

# Alternativas para reducir el consumo de energía eléctrica en tambos

Taverna, Miguel / Ruata, Raul / García, Karina

# Alternativas para reducir el consumo de energía eléctrica en tambos

*Taverna Miguel*<sup>1</sup> / *Ruata, Raul*<sup>2</sup> / *García, Karina*<sup>1</sup> /  
*Ghiano, Jorge*<sup>1</sup> / *Walter, Emilio*<sup>1</sup> / *Costamagna, Dianela*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INTA - EEA Rafaela

<sup>2</sup> UTN - Delegación Rafaela



Presidencia de la Nación

Unidad editorial/Agencia INTA

2016

# Introducción

El consumo energético es un tema de creciente análisis, estudio, auditorías e implementación de planes de mejora a nivel de los tambos (DairyCo, 2009; Connecticut Farm Energy Program, 2010; Gaudioso, R., 2011; Corscadden K., 2012; Dairy Australia, 2013; Oleggini et al, 2015). El incremento de los costos de producción, la variabilidad de los precios, la necesidad de reducir las emisiones de gases con efecto invernadero, explican en gran medida este interés. Por otra parte, a se pone a disposición del sector equipos más eficientes, la posibilidad de producir energía utilizando fuentes renovables, avances que plantean desafíos técnico-económicos que resulta necesario analizar y evaluar.

Para los productores argentinos, a este contexto general se debe adicionar el aumento de la tarifa eléctrica y del precio de los combustibles, rubros que adquieren relevancia dentro de los costos de producción.

Desde lo metodológico, el consumo energético de un sistema de producción lechero puede analizarse desde cuatro grandes ejes: a) electricidad, b) combustibles (ambos definidos como energía directa), c) alimentación y d) fertilización mineral (estos dos últimos definidos como consumos indirectos)(Beguin et al., 2008; Kaknaroglu, H., 2010; Sefeedpari P., 2012). El consumo eléctrico fluctúa entre el 20 y el 40% del consumo energético total. Este rango está dado por el nivel de intensificación y mecanización.

El consumo de kWh por litro de leche producido y/o por vaca define la eficiencia energética eléctrica de un tambo. Ambos índices siempre deben referenciarse a un periodo de tiempo (meses o año) para evitar sub o sobre estimaciones puntuales. Muchos de los diagnósticos realizados muestran una alta variabilidad de estos índices entre tambos: 160-920 kWh por vaca o de 30-120 kWh por cada 1000 litros de leche (Morison et al, 2007; Gaudioso, 2011; Oleggini, 2016; Innovation Center for US Dairy, 2016; European Dairy Energy Website, 2016). La amplitud de estos rangos demuestra y abre claramente posibilidades concretas de trabajo y mejoras.

El objetivo de esta publicación es inicialmente describir y cuantificar el origen de los consumos de electricidad en el tambo. En una segunda parte, se proponen estrategias para lograr economizar el consumo eléctrico. Finalmente, se citan algunos ejemplos de utilización de energías renovables.

Dada la limitada disponibilidad de estudios nacionales sobre este tema, el desarrollo de la publicación se realiza con información y adaptación de fuentes bibliográficas internacionales.

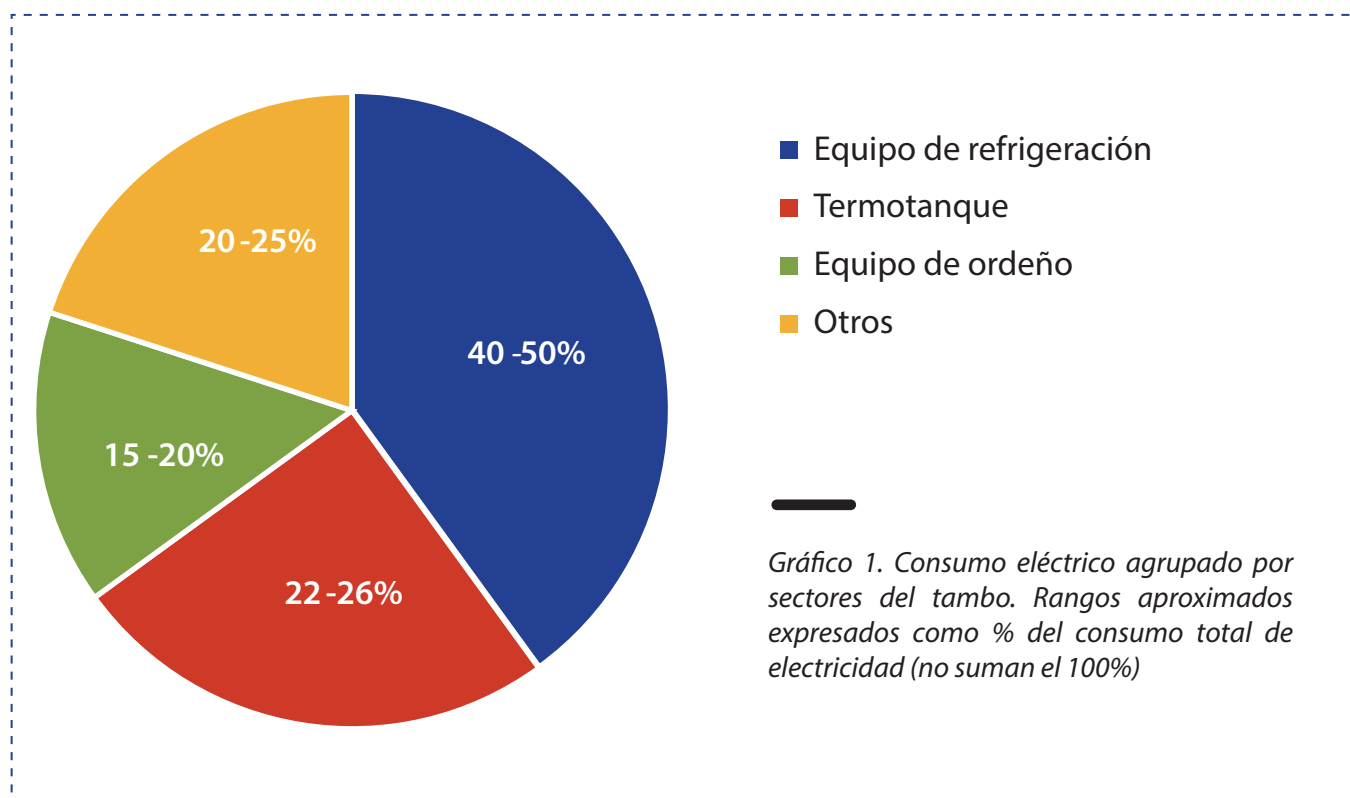
# Desarrollo

## Caracterización y cuantificación de los consumos de energía en el tambo

El abordaje del trabajo se realiza agrupando los consumos de electricidad en cuatro sectores del tambo:

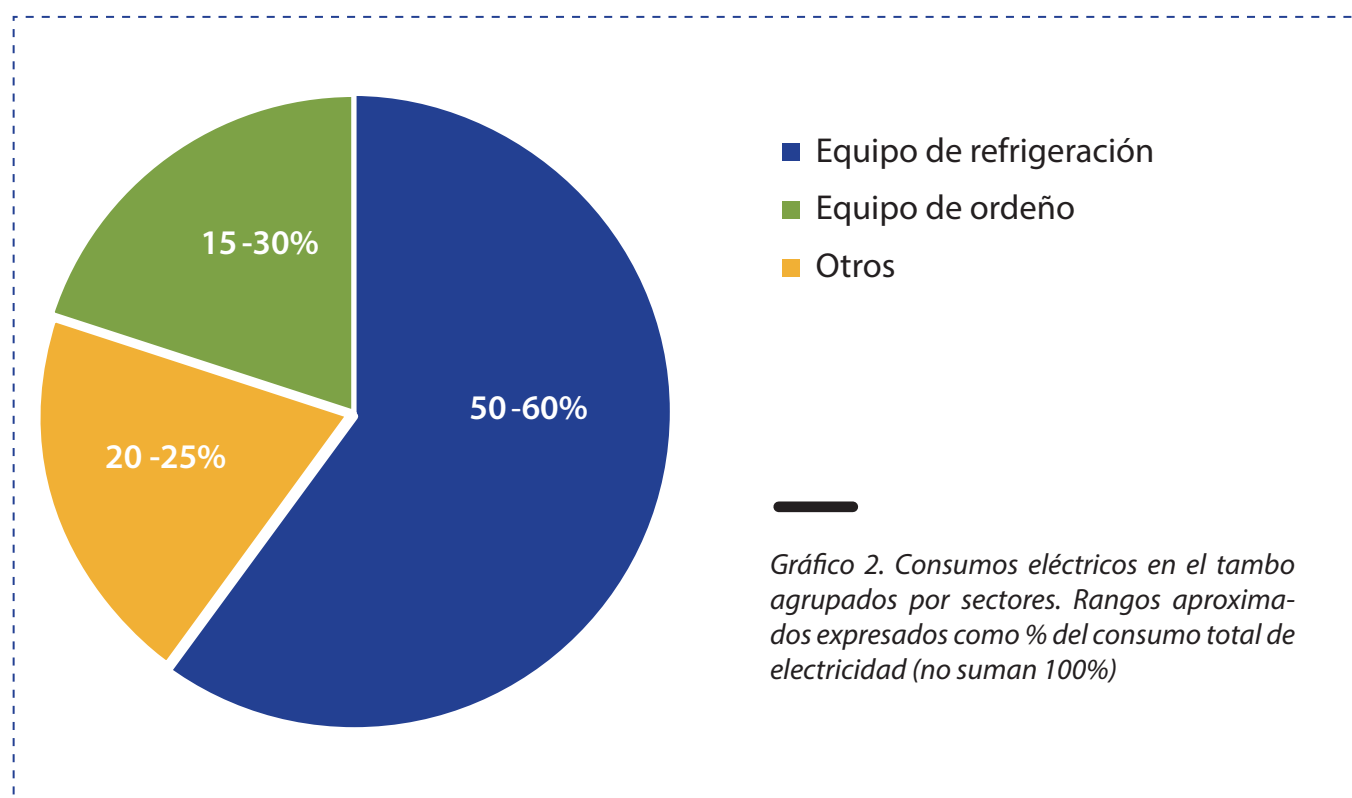
- > Equipo de refrigeración de leche.
- > Equipos para el calentamiento de agua (termotanques).
- > Equipo de ordeño (bomba de vacío, bomba de leche, pulsado, etc.)
- > Otros consumos (bomba de agua, iluminación, bomba de lavado, bomba de efluentes, ventiladores, consumo doméstico).

