

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE LECHE ALIMENTADO CON ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA EN DISTINTAS CONDICIONES CLIMÁTICAS Y
OPTIMIZACIÓN DE SU DISEÑO Y MODO DE FUNCIONAMIENTO**

.....

presentado por

JOSE JAVIER EGUARAS MARTINEZ

.....(e)k

aurkeztua

INGENIERO AGRONOMO
NEKAZARITZAKO INGENIARIA

SEPTIEMBRE 2012

RESUMEN

Este trabajo consiste en realizar un seguimiento del funcionamiento continuado del sistema autónomo de refrigeración y conservación de leche alimentado de forma directa por energía solar fotovoltaica en el emplazamiento en el que se encuentra con el fin de examinar su comportamiento e introducir mejoras en su caso.

El interés de este proyecto radica en comprobar que se puedan emplear fuentes de energía renovables para alimentar sistemas que permitan mantener leche en condiciones adecuadas en explotaciones ganaderas. Al utilizar la energía solar como única fuente de alimentación, se almacena energía en forma de agua-hielo al no coincidir los momentos de máxima demanda de energía con los máximos valores de irradiancia.

El seguimiento se realiza durante los meses de verano de dos años consecutivos. En estos meses se observa el comportamiento del sistema autónomo de refrigeración. El funcionamiento de este sistema es controlado por un autómata programable. Al mismo tiempo se recogen datos de diferentes parámetros relacionados con su funcionamiento, como son irradiancia, temperaturas de agua-hielo de refrigeración, velocidad de motores o tensión a la que están sometidos. A partir de los datos recogidos y tras un análisis de los mismos, se realizan una serie de estudios que permiten conocer el funcionamiento del sistema durante los meses analizados. Se estudia la velocidad de refrigeración de leche utilizando calor sensible del agua, así como el momento de aparición de hielo en el tanque. Esto lleva a condicionar la puesta en funcionamiento del sistema a la presencia de una fuente externa de energía. Posteriormente se caracteriza el funcionamiento del sistema durante los meses de verano de acuerdo con los valores de los parámetros analizados. También se realiza una pequeña modificación en la programación del autómata que dirige el funcionamiento. Se estudia la velocidad de formación de hielo en los meses de verano para conocer que el sistema es capaz de cubrir las demandas diarias de energía. Por último se hace un breve estudio de un equipo de agitación a incluir en el diseño del sistema.

VºBº Mª Ángeles de Blas Corral

VºBº José Luis Torres Escribano

Índice

Resumen.....	1
Índice.....	2
1. Introducción y objetivo.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Objetivos.....	7
2. Materiales y métodos.....	9
2.1 Descripción del equipo.....	9
2.1.1 Equipo de refrigeración.....	9
2.1.2 Campo fotovoltaico.....	10
2.1.3 Sistema de automatización.....	11
2.1.3.1 Descripción de los equipos de medida.....	11
2.1.3.2 Elementos que componen el sistema de automatización.....	12
2.1.3.3 Descripción del funcionamiento del autómata.....	13
2.1.4. Sistema de adquisición de datos.....	14
2.2 Explicación del algoritmos de funcionamiento.....	16
2.2.1 Arranque del equipo tras una parada y modo de funcionamiento con niveles bajos de irradiancia.....	16
2.2.2 Modo de funcionamiento con niveles medios de irradiancia.....	17
2.2.3 Modo de funcionamiento con niveles altos de irradiancia.....	18
3. Resultados y discusión.....	21
3.1 Estudio de la velocidad de refrigeración de la leche utilizando el calor sensible del agua.....	21
3.1.1 Estudio del tiempo necesario para disponer de hielo en el tanque de almacenamiento de agua.....	23
3.2 Caracterización del modo de funcionamiento.....	26
3.2.1. Arranque del equipo tras una parada y modo de funcionamiento con niveles bajos de irradiancia.....	29
3.2.2 Modos de funcionamiento con niveles medios de irradiancia.....	31
3.2.3. Modo de funcionamiento con niveles altos de irradiancia.....	32
3.3 Programación autómata.....	35
3.4 Necesidades diarias de energía.....	38
3.5 Agitación.....	42
4. Conclusiones.....	47
5. Bibliografía.....	50
Anejo 1. Programa de la función FC8.....	52

1. Introducción y objetivos

1. Introducción y objetivos

1.1 Introducción

Las energías renovables y entre ellas, la energía fotovoltaica, son en muchas ocasiones una alternativa viable frente al sistema energético actual basado en la utilización de combustible fósiles.

Tanto en zonas rurales aisladas, como pudieran ser cabañas de montaña o granjas sin acceso a la red eléctrica, como en países en vías de desarrollo, en los que las explotaciones de granjas lecheras constituyen una actividad agraria de notable importancia económica, el estudio de los recursos naturales para la generación de energía tiene una elevada importancia.

Entre los usos de la energía solar fotovoltaica en el ámbito agrario, en áreas donde no existe acceso a la red eléctrica convencional, el más desarrollado es el bombeo de agua destinada a riego. En estos sistemas, la energía fotovoltaica generada se almacena normalmente en baterías electroquímicas, desde donde se alimentan receptores con corriente continua, o con corriente alterna mediante un inversor.

En países en vías de desarrollo, donde se produce la mayor tasa de crecimiento de la población y consecuentemente, un gran incremento en la demanda de energía, es clara la necesidad de implantar sistemas de generación descentralizados. El carácter rural de las poblaciones de estos países y la naturaleza agroindustrial de su actividad económica, además del hecho de encontrarse en gran medida en el llamado “cinturón solar” del planeta, hacen que la energía solar se considere un alternativa muy atractiva para el desarrollo de sistemas autónomos, fiables e independientes del suministro de combustibles fósiles (Van Overstraeten y Mertens, 1986; citado en De Blas 2002).

La energía solar fotovoltaica es energía eléctrica, obtenida directamente de los rayos del sol gracias al efecto fotoeléctrico de un determinado dispositivo; normalmente una lámina metálica semiconductor llamada célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada capa fina. También están en fase de laboratorio métodos orgánicos.

El estudio de generadores fotovoltaicos como fuente de energía para equipos de refrigeración en explotaciones lecheras, es de gran interés para zonas sin acceso a la red eléctrica. Dado el desfase entre el momento en el que es mayor la demanda energética (inmediatamente después de los ordeños) y la refrigeración fotovoltaica (durante las horas de luz en días con suficiente irradiancia) es necesario disponer una forma de almacenamiento de la energía solar generada. Hay formas de almacenamiento alternativo al uso de baterías electroquímicas. Una de las formas de almacenamiento de energía es en forma de calor sensible y latente del agua y hielo, ya que el agua presenta un gran capacidad calorífica ($4,189 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$). La gran desventaja que presenta el agua es la necesidad de disponer de depósitos grandes y de material inoxidable. Además debido a las pérdidas de calor por conducción y convección hace necesario el uso de aislante.

La aplicación de la energía solar fotovoltaica a la obtención de frío se ha centrado principalmente en el desarrollo de sistemas de refrigeración destinados a usos sanitarios en países en vías de desarrollo. Es importante, por ello el estudio de sistemas alternativos de aplicación de la energía solar como puede ser los equipos de refrigeración destinados a la conservación de productos alimentarios.

El objetivo de una explotación lechera es obtener la máxima cantidad de leche posible, con el menor coste y con la máxima calidad. La leche es un alimento perecedero, fácilmente contaminable y, por tanto, su calidad puede deteriorarse con enorme rapidez si no se disponen los medios adecuados. Por ello, la conservación de la leche en la granja tiene como principal objetivo inhibir el crecimiento microbiano.

El mejor sistema, y prácticamente el único, de almacenar y conservar la leche en la granja desde el ordeño hasta la recogida por las cisternas de la industria láctea, consiste en enfriarla a una temperatura suficientemente baja y durante un tiempo limitado. A continuación se enumeran los factores de los que depende la eficacia de enfriamiento. Factores que se tienen cuenta durante el desarrollo del trabajo y que una correcta optimización de los mismos llevará a un funcionamiento adecuado del sistema de refrigeración.

La temperatura de conservación, la velocidad de enfriamiento, la duración de almacenamiento y la contaminación inicial de la leche al comenzar el enfriamiento determinan la efectividad del proceso de enfriamiento.

Los sistemas refrigerantes de leche destinados a ser instalados en explotaciones lecheras han de satisfacer la normativa AENOR (1987), que fija características mínimas de diseño, construcción y funcionamiento de estos sistemas, para cumplir las condiciones exigidas de temperatura, velocidad de enfriamiento y tiempo de almacenamiento..

Durante unas dos horas después del ordeño el crecimiento de las bacterias es muy lento (bacteriostático), para ir posteriormente aumentando de forma rápida. Por lo que se ha de aprovechar este período para enfriar hasta la temperatura de conservación. Por ello, es importante que los equipos de refrigeración enfríen la leche en el menor tiempo posible.

La necesidad de controlar un gran número de variables para el correcto funcionamiento de sistemas de refrigeración, así como para un óptima captación de la energía solar hace necesaria la introducción en estos equipos de sensores para la medición de estas variables y sistemas de automatización que regulen de forma automática el funcionamiento. Esta necesidad se ha visto satisfecha con la aparición de los autómatas programables. Se diseñaron para sustituir a los relés a la hora de realizar automatismos.

Estos autómatas programables presentan una serie de ventajas tales como la facilidad en la instalación, un cableado muy sencillo, la facilidad en la puesta en marcha y en posteriores modificaciones, llevando todo ello a una reducción en el coste de la instalación.

La importancia de los autómatas programables en el ámbito agrícola es cada vez mayor debido al gran número de aplicaciones que tienen estos dispositivos en todos los campos de la ingeniería, como pueden ser la instalación de riego, la automatización de

invernaderos o el control de equipos de refrigeración. Dirigen el funcionamiento de los equipos según la información que reciben de distintos sensores y sondas instaladas para el conocimiento de parámetros por parte del autómeta. Son programados para seguir un determinado algoritmo. Están continuamente leyendo la información que reciben.

Un conocimiento adecuado del funcionamiento, programación y utilización de autómetas programables, permite gestionar de manera adecuada y precisa un notable número de procesos.

1.2 Objetivos

Los objetivos planteados en este trabajo se enumeran a continuación.

Realizar un seguimiento del funcionamiento continuado del sistema autónomo de refrigeración y conservación de leche alimentado de forma directa por energía solar fotovoltaica en el emplazamiento en el que se encuentra con el fin de examinar su comportamiento e introducir mejoras en su caso.

Evaluar el comportamiento del automatismo que dirige el funcionamiento del sistema y modificar, en su caso, los umbrales de las variables que intervienen en la toma de decisiones del modo de operación para mejorar el rendimiento.

Determinar la velocidad de formación de hielo en determinadas condiciones de funcionamiento.

1. Materiales y métodos

2. Materiales y métodos

2.1 Descripción del equipo

Para el desarrollo del trabajo se ha utilizado un equipo de refrigeración, un campo fotovoltaico y el sistema de automatización, diseñado para el control del funcionamiento.

Para la optimización del funcionamiento de todo el sistema se emplea un sistema de adquisición de datos de varios canales, que permite obtener medidas de diferentes parámetros necesarios para el desarrollo del trabajo.

2.1.1 Equipo de refrigeración

El equipo de refrigeración se compone de un tanque de almacenamiento de leche con capacidad de 268 litros de leche. Se ha dimensionado para una capacidad de almacenamiento de 150 litros de leche diarios. Por lo tanto se trata de un tanque refrigerante de cuatro ordeños (según norma UNE 68-049-82), destinado a ser vaciado por recogida de leche cada dos días, y diseñado para enfriar una cantidad de leche igual a la mitad de su volumen nominal conservando la totalidad de ésta durante veinticuatro horas. En función de la velocidad de refrigeración de la leche dicho tanque de almacenamiento se clasifica como de clase B II, de acuerdo con la normativa de AENOR (1987).

Este tanque se encuentra rodeado por un depósito de almacenamiento de energía que lo rodea completamente. Este depósito tiene como objetivo el almacenamiento de energía en forma de calor sensible y latente del agua y hielo existentes en su interior. De esta forma disponemos de energía para enfriar la leche tras los ordeños, dado que no suele coincidir las horas de máxima irradiación, máxima captación de energía solar, con las de mayor demanda, momento de entrada de leche procedente del ordeño.

El sistema de refrigeración dispone de dos circuitos independientes de refrigeración (figura 1), de forma que se pueda adaptar la demanda de potencia del sistema frigorífico a la energía fotovoltaica disponible en función de la irradiación existente.

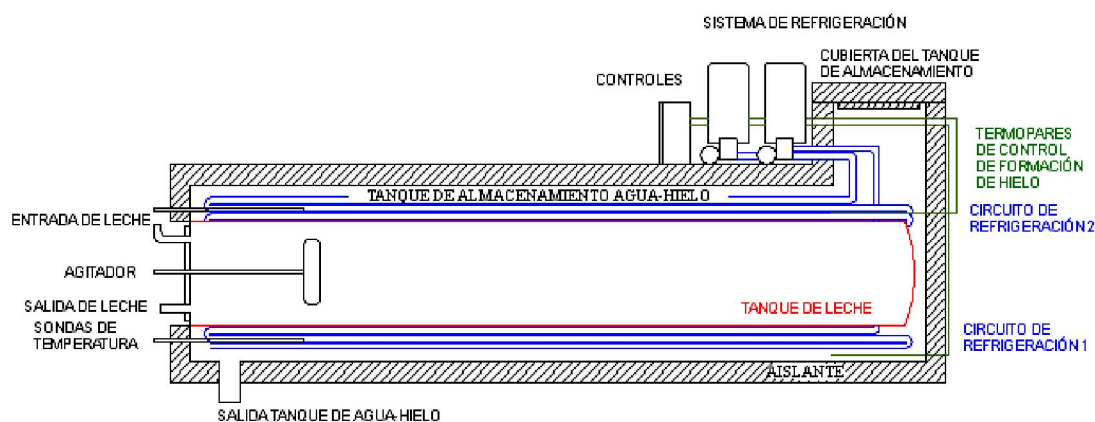


Figura 1: Partes del equipo de refrigeración y conservación de la leche.

Cada circuito está alimentado por un motor de corriente continua. Su orden de funcionamiento, su marcha de manera independiente o simultánea, dependerá de la irradiancia existente en cada momento, así como de la temperatura de los módulos y temperatura del agua del depósito de almacenamiento de energía, parámetros que se intentarán optimizar en el desarrollo del trabajo.

