Recepción: 805 KW lo que supone un 47,85% del total de potencia consumida.
- Molienda: 253 KW lo que supone un 15,03% del total de potencia consumida.
- Batido: 183 KW lo que supone un 10,86 % del total de potencia consumida.
- Centrifugación: 172 KW lo que supone un 10,20% del total de potencia consumida.
- Almacenamiento: 167 KW lo que supone un 9,94% del total de potencia consumida.
- Envasado: 67 KW lo que supone un 3,99% del total de potencia consumida.
- Oficinas, iluminación, etc.: 36 KW lo que supone un 2,13% del total de potencia consumida.

Se debe destacar a las calderas de agua caliente debido a que tienen una alta demanda energética, dado que además de los consumos térmicos suministrados por la biomasa o combustibles fósiles, se necesita un consumo eléctrico para que funcionen las bombas de impulsión de agua caliente [10].

1.4 El Mercado del Aceite de Oliva

Según datos de la última publicación de la Consejería de Agricultura para la campaña 2009/2010, la Unión europea es el principal productor de aceite de oliva en el mundo, con una producción de entre el 68% y el 87%, donde la segunda zona productora en importancia a nivel mundial se sitúa en países terceros de la Cuenca Mediterránea, produciendo aproximadamente el 23% de la producción mundial de aceite de oliva [16].

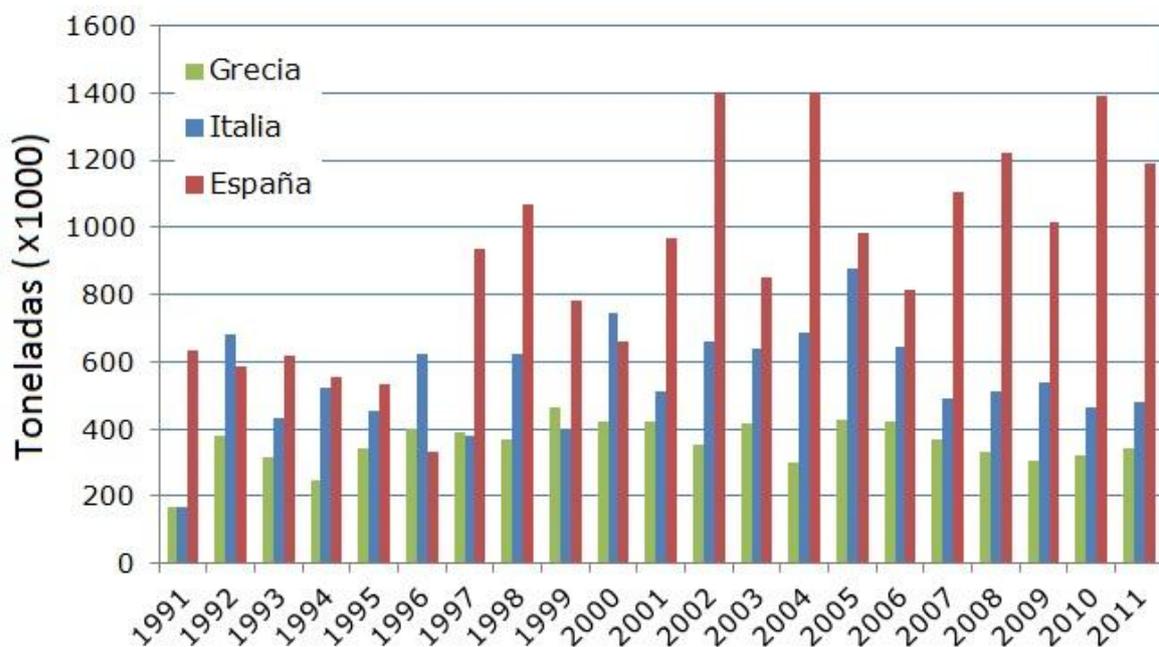


Figura.2: Evolución de la producción de aceite de oliva en España, Italia y Grecia desde año 1990-2011 [16]

La producción se ha ido incrementando, una vez pasado el periodo de sequía en los años 90, con diversas recaídas posteriores fundamentalmente en España, lo que ha afectado proporcionalmente a la producción de la Unión Europea debido a que somos el país con mayor cantidad de producción de aceite de oliva, según los estudios, en torno al 62% de la producción de la Unión Europea para la campaña 2009/10 [16]. Los siguientes productores en orden de importancia son Italia como segundo productor, seguido de Grecia.

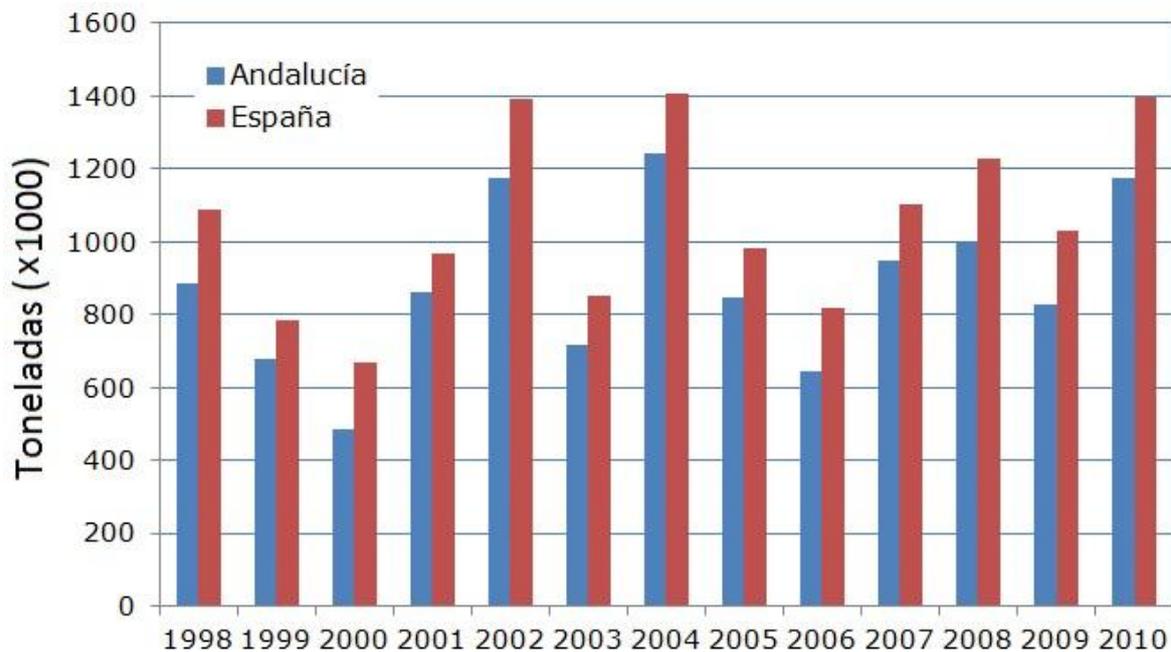


Figura 3: Relación España-Andalucía en referencia a la evolución de la producción de aceite de oliva entre 1997-2.010 [16].

Se puede observar en la figura 3 que la producción de aceite de oliva en Andalucía significa una proporción muy alta con respecto a la producción total española, con una proporción media del 82,2% entre las campañas 1997/98 y 2009/10 [16].

Según datos de la Agencia para el Aceite de Oliva (AAO), la producción de la campaña 2009/10 obtuvo en la región andaluza un 83,6% de la producción total española, siendo la proporción en la campaña 2008/09, de un 80,8% con respecto a la producción total española [16].

1.4.1 Estudio del precio del aceite de Oliva.

Si tomamos como referencia los años 90, conforme a datos de la Comisión Europea, el precio máximo medio anual del aceite de oliva virgen extra se obtuvo en 1995/96, que ascendió a 3,7 €/Kg de aceite [16], que entendemos se originó al coincidir con una producción mínima histórica, debido a la existencia de poco aceite en el mercado en ese año, se incrementaron los precios considerablemente. Algo parecido sucedió en 2005/06, en España e Italia, aunque a partir de la campaña 2006/07 cambió la tendencia, una bajada de los precios, que en los últimos años ha afectado mucho al sector, tanto industrial como

agrícola, ya que no han sido rentables los precios obtenidos. Como dato, y según la última publicación de la Consejería de Agricultura para la campaña 2009/2010, el precio medio para esta campaña incluyendo España, Italia y Grecia, estuvo alrededor de los 2,19 €/kg [16], que según estudios roza el precio umbral de rentabilidad del aceite de oliva.

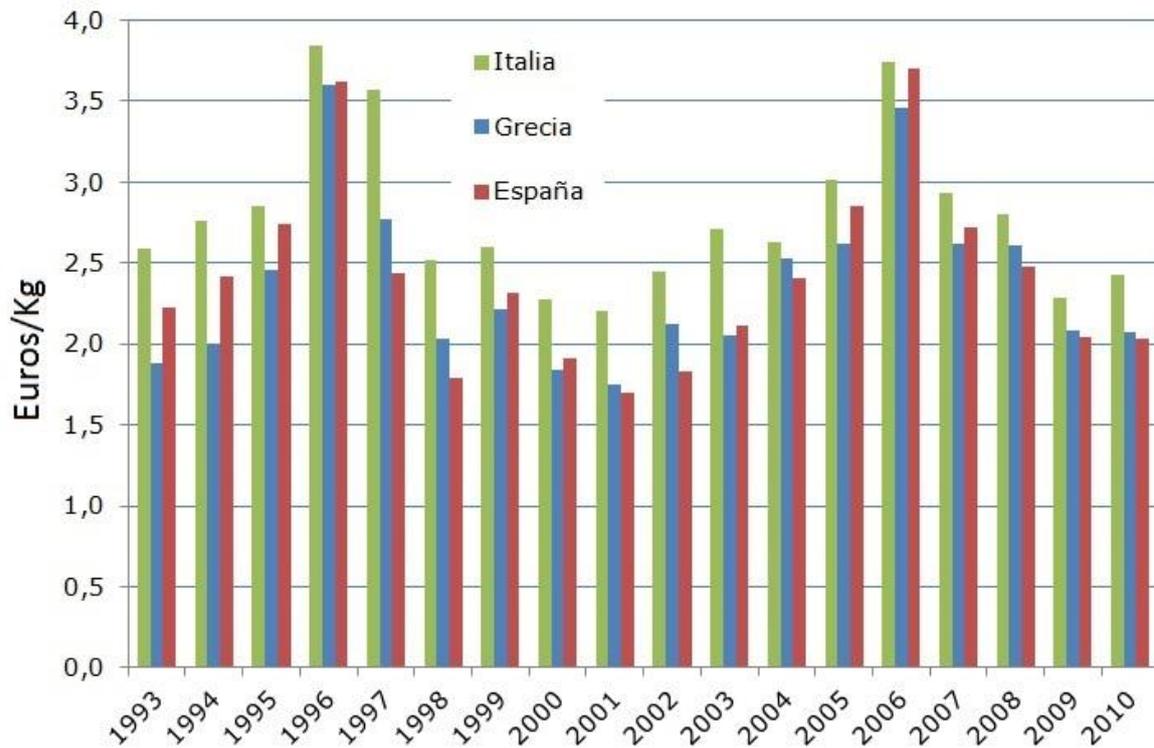


Figura. 4: Evolución de los precios de aceite de oliva virgen extra en España, Italia y Grecia entre los años 1.992-2.010 [17].

En base a los datos ofrecidos por el Sistema de Información de Precios en Origen del Mercado al Contado del Aceite de Oliva (Poolred), en España entre los años 2005 y 2010, se dieron las cotizaciones más altas y más bajas de este periodo, siendo la más alta en febrero de 2.006 con un precio por Kg. De aceite de 4,193 € y en contraposición el precio más bajo se dio en mayo del 2.009 llegando a 1,753 € por Kg. de aceite. Este precio se recuperó, llegando en octubre de 2010 a alcanzar 2,012 €/kg [16].

La campaña pasada 2.014-2.015 al tener una menor cosecha, volvieron a subir los precios del aceite de oliva, habiendo superado la barrera de los 3 €/kg. En España, a fecha de octubre de 2.015 según datos de ASAJA JAEN, el aceite de oliva virgen extra a 3,783 €/Kg, el aceite de oliva virgen a 3,35 €/Kg, el aceite de oliva lampante a 3,266 €/Kg, dado que finalmente, debido al calor durante la floración, este año de nuevo va a haber cosechas



bajas y poco aceite en el mercado, lo que está provocando precios superiores a los de años anteriores a 2.014.

1.4.2 Estudio del consumo del aceite de Oliva.

Es muy significativo el dato, de que el consumo mundial de aceite de oliva se incrementó un 72,4% entre los años 1.990 y 2.010 [16], siendo las campañas en las que hubo una gran disminución del consumo, las de 1995/96 y 2005/06, que se corresponden con un descenso en la producción, lo que significa que al haber una menor cosecha y por lo tanto mucha menos cantidad de aceite en el mercado, debido a la escasa oferta, los precios subieron haciendo que el consumidor se decantase por comprar otro tipo de aceites, como el de girasol, que tenían un precio inferior, lo que se tradujo en el descenso del consumo de aceite de oliva.

Se da una semejanza entre la evolución del consumo de aceite de oliva en la Unión Europea y en el resto del mundo, debido a que la Unión Europea representa aproximadamente el 64% del consumo. Después de ésta, son los países terceros del área mediterránea los que encabezan un mayor consumo de aceite de oliva, siguiéndole Estados Unidos en tercera posición en trascendencia como zona consumidora, siendo una país de una tremenda importancia para el sector, debido a que se encuentra en plena expansión, de hecho en la zona de california, oeste del país, se están realizando plantaciones de olivar, lo que está consolidando el producto en la región. En resumen, la Unión Europea, los países terceros del área mediterránea y Estados Unidos, concentran la mayor parte del consumo mundial, y más concretamente, para la campaña 2009/10 fue alrededor del 89% del consumo mundial de aceite de oliva [16]. La cantidad del consumo comunitario sobre el mundial está disminuyendo, y aunque ha habido un aumento de entorno al 50% entre los años 1.990 y 2.010 del consumo dentro de la Unión Europea, es un caso opuesto al de Estados Unidos, ya que como se ha comentado, es un país donde el cultivo del olivar y el consumo de aceite de oliva está en expansión, y donde el aumento del consumo dentro del periodo 1.990 a 2.010 fue del 193,2% [16].

Es importante destacar que los mayores consumidores de aceite de oliva son, Italia, España y Grecia, y donde nos encontramos como países extracomunitarios también



consumidores, además de EEUU y los países terceros del área Mediterránea, Australia, Brasil, Canadá y Japón, que lógicamente son mercados en expansión que las empresas españolas están intentando conquistar.

Dentro de la Unión Europea, los principales consumidores de aceite de oliva, clasificados en base a la cantidad consumida, son por orden Italia, España, Grecia y Francia.

Según datos del COI, el consumo en Italia ha alcanzado el 36,9% del consumo total en la Unión Europea para la campaña 2.009/2.010, cantidad que dista de su volumen de producción; lo que deja patente la cantidad de aceite que Italia compra a España para envasarlo, consumirlo y exportarlo. El consumo de España ha supuesto el 30,0% del consumo total de la Unión Europea, posteriormente se encuentra Grecia, con el 12,3% del consumo comunitario [16].

En cambio, en relación al a consumo per cápita, el dato más interesante lo presenta Grecia con 19,9 kg de aceite consumido por habitante en la campaña 2009/10. A continuación se encuentra en orden de importancia España con 12,0 de aceite consumido por habitante e Italia con 11,2 kg de aceite consumido por habitante [16].

1.4.3 Estudio de la relación establecida entre el precio y consumo.

Se ha estudiado que el mercado del aceite de oliva ha tenido en el tiempo ligeras fluctuaciones, y lo que queda sobradamente demostrado es que con niveles de precios elevados el consumo es muy sensible a éste parámetro y se resiente mucho, disminuyendo considerablemente el consumo de aceite de oliva en los hogares y en algunos casos sustituyéndolos por otros, como puede ser el aceite de girasol, que tiene precios más asequibles, aunque indudablemente un a peor calidad. Se está trabajando desde hace años en la información al consumidor de los beneficios del aceite de oliva, para que reconozcan en éstos, el motivo de unos precios superiores con respecto a otros aceites, aunque debemos de reconocer que el consumidor siempre se va a resentir en el consumo ante precios por encima de la media habitual, lo que se aprecia especialmente en las campañas 1.995-1.996 y 2.005-2.006 en las que hubo un incremento enorme de los precios, lo que ocasionó una caída importante del consumo en España Figura 5.

