

Sostenibilidad en las granjas de vacuno de leche (5)

Reducción del consumo energético (1)



Introducción

Las granjas lecheras tienen uno de los consumos de energía más altos de la producción ganadera, asociado al necesario incremento de tamaño de las explotaciones y a la generalización del uso de equipos automatizados para elevar la competitividad y rentabilizar al máximo el empleo de mano de obra y de medios de producción. Si a eso le unimos los importantes incrementos del precio de la energía en los últimos años hay motivos suficientes para considerar como Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) aquellas que contribuyen a reducir la factura energética de las granjas lecheras.

Afortunadamente, existen muchas tecnologías que los ganaderos pueden implementar en la granja como MTDs para reducir significativamente el consumo de energía. Algunas de estas tecnologías también pueden mejorar la comodidad de las vacas y los procesos de producción ganadera.

Inventariar, analizar y dar alternativas al consumo energético de las explotaciones es una tarea que dará beneficios económicos y reducirá la cuenta de gastos de la explotación, haciendo que se incremente la competitividad de la materia producida.

En este nuevo trabajo sobre la sostenibilidad en las granjas de vacuno de leche vamos a iniciar este interesante asunto, esperemos que con consecuencias prácticas positivas en los lectores que estén preguntándose cómo pueden reducir el consumo energético de sus explotaciones.

Fundamentos del uso de la energía

La pirámide de energía (Figura 1) proporciona una forma útil de analizar la administración de energía en su granja. En la base, la pirámide presenta las opciones más fáciles y rentables.

Figura 1. Pirámide de energía (EnSave Inc., 2011)



Los productores de leche que buscan minimizar sus gastos de energía de manera rentable deben seguir la pirámide energética cuando identifiquen oportunidades para ahorrar costos de energía. Se utiliza un análisis o auditoría de energía inicial para evaluar el consumo de energía en agricultura y las oportunidades de ahorro de costos antes de realizar cualquier inversión. El objetivo de este análisis es identificar los proyectos de conservación de energía y eficiencia energética más efectivos para reducir la energía total necesaria en la granja.

Antonio Callejo Ramos. Dr. Ingeniero Agrónomo.
Dpto. Producción Agraria E.T.S.I. Agronómica, A. y de B.-U.P.M. - antonio.callejo@upm.es

Una vez que se ha minimizado el consumo de energía, a veces se puede utilizar la gestión del tiempo de consumo para reducir el costo de la energía de la empresa de servicios públicos de electricidad. Esto se puede determinar con una revisión de las categorías de tarifas de servicios públicos junto con los tiempos de funcionamiento de los equipos agrícolas y el consumo de energía.

Finalmente, una vez que se ha minimizado el consumo de la energía, se puede realizar una evaluación de energía renovable para determinar la viabilidad, el tamaño y la rentabilidad de los sistemas de energía renovable.

Análisis y auditorías de consumo de energía¹

La energía tiene un coste, bien sea por su adquisición o por su autogeneración, por lo que es imprescindible conocer cómo las explotaciones contratan el aprovisionamiento de su energía, cómo consumen dicha energía en sus procesos, cuánto repercute en sus costes productivos, cuál es su perfil consumidor respecto a otras instalaciones similares del mismo sector productivo y las posibles mejoras para disminuir el consumo energético y el coste económico asociado. Y en esto consisten las auditorías energéticas.

Las auditorías energéticas se pueden definir como un proceso sistemático mediante el cual se obtiene un conocimiento suficientemente fiable del consumo energético de una explotación, se detectan los factores que afectan a dicho consumo, y se identifican, evalúan y ordenan las distintas oportunidades de ahorro de energía en función de su rentabilidad económica.

En definitiva, las auditorías energéticas son una herramienta que permite conocer la trazabilidad de la energía en relación con la producción obtenida (cantidad y tipo de energía incorporada en cada operación del proceso productivo) y la instalación consumidora (energía destinada a alumbrado, calefacción, refrigeración y restantes tecnologías horizontales), dado que repartir la energía aplicada a cada producto en cada uno de los procesos de producción forma parte de la labor de la auditoría energética. En cuanto a su vinculación con los sistemas de gestión medioambiental de la explotación, la auditoría energética permite reducir el consumo de recursos, en este caso de recursos energéticos.

Durante la realización de la auditoría energética se recopilan en las explotaciones ganaderas auditadas un conjunto de datos básicos, como son producciones, consumos de electricidad y combustibles, y los costes energéticos. Estos datos se analizan y se relacionan entre sí para determinar unos indicadores energéticos, como son los consumos específicos y, a ser posible, costes energéticos, para cada una de las distintas producciones de la explotación.

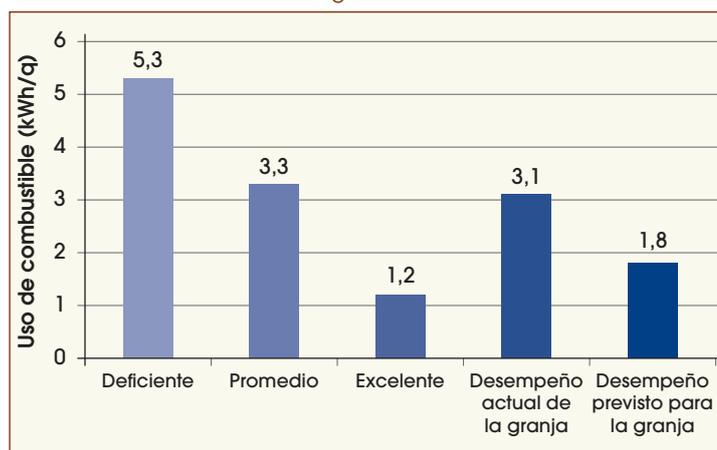
Por otro lado, es muy importante a nivel de cooperativa, asociación profesional y del mismo sector productivo, ampliar los beneficios de la auditoría energética en cada instalación individual, mediante el aprovechamiento común de datos y conclusiones. Para ello se desarrollan dos instrumentos, como son las Buenas Prácticas y el Benchmarking.