Este equipo de refrigeración utiliza la energía solar como única fuente para su funcionamiento. Para la captación de esta energía se dispone de un campo fotovoltaico.

2.1.2 Campo fotovoltaico

El campo fotovoltaico está formado por veinte módulos fotovoltaicos de células de silicio monocristalino (figura 2). Se distribuyen en una única alineación, orientada al sur, situados sobre la cubierta de una nave de una planta ubicada en el campo de prácticas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra, en Pamplona. Están conectados entre sí en paralelo en grupos de diez módulos. Estos grupos de diez paneles se pueden configurar entre sí en paralelo o en serie dependiendo el nivel de irradiancia existente y de otros parámetros como son nivel de hielo o velocidad de los motores del circuito de refrigeración, que se estudian al realizar el presente trabajo.



Figura 2: Fotografía del campo fotovoltaico.

Las características de estos módulos son

Características eléctricas	
(Especificaciones en condiciones de prueba estándar de: 1000 W/m^2 , temperatura de la célula de 25°C y masa de aire de 1.5)	
Potencia (W en prueba $\pm 10\%$)	120 W
Número de células en serie	36
Corriente en punto de máxima potencia	7.1 ^a
Tensión en punto de máxima potencia	16.9 V
Corriente de cortocircuito	7.7 A
Tensión de circuito abierto	21 V
Variación de la corriente de cortocircuito con la temperatura (α)	0.00308 A/K
Variación de la tensión de circuito abierto con la temperatura (β)	-0.0828 V/K
Características físicas	
Longitud	1477 mm
Anchura	660 mm
Espesor	35 mm
Peso	11.9 kg
Tamaño de la célula	150×150 mm

Tabla 1: Características eléctricas y físicas de los paneles fotovoltaicos.

2.1.3 Sistema de automatización

2.1.3.1 Descripción de equipos de medida

Para dirigir la marcha del equipo de refrigeración se dispone de un autómata programable para seguir el algoritmo de funcionamiento que se describe en el apartado siguiente.

El algoritmo de operación del sistema de refrigeración depende del nivel de irradiancia que haya en cada momento, del estado del sistema de refrigeración y de la temperatura de los módulos fotovoltaicos.

El autómata está continuamente leyendo la información que recibe de los diferentes sensores utilizados para medir los parámetros de temperatura, irradiancia y velocidad de los motores.

Los sensores de temperatura utilizados son dos sondas pt100 y una sonda pt1000. Esta última va acoplada al sensor de irradiancia para conocer en todo momento la temperatura que alcanzan los paneles.

Las sondas pt100 están colocadas en cada circuito del tanque de almacenamiento de agua-hielo. Miden la temperatura del agua-hielo que se forma alrededor de los tubos del evaporador de los circuitos de refrigeración del tanque de almacenamiento de leche. Con ello se conoce el estado del sistema de refrigeración.

El valor de la irradiancia se obtiene en cada momento a partir de los datos generados por un sensor (figura 3), que da una señal en mV proporcional a ella, que posteriormente se transforma a W/m^2 .



Figura 3: Sensores de irradiancia y temperatura

El último parámetro utilizado por el autómata para dirigir el equipo de refrigeración es la velocidad de los motores. Se obtienen a partir de dos encoders (figura 4) conectados al eje de cada uno de los motores.

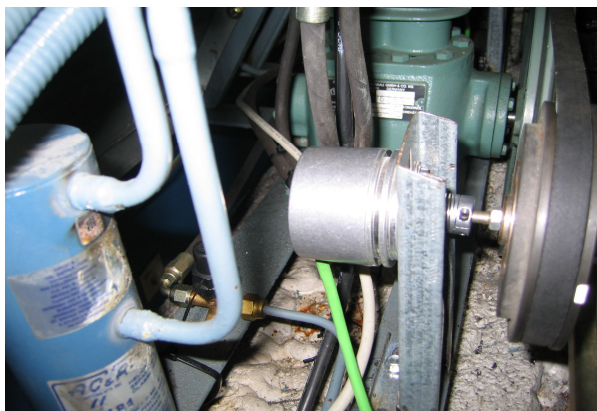


Figura 4: Encoder acoplado a uno de los motores

2.1.3.2 Elementos que componen el sistema de automatización

El autómata (figura 5) se compone de los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación: encargada de convertir la tensión de red, 230 v de corriente alterna, a baja tensión, 24 v de corriente continua para alimentar a la CPU. En este caso se encuentra integrada en la propia CPU.
- CPU: elemento encargado de procesar el programa de usuario. Se encarga de recibir las órdenes del usuario por medio de la consola de programación y el módulo de entradas. Posteriormente las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas. En su memoria se encuentra residente el programa destinado a controlar el proceso del sistema de refrigeración.
- Bastidor o rack: es un soporte metálico sobre el cual se montan todos los módulos de entradas y salidas, interfaces o módulos especiales.
- Módulos de entradas y salidas: son la parte del autómata que se conectan con el proceso que se controla. En este caso el funcionamiento del equipo de refrigeración. Se agrupan en módulos distintos dependiendo su naturaleza. Los módulos de entradas y salidas digitales permiten intercambiar información que representa dos únicos estados, como por ejemplo es la configuración en paralelo del campo fotovoltaico. El autómata puede mandar activar la configuración en paralelo o mandar desactivarse dependiendo las condiciones climáticas existentes. Los módulos de entradas y salidas analógicas son empleados para conocer todos los posibles estados o valores de determinadas magnitudes físicas, como pueden ser la irradiancia o la temperatura de módulos

- Módulos especiales: se conectan como un módulo de entradas y salidas con la misión de controlar un tipo de entradas y salidas más complejas. En este caso tenemos un módulo contador para obtener las lecturas de los encoders conectados al motor y poder determinar la velocidad de los motores en revoluciones por minuto.

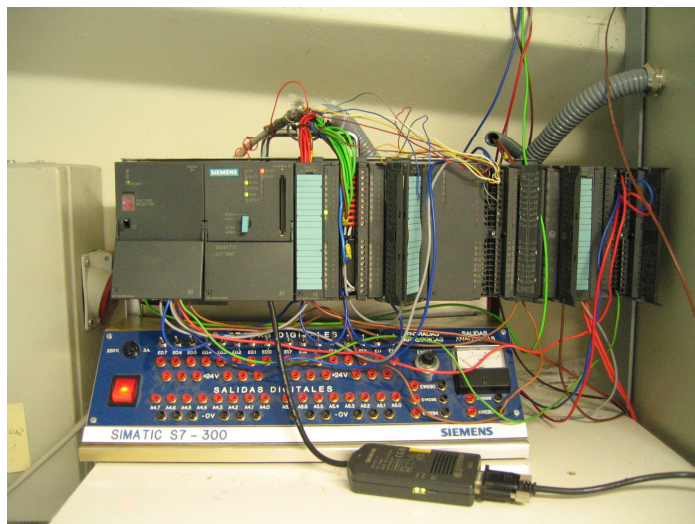


Figura 5: Autómata empleado en la instalación

2.1.3.3 Descripción del funcionamiento del autómata

El programa de control del sistema de refrigeración que está grabado en la memoria del autómata programable se ejecuta cíclicamente cuando éste se encuentra funcionando. Al comienzo de cada ciclo, el sistema operativo del autómata comprueba el estado en el que se encuentran todos y cada uno de los elementos de entrada (sensores de temperatura de módulos fotovoltaicos, de irradiancia, contactores de configuración del campo fotovoltaico, presostatos de alta y baja presión o lectura de los encoders conectados a los motores) que están conectados a los distintos módulos de entradas del autómata programable.

Una vez que la memoria de entradas ha sido actualizada el sistema operativo del autómata comienza a ejecutar las instrucciones del programa albergado en su memoria de programa. Lo hace secuencialmente, comenzando por la primera instrucción del módulo del programa, que en este caso se llama OB1. El autómata realiza las operaciones programadas en esta instrucción, recibir la información de los encoders acoplados al motor y luego llamar a las otras dos partes del programa que son la función FC6 (encargada del funcionamiento del sistema de refrigeración) y FC7.

Cuando el sistema operativo del autómata detecta que se ha ejecutado la última instrucción del programa de control, éste comienza a revisar una por una todas las posiciones de su memoria de salida. Si en una posición le un 1, activará la salida correspondiente en el módulo de salidas. Conectadas a posiciones concretas del módulo de salidas se encuentran accionadores o temporizadores, por ejemplo el contactor de la configuración en serie de los

módulos fotovoltaicos, que al ser activada esta salida, se lleva a cabo la acción correspondiente, en este caso la configuración en serie de los módulos fotovoltaicos

La programación del autómatas se ha realizado mediante el programa Simatic manager Step 7. Este software permite dividir el programa de usuario presente en la memoria de la CPU en distintos bloques de programa que se comportan de manera autónoma.

2.1.4 Sistema de adquisición de datos

Para optimizar el funcionamiento del equipo de refrigeración es necesario conocer el valor de distintas variables que influyen en el mismo.

Se dispone para tal misión de dos equipos de registro de datos Hydra® de 20 canales, modelo 2620 A, de la casa Fluke®, con interface RS 232, lo que permite el control desde un equipo informático. Recogen los valores de las distintas variables en intervalos de tiempo previamente programados, que los transfieren en tiempo real al PC para su almacenamiento y posterior análisis. Permite también configurar directamente desde el PC la información del canal los parámetros de medición.



Figura 6: Equipo de adquisición de datos Hydra

Cada unidad de adquisición de datos Hydra mide voltajes DC y temperaturas vía termopares de distintas variables relacionados con el funcionamiento del sistema autónomo de refrigeración previamente configuradas.

Uno de los equipos Hydra se utiliza para medir variables relacionadas con el tanque de refrigeración. Se recogen en intervalos de cinco minutos. Cada variable es recogida por un canal del hydra:

- Temperatura leche interior del tanque más alejada de la entrada de leche (canal 2).
- Temperatura leche en la parte superior del tanque (canal 3).
- Temperatura de leche en la parte inferior del tanque (canal 4)
- Temperatura entrada de leche (canal 5)
- Temperatura evaporador circuito 1 (canal6)
- Temperatura evaporador circuito 2 (canal 7)
- Temperatura condensador circuito 1 (canal8)
- Temperatura condensador circuito 2 (canal 9)
- Temperatura aislamiento de tanque (canal 10)
- Temperatura ambiente interior sala (canal 12)
- Presión circuito 1 alta (canal 13)
- Presión circuito 1 baja (canal 14)
- Presión circuito 2 alta (canal 15)
- Presión circuito 2 baja (canal 16)
- Sensor nivel hielo (canal 17)

El otro de los equipos Hydra es utilizado para la medición de parámetros relacionados con el campo fotovoltaico y con el estado de los motores del equipo de refrigeración:

- Tensión a motores (canal 2)
- Tensión shunt motor 1 (canal 3)
- Tensión velocidad motor 1 (canal 4)
- Tensión shunt motor 2 (canal5)
- Tensión velocidad motor 2 (canal 6)
- Temperatura de módulos campo fotovoltaico (canal 8)
- Temperatura del ambiente exterior (canal 9)
- Irradiancia (canal 12)
- Temperatura célula (canal 13)

El estudio simultáneo de estos parámetros conjuntamente con el funcionamiento del sistema de refrigeración, llevará a la optimización de su funcionamiento.

2.2 Explicación del algoritmo de funcionamiento del sistema

El algoritmo de operación del sistema de refrigeración depende del nivel de irradiancia que haya en cada momento, el estado del sistema de refrigeración y la temperatura de los módulos fotovoltaicos. Queda reflejado en el diagrama de bloques de la figura 7. Se diferencian tres niveles de irradiancia que se describen a continuación.

2.2.1. Arranque del equipo tras una parada y modo de funcionamiento con niveles bajos de irradiancia

El motor del circuito 1 que está situado en la parte inferior del tanque, entra en funcionamiento, con el campo fotovoltaico conectado en paralelo, si el nivel de irradiancia supera durante sesenta segundos alguno de los valores establecidos en la siguiente tabla:

Temperatura agua almacenamiento	Temperatura de los módulos		
	< 30° C	30° C ≤ x ≤ 45° C	> 45° C
< 8° C	200 W/m ²	250 W/m ²	300 W/m ²
8° C	250 W/m ²	300 W/m ²	400 W/m ²

Tabla 2. Valores mínimos de irradiancia para permitir el arranque del circuito inferior del sistema frigorífico

En cuanto se produce el arranque del motor se abre la válvula de solenoide que permite la circulación de refrigerante por el circuito.

Si transcurridos diez segundos desde que se produce el arranque del motor, la velocidad de éste es inferior a 1000 r/min se cierra la válvula de solenoide y se desconecta el motor. Tras una parada del motor, su entrada en funcionamiento se produce cuando la irradiancia existente supera los valores mínimos establecidos en la tabla 2.

2.2.2. Modo de funcionamiento con niveles medios de irradiancia

La entrada en operación del circuito 2 ó superior de refrigeración, situado en la parte superior del tanque de almacenamiento, estando el equipo del circuito 1 ó inferior en funcionamiento, se produce cuando el nivel de irradiancia supera durante treinta segundos los establecidos en la tabla 2, con los módulos que integran el campo fotovoltaico conectados en paralelo.

En el caso de una temperatura de paneles elevada, la tensión en el punto de funcionamiento que se establece con la configuración en paralelo es insuficiente para alcanzar el régimen de revoluciones necesario en el compresor, aún con niveles de irradiancia altos, por lo que esta alternativa de operación no es adecuada en dichas condiciones (casos marcados con --- en la Tabla 3).

Temperatura agua almacenamiento	Temperatura de los módulos		
	< 30° C	30° C ≤ x ≤ 45° C	> 45° C
< 1° C	400 W/m ²	500 W/m ²	---
1° C ≤ x < 8° C	500 W/m ²	600 W/m ²	---
≥ 8° C	650 W/m ²	---	---

Tabla 3: Valores de irradiancia mínimos, con el campo fotovoltaico configurado en paralelo, para permitir el arranque del circuito superior del sistema frigorífico.

Si transcurridos diez segundos desde el arranque del motor correspondiente al circuito 2, la velocidad de este, o la del motor del circuito 1, es menor en cualquier momento a 1000 r/min, se cierra la válvula de solenoide y se desconecta el motor del circuito 2. Si tres segundos después de haber realizado esta operación el motor del circuito 1 tampoco alcanza el régimen de revoluciones mínimo, debido a una bajada brusca del nivel de irradiancia ocasionada por la presencia de nubes, se desconecta también dicho motor.

