

## Informe técnico

# “Estudio de gestión energética asociada a la actividad agropecuaria, tomando como modelo la experiencia de la Finca El Mato”

## Acción 9.2

### Actividad 9: Actividad de análisis de la huella de carbono y sobre gestión energética eficiente



## Proyecto LaSos

<b>Entidad coordinadora:</b>	AEI-Cluster RICAM (Agrupación Empresarial Innovadora – Cluster de Empresas de Energías Renovables, Medio Ambiente y Recursos Hídricos de las Islas Canarias)
<b>Responsable técnico:</b>	Agustín J. González Martín (coordinador) Correo: <a href="mailto:ajgonmar@gmail.com">ajgonmar@gmail.com</a> ; <a href="mailto:dir.gerente@clusterricam.org">dir.gerente@clusterricam.org</a> Teléfono: 609 547 307

### Contenido del Informe:

1. Introducción.
2. Memoria técnica del sistema de autoconsumo para la Finca El Mato.
3. Proyección de la aplicación de un sistema de autogeneración energética para explotaciones agrarias en el ámbito insular.
4. Conclusiones.

*Marzo 2015*

## 1. Introducción

Uno de los aspectos esenciales de la sostenibilidad es el modo en que producimos y consumimos energía en cualquiera de sus formas y usos. En la actualidad, según el IPCC<sup>1</sup>, el sector energético es responsable de al menos el 40% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI), llegando este porcentaje hasta el 70% en los países industrializados.

Canarias, aun siendo una región donde la industria representa una parte residual de la economía, existen actividades intensivas en energía como el transporte y el turismo, pero por encima de todas ellas destaca el sector energético. En particular, este sector arroja los siguientes datos para el año 2012<sup>2</sup>:

GEI TOTAL	13.383,1
GEI Procesado de la energía	11.728,1
GEI Centrales térmicas	5.977,8
GEI Transporte	4.697,2

*Emisiones de GEI para Canarias expresados en Gg<sup>3</sup> de CO2 equivalentes*

La energía fue causante del 87,6% de las emisiones totales de GEI en Canarias en el año 2012. Bajo esta rúbrica se encuentran las actividades de producción de electricidad y refino de petróleo como el transporte y otros.

Además cabe destacar que, a pesar de que respecto de 2011, la energía redujo su contribución 0,4% y respecto del periodo 2005-2012 esa reducción ha sido de un 22,2%, el total acumulado a efectos de los compromisos de emisiones del Protocolo de Kyoto sigue significando un aumento del 55% respecto del año 1990 (año base para el cálculo de la evolución de emisiones). Este crecimiento acumulado revela la preocupante trayectoria de Canarias en sus compromisos ambientales, al desmarcarse de las tendencias estatal y europea, estando muy alejadas del umbral de incremento concedido a España en el marco del Protocolo.

Descendiendo hasta el caso concreto objeto de estudio de este Informe y del mismo Proyecto LaSos, en la actualidad la agricultura convencional es consumidora neta de energía, tanto en forma de fuerza motriz para las actividades propias del laboreo como en el uso para

---

<sup>1</sup> IPCC son las siglas en inglés del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, una organización creada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Su misión es analizar y realizar recomendaciones sobre el riesgo que supone el cambio climático debido a la actividad humana, sus potenciales consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y las opciones de adaptación o mitigación de sus efectos.

<sup>2</sup> Anuario Energético de Canarias 2013. Consejería de Empleo, Industria y Comercio del Gobierno de Canarias.

<sup>3</sup> 1 Gigagramo (Gg) equivale a 1.000 toneladas.

iluminación y otros fines, tal como hemos señalado en el Informe de la Acción 9.1 de esta misma Actividad.

En cualquier caso, este consumo energético suele ser superior cuanto más tecnificada se encuentra la actividad agropecuaria y, por tanto, se vuelve menos sostenible. Conforme al “Informe de Sectorización de la Demanda Final de Energía en Canarias en el año 2006”<sup>4</sup>, podemos observar los siguientes datos para el sector primario:

<b>Producto</b>	<b>Cantidad (TEP<sup>5</sup>)</b>
GLP <sup>6</sup> (Propano)	225,00
Gasolinas	56,00
Gasóleo	1.083,00
Diesel y Fueloil	496,70
<b>TOTAL CONSUMO FINAL</b>	<b>1.860,70</b>

*Consumo final de productos derivados del petróleo en el sector primario (excluida la pesca).*

El sector primario en el año 2006 representaba el 0,14% del consumo de productos derivados del petróleo en Canarias.

Por su parte, el consumo final de energía eléctrica en el sector primario (excluida la pesca) ascendió en ese mismo año a 17.270 TEP, un 2,38% del total regional. Si tenemos en cuenta que en aquel momento las energías renovables representaban el 0,25% de la generación eléctrica, podemos concluir con escaso margen de error que el sector primario en 2006 cubría sus necesidades energéticas mediante combustibles fósiles, bien aprovechados directamente para el transporte o la maquinaria agrícola, bien de forma indirecta a través de la electricidad.

En el presente Informe se plantea un sistema energético autónomo basado en energías renovables para cubrir las necesidades de la Finca El Mato. Tras analizar en profundidad las alternativas, realizaremos una proyección de los datos obtenidos a partir del supuesto de que todas las explotaciones agrarias de Tenerife fuera energéticamente autosuficientes, pero además sin emisiones contaminantes gracias a las tecnologías renovables y el aprovechamiento del desnivel del terreno como vector energético característico del territorio insular.

---

<sup>4</sup> 2008. Consejería de Industria del Gobierno de Canarias. Dirigido por el Prof. Dr. D. Francisco Ramos Real. Dpto. de Análisis Económico de la Universidad de La Laguna.

<sup>5</sup> Toneladas Equivalente de Petróleo. Medida de armonización entre diferentes productos energéticos.

<sup>6</sup> Gases Licuados del Petróleo.

## **2. Memoria Técnica - Trabajo fin de grado**

A continuación se expone la información elaborada por el alumno del Grado de Ingeniería Mecánica de la Universidad de La Laguna, Adrián Díaz Hernández, dentro de su trabajo fin de grado elaborado tomando como ejemplo la Finca El Mato. Merece la mención y reconocimiento por su dedicación y meticulosidad, al tiempo de tratarse de un estudio de utilidad como fundamento para una adopción del autoconsumo de energía en el sector primario.

### **Índice de la Memoria:**

1.	Objeto	7
1.1.	Objetivo académico	7
1.2.	Objetivo técnico	7
2.	Peticionario	7
3.	Alcance	7
4.	Antecedentes	7
4.1.	Finca El Mato	8
4.2.	Situación geográfica	8
4.2.1.	Aula bioclimática	8
4.2.2.	Zona de servicio	9
4.2.3.	Zonas de cultivo	9
4.2.4.	Taller de reciclaje	9
4.2.5.	Viviendas para el voluntariado	9
4.2.6.	Vivero	9
4.2.7.	Granja	9
4.3.	Instalación eléctrica	9
4.3.1.	Tipo de suministro energético y punto de conexión	9
4.3.2.	Potencia prevista	10
4.3.3.	Coeficientes de uso y simultaneidad aplicados	10
4.3.4.	Descripción de los circuitos de la instalación eléctrica	10
4.3.5.	Receptores eléctricos	11
4.3.6.	Instalaciones de enlace	11
4.3.7.	Derivación individual	12
4.3.8.	Caja de Protección y Medida	13
4.3.9.	Dispositivos generales de mando y protección	13
4.4.	Fuentes de energía	13

4.4.1.	Solar	13
4.1.2.	Agua de riego	15
5.	Normas y referencias	17
5.1.	Disposiciones legales y normas aplicadas	17
5.2.	Bibliografía	18
5.3.	Programas de cálculo	18
6.	Definiciones y abreviaturas	18
6.1.	Definiciones	18
6.1.1.	Generales	18
6.1.2.	Componentes eléctricos	18
6.1.3.	Radiación solar	19
6.1.4.	Generadores fotovoltaicos	19
6.1.5.	Acumuladores de plomo-ácido	19
6.1.6.	Reguladores de carga	20
6.1.7.	Inversores	20
6.2.	Abreviaturas	21
7.	Requisitos de diseño	21
7.1.	Demanda eléctrica	21
7.2.	Autonomía	22
8.	Análisis de soluciones	22
8.1.	Energía solar	22
8.1.1.	Características	22
8.1.2.	Emplazamiento	23
8.1.3.	Pérdidas por orientación	23
8.1.4.	Cálculo de potencia y energía	23
8.2.	Energía hidráulica	24
8.2.1.	Características	24
8.2.2.	Cálculo de energía	24
8.2.3.	Cálculo de pérdidas de carga	25
8.2.4.	Cálculo de diferencia de alturas	26
8.2.5.	Bomba hidráulica	27
8.3.	Acumuladores o baterías eléctricas	28
9.	Resultados finales	28
9.1.	Opción primera. Energía fotovoltaica almacenada en acumuladores eléctricos.	28
9.1.1.	Instalación fotovoltaica	29

9.1.2.	Baterías eléctricas	30
9.1.3.	Resumen	31
9.2.	Opción segunda. Energía fotovoltaica e hidráulica almacenada en acumuladores eléctricos y tanque superior.	31
9.2.1.	Capacidad de almacenamiento	32
9.2.2.	Generación hidráulica	33
9.2.3.	Consumo hidráulico de la bomba de evacuación	34
9.2.4.	Baterías eléctricas	36
9.2.5.	Instalación fotovoltaica	37
9.2.6.	Resumen	38
9.3.	Equipamiento	38
9.3.1.	Baterías	38
9.3.2.	Inversor	39
9.3.3.	Instalación fotovoltaica	39
9.3.4.	Instalación hidráulica	40
10.	Presupuesto de las opciones estudiadas	42
10.1.	Presupuesto de la opción primera. Energía fotovoltaica almacenada en acumuladores eléctricos.	42
10.2.	Opción segunda. Energía fotovoltaica e hidráulica almacenada en acumuladores eléctricos y tanque superior.	43
10.3.	Comparativa	44

## **1. Objeto**

### **1.1. Objetivo académico**

El objetivo de este proyecto es generar una propuesta adecuada basada en los conocimientos y capacidades adquiridas en los estudios de grado de Ingeniería Mecánica, con el fin de desarrollar una forma limpia de generar energía, que cumpla con la demanda eléctrica de una finca específica, las normativas vigentes y con los requisitos de cada una de las zonas de la explotación.

### **1.2. Objetivo técnico**

La Permacultura, método de cultivo en auge, trata de reproducir las condiciones naturales en la explotación agrícola de un terreno, implica el uso de energías limpias, realizando el mínimo consumo de materiales fósiles y evitando cualquier contaminación.

Javier Reyes, propietario de la Finca El Mato y promotor de esta técnica de cultivo en Tenerife, plantea la posibilidad de llevar a cabo esta experiencia de independencia energética de su finca a través del uso de energías renovables o fuentes limpias.

Abel Cedrés, Ingeniero consultor en energías limpias, propone el estudio de viabilidad como experiencia de Trabajo de Fin de Grado a la Universidad de La Laguna para la asignatura de Trabajo de Fin de Grado para estudiantes del Grado de Ingeniería Mecánica.

## **2. Peticionario**

Peticionario: ETSICI Universidad de La Laguna  
Domicilio: Avda. Astrofísico Francisco Sánchez Edif. Garoé  
Termino municipal: La Laguna  
Provincia: Santa Cruz de Tenerife

## **3. Alcance**

El alcance de este proyecto comprende el estudio de las instalaciones necesarias para la independencia de abastecimiento eléctrico de una finca agropecuaria, aplicando los conocimientos en ingeniería adquiridos en la titulación y las reglamentaciones y normativas que son aplicables a los sistemas que son objeto del presente proyecto. Todo ello tras el estudio de las demandas reales de energía y las posibilidades de implantación de nuevas fuentes energéticas en la finca.

## **4. Antecedentes**

## **4.1. Finca El Mato**

La Finca el Mato es una asociación para el desarrollo de la permacultura situada en el municipio de Tacoronte. Este espacio liderado por Javier Reyes Barroso trata de promover el cultivo y la cría de variedades autóctonas de plantas y animales, ejerciendo una labor de conservación y divulgación del Patrimonio Natural de las Islas Canarias. Además, tiene una labor de inserción socio-laboral de personas con enfermedad mental a través de su trabajo en Centros Especiales de Empleo aplicando los principios de la Permacultura.

En resumen, la finca logra una formación pre-laboral de las personas con discapacidad, comercializa los productos en la finca, consolida la red residuos-recursos con empresas y familias de la zona y divulga la permacultura mediante cursos, visitas y charlas en sus instalaciones.

*"La Permacultura (Agricultura Permanente) es el diseño consciente y mantenimiento de ecosistemas agrícolas productivos, los cuales tienen la diversidad, estabilidad y resistencia de los ecosistemas naturales. Es la integración armónica del paisaje y la gente produciendo comida, energía, cobijo y otras necesidades y no materiales de una manera sostenible" (Bill Mollison 1988, Permaculture A Designers' Manual)*

La permacultura, además del desarrollo de una agricultura ecológica, busca métodos para que la vida sobre el planeta sea más sostenibles, englobando por tanto aspectos como la economía, la bioconstrucción, el tratamiento natural de las aguas, las relaciones sociales, el desarrollo comunitario y las energías renovables.

## **4.2. Situación geográfica**

La Finca el Mato se sitúa en el municipio de Tacoronte, cerca de la calle Miranda, más conocida como "Bajada de La Caridad". Se trata de dos terrenos con una extensión total de 12.610 m<sup>2</sup> distribuidos en una franja de 30 m de ancho. Su proximidad a un volcán provoca una alta diferencia de cota entre los extremos de la finca, de modo que se ha aprovechado el terreno dividiéndolo en 15 escalones, estableciendo las diferentes zonas que constituyen la finca.