Diagnósticos realizados en diferentes países (Institut de l'Élevage, 2008; Pressman, A., 2010; Morin, C., 2011; Loobuyck, et al., 2012; Dairy Australia, 2013; Edens, et al., 2013; Oleggini, 2016), permiten establecer la importancia relativa de cada sector respecto al consumo total de electricidad del tambo (Gráfico 1).



En Argentina no es común la utilización de termotanques eléctricos para calentar el agua para el lavado de la ordeñadora y tanque de frío. Normalmente se usa gas o leña como fuente de energía. También es muy variable la relevancia del sector "otros consumos". La disponibilidad de ventiladores, bomba para efluentes o para el lavado de pisos es muy variable. Teniendo en cuenta estas particularidades, los rangos estimados para nuestra situación se exponen en el **Gráfico 2**.

Ambos gráficos ponen en evidencia que el consumo energético del equipo de refrigeración de leche representa la mitad del consumo total. Los restantes sectores se reparten en partes similares. Este diagnóstico marca claramente una prioridad de trabajo frente a la posibilidad de analizar reducciones de consumo o incrementos de eficiencia energética.



## Alternativas para reducir el consumo de electricidad

El conjunto de propuestas desarrolladas son factibles de ser adoptadas por los productores. Algunas son de nulo o muy bajo costo, mientras que otras implican inversiones para incorporar nuevos equipos o reemplazar los obsoletos. En todos los casos, los planteos se asocian a impactos esperados sobre el consumo eléctrico. La estimación de la relación costo/beneficio o del tiempo de repago de la inversión, posibilitará estimar la conveniencia de adopción.

### 1. Reducción del consumo del equipo de refrigeración de leche

#### 1.1 Refrescado previo de la leche

El refrescado se logra a través de intercambiadores térmicos. Dos fluidos -la leche y el agua-, circulan en sentido inverso en circuitos adyacentes. El agua extrae calorías de la leche, logrando una reducción de su temperatura, pasando normalmente de 36° a 17-24°C.

Sin refrescado, el paso de una temperatura de 36 a 4°C, genera un consumo de 18-22 kWh/litros (dependiendo de la tecnología, instalación, etc.). En la medida que la temperatura de la leche se reduce, el consumo cae de forma casi proporcional. Como pauta general se puede considerar que un 1°C menos en la leche provoca una reducción aproximada de 0,5 kWh/litros (Loobuyck et Prévost., 2010; Loobuyck et al., 2012).

Es posible reducir el consumo eléctrico del equipo de refrigeración de leche en 35-50% (Edens et al., 2013; Corscadden, K., 2014).

Sin dudas es una de las medidas de mayor impacto positivo sobre el consumo energético del tambo. El refrescado incrementa la vida útil del grupo frigorífico, que debe funcionar por menor tiempo, limita la intensidad del shock térmico en la leche reduciendo el riesgo de lipólisis inducida y por último, si el equipo frigorífico queda fuera de servicio, la calidad bacteriológica de la leche no resultará tan rápidamente deteriorada por mantener menor temperatura.

Existen comercialmente dos sistemas de refrescado de la leche: el sistema a placa, difundido en nuestro país y el sistema tubular.

#### Refrescado a placa (Figura 1).

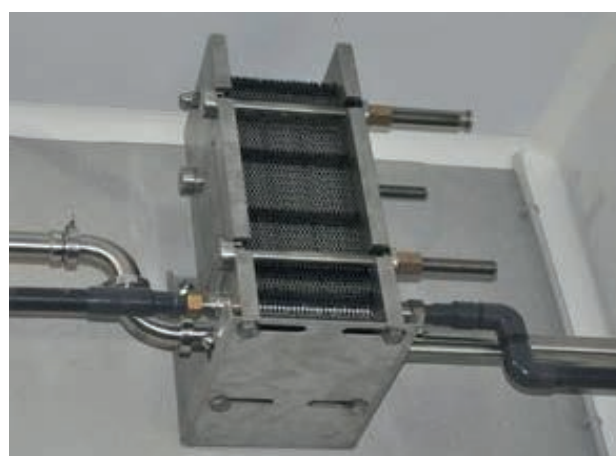


Figura 1. Placa de refrescado utilizada en los tambos

La placa de refrigeración está constituida por numerosas placas, por entre las cuales circulan la leche y el agua en contracorriente (Figura 2). La dimensión y el número de placas varía entre marcas y modelos. Es de fácil instalación, ocupa poco espacio y es modulable, es decir, se pueden adicionar placas ante incrementos del volumen de leche ordeñada.

La superficie de intercambio es importante a pesar de que su capacidad volumétrica interna es reducida (1,5 a 2,5 l). Por sus características constructivas, son muy sensibles a las incrustaciones y suciedad. Por este motivo, es imprescindible colocar un filtro de leche que retenga la suciedad y tratar el agua si la disponible es dura o muy dura.

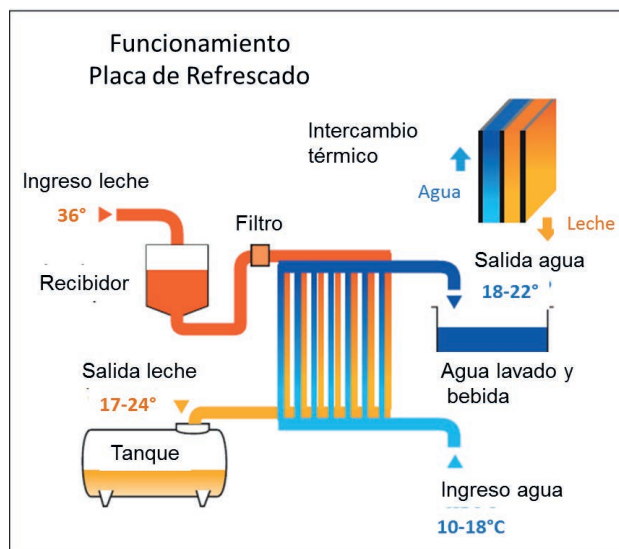


Figura 2. Principio de funcionamiento de un equipo de placa de refrigeración (Loobuyck et al, 2012)

### Refrescadores tubulares (Figura 3)



Figura 3. Refrigerador tubular instalado en un tambor (Loobuyck et al, 2012)

Prácticamente no han tenido difusión en nuestro país. El equipo está compuesto por dos caños, uno dentro del otro. La leche circula por el interior mientras que el agua lo hace en sentido inverso, por el exterior. Los caños se disponen de forma circular (serpentin), el largo y el diámetro de los mismos depende del caudal de leche (Figura 4).

Tienen un volumen interior superior a los de placas, lo que permite mantener una mayor cantidad de leche entre cada arranque de la bomba de leche y, por lo tanto, un mayor tiempo de intercambio agua/leche.

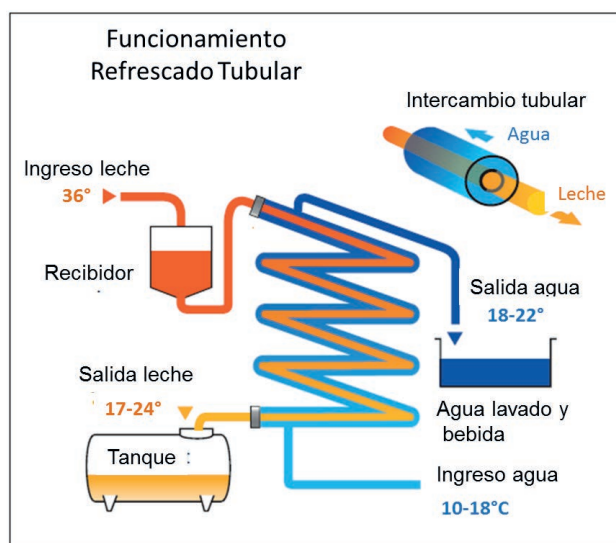


Figura 4. Principio de funcionamiento de un sistema tubular de refrigeración (Picard, 2012)

### Claves para lograr una máxima eficiencia:

#### a) La temperatura del agua

Como fue mencionado anteriormente, el intercambio térmico resulta más eficiente en la medida que la diferencia de temperatura entre los dos fluidos resulte mayor. Como la temperatura de la leche es constante (36 y 37°C), es necesario utilizar agua lo más fría posible. Al utilizar agua proveniente de napas más profundas brinda esta posibilidad, minimizando también cambios estacionales.