2.2.3. Modo de funcionamiento con niveles altos de irradiancia

Si se superan durante treinta segundos alguno de los valores de irradiancia establecidos en la Tabla 3 cuando uno o ambos circuitos del sistema de refrigeración están en funcionamiento y el campo fotovoltaico en paralelo, se cambia la forma de conexión de los módulos, uniendo en serie entre sí dos grupo de diez módulos dispuestos en paralelo, y los dos equipos de refrigeración entran en operación. Para realizar este cambio de configuración se cierran las válvulas de solenoide de ambos circuitos y se abren al conectar el sistema de la forma deseada.

Si transcurridos diez segundos la velocidad de uno de los motores alcanza las 2300 r/min en cualquier momento, se desconectan dos módulos de del campo fotovoltaico, uno de cada grupo de diez módulos en paralelo, que pasan a cargar baterías. Los módulos desconectados se integraran de nuevo en el sistema de alimentación de los motores cuando la tensión de funcionamiento de éstos sea inferior a 24 V durante al menos cinco segundos.

Si estando el campo fotovoltaico configurado en serie, la velocidad de alguno de los dos motores es inferior a 1000 r/min, se cierran las válvulas de solenoide y se conectan los 20 módulos en paralelo. Si a los tres segundos los motores no alcanzan la velocidad de 1000 r/min, se desconecta el motor del circuito 2 y, de igual forma, se desconecta el del circuito si no llega a alcanzar el régimen de 1000 r/min tras otro intervalo de tres segundos.

Temperatura agua almacenamiento	Temperatura de los módulos		
	$< 30^{\circ} \text{ C}$	$30^{\circ} \text{ C} \leq x \leq 45^{\circ} \text{ C}$	$> 45^{\circ} \text{ C}$
$< 1^{\circ} \text{ C}$	600 W/m ²	600 W/m ²	650 W/m ²
$1^{\circ} \text{ C} \leq x < 8^{\circ} \text{ C}$	650 W/m ²	650 W/m ²	700 W/m ²
$\geq 8^{\circ} \text{ C}$	800 W/m ²	850 W/m ²	850 W/m ²

Tabla 4: Valores de irradiancia mínimos, con el campo fotovoltaico configurado en serie, para permitir el funcionamiento de los dos circuitos de refrigeración.

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

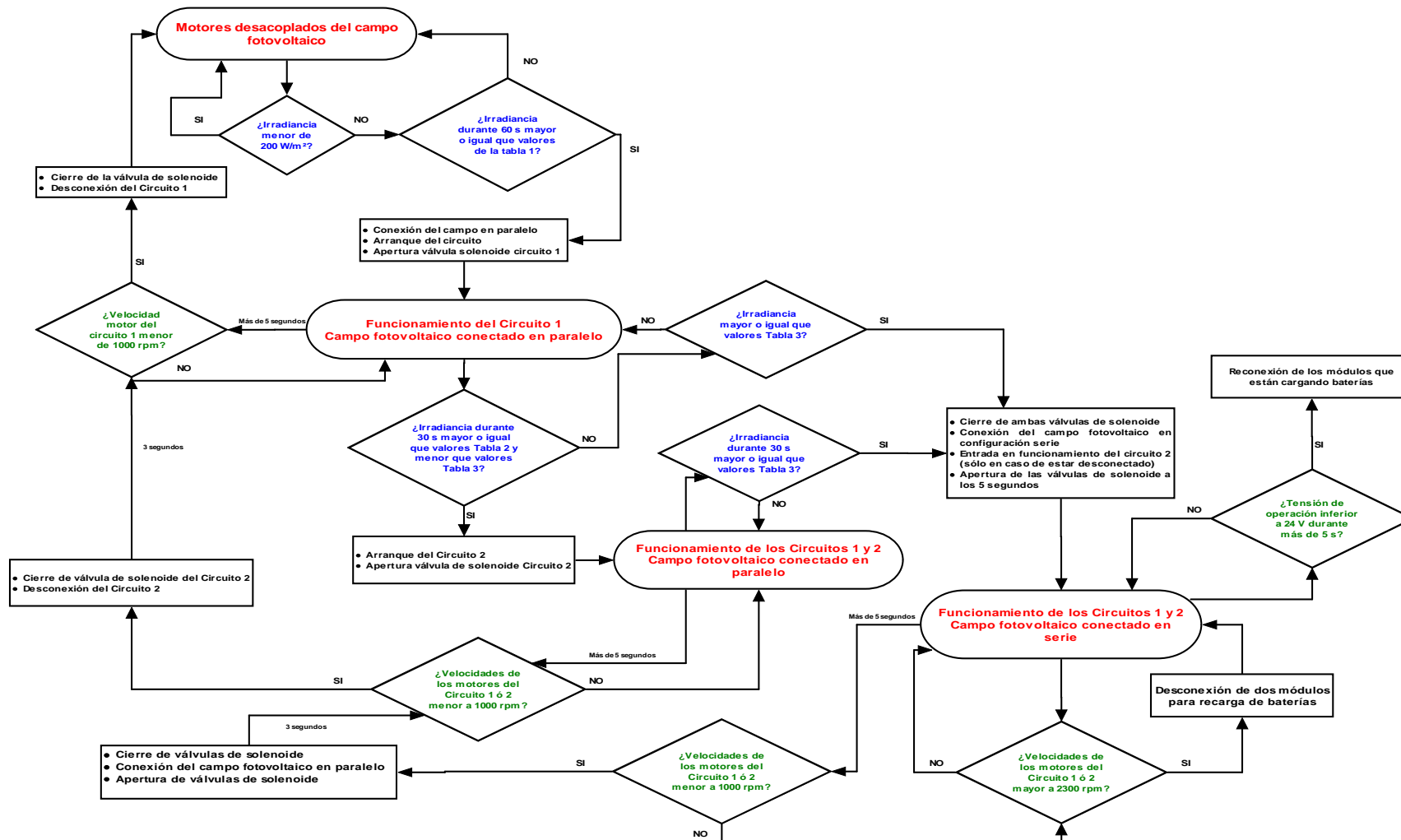


Figura 7: Diagrama de bloques del algoritmo de funcionamiento del sistema de refrigeración.

3. Resultados y discusión

3. Resultados y discusión

El seguimiento del equipo de refrigeración se realiza durante los meses de verano de los últimos dos años. Se lleva a cabo una serie de estudios para optimizar su funcionamiento. La necesidad de la presencia de hielo para refrigerar la leche en un tiempo limitado por la normativa vigente, así como el momento de aparición de hielo se estudia en primer lugar. Posteriormente se realiza una caracterización del funcionamiento del sistema de refrigeración durante los meses de verano, al mismo tiempo que se evalúa el comportamiento del autómata programable que dirige este funcionamiento. Por último utilizando datos de pruebas anteriores y datos que se obtienen al realizar el seguimiento del sistema se determina la velocidad de formación de hielo. Y para cumplir la normativa de este equipo de refrigeración se hace un cálculo de la potencia del agitador de leche a introducir en el sistema.

3.1 Estudio de la velocidad de refrigeración de la leche utilizando el calor sensible del agua

Durante los primeros días de funcionamiento del sistema se observa la dificultad por parte del mismo a generar hielo dentro del tanque de almacenamiento de agua. Se piensa en estudiar si es posible que utilizando únicamente el calor sensible del agua almacenada se pueda refrigerar la leche en un intervalo de tiempo aceptable de acuerdo con la normativa.

Este primer estudio se realiza una vez que se alcanza la temperatura de cero grados dentro del tanque de almacenamiento del agua. Esta temperatura se consigue funcionando el sistema de refrigeración de manera autónoma no antes de las doce del mediodía de un día de verano soleado con buenas condiciones climáticas, en días nublados esta temperatura se logra en las primeras horas de la tarde. En ese momento del día se simula un ordeño y se observa el comportamiento de la temperatura de la leche dentro del tanque de almacenamiento.

Como se ha comentado se dispone de un tanque de refrigeración de cuatro ordeños. Es decir, diseñado para enfriar una cantidad de leche igual a la mitad de su volumen nominal y a conservar la totalidad de ésta durante veinticuatro horas. Para el cumplimiento de la norma UNE 68-049, relativa a características de construcción y funcionamiento de tanques refrigerantes de leche, cuando estos están vacíos y se añade una cantidad de leche igual al veinticinco por ciento del volumen nominal, la totalidad de la leche debe enfriarse a cuatro grados en un tiempo máximo de tres horas.

La leche que proviene de la simulación del ordeño presenta una temperatura de treinta y cinco grados en el momento que se introduce en el tanque. El volumen que se introduce son sesenta y siete litros. La energía utilizada en este caso para disminuir la temperatura de la

leche a 4°C en este tiempo limitado, es el calor sensible del agua, ya que como se ha comentado se carece de hielo. Por tanto la situación de partida es:

$$T_{o\text{ leche}} = 35^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{agua enfriamiento}} = 0^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Radiación} = 900\text{ W/m}^2$$

$$T_{\text{ambiente exterior}} = 27^{\circ}\text{C}$$

Se entiende que las condiciones de partida son buenas, para obtener una conclusión clara, sobre la necesidad de la disponibilidad inicial de hielo. La temperatura de la sala en la que se encuentra el tanque oscila entre los 26°C y los 30°C, durante la realización del estudio. Los valores de radiación superan en todo momento el valor de 800 W/m^2 . Tenemos nivel de irradiancia alta y por tanto el campo fotovoltaico está conectado en serie. La velocidad de motores no es inferior a 1900 r/min.

En las horas centrales del día, horas de mayor irradiancia se lleva a cabo la experimentación para obtener la siguiente evolución de la temperatura:

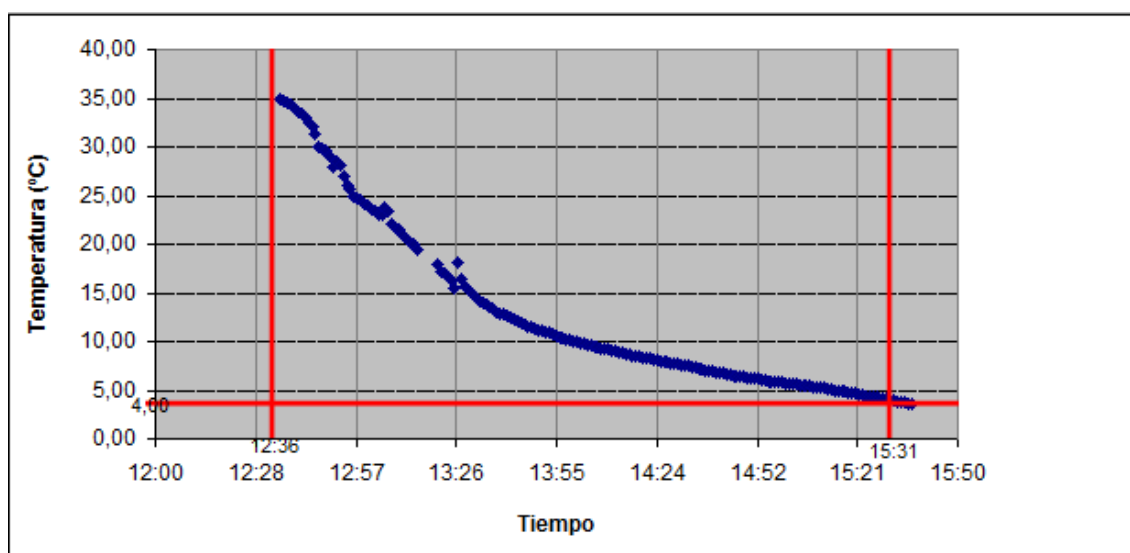


Figura 8: Evolución de la temperatura de la leche durante el estudio inicial de la velocidad de enfriamiento

Como se aprecia en la figura 8, se alcanza la temperatura de conservación de cuatro grados, exigida por la norma UNE 68-049, relativa a características de construcción y funcionamiento de tanques de refrigerantes de leche, en un tiempo inferior a las tres horas. El ordeño se introduce a las 12:36 horas de la mañana, consiguiéndose la temperatura de cuatro grados a las 15:31 min.

Al realizar esta simulación en otras condiciones de irradiancia y temperatura del agua en el tanque de almacenamiento (siempre por encima de cero grados), no se consigue reducir la temperatura de la leche hasta cuatro grados en un tiempo inferior a tres horas.

La temperatura de conservación de cuatro grados en un tiempo inferior a tres horas utilizando únicamente el calor sensible del agua se consigue si se ordeña coincidiendo con las horas de mayor irradiancia. Este resultado sería válido en explotaciones que realizan un único ordeño en las horas centrales del día. Sin embargo, en la práctica totalidad de las explotaciones ganaderas de leche se realizan dos ordeños, uno de ellos en las primeras horas del día (7:00 h) y el otro por la tarde (19 h). Se necesita en estas explotaciones almacenar energía en forma de calor latente del hielo para disminuir la temperatura de la leche a 4°C en un tiempo limitado.

Este sistema autónomo de enfriamiento de leche se podrá utilizar en aquellas explotaciones que realizan dos ordeños cuando hay presencia de hielo en el tanque de almacenamiento de agua-hielo. Esto lleva a un funcionamiento del sistema previo al inicio que de los ordeños, para disponer de energía suficiente para enfriar la leche proveniente de estos. Se necesita por ello conocer el tiempo que el sistema de refrigeración ha de estar funcionando para disponer de hielo y poder comenzar a realizar los ordeños.

3.1.1 Estudio del tiempo necesario para disponer de hielo en el tanque de almacenamiento de agua.

Una vez que se conoce que no es suficiente el calor sensible del agua para enfriar la leche que proviene de los ordeños de una explotación típica lechera y que es necesaria la presencia de hielo se intenta conocer el tiempo necesario para que el sistema de refrigeración lo produzca. Para tal fin se analiza la evolución de la temperatura en el agua de almacenamiento a lo largo de varios días. Se utilizan periodos de cinco días durante los meses de verano, de lunes a viernes, con buenas condiciones climáticas, para que el sistema tenga el mejor rendimiento posible. Para saber el momento en el que se inicia la formación de hielo se presta atención al nivel del agua en el tanque de almacenamiento de la misma. Un aumento de su volumen es señal de que hay formación de hielo. Uno de los canales del Hydra registra datos de un sensor de nivel colocado para tal fin. También hay una escala en el interior del tanque que permite seguir la evolución del nivel de manera visual.