El acceso a la finca se realiza mediante un paso de servidumbre que se sitúa aproximadamente a una altura media de la finca. Por la parte alta se encuentran un aula bioclimática, un taller de reciclaje y 6 zonas de cultivo. Por la parte inferior al paso encontramos la zona de servicio, un vivero, un estanque semienterrado para riego, la granja de animales, y 5 terrenos más de cultivos.

### **4.2.1. Aula bioclimática**

La finca posee un aula bioclimática donde se imparten cursos de formación y se celebran reuniones. Se ubica en un edificio de uso exclusivo, de una sola planta, con geometría octogonal y cubierta en forma de pirámide.

Las paredes están realizadas con materiales naturales, una mezcla de barro con restos vegetales, caracterizados por disponer de capacidad de aislamiento térmico capaz de aportar una temperatura y humedad confortable en el interior del habitáculo. En este edificio se ha dispuesto el cuadro de protección y control de la instalación eléctrica de la finca.

El aula bioclimática dispone de un sistema de iluminación con regulación que permite crear diferentes ambientes para posibles clases de relajación y cuentacuentos entre otros.



#### **4.2.2. Zona de servicio**

Se trata de un patio cubierto donde el personal de la finca tiene su zona de ocio, con una cocina, utilizado como espacio para el descanso y comidas. Tiene una caseta anexa que cumple la función de vestuarios. Además incluye una pequeña casa, de un piso de altura, donde habita el propietario de la finca con sus propios electrodomésticos, incluido un calentador solar que le aporta agua caliente para su consumo.

#### **4.2.3. Zonas de cultivo**

La finca de disposición escalonada, cuenta con áreas de cultivos de diferentes tipos de vegetales y frutas. Algunos de estos espacios están reservados para realizar prácticas y que los alumnos aprendan las técnicas de la permacultura. Todos ellos disponen de un sistema de riego mediante goteo o por aspersión, aunque en ciertas épocas del año cuando abunda el suministro de agua también practican el método de infiltración.

#### **4.2.4. Taller de reciclaje**

En esta zona, se encuentra una zona de almacenaje donde se depositan, en diferentes contenedores, distintos residuos que son aprovechados para crear compost, alimentar a los animales de la granja o para reutilizar dándole una nueva utilidad. Además, en este espacio se halla una zona de trabajo donde se realizan actividades de carpintería y soldadura entre otros.

#### **4.2.5. Viviendas para el voluntariado**

Junto al taller de reciclaje, se encuentran dos espacios adaptados como viviendas para los voluntarios, dotados de iluminación y tomas de corriente sencillas, y baños con acceso al suministro de agua.

#### **4.2.6. Vivero**

En la finca se encuentra un pequeño vivero utilizado para la germinación inicial de las semillas de cultivo, para más tarde ser trasplantada a la zona de cultivo que le corresponde. Se aprovecha la energía solar mediante efecto invernadero para mantener la temperatura y humedad óptima requerida para la labor.

#### **4.2.7. Granja**

La granja de animales está compuesta por un área vallada con varias especies de animales como cerdos, gallinas y cabras entre otros. Además, contiene un pequeño establo, donde hay un burro y una yegua. La principal función de la granja es la obtención de abono para los cultivos, además del uso de los animales como terapias y para el mercado.

### **4.3. Instalación eléctrica**

#### **4.3.1. Tipo de suministro energético y punto de conexión**

La finca actualmente está conectada a la red de distribución pública en baja tensión, con una potencia contratada de 5,75 kW. El punto de conexión del suministro eléctrico a la finca está situado

en el cuadro de protección y control del citado edificio, en una salida protegida con un interruptor magnetotérmico de 25 Amperios.

Este proyecto, se propone un montaje eléctrico a partir de una conexión a la red general de baja tensión, de la que se partirá para el diseño de la instalación de aislamiento eléctrico.

#### **4.3.2. Potencia prevista**

Tras realizar el estudio de los receptores eléctricos de la instalación, la potencia prevista instalada de toda la instalación eléctrica de la finca objeto de este proyecto es de 12 KW.

#### **4.3.3. Coeficientes de uso y simultaneidad aplicados**

Para el estudio del suministro de electricidad, se han aplicado como condición una segmentación de la duración del día en cuatro periodos con tal de simplificar la estimación de la simultaneidad de los elementos eléctricos de la finca. De este modo, se crean conjuntos de elementos consumidores que, en un mismo instante, tienen una alta probabilidad de que se exija su funcionamiento.

Para ello ha sido necesario realizar la estimación de las potencias que se requieren para todos los electrodomésticos en base a su categoría (en este caso, todos son de bajo consumo, Categoría A), para la iluminación, y para las tomas de corriente auxiliares en previsión de los elementos que se conectaran, dependiendo del lugar donde estén situados.

Por otro lado, el coeficiente de uso se ha determinado según el número de horas que se usa cada elemento dentro de cada una de las franjas horarias propuestas. Además, se distingue entre el periodo de verano y de invierno, ya que las horas de luz no son las mismas y que ciertos electrodomésticos, como el calentador de agua, solo se usa en una determinada época del año.

#### **4.3.4. Descripción de los circuitos de la instalación eléctrica**

En la siguiente tabla se realiza una breve descripción de todos los circuitos de la instalación que parten desde el cuadro general hasta los receptores de la finca. Esta descripción está referida simplemente a los receptores de los mismos, es decir, la información que se aporta en dicha tabla permite conocer que receptores alimenta cada circuito, lo que facilita la comprensión del esquema unifilar y otras partes del proyecto, en donde por sencillez se ha decidido hacer referencia a cada circuito de forma numérica.

Circuitos	Descripción
Circuito 1	Tomas de corriente auxiliares del taller
Circuito 2	Iluminación de las viviendas para voluntariado y taller
Circuito 3	Tomas de corriente auxiliares de las viviendas para voluntariado
Circuito 4	Tomas de corriente auxiliares del aula bioclimática y caseta-almacén
Circuito 5	Iluminación ambiental del aula bioclimática (1)
Circuito 6	Iluminación ambiental del aula bioclimática (2)
Circuito 7	Iluminación del aula bioclimática y caseta-almacén
Circuito 8	Baño del aula bioclimática
Circuito 9	Iluminación de la zona servicio (patio, vestuario y almacén), del vivero y cuadra

Circuito 10	Tomas de corriente auxiliares de la zona de servicio (incluye nevera) y cuadra
Circuito 11	Tomas de corriente para electrodomésticos de la cocina de la zona de servicio
Circuito 12	Iluminación de la casa
Circuito 13	Tomas de corriente auxiliar de la casa (incluye nevera)
Circuito 14	Tomas de corriente para electrodomésticos de la casa
Circuito 15	Baño de la casa

**Tabla 1. Listado de circuitos eléctricos**

Se agrupan en cuatro grupos diferenciados por zonas (en distintos colores en la tabla anterior), los cuales se distribuirán en distintos interruptores diferenciales auxiliares como se plantea más adelante en este mismo proyecto.

#### 4.3.5. Receptores eléctricos

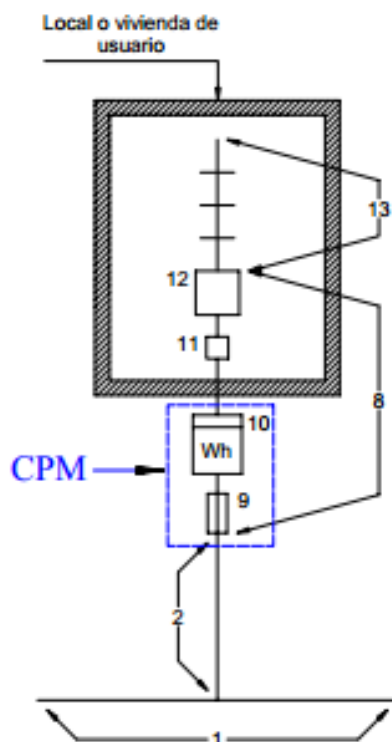
Los receptores eléctricos de la finca se recogen en la siguiente tabla:

Zona	Tipo	Nº	Zona	Tipo	Nº
<b>Cuadra</b>	Lámparas	4	<b>Vivero</b>	Lámparas	1
	Tomas de corriente	3	<b>Cabaña</b>	Lámparas	2
<b>Casa</b>	Lámparas	10		Tomas de corriente	2
	Tomas de corriente	8	<b>Aula bioclimática</b>	Lámparas	20
	Nevera	1		B. LED	32
	Lavadora	1		Tomas de corriente	3
	Congelador	1	<b>Baño</b>	Lámparas	2
	Termo	1		Tomas de corriente	1
<b>Servicio</b>	Lámparas	7	<b>Voluntarios</b>	Lámparas	8
	Tomas de corriente	7		Tomas de corriente	3
	Nevera	1	<b>Taller</b>	Lámparas	3
	Lavadora	1		Tomas de corriente	2
	Congelador	1		Tomas de alta potencia	2

**Tabla 2. Listado de receptores eléctricos.**

#### 4.3.6. Instalaciones de enlace

Aplicando ITC-BT-12, será necesario instalar los siguientes elementos, siguiendo el esquema, entre la acometida y los dispositivos generales de mando y protección.



Leyenda			
1	Red de distribución	10	Contador
2	Acometida	11	Caja para interruptor de control y potencia
8	Derivación individual	12	Dispositivos generales de mando y protección
CPM	Caja de protección y medida	13	Instalación interior
9	Fusible de seguridad		

#### 4.3.7. Derivación individual

La derivación individual se inicia en la acometida y comprende los fusibles de seguridad, el conjunto de medida y los dispositivos generales de mando y protección según la ITC-BT 16. Debe llevar asociado en su origen su propia protección compuesta por fusibles de seguridad, con independencia de las protecciones correspondientes a la instalación interior de cada suministro. Estos fusibles se instalarán antes del contador.

Los cables serán de 6 mm<sup>2</sup> de sección, de tensión asignada 450/750 V y los cables de cobre de clase 2 según norma UNE 21.022, con un aislamiento seco, extruido a base de mezclas termoestables o termoplásticas, con características equivalentes a la norma UNE 21.027-9 y la norma UNE 21.1002.

Los tubos propuestos para la canalización de la derivación individual son metálicos, y se instalan a 0,6 m de profundidad con respecto al nivel del terreno, con un recubrimiento mínimo inferior de 0,03m y un recubrimiento mínimo superior de 0,06m.

#### **4.3.8. Caja de Protección y Medida**

Dado que se trata del caso para un único usuario, se hará uso de la Caja de Protección y Medida acorde con el apartado 2 de ITC-BT-13 y ITC-BT-16

Su instalación se realizará en un nicho de pared, cuya puerta cumpla un grado de protección IK 10 según UNE-EN 50.102, protegida contra la corrosión, disponiendo de una cerradura o candado normalizado

La CPM debe garantizar la fácil lectura del equipo de medida, el acceso permanente a los fusibles generales de protección y garantizar la seguridad y el mantenimiento.

El tipo de caja general de protección a utilizar corresponderá a uno de los tipos recogidos en las especificaciones técnicas de la empresa suministradora que haya sido aprobada por la Administración Pública competente.

#### **4.3.9. Dispositivos generales de mando y protección**

De acuerdo con ITC-BT-17, el cuadro de los dispositivos generales de mando y control estará instalado en el Aula Bioclimática del recinto, junto a la puerta de entrada principal, a una altura de 1.5m.

Las envolventes de los cuadros se ajustaran a las normas UNE 20.451 y UNE 60.439-3 con grado de protección IP30 según UNE20.324 e IK07 según UNE-EN 50.102.

Los dispositivos generales e individuales de mando y protección serán:

1. Un interruptor general automática de corte omipolar.
2. Un interruptor diferencial general de 0.3<sup>a</sup>.
3. Cuatro interruptores diferenciales auxiliares de 30 mA.
4. Dispositivos de corte omipolar para cada uno de los circuitos.

La definición del cuadro de dispositivos de mando y protección, así como de sus componentes, se realiza a según el esquema unifilar tratado en el PLANO 2.00 de este proyecto.

### **4.4. Fuentes de energía**

#### **4.4.1. Solar**

##### ***Características específicas***

El emplazamiento de la finca se halla en la vertiente norte de la isla, cuyo terreno desciende en la dirección Noroeste. Hacia el Este, nos encontramos con la montaña de la Atalaya, la cual se convierte en un obstáculo que impide que los rayos de sol incidan sobre la finca durante las primeras horas del día. En cambio, en la dirección Oeste, a pesar de que existe un pequeño desnivel, no afecta de manera significativa sobre las horas de sol de la ubicación.

La finca se encuentra en la zona norte de la isla, conocida como una zona nubosa la mayor parte del año. La evaluación climatológica del lugar se realiza según los datos recogidos por la estación

meteorológica TACOR, propiedad del Cabildo de Santa Cruz de Tenerife, situada en el mismo municipio que la finca de estudio.