En el siguiente gráfico se puede observar la evolución del precio y del consumo del aceite de oliva en España, donde se comprueba todo lo expuesto con anterioridad.

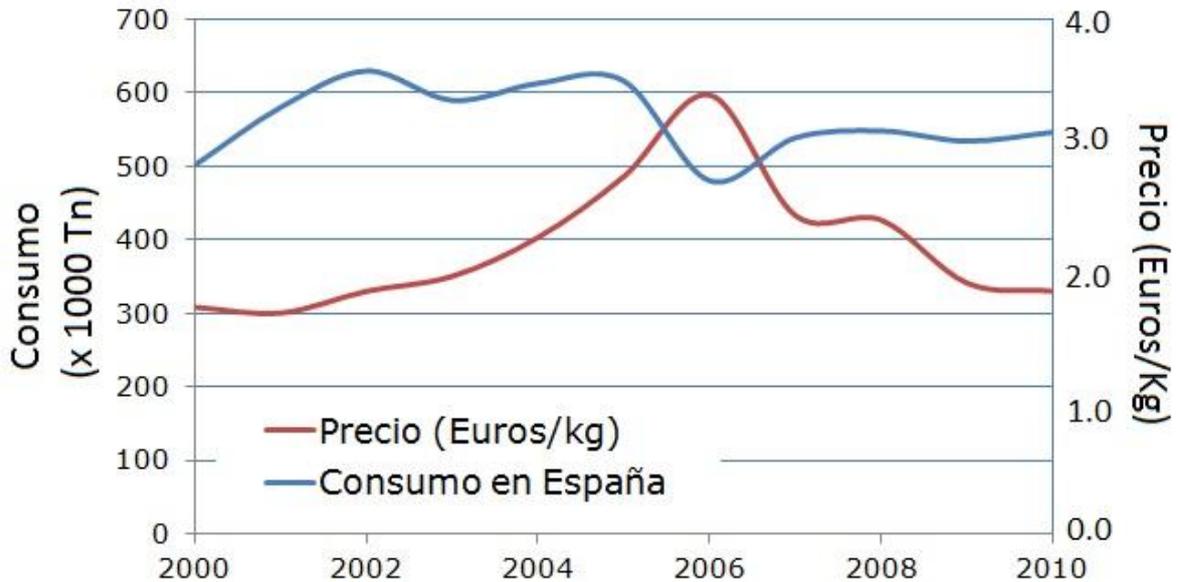


Figura 5: Relación precios-consumo de aceite de oliva en España entre los años 1992-2.010 [17].

En el siguiente gráfico se puede comprobar la importancia que representa el consumo de aceite de oliva virgen con respecto al consumo total de aceite de oliva.

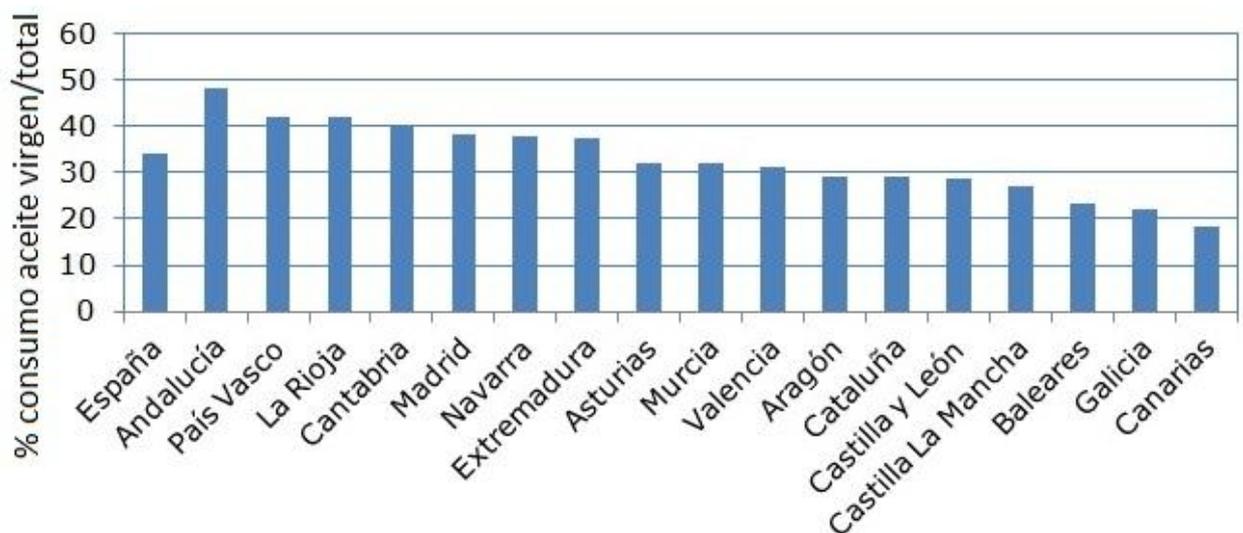


Figura. 6: Consumo de aceites de oliva vírgenes respecto al aceite de oliva total en Andalucía durante la campaña 2008-2.009 [16].



Hay estudios muy interesantes que reflejan que en España se da un mayor consumo en hogares en el primer y cuarto trimestre del año, en cambio el verano es la época del año con menor consumo de aceite de oliva. Sin embargo, es curioso destacar que el consumo de aceite de oliva virgen es más homogéneo a lo largo del año lo que nos hace pensar que este tipo de consumidor lo hace por un mayor conocimiento de las propiedades y beneficios del aceite de oliva virgen, o bien porque está situado en una región que por tradición está vinculada al sector.

Es importante destacar que en España, la mayor cantidad de aceite de oliva destinado al consumidor último es adquirido en hipermercados, supermercados, autoservicios y discounts, sin embargo tan solo se realiza sólo el 1,7% de las ventas en las tiendas tradicionales [16].

1.4.4 Conclusiones.

Es importante saber que la producción mundial de aceite de oliva ha aumentado en torno a un 108% en las últimas décadas, siendo la Unión Europea la principal productora mundial de aceite de oliva, representando entre el 68 y el 87% de la producción entre los años 1990-2010 [16].

Hay que destacar que los países de la unión Europea con una mayor producción de aceite de oliva son España, Italia y Grecia, predominando España como el país con una mayor producción.

Italia, España y Grecia evidencian un desarrollo parecido en cuanto a los precios de aceite de oliva virgen extra, siendo superiores los precios en Italia a los de España y Grecia, los cuales son más parecidos.

Andalucía ha alcanzado ratios de producción de un 80% de aceite de oliva sobre la producción nacional en diversas campañas, siendo la región española más productora de este bien. En la campaña 2009-2010 la producción española significó el 46,3% de la producción mundial, mientras que la producción andaluza supuso el 38,7% de la misma [16], lo que nos sitúa en una de las regiones más productora de aceite de oliva del mundo.

Durante la campaña 1995-1996 se tuvieron constancia de máximos valores en Italia, España y Grecia ocasionado por balances mínimos históricos de producción. A excepción



de la campaña 2005-2006, en la cual se volvieron a precios similares, los precios del aceite de oliva no han dejado de bajar, estando algunos años incluso por debajo del umbral de rentabilidad, lo que ha ocasionado un gran problema para el sector en general. En España, los últimos años se ha conseguido precios medianamente estables, aunque la campaña pasada 2014-2015 al tener una menor cosecha, volvieron a subir los precios del aceite de oliva.

En Italia, España y Grecia se valora de forma distinta los diferentes tipos de aceite de oliva, aceite de oliva virgen extra, aceite de oliva virgen, aceite de oliva (mezcla de aceite lampante y de aceite virgen), aceite de orujo, etc.. Si en Grecia e Italia el precio del aceite de oliva virgen extra es considerablemente superior al del aceite de oliva (mezcla de aceite lampante y de aceite virgen), en España aceite de oliva virgen extra es únicamente un poco superior al del aceite de oliva (mezcla de aceite lampante y de aceite virgen).

En España, en la campaña 2005 – 2006, se produjo un incremento del precio del aceite de oliva cercano al 63%, materializándose en un valor de 4,19 €/kg. Desde esa campaña se produce un descenso en el precio de entorno al 37,3%, aunque si bien es corto ha habido fluctuaciones en el mismo. El precio ha seguido disminuyendo de forma constante, hasta llegar en 2009 a 1,753 €/kg, muy por debajo del umbral de rentabilidad del producto y en 2010 a 2,060 €/kg [16].

La campaña pasada 2014-2015 al tener una menor cosecha, volvieron a subir los precios del aceite de oliva, habiendo superado la barrera de los 3 €/kg. En España, a fecha de octubre de 2015 según datos de ASAJA JAEN, el aceite de oliva virgen extra a 3,783 €/Kg, el aceite de oliva virgen a 3,35 €/Kg, el aceite de oliva lampante a 3,266 €/Kg, dado que finalmente, debido al calor durante la floración, este año de nuevo va a haber cosechas bajas y poco aceite en el mercado, lo que está provocando precios superiores a los de años anteriores a 2014.

Una buena noticia para el sector es que las exportaciones mundiales de aceite de oliva se incrementaron a lo largo de los años 1990 a 2010 en un 99,7%, en el cual, donde el aumento de las mismas en la Unión Europea fue del 190,8%. Las exportaciones extracomunitarias de aceite de oliva españolas, que se han generado entre los años 1990-2010 se han incrementado en un 219,1% [16], lo que ha supuesto un gran desarrollo del



sector. De estas exportaciones, una gran cantidad de las mismas son para países de la comunidad europea.

Con respecto a las exportaciones andaluzas, éstas han aumentado en un 101,6% a lo largo de las últimas once campañas anteriores al 2.010. Las exportaciones extracomunitarias andaluzas suponen en torno al 64,1% de las exportaciones extracomunitarias españolas, mientras las intracomunitarias representan el 70,0% [16], donde Italia es el mayor importador de aceite de oliva y el segundo es EE.UU.

Ha aumentado un 72,4% el consumo mundial de aceite de oliva en el periodo 1990-2010, estando por debajo el aumento experimentado en la Unión Europea siendo del 50,8% [16].

Dentro de la Unión Europea los estados que más consumen aceite de oliva son por orden Italia, España y Grecia, sin embargo, si basamos el estudio en el consumo per cápita, Grecia es el principal consumidor, seguida de España y por último Italia.

Es importante destacar, ya que es un país en expansión en el mercado de aceite de oliva, que EEUU es el principal consumidor fuera de la Unión Europea y el cuarto consumidor a nivel mundial después de Italia, España y Grecia, que a su vez son máximos productores.

Como es lógico y hemos explicado, en España se han dado a lo largo de los años variaciones en el número de consumidores en relación con los precios, descendiendo el consumo en años de precios altos, pues el consumidor final prefiere con altos precios consumir otro tipo de aceites más asequibles.

1.5 Sistemas de Energía Renovable.

Las energías renovables nos aportan soluciones alternativas para disminuir el consumo de combustibles fósiles y emisiones de CO₂ a la atmósfera, sin embargo, en el caso de almazaras, el número de este tipo de industria que consume energía procedentes de sistemas de energías renovables en España es prácticamente despreciable o nulo, debido fundamentalmente a los altos costes de inversión iniciales, a los costes de mantenimiento y a la propia demanda energética de las almazaras ya que éstas trabajan únicamente a pleno rendimiento produciendo aceite de oliva, entre 90 a 120 días al año.



En éste apartado se presenta una revisión de un posible sistema de energía renovable como es la energía solar fotovoltaica, que se puede utilizar para cubrir la demanda total energética de las almazaras en el periodo en el que éstas trabajan, y ser económicamente rentables, ya que pueden proporcionar a otros usuarios la energía que no consumen el resto del año.

El consumo energético de las almazaras se distribuye principalmente en procesos térmicos y en consumo eléctrico, por lo que serán necesarios sistemas de energías renovables que proporcionen directamente energía eléctrica y energía en forma de calor. En base a estas premisas, los tipos de energías renovables que vamos a estudiar, y que se adaptan perfectamente con las características geográficas de España, y más concretamente de Andalucía, son la biomasa y la energía solar.

De todos los sistemas de energías renovables existentes, la biomasa es la fuente que más contribuye a la infraestructura energética de Andalucía. Las cifras alcanzan el 6,3% del consumo total de energía primaria y el 78,7% del consumo de energías renovables. En 2.008, la aportación de la energía primaria a partir de biomasa fue de 40,5%, porcentaje superior al de 2007. El potencial de biomasa en Andalucía es muy alto, ya que casi todo el producto se obtienen directamente de los residuos de la agricultura, donde aproximadamente el 50% son residuos que provienen del cultivo del olivo, mientras que el resto se obtiene fundamentalmente de los cultivos de girasol, algodón y otros árboles frutales. En el año 2.007, de toda la biomasa generada por el olivar y el resto de cultivos descritos, se obtuvo la capacidad necesaria para generar el 5% del consumo de energía primaria de Andalucía [17].

Con la intención de poder analizar la viabilidad en las almazaras de estas fuentes de energía, y con el objetivo de hacer energéticamente autónomas a estas industrias agroalimentarias, se estudiarán almazaras con distintas capacidades de producción y lógicamente con distintos consumos energéticos, de forma que puedan quedar representadas todo el intervalo de almazaras existentes en nuestra región.

Andalucía cuenta con una superficie de unos 87.268 km², y se encuentra localizada en el sur de España, con unas coordenadas longitudinales y latitudinales de 37,38 N y 5,98 W (ver Figura 7), en una región de clima templado-cálido.



Figura 7: Localización de Andalucía resaltada en el Sur de España [18].

En general, tiene un clima mediterráneo con veranos secos, aunque está sujeta a lluvias torrenciales ocasionales, con temperaturas extremadamente elevadas. En el invierno, los anticiclones tropicales se mueven al sur, lo que permite que frentes polares fríos entren en la región. Sin embargo, dentro de Andalucía hay una considerable variedad climática: la precipitación anual en la zona más lluviosa supera 750 mm/año sin heladas (temperatura media anual de 18 a 19 °C) y en la zona sub-desértica la precipitación anual es inferior a 300 mm/año, por lo general en forma de lluvia torrencial, y hay temperaturas más extremas con una temperatura media anual de 17 a 21 °C [19]. La temperatura media en Andalucía durante todo el año es de más de 16 °C, donde el mes más frío es enero, con una temperatura media de 6,4 ° C y los meses más calurosos son julio y agosto con una temperatura media de 28,5 °C.

Para este estudio, los datos mensuales de radiación solar se han obtenido a partir National Renewable Energy Laboratory (NREL). El índice global diario de radiación y claridad horizontal del año se muestra en la Figura 3. La radiación solar global horizontal varía entre 2,2 kWh/m²/día a 7,6 kWh/m²/día, con un valor medio anual a escala de 4,9 kWh/m²/día. La radiación solar es mayor de abril a septiembre que de octubre a marzo.

Con la aplicación de software utilizada en este estudio (programa HOMER), el índice de claridad se determina automáticamente cuando los datos de radiación diaria se utilizan como datos de entrada [20].