Las Buenas Prácticas son recetas identificadas por la experiencia conjunta de muchos usuarios y expertos en energía sobre la mejor forma de dise-

ñar, implantar, operar y mantener los sistemas productivos y los servicios de las instalaciones, para conseguir una mayor eficiencia energética en un sector productivo determinado. Por su parte, el Benchmarking energético (estudio comparativo) se desarrolla para conocer el estado del consumo energético de varias instalaciones del mismo sector, y comparar de manera sistematizada las distintas características del consumo de energía.

El consumo de energía en una granja lechera se puede calcular en función de cuánta energía se usa por volumen de leche producida. Las granjas de tipo y tamaño similar en climas comparables deben tener un consumo energético similar. En conjunto, se pueden evaluar para determinar el uso promedio de energía y el ahorro de costos una vez que se implementan las mejores prácticas. La Figura 2 muestra la energía eléctrica total utilizada (kWh) por 45 l de leche². En este ejemplo, el rendimiento energético actual de la granja se compara con el rendimiento previsto para después de que se hayan instalado las medidas de conservación y eficiencia energética, y también se compara con otras granjas con un rendimiento deficiente, promedio y excelente. El objetivo del análisis de energía es determinar cómo una granja puede pasar de tener un consumo de energía promedio a uno que sea lo más eficiente posible.

Figura 2. Ejemplo de comparación de consumo de energía en ganadería



Conservación de energía

La conservación de energía es un cambio en los procesos o en los equipos que genera un consumo menor de energía. La mayoría de las medidas de conservación de energía son medidas simples que se pueden implementar en las instalaciones actuales para reducir el consumo de energía. Un ejemplo de medidas de conservación para los sistemas de iluminación y calefacción de la granja es apagar las luces cuando se sale de una dependencia o nave, bajar el termostato o usar temporizadores y sensores de movimiento. El sistema de cada granja presenta diferentes formas para conservar energía. Por lo general, las medidas de conservación son de bajo costo, o bien, no tienen ninguno, pero es posible que con ellas no se ahorre tanta energía como con los equipos eficientes en energía.

Mejoras de proceso: a veces, la energía se puede conservar cambiando el orden o el método de trabajo. Por ejemplo, utilizar luz solar y ventilación

¹ Para mayor información el lector puede consultar:

https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10995_auditorias_inst_ganaderas_a2010_3f4c1a6b.pdf

https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10995_protocolo_auditoria_inst_ganaderas_a2010_53670669.pdf

² Transformación del original en inglés (kWh/quintal). Un quintal USA equivale a 45,36 kg

Reducción del consumo energético

natural ahorrará en costos de energía asociados con la iluminación y la refrigeración. También puede conservar energía utilizando el calor residual de un proceso para agregar calor a otro proceso.

Reducción de las horas de funcionamiento del equipo: cualquier cosa que esté enchufada o encendida consume energía. Apagar ese equipo y hacerlo funcionar solo cuando sea necesario reduce las horas de funcionamiento del equipo y ahorra energía.

Uso de interruptores, temporizadores y controles basados en sensores: los temporizadores y sensores son excelentes para la conservación de energía y son pequeñas inversiones que pueden ahorrar dinero sin tener que acordarse de hacer las cosas de manera diferente. Cualquier dispositivo que esté consumiendo energía cuando está inactivo puede ser una oportunidad para incluirle interruptores automáticos. Cualquier artefacto que pueda controlarse con luz, oscuridad, movimiento, temperatura, niveles de fluidos y otras condiciones ambientales puede ser una oportunidad para incluirle controles automáticos. Un área de la granja que solo se usa durante ciertas horas del día o por períodos breves es una oportunidad para incluir sensores de movimiento, atenuadores y temporizadores, especialmente, para iluminación. Pueden usarse en entradas, pasillos y áreas de almacenamiento. Los sistemas de calefacción y refrigeración presentan oportunidades para incluir controles basados en la temperatura y un cronograma. Las opciones de control remoto también están disponibles para algunos equipos, como luces y termostatos, y se pueden encender, apagar o regular desde un teléfono inteligente o una computadora.

Mantenimiento: realizar con frecuencia un servicio técnico y el mantenimiento de estructuras y equipos es la mejor opción para una operación eficiente y una larga vida útil. Esto incluye motores, bombas y equipos de refrigeración, así como componentes no mecánicos, como aislamiento, sellado contra la intemperie e iluminación.

Eficiencia energética

La eficiencia energética se refiere a la reducción del consumo de energía al cambiar el diseño de un equipo o sistema por otro más eficiente. El sistema de cada granja presenta diferentes formas de eficiencia energética. Reemplazar las luces o el horno por un modelo más eficiente, reconfigurar un sistema para hacer la misma tarea con menos energía o cambiar a una fuente de combustible más eficiente son ejemplos de reducción del consumo de energía sin reducir la cantidad ni la calidad de los productos de la granja. Por lo general, las medidas de eficiencia energética son costosas, pero vale la pena incurrir en esos costos porque se obtendrá más ahorros de energía que generan un retorno de la inversión rápido y, a menudo, brindan otros beneficios, como mejores condiciones de trabajo.

Actualizaciones de equipos: la tecnología está cambiando y mejorando de manera permanente, y existen muchas opciones para reducir los costos de energía mediante la instalación de estas tecnologías nuevas. A menudo, esto se hace cuando el equipo llega al final de su vida útil, pero dependiendo de la antigüedad y el tipo de equipo, puede valer la pena hacer la inversión para cambiar el equipo antes de que falle, dado que los aho-

rrros en costos de energía son altos. El tiempo que tardan los ahorros de energía en amortizar el costo del equipo se llama período de retorno de inversión. Una vez que se alcanza el período de retorno de inversión, todos los ahorros de energía se incorporan al resultado final de la granja.