En la figura 9, se muestra la evolución de la temperatura del agua en el tanque de almacenamiento de energía durante el periodo de estudio que mejores resultados se han obtenido. El total de los días presentaban buenas condiciones climáticas. Se representa la temperatura de agua en el entorno de los tubos de evaporación de los dos circuitos de refrigeración que se encuentran en el interior del tanque de almacenamiento de agua-hielo. El circuito 1 se encuentra en la parte inferior del depósito y el circuito 2 se encuentra en la parte superior entrando en funcionamiento con niveles altos de irradiancia. Se observa que durante las horas de máxima irradiancia (horas centrales del día), la temperatura del agua de almacenamiento registra un notable descenso acercándose al valor de cero grados,

alcanzándolo en las últimas horas del día. Sin embargo, debido en la mayor parte a las posibles deficiencias en el aislamiento del tanque de refrigeración y a la alta temperatura de la sala en la que se encuentra el tanque (a la noche no ha sido inferior a 22°C en ninguno de los días, alcanzándose los 32°C durante el día), se experimenta un incremento durante las horas finales del día y la noche. En este periodo nocturno, al encontrarse en reposo los motores, el equipo de frío no disminuye el valor de la temperatura y hay pérdidas de calor debidas al aislamiento real del tanque. Por tanto al día siguiente el valor de temperatura es superior al que se tiene cuando los motores pararon al disminuir la radiación por debajo del umbral para el correcto funcionamiento de los mismos. En el caso más favorable esta temperatura se incrementa en dos grados.

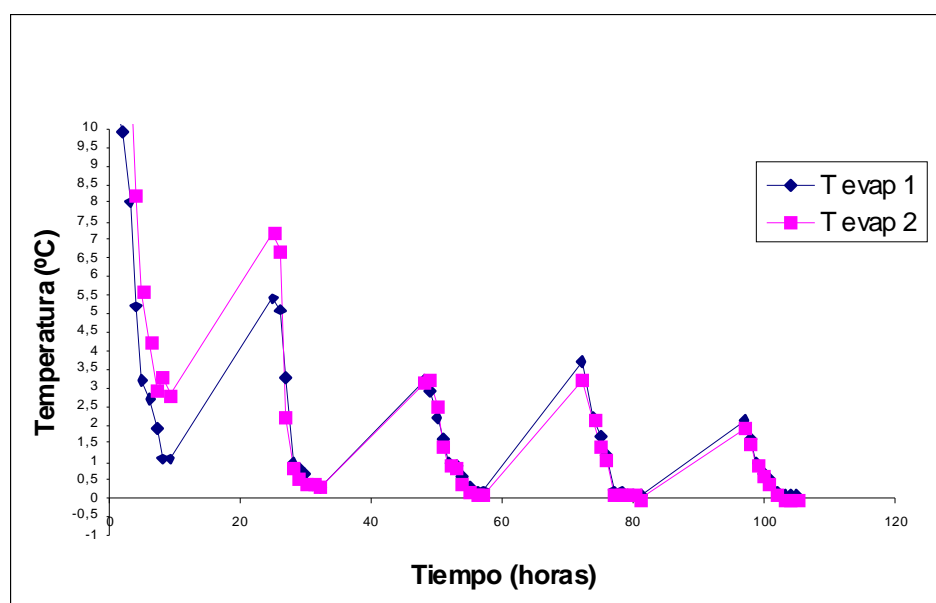


Figura 9: Evolución temperatura de agua tanque de almacenamiento

En los demás periodos en los que se ha estudiado el momento de aparición de hielo los resultados obtenidos son peores. Es decir, no ha habido unas buenas condiciones climáticas para conseguir la mayor eficiencia de equipo de refrigeración. En los días nublados únicamente trabajaba un motor y el campo fotovoltaico estaba conectado en paralelo. En estos días el valor de temperatura del agua de almacenamiento no alcanzaba los cero grados.

En la figura 10 se muestran valores de irradiancia durante el periodo de días en el que se obtienen los mejores resultados. Todos los días durante más de tres horas este valor es superior a $800W/m^2$. Los motores en este periodo, comprendido entre las 12:30 horas y las 15:30 horas giraban a una velocidad superior a 1.800 r/min., salvo pequeñas interrupciones debido a la nubosidad presente en el cielo, con los grupos de paneles del campo fotovoltaico conectado en serie. A partir de ese momento, el valor de irradiancia disminuía considerablemente al no incidir los rayos solares de manera directa sobre los paneles fotovoltaicos.

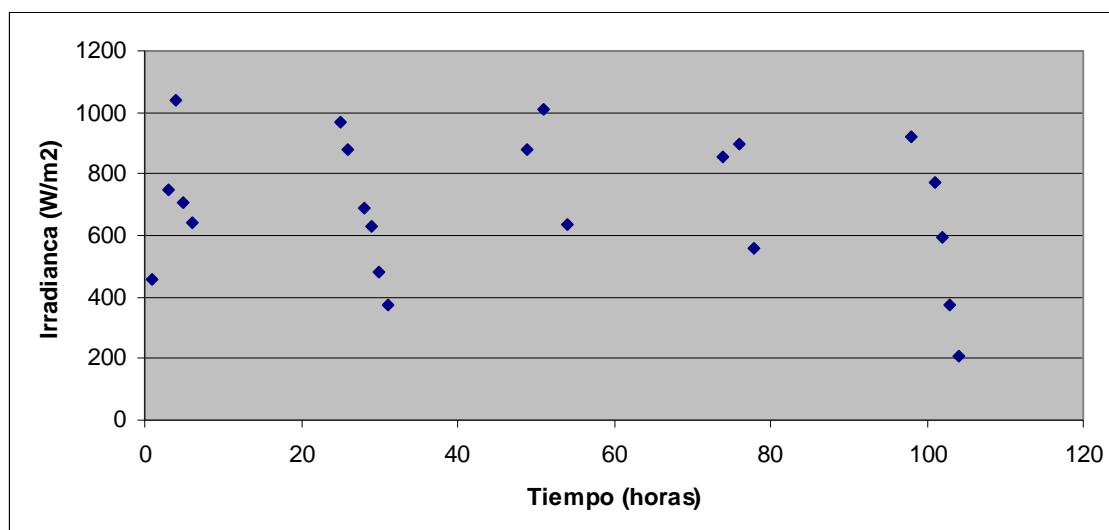


Figura 10: Evolución del valor de irradiancia a lo largo del mejor periodo en el que se ha estudiado el momento de aparición de hielo

Con días en los que las condiciones climáticas son buenas de manera continuada se alcanza la temperatura de cero grados del agua durante días seguidos. Sin embargo el nivel del agua no varía, señal que indica la no formación de hielo. Esto se observa de manera visual fijándose en la escala que se encuentra en el interior del tanque. El nivel del agua durante el transcurso de los días se ha encontrado en la misma marca

La dificultad que se observa para disponer de hielo funcionando el sistema de refrigeración de manera autónoma hace pensar en la necesidad de disponer una fuente externa de alimentación de los motores del circuito de refrigeración para que funcionen de manera continuada. De esta manera se consigue formar hielo y que se pueda comenzar a realizar los ordeños. Permite una rápida puesta en funcionamiento en la explotación ganadera del sistema.

La utilización de esta fuente externa de alimentación se podría ver limitada en aquellos lugares aislados de la red, para los que se diseña este sistema de refrigeración. Sin embargo la instalación de este equipo en estos lugares hace necesario el transporte del mismo por medios mecánicos. Medios que pueden funcionar como fuente de alimentación del sistema en los primeros momentos de funcionamiento del mismo. Una vez alcanzado el nivel de hielo necesario, el sistema ya es capaz de trabajar de manera autónoma.

3.2 Caracterización del modo de funcionamiento

El seguimiento de manera continuada del funcionamiento del equipo de refrigeración de manera autónoma durante los meses de verano permite realizar una caracterización del mismo. Es decir, permite conocer el tiempo en el que se encuentra funcionando, el modo en el que funciona, la manera en la que se encuentra conectado el campo fotovoltaico o evolución de valores de que influyen en su marcha.

Al analizar el funcionamiento se comprueba que durante los meses de verano el equipo de refrigeración trabaja durante un periodo máximo de nueve horas (días con buenas condiciones climáticas). El arranque se produce sobre las diez de la mañana, produciéndose su parada hacia las siete de la tarde. En este intervalo de tiempo los módulos fotovoltaicos reciben la irradiancia necesaria para que el equipo de refrigeración se encuentre operativo.

En la figura 11 se muestra una relación entre el periodo de tiempo en el que se encuentra en funcionamiento un único motor y el intervalo de tiempo que están en marcha los dos motores. La mayor parte del día, entorno al 60 % del total de las nueve horas, funcionaban los dos motores (bien con la conexión del campo fotovoltaico en serie o en paralelo), reduciéndose el funcionamiento de un único motor a las horas iniciales del día y a las horas finales, en días soleados. Esto da una primera idea de los valores de irradiancia, al necesitarse valores superiores a $400 W/m^2$, para el funcionamiento conjunto de los dos motores.

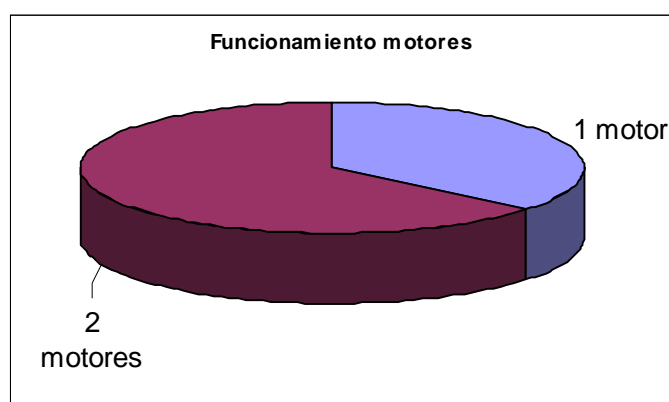


Figura 11: Comparación de periodo de funcionamiento de un motor o ambos simultáneamente

Durante el periodo de tiempo en el que funcionan simultáneamente ambos motores, dependiendo el nivel de irradiancia existente, la conexión de los módulos fotovoltaicos puede darse en serie o en paralelo. En la figura 12 se muestra los periodos de tiempo del total que se encuentran en funcionamiento ambos motores en los que hay una determinada conexión del campo fotovoltaico. La conexión de los módulos en paralelo, cuando los dos motores se encuentran en funcionamiento, se reduce durante los días de verano con buenas condiciones climáticas, a escasos momentos en las horas primeras del día y a las horas finales del día. Normalmente la entrada en operación del circuito 2 de refrigeración no se producía cuando el campo fotovoltaico se encontraba conectado en paralelo y había niveles de irradiancia suficientes, debido a la elevada temperatura de los paneles. La tensión en el punto de

funcionamiento que se establecía era insuficiente para alcanzar el régimen de revoluciones necesario en el compresor. Esta temperatura es siempre superior a 45°C. en los momentos en los que el campo fotovoltaico se encontraba en paralelo y el valor de irradiancia no superaba el valor de $650W/m^2$, para días con buenas condiciones climáticas.

En el momento en que se realiza la conexión en paralelo los motores no superan las 1.100 r/min, con lo que la eficacia de los compresores se ve reducida considerablemente. Los dos motores trabajan con la conexión de los paneles en paralelo, la práctica totalidad de los días, al disminuir el valor de irradiancia hacia las cinco de la tarde y durante un periodo no superior a cuarenta y cinco minutos, en estos días con buenas condiciones climáticas.

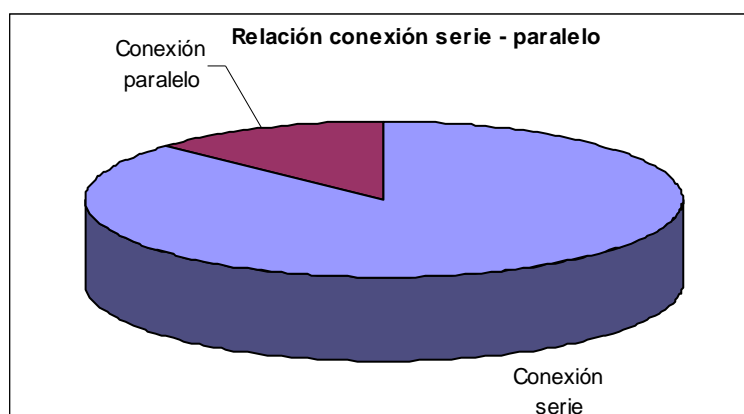


Figura .12. Comparación durante el funcionamiento de los dos motores el modo de conexión que se encuentran los módulos del campo fotovoltaico.

El funcionamiento de los dos motores utilizando como fuente la conexión de los veinte módulos en serie, permite obtener la máxima capacidad frigorífica, con lo que la producción de frío se acelera. Por ello se presta atención a la irradiancia existente en el periodo de tiempo que la conexión de los paneles fotovoltaicos se realiza en serie, para que se aproveche de la manera más eficiente.

La figura 13 describe los intervalos de tiempo en los que la irradiancia supera un determinado valor, durante el periodo de conexión de los paneles en serie (en días con buenas condiciones climáticas típicos de verano). Los puntos de máxima irradiancia, se dan entre las doce y las quince horas. Coinciden en el momento en el que el sol se encuentra sobre los paneles fotovoltaicos, recibiendo estos los rayos solares de manera directa. A partir de ese momento este valor va disminuyendo, hasta las cinco de la tarde, momento en el que la irradiancia no supera el umbral necesario para el funcionamiento de los dos motores con la conexión en serie.

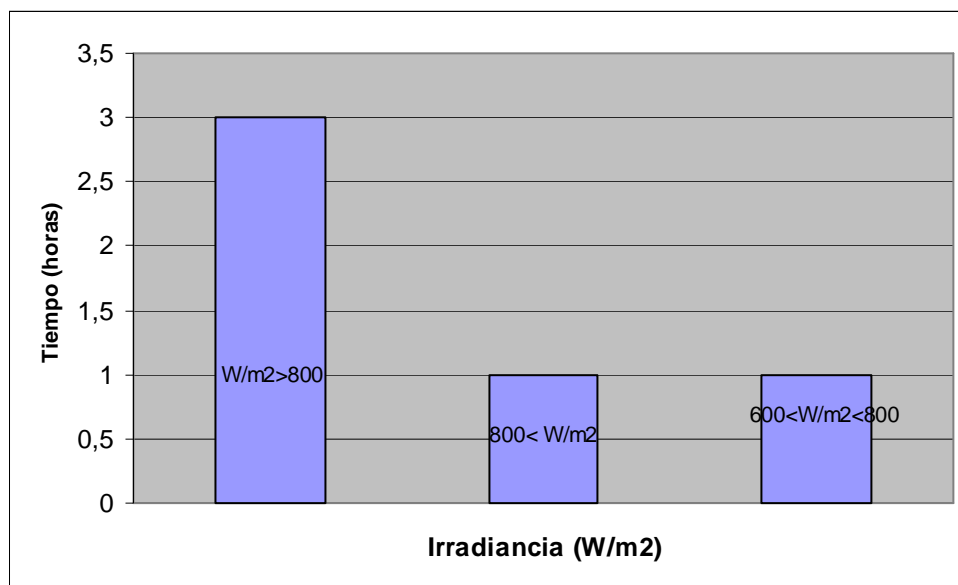


Fig. 13. Muestra la relación de horas en los que la irradiancia supera un determinado valor.