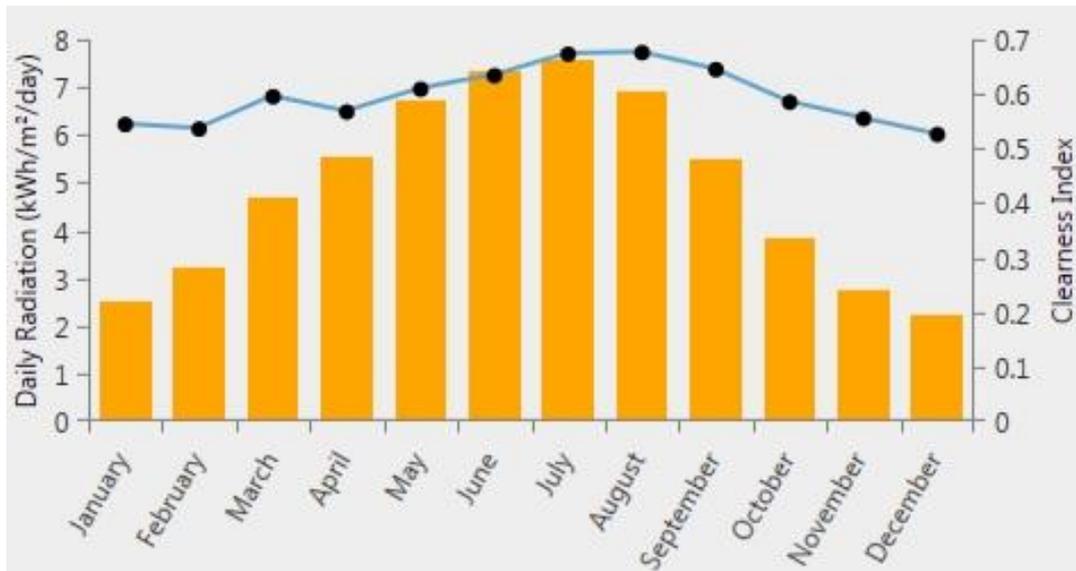


Figura 8: índice global diario de radiación solar y claridad en Andalucía implementado en el programa HOMER

1.5.1 Instalación de energía solar fotovoltaica conectada a la red.

Se define una instalación fotovoltaica como aquella capaz de producir electricidad a partir de la energía solar [21]. Estas instalaciones están divididas en dos grupos en función del objeto al que están destinadas, por lo que por una parte están las instalaciones denominadas aisladas de la red y por otra las instalaciones fotovoltaicas generadoras interconectadas o de conexión a red. Las primeras, tienen como finalidad satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica en una zona determinada donde no existe red eléctrica convencional, y las segundas trasladan toda la energía generada por la instalación a la red eléctrica convencional.

La diferencia fundamental entre una instalación fotovoltaica aislada y las conectadas a red, consiste en la ausencia, en este último caso, del subsistema de acumulación, compuesto por la batería y la regulación de carga, además, el inversor, en los sistemas conectados a red, está en fase con la con la tensión de la red [21].



Una de las ventajas de los sistemas conectados a la red, es la posibilidad de mejorar la calidad del servicio de la energía suministrada por la red, ya que la máxima producción de la instalación coincide con horas en que los problemas de suministro para las compañías eléctricas son más graves. En la presente tesis vamos a estudiar este segundo grupo.

Una instalación fotovoltaica conectada a la red consta de módulos fotovoltaicos y inversores y accesorios. Los módulos fotovoltaicos están formados por células solares, que son los dispositivos que transforman directamente la radiación solar en energía eléctrica y en corriente continua, correspondiéndole al inversor transformar la corriente continua en corriente alterna y siendo la batería la que almacena la energía y el regulador el que controla el proceso de carga y descarga de la misma.

Las instalaciones de conexión a la red, tienen como característica principal que toda la energía que generan la venden a la red de distribución de una compañía eléctrica y no se destina para autoconsumo. Este tipo de instalaciones se componen de módulos fotovoltaicos, inversores específicos, protecciones y contadores de energía.

Hay que destacar que aparte de producir energía, se pueden integrar en las almarazas o cualquier otro tipo de fábrica o edificación, de forma que sirva la propia instalación como aislamiento térmico, acústico e incluso en algunos casos de cerramiento.

Las instalaciones de generación de energía eléctrica fotovoltaica tienen una serie de ventajas, como que al tener sistemas modulares facilita su flexibilidad para adaptarse a diferentes tipos de aplicaciones, además de que su instalación es relativamente sencilla; su larga vida útil que es definida por la vida útil de sus componentes, fundamentalmente el generador o módulo fotovoltaico; mantenimiento escaso; son de una alta fiabilidad y disponibilidad operativa alta, no producen ningún tipo de contaminación ambiental, por lo que favorecen la reducción de emisiones de CO₂ y se utilizan como alternativa a otros sistemas generadores de energía eléctrica más contaminantes, y por último, tienen un funcionamiento silencioso [21].

Componentes de una instalación fotovoltaica.

Una instalación fotovoltaica conectada a la red consta de los siguientes elementos [21]:



1. Módulos fotovoltaicos.
2. Inversores.
3. Accesorios.

Un módulo fotovoltaico está formado por asociaciones de células, que puede ser en serie o en paralelo. Si se conectan en serie las células, sumas las tensiones de cada una y se mantienen la corriente, mientras que al conectar en paralelo las células suman las corrientes de cada una de ellas y mantienen la tensión, por lo cual el funcionamiento eléctrico del modulo va a depender del comportamiento de las células y de cómo estén asociadas.

Es necesario que los módulos puedan alcanzar una tensión de 12 v para poder cargar las baterías, ya que estas suelen tener una tención múltiplo de este valor, y para conseguirlo en cualquier condición de irradiancia y temperatura es necesaria la asociación en serie de entre 33 y 36 células , motivo por el cual la mayoría de los módulos estándar de silicio cristalino están formados por la asociación de uno, dos o tres ramales de 36 células dispuestas en serie, que a su vez pueden conectarse en serie o en paralelo [21].

Los parámetros eléctricos de los módulos, como son la corriente de cortocircuito, la tensión a circuito abierto, la potencia pico, etc... los determina y proporciona el fabricante, siempre referidos a unas condiciones estándar. También proporciona la curva característica completa para distintos niveles de temperatura e irradiancia incidente del módulo. Además existen otros parámetros que informan sobre la influencia de la temperatura en el funcionamiento del módulo, para lo cual el propio fabricante suministra un coeficiente de temperatura nominal de funcionamiento de las células denominado TONC (Nominal Operating Cell Temperature). Este parámetro determina la temperatura que alcanza el módulo cuando incide sobre el mismo una irradiancia de 800 W/m² con una temperatura ambiente de 20 °C y una velocidad de viento de 1 m/sg [21]. El fabricante también suele dar los coeficientes de variación de la corriente y de la tensión del módulo con la temperatura.

Una circunstancia a destacar es que las células de un módulo absorban corriente procedente de otros módulos dando lugar a un calentamiento excesivo de las mismas que puede dañarlas, lo que recibe el nombre de efecto del punto caliente.



En el mercado existen diferentes tipos de módulos, que habitualmente se debe especificar más para determinar las características del mismo. Así encontramos que los módulos se pueden caracterizar según los distintos elementos que se describen a continuación:

- Tipos de células: Módulo monocristalino, policristalino o de película delgada.
- Material de encapsulado: Módulo de teflón o de resina.
- Técnica de encapsulado: laminado con EVA o teflón.
- Material de soporte: módulo en capas, de capas de cristal, en capas metálicas, acrílico o de cristal doble.
- Forma del marco: módulo enmarcado o sin marco.
- Funciones adicionales de fabricación específicas: módulo de capa de cristal de seguridad, con cristal de unión de seguridad, de cristal aislante, con cristal aislante autoresistente, con cristal aislante en niveles, de cristal de unión multicapa.

Aunque en general la clasificación más conocida es por módulos estándar, especiales y específicos.

Los módulos estándar son aquellos que tratan de conseguir los mínimos costes con un máximo de energía captada por unidad de superficie, la mayoría de los cuales están formados por células encapsuladas con EVA, vidrio en la parte frontal y tedlar por la parte posterior y existen con o sin marco de aluminio. Habitualmente se utilizan cuando no se necesitan módulos con formas o medidas especiales para aplicaciones específicas, como para electrificación rural, bombeo, etc., o bien también se utilizan con otros de perfiles especiales de forma que queden integrados para otras aplicaciones. Este tipo de módulo se compone de 36 a 108 células y tiene una potencia de 50 a 160 Wp [21].

Los módulos especiales se fabrican en serie y con una finalidad determinada, por lo que se pueden emplear materiales especiales o con un marco particular, como por ejemplo, módulos de iluminación para automoción solar, náutica, en cubiertas de edificios, etc...

Los módulos específicos son aquellos que se fabrican individualmente para una aplicación en concreto, donde el elemento constructivo determina la fabricación del módulo, medidas y formas, como por ejemplo módulos en una claraboya o marquesina para proporcionar sombra o que sean de una forma determinada, etc...



Se llama inversor a un dispositivo electrónico de potencia que tiene como misión transformar la corriente continua en corriente alterna, ajustándola en frecuencia y en tensión eficaz para que esté disponible para su consumo.

En las instalaciones de conexión a red, como la que estamos estudiando en este trabajo, la salida del inversor está conectada directamente a la red de la compañía eléctrica, sin pasar por otros equipos de consumo, como el de la almazara, estando prohibida por la normativa vigente la instalación de baterías. La legislación vigente indica que si la potencia nominal del inversor o suma de inversores es igual o menor de 5 Kw [21], la conexión con la red debe de ser monofásica, y cuando es mayor, trifásica obligatoriamente.

El inversor es un elemento de la instalación fotovoltaiva debe permitir que el generador produzca en el punto de máxima potencia, el cual varía dependiendo de las condiciones climatológicas. Esto lo consigue al llevar incorporado un seguidor, que es un convertidor de corriente continua a corriente continua, del punto de máxima potencia.

Los inversores de vanguardia tienen funciones de transformación de la corriente y tensión continua en alterna en función de las condiciones de la red, y se deben adecuar de forma que el punto de trabajo del inversor coincida con punto de máxima potencia del generador, como ya se ha comentado previamente, además de recoger datos y señalizaciones, y de ser un elemento de seguridad en la parte de corriente continua y alterna.

En base al tipo de funcionamiento, los inversores de conexión a red se pueden clasificar en guiados por la red o autoguiados. Los inversores guiados por la red son utilizados tradicionalmente en automatización, utilizando como principio un puente entre tiristores. Por el contrario, los inversores autoguiados utilizan un puente de materiales semiconductores, y se utilizan para instalaciones fotovoltaicas aisladas. Dentro de este tipo de inversores encontramos los inversores autoguiados con transformador de baja frecuencia a 50 Hz para que se pueda adaptar a la tensión de la red, inversores autoguiados con transformadores de alta frecuencia que varía entre 10 a 50 KHz e inversores sin trafo para aplicaciones de baja potencia [21].

Es muy importante ante la elección de un inversor, conocer su comportamiento ante la sobrecarga sobre todo en aquellas zonas en las que por su latitud, o bien por la orientación, inclinación o existencia de sombreados en la instalación, no se recibe la



suficiente irradiancia en el generador fotovoltaico. Existen tres métodos para proteger contra la sobrecarga en el inversor, que son: desviando la zona de trabajo de entrada al inversor de manera que se disminuya la potencia de entrada, limitador de potencia de entrada al mismo y por último, desconectando el inversor.

Desde el punto de vista de los fabricantes de este tipo de inversores, éstos ofrecen funciones de obtención de datos que se encuentran integradas en el propio aparato o como una ampliación del mismo. El almacenamiento de datos varía desde un valor por minuto a cinco valores por día, teniendo una capacidad de entre 28 y 450 días [21]. Los datos que habitualmente se recogen son los siguientes:

- Tensión U_{cc} , corriente I_{cc} y potencia P_{cc} .
- Tensión U_{ca} , corriente I_{ca} , potencia P_{ca} y frecuencia f .
- Tiempo de funcionamiento.
- Cantidad de energía producida.
- Estado del inversor y perturbaciones.

Un problema a destacar es que muchas veces se producen elevadas pérdidas en el generador debido a que las instalaciones se somborean total o parcialmente. Para reducir esta situación se configura el conjunto “generador fotovoltaico-inversor” bajo el concepto multicadena.

Un accesorio a destacar es la caja de conexiones del generador fotovoltaico, que contiene las bornas de conexión, los fusibles o diodos de bloqueo, un punto de puesta a tierra, e incluso se pueden instalar los dispositivos de control de defecto de aislamiento. Es un equipo que adquiere su importancia cuando un generador tiene un gran número de módulos y las salidas de cada uno de sus subcampos se deben de conectar, por lo que a este dispositivo llega el polo positivo y el negativo de los citados subcampos en los que se divide el generador, y si existiera, el cable de conexión equipotencial que se conecta a tierra.

Es fundamental que la caja de conexiones sea resistente a las condiciones climáticas y para estar ubicada en el exterior, debe tener una protección mínima de IP64, además de un aislamiento tipo clase II, con separación entre el polo positivo y negativo, debiendo estar identificados en el interior cada uno de los circuitos, diodos, fusibles, etc... y estando



el acceso a la misma limitado a personal autorizado cuando existen tensiones superiores a 120V [21].

Para el caso de reparaciones, se suele instalar un seccionador en carga a la salida del generador para separarlo del resto de la instalación, y para evitar el efecto del punto caliente, se instalan fusibles o magnetotérmicos en los ramales de los módulos.

Hay que destacar que para la instalación eléctrica de una planta fotovoltaica existen cables para interconectar los módulos, cables para interconectar los ramales, la salida del generador, la interconexión batería-regulador, inversor-generador, en corriente continua y los cables para la salida del inversor en corriente alterna. Las líneas de conexión entre los módulos y la caja de conexiones se llaman líneas de módulos o líneas ramal, las cuales se suelen colocar en el exterior y para garantizar una puesta a tierra segura, evitando un cortocircuito, se deben utilizar conductores unipolares, de doble aislamiento, para el polo positivo y para el negativo.

Es muy importante la forma de conexionado de las conducciones de los módulos y de ciertos cableados, dado que pueden ser el origen de arcos eléctricos estacionarios, aumentando el riesgo de incendio. Las siguientes formas de conexionado son las más habituales: interconexionado de cable con terminal en punta atornillado, cable con terminal en aro atornillado, cable sin terminal aprisionado, cable con multicontacto.

Los conductores descritos, además de conducciones con revestimiento de PVC por razones económicas, se pueden emplear en la línea principal de corriente continua, que en instalaciones de conexión a red, como la que estamos estudiando, conecta la caja de conexiones del generador con el inversor. En este tipo de instalaciones, los conductores que se encuentran a la salida del inversor, en concreto, la línea de conexión que va desde la salida del mismo hasta la red de distribución de la compañía eléctrica, su conexión a la red de baja tensión mediante de inversores trifásicos se lleva a cabo mediante una línea tetrapolar y si la conexión se realiza con inversores monofásicos se utilizan líneas tripolares.

Centrándonos ahora en los accesorios de la instalación, aquellos que vayan por el exterior como tubos, fijaciones y empalmes de cables, tienen que ser estables a las condiciones meteorológicas y a los rayos ultravioleta. Las diferentes fijaciones que se



suelen utilizar son: tubos blindados, tubos corrugados, canaleta de cables, empalmes de cables, abrazadera sujetacables y abrazaderas atornilladas.

Por último, para llevar a cabo trabajos de mantenimiento o reparación, según la Normativa, se debe utilizar un interruptor en carga de corriente continua para poder separar el inversor del generador fotovoltaico. Éste debe ser capaz de conmutar la corriente continua máxima que discurre por el, y se tiene que dimensionar en concordancia con la máxima tensión del circuito abierto del generador, como para la máxima corriente de cortocircuito del mismo.

Diseño de las instalaciones conectadas a la red.

Hay que tener en cuenta que el diseño de una instalación fotovoltaica lleva en paralelo un procedimiento técnico y administrativo, para poder conseguir las preceptivas licencias de los organismos competentes y acometer la obra e instalación. Para ello se debe redactar un documento básico con el que poder realizar la solicitud a la empresa distribuidora. Una vez realizado el acuerdo entre el titular y la empresa distribuidora se debe redactar proyecto técnico o documento técnico que incluya la información definitiva, aspectos técnicos para el montaje e instalación, cumpliendo todo con la normativa vigente. Obtenidas las correspondientes licencias se realiza el montaje de la instalación y su inclusión en el registro administrativo de instalaciones de producción en régimen especial. Finalmente, conectada la instalación a la red y superada la fase administrativa, se puede proceder al cobro de la energía aportada a la red de distribución de la compañía eléctrica.

