

# Tema 5. Refrigeración de la leche

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.

La eficacia del enfriamiento para mantener la calidad de la leche depende de varios factores que estudiamos seguidamente:

1. *Temperatura de conservación*
2. *Período de almacenamiento*
3. *Contaminación inicial*
4. *Velocidad de enfriamiento*

## 1. Temperatura de conservación

Enfriar la leche a una temperatura entre 3 y 4° C retarda el crecimiento de los gérmenes tal y como se puede observar en el Cuadro 1. Actualmente se recomienda en la mayoría de los países una temperatura de conservación de la leche de 4° C como la más eficaz para controlar el crecimiento bacteriano. Una temperatura inferior a 3° C puede dar lugar a fenómenos de congelación que deben ser evitados, pues pueden alterar la composición y calidad de la leche.

**Cuadro 1.** Influencia de la temperatura de conservación en el crecimiento bacteriano en leche cruda almacenada en granja. (Davies, 1955, tomado de Ponce de León, 1993)

Leche almacenada durante 24 h. a una temperatura de: (en °C)	Bacterias/ml
0	2.400
4	2.500
5	2.600
6	3.100
10	11.600
13	18.800
16	180.000
20	450.000
30	1.400.000.000
35	25.000.000.000

Es interesante analizar el período de tiempo que la leche realmente permanece en la granja desde que se ordeña hasta que es recogida por la central lechera. En la figura 1 se ha reflejado el número de horas que la leche de cada ordeño está en la granja, suponiendo una explotación con la recogida cada dos días, a las 11 de la mañana, y ordeños a las 7 de la mañana y 4 de la tarde.

Se puede comprobar que sólo aproximadamente un 20% del volumen total de leche (primer ordeño, que corresponde al de la tarde) va a estar almacenada durante un período de más de 40 horas y que un 50% lo estará menos de 20 horas.

Otro hecho que merece la pena estudiar es el efecto que la incorporación de la leche de los siguientes ordeños tiene sobre la temperatura de conservación de la leche.

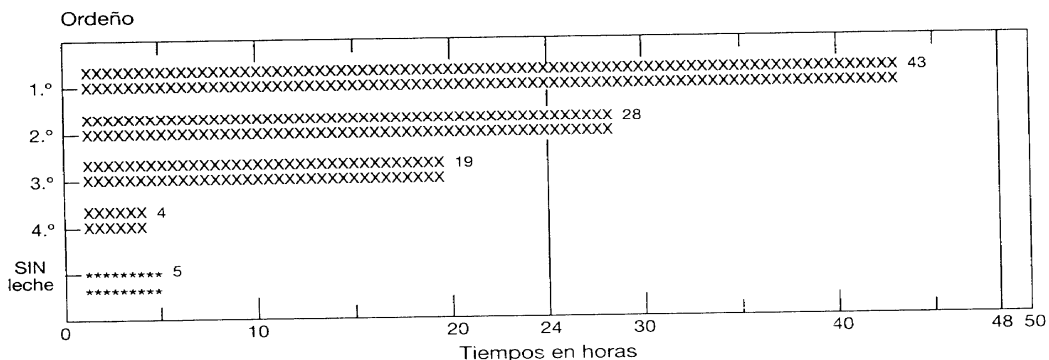
Durante el 2º ordeño se incorpora la leche a 35° C, que se mezcla con la que ya está fría en el tanque; esta incorporación se realiza mientras dura el ordeño (normalmente, entre 1 y 2 horas) y con el tanque funcionando, obteniéndose una curva de temperaturas similar a la representada en la figura 2. Se puede comprobar que la temperatura de la leche no llega a sobrepasar los 10° C, si el tanque refrigerante tiene la capacidad frigorífica adecuada. En consecuencia, la leche ya almacenada eleva su temperatura, sin superar los 10° C, durante un tiempo no superior a 3 horas, lo que es perjudicial, pero a la vez se está consiguiendo un enfriamiento prácticamente instantáneo de la leche del 2º ordeño, que pasa de 35° C a una temperatura inferior a 10° C, lo que es muy favorable para su conservación.

En el caso del 3º y 4º ordeños la situación es aún más favorable, pues el enfriamiento de la leche que se incorpora lo es a temperaturas más bajas. La temperatura media en el intervalo entre ordeños no debería subir por encima de 5° C, y en ningún punto del volumen de leche se debería llegar a más de 9° C; esto se consigue con un aislamiento eficaz del tanque, el uso de la agitación periódica de la leche y la puesta en funcionamiento del sistema de enfriamiento mediante un termostato cuando la temperatura sube de un nivel prefijado.