En días nublados y con diferentes condiciones climáticas (menor irradiancia y temperatura) el funcionamiento de los dos motores con el campo fotovoltaico conectado en serie no se produce, al no superarse el valor mínimo de $600 W/m^2$ necesario para realizar tal conexión. La mayor parte del día funciona el motor del circuito 1 de refrigeración. La entrada del circuito 2 con la conexión en paralelo de los módulos se produce en horas centrales del día, normalmente hacia las dos de la tarde. Trabajan los dos motores de manera simultánea estos días durante un periodo de tiempo no superior a las tres horas. Los motores funcionan a bajas revoluciones, por debajo de $1.150 r/min$.

El conocimiento del funcionamiento del sistema autónomo en el emplazamiento en el que se encuentra, es decir, conocer el número de horas que funciona el equipo, el modo de conexión de los paneles o la tensión a la que están sometidos los motores permite obtener en estudios posteriores la capacidad teórica del equipo frigorífico para enfriar leche en los meses de verano.

El nivel de irradiancia y la temperatura de los módulos son las variables que presentan mayor evolución a lo largo de las jornadas de análisis del funcionamiento del equipo de refrigeración.

La temperatura agua-hielo funcionando el sistema con simulación de ordeños siempre se mantiene por debajo de cero grados. Una temperatura superior imposibilita la realización de los ordeños. Este valor de temperatura se alcanza utilizando una fuente externa de alimentación de los motores y de esta forma empezar la simulación de los ordeños. Al no poder utilizar este equipo con temperaturas superiores a cero grados, se hace más sencillo el algoritmo que determina el funcionamiento del mismo al eliminar la variable de la temperatura agua almacenamiento como condicionante de la puesta en funcionamiento de los motores.

La eliminación de la opción de elegir una forma de funcionamiento (determinada por temperatura de agua de almacenamiento) durante el proceso de formación de hielo se realiza al no poder utilizar el sistema de refrigeración durante este proceso. Si no se tiene energía almacenada en forma de calor latente del hielo (apartado 3.1) no se consigue la refrigeración de leche según normativa. De acuerdo con resultados obtenidos (apartado 3.1.1) el sistema de manera autónoma no es capaz de generar hielo. Si se quiere utilizar para refrigerar leche, se necesita hielo, que se obtiene con una fuente de alimentación externa en un primer momento. El sistema funciona de manera autónoma refrigerando leche si hay hielo inicial, por tanto, el valor de temperatura siempre es menor de cero grados.

El funcionamiento del sistema de refrigeración presenta unos momentos que necesitan una evaluación detallada. Son el arranque al comienzo del día o tras una parada, y los cambios en el modo de funcionamiento dependiendo el nivel de irradiancia.

3.2.1 Arranque del equipo tras una parada y modo de funcionamiento con niveles bajos de irradiancia

Al suprimir la variable de temperatura del agua de almacenamiento como condicionante del funcionamiento del sistema de refrigeración, el inicio del mismo dependerá únicamente de la temperatura de módulos y de la irradiancia existente.

El motor del circuito 1, entra en funcionamiento en principio si el nivel de irradiancia supera alguno de los valores de la tabla 5.

Temperatura de módulos		
< 30 °C	$30^{\circ}C \leq T \leq 45^{\circ}C$	> 45°C
$200W/m^2$	$250W/m^2$	$300W/m^2$

Tabla 5: Valores de irradiancia mínimos, con el campo fotovoltaico configurado en paralelo, para permitir el arranque del circuito inferior del sistema frigorífico.

Estos parámetros fueron analizados (De Blas, 2002) en su momento. Ahora se evalúa su validez, es decir, que se permita el máximo aprovechamiento de la energía solar por parte del sistema de refrigeración. Y en caso contrario modificar los umbrales para mejorar su rendimiento.

El primer motor que siempre entra en funcionamiento es el del circuito de refrigeración que se encuentra en la parte inferior del tanque. Al superarse los valores indicados anteriormente entra en funcionamiento el motor. La velocidad del motor con un valor de irradiancia levemente superior ha $200W/m^2$ es alrededor de 1.000 r/min. Hay momentos en los que con radiación $200-210W/m^2$, se ha parado el motor al no alcanzar la velocidad mínima de

1.000 r/min. Estos momentos son puntuales en algún día, por lo que no se considera incrementar este umbral. Estas paradas ocasionales han sido determinantes para no pensar en reducir el valor de irradiancia mínima que permita la entrada en funcionamiento del motor correspondiente al circuito 1. Los motores necesitan un valor de irradiancia mínimo para alcanzar las revoluciones que permitan un correcto funcionamiento

La puesta en marcha del equipo de refrigeración, se produce siempre en los primeros momentos del día, en torno a las diez de la mañana en los que los valores de irradiancia superan alguno de los valores señalado en la tabla. En la mayoría de los días se necesitaban los 250 W/m², debido a que los módulos presentaban una temperatura superior a los 30 °C. En días nublados la temperatura en módulos no alcanzaba los 30°C y por tanto el motor empieza a dar vueltas cuando se alcanzan 200W/m² de irradiancia. Ninguno de los días se necesitó una irradiancia superior para la puesta en funcionamiento del circuito inferior del sistema frigorífico al inicio de su funcionamiento. Los paneles incrementaban la temperatura conforme aumentaba la irradiancia sobre ellos.

El automatismo que dirige el funcionamiento, permite el arranque transcurridos sesenta segundos, en los que se supera los valores anteriormente citados de irradiancia. Durante los diferentes días en los que se produce el arranque al inicio del día no se estudia su modificación. Se observa pequeñas variaciones de irradiancia en intervalos inferiores al minuto, por lo que disminuir este valor puede llevar a un aumento de los momentos transitorios de los motores, lo que conlleva a disminuir su vida útil.

Los únicos momentos en los que se piensa reducir este intervalo son al paso de alguna nube por el cielo, con lo que la irradiancia se ve reducida. Momentos que son efímeros, y se restablecen las condiciones de operación casi inmediatamente. Se declina esta posibilidad, ya que no repercute de manera importante en el funcionamiento del equipo de refrigeración. En la figura 14 se muestra la duración media de las paradas tras el paso de alguna nube, así como el número de las mismas, cuando se encuentran normalmente los dos motores funcionando, el día en el que mayores interrupciones se han producido. Un día normal de verano el número de paradas es inferior a diez. Normalmente cinco o seis paradas, debido al paso de la nubosidad presente en el cielo. Y el valor medio de la parada es un minuto, es decir, el paso es inmediato. Durante los días de estudio el equipo de refrigeración no está parado en un periodo de tiempo largo, más de diez minutos de manera continua debido a estas adversidades. Siempre se restablece de manera casi inmediata la irradiancia mínima, igual no la suficiente para que los dos motores se muevan, pero sí la necesaria para la puesta en marcha del motor del circuito 1

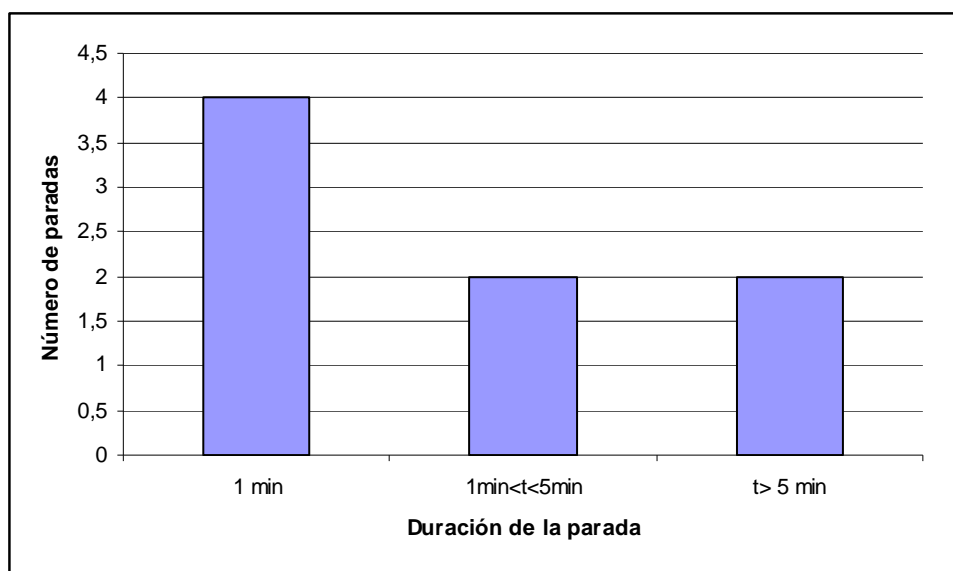


Fig. 14. Gráfica que muestra la duración medio de las interrupciones en el funcionamiento del equipo frigorífico

Como se ve la pérdida media de tiempo en un día que en el que se tienen el mayor número de interrupciones, no supera los treinta minutos. Es una pérdida aceptable, porque en este día y días similares, en los que el tiempo total de parada se acerca a este valor, el equipo de refrigeración es capaz de satisfacer las necesidades de energía.

Por tanto no se modifica la temporización de arranque y parada de estos intervalos de tiempo

3.2.2 Modo de funcionamiento con niveles medios de irradiancia

La entrada en operación del circuito 2 de refrigeración, situado en la parte superior del tanque de almacenamiento, estando el equipo del circuito inferior en funcionamiento se produce cuando el nivel de irradiancia supera durante treinta segundos, inicialmente, los establecidos en la tabla 6, en la que se ha eliminado la variable temperatura de agua de almacenamiento, porque como se ha explicado en el funcionamiento de manera autónoma del equipo refrigerando y conservando leche este valor es inferior a cero grados.

Temperatura de módulos		
< 30 °C	$30^{\circ}C \leq T \leq 45^{\circ}C$	> 45°C
$400W/m^2$	$500W/m^2$	---

Tabla 6: Valores de irradiancia mínimos, con el campo fotovoltaico configurado en paralelo, para permitir el arranque del circuito superior del sistema frigorífico.

Con el intervalo de treinta segundos se observa un mayor número de momentos transitorios en el motor del circuito 2. Esto no se ha podido reflejar gráficamente al recoger datos en el Hydra cada minuto. Se ha observado visualmente. En ocasiones el motor arrancaba y casi instantáneamente se paraba. Para evitar estos momentos transitorios en los

motores se establece la duración mínima del tiempo en el que la irradiancia supera el valor de la tabla 6 en sesenta segundos.

El funcionamiento con niveles medios de irradiancia, con el funcionamiento de los dos motores, y módulos conectados en paralelo se produce en un periodo corto en días con buenas condiciones climáticas. Se produce en estas condiciones tras la disminución de la irradiancia en los momentos finales del día, previos a la desconexión del circuito dos de refrigeración en los que no se observó incidencias significativas. En días nublados este periodo se incrementa.

Los valores de parada, es decir, si transcurren diez segundos desde el arranque del motor correspondiente al circuito 2, la velocidad de alguno de los motores que se encuentran funcionando es inferior a la mínima establecida (1000 r/min), se consideran correctos. No se observa durante el funcionamiento que haya alteraciones de ninguna clase. Se observa de manera visual que cuando el motor no tiene la velocidad mínima se para. No ha habido casos con el motor funcionando por debajo de los umbrales. Al funcionar de manera correcta no se modifican estos intervalos de parada.

3.2.3 Modo de funcionamiento con niveles altos de irradiancia

Al igual que se ha realiza para niveles bajos y medios de irradiancia, se consideran sesenta segundos que han de transcurrir superándose los niveles de irradiancia de la tabla 7, para que el campo fotovoltaico se cambie a la forma de serie y entren en funcionamiento los dos equipos de refrigeración. Asimismo se elimina la condicionante de temperatura de almacenamiento, que como se ha comentado no es influyente a la hora de entrada en funcionamiento de los circuitos, ya que en condiciones normales de funcionamiento la temperatura es de cero grados.

Temperatura de módulos		
< 30 °C	$30^{\circ}C \leq T \leq 45^{\circ}C$	> 45°C
$600W/m^2$	$600W/m^2$	$650W/m^2$

Tabla 7: Valores de irradiancia mínimos, con el campo fotovoltaico configurado en serie, para permitir el funcionamiento de los dos circuitos de refrigeración.

Se consideraba también que en algún momento, en el que alguno de los motores alcanzara las 2300 r/min, se desconectarán dos módulos del campo fotovoltaico, uno de cada grupo de diez módulos en paralelo, que pasaría a cargar baterías.

En el transcurso de los días en los que se ha realizado las pruebas, no alcanzo ninguno de los motores el valor de velocidad con lo este parámetro no se modifica, considerándolo válido.

Los valores de parada, de la misma manera que en niveles inferiores de irradiancia, no se modifican, al considerarse correctos.

Durante tres horas al día, como término medio (en días con buenas condiciones climáticas), la irradiancia era superior al valor 800. Por tanto, la tensión a los motores ronda los 30 V. En esas condiciones el valor de revoluciones de los motores superan las 1800 r/min. En la figura 15 se muestra los valores de revoluciones de los dos motores, cuando el campo fotovoltaico se encuentra conectado en serie, así como el valor de la irradiancia, en el día que se obtienen los mejores resultados. Es decir, hay una irradiancia elevada de manera constante, con lo que los motores funcionan en régimen alto de revoluciones de manera continuada, obteniéndose una elevada potencia frigorífica.