Se describen a continuación los aspectos técnicos más importantes que recoge la normativa vigente para realizar este tipo de instalaciones:

- No podrán diseñarse instalaciones con acumulación o equipos intermedios de consumo entre el campo de módulos fotovoltaicos y la red de distribución.
- Conexión trifásica si la suma de potencia nominal de los inversores es mayor a 5 Kw [21].
- No se puede superar el 5% de variación entre la conexión/desconexión de las instalación a la red [21].
- Debe ser lo más próximo a la unidad el factor de potencia.



- Se deberá tener un contador de energía de entrada y otro de salida, de clase 2, precintados, debiendo estar la corriente nominal de salida comprendida entre el 50% de la corriente nominal y la corriente máxima de precisión del contador [21].
- Las protecciones que se deben instalar deberán ser: interruptor magnetotérmico en el punto de conexión (entre el inversor y la red de la compañía), interruptor automático de la interconexión con relé de enclavamiento, debe ser automático el rearme de la conexión instalación-re, el inversor tiene que cumplir los niveles de emisión determinados en la normativa vigente, tanto de inmunidad frente a armónicos como compatibilidad electromagnética.
- Las tomas del neutro de la empresa distribuidora y de las masas de la construcción deben ser independientes de las tomas de tierra de la instalación fotovoltaica.
- Separación galvánica entre la instalación y la red de distribución.

Los datos necesarios para diseñar una instalación fotovoltaica de conexión a la red, dependen de varios aspectos fundamentales:

1. Punto de conexión entre la instalación fotovoltaica y red eléctrica. Para ello es indispensable conocer las características de red eléctrica y para ello se deben solicitar los datos a la propia compañía distribuidora.
2. Ubicación sobre el terreno de los componentes de la instalación, superficie disponible y tamaño del generador, para ello se debe visitar la parcela sobre la que se pretende realizar la instalación, recopilando todos los datos necesarios, como orientación, pendientes, zonas más adecuadas, trazado sobre el terreno, etc...
3. Estimación de la temperatura y radiación solar incidente, obtenida bases de datos disponibles de la zona en concreto donde se pretende situar la instalación.
4. Elección del tipo de módulo, para ello se debe tener en cuenta:
 - Material de las células (monocristalinas, policristalinas, amorfo, etc..),
 - Módulo estándar (con o sin marco), módulo vidrio-vidrio, teja fotovoltaica, etc...,
 - Características de los módulos (de silicio monocristalino o policristalino).
 - Que cumpla con la legislación vigente para su homologación.
 - Relación precio-Wp baja



- Deben de ser lo más similares posibles la corriente continua de máxima potencia, tensión de máxima potencia, tensión de circuito abierto, potencia pico y corriente de cortocircuito.
- El aislamiento debe ser de clase II, fundamentalmente en la caja de conexiones.
- Características, caída de tensión y tensión máxima de los diodos de paso.
- TONC debe ser lo menor posible.
- El fabricante debe de aportar la curva característica de cada módulo fotovoltaico e indicar la corriente de cortocircuito, tensión de máxima potencia, corriente de máxima potencia, potencia máxima y tensión de circuito abierto.
- Los conductores eléctricos de interconexión de los módulos deben garantizar el grado de aislamiento en la caja de conexiones y en la propia interconexión.
- Facilidad y sencillez en la fijación del módulo a la estructura, que permita incorporar sistemas que eviten el robo.
- Garantía del fabricante frente al deterioro y comportamiento eléctrico del módulo en el tiempo.

En base a las características descritas se selecciona el tipo de módulo, y a partir de las características técnicas de éste dimensiona el resto de la instalación fotovoltaica.

Para determinar el número de módulos que se pueden poner sobre la superficie utilizable se debe saber que 1 KWp de módulos cristalinos ocupa una superficie de 10 m² aproximadamente [21].

Para determinar la superficie necesaria de captación de un generador fotovoltaico dependiendo del tipo de material elegido, se muestran a continuación las siguientes datos:

- Material de la célula: monocristalino. Superficie requerida para 1 KWp: entre 7-9 m² [21].
- Material de la célula: policristalino. Superficie requerida para 1 KWp: entre 8-11 m² [21].
- Material de la célula: diselenio de indio-cobre (CIS). Superficie requerida para 1 KWp: entre 11-13 m² [21].
- Material de la célula: telurio de cadmio (CdTe). Superficie requerida para 1 KWp: entre 14-18 m² [21].



- Material de la célula: silicio amorfo. Superficie requerida para 1 KWp: entre 16-20 m² [21].
- Cuando se emplean módulos con células separadas para la obtención de efectos de semitransparencia, aumentan las necesidades de superficie proporcionalmente al factor de transparencia.

Habitualmente una instalación fotovoltaica de más de 5 KWp consta de varios inversores conectados en paralelo, por lo cual existen tres distintas configuraciones de las instalaciones en función de la interconexión de los inversores con el generador, estas son:

1. Configuración del inversor centralizado: cuando se conectan entre 3 a 5 módulos estándar, la tensión a la salida del generador esta dentro del rango de $U_{cc} < 120v$, bajas tensiones, por lo que tiene la ventaja, además de una mayor seguridad eléctrica, de que afectan menos las sombras. Es suficiente utilizar material de la clase III si la tensión es menor de 50V en CA o de 75V eb CC. El inconveniente es que se deben utilizar cables de sección mayor en ramales cortos al circular más corriente. En cambio en ramales largos con bastantes módulos en serie las tensiones son elevadas y se debe utilizar material de clase II [21].
2. Configuración del inversor por ramal: para lograr que los módulos que van conectados a un inversor obtengan el mismo nivel de irradiancia, cada una de las partes del generador, que tengan una misma orientación e inclinación, debe estar conectada directamente a un inversor específico. De esta forma se puede disminuir las pérdidas en la instalación por efectos de distintas orientaciones, inclinaciones o de sombras inevitables. Para bajar los costes de de montaje y simplificar la instalación fotovoltaica se utilizan los inversores por ramal, que se colocan justo después del generador y conectados en paralelo con una potencia de entre 500 y 3.000 W por unidad. Si se quiere instalar el inversor en el exterior, se debe tener un grado de aislamiento mínimo de IP 65. Este tipo de configuración tiene como ventajas la eliminación de la caja de conexiones, disminución del cableado de los módulos y supresión de la conducción principal de corriente continua, y por último la bajada de costes asociada a los aspectos descritos [21].



3. Configuración del inversor en módulo, que se fundamenta en la instalación de un pequeño inversor independiente en cada uno de los módulos que componen la instalación, con lo que se consigue que cada uno de los módulos trabaje a máxima potencia y la instalación se pueda incrementar de forma sencilla. Este tipo de configuración se denomina modulo de corriente alterna, donde el inversor y el modulo fotovoltaico se consideran como una sola unidad. El inconveniente de este caso es que el coste total es mayor, que se compensa con un mejor ajuste en el punto de máxima potencia de los módulos, y el rendimiento de los módulos es inferior. Como ventaja comentar que es la configuración donde la influencia de las sombras es menor, por lo que es adecuada para instalaciones integradas en fachadas, aunque existan sombras por los mismos elementos de la edificación.

Para minimizar los costes y las pérdidas de energía, la distancia entre el generador fotovoltaico, el inversor y los contadores debe de ser lo menor posible. Habitualmente es mejor que el inversor esté ubicado en el interior, protegido de las condiciones atmosféricas, y para evitar el acceso de personas ajenas a la instalación, aunque si esto no fuera posible, existen inversores adecuados para su funcionamiento en el exterior, los que deben tener como mínimo una protección del IP65 [21].

Se debe acordar entre la empresa distribuidora de energía y el titular de la instalación la situación de las protecciones y contadores, siendo lo mejor que estén en un lugar de fácil acceso para el personal, para la sencilla lectura de los mismos y poder accionar las protecciones en caso de una situación de emergencia.

Una de las partes esenciales para el correcto funcionamiento de una instalación fotovoltaica es el correcto dimensionado del generador fotovoltaico, inversor y cableado. Las principales variables son las siguientes:

- Cálculo de la potencia del inversor: Según la legislación vigente si la potencia nominal del conjunto de inversores de la instalación es superior a 5 Kw la acometida a la red general debe ser trifásica, mientras que si es menor monofásica. Para el inicio del dimensionado hay que establecer la potencia pico del generador o la potencia nominal del inversor, teniendo en cuenta la superficie existente, la inversión a ejecutar, etc... Si conseguimos que sea de entorno a 0,7-0,8 (para



climas como el de la península ibérica) la relación entre la potencia nominal del inversor y la potencia del pico del generador que se conecta al inversor, obtendremos la máxima eficiencia de este conjunto. Por regla general, la potencia del inversor no debe superar la potencia pico del generador, ya que este no funcionara bajo esta condiciones a su potencia nominal. Tan solo en casos en los que los inversores están sometidos a condiciones extremas de temperaturas, al ubicarse a la intemperie, se puede estudiar la posibilidad de en base a las indicaciones del fabricante, adquirir un inversor de mayor potencia nominal que la pico del generador, por lo que el intervalo de potencia nominal del inversor tiene que establecerse entre el 0,7 y el 1,2 la potencia maxima del generador fotovoltaico. Tan solo señalar en este punto que si el módulo es amorfo se debe tener en cuenta en el dimensionamiento la degradación del modulo y la potencia de los inversores. Por último, se debe garantizar que bajo cualquier condición climática el rango de tensiones a la salida del generador tiene que estar dentro del intervalo de tensiones admisibles del inversor [21].

- Ajuste del rango de tensiones: la tensión admisible en la entrada del inversor debe ser tal que la tensión máxima y mínima del punto de máxima potencia del ramal (se deben ligar en serie un determinado número de módulos por ramal) esté siempre dentro del rango de tensiones de entrada del inversor. Además, no podemos olvidar la tensión de desconexión del inversor y la estabilidad de la tensión a la salida del inversor.
- Dimensionamiento del cableado: se realiza una vez que se han determinado las características del inversor y del generador fotovoltaico que se van a instalar. Éste se debe estudiar siguiendo el Reglamento electrotécnico de baja tensión, determinando el tipo de conductor, nivel de aislamiento, sección, tipo de instalación, etc... El grado de aislamiento que se necesita depende del tipo de montaje y de las tensiones a soportar, que no deben superar los 0,6/1 Kv [21]. Habitualmente la clase de conductor utilizado es cobre, unipolar y preparado para el exterior, si es que es necesario. Por último reseñar, que el cálculo de la sección del cable se debe realizar teniendo en cuenta que el cable tenga una corriente máxima admisible superior a la máxima corriente que pueda circular por el mismo,



y que la caída de tensión máxima que se pueda producir en el conductor sea inferior a un cierto valor.

En referencia al cuadro general a la salida del generador fotovoltaico, en función del tipo de instalación, los propios fabricantes tienen distintos tipos de cuadros estándar, así en instalaciones al aire libre, deben tener un aislamiento mínimo de IP 65 y ser resistente a la radiación ultravioleta, además se deben situar las cajas en un lugar resguardado de la lluvia y de la incidencia directa de la radiación solar, aunque siempre de fácil acceso para su mantenimiento.

Habitualmente la caja debe tener un nivel de aislamiento de clase II y es aconsejable que tenga bornas de empalme tipo anillo, debiendo tener un tamaño que este dimensionado para que haya hueco de sobra para todas las conexiones que se deben realizar.

En la actualidad, las corrientes varían desde 4A a 18A [21], por lo que hay que elegir los fusibles adecuados para trabajar con corriente continua, utilizando diodos de bloqueo únicamente en caso de que la instalación tenga incidencias con las sombras, debiendo tener instalado un ventilador para eliminar el calor generado en el interior y para protección de sobretensiones se insertan varistores a tierra conectados al polo positivo y negativo. Además es normal el uso de un interruptor general de corriente continua que separe el generador del inversor, debiendo elegir un interruptor con las propiedades de conmutación para la corriente continua.

Respecto a la protección contra rayos y sobretensiones es muy importante considerar los siguientes detalles.

- Si existe un pararrayos en la construcción, el generador fotovoltaico tiene que estar conectado con el pararrayos, y siempre siguiendo las instrucciones de la normativa vigente.
- No aumentan el peligro de rayos en la construcción las instalaciones fotovoltaicas.
- En el caso de las naves de almazaras y otras construcciones donde el generador fotovoltaico este situado en la cubierta o al aire libre, sin otras construcciones cercanas o colindantes, es necesario utilizar los correspondientes dispositivos para la protección contra los rayos.



- Si se da el caso de que no existe pararrayos alguno, el generador fotovoltaico es necesario que esté conectado a tierra, a no ser que el modulo tenga protección clase II o por separación galvánica o se tengan bajas tensiones de seguridad.
- Se debe utilizar o es recomendable el uso de varistores para la corriente continua de la caja de conexiones del generador, y protecciones contra sobretensiones en la parte de corriente alterna del mismo.

En relación con la conexión a la red de la instalación fotovoltaica, ésta se conectará directamente en baja tensión a la red de distribución de la empresa, en un lugar denominado punto de conexión, que se habrá determinado previamente entre el propietario y la empresa distribuidora, intentando que sea lo menos distante posible a la situación de la instalación e intentando cumplir siempre los condicionantes que a continuación se describen:

- El inversor no debe trabajar en isla, si existe tensión en la red.
- No se puede superar el 5% de la variación de tensión en el punto de conexión.
- La suma de las potencias de las instalaciones en régimen de especial, no puede superar la mitad de la capacidad de transporte de la línea de baja tensión en el punto de conexión. Si por las circunstancias el punto de conexión estuviera situado en el centro de transformación, la suma de las potencias que se conecten no puede superar la capacidad de transformación.
- Debe tener la instalación fotovoltaica una conexión trifásica cuando es superior a 5 Kw su potencia nominal.
- Debe existir como separación galvánica entre la red de distribución de la empresa eléctrica y la instalación fotovoltaica un transformador que cumpla con la Normativa UNE 60742.
- El interruptor general manual debe ser un magnetotermico omnipolar, de fácil acceso para el personal autorizado, con una intensidad de cortocircuito que se corresponda con las determinadas por la empresa distribuidora.
- El interruptor automático diferencial debe tener las características necesarias, según normativa vigente, para que ejerza de protector ante las personas en caso de derivación de algún elemento de la instalación.



- El interruptor automático de la interconexión debe ser un interruptor omnipolar que pueda tener una conexión o desconexión de forma automática de la instalación en caso de pérdida de tensión o frecuencia nominal de la red.
- Se debe instalar un equipo de medida de electricidad cuando haya consumos eléctricos en el mismo lugar que la instalación fotovoltaica, que se deberán ubicar en circuitos independientes de los circuitos de la propia instalación y de los equipos de medida, debiendo estar ubicados los elementos de medida en los módulos de entrada y de salida.

Por último, es importante comentar los costes que tiene una instalación fotovoltaica para que el promotor pueda estudiar de forma particular su proyecto a ejecutar, así además de los gastos lógicos de materiales, mano de obra e instalación, también hay que sumar el coste de redacción de los documentos técnicos y administrativos, como tasas de licencias, proyectos, etc..

Para empezar a acotar los gastos de la instalación, es primordial definir el tipo de célula por la que se va a optar, así como el tipo de módulo que se va a emplear y el tipo de montaje. Para poder conocer el coste es interesante tener como referencia que entre 6-7 €/Wp es el precio medio aproximado de una instalación conectada a la red con una potencia de 3 Kwp, con módulos estándar de silicio monocristalino con un montaje sencillo, donde cada Wp de potencia del generador ocupa una superficie de 10 m² y la producción media anual por Kwp en España oscila entre los 900-1.500 Kwh/Kwp según la región [21].

Como suele suceder en todo tipo de instalaciones, si se aumenta la potencia o dimensión, el precio por Wp se reduce, llegando a costar en grandes plantas fotovoltaicas hasta 4-5 €/Wp [21].

De estos precios, se considera que en torno a un 75-85% del coste total es por el módulo y el inversor [21], distribuyéndose el resto en el montaje y configuración de los equipos.

Para poder conocer la energía que produce verdaderamente la instalación se aplica la siguiente fórmula:

$$E_{ideal} = H \cdot A \cdot \eta \quad (1)$$



Definidas la radiación solar incidente y la potencia pico del generador, se calcula la energía máxima teórica que puede producir E_{ideal} , y que se obtiene como el producto entre H , irradiación solar, por A , superficie del generador fotovoltaico y por η , rendimiento del modulo (que se estima entre un 7% y un 15% en función del tipo de tecnología).