El agua que pasó por el intercambiador y que incrementó su temperatura, no debe retornar nuevamente a la perforación.

#### b) Caudal

El caudal logrado a nivel del equipo dependerá de la presión (sección y largo de la cañería) y de las pérdidas de carga del mismo equipo de refrigeración. A mayor caudal instantáneo, mayor renovación del agua caliente dentro del intercambiador, mayor eficiencia.

Este principio general es más crítico en los equipos con menor volumen interno (placas).

#### c) Relación agua/leche

La máxima eficiencia se logra optimizando la relación agua/leche en el momento que arranca la bomba de leche. La relación global tomada sobre la totalidad del tiempo de ordeño (2,5:1 ó 3:1 agua/leche) no resulta un buen indicador de eficiencia puesto que el tiempo real de funcionamiento de la bomba de leche no supera el 10% del total del ordeño. Bajo esta lógica, además, el consumo total de agua es muy elevado.

Tratando de optimizar el proceso, se logra la mayor eficiencia de intercambio, se propone utilizar "mecanismos de regulación de caudales". Se mencionan brevemente los dos más utilizados y recomendados: *el de electroválvula y el de válvula termoestática*.

El funcionamiento de la electroválvula está controlado por la bomba de leche (Figura 5).





Figura 5. Electroválvula ubicada sobre cañería de agua (GIE Lait-Viande de Bretagne – Institut de l'Élevage, 2010).

Esta habilita la circulación de agua antes de que el recipiente se complete y se accione la bomba de leche. Un temporizador permite prolongar la circulación de agua por un tiempo a establecer, posterior al vaciado del recipiente.

La válvula termostática funciona conjuntamente con una sonda de temperatura que se ubica a la salida del equipo de refrigeración (Figura 6).

El paso de agua está regulado por esta sonda. El caudal de agua se reduce o anula cuando la temperatura de salida se aproxima a la de ingreso, indicativo de que no circula leche y no existe intercambio térmico.



Figura 6. Detector de temperatura asociado a la válvula termostática (GIE Lait-Viande de Bretagne Institut de l'Élevage, 2010).

#### d) Bombeo de la leche

A menor caudal de leche, mayor es el tiempo de permanencia de la misma dentro del equipo, mayor será la eficiencia de intercambio térmico. Algunos constructores proponen sistemas que reducen este caudal a través de diferentes mecanismos: válvulas reductoras de caudal, variador de velocidad de la bomba de leche, utilización de bombas de leche de menor caudal. En todos los casos, es necesario garantizar que el caudal retome el régimen técnicamente aconsejable durante el lavado y que el desarrollo del ordeño no resulte perturbado (paso de leche a la tubería de vacío y trampa sanitaria, nivel de vacío alterado por nivel elevado de leche en recipiente). Si estas situaciones se presentan, será afectado el correcto desarrollo del ordeño y la higiene de la ordeñadora. Consecuentemente, es necesario volver atrás con las modificaciones introducidas.

### e) Lavado de equipo de refrescado

El equipo de refrescado forma parte de la instalación de ordeño. Por lo tanto, debe considerarse dentro de los cálculos de requerimiento de solución de lavado. Como regla general, se debe adicionar un volumen de solución equivalente al del equipo de refrescado, ajustando la dosis de los productos de limpieza a este volumen adicional.

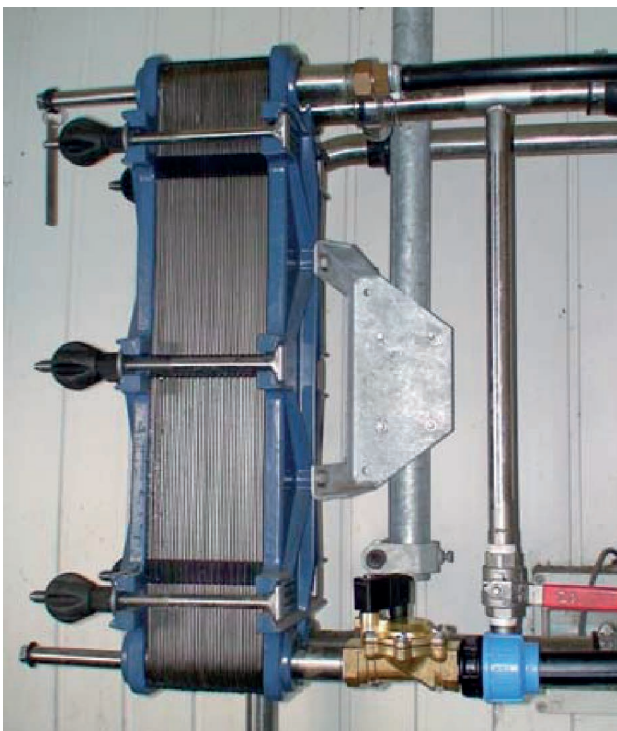


Figura 7. Equipo de placa con un "by pass" utilizado en el momento del lavado. (GIE Lait-Viande de Bretagne – Institut de l'Élevage, 2010).

En determinados casos, el equipo de refrescado puede alterar el correcto lavado de la ordeñadora (menor turbulencia, circulación lenta, etc). Frente a estas situaciones, es recomendable instalar un sistema "by-pass", al que debe ser utilizado en el momento de lavado (Figura 7), posibilitando que una parte mayoritaria de la solución de lavado (aproximadamente 2/3) circule sin pasar por la placa de refrescado.

El resto de la solución sigue el circuito normal que incluye el lavado de las placas que están en contacto con la leche.

### f) Mantenimiento de los equipos de refrescadores

Los sistemas tubulares requieren de muy poco mantenimiento. Las placas demandan mucha más atención. Como fue mencionado anteriormente, la utilización de filtros de leche y de un sistema de tratamiento de agua (caso de aguas duras y muy duras), resulta imprescindible.

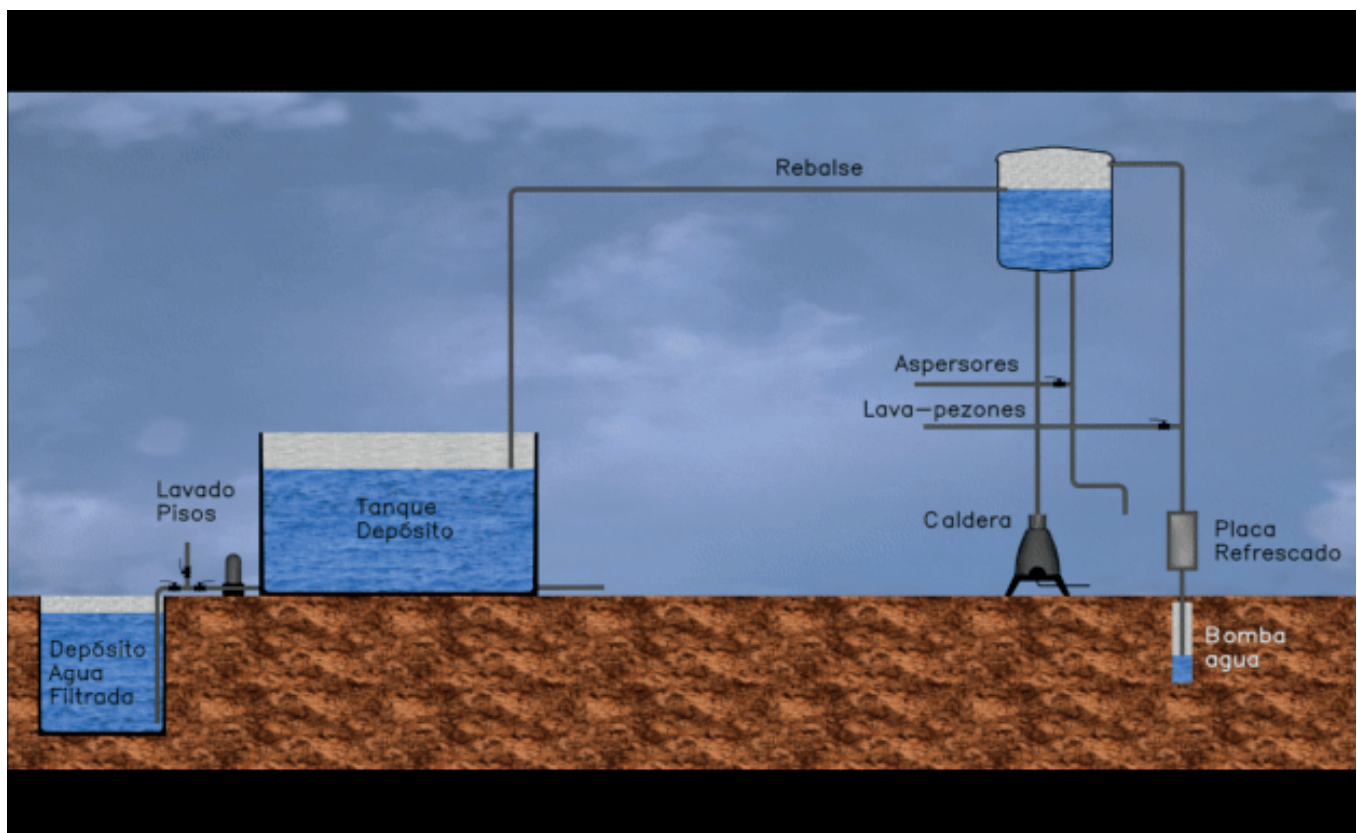
El servicio técnico debe verificar regularmente el estado de limpieza interno de las placas. En el caso de detectarse problemas se deberá rever la rutina de limpieza y la instalación general.