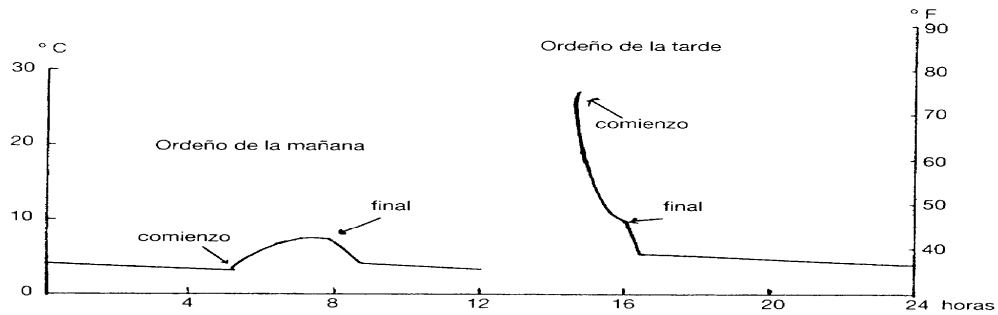
**Figura 1.** Duración del período de almacenamiento de la leche, según el número de ordeños en una granja con la recogida cada dos días. (Alonso, 1996)

Ordeños: 7.00 y 16.00 horas  
 Recogida: 11.00 horas

Ordeños = XXXX  
 Sin leche = \*\*\*\*\*



**Figura 2.** Curva de la temperatura de la leche en un tanque refrigerante, durante un ciclo de 24 horas. (NIRD, 1977, tomado de Alonso, 1996).

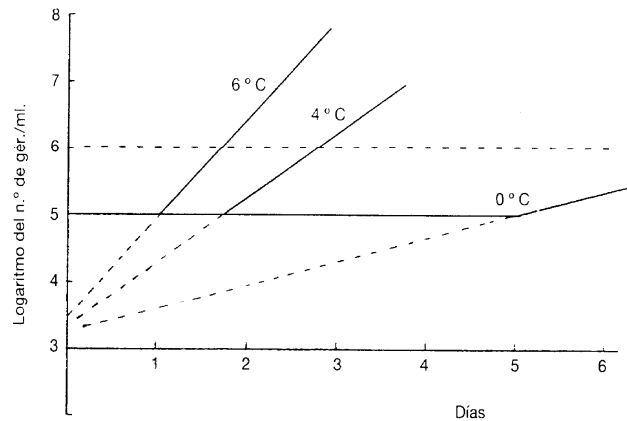


## 2. Duración del almacenamiento

Independientemente de la temperatura a que se conserve la leche, cuanto más largo es el período de almacenamiento mayor es el crecimiento bacteriano. Este hecho se puede comprobar prácticamente en la figura 3.

Los ganaderos con recogida cada dos días deben tener bien presente que cualquier temperatura de conservación por encima de 5 °C puede ser la causa de no obtener una buena calidad bacteriológica de la leche en el momento de la recogida.

**Figura 3.** Evolución del contenido de gérmenes en la leche en función de la temperatura de conservación y del período de almacenamiento. (Luquet, 1985, tomado de Alonso, 1996)



### 3. Contaminación inicial

El número de gérmenes que ya están presentes en la leche cuando empieza el enfriamiento es un factor que tiene gran importancia para obtener buenos resultados (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Evolución del contenido de gérmenes en la leche durante un período de almacenamiento de 72 horas, en función de la contaminación inicial y de la temperatura de conservación. (Argente, 1984)

Condiciones de producción	Tª de almacenaje (° C)	Recién ordeñada	Recuento estándar por ml después de:		
			24 h	48 h	72 h
Vacas y equipos de ordeño limpios	4,4	4.295	4.138	4.566	8.427
	10	4.295	13.961	127.727	5.725.277
	15,5	4.295	1.587.333	33.011.111	326.500.000
Vacas y equipos de ordeño poco limpios	4,4	136.533	281.646	538.775	749.030
	10	136.533	1.170.546	13.662.115	25.687.541
	15,5	136.533	24.673.571	639.884.615	2.407.033.333

Lo expuesto demuestra que para obtener leche de buena calidad bacteriológica no basta con enfriarla y mantenerla fría, sino que también hay que realizar todo el proceso del ordeño y el almacenamiento con una higiene rigurosa, por lo que los malos resultados no son necesariamente debidos a un mal funcionamiento del tanque refrigerante.