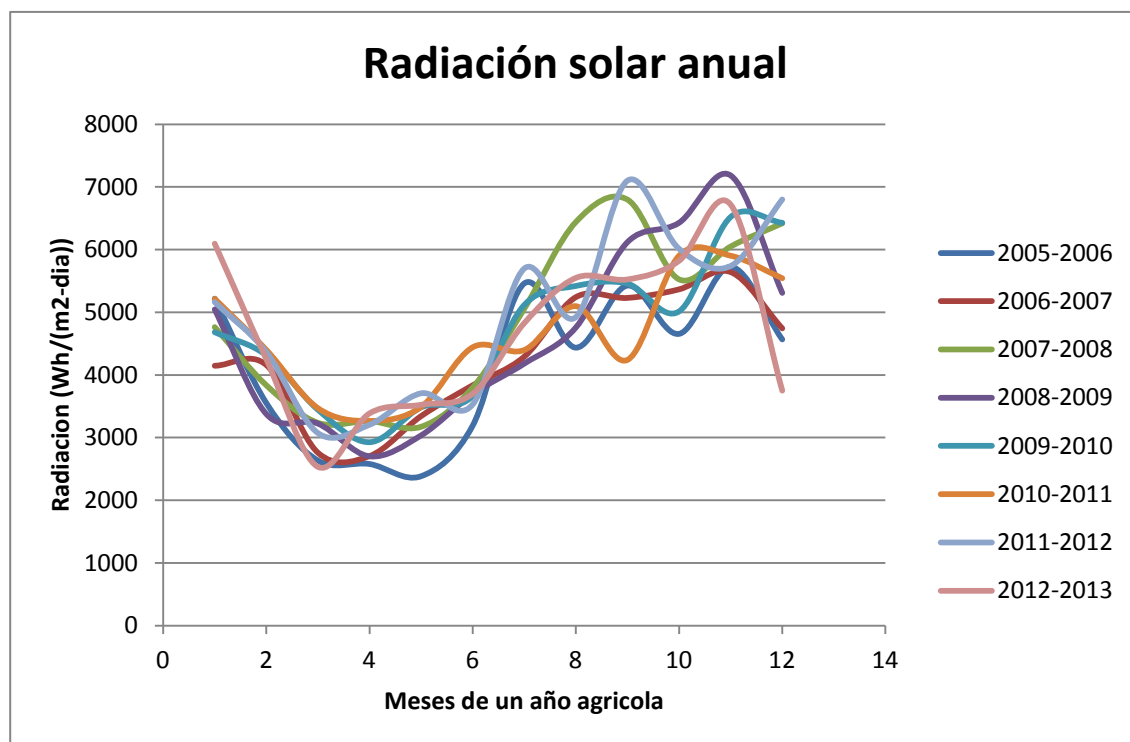
La energía solar se mide mediante la radiación solar sobre una superficie durante un tiempo determinado, y la unidad del Sistema Internacional es el  $\text{Wh/m}^2\text{-día}$ , que nos indica la cantidad de Vatios cada hora, por unidad de metro cuadrado, durante un día. Esta cantidad de energía varía a lo largo del día, en ciclos día-noche, y a lo largo del año, siendo de mayor intensidad durante el verano.

A partir de esta energía por radiación a través de las placas fotovoltaicas se extrae la energía eléctrica, y su capacidad depende de las características, extensión y rendimiento de las mismas. Otro factor importante es el diseño de la instalación, teniendo en cuenta la inclinación solar a lo largo de año, su incidencia y las sombras que pueden producir los obstáculos del alrededor.

### **Condiciones climatológicas**

A través de la página del Cabildo de Tenerife, obtenemos los datos recogidos por la estación meteorológica TACOR durante los últimos 8 años, entendiendo este periodo de tiempo suficiente para una estimación acertada.

La radiación solar media varía a lo largo del año debido al cambio del ángulo solar y la duración de los días, con una amplia desviación entre el invierno y el verano.



**Fig. 4-1. Gráfica de radiación solar a lo largo del año**

Todos los años siguen una misma tendencia, apreciando que en verano se obtiene prácticamente el doble de radiación que en los meses de invierno. Es por ello que es necesario que el estudio sobre esta fuente de energía se realice a lo largo del año.

Radiación solar anual									Media
	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	
Sep	5218,5	4147,6	4764,4	5045,1	4681,6	5215,9	5162,4	6093,6	5041,1375
Oct	3552,8	4159,2	3836,7	3376,4	4313,1	4401,3	4364,6	4250,1	4031,775
Nov	2635,9	2758,2	3238	3223,4	3444,1	3472,6	3072,6	2531,6	3047,05
Dic	2580,4	2704	3265,1	2701,4	2924,7	3268,4	3205,3	3384,8	3004,2625
Ene	2385,5	3342,8	3174,8	3035,1	3481,6	3491,3	3707,4	3522,4	3267,6125
Feb	3192,3	3835,4	3800	3694	3663,5	4443,6	3529,5	3698,6	3732,1125
Mar	5460,7	4293	5058,6	4180,2	5116,3	4399,6	5698,7	4826,1	4879,15
Abr	4436,3	5243,5	6440,2	4757	5419,5	5098,3	4923,2	5547,3	5233,1625
May	5426,8	5231,2	6797,2	6118,1	5456,7	4241,9	7101,4	5522,5	5736,975
Jun	4656,3	5368,2	5524,7	6427,5	5013,1	5902,8	6013	5819,9	5590,6875
Jul	5725,5	5643,8	6048,8	7181,7	6521,3	5902,8	5738,9	6716,5	6184,9125
Ago	4567,3	4744,5	6418,8	5308,3	6427,7	5543,6	6800,4	3747,4	5444,75

**Tabla 3. Radiación solar anual expresada en Wh/(m<sup>2</sup>-día)**

### ***Inclinación del Sol***

Un factor de gran importancia para la instalación de un equipo de generación fotovoltaica es la inclinación en la que el Sol incide sobre la superficie y las variaciones que esta sufre a lo largo del año. En el valor de este ángulo, influye la latitud terráquea en la que se sitúa el emplazamiento, del ángulo de inclinación de la tierra y de la época del año. El ángulo medio de incidencia solar coincide con el ángulo de latitud, por lo que, en nuestro caso, para la isla de Tenerife, el valor es de 28° N.

#### **4.1.2. Agua de riego**

##### ***Uso actual***

Para regar los cultivos, se utiliza un tanque de agua que se halla fuera de la propiedad de la finca, en la zona de mayor cota y otro tanque para las zonas de cultivo inferiores, que se encuentre junto al invernadero. Se conectan mediante una tubería de hierro enterrada. A la salida del primer tanque, dispone de un filtro de arena y un filtro AZUD MODULAR 300, de trabaja mediante membranas, de 2 pulgadas de diámetro.

Actualmente, no se dispone de ningún sistema de bombeo para el regadío, sino que se aprovecha la diferencia de cota entre los depósitos de agua y la zona a regar para darle la presión necesaria.

##### ***Características generales***

El suministro principal de agua para riego de la finca procede de las galerías de la isla, y es almacenado en el tanque superior con capacidad para 900.000 litros. Además, se trata de un tanque abierto al aire libre, lo que permite recoger el agua de la lluvia.

La primera tubería que se instaló para el sistema de riego se trata de un tubo de acero de 1.5 pulgadas de diámetro, que sale directamente del tanque y que recorre toda la finca desde el tanque superior hasta la última zona de cultivo en la parte inferior. A la altura de cada escalón o zona de cultivo, tiene una derivación hacia una válvula que permite abrir el paso del agua hacia una manguera de plástico de 16 mm para riego manual o a un sistema de riego por dispersión o goteo, dependiendo de las instalaciones para cada tipo de cultivo.

Más adelante, se instaló un tanque secundario capaz de almacenar 220.000 litros entre el invernadero y la granja de animales, que se suministra mediante el agua residual de las instalaciones, aunque también tiene la posibilidad de ser rellenado utilizando la tubería de acero procedente del tanque superior y por lluvia. El objetivo era dividir las zonas de cultivo entre los dos tanques, utilizando este último para aquellas con menor cota que el mismo y el resto para el tanque superior. Por lo tanto se instaló un juego de tuberías y válvulas que permitían utilizar la tubería de acero según el objetivo propuesto o seguir usando el agua del tanque superior como único suministrador.

Con el tiempo, el sistema de riego de las zonas de cultivo de mayor cota no rendía debido a que en el interior de la tubería de acero se empezaron a formar grandes capas de residuos. Para solucionar esto, se decidió instalar una derivación del tubo de acero hacia un filtro de arena, cuya salida es un tubo de polietileno de 2 pulgadas que suministra a las 3 primeras zonas de cultivo, antes de llegar a la zona de reciclaje/taller. El objetivo es terminar sustituyendo por completo la tubería de acero por esta nueva, suministrando agua filtrada a toda la instalación.

### **Tanques**

- Tanque superior

<b>Cota</b>	460 m
<b>Forma</b>	Trapezio rectangular
<b>Superficie</b>	340.8 m <sup>2</sup>
<b>Altura máxima</b>	2.5 + 0.5 m
<b>Volumen</b>	920 m <sup>3</sup>

- Tanque inferior

<b>Cota</b>	422 m
<b>Forma</b>	Rectangular
<b>Superficie</b>	47.3 m <sup>2</sup>
<b>Altura máxima</b>	4.4 + 0.3 m
<b>Volumen</b>	220 m <sup>3</sup>

### **Tuberías y accesorios**

- Filtro 1

<b>Cota</b>	451 m
<b>Tipo</b>	De arena

- Filtro 2

<b>Cota</b>	451 m
<b>Tipo</b>	Membranas

- Tubería de riego

<b>Diámetro</b>	16 mm
-----------------	-------



<b>Caudal máximo</b>	2.2 l/s
<b>Presión máxima</b>	25000 kg/m <sup>2</sup>
<b>Material</b>	PVC

- Tubería principal

<b>Diámetro</b>	2 pulgadas
<b>Longitud</b>	220 m
<b>Material</b>	PVC

## 5. Normas y referencias

### 5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- ITC-BT-04 sobre Documentación y puesta en servicio de las instalaciones.
- ITC-BT-05 sobre Verificaciones e inspecciones.
- ITC-BT-07 sobre Redes subterráneas para distribución en Baja Tensión.
- ITC-BT-12 sobre Instalaciones de enlace y Esquemas.
- ITB-BT-15 sobre Derivaciones individuales
- ITC-BT-16 sobre Contadores
- ITC-BT-17 sobre Dispositivos generales e individuales de mando y protección. Interruptor de control de potencia.
- ITC-BT-19 sobre Instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales.
- ITC-BT-30 sobre Instalaciones en locales de características especiales.
- ITC-BT-35 sobre Instalaciones con fines especiales. Establecimientos agrícolas y hortícolas.
- ITC-BT-40 sobre Instalaciones generadoras de Baja Tensión.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- Manual sobre instalaciones eléctricas de generación para autoconsumo total en el ámbito de la comunidad autónoma de canarias: régimen jurídico y procedimiento administrativo.
- Referencias sobre autoconsumo de energía eléctrica en la normativa vigente, según la Dirección de Energías Renovables del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, de Febrero de 2012.

## **5.2. Bibliografía**

- Mecánica de Fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas, José Agüera Soriano, Editorial Ciencia 3, 1996.

## **5.3. Programas de cálculo**

- Microsoft Office Excel 2007
- Autodesk AutoCAD 2013
- SolidWorks 2011

# **6. Definiciones y abreviaturas**

## **6.1. Definiciones**

### **6.1.1. Generales**

- Permacultura: Rama de diseño ecológico, la ingeniería ecológica, y el diseño del medio ambiente que desarrolla la arquitectura sostenible y los sistemas agrícolas de auto-mantenimiento modelados desde los ecosistemas naturales.
- Energías renovables: Energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, undimotriz, la biomasa y los biocombustibles.
- Autonomía: Tiempo que un dispositivo con una fuente de alimentación independiente puede permanecer en activo, hasta el agotamiento de la fuente o mejor dicho cuando uno puede responder por sí solo.

### **6.1.2. Componentes eléctricos**

- Cuadro de protección: Componente principal de una instalación eléctrica, en él se protegen cada uno de los distintos circuitos en los que se divide la instalación a través fusibles, protecciones magnetotérmicas y diferenciales.
- Magnetotérmico: Dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos de intensidad. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico.
- Un interruptor diferencial: Dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones eléctricas de corriente alterna, con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por faltas de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos.

- Tomas de corriente auxiliares: Puntos de conexión para equipos, herramientas y electrodomésticos de uso cotidiano.
- Tomas de corriente de alta potencia: Punto de conexión con mayor potencia estimada para uso de herramientas y equipos de alto consumo eléctrico.

### **6.1.3. Radiación solar**

- Radiación solar: Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.
- Irradiancia: Densidad de potencia incidente en una superficie o la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en kW/m<sup>2</sup>.
- Irradiación: Energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto período de tiempo. Se mide en MJ/m<sup>2</sup> o kWh/m<sup>2</sup>.
- Año agrícola: Año natural en que se considera el mes de Septiembre como el primero, y el de Agosto como el último del mismo.

### **6.1.4. Generadores fotovoltaicos**

- Célula solar o fotovoltaica: Dispositivo que transforma la energía solar en energía eléctrica.
- Módulo fotovoltaico: Conjunto de células solares interconectadas entre sí y encapsuladas entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.
- Rama fotovoltaica: Subconjunto de módulos fotovoltaicos interconectados, en serie o en asociaciones serie-paralelo, con voltaje igual a la tensión nominal del generador.
- Generador fotovoltaico: Asociación en paralelo de ramas fotovoltaicas.
- Condiciones Estándar de Medida (CEM): Condiciones de irradiancia y temperatura en la célula solar, utilizadas como referencia para caracterizar células, módulos y generadores fotovoltaicos y definidas del modo siguiente:
  - Irradiancia máxima instantánea (GSTC): 1000 W/m<sup>2</sup>
  - Distribución espectral: AM 1,5 G
  - Incidencia normal
  - Temperatura de célula: 25 °C
- Potencia máxima del generador (potencia pico): Potencia máxima que puede entregar el módulo en las CEM.

### **6.1.5. Acumuladores de plomo-ácido**

- Acumulador: Asociación eléctrica de baterías.
- Batería: Fuente de tensión continua formada por un conjunto de vasos electroquímicos interconectados.