### g) Destino del agua del equipo de refrescado

Estos equipos consumen, según la regulación y eficiencia, entre 1,5 y 4 litros de agua por litro de leche. Este volumen de agua mantiene

siempre una cierta relación con el requerimiento de agua de bebida de las vacas (70-100 litros por día, promedio). El destino final del agua debe ser considerado dentro del proyecto técnico. En la **Figura 8** se propone un diseño constructivo que contempla un uso total del agua proveniente del sistema de refrescado.

Esta alternativa, además de realizar una importante economía de agua, también tiene un impacto positivo sobre el consumo eléctrico puesto que reduce el funcionamiento de la bomba de agua (Taverna et al, 2004).



*Figura 8. Uso integral del agua proveniente de la placa de refrescado (Taverna et al, 2004)*

## Impactos/Metas:

En el Cuadro 1 se sintetizan las metas de eficiencia en sistema de refrescado de leche y el impacto de esta tecnología sobre el consumo eléctrico.

Cuadro 1. Metas de eficiencia, sistemas de refrescado e impacto sobre consumo eléctrico.

INDICADOR	OBJETIVO	METAS
Intercambio calórico	<p>Lograr a la salida del equipo de refrescado, leche 2-4° C por encima de la temperatura del agua utilizada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Óptima relación agua/leche</li> <li>&gt; Baja y estable temperatura del agua</li> <li>&gt; correcto dimensionamiento e instalación de equipos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Reducción consumo eléctrico tanque frío en 35-50 %</li> <li>&gt; Mayor vida útil equipo de frío (menor tiempo funcionamiento)</li> <li>&gt; Menor potencia instalada (transformador)</li> <li>&gt; Menor impacto sonoro (menor tiempo funcionamiento equipo frío)</li> </ul>
Uso de agua	<p>Planificar integralmente el uso del agua</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Agua equipo refrescado</li> <li>&gt; Bebida animales</li> <li>&gt; Limpieza de pisos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Reducción 40-50 % consumo eléctrico bomba de agua (uso eficiente de agua ya extraída)</li> <li>&gt; Nula cantidad de agua derivada a lagunas, canales. Menos efluentes.</li> <li>&gt; Nula cantidad de agua introducida en perforación.</li> </ul>

## 2. Efecto de la instalación y mantenimiento del equipo de refrigeración de leche

Como introducción a este tema, es necesario presentar brevemente su funcionamiento y las opciones más comunes de instalación de los equipos conocidos como "panza fría".

El equipo de refrigeración de leche debe cumplir dos funciones esenciales: a) reducir la

temperatura de la leche a 4°C dentro de las 2,5-3 horas posteriores al final del ordeño y b) mantener almacenada la leche a esta temperatura hasta el momento de su retiro por el camión recolector.

Los componentes básicos son el grupo frigorífico y la cuba o tanque fabricado. Ambas partes pueden estar montadas sobre una

misma estructura (tanques compactos) o separadas.

El intercambio calórico se realiza en la panza del tanque (evaporador). A través de esta superficie interna, la leche cede calorías al fluido frigorífico. Este es comprimido por el compresor (donde la temperatura y presión aumentan, disminuyendo el volumen) y posteriormente, a través del condensador, cede las calorías al ambiente (Figura 9). La utilización de ventiladores facilita el intercambio térmico entre el fluido caliente y el aire circundante. A partir de este momento, se reinicia el ciclo hasta alcanzar el objetivo de lograr la temperatura de conservación de la leche.

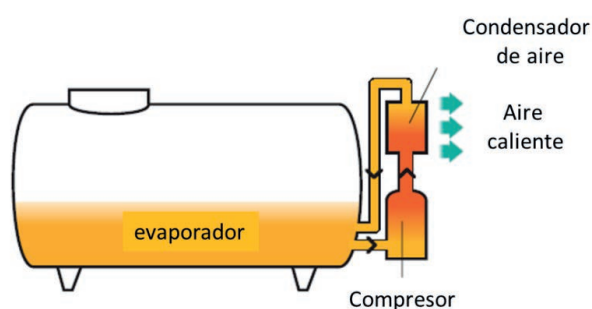


Figura 9. Partes y funcionamiento de un equipo refrigerador de leche utilizado en tambos (GIE Lait-Viande de Bretagne – Institut de l'Élevage, 2010).

Desde el punto de vista de la instalación, considerar los puntos críticos a resolver son: a) minimizar la temperatura media y la amplitud del rango de variación (diferencia entre temperatura

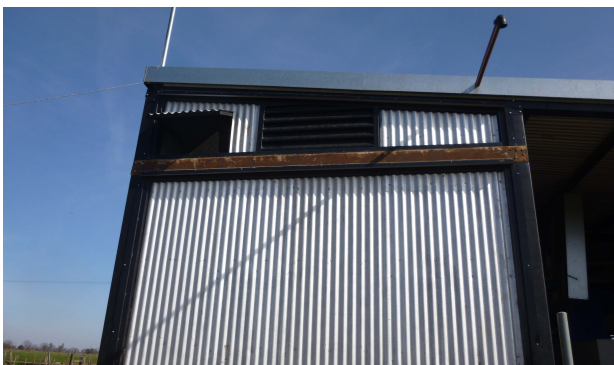
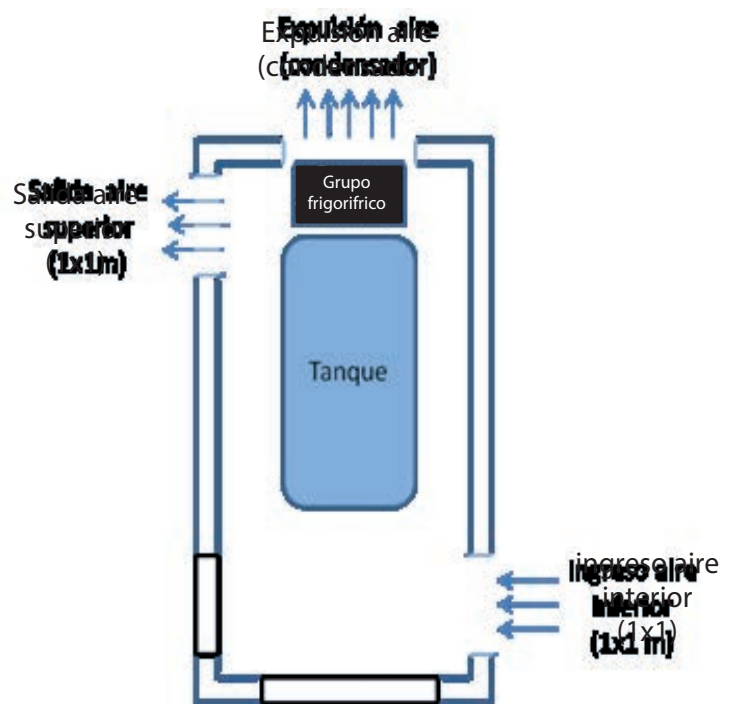
mínima y máxima) de la corriente de aire que ingresa al radiador durante el ciclo de refrigeración y b) evacuar rápidamente el aire caliente, de manera que éste no condicione el objetivo "a". Por estos motivos, resulta insuficiente considerar solo la temperatura media de la sala donde se encuentra el tanque. Además, es imprescindible tener en cuenta y registrar la temperatura del aire que ingresa al condensador, particularmente el pico y duración de la temperatura máxima.

Estudios demostraron que bajando 1°C la temperatura máxima del aire que ingresa al condensador, disminuye en un 1,5-1,8% el consumo eléctrico del equipo de refrigeración (Dufresnoy, B. 2015). Si bien este impacto podría aparecer como relativamente reducido, es necesario considerar que existen picos de más de 40°C y que es factible llevar este registro a menos de 20°C. Consecuentemente, el consumo podría bajar en un 20-30%. Esta situación puede no resultar extrapolable a un año completo, pero seguramente a una parte importante del mismo (período cálido) de un equipo mal instalado.