Mejoras en el diseño del sistema: a veces, cambiar el diseño de un sistema puede generar ahorros en energía significativos. Por ejemplo, agregar una unidad de recuperación de calor/refrigeración a un proceso de enfriamiento permite la extracción del calor eliminado que puede usarse para otros fines. En una granja lechera, la recuperación de calor se puede realizar utilizando el proceso de enfriamiento de la leche para precalentar el agua para su uso en saneamiento u otros procesos.

Cambio de la fuente de combustible: cambiar a una fuente de combustible que opere el equipo de manera más eficiente, es decir, un combustible más rentable, puede generar ahorros significativos. Los ahorros reales varían según la disponibilidad de la fuente de energía y el costo de conexión a la fuente de combustible nueva, lo que debe tenerse en cuenta al actualizar el equipo. Los ejemplos de cambio de combustible incluyen cambiar de petróleo a gas natural o a propano, o de cualquier combustible fósil a electricidad.

Consumo de energía en granjas lecheras

En la granja existe una variedad de usos de energía que pueden beneficiarse de los proyectos de conservación y eficiencia. En algunos casos se puede ahorrar más energía que en otros, pero analizar toda la granja ayudará a planificar el futuro. Comprender el consumo de energía de toda la granja es un primer paso crítico para optimizar la eficiencia de producción y minimizar los costos operativos (Figura 3, siguiente página).

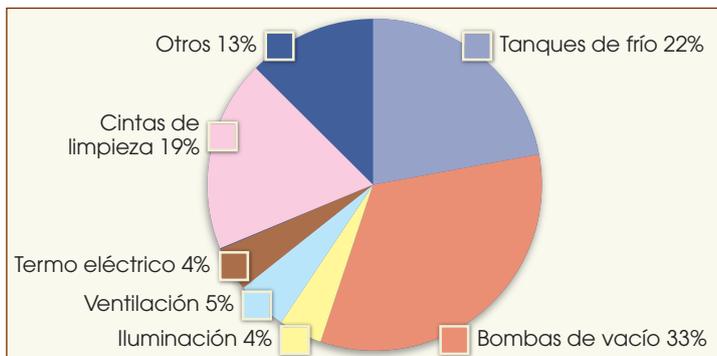
Conociendo donde se produce el consumo energético de la explotación y el precio unitario de cada una de las fuentes utilizadas, podemos estimar su coste en euros. Así, para los principales equipos existentes en una explotación de vacuno lechero, la distribución del coste económico anual estimado por estos equipos se representa en la Figura 4 (siguiente página).



Figura 3. Oportunidades de eficiencia y conservación de energía en agricultura



Figura 4. Distribución en porcentaje del coste del consumo eléctrico medio anual de cada equipo (Junta de Castilla y León, 2011)



La Tabla 1 (siguiente página) proporciona un resumen de las mejores prácticas relacionadas con la energía y de los beneficios de las granjas lecheras en cada categoría de consumo de energía. El porcentaje de ahorro promedio describe cuánto ahorra una granja convencional en los costos anuales de energía al realizar la mejora recomendada. Este porcentaje es la reducción en el costo de la energía del equipo que normalmente se usa para el mismo propósito, no del costo total de energía de la granja. Además, algunos cambios interactúan, por lo que los ahorros no siempre se suman. Por ejemplo, si se agrega una unidad de variación de frecuencia (VFD) a un motor y el motor se actualiza a un modelo de alta eficiencia, el consumo de energía del sistema nuevo se basa en cómo funcionan juntas las dos partes, no en agregar las estimaciones de reducción individuales de cada uno.

El valor de realizar las medidas recomendadas se estima en el período de retorno de inversión. El período de retorno de inversión equivale a la cantidad de años de ahorro de energía que se necesitan para cancelar la inversión inicial requerida para realizar la mejora. Una vez que se logra el período de retorno de inversión, los ahorros anuales en costos de energía se computan directamente en el resultado final de la inversión.

Conservación y Eficiencia energética **Iluminación**

La actualización a una iluminación con más eficiencia energética y la regulación de los accesorios de iluminación se encuentran entre las formas más

comunes y rentables de ahorrar energía en las granjas lecheras. Actualizar la iluminación puede ser también una oportunidad para mejorar las condiciones de trabajo y aumentar potencialmente la productividad de las vacas. Si bien puede parecer práctico reemplazar las bombillas y los accesorios a medida que se queman con el tiempo, en muchos casos es más rentable realizar una inversión proactiva y actualizar todos los sistemas de iluminación lo antes posible.

Actualmente, la tecnología de iluminación LED es la opción tecnológica más práctica para obtener eficiencia energética y la mejor calidad de iluminación. Hay muchos tipos de luminarias y bombillas LED disponibles que se han diseñado para satisfacer la mayoría de las necesidades de iluminación y los entornos operativos. Las bombillas LED duran más que cualquier otra tecnología y, a menudo, vienen con garantías del fabricante, lo que las convierte en la mejor relación valor- precio a largo plazo.

La Sociedad Estadounidense de Ingenieros Biológicos y Agrícolas (ASABE) ha desarrollado recomendaciones de niveles de iluminación para las áreas comunes de las granjas lecheras con el fin de garantizar que la iluminación sea adecuada para las tareas laborales, la comodidad de los animales y la productividad óptima de los animales. Estas recomendaciones, comúnmente conocidas como adecuación de la iluminación o recomendaciones sobre iluminación, se dan en unidades de pie-candela (unidades inglesas) o lux (unidades métricas), que describen la cantidad de luz que mide un fotómetro en determinada área de trabajo. La Tabla 2 indica el nivel de luz recomendado para varias áreas de trabajo en la granja.