- Autodescarga: Pérdida de carga de la batería cuando ésta permanece en circuito abierto. Habitualmente se expresa como porcentaje de la capacidad nominal, medida durante un mes, y a una temperatura de 20 °C.
- Capacidad nominal [C (Ah)]: Cantidad de carga que es posible extraer de una batería en 20 horas, medida a una temperatura de 20 °C, hasta que la tensión entre sus terminales llegue a 1,8 V/vaso.
- Capacidad útil: Capacidad disponible o utilizable de la batería. Se define como el producto de la capacidad nominal y la profundidad máxima de descarga permitida.
- Estado de carga: Cociente entre la capacidad residual de una batería, en general parcialmente descargada, y su capacidad nominal.
- Profundidad de descarga: Cociente entre la carga extraída de una batería y su capacidad nominal. Se expresa habitualmente en %.
- Vaso: Elemento o celda electroquímica básica que forma parte de la batería.

#### **6.1.6. Reguladores de carga**

- Regulador de carga: Dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas. El regulador podrá no incluir alguna de estas funciones si existe otro componente del sistema encargado de realizarlas.
- Voltaje de desconexión de las cargas de consumo: Voltaje de la batería por debajo del cual se interrumpe el suministro de electricidad a las cargas de consumo.
- Voltaje final de carga: Voltaje de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el generador fotovoltaico y la batería, o reduce gradualmente la corriente media entregada por el generador fotovoltaico.

#### **6.1.7. Inversores**

- Inversor: Convertidor de corriente continua en corriente alterna.
- Vrms: Valor eficaz de la tensión alterna de salida.
- Potencia nominal (VA): Potencia especificada por el fabricante, y que el inversor es capaz de entregar de forma continua.
- Capacidad de sobrecarga: Capacidad del inversor para entregar mayor potencia que la nominal durante ciertos intervalos de tiempo.
- Rendimiento del inversor: Relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor. Depende de la potencia y de la temperatura de operación.
- Factor de potencia: Cociente entre la potencia activa (W) y la potencia aparente (VA) a la salida del inversor.

## 6.2. Abreviaturas

Instalación fotovoltaica:

<b>G<sub>dm</sub></b>	Radiación solar incidente media
<b>PR</b>	Factor global de funcionamiento
<b><math>\eta_{orientacion}</math></b>	Perdidas por orientación
<b><math>\beta</math></b>	Ángulo de inclinación respecto al suelo
<b><math>\alpha</math></b>	Ángulo de desviación respecto al sur
<b>PMP</b>	Relación entre potencia y superficie de panel fotovoltaico

Instalación hidráulica:

<b><math>E_i</math></b>	Energía en el punto i
<b><math>V_i</math></b>	Velocidad del fluido en el punto i
<b><math>P_i</math></b>	Presión del fluido en el punto i
<b><math>z_i</math></b>	Cota en el punto i
<b>g</b>	Aceleración de la gravedad (8.91 m/s <sup>2</sup> )
<b><math>\rho_{fluido}</math></b>	Densidad del fluido
<b><math>\eta_{turbina}</math></b>	Rendimiento de la turbina hidráulica
<b><math>\eta_{bomba}</math></b>	Rendimiento de la bomba hidráulica
<b><math>H_f</math></b>	Perdidas de carga expresada en metros según la ecuación de Darcy-Weisbach
<b>f</b>	Factor de fricción
<b>L</b>	Longitud de la tubería
<b>Q</b>	Caudal volumétrico
<b>D</b>	Diámetro de la tubería
<b>Re</b>	Numero adimensional de Reynolds
<b><math>\nu</math></b>	Viscosidad cinemática del fluido
<b>k</b>	Rugosidad del material de la tubería
<b><math>\gamma</math></b>	Peso específico del fluido

## 7. Requisitos de diseño

### 7.1. Demanda eléctrica

La finca El Mato tiene instalados una serie de elementos eléctricos en las distintas estancias que lo compone, enumerados ya en el punto 5.3.5 “Receptores eléctricos” de este documento.

Para la estimación de la demanda eléctrica, se tiene en cuenta que el consumo varía entre temporadas y a lo largo del día. Por ello, se distinguen dos temporadas, las de invierno y las de verano, y cuatro periodos a lo largo del día, por la mañana, al mediodía, por la tarde, y por la noche.

VERANO	
Franja horaria	Consumo
Mañana (8h-12h)	3866,75 Wh/día
Mediodía (12h-18h)	3511,75 Wh/día

Tarde (18h-0h)	2312,50 Wh/día
Noche (0h-8h)	2206,25 Wh/día
<b>TOTAL</b>	<b>11897,25 Wh/día</b>

**Tabla 4. Estimación consumo eléctrico en Verano**

<b>INVIERNO</b>	
<b>Franja horaria</b>	<b>Consumo</b>
Mañana (8h-12h)	4266,75 Wh/día
Mediodía (12h-18h)	3911,75 Wh/día
Tarde (18h-0h)	2687,50 Wh/día
Noche (0h-8h)	2375,00 Wh/día
<b>TOTAL</b>	<b>13241,00 Wh/día</b>

**Tabla 5. Estimación consumo eléctrico en Invierno**

La variación más importante se aprecia en el periodo de tarde, obteniendo un mayor consumo en invierno dado que en esta época del año el ocaso sucede antes, por lo que la iluminaria tendrá que ser usada durante más tiempo. También podemos apreciar que el máximo consumo coincide con el franja de la mañana y el mediodía, periodo que coincide con la máxima radiación solar como fuente de energía.

## **7.2. Autonomía**

Es necesario fijar un número de días de autonomía, para los cuales, en caso de que no se generara electricidad, el emplazamiento pudiera continuar abasteciéndose eléctricamente a ritmo normal sin ningún corte.

Un excesivo número de días, supondría un incremento del número de baterías, mientras que en deceso, podría suponer que la demanda sea mayor que la energía almacenada.

Para este tipo de sistemas aislados, se recomienda una instalación con autonomía para 3 días, y que sea capaz de obtener la energía necesaria para ese periodo de tiempo en al menos la mitad, es decir, en un día y medio.

Por tanto, la capacidad de almacenamiento de energía será de 39750 Wh, el equivalente a tres veces la demanda por día en los meses de invierno.

## **8. Análisis de soluciones**

### **8.1. Energía solar**

#### **8.1.1. Características**

Debido a las dimensiones y a la escasa demanda eléctrica de la finca, la opción más acertada para aprovechar la energía solar es mediante el uso de placas fotovoltaicas. Esto implica un espacio

reducido para su instalación, aprovechando tejados y cubiertas, y requiere de un mantenimiento mínimo. Estas placas, en general, producen una corriente continua cuya magnitud depende del rendimiento y tamaño de las placas, cuyos valores son aportados por el fabricante.

Esta instalación requiere de un método de acumulación de la energía eléctrica y de un convertidor que transforme la corriente continua en alterna, en conjunto con el requisito de los electrodomésticos. Además, son necesarias unas medidas de protección capaces de desconectar el circuito ante un riesgo eléctrico en el sistema.

### **8.1.2. Emplazamiento**

Para instalar placas solares, sería necesario buscar un lugar adecuado para ello y crear la estructura en la que se apoyará. La mayor superficie de la finca es utilizada para cultivo, y el uso de este suelo para la instalación de placas fotovoltaicas no sería productivo. El lugar más adecuado sería colocarlas sobre la superficie del tanque inferior de agua, ya que son espacios sin utilizar y que no producen ningún inconveniente siempre que se facilite un acceso para el mantenimiento. Este espacio de 47.3 m<sup>2</sup> se cubriría por placas fotovoltaicas orientadas hacia el suroeste e inclinadas 38° como ya se mencionó anteriormente.

La disposición de las placas debe realizarse atendiendo al objetivo de obtener la mayor eficiencia posible, evitando sombras y obstáculos indeseados. Una buena guía para la colocación de varias líneas de placas fotovoltaicas es que la separación entre las diferentes líneas sea aproximadamente el doble de la altura máxima de la línea posterior una vez instalada, con su inclinación correspondiente.

En el Plano 3.00 de este proyecto se puede comprobar una instalación tipo para la distribución de placas solares sobre el tanque inferior, abarcando toda el área posible cumpliendo con las condiciones, adquiriendo la mayor eficiencia posible.

### **8.1.3. Pérdidas por orientación**

El valor de pérdidas debido a la orientación de las placas se calcula en porcentaje mediante una ecuación obtenida a través de la experiencia, y depende de la latitud, de la posición respecto al Sur y de la inclinación.

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot [1.2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3.5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2] \quad (8-1)$$

En nuestro caso, situados en latitud ( $\beta$ ) de 28° N, teniendo una desviación del sur ( $\alpha$ ) de 45°, e instalando las placas con una inclinación ( $\phi$ ) de 38°, obtenemos un valor de pérdidas de 7.0875%, los cuales se tendrán en cuenta para cálculos posteriores.

### **8.1.4. Cálculo de potencia y energía**

La potencia obtenida depende de la radiación solar incidente media (G<sub>dm</sub>) a lo largo de la jornada, que varía por meses, de la superficie en metros cuadrados de placas instaladas y de la potencia que los equipos son capaces de generar.

Además, se deben tener en cuenta el factor global de funcionamiento (PR) que solo se conoce con certeza una vez este el sistema instalado, pero se estima para nuestro caso en un 80%, y las pérdidas

por orientación ( $\eta_{orientacion}$ ), las cuales se calculan a partir de conocer el ángulo de inclinación respecto al suelo ( $\beta$ ) y el ángulo de desviación respecto al sur ( $\alpha$ ).

$$Gdm(\alpha, \beta) = Gdm \cdot (100\% - \eta_{orientacion}) \quad (8-2)$$

$$Pmp = \frac{\text{Potencia nominal de panel FV}}{\text{Superficie de captacion de panel FV}} \quad (8-3)$$

$$\text{Energía} = \frac{Gdm(\alpha, \beta) \cdot PR \cdot (\text{Potencia instalada})}{Pmp} \quad (8-4)$$

Conociendo la radiación solar incidente media ( $Gdm$ ) de cada mes del año, podemos determinar la generación de energía media al día y la variación que este sufre a lo largo del año, siendo de mayor valor en verano que en invierno. Comparando esta energía con la demandada para los tres días de autonomía, obtendremos el tiempo necesario de generación de las placas solares para bastecer dicha necesidad.

## 8.2. Energía hidráulica

### 8.2.1. Características

La finca El Mato, gracias a que dispone de dos tanques para el abastecimiento de agua, nos permite, a través de una turbina, obtener energía eléctrica gracias a la diferencia de cota de casi 40 metros. Además, nos permite utilizar el tanque superior como una batería para almacenar energía, evitando la necesidad de adquirir acumuladores eléctricos, o al menos, disminuir la cantidad de los mismos.

La potencia generada dependerá de la diferencia de cota y del caudal que se utilice para mover los alabes de una turbina colocada al final del tramo de tubería instalados entre ambos tanques, así como de la capacidad de la propia turbina y su rendimiento. A todo esto es necesario también considerar las pérdidas de cargas producidas por el recorrido, tanto en los filtros como a lo largo de la tubería.

### 8.2.2. Cálculo de energía

Para este cálculo, se utiliza el principio de Bernouilli, en el que se utiliza la unidad de Metros para estudiar la energía potencial, cinética y de presión del fluido en los diferentes puntos de la instalación hidráulica:

$$E_i(m) = \frac{V_i^2}{2g} + z_i + \frac{P_i}{\gamma} \quad (8-5)$$

Para la instalación de una turbina, la potencia vendrá dada según la diferencia de energía (medida en metros) entre el punto anterior a la entrada a la turbina y el posterior.

$$\Delta m = E_{entrada}(m) - E_{salida}(m) \quad (8-6)$$

Por tanto, el cálculo de la potencia, teniendo en cuenta todos los parámetros señalados, se obtiene a través de la siguiente expresión:



$$P_{hidraulica} = Q \cdot \Delta m \cdot g \cdot \rho_{fluido} \cdot \eta_{turbina} \quad (8-7)$$

El rendimiento de cualquier equipo depende de las condiciones a las que se somete el equipo. Este dato es aportado por el fabricante a través de las curvas de potencia, que consiste en un grafico en el que se compara el rendimiento de la turbina en función del caudal con el que trabaja, de la diferencia de presión de entrada y salida de la bomba, o de la misma potencia que se desea adquirir. En nuestro caso, utilizaremos una turbina cuyo rendimiento máximo es del 60%, variando escasamente en el rango en el que se va a utilizar.

### 8.2.3. Cálculo de pérdidas de carga

#### *Tuberías*

Las pérdidas de carga de las tuberías dependen mayormente del material de la misma, lo que supone un valor para la rugosidad, sus dimensiones y del caudal. Este valor se estima mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, que en función del caudal se expresa de la siguiente forma:

$$H_f = f \cdot \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad (8-8)$$

El valor “f”, conocido como factor de fricción depende, en primer lugar, de las condiciones del flujo, variando si se trata de laminar o turbulento. Esto se determina mediante la expresión adimensional de Reynolds, que expresado dependiendo del caudal, obtenemos:

$$Re = \frac{4Q}{\pi \cdot D \cdot v} \quad (8-9)$$

Sabiendo que nuestro rango de trabajo para el caudal es entre 1 y 10 l/s, obtenemos que, para cualquier valor del caudal, el valor de Reynolds es superior a 4000 unidades, por lo que se considera, para cualquier caso, flujo turbulento, lo que implica el uso de la ecuación de Colebrook-White para determinar el valor del coeficiente de fricción:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left( \frac{k/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (8-10)$$

Dado que este valor depende del valor de Reynolds, implica que varía en función del caudal utilizado. Por tanto, es necesario realizar una hoja de cálculos que permita observar cómo se modifican todos estos valores en función del caudal que se utilice, para llegar a una conclusión con el valor óptimo según nuestras condiciones.