### 4. Velocidad de enfriamiento

La velocidad del enfriamiento inicial de la leche es otro de los factores que influyen en el número total de gérmenes, ya que no es lo mismo un enfriamiento prácticamente instantáneo que uno de mayor duración (Cuadro 3)

**Cuadro 3.** Evolución del contenido de gérmenes en la leche durante un período de 48 horas con una temperatura de 4° C, en función de la contaminación inicial y de la velocidad de enfriamiento. (Luquet, 1985; tomado de Alonso, 1996).

Contaminación inicial (gérmenes/ml)	25.000		75.000		125.000	
	24 h	48 h	24 h.	48 h.	24 h.	48 h
Enfriamiento instantáneo	22.000	23.500	79.500	87.750	132.500	188.250
Enfriamiento en 3 horas	23.000	25.500	87.000	101.250	212.500	496.250
Enfriamiento en 5 horas	25.250	30.200	115.500	237.750	273.400	613.800

Durante unas dos horas después del ordeño el crecimiento de las bacterias es muy lento (fase bacteriostática), para ir posteriormente aumentando de forma rápida. Por ello, hay que aprovechar este período para enfriar la leche hasta la temperatura de conservación.

## 5. Equipo para el enfriamiento de la leche

### 5.1. El tanque refrigerante

El tanque refrigerante es el sistema que se utiliza en la mayoría de las granjas para enfriar y almacenar la leche. Estos tanques están formados principalmente por una cuba de acero inoxidable, forrada de aislamiento térmico, con el evaporador directamente acoplado al fondo, y un equipo frigorífico con sus correspondientes controles y automatismos. Teniendo en cuenta la duración del almacenamiento, la cual va a condicionar su potencia frigorífica, los tanques se dividen en:

- Tanques de dos ordeños
- Tanques de cuatro ordeños

Un **tanque de dos ordeños** es el que está destinado a ser utilizado cuando hay recogida diaria y por ello debe enfriar y almacenar la leche obtenida en dos ordeños. Está diseñado para enfriar en menos de 3 horas y conservar en cada ordeño una cantidad de leche igual a la mitad de su volumen nominal<sup>1</sup>

Un **tanque de cuatro ordeños** es el que está destinado a ser utilizado cuando hay recogida cada dos días y, por ello, debe enfriar y almacenar la leche obtenida en cuatro ordeños consecutivos. Debe ser capaz de enfriar y conservar en cada ordeño una cantidad de leche igual a la cuarta parte de su volumen nominal.

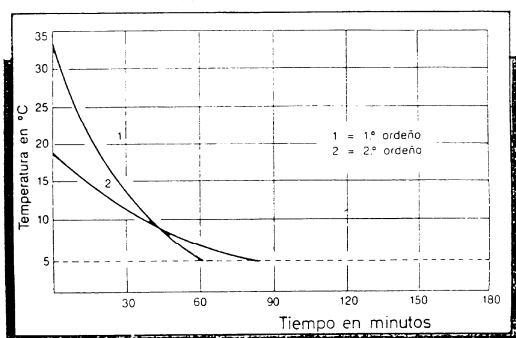
A igualdad de capacidad, un tanque de dos ordeños necesita un equipo con el doble de rendimiento frigorífico que el de cuatro ordeños; por ello, el primero es un 30-40% más caro que el segundo, a igualdad de capacidad.

En las figuras 4 y 5 se han representado las curvas de enfriamiento de un tanque de 2 ordeños y uno de 4 ordeños, obtenidas en laboratorio (todo el volumen de cada ordeño se incorpora a 35° C en un tiempo de 10 minutos). Hay que resaltar que en los gráficos se puede ver que todos los ordeños se enfrían en menos de 3 horas, y que el ordeño que tarda más tiempo en alcanzar los 4° C es siempre el último (2° ó 4°, según sea el caso).

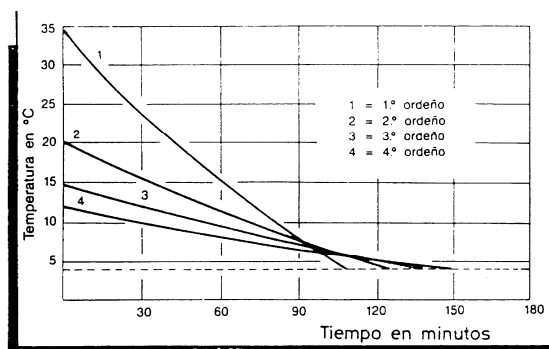
---

<sup>1</sup> **Volumen nominal:** Es la capacidad realmente útil del tanque, declarada por el fabricante y que tiene en consideración la capacidad frigorífica del tanque en cuanto a la velocidad de enfriamiento, así como el nivel máximo que se puede alcanzar para que el funcionamiento del agitador no derrame la leche.