Se observa la correlación existente entre la irradiancia existente en cada momento, con el número de vueltas a las que gira los motores. Al mantenerse elevado el número de vueltas de los motores, se incrementa asimismo la velocidad del compresor, lo que aumenta el caudal de refrigerante en el evaporador y como consecuencia, la velocidad de formación de hielo es mayor. Únicamente en dos momentos puntuales los dos motores se encuentran funcionando simultáneamente con el campo configurado en paralelo. Se debe a una bajada en el valor de la irradiancia. Al inicio hay una parada en el motor del circuito dos al disminuir la irradiancia por debajo de $650W/m^2$. No inicia su funcionamiento hasta que se supera dicho valor y se conectan los módulos en serie, al no ser posible la conexión en paralelo debido a la alta temperatura de los módulos. En ningún momento se para el motor 1.

También son recogidas las disminuciones de irradiancia, con la consiguiente reducción en el número de vueltas de los motores debido a la presencia de nubes. Como se ha comentado con anterioridad, estas perturbaciones son de duración reducida, con lo que no influye en el funcionamiento global del equipo de refrigeración. Rápidamente, tras el paso de las nubes, se recupera el comportamiento normal del equipo. Se incrementa la radiación, al quedar el cielo despejado, y los motores incrementan su velocidad aumentando en último lugar la formación de hielo.

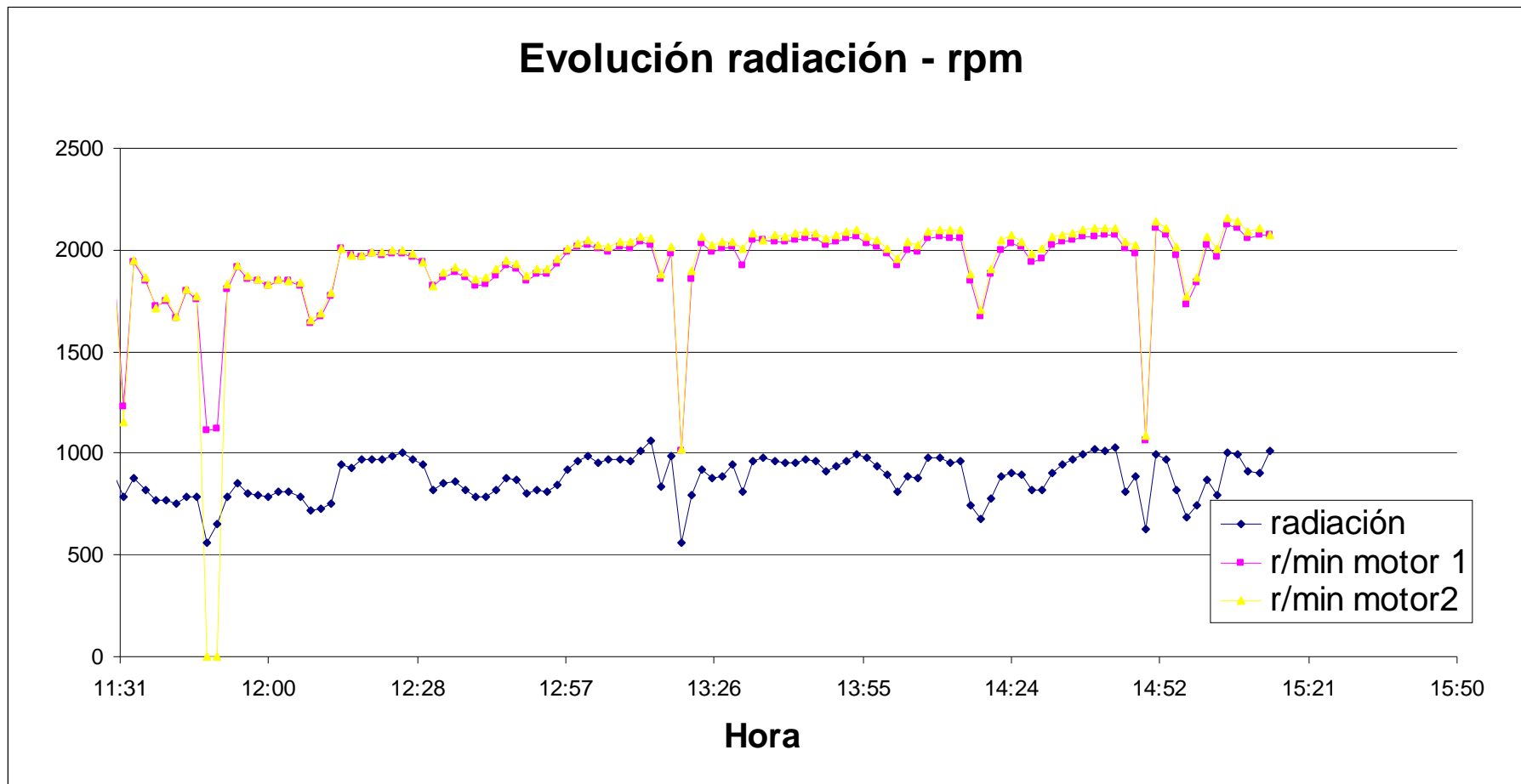


Figura 15. Evolución de la radiación y las velocidades de los motores del equipo de refrigeración en las horas centrales del día que se obtienen los mejores resultados.

3.3 Programación automática

Las modificaciones realizadas en los parámetros que determinan el funcionamiento del equipo de refrigeración se introducen en el programa que lo controla. Para poder realizarlas se hacen unos estudios previos para conocer el funcionamiento de los autómatas programables. Principalmente se modificarán las funciones FC6 y FC7, que son, por un lado la encargada del sistema de refrigeración (FC6) y por otro la encargada de recoger los datos que llegan de las distintas sondas de temperatura, de irradiancia y de velocidad de los motores a través de los encoders (FC7). Se realiza un programa más sencillo. Tanto con niveles bajos de irradiancia como altos, serán tres los valores a superar durante los sesenta segundos mencionados para la puesta en marcha del equipo. Con nivel de irradiancia bajos, tendremos únicamente dos valores a superar durante un determinado valor.

En el anejo 1, se muestra la nueva programación del autómata. Más sencilla que la que inicialmente tenía. Se introduce una nueva función FC8, que sustituye a la FC7 y de esta manera se facilita la programación, al no realizar un nuevo programa desde el principio. También se mantiene esta función para futuros estudios. Se pensó comparar resultados dependiendo de la función utilizada. Sin embargo no se realiza ya que siempre el funcionamiento el equipo se realiza con temperatura inferior a cero grados.

Se modifica un segmento del bloque de organización OB1, llamando a la FC8 en vez de la FC7.

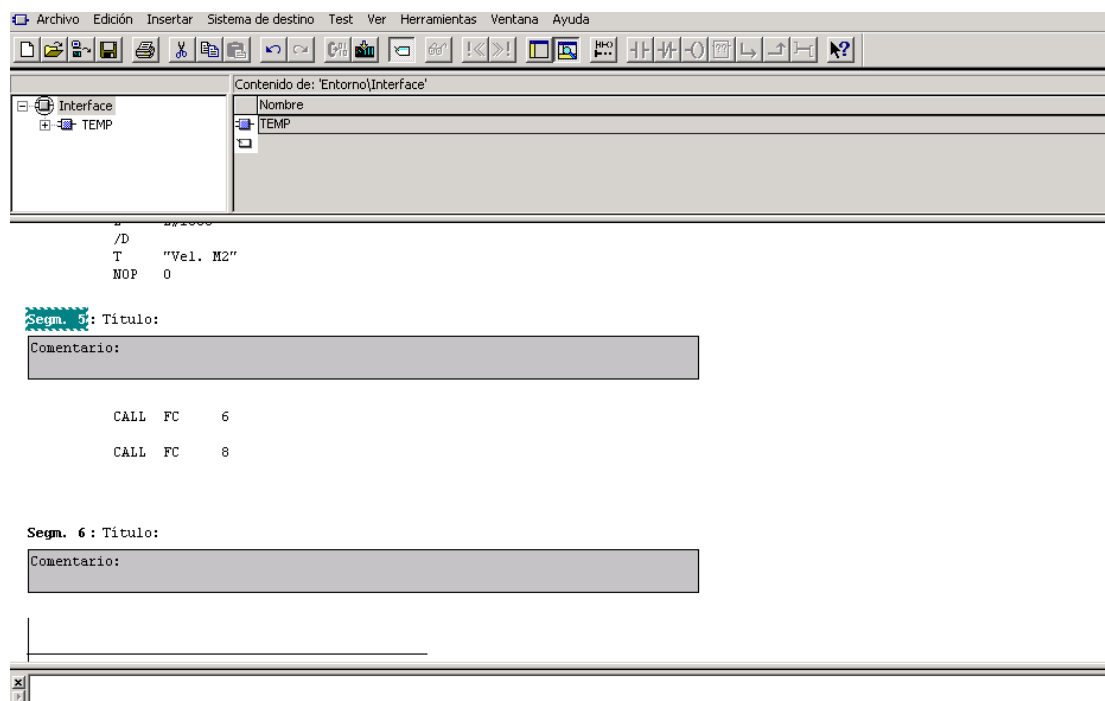


Fig.16. Captura de pantalla del bloque de organización OB1

De la función FC6, que es la encargada del funcionamiento del sistema de refrigeración se modifican seis segmentos.

Del segmento 2, se eliminan las referencias a las entradas M2.3, M2.4, M2.5. Que se referían a los valores de irradiancia cuando la temperatura del agua de almacenamiento era superior a 8°C

Del segmento 3, se eliminan las entradas referentes a valores de irradiancia relacionados con temperaturas de agua de almacenamiento superiores a 1°C. Por lo que se modifican las referencias a las entradas M3.0, M3.1, M3.2

Segm. 2 : Activación de la tabla 4.1

```
Superación de los valores de la tabla 4.1
0 M 2.0
0 M 2.1
0 M 2.2
= "Act. tabla 4.6" M6.0 -- Activación de la tabla 4.6
```

Segm. 3 : Activación con niveles medios de irradiancia

```
Superación de los valores de la tabla 4.2
0 M 2.6
0 M 2.7
= "Act. tabla 4.7" M6.1 -- Activación de la tabla 4.7
```

Figura 17: Captura de pantalla del segmento 2 y segmento 3 de la función FC6

En el segmento 4, también se eliminan una serie de entradas tales como M3.6, M3.7, M4.0, M4.1, M4.2, M4.3.

Segm. 4 : Activación con niveles altos de irradiancia

```
Superación de los valores de la tabla 4.3
0 M 3.3
0 M 3.4
0 M 3.5
= "Act. tabla 4.8" M6.2 -- Activación de la tabla 4.8
```

Figura 18: Captura de pantalla del segmento 4 de la función FC6

Los segmentos 5, 13, 21, que son temporizadores que retardan la activación para la entrada en funcionamiento de los motores con diferentes niveles de irradiancia, son modificados a 60 segundos. Valor que anteriormente se ha citado que es el adecuado y no resulta limitante para obtener la mayor eficiencia del equipo. Con este retardo en la puesta en funcionamiento del equipo tras una parada, se evitan las continuas paradas y arranques del sistema, permitiendo que la irradiancia se estabilice.

Segm. 5: Temporizador entrada funcionamiento del sistema

Temporizador para la entrada en funcionamiento

```

U(
O  "Act. tabla 4.6"      M6.0      -- Activación de la tabla 4.6
O  "Act. tabla 4.7"      M6.1      -- Activación de la tabla 4.7
O  "Act. tabla 4.8"      M6.2      -- Activación de la tabla 4.8
)
U  "Cond. Iniciales"    M0.0      -- Condiciones iniciales
L  SST#1M

SE  "Temp. sist."      T0          -- Temporizador entrada funcionamiento del sistema
NOP 0
NOP 0
NOP 0
NOP 0

```

Figura 19: Captura de pantalla del segmento 5

Segm. 13: Temporizador Motor 1 funcionando y nivel medio de irradiancia

Motor 1 funcionando en paralelo y nivel medio de irradiancia

```

U  "E Con. //"          E0.5      -- Confirmación de funcionamiento de la conexión en Paralelo
UN "E Con. Serie"      E0.4      -- Confirmación de funcionamiento de la conexión en Serie
U  "Circ. 1 //"         M0.1      -- Circuito 1 funcionando en paralelo
U  "Act. tabla 4.7"     M6.1      -- Activación de la tabla 4.7
UN "Act. tabla 4.8"     M6.2      -- Activación de la tabla 4.8
L  SST#1M

SE  "Temp. M 1 y T4.7" T3          -- Temporizador Motor 1 funcionando y activación tabla 4.7
NOP 0
NOP 0
NOP 0
NOP 0

```

Figura 20: Captura de pantalla del segmento 13

Segm. 21: Temporizador de activación irradiancia high estando solo M1 en //

Activación niveles altos de irradiancia estando solo funcionando el motor 1.

```

UN "E Con. Serie"      E0.4      -- Confirmación de funcionamiento de la conexión en Serie
U  "E Con. //"          E0.5      -- Confirmación de funcionamiento de la conexión en Paralelo
U  "Circ. 1 //"         M0.1      -- Circuito 1 funcionando en paralelo
U  "Act. tabla 4.8"     M6.2      -- Activación de la tabla 4.8
L  SST#1M

SE  "Temp.M1// y act.T4.8 10s" T7      -- Temporizador de activación tabla 4.8 estando solo M1 en /.
NOP 0
NOP 0
NOP 0
NOP 0

```

Segm. 20: Confirmación de la configuración en serie

Figura 21: Captura de pantalla del segmento 21

3.4 Necesidades diarias de energía

Para conocer si el equipo es capaz de cubrir las necesidades diarias de energía se utilizan como referencia los datos obtenidos de manera experimentalmente (De Blas ,2002), que se recogen en la tabla 7. Se muestra el número de horas al día que el equipo de frío requiere estar en funcionamiento para satisfacer la demanda diaria de energía. Hay valores máximos y mínimos que dependen de la cantidad de hielo existente en el tanque de almacenamiento, de la uniformidad de la distribución, de la temperatura en dicho tanque y de la temperatura ambiente en el lugar de emplazamiento del equipo.

Se observa que cuando hay baja irradiancia, es decir no se supera valores de 500 W/m², solamente se encuentra en operación el circuito frigorífico situado en la parte inferior, el número de horas requeridas para hacer frente a la demanda diaria puede llegar a ser superior a la duración del periodo diurno, por lo que es necesario recurrir a energía almacenada en días anteriores, en caso disponible, para satisfacer las necesidades de energía frigorífica. Esto ocurre en días nublados.

En el extremo opuesto, se encuentra cuando es posible el funcionamiento de ambos circuitos frigoríficos con el campo fotovoltaico configurado en serie.