#### *Filtros*

Las pérdidas de carga de los filtros vienen dadas por el fabricante mediante tablas que dependen del caudal que las atraviese.

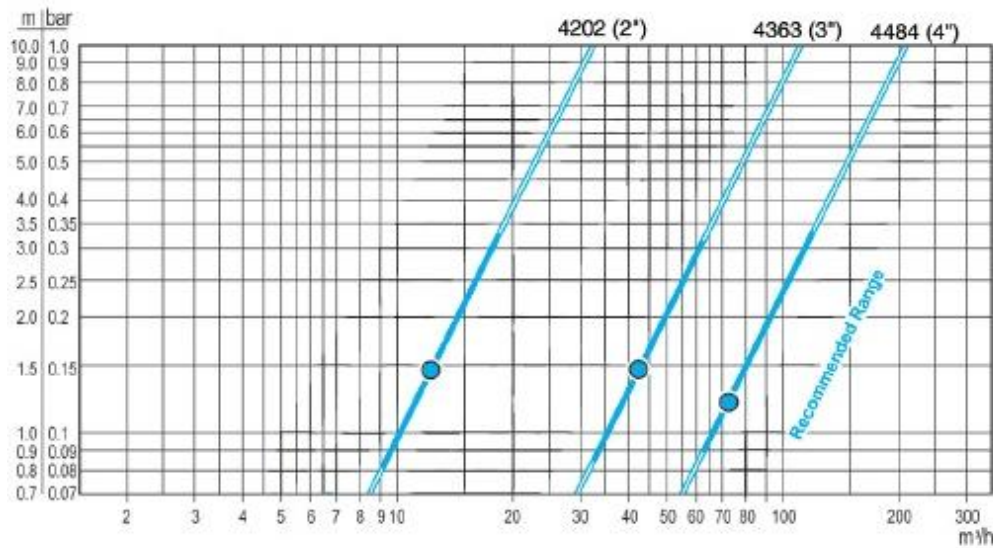


Fig. 8-1. Perdas de carga para filtro de arena

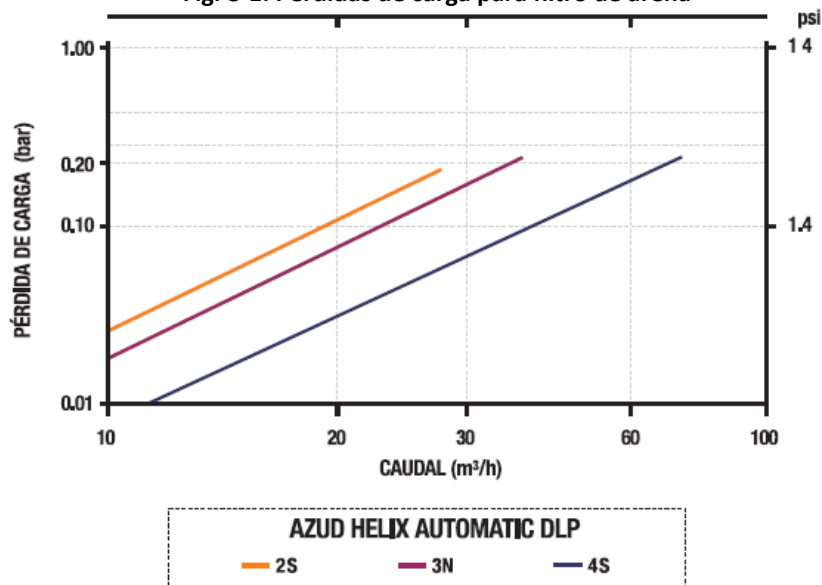


Fig. 8-2 Perdas de carga para filtro de membranas

#### 8.2.4. Cálculo de diferencia de alturas

La diferencia de alturas que aprovecha la turbina hidráulica se calcula como la diferencia de energía entre un punto conocido anterior al equipo y otro posterior, al que se le añaden todas las pérdidas que existen entre un punto y otro. Utilizando el concepto de la ecuación 9-5 y 9-6, y añadiendo las pérdidas, obtenemos:

$$\Delta m = \left( \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left( \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \right) - \sum H_f(m) \quad (8-11)$$

A continuación se detallan las características para el punto 1, tomado como la superficie de agua del tanque superior, y el punto 2, aplicado en la salida de la tubería que desemboca en el depósito inferior:

	Punto 1	Punto 2
<b>Presión relativa</b>	0 Pa	0 Pa
<b>Cota</b>	460 m	422 m
<b>Velocidad</b>	0 m/s	Depende de caudal
<b>Diámetro</b>	-	50.8 mm

**Tabla 6. Condiciones de los puntos a estudiar para generación hidráulica**

Teniendo en cuenta estos detalles, se realiza el cálculo, según la ecuación 9-11, en dependencia del caudal a utilizar, la diferencia de alturas para esta instalación:

$$\Delta m = (460 \text{ m})_1 - \left( \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot 0.0508^4} + 422 \right)_2 - \sum H_f(m) \quad (8-12)$$

### 8.2.5. Bomba hidráulica

En nuestro caso, el tanque inferior será aquel que limite el caudal a utilizar para producir energía eléctrica, ya que se trata del depósito de menor tamaño y no se puede permitir su desbordamiento. Es por ello que lo conveniente es instalar, además de la turbina, una bomba capaz de elevar el volumen de agua del tanque inferior al superior con la energía sobrante obtenida a través de las placas fotovoltaicas. El cálculo de la potencia necesaria para la bomba es idéntico al de la turbina (ecuación 9-6), en el que se deben identificar el caudal a suministrar, la diferencia de energías según el principio de Bernouilli y el rendimiento del equipo.

Considerando el punto 1 como la superficie del agua del tanque inferior y el punto 2 como la salida de la tubería que desemboca en el depósito superior, obtenemos los siguientes valores para el cálculo de la diferencias de energías:

	Punto 1	Punto 2
<b>Presión relativa</b>	0 Pa	0 Pa
<b>Cota</b>	422 m	460 m
<b>Velocidad</b>	0 m/s	Depende de caudal
<b>Diámetro</b>	-	76.2 mm

**Tabla 7. Condiciones de los puntos a estudiar para consumo hidráulico**

Teniendo en cuenta estos valores, se realiza el cálculo, según la ecuación 9-11, en dependencia del caudal a utilizar, la diferencia de alturas para esta instalación:

$$\Delta m = (422 \text{ m})_1 - \left( \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot 0.0762^4} + 460 \right)_2 - \sum H_f(m) \quad (8-13)$$

La potencia necesaria para que la bomba funciones según las características que se requiere se calcule con la siguiente expresión:

$$P_{hidraulica} = \frac{Q \cdot \Delta m \cdot g \cdot \rho_{fluido}}{\eta_{bomba}} \quad (8-14)$$

### **8.3. Acumuladores o baterías eléctricas**

Para sistemas aislados, se utilizan baterías de larga duración, con ciclos de carga y descarga lentos. Las baterías de gel, son baterías plomo-ácido selladas, donde el electrolito no es líquido, sino gelificado. Con esto, se consigue menos evaporación y un aumento de la vida útil, garantizando un número mucho mayor de ciclos de cargas y descargas. Estas baterías soportan descargas profundas y ambientes con vibraciones, golpes y altas temperaturas. Tienen también un voltaje más estable durante la descarga, que es ideal para uso con inversores. Son más caras, pero duran mucho más, y en un largo plazo logran ser una óptima elección.

Las propiedades eléctricas de las baterías se identifican a partir de su capacidad de almacenamiento, medida de Amperios-hora (Ah), la cual depende de la energía que se desea que sea capaz de almacenar, y de la tensión a la que trabajan.

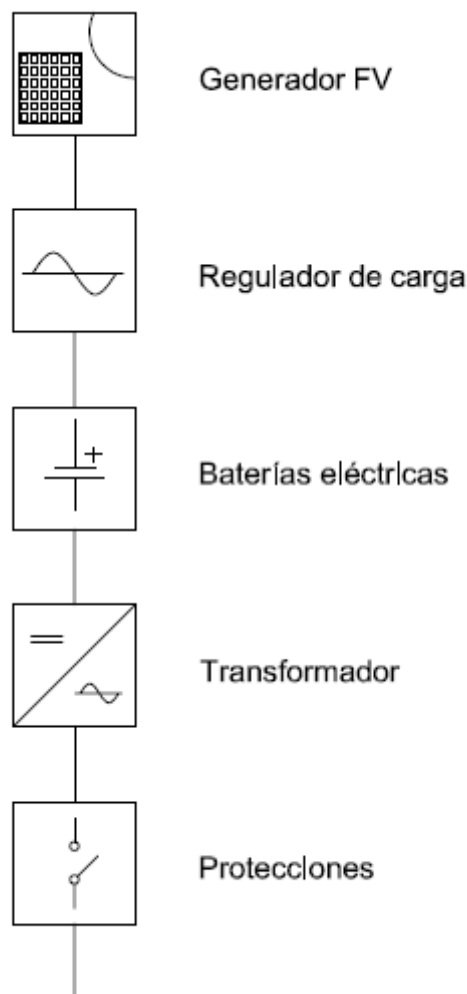
$$Carga\ electrica\ (Ah) = \frac{Energia\ a\ almacenar\ (Wh)}{Tension\ de\ trabajo\ (V)} \quad (8-15)$$

## **9. Resultados finales**

Para el abastecimiento eléctrico de la Finca el Mato se proponen tres soluciones distintas en combinación con las posibles fuentes energéticas estudiadas, ya sea mediante placas fotovoltaicas o por turbinas hidráulicas. Estas opciones variarán en función a su capacidad de autonomía, en precio económico y en la instalación, pero serán igual de válidas, dejando al propietario la opción de elegir aquella que mejor se ajuste a sus necesidades.

### **9.1. Opción primera. Energía fotovoltaica almacenada en acumuladores eléctricos.**

En esta primera solución posible se propone la instalación de un parque de placas fotovoltaicas acompañadas de un equipo de baterías capaces de almacenar la energía eléctrica y enviarla a las demandas cuando sea necesario.



**Fig. 9-1. Esquema de conexiones de los componentes para la opción primera**

### 9.1.1. Instalación fotovoltaica

Se propone la instalación de placas fotovoltaicas de 280W de potencia a 24V de tensión para satisfacer la demanda de 39750 Wh que supone una autonomía para 3 días, teniendo en cuenta las restricciones del espacio para la colocación de las mismas. El objetivo consiste en obtener la cantidad de energía demandada en al menos la mitad de tiempo de autonomía, es decir, que en un día y medio, se satisfaga las necesidades de 3 días. Este valor varía dependiendo del número de placas fotovoltaicas generadoras instaladas, debiendo cumplir estas condiciones durante todas las épocas del año. Es por ello que el estudio se basa en las capacidades para el mes con menor media de radiación incidente, que según los datos obtenidos por la estación meteorológica TACOR, se trata del mes de diciembre.

#### Datos:

Superficie de cada placa	0,93 m <sup>2</sup>
Pmp/uni	0,28 kW
PR	0,8
Perdidas por orientación	7,0875 %
Gdm mes de Diciembre	3,00 kWh/(m <sup>2</sup> -dia)

Gdm (Perdidas y Rendimiento)	2,2299 kWh/(m <sup>2</sup> -día)
------------------------------	----------------------------------

**Tabla 8. Datos aplicados sobre la generación fotovoltaica**

Se conoce que el número máximo de placas a instalar en la ubicación elegido es de 15 placas, aunque será necesario tener en cuenta un razonamiento para obtener un equilibrio económico entre el número de placas y el tiempo de autonomía y recuperación.

A partir de esta información, se realizan los cálculos necesarios para obtener los valores de energía generada cada día y el tiempo necesario para satisfacer la demanda según el número de placas instaladas.

Número de placas	Superficie (m <sup>2</sup> )	Potencia instalada (W)	Energía generada (Wh/día)	Tiempo necesario para demanda (días)
1	0,93	280	2073,81	19,17
2	1,86	560	4147,61	9,58
3	2,79	840	6221,42	6,39
4	3,72	1120	8295,23	4,79
5	4,65	1400	10369,04	3,83
6	5,58	1680	12442,84	3,19
7	6,51	1960	14516,65	2,74
8	7,44	2240	16590,46	2,40
9	8,37	2520	18664,26	2,13
10	9,30	2800	20738,07	1,92
11	10,23	3080	22811,88	1,74
12	11,16	3360	24885,68	1,60
13	12,09	3640	26959,49	1,47
14	13,02	3920	29033,30	1,37
15	13,95	4200	31107,11	1,28

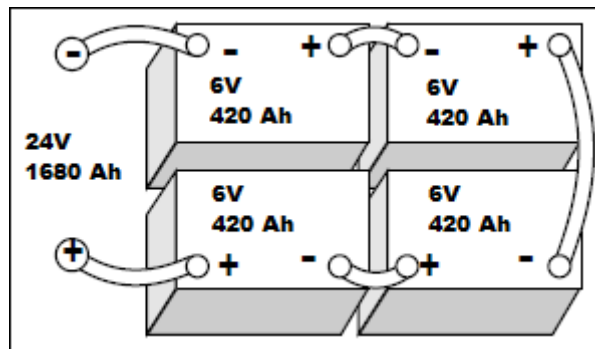
**Tabla 9. Generación eléctrica según número de placas instaladas**

Instalando 12 placas fotovoltaicas con capacidad para 280W de potencia nos aseguramos la recarga para la demanda en 1,6 días. Además, con esta configuración, la energía que se consume a diario (13241 Wh/día en invierno) se genera cada 0.53 días.

### 9.1.2. Baterías eléctricas

En nuestro caso, para almacenar 39750 Wh a 24 V, será necesario una capacidad de carga eléctrica total de 1656.25 Ah. Por tanto, es necesario estudiar las distintas posibilidades de baterías con el objetivo de que la diferencia de tensión de entrada y salida equivalga a 24V y que la suma total de sus cargas sea al menos de 1656.25 Ah.