Al seleccionar bombillas, instalar o actualizar accesorios y mantener la iluminación a lo largo del tiempo, se tienen en cuenta varios puntos para garantizar que se logre la especificación de lux en cada área de trabajo. Si se ha realizado una auditoría de energía en la granja, se harán recomendaciones para lograr estos niveles de luz. Algunos proveedores de iluminación para granjas lecheras proporcionarán un análisis del nivel de iluminación como parte de su consulta inicial. También puede hacer su propia evaluación midiendo los niveles de luz iluminancia (en lux) en las diversas áreas de trabajo, y hacer los cambios necesarios. Los medidores de luz básicos son relativamente económicos (Figura 5).

Tabla 1. Resumen de las mejores prácticas recomendadas para conservación de energía y eficiencia energética (NYSERDA, 2022)

Descripción	Mejoras potenciales	Ahorros generales (promedio de reducción del costo de energía)*	Retorno de inversión típico (años)*
Iluminación en zonas agrícolas	Actualizar a una tecnología de iluminación LED de alta eficiencia	60%-80%	2,5
	Instalar controles de iluminación, como temporizadores y sensores	30%-50%	2
Equipo de ordeño	Agregar una unidad de variación de frecuencia (VFD) a la bomba de vacío de leche	50%-60%	3,5
Equipos de enfriamiento y almacenamiento de leche	Agregar preenfriador de leche	20%-60%	3
	Agregar una unidad de variación de frecuencia (VFD) a la bomba de transferencia de leche	5%-15%	4,5
	Actualizar el compresor/condensador de refrigeración de tanque a granel por una tecnología de alta eficiencia, como un compresor en espiral	15%-20%	6
	Agregar una unidad de recuperación de calor al sistema de refrigeración de tanques	20%-60%	3
Calentadores de agua	Instalar aislamiento en las tuberías	3%-4%	12,5
	Actualizar a calentadores de agua de alta eficiencia	10%-50%	5
	Utilizar la recuperación de calor del sistema de enfriamiento de la leche	20%-60%	3
Circulación de aire y extractores	Actualizar los ventiladores de circulación por ventiladores de alta eficiencia	20%-35%	8
	Reemplazar los ventiladores de circulación por ventiladores de baja velocidad y alto volumen (HVLS) cuando corresponda	50%-65%	8
	Actualizar extractores por ventiladores de alta eficiencia	20%-30%	8
	Instalar controles automáticos de ventiladores, programar horarios	5%-12%	3
Motores de varios usos	Actualizar los motores de inducción de CA por modelos con clasificación NEMA Premium®	2%-5%	9
	Actualizar motores pequeños por modelos ECM	65%-75%	3
	Instalar controles de motor para usos con cargas de motor variables	50%-80%	3
	Instalar el control del temporizador en los calentadores del bloque del motor	65%-90%	1
Bebederos	Convertir motores de combustión interna en motores eléctricos	20%-50%	4,5
	Instalar bebederos sin energía o de bajo consumo	40%-100%	3,5
Calefacción de edificios	Instalar aislamiento en edificios y colocar sellador alrededor de las aberturas	3%-15%	3,5
	Instalar controles de temperaturas automáticos, programar horarios	5%-12%	4,5
	Instalar cortinas de tiras o cortinas de aire	10%-40%	3
	Actualizar los calentadores de espacios por modelos de alta eficiencia	5%-30%	7,5
Lavadoras	Actualizar por lavadora con ozono	40%	1/2 a 1
	Actualizar por lavadora de uso comercial y de alta eficiencia	25%	6,5

Tabla 2. Recomendaciones sobre el nivel de luz (iluminancia) para granjas lecheras (Sanford, *Energy-Efficient Agricultural Lighting*, 2003)

Ubicación	Niveles de luz recomendados	
	en pre-candela	en lux
Áreas externas activas	de 3 a 5	de 32 a 54
Seguridad exterior	172 a 1	de 5 a 10
Taller de la granja/área de reparación	50	538
Establo libre	20	200
Establo con amarre (callejón de alimentación)	20	200
Establo con amarre (callejón central)	de 20 a 50	de 200 a 500
Área general de cuidado de animales	20	200
Establecimiento ganadero general	10	100
Área de tratamiento o cirugía	100	1000
Zona de contención	de 10 a 20	de 100 a 120
Sala de ordeño	20	200
Recinto del operador (en la ubre)	50	500
Sala de leche	20	200
Área de lavado	100	1000
Interior del tanque a granel	100	1000
Zonas de carga y almacenamiento	20	200
Área de oficina en el escritorio	50	500
Baños	20	200
Lavadero	20	200
Almacenamiento de máquinas	10	100

Figura 5. Un luxómetro es un útil instrumento de precio asequible.



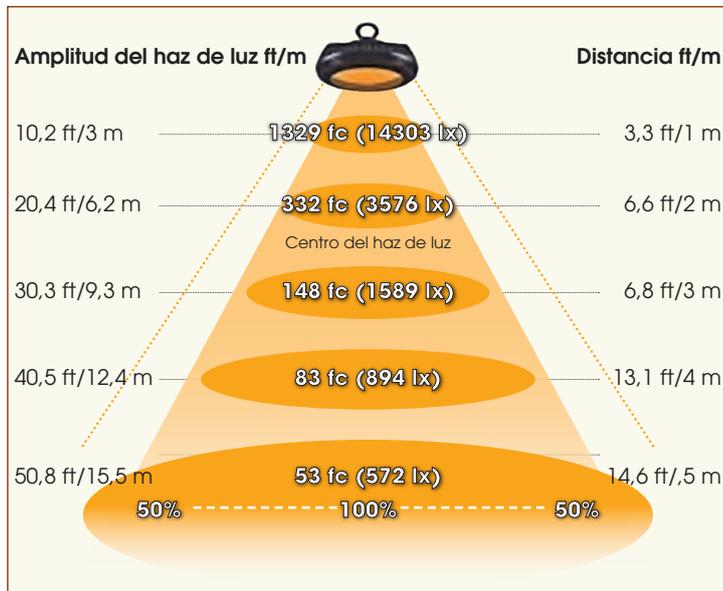
Selección e instalación de la iluminación

Al analizar los sistemas de iluminación, las características más importantes son la calidad de la luz y la eficiencia energética. Existen varias formas de cambiar la iluminación en las áreas de trabajo para ahorrar energía y cumplir con las recomendaciones de adecuación del nivel de luz. Por lo general, eso significa cambiar la tecnología de iluminación o la clasificación de las bombillas, pero el diseño y el manteni-

Reducción del consumo energético

miento de las bombillas también pueden brindar oportunidades sencillas de ahorro de costos. La calidad de la instalación luminaria también está influenciada por el color y la uniformidad de la luz, el deslumbramiento y los reflejos de las superficies (Figura 6).