Como fue mencionado, existen diferentes variantes de equipos, de instalación, instalaciones existentes o nuevas, etc. Por estos motivos, las propuestas se focalizan en aspectos de alta relevancia en la eficiencia energética del equipo.

a) En nuestro país, la mayor parte de los tanques están instalados en la sala de leche y los equipos de refrigeración pueden ubicarse dentro o fuera de esta sala

- > La sala debe estar aislada térmicamente especialmente el techo. Esto evitará incrementos muy importantes en la temperatura de la sala durante períodos cálidos.
- > La construcción de una abertura de 1 m<sup>2</sup> ubicada en la parte inferior de alguna de las paredes y otra de salida, del mismo tamaño ubicada en la parte superior de la sala (Figura 10) genera una circulación y renovación permanente del aire en la sala de leche. Esta construcción baja la temperatura media de la sala y favorece la disipación del aire caliente. Por higiene (para impedir ingreso de suciedad e insectos), ambas aberturas deberán estar protegidas. partir de este momento, se reinicia el ciclo hasta alcanzar el objetivo de lograr la temperatura de conservación de la leche.



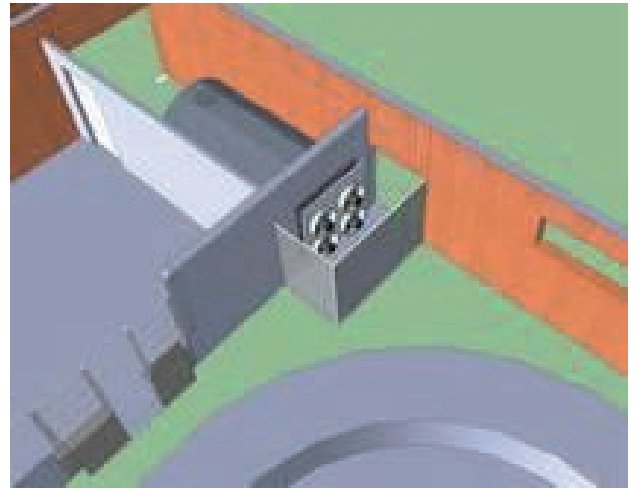
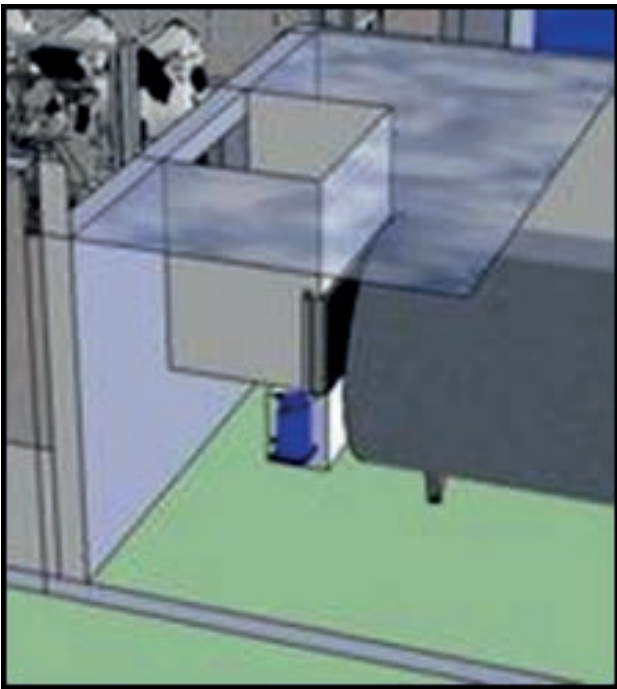
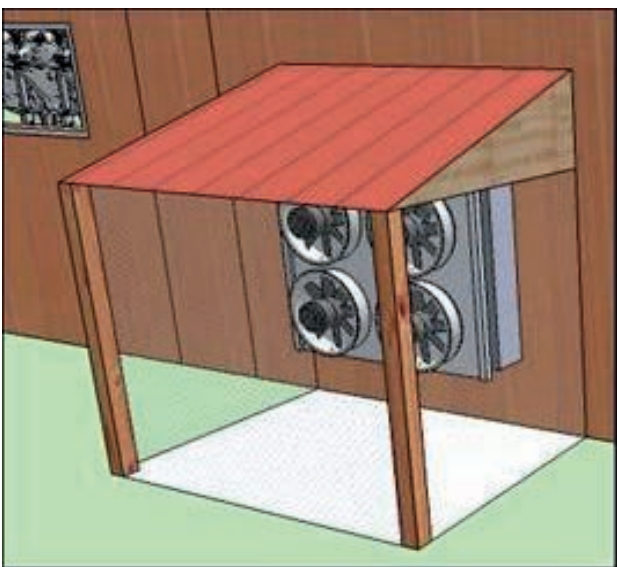


Figura 10. Diseño de sala de leche ventilada y circulación del aire para facilitar la disipación del calor (plano izquierda), ingreso de aire inferior y superior (fotos derecha).



**b)** Es clave evacuar el aire caliente del condensador hacia el exterior.

> En el caso de equipos compactos, ubicados en la sala de leche, es recomendable ubicarlos próximos a la pared o, si fuera posible, directamente en el exterior. En la **Figura 11** se presentan diferentes alternativas constructivas que contemplan esta posibilidad.

> Cuando el tanque y grupo frigorífico están separados, se recomienda instalar el grupo frigorífico fuera de la sala de leche (**Figura 11**). Solo se deberá contemplar que la distancia entre ambas partes sea inferior a 10 m (cada codo equivale a 1 m).



*Figura 11. Distintas alternativas de instalación del equipo frigorífico que facilitan la disipación del calor.*



> Una posibilidad interesante es instalar la parte frontal del tanque - aproximadamente 1/3 (pasada la boca de inspección)- en la sala de leche y el resto en la sala de máquinas o en el exterior. La utilización de un tabique posibilita dividir fácilmente estos ambientes (**Figura 12**).



*Figura 12. Sala de leche y máquina dividida por un tabique. Ubicación de grupo frigorífico en sala de máquina o en el exterior (foto derecha).*



La ventaja de esta instalación es que permite mantener la parte crítica del equipo, en un sector limpio (sala de leche).

Esta instalación presenta, además, un menor costo constructivo. Sin embargo, es imprescindible proteger del sol, agua y polvo esta parte de los equipos expuestos externamente.

#### c) Limpieza externa del condensador

Para la limpieza, se debe utilizar un cepillo no metálico (Figura 13) y pasarlo por la superficie de intercambio una vez por mes, especialmente si en el ambiente hay polvillo y suciedad. En ambientes con mucho polvo, será necesario periódicamente limpiar con aire el condensador con aire comprimido o nitrógeno en sentido inverso al normal de circulación del aire.



Figura 13. Limpieza de la superficie de intercambio del condensador del equipo frigorífico.

## Impactos/Metas:

En el **Cuadro 2** se puntualizan, como síntesis de los temas expuestos, las metas de eficiencia a alcanzar considerando la instalación y el mantenimiento del equipo de frío.

**Cuadro 2.** Metas de eficiencia al alcanzar a través de la correcta instalación y mantenimiento del equipo de refrigeración de leche.

INDICADOR	OBJETIVO	METAS
Temperatura y ventilación sala de leche.	<p>Lograr un ambiente fresco y ventilado, preservando la higiene.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Aislar el techo</li> <li>&gt; Generar corriente de aire, favoreciendo el ingreso de aire fresco y la evacuación del caliente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Reducción consumo eléctrico en un 5%</li> </ul>
Temperatura y renovación de aire en condensador	<p>Lograr reducir la menor temperatura del aire que ingresa al condensador y evacuar el aire caliente hacia el exterior.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Instalación exterior</li> <li>&gt; Sector con renovación de aire (corriente de aire permanente)</li> <li>&gt; Limpieza de pisos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Reducción 1-2% del consumo por cada 1°C de la temperatura máxima.</li> </ul>
Limpieza condensador	<p>Implementar rutina mensual de limpieza</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Utilizar cepillo adecuado</li> <li>&gt; Evitar exposición directa a polvo o impurezas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Reducción 5-15% del consumo frente a un equipo sucio y expuesto a suciedad.</li> </ul>

### 3. Posibilidades a nivel de bomba de vacío

#### 3.1 Dimensionamiento de la capacidad de la bomba de vacío.

La Norma ISO 5707 (2007) establece la capacidad volumétrica de la bomba de vacío (expresada en litros de aire libre por minuto a 50 kPa) considerando el número de unidades de ordeño, los consumos de los diferentes componentes del sistema, una pérdida de carga, los requerimientos de lavado CIP y una reserva efectiva. Estos requerimientos pueden estimarse a través de la ecuación  $250 + 60 \times n$ , siendo "n" el número de unidades de ordeño de la instalación.

Un incremento de la capacidad de la bomba por encima de estos valores, implica potencias y consumos energéticos injustificados.

#### 3.2 Tipo de bomba

Los tres tipos de bomba de vacío utilizadas generalmente en equipos de ordeño son: anillo líquido, lobular (desplazamiento positivo) y las rotativas a paletas (Figura 14).