Para lograr nuestro objetivo, se colocan 4 baterías con carga eléctrica de 420 Ah cada una y una diferencia de tensión de 6V conectadas según el siguiente esquema:



**Fig. 9-2. Instalación de conexiones de baterías**

### **9.1.3. Resumen**

#### **Generación**

- 12 Placas fotovoltaicas de 280 W conectadas para 24 V.

#### **Almacenamiento**

- 4 Baterías de 420 Ah y 6V conectadas en serie para alcanzar 24 V.

#### **Autonomía**

- Capacidad para 40320 Wh de potencia, lo que supone 3.04 días en invierno y 3.40 días en verano de autonomía.

#### **Tiempo de recuperación**

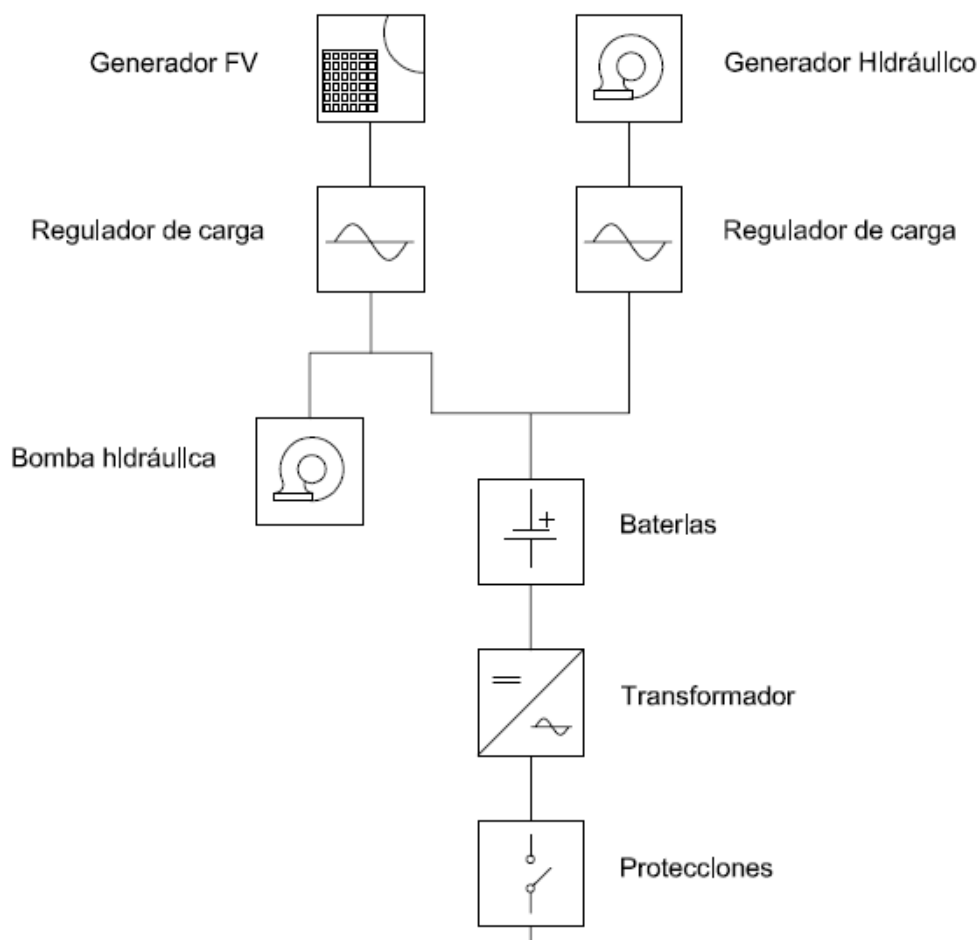
- El tiempo necesario para ocupar la máxima capacidad de las baterías es de 1.62 días en invierno y 0.84 días en verano.

#### **Tiempo de abastecimiento para consumo diario**

- El tiempo necesario para obtener la demanda diaria es de 0.53 días en invierno y de 0.25 días en verano.

## **9.2. Opción segunda. Energía fotovoltaica e hidráulica almacenada en acumuladores eléctricos y tanque superior.**

Este diseño se desarrolla para conseguir energía eléctrica a partir de las placas fotovoltaicas, siendo almacenada en las baterías eléctricas y en el depósito de agua, siendo capaces de utilizar en combinación energía fotovoltaica e hidráulica. El objetivo de utilizar el tanque como almacén energético es reducir la posibilidad de la ineficiencia energética durante las horas sin el recurso del sol y reducir las dimensiones de las baterías.



**Fig. 9-3. Esquema de conexiones de los componentes para la opción segunda**

En este caso, interesa obtener la mayor cantidad de energía de la fuente hidráulica a la vez que se trata de conseguir un equilibrio entre la capacidad de evacuación del agua del tanque inferior y la energía necesaria para ello. Esto regirá las dimensiones de las baterías a instalar, las cuales, en combinación con la capacidad del tanque, debe superar la autonomía para 3 días, lo que supone un almacenamiento para satisfacer una demanda de 39750 Wh, energía necesaria para cumplir con las necesidades en la época invernal.

### 9.2.1. Capacidad de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento de energía, además de la aportación de la batería, dependerá del volumen de agua que el tanque de menor tamaño pueda contener, que en este caso, se trata del tanque inferior, cuya capacidad es de 220 m<sup>3</sup>. Sin embargo, es necesario establecer un máximo y un mínimo de altura de la superficie del agua para establecer la verdadera capacidad útil del tanque.

La altura máxima la establece la propia altura del tanque, establecida a 4.4 m respecto al fondo. En cambio, la altura mínima se supone a 0.3 m desde el fondo, a la altura de la tubería de evacuación del propio deposito. Por tanto, la altura útil del sistema es de 4.1 m, lo que supone una capacidad eficaz de 193 m<sup>3</sup>.

La capacidad de almacenamiento depende de la energía que la turbina hidráulica sea capaz de extraer utilizando el volumen límite del tanque inferior, lo que supone que la autonomía del sistema será mayor cuanto mejor sea el rendimiento del equipo hidráulico.



### 9.2.2. Generación hidráulica

En este apartado, se estudian la energía eléctrica que se puede extraer a partir de la energía hidráulica con la ayuda de una turbina. Para ello, se realiza una tabla en la que se muestran los valores de energía obtenida a partir del caudal a usar, basando los cálculos en las expresiones explicadas en el apartado 9.2 “Energía hidráulica” de esta memoria. Para ello, es necesario conocer los valores de pérdidas de carga, tanto en tubería, calculadas mediante la ecuación 9.8, como en accesorios, según los datos ofrecidos por el fabricante:

Pérdidas de carga en tubería				Pérdidas en accesorios	
Caudal	Reynolds	Coef. F	Pérdidas	Caudal	Pérdidas
m <sup>3</sup> /s	-	-	m	m <sup>3</sup> /s	m
0,0005	11080,1	0,015	0,21	0,0005	0
0,001	22160,3	0,025	1,42	0,001	0
0,0015	33240,4	0,023	2,90	0,0015	0
0,002	44320,5	0,022	4,83	0,002	0
0,0025	55400,6	0,021	7,18	0,0025	0,8
0,003	66480,8	0,020	9,95	0,003	1
0,0035	77560,9	0,019	13,11	0,0035	1,5
0,004	88641,0	0,019	16,65	0,004	2
0,0045	99721,1	0,018	20,58	0,0045	2,3
0,005	110801,3	0,018	24,87	0,005	3
0,0055	121881,4	0,017	29,53	0,0055	3,5

Tabla 10. Cálculo de pérdidas de carga según caudal

Como se puede apreciar, el valor de las pérdidas aumenta cuanto mayor es el caudal utilizado, lo que implica que es necesario encontrar un equilibrio entre la generación energética y las pérdidas, obteniendo un valor para caudal óptimo.

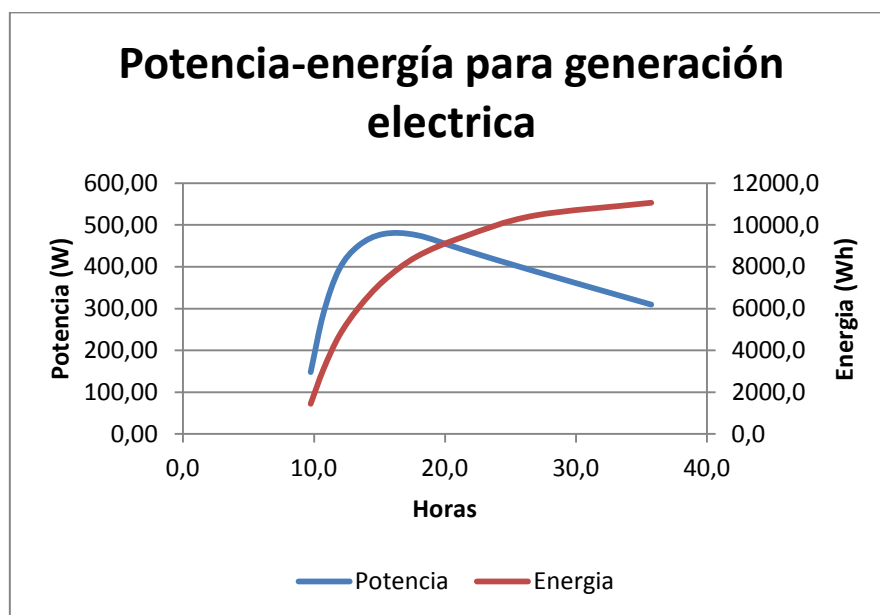
A continuación, se calcula la potencia generada según las condiciones de la instalación hidráulica de la finca y del caudal a utilizar. Además, se calcula el tiempo necesario para completar la capacidad del depósito inferior en función del caudal utilizado, lo que nos permite conocer la energía generada durante ese mismo tiempo. Se supone un rendimiento de la turbina de un 60%.

Hoja de cálculo para generación hidráulica						
Caudal	Pérdidas tub.	Pérd. Comp.	$\Delta m$	Potencia	Tiempo	Energía
m <sup>3</sup> /s	m	m	m	W	h	Wh
0,0005	0,21	0	37,79	111,09	107,2	11911,7
0,001	1,42	0	36,57	215,04	53,6	11528,3
0,0015	2,90	0	35,07	309,35	35,7	11056,5
0,002	4,83	0	33,12	389,52	26,8	10441,2
0,0025	7,18	0,8	29,94	440,10	21,4	9437,6
0,003	9,95	1	26,94	475,21	17,9	8492,2
0,0035	13,11	1,5	23,24	478,23	15,3	7325,3
0,004	16,65	2	19,14	450,25	13,4	6034,6
0,0045	20,58	2,3	14,86	393,30	11,9	4685,7

0,005	24,87	3	9,81	288,34	10,7	3091,7
0,0055	29,53	3,5	4,58	148,10	9,7	1443,6

**Tabla 11. Hoja de cálculo de generación hidráulica**

Esta tabla se acompaña con la siguiente figura, en la que se muestra la variación de la potencia y la energía obtenida en función del tiempo de tiempo:



**Fig. 9-4. Gráfica de potencia y energía de generación dependiendo del número de horas de uso**

La tendencia de la energía obtenida es a estabilizarse en torno a los 11kW para esta escala de tiempos, por lo que no se alcanzaría energía suficiente para abastecer un día completo (13241 Wh). Para estas circunstancias, obtenemos, que la mejor opción, obteniendo un equilibrio entre la energía generada y el tiempo necesario para el mismo, es utilizar un caudal de 2.5 l/s (0.0025 m<sup>3</sup>/s) para obtener una energía de casi 9.5 kWh en un tiempo de 21.4 horas. Esto supondría abastecer eléctricamente la demanda de la finca durante 17 horas en invierno y 19 horas en verano.

Es necesario comprobar que los límites inferiores y superiores de presión de entrada a la turbina se cumplen para garantizar su funcionamiento. Para el valor de caudal elegido, se obtiene que la presión de entrada sea de un valor de 3.8 kg/cm<sup>2</sup>, la cual no supera el máximo impuesto de 4 kg/cm<sup>2</sup> y nos confirma la conformidad para usar este valor.

### 9.2.3. Consumo hidráulico de la bomba de evacuación

En cada ciclo, es necesario vaciar el tanque inferior para alcanzar la capacidad necesaria para generar la demanda especificada. Para ello, se utiliza una bomba que utilizará la energía solar en exceso de las placas fotovoltaicas para mover el agua de dicho depósito al superior. Por tanto, es necesario definir la energía necesaria para conseguir este objetivo, así como el caudal a bombear.