La energía real la energía ideal, pero disminuida en función a los factores de pérdidas, como son las pérdidas debidas a la suciedad, al polvo, a la temperatura, a las sombras, etc...

Existe un ratio que se denomina ratio de producción PR, con el que se pueden comparar distintas instalaciones fotovoltaicas que se encuentren situadas en distintas zonas y que se define como el cociente entre la energía realmente producida por la instalación y la energía teórica máxima que se puede generar en la misma, esta es:

$$PR = E_{real} / E_{ideal} \quad (2)$$

Conforme mayor sea el ratio de producción, menos pérdidas se producen en la instalación fotovoltaica. Habitualmente el ratio de producción de una instalación fotovoltaica sin sombrear oscila entre los 0,6 – 0,8 [21].

Normativa de aplicación en las instalaciones fotovoltaicas.

Es determinante conocer el marco legislativo que regula las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, para el correcto dimensionamiento, diseño e instalación de las mismas. Las normativas vigentes en la actualidad son las siguientes:

- Reglamento electrotécnico de baja tensión.
- Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, donde se establece, los motivos principales de un modelo de funcionamiento fundamentado en la libertad de competencia, con la garantía de suministro, calidad del mismo al menor coste, mejora en la eficiencia energética, reducción del consumo y protección del medio ambiente.



- REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. A tener en cuenta cuando se ejecute la obra de instalación de energía fotovoltaica.
- Real Decreto 2224/98, por el que se establece el certificado de profesionalidad de la ocupación de instalador de sistemas fotovoltaicos y eólicos de pequeña potencia.
- Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración, que tiene como objeto el desarrollo reglamentario, en lo que se refiere al régimen especial, de la Ley 54/1997, del Sector Eléctrico, el establecimiento de un régimen transitorio para las instalaciones acogidas a la anterior normativa, y la determinación de una prima para determinadas instalaciones de renovables no hidráulicas que no pertenezcan al régimen especial.
- Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión. El objeto de la presente disposición es efectuar el desarrollo reglamentario de la Ley 54/1997, mediante el establecimiento de las condiciones administrativas y técnicas básicas de conexión a la red de baja tensión de las instalaciones solares fotovoltaicas, teniendo en cuenta sus especiales características y con la finalidad de establecer una regulación específica que permita el desarrollo de esa actividad.
- Resumen del Real Decreto 3490/2000, donde se establece la variación promedio de las tarifas para la venta de energía eléctrica que aplican las empresas distribuidoras en el año 2001, la cuantía destinada a las actividades reguladas y las cuotas destinadas a satisfacer los costes permanentes, los costes de diversificación y seguridad de abastecimiento, las exenciones de dichas cuotas para determinados distribuidores, así como la aplicación de las tarifas a dichos distribuidores.



- BOE N° 148, de 21 de junio de 2001, donde se encuentra la resolución de la Dirección General de política Energética y Minas en la que se establece el modelo de contrato y factura, además del esquema unifilar que debe seguir una instalación fotovoltaica conectada a la red.
- Resumen Real Decreto 841/2002, de 2 de agosto, por el que se regula para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial su incentivación en la participación en el mercado de producción, determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción, y la adquisición por los comercializadores de su energía eléctrica producida. Tiene por objeto el desarrollo reglamentario de los artículos 17, 18 y 21 del Real Decreto-ley 6/2000, de 23 de junio en lo que afecta a la incentivación de la participación de determinadas instalaciones de producción en régimen especial en el mercado de ofertas.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión, donde se establecen las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas en baja tensión conectadas a una fuente de suministro.
- Directivas: 73/23/CEE, 89/336/CEE, 93/68/CEE,
- NORMAS UNE: AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, ha constituido las normativas técnicas para las instalaciones fotovoltaicas, que proceden a su vez de otros organismos internacionales de normalización electrotécnica.
 - UNE 206001 EX:097: Módulos fotovoltaicos. Criterios ecológicos.
 - UNE-EN 60891:94: Procedimiento de corrección de la temperatura y la irradiancia de la característica de la I-V de dispositivos fotovoltaicos de silicio cristalino.
 - UNE-EN 60904-1:94: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 1: medida de la característica I-V de los módulos fotovoltaicos.
 - UNE-EN 60904-2:98: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 2: requisitos de células solares de referencia.



- UNE-EN 60904-3:94: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 3: fundamentos de medida de dispositivos solares fotovoltaicos de uso terrestre con datos de irradiancia especial de referencia.
- UNE-EN 60904-5:96: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 5: determinación de la temperatura de la célula equivalente de dispositivos fotovoltaicos por el método de la tensión de circuito abierto.
- UNE-EN 60904-6:97: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 6: requisitos para los módulos solares de referencia.
- UNE-EN 60904-6/A1:98: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 6: requisitos para los módulos solares de referencia.
- UNE-EN 60904-7:99: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 7: cálculo del error introducido por desacoplo espectral en las medidas de un dispositivo fotovoltaico.
- UNE-EN 60904-8:99: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 8: medida de la respuesta espectral de un dispositivo de fv.
- UNE-EN 60904-10:99: Dispositivos fotovoltaicos. Parte 10: métodos de medida de la linealidad.
- UNE-EN 61173:98: Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos productores de la energía.
- UNE-EN 61194:97: Parámetros características de los sistemas fotovoltaicos autónomos.
- UNE-EN 61215:97: Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para la aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación del tipo.
- UNE-EN 61345:99: Ensayo ultravioleta para módulos fotovoltaicos.
- UNE-EN 61646:1997: Módulos fotovoltaicos de lámina delgada para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación del tipo.
- UNE-EN 61725:96: Sistemas fotovoltaicos. Características de la interfaz de conexión a la red eléctrica.
- UNE-EN 61277:2000: Sistemas fotovoltaico terrestres generadores de potencia.



- UNE-EN 61701:2000: Ensayo de corrosión por niebla salina de módulos fotovoltaicos.
- UNE-EN 61721:2000: Susceptibilidad de un módulo fotovoltaico al daño por impacto accidental.
- UNE-EN 61829:2000: Campos fotovoltaicos de silicio cristalino. Medida en el sitio de características I-V.
- UNE-EN 61702:2000: Evaluación de sistemas de bombeo fotovoltaico de acopio directo.
- UNE-EN 61683:2001: Sistemas fotovoltaicos. Acondicionadores de potencia. Procedimiento para la medida del rendimiento.
- Normas técnicas y administrativas en función de cada Comunidad Autónoma: las normas particulares para Andalucía son las siguientes:
 - Especificaciones Técnicas de Diseño y Montaje de Instalaciones Fotovoltaicas de aplicación en el Programa Prosol.
 - Procedimiento de ensayo y criterios de aceptabilidad de reguladores de aplicación en instalaciones solares fotovoltaicas.
 - Especificaciones técnicas de conexión a la red de baja tensión de las instalaciones fotovoltaicas de Sevillana Endesa.
 - Instrucción BOJA 26 de 9/02/2.004, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, sobre el procedimiento de puesta en servicio de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.
- Otras Normativas específicas. Dado que las instalaciones fotovoltaicas, son obras de construcción, desde el punto de vista de su instalación, se deben tener en cuenta por lo tanto la normativa que también afecte a las obras de construcción, y con las particularidades que tienen este tipo de instalaciones. Por lo tanto es necesario a la hora de realizar la instalación la solicitud de la correspondiente licencia de obras, a través del correspondiente proyecto que estudie los materiales de construcción, instalaciones anexas, protección contra incendios, etc... Además, antes de llevar a cabo el proyecto es muy importante estudiar la normativa medio ambiental de la zona en concreto, por si la zona en la que se quiere realizar la instalación fotovoltaica tiene algún



tipo de limitación medio ambiental por lo que no se pueda ejecutar. En general, por orden se deben realizar las siguientes etapas para ejecutar el proyecto de energía renovable: Realización de proyecto o memoria técnica donde se estudie la normativa medio ambiental, de seguridad y salud en el trabajo, del código técnico de la construcción, ordenanzas municipales, etc... Una vez redactado el proyecto se debe presentar en los organismos competentes y realizar la solicitud de licencia de obras, una vez obtenida continuar con la dirección de la obra y de la coordinación de seguridad y salud, realizada por técnico competente y finalmente obtener la licencia de utilización de la instalación.



2. OJETIVOS.

La producción de electricidad, de calor o biocombustibles desde fuentes de energía renovables se ha convertido en una de las principales prioridades de las estrategias en política energética a nivel nacional y mundial [1]. Desde la década de los 90, la energía fotovoltaica (PV) se ha considerado como una opción tecnológica importante para la generación de electricidad, y de forma ambientalmente sostenible [2], pero la evolución de los primeros años del siglo XXI fue exponencial: pasando de 1.6 GW de PV globales instaladas en 2000 a 138,9 GW en 2013 [3]. En Europa, la energía fotovoltaica cubre el 3% de la demanda de electricidad y el 6% de la demanda máxima de electricidad. Se llegó en 2.010 a la máxima capacidad instalada por año, (22 250 MW/año), disminuyendo en 2012 (17.726 MW/año) y en 2013 (10.975 MW/año), pero en base a las previsiones de la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica, la capacidad instalada anual se verá incrementada en los próximos años, estimando que se alcanzará en 2.018 entre 8.290 MW/año (en el peor de los supuestos) y 17.185 MW/año (en el mejor de los supuestos). La optimización del consumo energético de las almazaras constituye una prioridad entre las preocupaciones de los responsables de su gestión. No obstante, existe una preocupación común relacionada con la contratación del suministro eléctrico, como consecuencia de operar durante un periodo de tiempo al año de unos cuatro o cinco meses, las instalaciones y los contratos de suministro se deben de dimensionar para éstos picos de consumo, estando “sobredimensionados” el resto del año, suponiendo esto último un alto coste. Por ello, con este trabajo se va a buscar un modelo que sirva para optimizar los consumos energéticos de una almazara con el objetivo de maximizar su ahorro energético y contando con la implementación de energías renovables viables [13].

A pesar de que las almazaras son instalaciones simples que invitan a pensar que hay pocos puntos donde energéticamente se puede actuar, si podría ser posible, y es lo que se pretende demostrar con el presente trabajo, conseguir mediante sistemas de energías renovables, una configuración de los mismos que permita mantener la capacidad de producción de aceite de oliva con un menor consumo energético que el procedente de sistemas de generación tradicionales, y con una mayor seguridad en el suministro en las instalaciones.



Se podría reducir el consumo energético para almazaras de nueva construcción con un dimensionamiento óptimo de la maquinaria necesaria y más eficiente (motores y hornos) acorde a la producción estimada, y para las existentes con una configuración óptima de los sistemas de energías renovables que minimicen la dependencia energética en el uso de sistemas energéticos. Otro punto de optimización sería el reemplazamiento progresivo de los elementos de iluminación, ya que las almazaras trabajan las 24 horas del día durante 4 o 5 meses al año lo que implicaría el continuo funcionamiento de sistemas de iluminación y una gran oportunidad de usar luminarias más eficientes.

La línea fundamental de la tesis es el uso de las energías renovables. Casi la inmensa totalidad de las plantaciones de olivar, así como de almazaras, están situadas en Andalucía, el sur de España, una región cuyos niveles de radiación solar son los más altos de Europa, con una media de 5 kWh/m²/día, lo que ha permitido en la actualidad la instalación de 882 MWp de solar fotovoltaica, 1000 MW de termosolar y 900 MW de solar termoeléctrica [22].

Y por último, la cantidad de residuos biológicos procedente del cultivo del olivar y producidos en la propia elaboración del aceite (restos de poda del olivo, huesos de aceituna y orujillo, etc.) es una fuente energética para el uso de biocombustibles en calderas, estufas, hornos, etc. Aunque en teoría se disponen de los recursos anteriormente descritos, no hay ningún estudio que demuestre su viabilidad, por tanto, para resolver el problema energético de las almazaras se va a estudiar en el presente trabajo el uso de renovables, y que se describirán más adelante

Dado que el precio del aceite de oliva desde hace años ha tocado techo, es muy importante para la rentabilidad del sector reducir los costes de producción de aceite de oliva, por lo que consideramos muy importante centrarnos en la reducción del consumo energético, uno de los costes más significativos de ésta industria agroalimentaria, por lo que la presente tesis pretende demostrar la viabilidad técnica y medioambiental en la optimización del consumo energético de una Almazara para la producción de aceite de oliva virgen extra con el soporte de energías renovables.



3. METODOLOGÍA.

El sistema ha sido diseñado mediante HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources), que es un modelo de software de modelado de optimización desarrollado y que periódicamente se mejora por el U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL), para ayudar en el diseño de sistemas de micro-energía y para facilitar la comparación de tecnologías de generación de energía a través de una amplia gama de aplicaciones. HOMER es un modelo de comportamiento de un sistema de energía renovable, con su coste de ciclo de vida y que permite la selección de opciones de diseño óptimas basadas en criterios técnicos, económicos y ambientales.

Para juzgar la viabilidad de las almazaras conectadas a la red mediante una instalación fotovoltaica, se aplican criterios de evaluación técnica y económica. HOMER evalúa primero la viabilidad técnica del sistema y si se puede satisfacer la demanda de consumo, y luego se calculan los parámetros económicos. El estudio de viabilidad técnica depende principalmente de la cantidad de consumo de energía y de la superficie disponible para colocar los módulos fotovoltaicos. El cálculo evalúa todos los gastos que ocurren dentro de la vida del proyecto, incluidos los costes iniciales de configuración (IC), sustitución de componentes dentro de la vida del proyecto, el mantenimiento y los costes de operación (M&O) y los costes de compra de energía (PPC) desde la red. El coste del ciclo de vida del sistema está representado por el coste actual neto (NPC) y se calcula según la siguiente ecuación [23]:

$$NPC = \frac{TAC}{CRF(i, N)} \quad (3)$$

Donde TAC es el coste anual total (€/año) y la CRF es el factor de recuperación de capital dada por:

$$CRF(i, N) = \frac{i(i+1)^N}{(i+1)^N - 1} \quad (4)$$



Donde N es el número de años e i es la tasa de interés real anual (%). El coste de la energía producida por el sistema (COE) se utiliza también como un criterio de evaluación tecno-económico. COE representa el coste unitario de la energía producida por el sistema y se puede calcular dividiendo el coste total anual por la EPV energía anual producida:

$$COE = \frac{TAC}{E_{PV}} \quad (5)$$

3.1 Modelo del Sistema

El sistema propuesto y diseñado para garantizar los consumos eléctricos y térmicos, se muestra en la Figura 4. Los sistemas utilizados (basados en energías renovables, que proporcionan energía a los procesos de la almazara) serán un generador fotovoltaico y una caldera de biomasa, ambos independientes. El sistema fotovoltaico proporciona energía eléctrica y estará siempre conectado a la red por medio de un medidor bidireccional. Los consumos térmicos son para satisfacer las demandas de agua caliente; mantener la temperatura de la masa de aceituna en la batidora, alrededor de 28-30°C, y la temperatura entre 15°C y bodega 20°C. El agua es calentada por una caldera de biomasa.

En el presente estudio se va a calcular una solución óptima para los tres grupos de almazaras (pequeño, mediano y grande), en lo que respecta únicamente al consumo eléctrico que se muestra en la tabla 2. El perfil de consumo mensual de electricidad para los tres grupos de almazaras se muestra en la Figura 1. Como se mencionó anteriormente, destacar que los meses de mayor la actividad son de noviembre a abril. En el resto, hay consumo eléctrico mínimo debido tan sólo a las instalaciones de la oficina (iluminación, climatización, etc.).

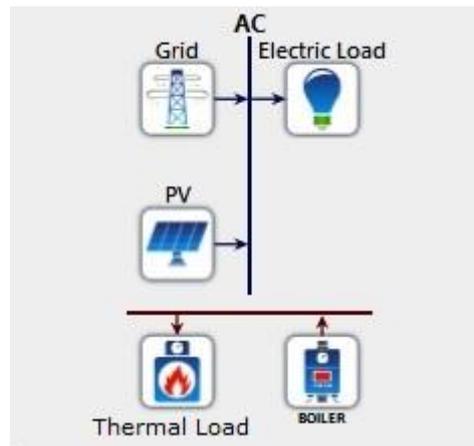


Figura 9: Ajuste básico de cargas y fuentes en HOMER.