Figura 6. Ejemplo de patrón de iluminación para luminaria LED



Las granjas lecheras más antiguas pueden requerir accesorios e iluminación adicionales para cumplir con las recomendaciones mínimas de nivel de luz. El uso de tecnología LED de bajo consumo para estas mejoras minimizará el impacto de los costos de energía adicionales de los accesorios y, si se hace como parte de una actualización completa de la iluminación de las instalaciones, también puede representar un ahorro general de costos. Se ha demostrado que cumplir con las recomendaciones de luz mínima aumenta la productividad de las vacas y es más cómodo para los trabajadores, lo que también agrega valor a la granja.

Algunas consideraciones clave para la actualización de equipos de iluminación en ganadería son las siguientes:

Opciones de tecnología: las opciones de iluminación energéticamente eficientes más comunes y prácticas en la actualidad son los dispositivos de diodos emisores de luz (LED). Están disponibles en muchas formas y tamaños y están diseñados para reemplazar tecnologías más antiguas en la mayoría de los usos. La tecnología de iluminación LED ha avanzado tan rápidamente durante la última década que los LED más antiguos a menudo se pueden reemplazar de manera rentable con iluminación LED de nueva generación.

Flujo luminoso: el flujo luminoso de la bombilla o del accesorio lo proporciona el fabricante de la bombilla y se mide en lúmenes. Los lúmenes son la cantidad real de luz que produce la bombilla, independientemente de la cantidad de energía (vatios) que consuma para hacerlo. Cuanto más altos son los lúmenes, más flujo luminoso emite la bombilla. Debido a que muchas personas están acostumbradas a tecnologías más antiguas y piensan en el flujo luminoso en términos de vatios, muchos fabricantes de iluminación LED también brindan un «grado de vatios equivalentes incandescentes».

Para conservar energía, use solo el flujo luminoso necesario para la tarea.

Eficiencia energética: la eficiencia del consumo de la energía de iluminación se clasifica en lúmenes por vatio. Cuanto mayor sea la cantidad de lúmenes por vatio, más eficiente será la bombilla.

Protección del medio ambiente: tenga en cuenta dónde se ubicará la luz y si debe estar en una carcasa impermeable o protegida de la suciedad y el polvo. Algunas luces vienen con protección ambiental, mientras que otras se pueden instalar dentro de un cerramiento protector. Verifique que el rango de temperatura de iluminación sea apropiado para el uso.

Forma de la bombilla, temperatura de color y calidad de la luz: estos factores afectan cómo se propagará la luz en toda la habitación. La iluminación LED viene en una gama de opciones y debe elegirse según sea apropiado y atractivo para el uso previsto.

Ciclo de vida y calificaciones de calidad: los productos LED varían ampliamente entre los fabricantes. Al seleccionar productos de iluminación, compare la vida útil nominal, las garantías del fabricante y las calificaciones de calidad.

Podemos citar algunas opciones de mejora de la iluminación de bajo costo o sin costo alguno: iluminación natural: utilice la luz del día cuando sea posible.

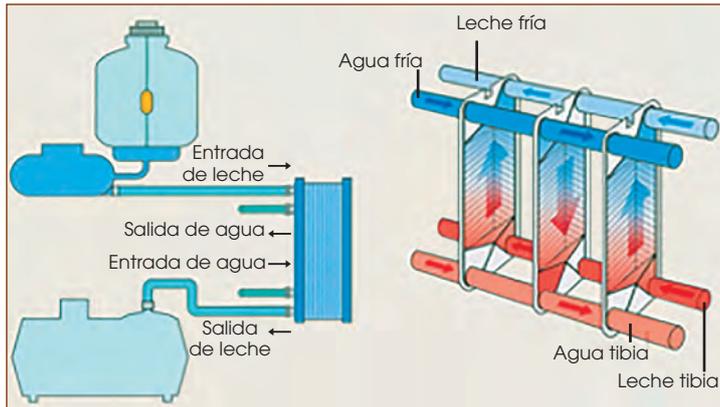
Controles automáticos: los temporizadores de luz, los atenuadores y los controles basados en sensores, como los sensores de luz solar y de movimiento, son una forma excelente y económica de ahorrar energía. Están disponibles para luces individuales o como unidades de control de iluminación para toda la instalación. Las opciones remotas también están disponibles para que las luces se puedan ajustar desde un teléfono inteligente o una computadora.

Mantenimiento y limpieza: limpiar las bombillas, los reflectores y los cobertores de las luces puede mejorar drásticamente los niveles de luz y reducir la clasificación de brillo de las bombillas requerida para un área de trabajo. Limpiar cada seis meses a un año.

Ubicación del accesorio: cuanto más cerca esté la luz del área de trabajo, más lux recibirá, pero tendrá menos propagación. El efecto varía con la tecnología de iluminación, pero, generalmente, ocurre en todos los tipos. La configuración de iluminación más eficiente desde el punto de vista energético equilibra la altura de las luminarias y la clasificación de brillo para proporcionar la cantidad correcta de iluminación (nivel de vatios) al área de trabajo con la energía total más baja (vatios) de todas las luces en esa área.