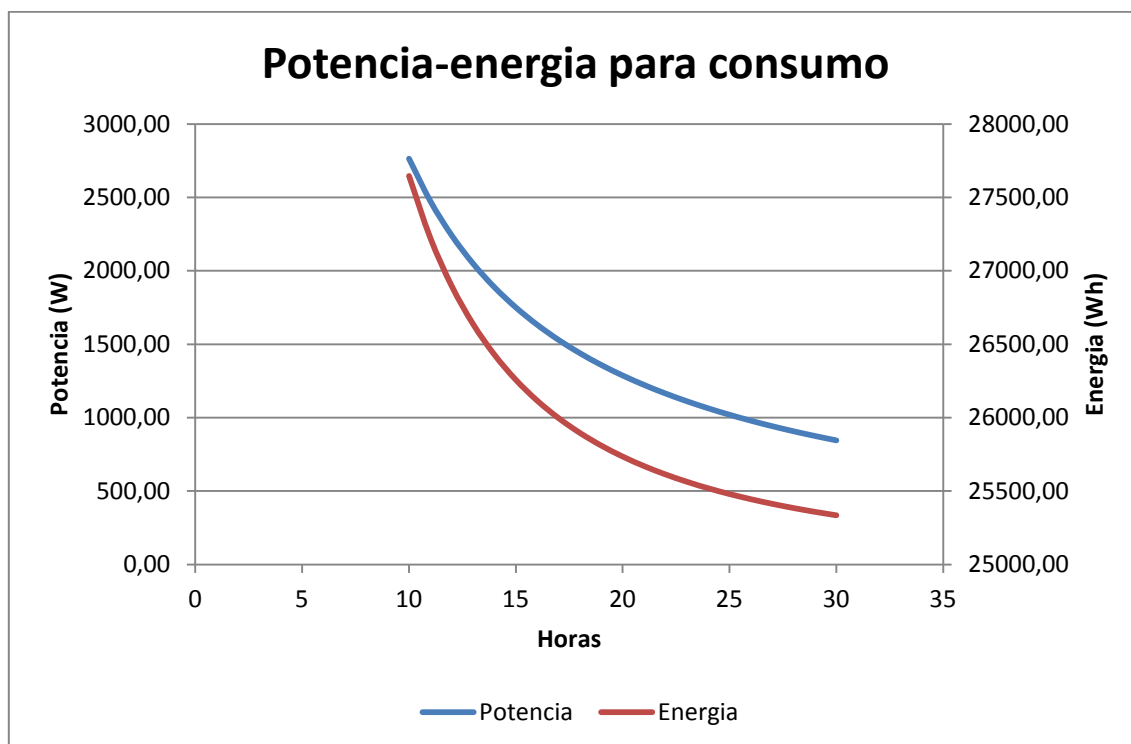
Para realizar este trabajo, se requiere de una tubería de PVC de 220 metros de longitud y 3 pulgadas de diámetro con la que transportar el fluido aspirado por la bomba, la que supone unas pérdidas de carga que dependen del caudal utilizado.

Teniendo en cuenta los nuevos puntos para la comparación de energías y el cálculo de pérdidas de carga para esta nueva tubería, obtenemos el cálculo de la energía que la bomba necesita, dependiendo del tiempo necesario para completar el bombeo de todo el volumen útil del tanque inferior ( $193 \text{ m}^3$ ). Se supone un rendimiento de la bomba de un 80%.

Tiempo (h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Re	f	Hf (m)	$\Delta m$ (m)	Potencia (W)	Energía (Wh)
10	0,0054	79202,4	0,01899	4,02	42,09	2764,50	27645,01
11	0,0049	72002,2	0,01938	3,39	41,45	2474,78	27222,56
12	0,0045	66002,0	0,01974	2,90	40,95	2241,29	26895,50
13	0,0041	60924,9	0,02008	2,52	40,56	2048,98	26636,74
14	0,0038	56573,1	0,02040	2,20	40,24	1887,73	26428,25
15	0,0036	52801,6	0,02071	1,95	39,98	1750,51	26257,63
16	0,0034	49501,5	0,02101	1,74	39,77	1632,26	26116,09
17	0,0032	46589,6	0,02129	1,56	39,59	1529,25	25997,28
18	0,0030	44001,3	0,02157	1,41	39,43	1438,69	25896,51
19	0,0028	41685,5	0,02183	1,28	39,30	1358,43	25810,24
20	0,0027	39601,2	0,02208	1,17	39,19	1286,79	25735,78
21	0,0026	37715,4	0,02233	1,07	39,09	1222,43	25671,03
22	0,0024	36001,1	0,02257	0,99	39,00	1164,29	25614,34
23	0,0023	34435,8	0,02280	0,91	38,93	1111,50	25564,41
24	0,0022	33001,0	0,02302	0,85	38,86	1063,34	25520,18
25	0,0021	31681,0	0,02324	0,79	38,80	1019,23	25480,80
26	0,0021	30462,5	0,02345	0,73	38,75	978,68	25445,59
27	0,0020	29334,2	0,02366	0,69	38,70	941,26	25413,95
28	0,0019	28286,6	0,02386	0,64	38,65	906,62	25385,41
29	0,0018	27311,2	0,02406	0,61	38,61	874,47	25359,57
30	0,0018	26400,8	0,02425	0,57	38,58	844,54	25336,10

**Tabla 12. Cálculo de energía necesaria para bombeo según el número de horas de uso**

Esta tabla se acompaña con la siguiente figura, en la que se muestra la variación de la potencia y la energía obtenida en función del tiempo de tiempo de trabajo:



**Fig. 9-5. Gráfica de potencia y energía de consumo dependiendo del número de horas de uso**

El nivel de energía consumida por la bomba se estabiliza en este caso a 25kW, mientras que la potencia sigue disminuyendo con el avance del tiempo. Si se busca una opción basada en el equilibrio del número de horas de trabajo y la energía consumida, se concluye que utilizando un caudal de 2.2 l/s ( $0.0022 \text{ m}^3/\text{s}$ ), se logra transportar todo el fluido en 24 horas de trabajo, consumiendo 25.5 kW. Esto supone un consumo energético de prácticamente el doble que el consumo energético normal de la finca durante los meses de invierno.

#### **9.2.4. Baterías eléctricas**

Para el cálculo de las necesidades de almacenamiento energético de este caso, debemos considerar el consumo eléctrico de la finca en 3 días, restando la capacidad energética del sistema hidráulico. Esto supone la necesidad de almacenar en baterías eléctricas una energía equivalente a 30250 Wh, lo que supone una autonomía de 2.3 días en invierno y 2.55 días en verano.

Las baterías, debido a el funcionamiento del inversor, deben tener una diferencia de tensión de 24 V, lo que supone que las baterías deben sumar una carga eléctrica de 1260 Ah. Por esta razón, se instalarán 4 baterías de 6 V en serie con carga individual de 325Ah, lo que hace un total de almacenamiento de 31.2 kWh.

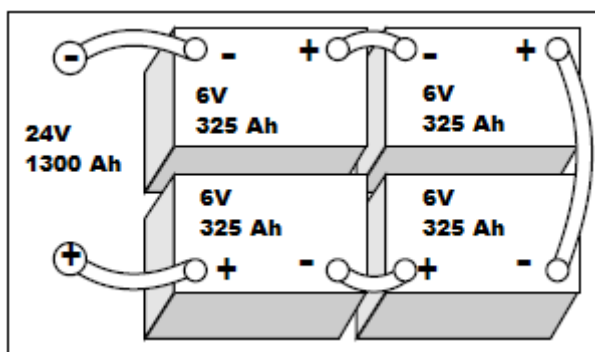


Fig. 9-6. Instalación de conexiones de baterías

### 9.2.5. Instalación fotovoltaica

La instalación de las placas fotovoltaicas se considera como el sistema de generación principal del sistema, el cual debe ser capaz de abastecer la demanda de la finca y la de la bomba hidráulica.

Estos equipos, son los encargados de obtener la energía necesaria para completar la autonomía de 3 días en un tiempo inferior al mismo. Por tanto debe conseguir un total de 56.7 kWh (31200 Wh para las baterías eléctricas y 25500 Wh para el sistema hidráulico) para completar las capacidades de ambos sistemas de almacenamiento.

Las capacidades de generación eléctrica aumentan según el número de placas instaladas en el sistema. Utilizando las condiciones y ecuaciones consideradas en el apartado 9.1 “Energía solar” de este proyecto, se realiza la siguiente tabla, en la que se muestran los valores de la energía que se obtiene cada día dependiendo del número de placas, así como el tiempo que se requiere para que las mismas placas generen la demanda del sistema.

Número de placas	Superficie (m2)	Potencia instalada (W)	Energía generada (Wh/día)	Tiempo necesario para demanda (días)
1	0,93	280	2073,81	27,34
2	1,86	560	4147,61	13,67
3	2,79	840	6221,42	9,11
4	3,72	1120	8295,23	6,84
5	4,65	1400	10369,04	5,47
6	5,58	1680	12442,84	4,56
7	6,51	1960	14516,65	3,91
8	7,44	2240	16590,46	3,42
9	8,37	2520	18664,26	3,04
10	9,30	2800	20738,07	2,73
11	10,23	3080	22811,88	2,49
12	11,16	3360	24885,68	2,28
13	12,09	3640	26959,49	2,10
14	13,02	3920	29033,30	1,95
15	13,95	4200	31107,11	1,82

Tabla 13. Generación eléctrica según número de placas instaladas

Para este sistema, se requeriría instalar el máximo número de placas fotovoltaicas posibles, que en nuestro caso, por el espacio disponible, serian 15 en total, ya que de este modo, se podría obtener 31.1 kW al día, lo que supone alcanzar la energía indicada en menos de 2 días.

### **9.2.6. Resumen**

#### **Generación**

- 15 Placas fotovoltaicas de 280 W conectadas para 24 V.
- Turbina hidráulica de 1000 W para 24 V.

#### **Almacenamiento**

- 4 Baterías de 315 Ah y 6V conectadas en serie para alcanzar 24 V.
- Tanque inferior de agua con capacidad para 193 m<sup>3</sup>.

#### **Autonomía**

- Capacidad para 31200 Wh de potencia en baterías, lo que supone 2.35 días en invierno y 2.62 días en verano de autonomía.
- Capacidad para 9500 Wh de potencia en energía hidráulica, lo que añade 0.71 días en invierno y 0.80 días en verano a la autonomía del sistema.
- En total obtenemos 3.06 días en invierno y 3.42 días en verano.

#### **Tiempo de recuperación**

- El tiempo necesario para ocupar la capacidad de las baterías es de 1.00 días en invierno y 0.52 días en verano.
- Para recuperar el volumen máximo de fluido para la obtención de energía hidráulica se necesitan 0.82 días en invierno y 0.43 días en verano.
- En total, se necesitan 1.82 días en invierno y 0.95 días en verano.


#### **Tiempo de abastecimiento para consumo diario**

- El tiempo necesario para obtener la demanda diaria es de 0.42 días en invierno y de 0.20 días en verano.

## **9.3. Equipamiento**

### **9.3.1. Baterías**

<b>Batería Gel Hawker 6V OpzV</b>
-----------------------------------

	<p><b>Características:</b>  Las capacidades C10 superan los valores normalizados DIN La más alta Clasificación Eurobat para "Larga Duración".  Excelente recuperación de descargas profundas y capacidad de ciclos.  Seguridad incrementada con conectores totalmente aislados, electrolito inmovilizado, válvula de seguridad de una vía y protector antillamas.  Fácil instalación: posición vertical u horizontal  Mantenimiento reducido: sin reposición de agua.</p> <p><b>Normas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento de la norma DIN 40742 (celdas simples OPzV reguladas por válvula) y la norma internacional IEC 60896-2.</li> <li>• Clasificación de "Larga duración" (&gt; 12 años de vida) de acuerdo con la Guía Eurobat de 1999.</li> <li>• Requieren muy poca ventilación de conformidad con la norma EN 50272-2.</li> <li>• Fabricación en las instalaciones de producción de EnerSys con certificación ISO 9001.</li> </ul>
---	---

### 9.3.2. Inversor

Inversor Invertek 24V/3000W Senoidal Pura	
	<p><b>Características:</b>  Estos inversores de onda sinusoidal pura están especialmente diseñados para satisfacer todas las necesidades de aplicaciones.  Detección automática de carga.  Desconexión por batería baja automático.  Gran rendimiento en sobrecargas.  Muy eficiente en Stand By.  No afecta a otros equipos como TV, radio, etc.  No hay problema con los hornos de microondas, frigoríficos, lavadoras, etc.  Extremadamente eficiente.  Estándar especialmente diseñado CA y CC - filtros de línea.  Puede ser utilizado en cualquier lugar.  Chasis de aluminio para ambientes hostiles.  Puerto para el mando a distancia.  Compacto.  Simplificado diseño del sistema.  Puede ser montado fácilmente.  Bajos costos de instalación.</p>

### 9.3.3. Instalación fotovoltaica

PLACA SOLAR ATERSA A-280P 280W
--------------------------------


	<p><b>Características:</b>  72 células policristalinas.  Cristal templado con alto nivel de transmisividad de 4mm de espesor.  Caja de conexiones QUAD2 IP54.  Cables y conectores rápidos de última generación.  Montaje rápido y sencillo.  Sistema de Fijación Hook.  Mínimo mantenimiento.  Resistencia a cargas de viento de 2400Pa y hasta 5400Pa de nieve.  Excelente respuesta en condiciones de baja luminosidad.</p> <p><b>Normas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ISO 9001, 14001</li> <li>• IEC 61215 (Ed.2)</li> <li>• IEC 61730 (Ed.1)</li> <li>• Sello de Conformidad Europea</li> </ul>
---	--

<b>REGULADOR RS SOLAR20 20A (12V/24V)</b>	
	<p><b>Características:</b>  Regula el voltaje generado por el sistema de energía renovable y para un mantenimiento correcto de las baterías. Impide que la carga de las baterías sea demasiado elevada o demasiado baja, y garantiza la máxima duración de las mismas. Diseñado con un microcontrolador PWM digital para funciones automáticas de iluminación. Compensación de temperatura exterior. Detecta el día y noche, funciona a 12V y 24V.</p> <p>Protección contra cortocircuito.  Protección contra inversión de polaridad.  Protección contra corriente inversa por la noche.  Protección durante la carga y descarga de la batería.</p>