Tensión (V)	Número de circuitos frigoríficos en operación	Velocidad de formación de hielo (kg/h)	Energía horaria almacenada (kJ)	Necesidades diarias de energía (kJ)		Horas de funcionamiento diarias requeridas	
				Mínimas	Máximas	Nec. mínimas	Nec. máximas
18	1	7.71	2582.85	26800	40200	10.38	15.56
18	2	12.73	4264.55	26800	40200	6.28	9.43
24	2	16.7	5594.5	26800	40200	4.79	7.18
30	2	18.54	6210.9	26800	40200	4.31	6.47

Tabla 8: Necesidad de horas diarias de funcionamiento del equipo de frío a tensión constante para cubrir la demanda diaria de energía.

Para conocer si realmente se cubren las necesidades diarias de energía, se estudia la variable tensión a motores del campo fotovoltaico. Se observa la variación de este parámetro en diferentes días de verano.

Como ninguno de los días es igual, se realiza un seguimiento de la evolución la variable tensión a lo largo de los mismos. La temperatura en el tanque de almacenamiento se mantiene constante, alrededor de cinco grados negativos en los dos circuitos de refrigeración. En la figura 22, se muestra la evolución de manera gráfica, de la tensión a motores a lo largo de uno de los días que se analizan. Valores superiores a 25 V, indican que los grupos de módulos del campo fotovoltaico están conectados en serie, con los dos motores en funcionamiento. Los inferiores a 20 V, se obtienen con el campo fotovoltaico conectado en paralelo.

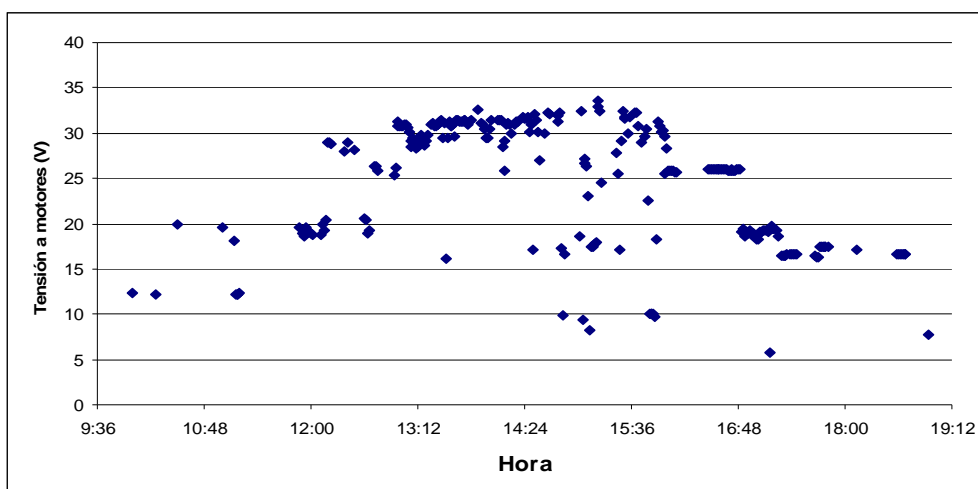


Figura 22: Evolución del valor de tensión a los dos motores a lo largo de un día de agosto utilizado como representativo para el cálculo de la producción del sistema

A partir de estos datos del valor de la tensión de trabajo de los motores en cada momento, se realiza una estimación que facilita una orientación bastante precisa sobre la capacidad del equipo de frío para cubrir la demanda.

En la tabla 9 se muestra los intervalos de tiempo en los que la variable tensión presenta un determinado valor, así como el número de circuitos en funcionamiento. En las horas centrales del día el valor de la tensión del punto de funcionamiento supera los 30 V. Esto permite, una velocidad de compresor elevada y un aumento en la velocidad de formación de hielo. Estas condiciones se producen en un tiempo no superior a cuatro horas.

Tensión (V)	Horas de funcionamiento diarias	Número de circuito frigoríficos en operación
18 (paralelo)	2	1
30 (serie)	3.61	2
24 (serie)	0.83	2
18 (paralelo)	0.42	2
18 > (paralelo)	0.75	2
18 > (paralelo)	1.16	1

Tabla 9: Valor de la tensión en el punto de operación a lo largo del día

La demanda diaria de energía, resulta de la suma de la energía frigorífica necesaria para bajar la temperatura de la leche desde 37°C (temperatura de ordeño), hasta la 4°C (temperatura de conservación); de las pérdidas de calor debidas al aislamiento real del tanque; y de la energía requerida para mantener el agua en el tanque de almacenamiento. Esta demanda ya fue calculada (De Blas, 2002), y oscilan entre 26.800 y 40.200 kJ (tabla 8)

En la tabla 10 se muestra un cálculo práctico de la producción real del sistema, a partir de los datos de la tabla 9 y tabla 8. Tomando solamente el periodo en el que la tensión en el

punto de funcionamiento supera los 18 V se comprueba que el equipo frigorífico cumple las necesidades diarias de energía. En el periodo en el que la tensión en el punto de funcionamiento es inferior a 18 V, también se contribuye a la eficacia del sistema para satisfacer la demanda de energía. Sin embargo, no es posible su cuantificación de manera precisa al no observarse de manera visual variación en el nivel de agua.

Al realizar este cálculo durante un día se obtiene la cantidad de energía almacenada en forma de hielo por el equipo de refrigeración.

Tensión (V)	Número de Circuitos Frigoríficos en operación	Horas reales de funcionamiento	Velocidad de formación de hielo (kg/h)	Hielo formado (Kg)	Energía horaria almacenada (kJ)	Energía almacenada (kJ)
18	1 (paralelo)	2	7.71	15.42	2582.85	5165.7
30	2 (serie)	3.61	18.54	66.93	6210.9	22421.35
24	2 (serie)	0.83	16.7	13.86	5594.5	4643.43
18	2 (paralelo)	0.42	12.73	5.35	4264..55	1794.11
			Total	101.56		34025

Tabla 10. Cálculo de la energía aportada por el sistema en un día característico de los meses de verano.

Diversas pruebas experimentales (De Blas,2002) situaron la cantidad de hielo requerida entre 80 kg y 120 kg para hacer frente a la demanda diaria de energía. En la mayor parte de los días de verano, las condiciones climáticas son buenas, con escasez de nubes y días soleados y el equipo de refrigeración es capaz de generar la suficiente energía para satisfacer la demanda.

En la figura 23, se muestra la cantidad de hielo producida durante diferentes días de verano en los que se realiza el seguimiento del valor tensión de trabajo a motores para realizar la estimación que nos dará una orientación precisa sobre la capacidad del equipo de frío para satisfacer las demandas diarias de energía. En la mayor parte de los mismos, la producción de hielo es superior a 80 Kg., con lo que el sistema es capaz de cubrir las necesidades diarias de energía requeridas para mantener la leche a una temperatura adecuada de conservación. Son días en los que hay irradiación suficiente para el trabajo de los dos motores con el campo fotovoltaico conectado en serie. Únicamente en un 23% de los días analizados, la producción del sistema fue inferior a 80 Kg. de hielo. En estos días, el trabajo de los dos motores con el con la conexión en serie del campo fotovoltaico se produce en un intervalo reducido de tiempo. El día en el que la formación es inferior a 60 Kg., no se produce esta conexión. La irradiación no supera los valores de la tabla 7, es un día lluvioso con nubosidad en el cielo. Únicamente hay funcionamiento de los dos motores con el campo fotovoltaico en paralelo. En esta forma de trabajo, la velocidad de formación de hielo es notablemente inferior al modo de trabajo en serie,

con lo que es necesario utilizar la energía almacenada del día anterior para cubrir las necesidades de energía de ese día.

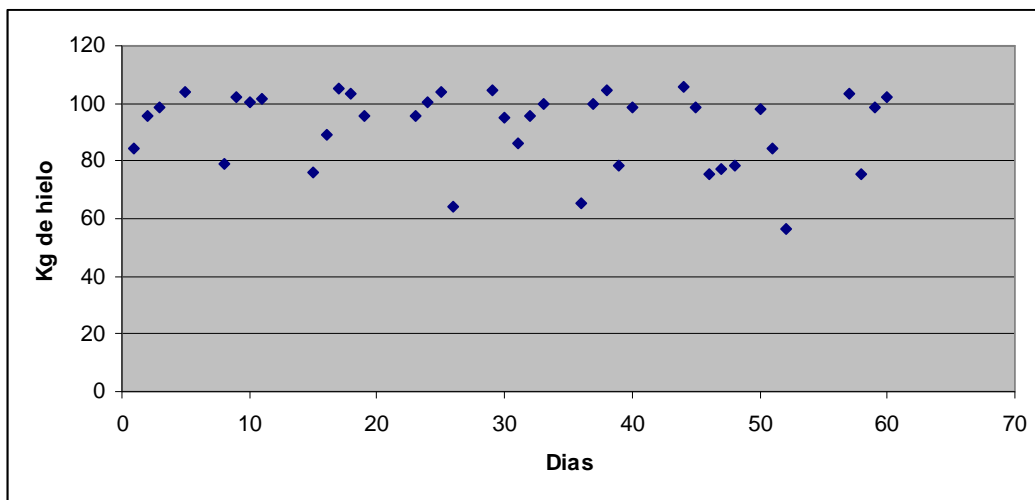


Figura 23: Representación de la cantidad de hielo producida en cada uno de los días analizados.

3.5 Agitación

En el funcionamiento del sistema de refrigeración la única operación que se produce de forma manual es la agitación. Para que se realicen de manera automática todas las operaciones se realiza un estudio para modificar el diseño del sistema de agitación existente. Lo primero que es conocer la importancia de este proceso y las funciones que tiene que desempeñar este implemento.

La agitación se puede definir como el movimiento circular inducido a un fluido dentro de un contenedor con el objetivo en este caso de incrementar la transferencia de calor en el fluido. Para realizar tal proceso se utilizan los agitadores.

El agitador tiene que cumplir varias misiones, siendo las más importantes:

- Evitar la formación de hielo por debajo de la leche durante el enfriamiento y la conservación de la misma.
- Aumentar las corrientes de convección para que la temperatura sea homogénea en toda la masa de leche contenida en el tanque.
- Homogeneizar perfectamente la leche contenido en el tanque, de forma que la máxima diferencia en el contenido de grasa de muestras de leche tomadas en distintos puntos sea inferior al 0,1 %.

El agitador debe estar perfectamente diseñado y construido, con una velocidad de rotación bien estudiada para evitar que se produzcan salpicaduras y espuma, que aumentan la superficie de contacto de la leche con el aire, puesto que la tensión superficial en la zona de contacto entre el aire y la leche produce rotura de los glóbulos de la grasa, que queda en libertad, aumentando el riesgo de lipólisis de la leche.

En las siguientes líneas se analiza el agitador que en un futuro se instale en el equipo de refrigeración y que mejor cumpla las misiones que anteriormente se ha citado.

Actualmente la agitación se realiza de forma manual. El dispositivo consiste en un eje longitudinal que se desplaza de forma horizontal. En el extremo del mismo hay una aleta para facilitar la agitación. (figura 24)

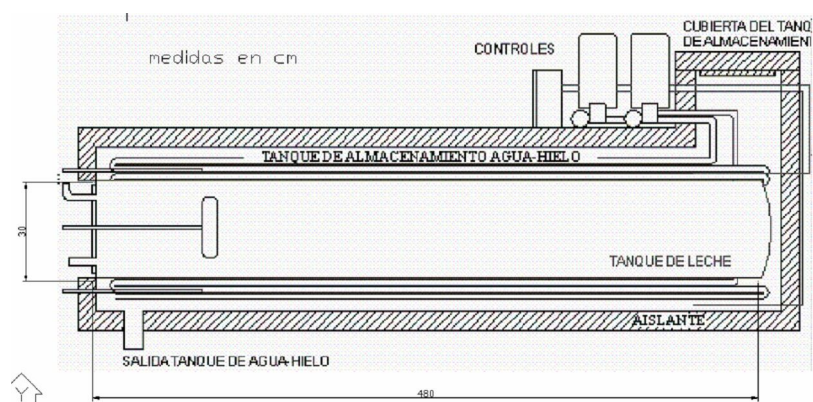


Figura 24: Dimensiones del tanque de leche y agitación actual

Se ha comprobado la utilidad de este sistema en varias ocasiones, obteniéndose resultados satisfactorios como se aprecia en las siguientes gráficas (De Blas, 2002):

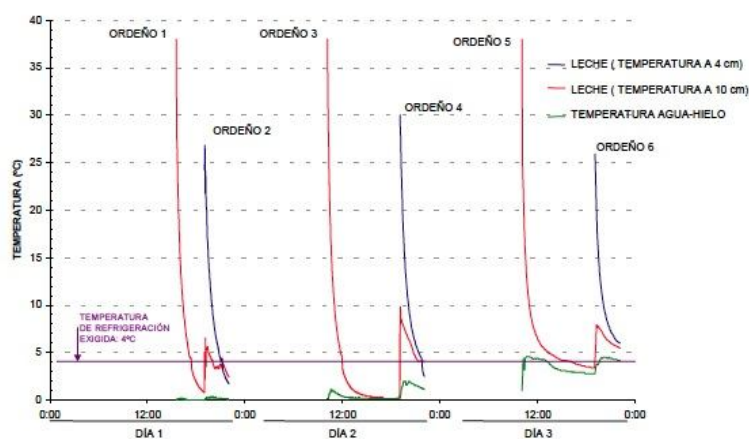


Figura 25: Prueba si agitación

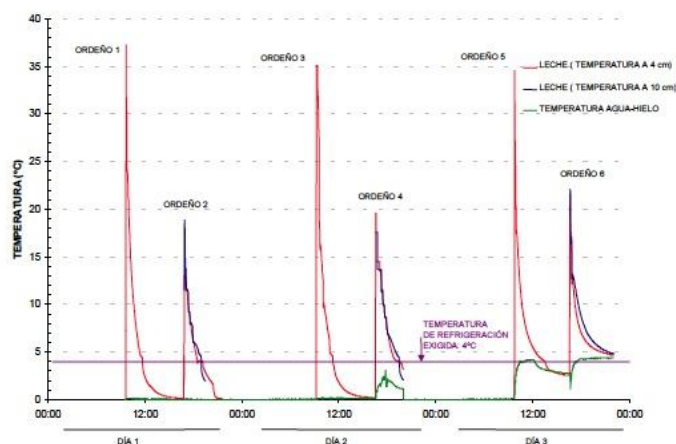


Figura 26: Prueba con agitación

Ambas figuras muestran de forma gráfica la evolución de la temperatura en el depósito de leche tras los ordeños. Dicha temperatura se obtiene a través de dos sondas introducidas en el tanque situadas a distinta altura, quedando la segunda sonda rodeada de leche tras el último ordeño del día.