Iluminación de día para periodos extensos: la iluminación de día para periodos extensos es la práctica de usar iluminación suplementaria para imitar y extender las horas de luz del día en el establo. En algunos estudios, se ha demostrado que aumenta la productividad de las vacas. Si bien esta práctica no ahorra energía directamente, puede aumentar la productividad de la granja y reducir la energía total utilizada por unidad de producto producido. El uso

Figura 7. Esquema de funcionamiento de la pre-refrigeración de leche



de tecnología de iluminación eficiente y controles de iluminación simples, como temporizadores, permite la implementación efectiva de esta práctica.

Equipo de Ordeño

El equipo de ordeño incluye las unidades de ordeño y el sistema de bombeo utilizado para recolectar la leche. En promedio, la bomba de vacío utilizada para la obtención de leche consume entre el 15 y el 25% del uso de electricidad de una granja lechera. Los sistemas de ordeño robóticos son sistemas autónomos que no se pueden mejorar (el ahorro de costos de estos sistemas es en la mano de obra, no en la energía), pero los sistemas convencionales ofrecen una oportunidad significativa para el ahorro.

Dado que estos sistemas están conectados simultáneamente a muchas unidades de ordeño, la cantidad de vacas que se ordeñan activamente varía y, por lo tanto, también varía el caudal de aire que debe extraer la bomba. Agregar un VFD al motor de la bomba de vacío y un sensor de presión a la línea de la leche permite que la velocidad del motor se adapte automáticamente en función de la demanda en lugar de funcionar a una velocidad máxima constante con presión variable. El resultado es que la bomba funciona a una velocidad mucho más baja la mayor parte del tiempo y usa sustancialmente menos electricidad durante el ordeño, pero cuando es necesario (como durante el ciclo de lavado de la línea de vacío), el VFD aumenta la velocidad del motor hasta la velocidad máxima. Un beneficio adicional de esta configuración es que los niveles de ruido del bombeo se reducen drásticamente durante el ordeño, y los componentes internos de la bomba y el motor duran más y requieren un mantenimiento menos frecuente.

Reemplazar el motor de la bomba de ordeño con un modelo de alta eficiencia también puede brindar una oportunidad para ahorrar energía y puede ser necesario para la compatibilidad con VFD.

El mantenimiento frecuente de la bomba y el motor asegurará que funcionen de la manera más eficiente posible. La limpieza y el mantenimiento de pulsadores, filtros, drenajes, mangueras y juntas, y la reparación de fugas en el sistema de ordeño facilitan que la bomba de vacío mantenga la presión sin utilizar energía adicional.

Pre-enfriamiento, enfriamiento y almacenamiento de la leche

El proceso de enfriamiento y almacenamiento de la leche puede ofrecer la oportunidad más importante respecto del ahorro de energía. Lograr

estos ahorros, generalmente, implica reconfigurar el diseño del sistema de enfriamiento y agregar equipos. No es necesario realizar todas las actualizaciones a la vez, pero algunas deben realizarse juntas.

En un sistema de enfriamiento de leche energéticamente eficiente, la leche no se bombea simplemente a un tanque de almacenamiento refrigerado. En cambio, primero se preenfía con un intercambiador de calor integrado de alta eficiencia (generalmente un enfriador de placas que usa agua fría) (Figura 7), para reducir en gran medida la cantidad de energía que necesita el sistema de refrigeración del tanque. Una vez que se instala el preenfriador, el sistema de enfriamiento se puede optimizar aún más instalando un VFD en el motor de la bomba de transferencia de leche. El VFD adaptará la velocidad de la bomba para mantener un flujo óptimo de leche hacia el preenfriador, lo que mejora su eficiencia de enfriamiento. El motor de la bomba de transferencia también se puede reemplazar con un modelo de alta eficiencia para aumentar el ahorro de energía, lo cual puede ser necesario para lograr compatibilidad con VFD.

El sistema de refrigeración de tanques tiene dos formas importantes para ahorrar energía. Si el sistema de refrigeración utiliza un tipo de compresor o condensador con tecnología recíproca más antigua y se reemplaza por uno que tenga un compresor de espiral de alta eficiencia, se obtendrán ahorros de energía significativos. Además, agregar una unidad de recuperación de calor/refrigeración al sistema de enfriamiento del compresor o condensador permite capturar el calor residual del proceso de refrigeración y luego usarlo para precalentar el agua en el calentador de la sala. La Figura 8 muestra la configuración final y los componentes de un sistema de almacenamiento y enfriamiento de leche energéticamente eficiente.