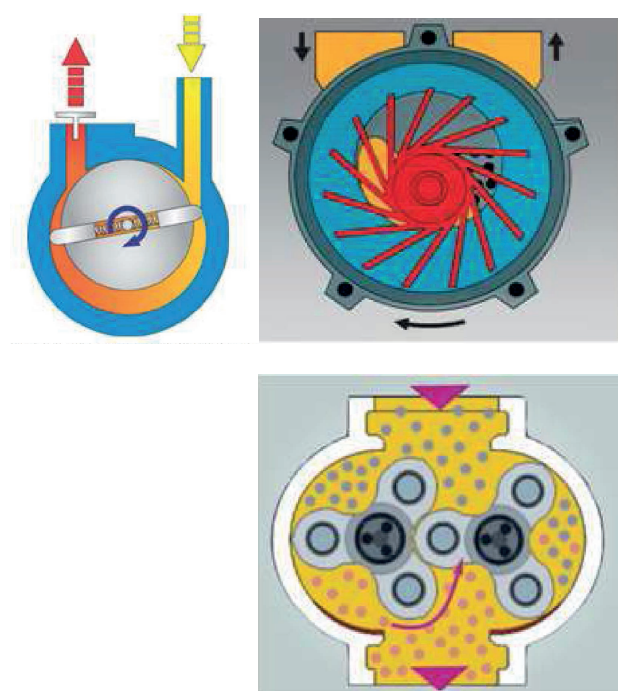


Figura 14. Bomba de vacío rotativa a paleta (superior izquierda), anillo líquido (superior derecha) y lobular (inferior).

Estudios (Morison et al., 2007) mostraron que la bomba rotativa resultó de mayor eficiencia energética (litros de aire por Kw consumido) que la de anillo líquido y la lobular 40% y 7,6%, respectivamente (Cuadro 3).

Las bombas de vacío instaladas, en casi todos los tambos argentinos, son las rotativas a paletas, es decir las de mayor eficiencia energética y menor consumo.

TIPO DE BOMBA	EFICIENCIA (litros de aire libre x kW)	Potencia para generar 4000 litros aire libre/min (kW)
Anillo líquido	300	13,3
Lobular	390	10,3
Rotativas a paletas	420	9,5

Cuadro 3. Eficiencia energética de diferentes tipos de bomba de vacío (Morison et al., 2007).

### 3.3 Controlador de velocidad variable de la bomba

La bomba de vacío funciona a una velocidad fija y tiene una capacidad volumétrica relativamente constante. El aire admitido es variable durante el desarrollo del ordeño. El regulador de vacío cumple la función de captar estas variaciones y compensarlas, manteniendo el nivel de vacío estable.

El mecanismo conocido como “controlador de frecuencia variable” está compuesto por un sensor, un regulador y un variador de frecuencia (Figura 15). Cuando el ingreso de aire al sistema bajo vacío es reducido o nulo, el equipo capta esta situación y actúa sobre el motor que acciona la bomba de vacío reduciendo

su velocidad y en consecuencia, la potencia requerida y el consumo eléctrico (Ludington et al., 2004). Cuando se producen ingresos de aire y los requerimientos de la bomba se incrementan, se ajusta nuevamente el régimen de revoluciones. Upton et al., (2010) realizaron mediciones de consumo de energía en tambos comerciales en Irlanda en los cuales las bombas de vacío estaban alternativamente instaladas con y sin variador de velocidad. El estudio concluyó que la instalación del equipo provocó una reducción anual del consumo eléctrico en un 60-70% y de las emisiones de gases con efecto invernadero en 6,2 tn CO<sub>2</sub>. Adicionalmente estimaron que, para las condiciones evaluadas en Irlanda, el productor recuperaría la inversión en 2,85 años



*Figura 15. Controladores de velocidad variable instalados en bomba de vacío.*



### Impactos/Metas:

En el **Cuadro 3** se presenta una síntesis de las economías de energía factibles de lograr a nivel de la bomba de vacío.

*Cuadro 3. Metas de eficiencia a través de la correcta instalación y mantenimiento del equipo de refrigeración de leche..*

INDICADOR	OBJETIVO	METAS
Capacidad bomba vacío	Ajustar capacidad a lo sugerido por la Norma IRAM.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Evitar consumos innecesarios de electricidad por sobre dimensionamiento.</li> </ul>
Tipo de bomba	Instalar preferentemente bombas rotativas a paletas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reducción del consumo entre 40 y 8% respecto de las bombas de anillo líquido y lobular, respectivamente</li> </ul>
Instalación del variador de velocidad	Instalar variador de velocidad. Analizar conveniencia económica entre costo del equipo y retorno por menor consumo eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reducción 60-70% del consumo eléctrico de la bomba de vacío.</li> </ul>

#### 4. Tipo de bomba

El tambo requiere frío para conservar la leche y calor para elevar la temperatura del agua para lograr una eficiente sanitización de las superficies en contacto con la leche (equipo de ordeño y tanque de refrigeración). El calentamiento del agua se realiza a través de termotanques y calderas. Estos funcionan utilizando energía eléctrica, gas, gasoil o leña.

Como fue mencionado inicialmente, en nuestro país lo más común es la utilización de termotanques a gas. Independientemente de la fuente, se puede realizar economía de energía. Esta doble demanda (frío y calor) posibilita recuperar calorías que se extraen de la leche y utilizarlas para calentar el agua. Es el principio de funcionamiento de los "recuperadores de

calor”, equipos que permiten una economía de 50-60% de energía para el calentamiento del agua (Loobuyck et al., 2012).

El consumo de agua caliente varía entre 0,20 y 0,40 litros? por litro de leche, dependiendo de las rutinas y, particularmente, del tamaño del tambo. A mayor escala, menor consumo por litro y a menor requerimiento de agua caliente por litro de leche, mayores serán las economías realizadas por el recuperador de calor.

### Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento del equipo de refrigeración de leche tipo “panza fría” fue desarrollado en el punto 2.- “Efecto de la instalación y mantenimiento del equipo de refrigeración de leche. La instalación del recuperador de calor entre el compresor y el condensador actúa como un “pre-condensador”. El fluido caliente cede parte de las calorías al agua. Las calorías residuales son finalmente eliminadas por el condensador.

Como el agua que capta inicialmente el calor es más fría que el aire situado en la zona de aspiración del condensador, el intercambio generalmente es mejor, permitiendo que el equipo funcione a presiones menores (menor consumo eléctrico del tanque y mayor vida útil). Consecuentemente, un recuperador correctamente dimensionado y ajustado su funcionamiento, tiene un impacto positivo sobre el trabajo del tanque de frío.

Estos sistemas recuperan aproximadamente el 25% de las calorías extraídas a la leche.

La instalación de un recuperador de calor debe ser realizada por un técnico con conocimiento en refrigeración puesto que hay que intervenir en el circuito frigorífico del tanque. La distancia entre el recuperador al tanque deberá ser la mínima posible (por costo, pérdidas de carga y posibles fugas).

Tanto el depósito de agua caliente como la canalización deberán aislarse térmicamente.

El instalador deberá dejar por escrito la nueva cantidad de fluido frigorífico requerido por el equipo de frío y recuperador.

### Diferentes tipos de recuperador

#### a) Recuperador a placas

El equipo está construido con placas de acero inoxidable entre las cuales circula el agua y el fluido frigorífico en contracorriente.

El fluido circula por acción del compresor del equipo de frío, mientras que el agua por una bomba ubicada antes del intercambiador. Dentro del circuito de agua se incluye un depósito. El agua fría ingresa por la parte inferior y la que pasó por el intercambiador ingresa por la parte superior (Figura 16).

La circulación del agua puede ser comandada por una válvula termostática, la cual se abre completamente cuando el agua alcanza la temperatura objetivo (50-55°C, por ejemplo).

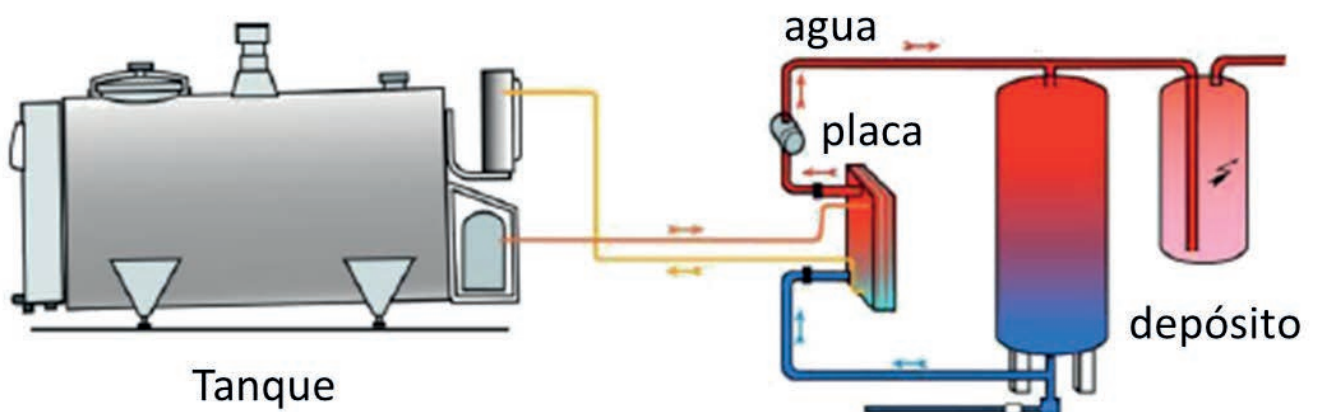


Figura 16. Principio de funcionamiento de un recuperador de calor a placa (Loobuyck y Corbet, 2011)

Como todos los sistemas intercambiadores a placas, su funcionamiento y eficiencia son muy sensibles a las incrustaciones y suciedad. Por este motivo, es necesario incorporar en la línea, filtro de agua y un ablandador de agua en el caso de disponer de agua con alta concentración salina.