En la figura 25, al no realizarse agitación, la leche más caliente se queda en la parte superior, sobre la ya refrigerada, disminuyendo la superficie de ésta en contacto con las paredes del depósito de menor temperatura. Esto da lugar a un incremento del periodo de refrigeración, no cumpliéndose los requerimientos establecidos en las normas AENOR (1987).

Por el contrario, en la figura 26, se observa que todo el volumen de leche contenida en el depósito representa un comportamiento de la temperatura homogéneo, a consecuencia de la agitación realizada. Se disminuye al mismo tiempo el proceso de enfriamiento.

Se concluye que el agitador es un elemento indispensable para la correcta refrigeración de la leche y el que dispone el tanque funciona correctamente cumpliendo las funciones del mismo. Sin embargo presente el inconveniente de ser un mecanismo manual que impide su instalación definitiva en el equipo de refrigeración. Por tanto se analiza la instalación de un agitador mecánico.

Dado las características constructivas del tanque de leche, con un reducido diámetro (300 mm) y gran longitud (4770 mm) se declina la posibilidad de la instalación de un agitador vertical. Se colocará un agitador de tipo horizontal similar al que actualmente se dispone.

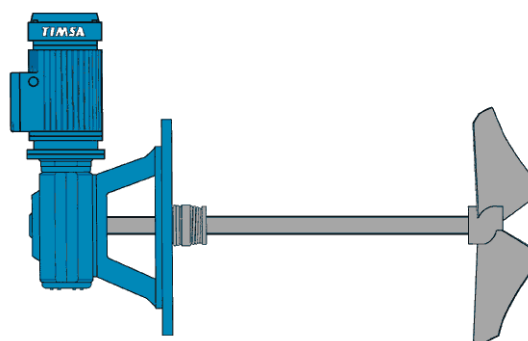


Figura 27: Imagen orientativa del agitador seleccionado

Son agitadores con reductor de velocidad y el móvil presenta un perfil alabeado axial tripala. Presentan gran rendimiento de bombeo. Gira a una velocidad de 40 rpm, de esta manera se evita que la leche sea salpicada, así como se realice un batido de la misma

La potencia necesaria del motor que accione el agitador será la siguiente:

$$Potencia = Par\ motor \times velocidad\ angular$$

$$Par\ motor = Fuerza \times distancia$$

$$Densidad\ de\ la\ leche\ (\rho) = 1028\ kg/m^3$$

$$Volumen\ de\ operación\ (V) = 0,260\ m^3$$

$$Masa = \rho \cdot V = 1028 \cdot 0,26 = 267,280\ kg$$

$$Fuerza = m \cdot g = 267,280 \cdot 9,81 = 2622,017\ N$$

$$Longitud\ pala\ agitador\ (d) = 0,05\ m$$

$$Par\ motor = F \cdot d = 2622,017 \cdot 0,05 = 131,1\ N \cdot m$$

$$Velocidad\ de\ giro = 40\ rpm$$

$$Velocidad\ angular = 40 \cdot (2\pi/60) = 4,189\ rad/s$$

$$Potencia = 131,1 \cdot 4,189 = 549,18\ w = 0,55\ kW$$

Una vez que se determina la potencia se elige un agitador de catálogos de las diferentes casas comerciales. Por ejemplo, el HAT-05.03 R02 de la casa Timsa. Con un potencia del motor reducida, alrededor de 0,75 kW, dando 40 rpm.

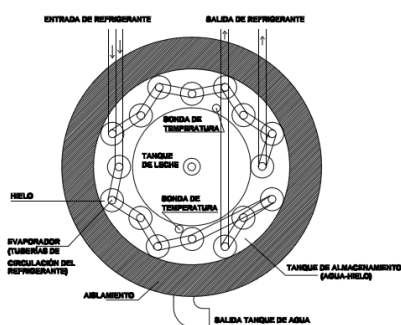
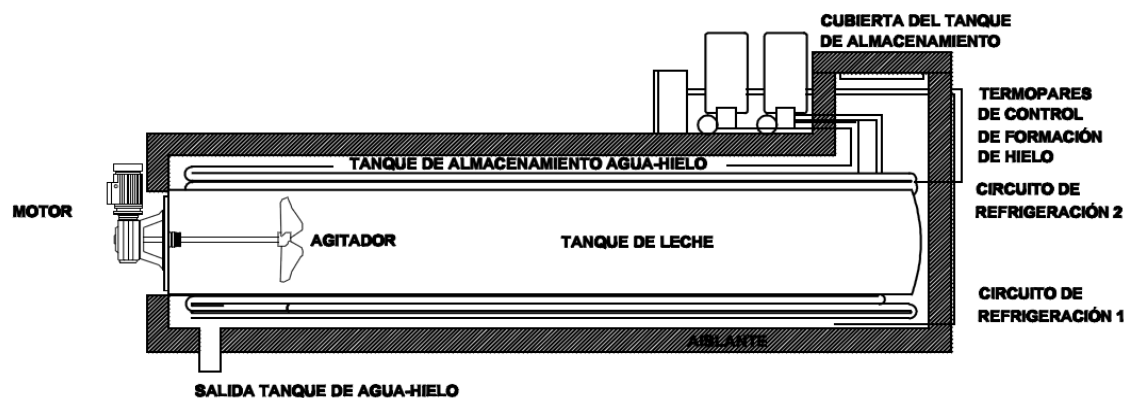


Figura 28: Imagen orientativa del conjunto agitador- tanque de refrigeración

Una vez seleccionado el agitador a implementar al conjunto, se estudia la manera de automatizarlo. Se piensa como mejor opción un sistema independiente de baterías, con un módulo fotovoltaico que las carga. De esta forma se disponía de energía en el momento de la agitación. Para la puesta en marcha y la parada del sistema se utiliza un temporizador a pilas en el se programa la hora de agitación de la leche así como su duración. Ésta, según publicaciones (“Guidelines for farm bulk milk Collection procederes the dairy practice council”) ha de ser un mínimo de cinco minutos. Ha de coincidir un intervalo de agitación con la introducción del segundo ordeño del día.

4. Conclusiones

4. Conclusiones

Tras analizar los resultados obtenidos en el desarrollo de este Trabajo fin de Curso puede concluirse que:

- ✓ Se ha cumplido el objetivo de este trabajo que era el seguimiento del funcionamiento del sistema fotovoltaico formado por el campo de generación de energía y el equipo de refrigeración comandado desde el autómatas. El seguimiento se ha producido durante los meses de verano, en los que las condiciones climáticas han acompañado en la mayoría de los días para el óptimo funcionamiento del conjunto. Asimismo las interrupciones debido a problemas materiales han sido mínimas y fácilmente subsanables, con lo que se ha podido avanzar con normalidad en el desarrollo del trabajo.
- ✓ La puesta en marcha de este equipo para cumplir la finalidad para la cual ha sido diseñado, refrigeración y conservación de leche proveniente del ordeño, exige la presencia de una fuente externa de energía. El propio sistema no es capaz de una generación autónoma de hielo. Esta únicamente estaría en funcionamiento durante el proceso de formación de hielo. Conseguimos así la rápida presencia de hielo en el equipo, con lo que su entrada en operación se adelanta. Los motores de esta manera, se encuentran en funcionamiento de manera continua. Disponiendo únicamente de los paneles como fuente de energía, la aparición de hielo se ve dificultada.
- ✓ Este sistema es válido para la refrigeración de leche y su conservación, ya que es capaz de cubrir las demandas diarias de energía, en el emplazamiento en el que se encuentra situado y en la temporada de los meses de verano.
- ✓ La eliminación de la variable temperatura de agua-almacenamiento, simplifica el algoritmo de funcionamiento del sistema haciéndolo más sencillo. En condiciones normales de funcionamiento, la presencia de hielo en el tanque, necesaria para la refrigeración de la leche, impide el ascenso de temperatura. Esta temperatura únicamente podría presentar valores positivos en la puesta en marcha del sistema, puesta que se realizará en un futuro mediante fuente externa.
- ✓ Los sistemas de control y seguridad de los que dispone el equipo son válidos ya que han garantizado el adecuado funcionamiento del equipo en cualquier situación. Se ha uniformado a sesenta segundos, el intervalo de tiempo

necesario para la puesta en funcionamiento de los motores, al considerarse un valor correcto. No se modifica el resto de parámetros de puesta en marcha y parada, ya que no se observa comportamiento anómalo del equipo.

- ✓ La inclusión del sistema de agitación permite cumplir la normativa vigente relativa a estos equipos (AENOR 1987).

- ✓ El uso de este sistema se ve limitado a zonas en las que el valor de la irradiancia presente valores elevados. Pudiendo limitarse su uso a la temporada estival. Su posible instalación en zonas aisladas, sería objeto de un estudio detallado, ya que un óptimo funcionamiento conllevaría a un manejo del ganado condicionado con la presencia de irradiancia.

5. Bibliografía

5. BIBLIOGRAFÍA

AENOR (1987). Unidades de medida. Recopilación de normas UNE 1984. AENOR, Madrid.

DE BLAS, M.A. (2002). Modelado de pequeños sistemas autónomos de enfriamiento y mantenimiento de leche alimentados por energía solar fotovoltaica. Tesis Doctoral. Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural, Universidad Pública de Navarra, Pamplona

CALLEJA A (2004) Refrigeración de la leche en granja. Revista frisona N°165.

CARAVACA A. (2006) Automatización y seguimiento de un sistema de enfriamiento de leche alimentado por energía solar fotovoltaica.

CECOMAF (1970). Bulk milk coolers. Technical data sheet. *European Committee of Manufactures of Refrigeration Equipment*, GT8 001

PEÑA TORO, P (2007) Análisis del efecto de la agitación sobre la eficiencia frigorífica en un sistema de refrigeración alimentado por energía solar fotovoltaica. Estudio del comportamiento del sistema a medio plazo. Trabajo de investigación

TIA (2002) Manual de formación para soluciones generales de automatización. SIEMENS. Manual de formación

Anejo 1

Programa de la función FC8

FC8 : Título:

Transformación de los valores analógicos de las entradas en digitales

Segm. 1: Título:

Temperatura módulo= menor o mayor que 30°C

```

L   "Tª Módulos"
L   300
<I
=   "Tª M < 30"

L   "Tª Módulos"
L   300
>=I
=   "Tª M >= 30"

```

Segm. 2 : Título:

Temperatura módulo= menor o mayor que 45°C

```

L   "Tª Módulos"
L   450
<I
=   "Tª M < 45"

L   "Tª Módulos"
L   450

>=I
=   "Tª M >= 45"

```

Segm. 3 : Título:

Valor tabla 4.6

```

U   "Tª M < 30"
U(
L   "Irradiancia W/m2"
L   200
>=R
)
=   M   2.0

```

Segm. 4 : Título:

Valor tabla 4.1

```

U   "Tª M >= 30"
U   "Tª M < 45"
U(
L   "Irradiancia W/m2"
L   250
>=R
)
=   M   2.1

```

Segm. 5 : Título:

Valor tabla 4.1

```

U   "Tª M >= 45"
U(
L   "Irradiancia W/m2"
L   300
>=R
)
=   M   2.2

```

Segn. 6 : Titulo:

Valor tabla 4.2

```

U    "T² M < 30"
U(
L    "Irradiancia W/m2"
L    400
>=R
)
=    M    2.6

```

Segn. 7 : Titulo:

Valor tabla 4.2

```

U    "T² M >= 30"
U(
L    "Irradiancia W/m2"
L    500
>=R
)
=    M    2.7

```

Segn. 8 : Titulo:

Valor tabla 4.3

```

U    "T² M < 30"
U(
L    "Irradiancia W/m2"
L    600
>=R
)
=    M    3.3

```

Segn. 9 : Titulo:

Valor tabla 4.3

```

U    "T² M >= 30"
U    "T² M < 45"
U(
L    "Irradiancia W/m2"
L    600
>=R
)
=    M    3.4

```

Segn. 10 : Titulo:

Valor tabla 4.3

```

U    "T² M >= 45"
U(
L    "Irradiancia W/m2"
L    650
>=R
)
=    M    3.5

```

Segn. 11 : Revoluciones l < 1000 rpm

Motor l < 1000 rpm

```

UN   M    5.4
U(
L    "Vel. Ml"
L    1000
<I
)
=    "Rev Ml < 1000 rpm"

```

Segm. 12 : Revoluciones M2 < 1000 rpm

Motor 2 < 1000 rpm

```

UN   M   5.4
U{
L    "Vel. M2"
L    1000
<I
}
=    "Rev M2 < 1000 rpm"
    
```

Segm. 13 : Revoluciones M1 > 2300 rpm

Motor 1 > 2300 rpm

```

U{
L    "Vel. M1"
L    2300
>I
}
=    "Rev M1 > 2300 rpm"
    
```

Segm. 14 : Revoluciones M2 > 2300 rpm

Motor 2 > 2300 rpm

```

L    "Vel. M2"
L    2300
>I
=    "Rev M2 > 2300 rpm"
    
```

Segm. 15 : Título:

Transformación del valor de la irradiancia de la celula a W/m2.

```

L    "Irradiancia real"
ITD
DTR
L    1.972136e-001
*R
T    "Irradiancia W/m2"
    
```

Segm. 16 : Título:

Comentario:

```

L    "Irradiancia W/m2"
L    200
>=R
=    "Irr >= 200"
    
```

Segm. 17 : Título:

Comentario:

```

L    "Irradiancia W/m2"
L    250
>=R
=    "Irr >= 250"
    
```

Segm. 18 : Título:

Comentario:

```

L    "Irradiancia W/m2"
L    300
>=R
=    "Irr >= 300"
    
```

Segm. 19 : Título:

Comentario:

```

L    "Irradiancia W/m2"
L    400
>=R
=    "Irr >= 400"
    
```

Segn. 20 : Título:

Comentario:

```
L "Irradiancia W/m2"  
L 500  
>=R  
= "Irr >= 500"
```

Segn. 21 : Título:

Comentario:

```
L "Irradiancia W/m2"  
L 600  
>=R  
= "Irr >= 600"
```

Segn. 22 : Título:

Comentario:

```
L "Irradiancia W/m2"  
L 650  
>=R  
= "Irr >= 650"
```