**Figura 4.** Curvas de enfriamiento de un tanque de dos ordeños. (Ponce de León, 1992)

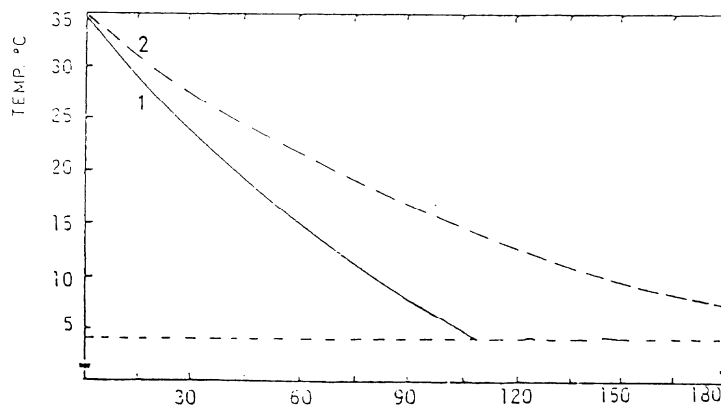


**Figura 5.** Curvas de enfriamiento de un tanque de cuatro ordeños. (Ponce de León, 1992)



En cada explotación se debe elegir el tipo de tanque que corresponda a la situación de recogida de leche. No es aceptable en ningún caso utilizar un tanque de 4 ordeños - porque es más barato-, en una explotación con la recogida diaria, pues tardará en enfriar la leche de un ordeño bastante más que el correspondiente tanque de dos ordeños (figura 6), con los problemas que para la calidad bacteriológica de la leche ello puede suponer.

**Figura 6.** Comparación de las curvas de enfriamiento del 1º ordeño en un tanque de 4 ordeños, cuando se utiliza correctamente con  $\frac{1}{4}$  de su volumen nominal (1) (recogida cada 2 días) o cuando se aporta  $\frac{1}{2}$  del volumen nominal (2) (recogida diaria) y se está utilizando inadecuadamente. (Ponce de León, 1992).



### 5.1.1 Otras características de los tanques frigoríficos

Existen una serie de elementos y características de los tanques frigoríficos que, por su importancia, se podrían denominar críticos, puesto que de ellos depende en gran medida que se conserve o se deteriore la calidad de la leche que se almacena y conserva en ellos. Entre ellos se pueden citar:

- *Construcción y pulido interior de la cuba*
- *Agitador*
- *Capacidad del equipo frigorífico y temperatura de evaporación*
- *Aislamiento térmico*

La **construcción y pulido interior** de la cuba tiene gran importancia desde el punto de vista de la higiene, puesto que ésta depende en gran parte de las posibilidades que ofrezca el tanque para su lavado y desinfección. Por esta razón, la cuba no debe presentar ángulos ni rincones de difícil acceso a las soluciones de lavado y a los cepillos, -en caso de lavado manual-, y debe estar perfectamente pulida sin presentar poros o grietas donde puedan formarse colonias que indefectiblemente contaminarán la leche.

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

- *Evitar la formación de hielo en la leche*
- *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 contenida 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 las membranas de los glóbulos de la grasa, que queda en libertad, aumentando el riesgo de lipólisis.

Sobre la capacidad del equipo frigorífico en cuanto a la velocidad de enfriamiento de la leche que debe alcanzar, ya hemos hablado extensamente en un punto anterior. No obstante, no sólo hay que tener en cuenta la potencia del compresor, dato que en muchas ocasiones se toma como único parámetro para evaluarla, sino que hay que tener en cuenta que un equipo es un conjunto de tres elementos: *compresor, evaporador y condensador*, que son los que realmente influyen y condicionan la capacidad del equipo.

Si estos tres elementos no están perfectamente equilibrados y acoplados entre sí, se puede dar el caso, como ocurre frecuentemente, que el período de enfriamiento sea excesivamente largo o de que la temperatura de evaporación del agente refrigerante sea excesivamente baja.

Si esto último sucede, las superficies del evaporador que están en contacto con la leche pueden llegar a estar a varios grados bajo cero, fenómeno que se produce en tanques mal diseñados, formándose hielo en las capas inferiores de la leche que están en contacto con el evaporador. En estos casos hay destrucción de caseínas y rotura de la membrana de los glóbulos grasos, con las consecuencias que ya conocemos.