3.2 Economía

Considerando la vida útil del proyecto a 25 años, la tasa de interés real considerado es del 0.4%. La tasa de interés real es igual a la tasa de interés nominal menos la tasa de inflación. Los valores adecuados para estas variables dependen de las condiciones macroeconómicas de la región donde se está realizando el estudio. Para la zona euro, en particular, y de acuerdo a la información proporcionada por el Banco Central Europeo, estas condiciones incluyen una tasa de interés nominal de 0,2% y una tasa de inflación de -.02% (para diciembre de 2014) [24].

3.3 Módulo Fotovoltaico

La producción de energía fotovoltaica depende fundamentalmente de la radiación solar disponible. La instalación fotovoltaica (módulos e inversor) se ha diseñado en este estudio para producir corriente alterna. La emisión de energía de la instalación fotovoltaica se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{PV} = W_{PV} f_{PV} \frac{G_T}{G_S} \quad (6)$$

Donde W_{PV} es la potencia de salida máxima del módulo PV (Kw), f_{PV} es el factor de reducción de potencia PV (%), G_T es la radiación solar incidente sobre el módulo



fotovoltaico en la hora actual (Kw/m^2), y G_S es la radiación incidente en condiciones de ensayo estándar ($1 Kw/m^2$).

El módulo fotovoltaico se vuelve menos eficiente conforme aumenta su temperatura. El efecto de la temperatura se tiene en cuenta en este estudio. La emisión de energía del módulo fotovoltaico toma en consideración los efectos de la temperatura utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{PV} = W_{PV} f_{PV} \frac{G_T}{G_S} [1 + k_p (T_C - T_{STC})] \quad (7)$$

Donde k_p es el coeficiente de temperatura de la potencia (% por $^{\circ}C$), T_C es la temperatura de los módulos fotovoltaico en la hora actual ($^{\circ}C$), y T_{STC} es la temperatura del módulo fotovoltaico en condiciones de prueba estándar ($25^{\circ}C$).

En este trabajo se analizan cien tamaños de matriz fotovoltaica (1-100 Kw). Las estimaciones del total de costes instalados, y gastos de operación y mantenimiento se han obtenido de NREL [25]. La Tabla 6 muestra el coste y las características de la instalación fotovoltaica que HOMER tiene que optimizar.

Tabla 6. Coste del sistema fotovoltaico y características

Descripción	Costes/Información
Coste de inversión	3552 €/kW _{AC}
Coste de reemplazamiento	2330 €/kW _{AC}
Operación y mantenimiento	17.7 €/year
Vida útil	25 years
PV tracking	No tracking
Disminución de Potencia	80 %
Pendiente (grados)	37.17
Superficie de reflectancia	20 %

El factor de reducción de potencia es un término sencillo para explicar cualquier discrepancia entre el rendimiento nominal y el rendimiento real del módulo debido a la alta temperatura, al sombreado, y así sucesivamente. El factor de reducción de potencia

habitualmente debe estar alrededor del 90%, o incluso para los climas cálidos entre el 80% o 70%. En nuestro caso el efecto de sombreado [25-27] no es muy importante porque las almazaras están generalmente ubicadas en zonas rurales sin edificios altos y los paneles fotovoltaicos generalmente se instalan en la cubierta, por lo tanto, se ha decidido utilizar un factor de reducción de potencia del 80%.

El coste de reemplazamiento se ha estimado en función de las tendencias de los precios de las instalaciones fotovoltaicas en 25 años [28].

3.4 Entrada de la Red.

La tarifa de la red eléctrica varía en función de la hora en la que se realiza el consumo, con el objetivo de que las almazaras se beneficien de descuentos en el precio de la energía. En nuestro caso hay tres periodos horarios con distinto precio denominándose como tarifa punta (Peak), tarifa valle (Off-peak) y tarifa llana (Shoulder).

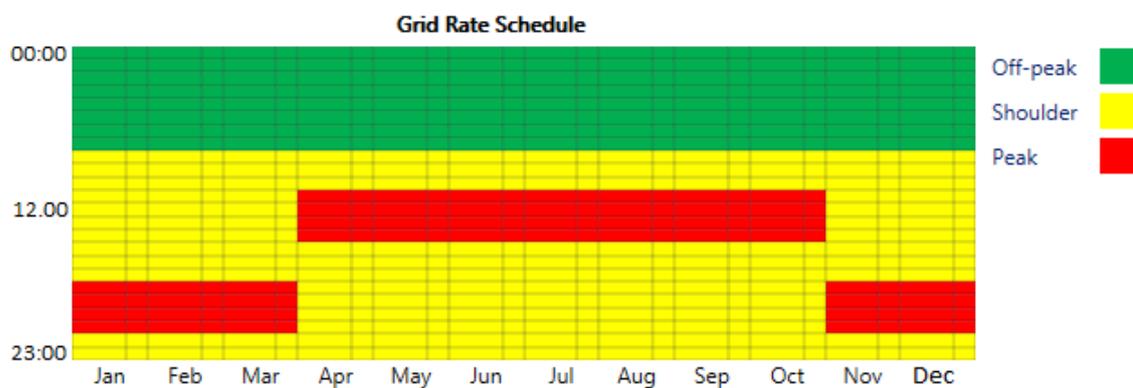


Figura 10: Cuadro de tarifas implementado en HOMER.

En nuestro estudio, los precios de la electricidad y las tarifas asociadas con el límite de potencia eléctrica instalada, se han promediado para cada período de tiempo, y son diferentes en función del tipo de almazara. Lógicamente, estas diferencias ocurren porque las compañías eléctricas tienen diferentes acuerdos de precios con las almazaras, que dependen del consumo total de energía que tiene cada una de ellas. En las tablas 7 y 8 podemos ver los precios para cada tipo de almazara y el período de tiempo en el año 2014.



Tabla 7. Precio de la energía de la red eléctrica.

€/kWh	Tarifa valle	Tarifa llana	Tarifa Punta
Pequeña	0,0828	0,1248	0,1324
Mediana	0,0590	0,0890	0,0945
Grande	0,0697	0,1051	0,1115

Tabla 8. Precio de Demanda.

€/kW/mes	Tarifa valle	Tarifa llana	Tarifa Punta
Pequeña	0,8067	3,6114	5,8562
Mediana	0,5756	2,5763	4,1776
Grande	0,6793	3,0409	4,9311

La energía producida por la instalación fotovoltaica y que se alimenta a la red es pagada por la compañía eléctrica a un precio fijo de 0,05 € / kWh.

3.5 Valoración del CO2 equivalente

La electricidad que produce una instalación de energía solar fotovoltaica está libre de toda emisión de CO₂, sin embargo en la fabricación de los módulos y del resto de componentes (inversores, marcos de aluminio, etc.) que constituyen una instalación fotovoltaica, se necesita consumir recursos energéticos no renovables. En la siguiente tabla se muestran los valores de emisiones de CO₂ equivalentes obtenidos de la bibliografía [29, 30] asociada a la producción de energía eléctrica en España (red eléctrica) y en la fabricación de todos los componentes de una instalación fotovoltaica:

Tabla 9. Factor de emisión de CO₂ equivalente.

Fuentes de energía	CO ₂ -eq (g/kWh)
Red eléctrica	330
Instalación fotovoltaica	37



4. RESULTADOS.

HOMER simula todas las configuraciones del sistema del espacio de búsqueda y da como resultado los sistemas viables en orden creciente en función de su Coste Actual Neto (NPC).

Se muestra en la Tabla 10, la optimización de los resultados de las almazaras que utilizan sistemas de energía fotovoltaica conectadas a la red, donde se indica el límite de potencia eléctrica que debe ser contratado por la empresa eléctrica, en función del tipo de almazara (pequeña, mediana o grande). En las demás columnas podemos ver la potencia fotovoltaica instalada que permitiría la mayor reducción en costos de electricidad, operación y mantenimiento.

Tabla 10. Energía

Unidad: kW	Red	Fotovoltaica conectada a la Red		
		Auto - Consumo	Medición Neta Mensual	Medición Neta Anual
Pequeña	139	7	9	36
Media	657	10	15	15
Large	1393	33	49	100

La potencia fotovoltaica a instalar que reduzca los costes, depende de la facturación y política de medición (autoconsumo y/o medición neta), y del período de facturación establecidos con las empresas suministradoras de electricidad. En la actualidad, la potencia instalada (para el consumo no producido) de conexión a red para energías renovables se limita a 100 kW debido a la normativa española, y como es el caso en nuestro estudio. Por esta razón, la configuración óptima para grandes almazaras, es una donde la potencia instalada sea la máxima posible en medición neta con la facturación y medición anual. De no tener este límite impuesto por la normativa española, el resultado de la optimización sería una mayor instalación de energía fotovoltaica.

En autoconsumo, la almazara consumirá primer lugar la energía producida por la instalación fotovoltaica, y el resto de la demanda de energía (no cubiertos por paneles solares) será proporcionado por la red. Por el contrario, en los meses en que la demanda de energía es menor que la energía producida por los paneles solares (de mayo a octubre),

cualquier exceso de energía producida se aportará a la red en el precio estipulado entre la compañía eléctrica y almazara (ver Figura 11). La siguiente expresión se utiliza para calcular el coste neto de energía en el modo de auto-consumo durante el período de facturación:

$$C_{Self-consumption} = IE_{SC} \times C_{Grid} - EE_{SC} \times C_{PV} \quad (8)$$

Donde IE_{SC} (kWh) es la energía eléctrica tomada de la red durante el período de facturación, C_{Grid} (€/kWh) es el precio que la almazara paga por la energía consumida de la red, EE_{SC} (kWh) es el exceso de energía eléctrica (producida por la instalación fotovoltaica) que se alimenta a la red durante el período de facturación y CPV (€/kWh) es el precio que la empresa paga por la electricidad esta energía de una fuente renovable.

De acuerdo con el resultado de la optimización mostrada en la Tabla 14, en auto-consumo, es más rentable tener una potencia instalada 7 kW, 9kW y 36kW en almazaras pequeñas, medianas y grandes, que instalar un sistema fotovoltaico de 100 kW, esta cantidad es la potencia máxima permitida por la legislación española para los consumidores de energía eléctrica.

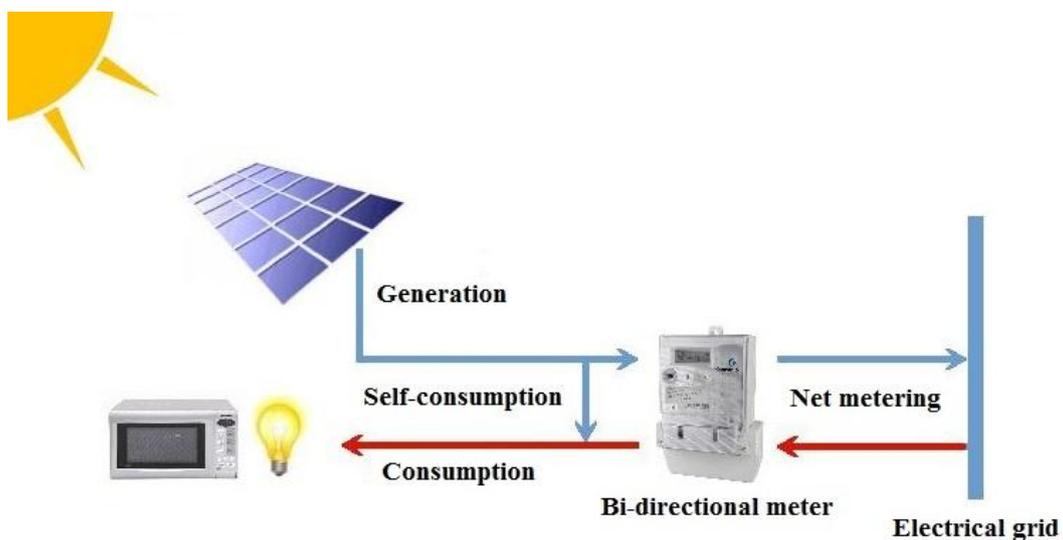


Figura 11: Esquema de la instalación fotovoltaica conectada a la red y las diferencias entre el autoconsumo y la medición neta [31].



En la medición neta, la energía consumida por las almazaras se obtiene directamente de la red eléctrica, y toda la energía producida por energías renovables se alimenta a la red. En este estudio, el sistema ha sido optimizado cuando la facturación y la medición se lleva a cabo mensual y anualmente. Como se puede comprobar en la Tabla 8, los resultados de la optimización son diferentes dependiendo de si las facturas se han liquidado mensual o anualmente. Actualmente en España, la medición neta no está regulada, pero lo está en otros países productores de aceite en la cuenca del Mediterráneo, y por lo tanto los resultados de la optimización se podrían aplicar allí.

$$C_{Net\ Metering} = \begin{cases} (IE_{NM} - EE_{NM}) \times C_{Grid} \text{ s.t. } (IE_{NM} - EE_{NM}) \geq 0 \\ (IE_{NM} - EE_{NM}) \times C_{PV} \text{ s.t. } (IE_{NM} - EE_{NM}) < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Donde IE_{NM} (kWh) es la energía eléctrica total consumida por la almazara y por lo tanto obtenida a partir de la red durante el período de facturación, y EE_{NM} (kWh) es la energía eléctrica total producida por la instalación fotovoltaica que se alimenta a la red durante el período de facturación.

En los siguientes apartados se van a presentar los datos económicos y ambientales que de forma cuantitativa demuestran los resultados mostrados en la Tabla 14.

4.1 Impacto económico.

El criterio principal utilizado para evaluar la rentabilidad de un proyecto, y por tanto de la medida de optimización en el programa HOMER, es el Coste Actual Neto (NPC) durante la vida útil de la instalación del sistema fotovoltaico, que en este estudio se considera de 25 años, debido a las recomendaciones del fabricante. El resultado de la NPC para los diferentes tipos de almazaras y distintas políticas de facturación y medición, se muestran en la Tabla 11. En la cual, podemos ver de forma clara, que la oferta tradicional (red eléctrica) es más costosa que el suministro a través de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, y que la solución de facturación y medición más barata (dentro de los



próximos 25 años) es la medición neta de facturación anual, mientras que la solución más cara es el autoconsumo.

Tabla 11. Valor Neto Actual (NPC)

Unidad: $\times 10^3$ €	Red	Instalación Fotovoltaica conectada a la red		
		Autoconsumo	Medición Neta Mensual	Medición Neta Anual
Pequeñas	378	374	368	341
Medianas	1275	1277	1273	1273
Grandes	3192	3185	3156	3126

El segundo parámetro se muestra en la Tabla 12, donde podemos ver el precio del kilovatio-hora, con la oferta única de la red eléctrica o con la instalación fotovoltaica conectada a la red. Una vez más, esto demuestra que el sistema híbrido es más rentable que la tradicional. Si comparamos los resultados de las diferentes políticas de facturación y medición, medición neta anual sigue siendo la más barata, mientras que el autoconsumo es el más caro.

Tabla 12. Coste de la Energía (COE)

Unid: €/kWh	Red	Instalación Fotovoltaica conectada a la red		
		Autoconsumo	Medición Neta Mensual	Medición Neta Anual
Pequeña	0.183	0.173	0.167	0.115
Mediana	0.130	0.129	0.128	0.128
Grande	0.154	0.151	0.148	0.140

Los resultados mostrados en la Tabla 12 proceden de cálculos basados en los datos que se detallan en el punto 4.4, que son los promedios de todas las tarifas disponibles para cada uno de los tipos almazara.

4.2 Sostenibilidad e Impacto Ambiental

En este apartado nos centramos en la sostenibilidad energética y el impacto medioambiental de las soluciones más rentables para cada uno de los tres tipos de



almazaras. El primer parámetro, que puede ayudarnos a medir el grado de sostenibilidad, es el porcentaje de consumo de energía procedente de fuentes renovables. El segundo parámetro, relacionado con el impacto medioambiental, se refiere a las emisiones directas y/o indirectas de CO2.