Algunas marcas comerciales ya incorporan el recuperador de calor a placa en la fábrica (Figura 17), lo cual reduce el costo de instalación del sistema en el tambo. En estos casos, solo queda instalar el sistema de alimentación de agua.



Figura 17. Recuperador de calor a placa incorporado al equipo de frío desde la fábrica (Loobuyck y Corbet, 2011)



## b) Recuperador de calor interno

### Integrado a las paredes internas del depósito.

La base de un depósito tiene un intercambiador por donde circula el fluido frigorífico. El agua es calentada por intercambio directo con esta superficie y, una vez que se logró incrementar la temperatura, sube por convección.

En general, este depósito se ubica como paso previo a un termotanque (Figura 18), lugar donde se alcanza la temperatura deseada. Existen diseños comerciales en los cuales en la parte superior del depósito viene instalada una resistencia eléctrica que termina de calentar el agua. En argentina no se cuenta con registro de comercialización de este último diseño.

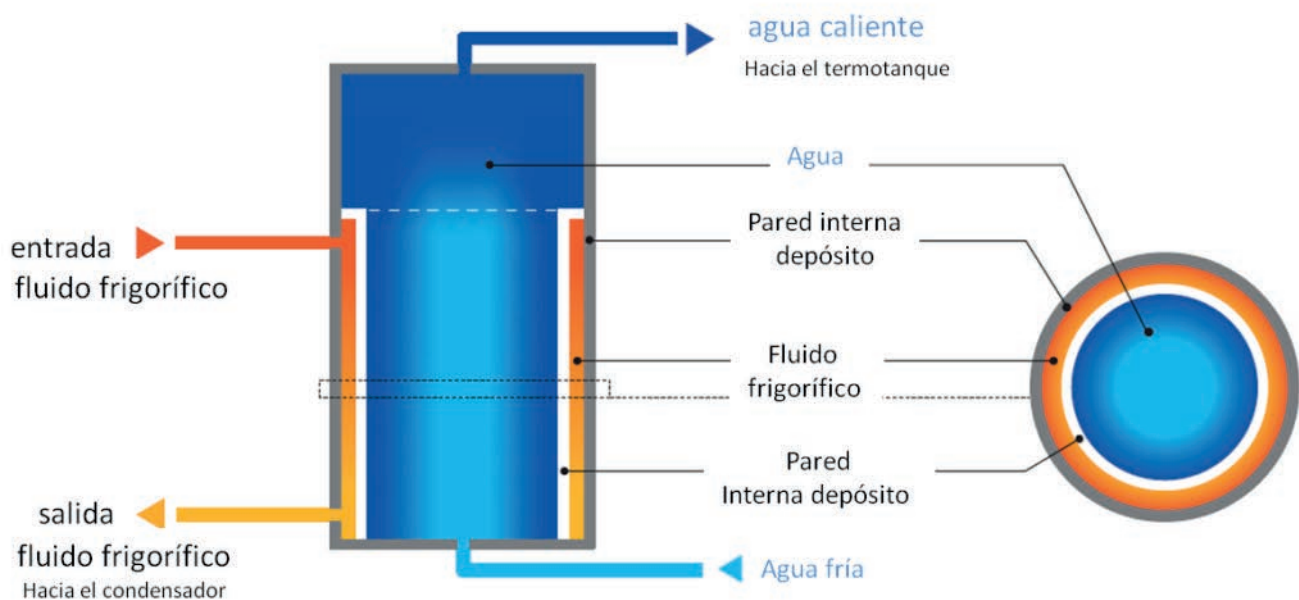


Figura 18. Esquema de recuperador de calor interno. Intercambio a través de las paredes del depósito (Loobuyck y Corbet, 2011).

### Tubular tipo serpentina

En este caso, una estructura tubular dispuesta en la base del depósito constituye una prolongación del circuito frigorífico del tanque. A través del contacto con el agua se produce el intercambio calórico (Figura 19). El agua caliente sube por convección natural.

En ambos casos y al final del ciclo de refrigeración, el agua podrá alcanzar una temperatura comprendida entre 45 y 65°C.

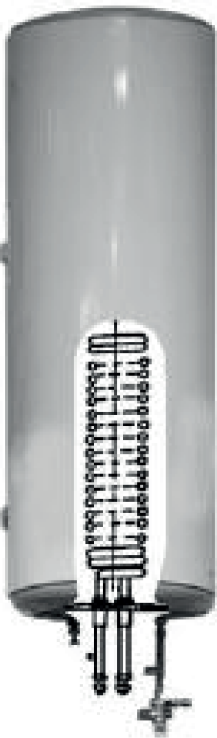


Figura 19. Recuperador de calor interno tipo serpentina (Loobuyck y Corbet, 2011).

## Impactos/metás

INDICADOR	OBJETIVO	METAS
Recuperador de calor	Instalar recuperador de calor integrado al equipo de refrigeración. Analizar conveniencia económica entre costo del equipo y retorno por menor consumo eléctrico.	➤ Reducción 50-60% del consumo energético para el calentamiento de agua para lavado.

Cuadro 4. Metas de eficiencia a través de la correcta instalación y mantenimiento del equipo de refrigeración de leche.

### 5. Iluminación

El consumo de electricidad asociado a la iluminación no supera, en la mayoría de los casos, el 1,5-2% del consumo total. Si bien es posible reducir estos valores instalando lámparas de bajo consumo, las economías factibles de realizar a través de esta vía son de bajo impacto sobre la facturación del tambo.

### 6. Autoevaluación

El productor puede realizar una evaluación del consumo de electricidad del sector del tambo.

Para este trabajo se requiere instalar un medidor independiente (afectado solo este sector), registrar por 3-6 meses los consumos y posteriormente comparar la lectura con los valores propuestos por Oleggini et al, (2015) (Cuadro 5). Dependiendo de esta comparación, se podrán definir las acciones a seguir, especialmente si los consumos eléctricos del tambo son elevados o muy elevados.

Cuadro 5. Valores de referencia de consumo eléctrico para establecer la situación del tambo.

Situación del tambo según el consumo eléctrico (kWh/1000 litros leche)				
Muy Económico	Económico	Medio	Elevado	Muy elevado
< 20	20-29	30-39	40-60	>60

## 7. Tecnologías disponibles para generar energía en los tambos

La matriz energética argentina se caracteriza por una alta utilización de combustibles fósiles (88%), con una fuerte participación del gas natural (54%) y el petróleo (33%). La participación de otras fuentes de energía es mucho menor (biodiésel o bioetanol 3%, hidráulica 4%, nuclear 2%, leña y bagazo 2%) (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, 2011).

Frente a esta situación y ante la necesidad diversificar esta matriz energética, se mencionan brevemente algunas tecnologías hoy disponibles comercialmente basadas en energías renovables, bajas en emisiones de GEI y que son factibles de ser utilizadas en el tambo.

- > Energía solar térmica para calentamiento de agua
- > Energía solar fotovoltaica para generación de energía eléctrica para bombeo de agua, boyero eléctrico, iluminación.
- > Generación eólica de energía eléctrica para autoconsumo.
- > Generación de biogás a través de la digestión de efluentes y/o co-digestión de éstos con otros sustratos biomásicos.

## 8. Consideraciones finales

El consumo de energía incrementó sustancialmente su participación dentro de los costos de producción de leche.

El documento muestra que es posible realizar importantes ahorros en el consumo de energía eléctrica a nivel de las instalaciones de ordeño. Dependiendo de la situación de partida, la adopción de prácticas y la incorporación de equipos específicos pueden representar una reducción de más del 50% del consumo eléctrico.

En todos los casos, estas adopciones impactan además positivamente sobre alguno de estos parámetros: calidad de la leche, emisiones de GEI, vida útil de equipos, reducción de ruidos, riesgos laborales.

El documento brinda la información necesaria para que el productor junto a su equipo pueda estimar la conveniencia económica de incorporar estas tecnologías. Solo debe procurar obtener el costo de las inversiones.

Existen innovaciones que permiten generar energía en el tambo utilizando fuentes renovables. Es importante que los productores se interioricen sobre estas tecnologías, sus costos y las consecuencias de uso de las mismas a futuro. Se abren posibilidades concretas de generación de valor por esta vía, tanto de manera individual como colectiva.

# Glosario

**Kilovatios (kW):** unidad de potencia instantánea que requiere un equipo o la producida (en el caso de un generador).

**kWh:** unidad de consumo de energía acumulado o producido durante un período de una hora.

**Eficiencia del equipo:** relación entre la energía que ingresa y la energía que sale. Se expresa como un porcentaje, siempre inferior al 100%.

**Índice de utilización de la energía:** indicador de eficiencia energética y se expresa en kWh por vaca/año o kWh por cada 1000 litros de leche producida.