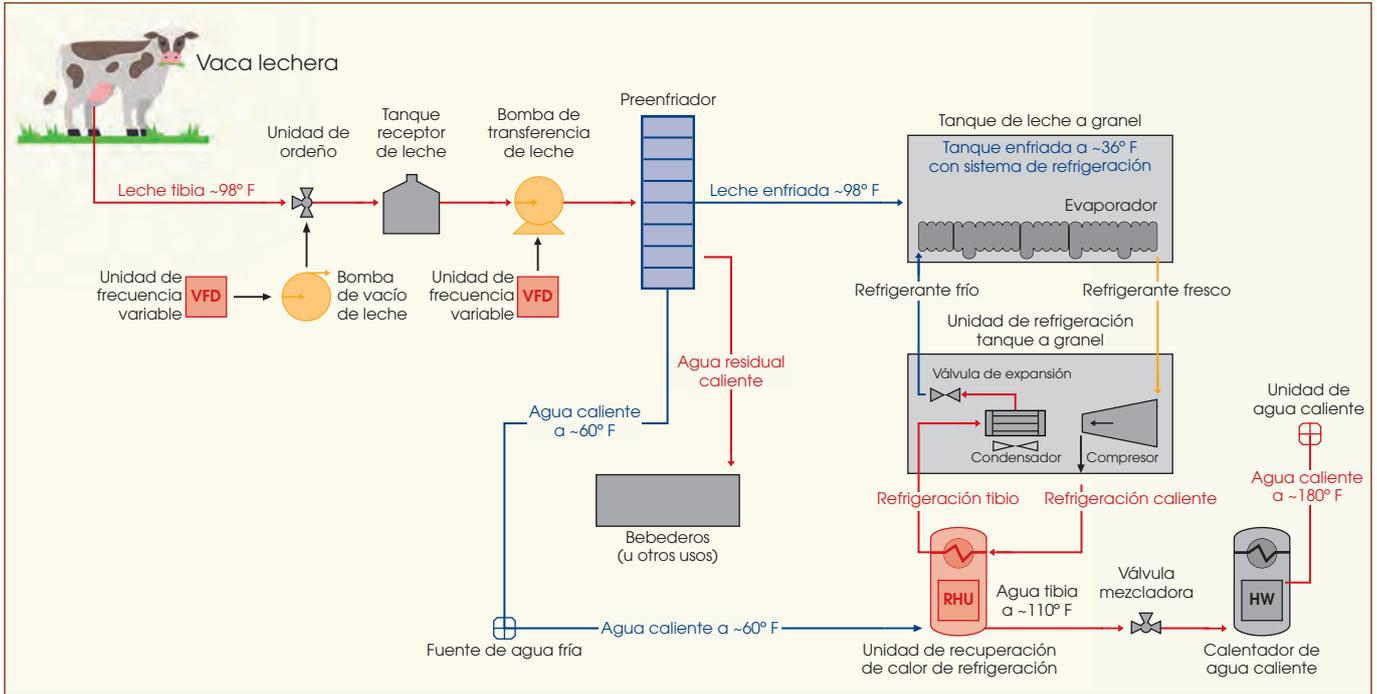
Ahorros de energía en el enfriamiento de leche

1. Uso mínimo del sistema de refrigeración: La diferencia entre la temperatura de la leche entrante en el tanque a granel y la temperatura objetivo se reduce mediante el uso de un intercambiador de calor de preenfriador con uso de agua fría, como se ha explicado.
2. Uso mínimo del condensador: la unidad condensadora del sistema de refrigeración funciona menos porque el refrigerante se enfría previamente mediante el uso de una unidad de recuperación de calor con inyección de agua fría.
3. Calor residual reutilizado: el calor que, de otro modo, el ventilador del condensador expulsaría al aire se utiliza para precalentar el agua, lo que ahorra la energía utilizada para el calentador de agua.

Algunas consideraciones y componentes clave para la actualización del equipo de enfriamiento y almacenamiento de leche son las siguientes:

Preenfriador de leche: un preenfriador de leche puede reducir el consumo de energía para enfriar la leche hasta en un 60%, extender la vida útil del sistema de refrigeración del tanque a granel y enfriar la leche rápidamente para reducir el riesgo de crecimiento de bacterias. El tipo de preenfriador que se usa con más frecuencia es el enfriador de placas, el cual consiste de una serie de placas de acero inoxidable en la línea de la leche entre el tanque receptor y el tanque a granel. El agua fría que pasa por el enfriador de placas en un lado de las placas absorbe el calor de la leche que pasa por

Figura 8. Sistema de enfriamiento de leche de bajo consumo



el lado opuesto de las placas. Las placas de acero inoxidable son las mejores para evitar su corrosión por la leche, y cuantas más placas haya en el enfriador, más rápido se enfriará la leche.

Tamaño del preenfriador: el enfriamiento oportuno y el retorno de inversión del ahorro de energía dependen de si se instala un preenfriador de tamaño adecuado para el volumen de leche procesada en un día. Seleccionar un preenfriador en función de los kilos máximos de leche producidos por hora, la clasificación del flujo de entrada de agua fría y la temperatura del suministro de agua fría. Estos factores son los principales contribuyentes para que el enfriador de placas sea eficiente. Cuanto mayor sea el caudal de entrada de agua de refrigeración respecto al caudal de leche mayor será el rendimiento del intercambiador. Como es lógico, el agua tibia que sale de éste debe emplearse en otros usos (ahorro de agua).

Temperatura y caudal del agua fría del preenfriador: cuanto más fría sea la entrada de agua al preenfriador, más eficiente será para enfriar la leche. Si hubiera un suministro de agua subterránea disponible, sería ideal. Algunos preenfriadores también utilizan un refrigerante en lugar de agua fría, que es otra opción. Hay que asegurarse de que el sistema de agua de la granja sea capaz de suministrar agua al caudal especificado para el preenfriador. La longitud y el diámetro de la tubería de entrada de agua deben tener un tamaño que se adapte también al caudal óptimo.

Controlador de la bomba de transferencia de leche del motor: a medida que el flujo de leche al sistema de enfriamiento cambia con las operaciones de ordeño, también lo hace la tasa de bombeo requerida para una entrada constante de leche. Al regular la frecuencia de bombeo con una VFD en el motor de la bomba de transferencia de leche, se puede enviar una cantidad de leche constante al preenfriador. Esta cantidad constante de flujo de leche se corresponde con la cantidad de flujo de

agua fría del preenfriador, lo que optimiza el rendimiento del sistema. El aumento de la cantidad de flujo de agua fría se puede usar para acelerar el intercambio de calor, y el uso de la VFD permite igualar la cantidad de flujo de leche. Se instala un sensor de nivel en el tanque receptor para la entrada de control de la VFD. Una bomba de transferencia de leche con VFD solo es efectiva con un preenfriador.

Bomba de transferencia de leche y tipo de motor: la mayoría de las bombas de transferencia son bombas centrífugas compatibles con la VFD.

Tipo de compresor/condensador de tanque a granel: los sistemas convencionales de refrigeración de tanques a granel utilizan unidades compresoras/condensadoras de tipo alternativo para hacer circular el refrigerante a través del sistema de refrigeración. La actualización a un compresor en espiral o disco de alta eficiencia puede reducir el consumo de energía en aproximadamente un 30%. Estas unidades utilizan un controlador variable infregado que se adapta a los requisitos de refrigeración y, por lo general, funcionan en silencio.