Tabla 13. Porcentaje Energía Renovable

Unidad: %	Red	Instalación Fotovoltaica conectada a la red		
		Autoconsumo	Medición Neta Mensual	Medición Neta Anual
Pequeña	0	6	8	26
Mediana	0	2	3	3
Grande	0	3	4	8

Como resultado, el porcentaje de uso de las energías renovables va de 2% a 26% para las soluciones técnicamente viables y más rentables.

En la Tabla 14, se han calculado y determinado los consumos eléctricos anuales de los tres tipos de almazaras en base a la facturación y la política de medición, la energía suministrada por la red eléctrica y la energía de fuentes renovables. Teniendo en cuenta los factores de CO2 equivalente antes mencionados para la red eléctrica y las instalaciones fotovoltaicas, se pueden calcular la cantidad de emisiones para los tres tipos de almazaras teniendo en cuenta únicamente las emitidas por la red eléctrica (tabla 15), así como las emisiones de las soluciones optimizadas de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red.

Tabla 14. Consumo eléctrico anual

Unidad: kWh/año	Autoconsumo		Medición Neta Mensual		Medición Neta Anual	
	Red	PV	Red	PV	Red	PV
Pequeña	84.079	12.036	82.484	15.475	69.746	61.902
Mediana	422.928	17.193	416.918	25.791	416.918	25.791
Grande	882.735	56.738	864.175	84.248	820.142	171.935

Viendo los resultados mostrados en la Tabla 15, se pueden alcanzar las siguientes reducciones de emisiones de CO2 equivalente: hasta 16,7% en pequeñas almazaras, 3,6% en almazaras de tipo medio y hasta el 9% en grandes almazaras. En la Figura 12, se muestra en un gráfico de barras, las emisiones de los tres tipos de almazaras.



Tabla 15. CO2 Equivalente para energía eléctrica de red y para instalación fotovoltaica conectada a la red

Unidad: t/año	Red	Re-/Instalación Fotovoltaica conectada a la red		
		Autoconsumo	Medición Neta Mensual	Medición Neta Anual
Pequeña	30,4	28,2	27,8	25,3
Mediana	143,6	140,2	138,5	138,5
Grande	304,4	293,4	288,3	277

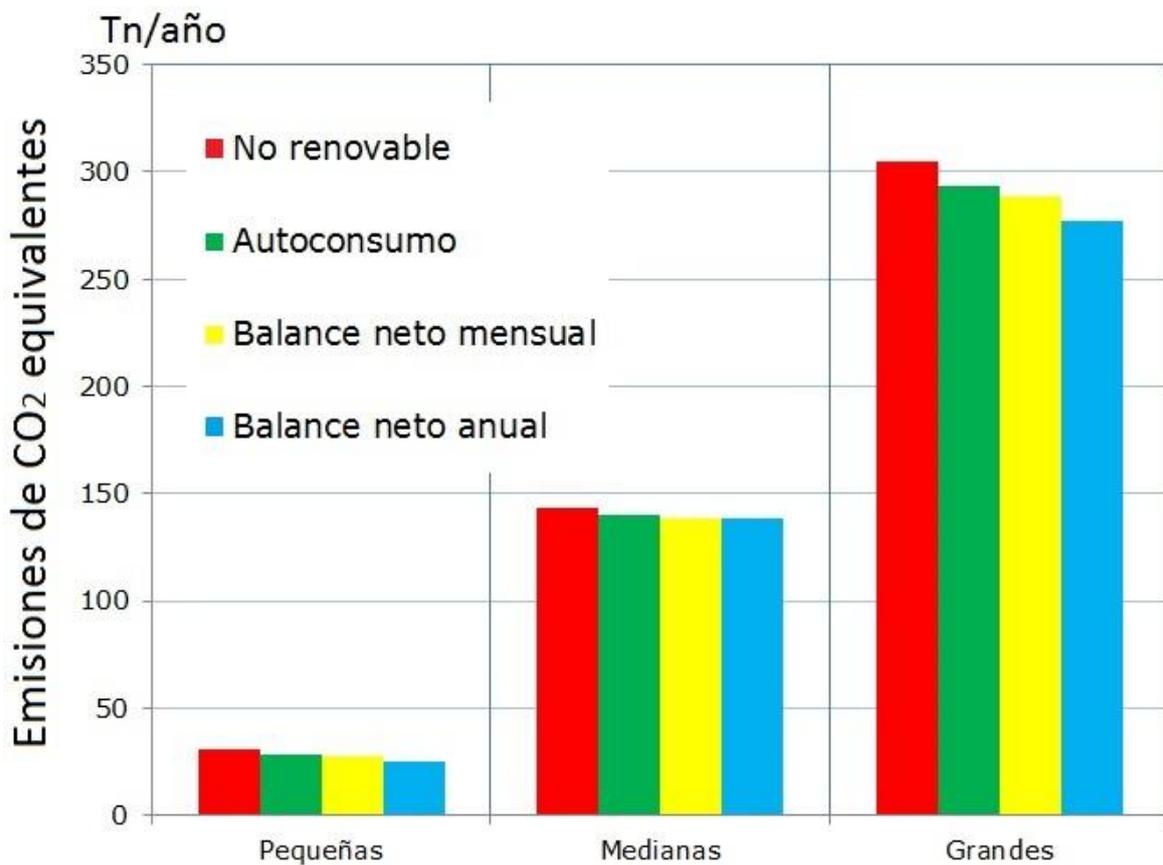


Figura 12: Comparación entre las emisiones de CO2 equivalente en almazaras alimentadas con instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red y sin energías renovables de acuerdo con la política de medición.



4.3 Impacto en el mercado

Como mencionamos al principio de este artículo, el precio del aceite de oliva ha alcanzado su valor máximo, mientras que sus costes de producción han aumentado, debido principalmente al aumento de los precios de la electricidad. Por lo tanto, otro objetivo que teníamos en mente a la hora de abordar este estudio ha sido reducir los costes de producción de aceite de oliva desde un punto de vista energético.

Como resultado, en la Tabla 16 se muestra el precio real en el año 2014 para los tres tipos de molinos de aceite, cuando son sistemas alimentados exclusivamente de la red eléctrica y cuando se utilizan instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, en comparación con el datos que se muestran en la Tabla 2, en la que podemos ver el promedio de precio de la electricidad por tonelada de aceite producido entre los años 2.007 y 2.009 [10].

Tabla 16. Precio de la electricidad por tonelada de aceite de oliva producido (año 2014).

Unidad: €/t	Red	Instalación Fotovoltaica conectada a la red		
		Autoconsumo	Medición Neta Mensual	Medición Neta Anual
Pequeña	32,41	30,64	29,58	20,37
Mediana	25,29	25,10	24,90	24,90
Grande	20,26	19,86	19,47	18,42

Como se puede observar en las Tablas 2 y 16, entre 2009 y 2014 el precio por tonelada de aceite de oliva se incrementó en un 21% para el aceite producido en pequeñas almazaras, un 19% para el aceite producido en las almazaras de tamaño medio, y un 31% para el aceite producido en almazaras grandes (basado en los precios de la electricidad en España).

Una vez buscada la configuración óptima de la instalación fotovoltaica conectada a la red, obtendremos reducciones de hasta un 37% en el precio de la electricidad por tonelada de aceite de oliva en pequeñas almazaras, un 2% en almazaras de tipo medio y un 9% en grandes almazaras, dependiendo del tipo de medición y de facturación.



El motivo por el que podemos obtener una disminución del 37% en el precio de la electricidad por tonelada de aceite en almazaras de tamaño pequeñas, es debido a que la mayoría de estas fábricas tienen una tecnología insuficiente, o en algunos casos obsoletas, y por lo tanto hay un mucho margen para poder reducir los costes con los sistemas de energías renovables apropiados. Por el contrario, el precio por kWh del que se benefician las almazaras de tipo medio es el más bajo de las tres estudiadas (un 28,7% menos con respecto a las de tamaño pequeño y el 15,3% menos con respecto a las grandes), y por tanto, el margen de reducción es bastante limitado.



5. CONCLUSIONES.

En el presente estudio, hemos estudiado la viabilidad técnica y económica para el uso de sistemas fotovoltaicos conectados a la red como instalaciones eléctricas que alimentan los equipos de una amplia muestra de almazaras españolas, y que se han clasificado en tres grupos, en función de su capacidad de producción.

Para poder realizar este trabajo se ha utilizado el programa HOMER, que está basado en diferentes configuraciones posibles, para alcanzar la solución más rentable desde un punto de vista económico, y para todas las configuraciones técnicamente viables, teniendo en cuenta tanto los costes de instalación del sistema de energía renovable, como los costes de mantenimiento y reemplazo al final de su vida útil.

Se han considerado tres clases o tipos de facturación y medición para las instalaciones fotovoltaicos conectadas a la red, cuyos resultados se han comparado con el suministro eléctrico tradicional-red, y donde se ha confirmado cuantitativamente el incremento de los precios de la energía eléctrica. No obstante, los resultados de las simulaciones han sido satisfactorios debido a que es posible una reducción en los costes de energía que habitualmente se pagan en este tipo de industria agroalimentaria, que es un sector muy importante para España y para otros países de la cuenca mediterránea. Los resultados finales en base a cada uno de los aspectos analizados son los siguientes:

- Impacto económico: en este caso el criterio de optimización de HOMER es el NPC de una instalación. En un período de 25 años, en el que se considera la vida útil de un sistema, teniendo en cuenta su instalación, operación, mantenimiento y costes del consumo de la red eléctrica, el ahorro en pequeñas almazaras es de un 9,8%, mientras que en las grandes del 2 %. Debemos tener en cuenta que después de este período de vida útil de 25 años, hay componentes del sistema que no necesitan reemplazo (por ejemplo, elementos estructurales), además de que la tecnología se vuelve más barata y más eficiente con el tiempo, a un ritmo mucho mayor que el aumento de precios de la electricidad, por lo cual que podemos asumir que estos porcentajes podrían ser mayores. En cuanto al precio por kWh pagado por la almazara, se puede conseguir una reducción de hasta el 37,2% (de 0,183 €/kWh sin



energías renovables hasta 0,115 €/kWh, con las energías renovables) en pequeñas almazaras y hasta 9% (de 0.152 €/kWh sin energías renovables hasta 0.140 €/kWh con energías renovables) en almazaras de tipo grande, en función de la política de facturación y medición del lugar en el que estén situadas.

- Impacto ambiental: el uso de fuentes de energía renovable, que oscila entre el 2% y 26%, aumenta en función del tipo de almazara, y de la política de facturación y medición. Una consecuencia inmediata de esto es una reducción del 3,6% al 16% en las emisiones de CO₂ equivalentes. Debemos tener en cuenta que los resultados obtenidos son más restrictivos, ya que hemos tenido en cuenta recursos no renovables utilizados en la construcción de todo el sistema fotovoltaico, mientras que no se ha considerado el uso de la biomasa para abastecer la demanda térmica de los otros equipos de las almazaras. Si se hubieran considerado todos los factores, las reducciones en las emisiones de CO₂ en almazaras en su conjunto, serían mucho más altas y estaríamos en la línea del objetivo de la UE de reducir un 20% las emisiones de CO₂ en los diferentes sectores económicos [32].
- Impacto en el mercado del aceite de oliva: una reducción de hasta el 37% en el precio del aceite de oliva procedente de pequeñas almazaras y una reducción de hasta el 9% en el precio del aceite de grandes almazaras.

Como hemos estudiado, el ahorro económico y la reducción de CO₂, en las almazaras de tamaño medio, son menores debido a que pagan precios más bajos por la electricidad. No obstante, el 38% de las almazaras españolas son de tamaño medio, mientras que el 58% son pequeñas y el 7% son grandes [10]. Esto significa, que tanto el ahorro económico, como la reducción del impacto ambiental serían verdaderamente significativos.

Finalmente, y como conclusión, podemos afirmar que se han podido alcanzar los objetivos formulados al principio de este trabajo.



6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

El aporte energético con aerogeneradores se está convirtiendo en una alternativa a estudiar. Tal como se puede demostrar, los regímenes de viento en Andalucía han permitido hasta el día de hoy la instalación de 3400 MW en parques eólicos [33] lo que invitaría a pensar en la posibilidad de la implantación de instalaciones minieólicas en la propia almazara y aisladas de la red, por lo tanto, esta sería una línea de investigación que continuaría el presente trabajo.

Una segunda línea muy interesante de investigación y en la que también se pretenderá trabajar es en el aporte energético procedente de la biomasa, también de carácter renovable, ya que abastecería a las almazaras de la energía térmica necesaria para realizar los diferentes procesos.

El uso de biomasa como una fuente de energía, permite sustituir los combustibles fósiles como el gasóleo, por lo que es considerada como una fuente de energía renovable que tiene beneficios medio ambientales, con una buena disponibilidad de materias primas, que incluye residuos o subproductos agrícolas y forestales e industriales, como el orujillo o el hueso de aceituna.

España es el primer productor mundial de aceite de oliva, con una superficie de olivar de aproximadamente 2 millones de hectáreas, lo que hace que dentro del propio sector oleícola, existan una gran cantidad de almazaras una gran cantidad de energía térmica y eléctrica. Los residuos propios que se generan en la producción de aceite de oliva, como el orujillo o el hueso de aceituna, están siendo utilizados como combustible que proporciona la energía térmica que se demanda en las almazaras y que además se produce en las propias instalaciones, con el consiguiente beneficio logístico y económico.

El porcentaje de biomasa obtenida de una hectárea de superficie (10.000 m²) de plantación de olivar es aproximadamente del 10% para del aceite de Oliva, 5,8% de huesos de aceituna, 33% de Orujillo, 1,2% Orujo de Oliva y un 50% restos de la poda, por tanto, su disponibilidad así como las capacidades caloríficas (energéticas) nos permitirán tener este tipo de biomasa como una alternativa energética al aporte tradicional.



7. BIBLIOGRAFÍA.

1. Resch, G.; Held, A.; Faber, T.; Panzer, C.; Toro, F.; Haas, R. Potentials and prospects for renewable energies at global scale. *Energy Policy* 2008, 36, 4048–4056.
2. López Polo, A.; Haas, R. An international overview of promotion policies for grid-connected photovoltaic systems. *Prog. Photovolt.* 2014, 22, 248–273.
3. SETIS (Strategic Energy Technologies Information System). PV Status Report 2014. Available online: <https://setis.ec.europa.eu/publications/technology-information-sheets> (acceso el 5 de octubre de 2015).
4. Chel, A.; Kaushik, G. Renewable energy for sustainable agriculture. *Agron. Sustain. Dev.* 2011, 31, 91–118.
5. Mekhilef, S.; Faramarzi, S.Z.; Saidur, R.; Salam, Z. The application of solar technologies for sustainable development of agricultural sector. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2013, 18, 583–594.
6. Squatrito, R.; Sgroi, F.; Tudisca, S.; Trapani, A.M.D.; Testa, R. Post Feed-in Scheme Photovoltaic System Feasibility Evaluation in Italy: Sicilian Case Studies. *Energies* 2014, 7, 7147–7165.
7. Sgroi, F.; Tudisca, S.; di Trapani, A.M.; Testa, R.; Squatrito, R. Efficacy and efficiency of Italian energy policy: The case of PV systems in greenhouse farms. *Energies* 2014, 7, 3985–4001.
8. Pagliuca, M.M.; Scarpato, D. The olive oil sector: A comparison between consumers and “experts” choices by the sensory analysis. *Procedia. Econ. Financ.* 2014, 17, 221–230.
9. European Commission. Prospects for the Olive Oil Sector in Spain, Italy and Greece 2012–2020; European Union Press: Brussels, Belgium, 2012.
10. Federación Andaluza de Empresas Cooperativas Agrarias. Manual de Ahorro y Eficiencia Energética del Sector. Almazaras. Available online: <http://www.agroalimentarias.coop/ficheros/doc/03198.pdf> (acceso el 14 de septiembre de 2015).
11. Barranco D.; Fernandez-Escobar R.; Rallo L. El cultivo del olivo. Departamento de Agronomía, E.T.S.I.A.M. Universidad de Córdoba.
12. Cárdenas R. J., Villar J. Marcos J.J., Talavera J., Velasco M., Puentes R., GEA WESTFALIA SEPARATOR IBARICA S.A. 2014. El manual del Maestro de Almazara.