# Bibliografía

**BEGUIN, E., BONNET J., DOLLE JB., CHARROIN T., FERRAND M.:** *“Les différents postes de consommation en énergie et les pistes d'économie en élevage bovin laitier”*. Renc. Rech. Ruminants, 2008, 15, 217-220. (2008).

**CONNECTICUT FARM ENERGY PROGRAM:** 64 pag. (2010).

[www.CTFarmEnergy.org](http://www.CTFarmEnergy.org)

**CORSCADDEN K.:** *On farm energy audits, conservation, efficiency and best practice. Prince Edward Island, Canada. Farm Energy Conference. 2012.*

**CORSCADDEN K.:** *Energy efficient technology selection for dairy farms: Milking cooling and electrical water heating. Applied engineering agriculture. 9 pag. 2014.*

<https://www.researchgate.net/publication/263992197>

**GIE LAIT-VIANDE DE BRETAGNE - INSTITUT DE L'ELEVAGE,:** 2010

*Dairy Australia (2013). Saving energy on dairy farms (2013).* Publicado por Dairy Australia Limited. ISBN 978-0-9871000-5-4, 24 pag.

**DAIRYCO.:** 12 pag. Dépôt légal 3e trimestre 2010 – ISBN 978-2-84148-947-3 –

Référence IE 001031025 (2009)

[www.dairyco.org.uk](http://www.dairyco.org.uk).

**DUFRESNOY, B.:** *Chambre d'Agriculture de Haute-Marne.* 4 pag. (2015).

**EDENS, W. C., PORDESIMO, L. O., WILHELM, L. R., & BURNS, R. T.:** *Energy use analysis of major milking center components at a dairy experiment station. Applied Eng. in Agric., 19(6), 711- 716. (2013).*

[doi:http://dx.doi.org/10.13031/2013.15659](http://dx.doi.org/10.13031/2013.15659)

**EUROPEAN DAIRY ENERGY WEBSITE.:** (2016).

<http://clairenergy.eu/>

**GEA.:** *Farm Technologies.* (2009)

**GAUDIOSO, R.:** *Estudio técnico oportunidades para promover medidas de mejora en la eficiencia energética y uso de energías renovables en pequeños y medianos establecimientos lecheros del Uruguay. Fondo Multilateral de Inversiones. Grupo BID. FOMIN – URM1041.38 pag. (2011)*

**GIE LAIT-VIANDE DE BRETAGNE - INSTITUT DE L'ELEVAGE.:** Dépôt légal 3e trimestre 2010 – ISBN 978-2-84148-947-3 – Référence IE 001031025. © Tous droits réservés au GIE Lait-Viande de Bretagne et à l'Institut de l'Élevage. 2010.

**INNOVATION CENTER FOR US DAIRY.:** 2016.

[www.usdairy.com/pages/home.aspx](http://www.usdairy.com/pages/home.aspx)

**INSTITUT DE L'ELEVAGE.:** *Le stockage et la conservation du lait en exploitation. Collection l'Essentiel.* 12 pag. Ref. 001231008/ISBN 978-2-36343-230-8. 2012

**INSTITUT DE L'ELEVAGE.:** *Les consommations d'énergie dans les systèmes bovins laitiers - Repères de consommation et postes d'économie, collection « synthèse réseaux d'élevage », 32 p. (2008).*

**KAKNAROGLU, H.:** *Cultural energy analysis of dairy cattle receiving different concentrate levels. Energy Conv. Manag.* 51: 955-8. 2010

**KURT J. LESKER CO LTD.:** *Rotary Vane Pumps.* (2009).

**LOOBUYCK M. Y CORBET, V.:** *Réduire la consommation électrique du chauffe-eau. GIE Lait-Viande de Bretagne – Institut de l'Élevage Dépôt légal 3e trimestre.* ISBN 978-2-36343-121-9 – Référence IE 001131020. Tous droits réservés au GIE Lait-Viande de Bretagne et à l'Institut de l'Élevage. 8 pag. 2011.

**LOOBUYCK M., WILLAME C., BAZANTAY F., CORBET, V.:** *Economies d'énergie dans le refroidissement du lait à la ferme. Revue Generale du Froid et du conditionnement d'air.* Avril 2012, pag 39-44. (2012)

**LOOBUYCK M., PRÉVOST, MC.:** *Réduire la consommation électrique du tank. GIE Lait-Viande de Bretagne – Institut de l'Élevage, 2010.* ISBN 978-2-84148-947-3 – Référence IE 001031025. 8 pag. (2010).

**NORMA ISO 5707.:** *Milking Machine Installations – Mechanical test.* (2007).

**LUDINGTON, D., JOHNSON, E., KOWALSKI, J., MAGEM, A. Y PETERSON, R.:** *Dairy Farm Energy Efficiency Guide*. Ithaca, NY: DLTech, Inc. (2004).

**LOOBUYCK M., PRÉVOST, MC., CORBET, V., MÉNARD, JL., ROSAT, O.:** *Reduire la consommation de electricite du tank*. ISBN 978-2-84148-947-3 – Référence IE 001031025. Ed. GIE Lait-Viande de Bretagne et à l'Institut de l'Elevage. (2010).

**MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PRODUCTIVA.:** *Sector Energía. Temáticas y líneas prioritarias de bioenergía*. 62 pag. (2011).

**MORIN, C.:** *Consommation d'énergie en élevages herbivores*. Institut de l'Elevage. Agriculture et Territoires, EDEME Collection Méthodes et Outils, 92 p. (2011).

**MORISON, K., GREGORY, W., MACKENZIE, D. CALDWELL, S.:** *Improving Dairy Shed Energy Efficiency*. (2007). In: [www.cowshed.org.nz](http://www.cowshed.org.nz). 28 pag. ISBN: 978-0-908993-43-7

**OLEGGINI, G.:** *"Eficiencia Energética y Uso de Energías Renovables en Establecimientos Lecheros"*. Presentación FEPAL Congreso Puerto Varas - Chile. 2016.

**OLEGGINI, G., ARISMENDI, F., DARSCH P.:** *Proyecto Tambo y Energía. Eficiencia Energética y Energías Renovables*. 2015.  
In: [www.energia.eleche.com.uy](http://www.energia.eleche.com.uy). 8 pag.

**PICARD, S.:** *Le stockage et la conservation du lait en exploitation*. Collection L'Essentiel. Institut de Elevage Ref. 001231008.12 pag. 2012.

**PICARD, S.:** *Le stockage et la conservation du lait en exploitation*. Collection L'Essentiel. Institut de Elevage Ref. 001231008.12 pag. 2012.

**PRESSMAN, A.:** *Dairy Farm Energy Efficiency*. NCAT Agriculture National Sustainable Agriculture Information Service • 1-800-346-9140 •  
[www.attra.ncat.org](http://www.attra.ncat.org). 16 pag. (2010)



**SEFEEDPARI P.:** *Assessment and Optimization of Energy Consumption in Dairy Farm: Energy Efficiency. Iranica Journal of Energy & Environment* 3 (3): 213-224. Septiembre 2010 -

Création : Art terre (2012).

**TAVERNA, M., CHARLON V., PANIGATTI C., CASTILLO A., SERRANO, P., GIORDANO, J.:** *Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño.* Ediciones INTA. ISBN 987-521-121-4, 75 pág. (2004).

**UPTON, J., MURPHY, M., FRENC, P & DILLON, P.:** *Dairy Farm Energy Consumption. In: Teagasc National Dairy Conference 2010.* 11 pag. (2010).

URL:<http://www.gea-farmtechnologies.com/uk/en/default.aspx>.

URL:[http://www.lesker.com/newweb/Vacuum\\_Pumps/vacuumpumps\\_technicalnotes\\_1.cfm](http://www.lesker.com/newweb/Vacuum_Pumps/vacuumpumps_technicalnotes_1.cfm).

El consumo energético es un tema de creciente análisis, estudio, auditorias e implementación de planes de mejora a nivel de los tambos. El incremento de los costos de producción, la variabilidad de los precios, la necesidad de reducir las emisiones de gases con efecto invernadero, explican en gran medida este interés. Por otra parte, aparecen equipos más eficientes, la posibilidad de producir energía utilizando fuentes renovables, avances que plantean desafíos técnico-económicos que resulta necesario analizar y evaluar. Para los productores argentinos, a este contexto general se debe adicionar el aumento de la tarifa eléctrica y del precio de los combustibles, rubros que adquieren relevancia.

El consumo de kWh por litro de leche producido y/o por vaca define la eficiencia energética eléctrica de un tambo. Muchos de los diagnósticos realizados a nivel internacional muestran una alta variabilidad de estos índices entre tambos: de 160 hasta 920 kWh por vaca o de 30 hasta 120 kWh por cada 1000 litros de leche. La amplitud de estos rangos demuestra y abre claramente posibilidades concretas de trabajo y mejoras.

El objetivo de esta publicación es inicialmente describir y cuantificar el origen de los consumos de electricidad en el tambo. En una segunda parte, se proponen estrategias para lograr economizar el consumo eléctrico. Finalmente, se citan algunos ejemplos de utilización de energías renovables.

Dada la limitada disponibilidad de estudios nacionales sobre este tema, el desarrollo de la publicación se realiza con información y adaptación de fuentes bibliográficas internacionales.

ISBN



Ministerio de Agroindustria  
Preidencia de la Nación