Recuperación de calor del compresor del tanque a granel: la recuperación de calor es el proceso de utilizar el calor residual de un proceso como fuente de calor para otro proceso. El sistema de refrigeración de tanques a granel, generalmente, utiliza uno o más compresores para eliminar el calor de la leche. El calor eliminado de esta manera normalmente se libera al aire mediante los ventiladores de la unidad del compresor/condensador. Este proceso se puede modificar con la adición de una unidad de recuperación de calor/refrigeración que captura el calor residual y lo usa para precalentar agua para otros usos en la granja. Este aspecto del ahorro energético lo veremos en un próximo trabajo.

Tamaño de la unidad de recuperación de calor/refrigeración: al igual que con los calentadores de agua para salas de ordeño, el tamaño del tanque de la unidad de recuperación de calor debe ser lo

Reducción del consumo energético

suficientemente grande para calentar el agua necesaria para un ciclo de ordeño. El tanque debe instalarse lo más cerca posible de la unidad compresora del tanque para reducir la pérdida de calor.

Hay también opciones de ahorro energético de bajo costo o sin él:

Mantenimiento del sistema: para mantener un funcionamiento eficiente y extender la vida útil del equipo, deben seguirse las recomendaciones del fabricante para el servicio, incluidos los siguientes elementos:

- **Mantenimiento de bombas y motores:** realizar un mantenimiento frecuente de la bomba de transferencia y del motor. Inspeccionar y limpiar las piezas reparables.
- **Mantenimiento del sistema de refrigeración:** limpiar e inspeccionar el equipo de refrigeración del tanque a granel con frecuencia y reparar cualquier fuga o componente dañado. Esto incluye los serpentines del condensador, los serpentines del evaporador, la bandeja de drenaje, los ventiladores, las pantallas, las rejillas, los filtros y los núcleos de los secadores. Agregar o quitar refrigerante, según sea necesario. Revisar y cambiar el aceite, el filtro y la rejilla de entrada según las instrucciones del fabricante.
- **Mantenimiento del preenfriador:** realizar inspecciones visuales y limpieza con frecuencia.

Recuperación de agua del preenfriador: el agua caliente del preenfriador puede utilizarse para otros usos, como uso general, limpieza y abrevadero del ganado.



Calentadores de agua

Los calentadores de agua pueden consumir hasta el 20 % de la energía utilizada en una granja lechera. Calentar agua para lavar y desinfectar el equipo de ordeño suele ser el uso más potente, aunque las granjas también pueden usar calentadores de agua de manera general.

Todos los calentadores de agua deben tenerse en cuenta como potenciales dispositivos de ahorro de energía. Tener un calentador de agua del tamaño adecuado y de bajo consumo es la forma más efectiva de minimizar los costos de calentamiento de agua. Puede valer la pena reemplazarlo, incluso, si no está finalizando la vida útil. Otra forma significativa de reducir los costos de calentamiento de agua en una granja lechera es instalar una unidad de recuperación de calor/refrigeración en el sistema de enfriamiento de leche y conectarla al calentador de agua. También hay varias alternativas de bajo costo o sin costo para ahorrar energía que se pueden implementar en cualquier sistema de calentamiento de agua, antiguo o nuevo.

Algunas consideraciones clave en la actualización de calentadores de agua son las siguientes:

Tipo de combustible: invertir en un calentador de agua nuevo puede ser una oportunidad para cambiar a una fuente de energía de menor costo. Los calentadores de agua eléctricos son más eficientes y pueden usar controles electrónicos de ahorro de energía. Sin embargo, el funcionamiento de los calentadores eléctricos puede costar más dependiendo de las tarifas locales de electricidad. En ese caso, la mejor opción es una unidad de gas de alta eficiencia con control electrónico.

Eficiencia energética: la eficiencia del calentador de agua se clasifica según el factor de energía (EF). Cuanto más alto sea el factor energético, más eficiente será la calefacción.

Tamaño del tanque: en el caso de los sistemas de tanques, el tamaño del tanque debe determinarse en función de la cantidad de agua caliente que normalmente se necesita en un momento dado (uso promedio). Por ejemplo, en el lavado de equipos de ordeño, determinar el tamaño del calentador de agua en función de cuántos litros de agua se usan por ciclo de ordeño.

Otras opciones de bajo costo o sin él son:

Mantenimiento del sistema: instalar una válvula en el drenaje del tanque. Cuando el nivel de agua del tanque sea bajo, drenar el agua que quede para usos generales diarios. Vaciar completamente el tanque, al menos, dos veces al año para reducir la acumulación de sedimentos. Inspeccionar y reparar las fugas en los accesorios y los grifos.

Aislamiento: aislar el calentador de agua con una camisa de agua e instalar aislamiento en la tubería en las líneas de agua caliente reduce la pérdida de calor y el consumo de energía del calentador de agua y no es costoso. Como mínimo, se debe aislar la tubería en los primeros 6 metros desde el calentador de agua. Los calentadores de agua eléctricos se pueden aislar por completo, mientras que los calentadores de gas y aceite no se deben cubrir cerca del conducto caliente.

Regulación de temperatura: para desinfectar y lavar, el agua debe calentarse entre 80 y 95 °C. Para usos generales, se recomienda 50 °C. Usar el agua a una temperatura más alta que esa significa una pérdida de energía.

Conservación del agua: usar menos agua es una manera fácil de ahorrar energía a través de la conservación de energía. Buscar formas de reducir el consumo de agua caliente sin reducir la eficacia de la limpieza ni agregar tiempo al proceso.

Resumen

En las anteriores páginas hemos comenzado a exponer las diversas medidas que pueden ponerse en práctica para reducir el consumo eléctrico en las granjas de vacuno lechero. En próximos trabajos seguiremos con esta exposición, añadiendo, además las que pueden tomarse para ahorrar consumo de combustible y de agua.

En el último de los trabajos dedicados a estas MTDs reflejaremos las referencias bibliográficas utilizadas.