#### **9.3.4. Instalación hidráulica**


<b>MINI-TURBINA TRAXCO 1000W CON GENERADOR ELÉCTRICO INCORPORADO Y REGULADOR DE CARGA</b>
---



	<p><b>Características:</b></p> <p>Está compuesto por una monoblock, turbina hidráulica/generador, que debe intercalarse en una conducción, y un regulador de carga de baterías, a 24 V. Con la adición al conjunto, de baterías, puede alimentar sistemas de 12 V o 24 V, y con un inversor transformar a 220 V.</p> <p>El generador implementado no posee escobillas ni ningún elemento susceptible de producir chispa, por lo que es antideflagrante.</p> <p>La capacidad máxima de las baterías estará determinada por las condiciones finales de la instalación.</p> <p>Tuberías de entrada y salida ..... 2” Potencia eléctrica máxima de trabajo..... 1 Kw Tensión de trabajo..... [24 - 30] V.c.c. Trabaja a partir de ..... 0,5 Kg/cm2 Presión hidráulica máxima..... 4 Kg/cm2 Caudal volumétrico máximo ..... 10 l/s (36 m3/h) Regulador de carga..... 24 V.c.c. – 50 A. Batería (mínima)..... 24 V. 800 A.</p>
---	--

<b>BOMBA CENTRIFUGA EBARA ENR 1450RPM MODELO 40-315 CON VARIADOR INCLUIDO</b>	
	<p><b>Características:</b></p> <p>Bomba horizontal de un escalón y de una entrada. Cuerpo en espiral con patas de apoyo fundidas conjuntamente con el cuerpo y soporte cojinete con pata de apoyo (forma construcción de proceso). Boca de aspiración axial y boca de impulsión radial hacia arriba.</p> <p>Rodete radial cerrado, dispuesto en voladizo. Compensación hidráulica mediante orificios de descarga en el rodete.</p> <p>Soporte con rodamientos de bolas lubricados de por vida. Estanqueidad del eje mediante cierre mecánico según DIN 24960.</p> <p>Tuberías de entrada y salida ..... 350mm Potencia eléctrica de trabajo..... 3 Kw Tensión de trabajo..... [24 - 30] V.c.c. Presión hidráulica máxima.....16 Kg/cm2.</p>

**INTERRUPTOR FLOTADOR**

	<p><b>Características:</b>  Dispositivo de control para bombas.  Ideal para controlar el nivel de los depósitos interruptores para nivel de agua limpia.  Permitirían delimitar el límite máximo y mínimo del nivel de agua del tanque inferior y el límite mínimo del tanque superior.</p>
---	---

## 10. Presupuesto de las opciones estudiadas

### 10.1. Presupuesto de la opción primera. Energía fotovoltaica almacenada en acumuladores eléctricos.

En el siguiente cuadro se ofrece la estimación de costes para la opción:

Descripción	Uds.	Precio	Total
<b>Capítulo Fotovoltaica</b>			
Suministro y montaje de PLACA SOLAR ATERSA A-280P 280Wp completamente cableadas	12	247,93 €	2.975,21 €
Suministro e instalación ESTRUCTURA TIPO 5 PLACAS	3	268,08 €	804,23 €
<b>Capítulo Control</b>			
Suministro y montaje de REGULADOR RS SOLAR20 20A (12V/24V) completamente cableado.	1	30,00 €	30,00 €
<b>Capítulo Baterías</b>			
Suministro y montaje de BATERIA GEL HAWKER 12 OPZV 1868 Ah completamente cableado.	2	673,35 €	1.346,70 €
<b>Capítulo Inversor</b>			
Suministro e instalación de INVERSOR INVERTEK 24/3000 SENOIDAL PURA	1	1.074,59 €	1.074,59 €
<b>SUBTOTAL PRECIO DEL MATERIAL</b>			<b>6.230,72 €</b>
<b>IGIC (7%)</b>			<b>436,15 €</b>
<b>TOTAL PRECIO MATERIAL</b>			<b>6.666,87 €</b>
<b>PRECIO DE EJECUCION MATERIAL</b>			
<b>SUBTOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL (estimado 20% del Precio del Material)</b>			<b>1.333,37 €</b>
<b>TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>			<b>8.000,24 €</b>
<b>OTROS GASTOS</b>			
Gastos generales y fiscales (estimado 8% del Precio de ejecución material)			640,02 €
Gastos imprevistos (estimado 2% del Precio de ejecución material)			160,00 €
Precios contradictorios (estimado 2% del Precio de ejecución material)			160,00 €
Beneficio industrial (estimado 6% del Precio de ejecución material)			480,01 €

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCION POR CONTRATA

9.440,29 €

## 10.2. Opción segunda. Energía fotovoltaica e hidráulica almacenada en acumuladores eléctricos y tanque superior.

En el siguiente cuadro se ofrece la estimación de costes para la opción:

Descripción	Uds.	Longitud	Medición	Precio	Total
<b>Capítulo Fotovoltaica</b>					
Suministro y montaje de PLACA SOLAR ATERSA A-280P 280Wp completamente cableadas	15		15	247,93 €	3.719,01 €
Suministro e instalación ESTRUCTURA TIPO 5 PLACAS	3		3	268,08 €	804,23 €
<b>Capítulo Hidráulica</b>					
Suministro e instalación de MINI-TURBINA TRAXCO 1000W CON GENERADOR ELÉCTRICO INCORPORADO Y REGULADOR DE CARGA totalmente cableada, incluyendo pruebas de correcto funcionamiento.	1		1	4.900,00 €	4.900,00 €
Suministro e instalación de BOMBA CENTRIFUGA EBARA ENR 1450RPM MODELO 40-315 CON VARIADOR INCLUIDO totalmente cableada, incluyendo pruebas de correcto funcionamiento	1		1	4.136,00 €	4.136,00 €
Suministro e instalación por metro de TUBERIA PVC DE 2 PULGADAS	1	220	220	1,50 €	330,00 €
Suministro e instalación por metro de TUBERIA PVC DE 3 PULGADAS	1	220	220	1,00 €	220,00 €
<b>Capítulo Control</b>					
Suministro y montaje de REGULADOR RS SOLAR20 20A (12V/24V) totalmente cableado.	1		1	30,00 €	30,00 €
Suministro e instalación de INTERRUPTOR FLOTADOR	3		3	15,00 €	45,00 €
<b>Capítulo Baterías</b>					
Suministro y montaje de BATERIA GEL HAWKER 12 OPZV 1405Ah completamente cableado.	2		2	567,32 €	1.134,64 €
<b>Capítulo Inversor</b>					
Suministro e instalación de INVERSOR INVERTEK 24/3000	1		1	1.074,59 €	1.074,59 €

SENOIDAL PURA					
SUBTOTAL PRECIO DE MATERIAL					16.393,46 €
IGIC (7%)					1.147,54 €
TOTAL PRECIO DE MATERIAL					17.541,00 €
PRECIO DE EJECUCION MATERIAL					
SUBTOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL (estimado 20% del precio de material)					3.508,20 €
PRECIO TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL					21.049,20 €
OTROS GASTOS					
Gastos generales y fiscales (estimado 8% del Precio de ejecución material)					1.683,94 €
Gastos imprevistos (estimado 2% del Precio de ejecución material)					420,98 €
Precios contradictorios (estimado 2% del Precio de ejecución material)					420,98 €
Beneficio industrial (estimado 6% del Precio de ejecución material)					1.262,95 €
PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCION POR CONTRATA					24.838,06 €

### 10.3. Comparativa

Seguidamente y de forma resumida, se exponen las principales características y magnitudes de las opciones estudiadas:

Capítulo	Opción primera	Opción segunda
Sistema Fotovoltaico	10 Placas FV	15 Placas FV
Sistema Hidráulico	Ninguno	Turbina hidroeléctrica
Almacenamiento	2 Baterías	2 Baterías + Tanque
Autonomía mínima	3.00 días	3.00 días
<b>Presupuesto</b>	<b>9.440,29 €</b>	<b>24.838,06 €</b>

Las alternativas estudiadas reflejan una gran diferencia en cuanto a coste. La opción segunda es sensiblemente más cara debido a la inclusión de módulos fotovoltaicos adicionales y la turbina hidroeléctrica y el tanque inferior de acumulación potencial, que permite añadir una nueva fuente de generación energética.

Esta diferencia, sin embargo, supone una ventaja para la opción segunda respecto de la primera en cuanto que permite una mayor seguridad de suministro y autonomía en caso de aumento del consumo o de condiciones climatológicas adversas. La opción primera, aun siendo más modesta, ha sido diseñada bajo los mismos requerimientos que la segunda, por lo que no debería suponer un

problema para mantener el consumo habitual de la Finca, si bien podría verse comprometida su autonomía, especialmente en el largo plazo con la incorporación de nuevas instalaciones o área cultivada.

En ambos casos, la premisa fundamental es lograr la plena autonomía energética de la explotación, pudiendo desconectarse de la red eléctrica convencional, de modo que la inversión se recuperará en menor tiempo y al menos durante la mitad de su vida útil, la instalación proveerá electricidad gratuita.

### **3. Proyección de la aplicación de un sistema de autogeneración energética para explotaciones agrarias en el ámbito insular.**

Los sistemas de autoconsumo son aquellos que permiten disponer de energía que se genera dentro de la propia instalación, parcela o edificio, sin necesidad de recurrir total o parcialmente a adquirir esa energía del exterior. Pero actualmente el autoconsumo se refiere más propiamente a esta generación autónoma obtenida mediante fuentes renovables, principalmente eólica, solar (térmica y fotovoltaica), turbinación de agua (hidráulica e hidroeléctrica) y valorización de la biomasa.

Estos sistemas pueden ser conectados, si continúan siendo dependientes de manera parcial de la red eléctrica convencional, o aislados, si toda la energía que producen es para el consumo interior. El autoconsumo aislado tiene algunos inconvenientes como: la relativamente elevada inversión inicial y problemas de suministro en caso de avería. Pero también grandes ventajas puesto que una vez recuperada la inversión a través del ahorro en la factura energética, toda la generación es gratuita; al mismo tiempo, los problemas de suministro de la red convencional no afectan a las instalaciones aisladas; son inocuas para el Medio Ambiente, y representan una gestión autónoma y responsable de la energía.

Las opciones propuestas más arriba son del tipo de autoconsumo aislado de la red, y es esta condición la que se emplea en este apartado para verificar su validez y efecto sobre el conjunto de la actividad agropecuaria de Tenerife.

Al comienzo de este informe citábamos que según el estudio de sectorización de la demanda final de energía de Canarias (año 2006), el sector primario suponía el 2,38% del consumo eléctrico total. Para el caso de la Isla de Tenerife, este consumo se sitúa en 7.787 TEP, o lo que es lo mismo, aproximadamente 90.546 MWh anuales (en cifra de 2006).

Con la aplicación extrema de sistemas de autoconsumo (también conocidos como “autogeneración”) aislado, Tenerife podría ahorrarse generar toda la electricidad necesaria para abastecer al sector primario de la Isla. Esto requeriría de un estudio pormenorizado de cada explotación para evaluar el recurso energético local y seleccionar la opción tecnológica más adecuada.

Bien es cierto que la técnica agropecuaria de la Permacultura facilita enormemente la adopción de sistemas aislados, puesto que sus requerimientos energéticos son más reducidos que en las actividades convencionales, particularmente respecto de la agricultura y la ganadería altamente

mecanizada en todos sus procesos. Por tanto, una progresiva adopción de la permacultura, sin necesidad de otras medidas energéticas, tendría un efecto de reducción del consumo energético sectorial. Si además se aplican sistemas de autoconsumo, el ahorro es total, permitiendo no solo una autonomía de gestión sino una reducción de costes y de emisiones contaminantes.

Es posible que explotaciones determinadas, por las características climáticas o de orientación de la parcela, no dispongan de recurso energético local suficiente. Aquí se presentan opciones de interés que podrían ser desarrolladas en proyectos singulares, si bien la normativa actual del sector eléctrico es un obstáculo para un aprovechamiento inteligente. Un ejemplo de esta opción sería el intercambio de energía eléctrica entre explotaciones de una misma área geográfica, conformando una red eléctrica propia donde los saldos energéticos positivos de unas se intercambian con saldos negativos de otras. Al mismo tiempo, un sobredimensionamiento de las instalaciones productoras podría generar un excedente energético que podría ser intercambiado con otros usos locales del territorio (residencial, industria agroalimentaria, terciario,...) o incluso ser vendido a la red convencional.

La construcción de una red eléctrica propia en las áreas rurales de Tenerife podría no solo ser un hito energético y medioambiental de gran importancia sino que tendría trascendencia sobre la sostenibilidad económica de la agricultura y la ganadería, la mejora de la calidad de vida de la comunidad rural y una oportunidad para el desarrollo del cooperativismo y la colaboración.

## **4. Conclusiones**

Este Informe plantea como opción energética la autonomía de las explotaciones agropecuarias mediante la aplicación de energías renovables adecuadas a las condiciones locales. A pesar del elevado coste de inversión inicial, los costes de operación y mantenimiento así como los de sustitución de elementos por averías o desperfectos son muy bajos. Tras el período de amortización de la inversión, toda la energía producida es gratuita hasta el final de la vida útil de estas instalaciones, que es de 25 años. Además la bajada año tras año de los precios de estas tecnologías las hace cada vez más rentables, atractivas y accesibles.

La implantación del autoconsumo en modo aislado supondría una reducción del consumo de energía eléctrica del conjunto del sector primario (excluida la pesca), permitiendo afrontar también la electrificación de diferentes procesos que hoy emplean combustibles fósiles, incluidos los desplazamientos internos en vehículos a motor o hacia el exterior de la explotación. Teniendo en cuenta los datos más recientes (año 2006) respecto de la sectorización del consumo final de energía eléctrica, si toda ella fuera generada en la Isla de Tenerife mediante renovables en régimen de autoconsumo, podríamos reducir la generación convencional (centrales que usan combustibles fósiles) en al menos un 1,4%. Esta cantidad, aparentemente limitada tiene otras consideraciones: como la reducción de emisiones contaminantes, la gratuidad de la energía a partir de la fecha de amortización de la inversión, los beneficios para la salud humana y medioambiental, así como una reducción en los costes de producción agraria.