13. Agencia de gestión energética, Diputación Provincial de Jaén. Cuaderno: Energía y Almazara.
14. Reglamento (CEE) nº 2568/91 del 11 de julio de 1991, relativo a las características de los aceites de oliva y de los aceites de orujo de oliva y sobre sus métodos de análisis.
15. Reglamento de ejecución (UE) nº 1348/2013 de 16 de diciembre de 2013.
16. Secretaría General del Medio Rural y la producción ecológica. Junta de Andalucía. Informe: Análisis del Mercado del aceite de oliva. Campaña 2009-2010.
17. García-Maraver, A., Zamorano M., Ramos-Ridao A., Díaz L.F. Analysis of olive grove residual biomass potential for electric and thermal energy generation in Andalusia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 16, pp. 745-751, 2012.
18. Wikipedia Commons, the Free Media Repository. Map of Spain with Andalusia highlighted.
Availableonline:http://commons.wikimedia.org/wiki/Andaluc%C3%ADa#/media/File:Localizaci%C3%B3n_de_Andaluc%C3%ADa.svg (acceso el 31 de marzo de 2015).
19. Liqueste, C.; Arnau, P.; Canals, M.; Colas, S. Mediterranean river system of Andalusia, southern Spain, and associated deltas: A source to sink approach. *Mar. Geol.* 2005, 222–223, 471–495.
20. Fazelpour, F.; Soltani, N.; Rosen, M.A. Feasibility of satisfying electrical energy needs with hybrid systems for a medium-size hotel on Kish Island, Iran. *Energy* 2014, 73, 856–865.
21. Lillo I.; Haselhuhn R.; Hemmerle C. Instalaciones fotovoltaicas: manual para uso de instaladores, fabricantes, proyectistas e ingenieros, instituciones de enseñanza y de investigación". SODEAN, S.A. 2004. ISBN 3-934595-31-6.
22. The Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
23. Dalton, G.J.; Lockington, D.A.; Baldock, T.E. Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel. *Renew. Energy* 2009, 34, 955–964.
24. Euro Area Statistics. Available online: <https://www.euro-area-statistics.org/index?cr=eur&lg=en> (acceso el 31 de marzo de 2015).
25. Ramos-Paja, C.A.; Saavedra-Montes, A.J.; Trejos, L.A. Estimating the produced power by photovoltaic installations in shaded environments. *Dyna* 2015, 82, 37–43.



26. Orozco-Gutierrez, M.L.; Petrone, G.; Ramirez-Scarpetta, J.M.; Spagnuolo, G.; Ramos-Paja, C.A. A method for the fast estimation of the maximum power points in mismatched PV strings. *Electr. Power Syst. Res.* 2015, 121, 115–125.
27. Orozco-Gutierrez, M.L.; Ramirez-Scarpetta, J.M.; Spagnuolo, G.; Ramos-Paja, C.A. A method for simulating large PV arrays that include reverse biased cells. *Appl. Energy* 2014, 123, 157–167.
28. National Renewable Energy Laboratory. Distributed Generation Renewable Energy Estimate of Costs. Available online: http://www.nrel.gov/analysis/tech_lcoe_re_cost_est.html (acceso el 31 de marzo de 2015).
29. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Factores de Conversión Energía Final—Energía Primaria y Factores de Emisión de CO₂-2011. Available online: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Factores_Conversion_Energia_y_CO2_2011_0a9cb734.pdf (acceso el 14 de septiembre de 2015).
30. Fthenakis, V.; Alsema, E. Photovoltaics energy payback times, greenhouse gas emissions and external costs: 2004–early 2005 status. *Prog. Photovolt.* 2006, 14, 275–280.
31. Wikipedia Commons, the Free Media Repository. File:Esquema-autoconsumo.svg Available online: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esquema-autoconsumo.svg> (acceso el 10 de junio de 2015).
32. Energy and Climate Change—Elements of the Final Compromise. Available online: http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/ec/104672.pdf (acceso el 4 de septiembre de 2015).
33. Recurso Eólico de Andalucía, Agencia Andaluza de la Energía, Sevilla (2009), pp. 63-69.



Apéndice A:
Publicaciones en revistas
y contribuciones



**APENDICE A: Publicaciones científicas en revistas indexadas en JCR.**

Los resultados expuestos en la Tesis ya han sido publicados en la siguiente revista: Rabaza Castillo O., Contreras-Montes J., García-Ruiz M.J., Delgado-Ramos F. Gómez-Lorente D. Article: Techno-economic performance evaluation for olive mills powered by grid-connected photovoltaic systems. *Energies* 2015, 8, 11939-11954

Energies 2015, 8, 11939-11954; doi:10.3390/en81011939

OPEN ACCESS

energies

ISSN 1996-1073

www.mdpi.com/journal/energies

Article

Techno-Economic Performance Evaluation for Olive Mills Powered by Grid-Connected Photovoltaic Systems

Ovidio Rabaza ^{1,*}, José Contreras-Montes ^{1,†}, María Jesús García-Ruiz ^{1,2,†}, Fernando Delgado-Ramos ^{2,3,†} and Daniel Gómez-Lorente ^{1,†}

¹ Department of Civil Engineering, University of Granada, 18071 Granada, Spain; E-Mails: jcmingenieros.gr@gmail.com (J.C.-M.); mjgruiz@ugr.es (M.J.G.-R.); dglorente@ugr.es (D.G.-L.)

² Institute of Water Research, University of Granada, 18012 Granada, Spain; E-Mail: fdelgado@ugr.es

³ Department of Structural Mechanics and Hydraulic Engineering, University of Granada, 18071 Granada, Spain

[†] These authors contributed equally to this work.

^{*} Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: ovidio@ugr.es; Tel.: +34-958-249-517; Fax: +34-958-246-138.

Academic Editor: Talal Yusaf

Received: 16 September 2015 / Accepted: 14 October 2015 / Published: 21 October 2015

Abstract: In recent years, due to the rise in petroleum prices and greenhouse gas emissions, renewable energy has been recommended as a power source for different types of facilities. For the period 2010 to 2020 the European Commission has established three key objectives related to climatic change and energy sustainability, such as reductions of CO₂ emissions, increases in the use of renewable energy, and improvements in energy efficiency. A key industry is olive oil production in olive mills, where there is a great opportunity to reduce electricity consumption, increase additional profits related to the reduction of technologies that are harmful to the environment, and to cut back maintenance costs. For this reason, a feasibility study of grid-connected photovoltaics (PV) systems has been carried out for different types of olive mills in Andalusia (southern Spain). This region is highly energy dependent, but has an abundance of “green” resources to be exploited. The results of this study contemplate a reduction in spending on electrical power of between 2% and 37%, and an increase in the use of renewable energy of between 2% and 26%. These results are according to the self-consumption or net metering policy and the production capacity of olive oil.

APENDICE A: Publicaciones científicas en revistas no indexadas en JCR.

Rabaza O., Contreras-Montes J., Espín-Estrella A., Gómez-Lorente D. Model to Maximize Self-consumption of Olive Mills Powered by a Mixed System of Renewable Energies. Revista Renewable Energy & Power Quality Journal, ISSN 2172-038 X, N° 13, 2015.



International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'14)
La Coruña (Spain), 25th to 27th March, 2015
Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)
ISSN 2172-038 X, No.13, April 2015



Model to Maximize Self-consumption of Olive Mills Powered by a Mixed System of Renewable Energies

O. Rabaza, J. Contreras-Montes, A. Espín-Estrella, D. Gómez-Lorente

Department of Civil Engineering
E.T.S.I.C.C.P., University of Granada
C/ Severo Ochoa S/N, 18071 Granada (Spain)
Phone/Fax number: +34 958 249 517, e-mail: ovidio@ugr.es

Abstract. In recent years, due to the growth of petroleum prices and gas emissions, the renewable energies have been recommended like feed sources to different types of facilities, and therefore, since 2010 to 2020 the European Commission has established three key objectives related with climatic change and the energy sustainability like are reduction of the CO₂ emissions, increase of the use of the renewable energies and the rise of the energy efficiency. A key sector are the produce installations of olive oil also called "olive mills", where there is a great opportunity to reduce the electrical consumption, increase the additional profits related to reduction of harmful technologies to the environment and reduce the costs in its maintenance. For this reason, this paper investigates and compares the technical and environmental feasibility of olive mills, powered by renewable sources such as; solar energy, wind energy, biomass energy or combination of them in Andalusia (South of Spain), having this region a huge energy dependency, but large amount of "green" resources to be used.

The feasibility of these systems will be carried out taking into account the cost, power generation, CO₂ equivalent emissions and fraction of renewable energy, assuming that they are grid-connected.

months (since December to April normally). The facilities and electrical supply contracts have been designed for these peaks of consumption, and therefore the installations are "oversized" the rest of the year, it implying unnecessary costs.

2. Problem

Since several years the price of the olive oil has touched ceiling, and it is very important to the profitability of the sector reduce the cost of production of the olive oil, therefore it is necessary to focus the effort in the reduction of the energy consumption, one of the costs more significant in this Agro-Food industry.

Despite the fact that the olive mills are simple facilities that invite to think that there are only few points where we can act, this work will demonstrate that it is possible achieve an optimization of the facility, obtaining similar results in the production with less energy consumption.

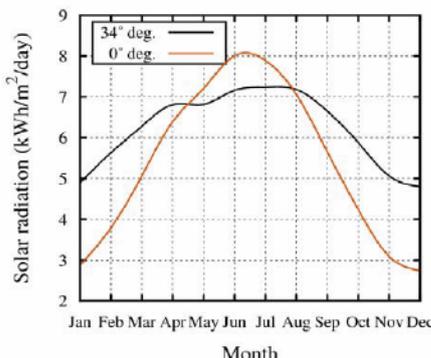
Keywords

Olive mill, sustainability, wind power, solar energy, biomass.

1. Introduction

The current situation of energy in Spain and specifically in Andalusia requires from all sectors to consider present and future strategies about the need to save and optimize energy consumption. Climatic change, Kyoto protocol and the needs of the companies to reduce the energy costs, make it necessary to have knowledge of the energy in key sectors [1], as it is the case of the agro-food sector.

The optimization of the energetic consumption in olive mills is a priority among the concerns of the people in charge of its management. However, there is a common interest related to the hiring of the power supply for such facilities as a result of operating for a period of four or five



Month	34° deg.	0° deg.
Jan	5.0	3.0
Feb	6.0	4.5
Mar	6.8	6.0
Apr	7.0	7.5
May	7.1	8.0
Jun	7.2	8.1
Jul	7.1	8.2
Aug	6.8	8.0
Sep	6.2	7.0
Oct	5.5	5.5
Nov	5.0	4.5
Dec	4.8	3.5

Fig. 1. Monthly solar radiation in the South of Spain using PVGIS [2].

Thanks to the reduction of power consumption, the use of renewable energies would be the best solution to reduce the cost in energy and CO₂ equivalent emissions to the

APENDICE A: Contribuciones presentadas en congresos internacionales.

Congreso “International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ’15) organizado por el European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality.

Model to Maximize Self-consumption of Olive Mills Powered by a Mixed System of Renewable Energies

*O. Rabaza⁽¹⁾, J. Contreras-Montes⁽¹⁾, A. Espin Estrella⁽¹⁾, D. Gómez Lorente⁽¹⁾
 (1) Section of Electrical Engineering, Department of Civil Engineering
 E.T.S.I.C.C.P, Granada University, Campus of Fuentenueva 18071 Granada (Spain)

SUMMARY

The technical and environmental feasibility of olive mills, powered by renewable sources such as solar energy, wind energy, biomass energy or combination of them in Andalusia (South of Spain), is investigated and compared. The feasibility of these systems will be carried out taking into account the cost, power generation, CO₂ equivalent emissions and fraction of renewable energy, assuming that they are grid-connected

ENERGY CONSUMPTION OF THE OLIVE MILLS

SIZE ACCORDING PRODUCTION

The energy consumption will depend of the olive oil production, therefore, in this work the size of the olive mills have been classified according to the following production.

Classification of mills	Production of Olive Oil
Small	≤ 1000 tn
Medium	[1000, 5000) tn
Large	>5000 tn

Electrical
+
Thermal

Classification of mills	Electrical Consumption	Classification of mills	Thermal Consumption
Small	92500 kWh	Small	100000 kWh
Medium	435000 kWh	Medium	516650 kWh
Large	922500 kWh	Large	1025000 kWh

The electrical consumption is supplied by the electrical grid and it is located in the stages of cleaning of the fruit (conveyors, bar screens, washing machines, engines, etc.) and grinded (grinders and centrifugal pumps).

The thermal consumption corresponds to the needs of hot water to maintain the temperature of the dough mixer around 30°C and ambient temperature of the collar between 15°C and 20°C, as well as the hot water of the centrifuges.

MATERIALS AND METHODS

SYSTEM MODEL

The used systems which provide power to the processes of the olive mill that consume electricity will be PV modules and wind turbines, always connected to grid (self-consumption). The thermal consumption will be supplied by boilers of biomass.

PV SYSTEM

The proposed site location is 37° 10' North Latitude and 3° 36' West Longitude. Annually an average of 4.93 kWh/m²/d of solar radiation is available.

Description	Cost/Information
Capital cost	3125 \$/kW _{ac}
Replacement cost	2500 \$/kW _{ac}
Life time	25 years
PV tracking	No tracking
No-cirrig factor	90 %
Slope (degrees)	37.1667
Ground reflectance	20 %

WIND TURBINE

The average velocity used is 5.5 m/s² to 40 m of height. The Wind turbine designed in this work produces AC. Considered size range from 1 to 100 kW.

BIOMASS BOILER

Biomass_Boiler Fuel Properties	
Lower heating value:	16.5 MJ/kg
Density:	800 kg/m ³
Carbon content:	40 %
Sulfur content:	0.15 %

Biomass is provided by the amount of bio-waste of cultivation of grove and olive oil production (pruning of olive trees, olive pomace oil, olive stones, etc.)

GRID

Price	From	To/Back	Demand
(\$/MWh)	(\$/MWh)	(\$/MWh)	(\$/MWh)
Of peak:	0.51	0.55	1.16
Shoulder:	0.76	0.80	1.16
Peak:	0.26	0.30	1.16

Cost of current tariff in electrical energy implemented HOMER

OPTIMIZATION RESULTS AND MODEL

PV	WT	GT	Initial Capital	Initial Cost (\$/kW)	Operating Cost (\$/kW)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. frac. (%)	Ren. frac. (\$/kWh)
20	1	1000	\$18,700	\$18,420	\$267,167	0.200	0.18	27.7%	
4	1	1000	\$27,623	\$18,960	\$202,720	0.210	0.18	27.3%	

Result of the optimization process to small size olive mills

PV	WT	GT	Initial Capital	Initial Cost (\$/kW)	Operating Cost (\$/kW)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. frac. (%)	Ren. frac. (\$/kWh)
20	1	1000	\$36,577	\$12,200	\$1,215,657	0.200	0.05	108.700	

Result of the optimization process to medium size olive mills

PV	WT	GT	Initial Capital	Initial Cost (\$/kW)	Operating Cost (\$/kW)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. frac. (%)	Ren. frac. (\$/kWh)
40	1	1000	\$104,000	\$30,010	\$2,081,794	0.201	0.03	273.012	
4	1	1000	\$104,077	\$30,402	\$2,087,039	0.202	0.03	273.012	

Result of the optimization process to large size olive mills

MODEL

PV module - olive oil production

The model obtained expressed as a polynomial, only it is taking into account wind velocities of 5.5 m/s, for this reason a solution with wind turbine is not the cheapest.

CONCLUSION

The results obtained by using HOMER software allow us to have a realistic and simple model to plan the energy supply (Electrical and Thermal) based on low-carbon technologies for olive mills as function of its production. Amount of yearly energy production, consumption and finally COE have been obtained at different conditions of production to get the optimum system. The analysis reveals that COE is 0.2 \$/kWh in case of the grid connected system, lower as compared to grid only system. This is advantageous in context of economy. The optimized study of a mixed system for olive mill showed that the proposed system by the model can be implemented in a cost effective and environmentally friendly way.