Finalmente, el **aislamiento** es otro elemento de gran importancia porque de él dependen las pérdidas de frío que se produzcan, que afectan al tiempo de funcionamiento del equipo frigorífico durante el enfriamiento y conservación de la leche. Si el aislamiento no es correcto, las pérdidas serán excesivas, prolongándose en la misma medida los tiempos de enfriamiento, con los inconvenientes apuntados, además

de que durante el período de conservación habrá demasiadas fluctuaciones de la temperatura de la leche, que obliga a que funcione el equipo con demasiada frecuencia.

Tanto en estos casos como en los que se sobredimensionan los compresores por defecto de capacidad de los evaporadores, se produce un funcionamiento excesivamente prolongado de los equipos frigoríficos, con un considerable aumento en el consumo de energía eléctrica.

## **5.2. Pre-refrigeración**

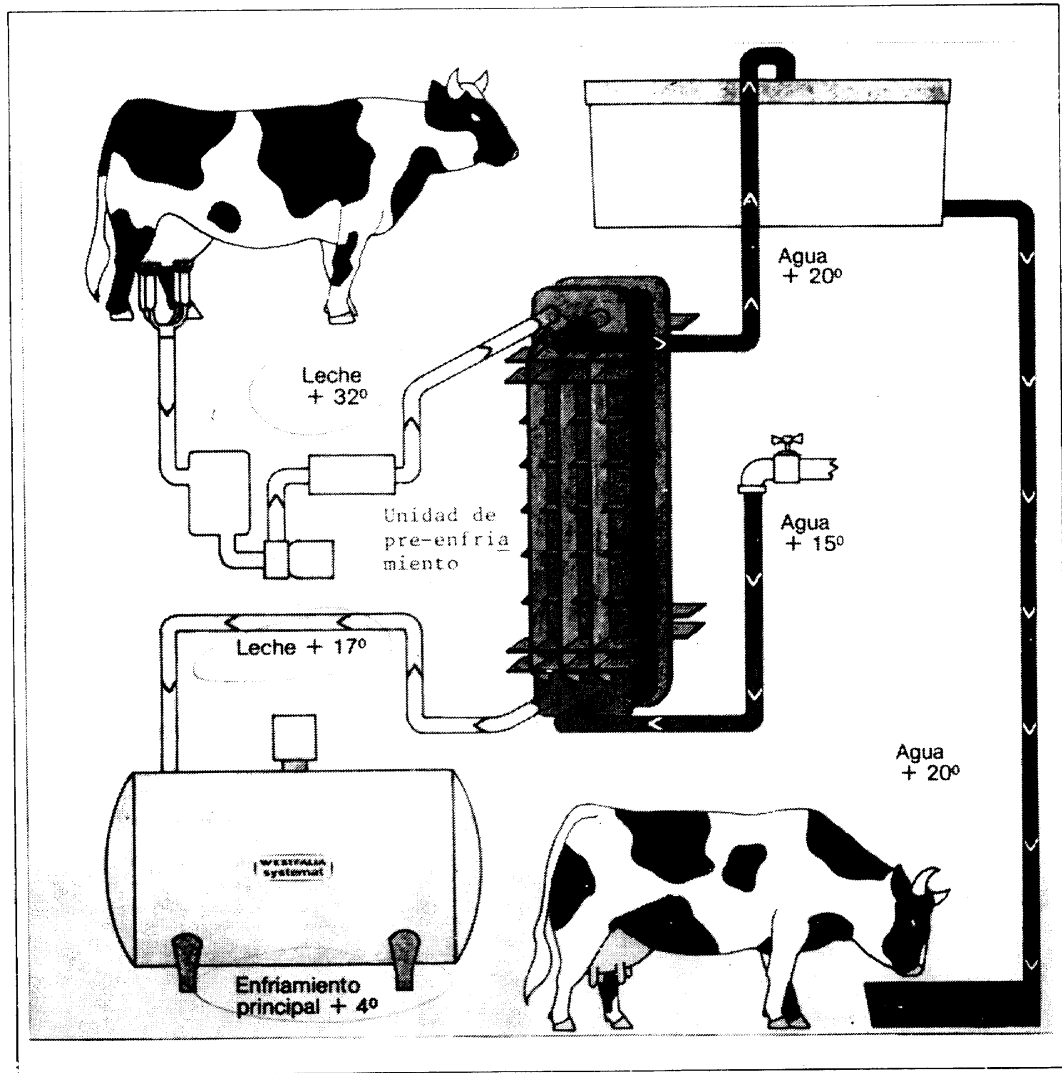
Dada la importancia que tiene la velocidad de enfriamiento conviene estudiar el caso que se presenta frecuentemente en las explotaciones, de un tanque que tarda más de lo aconsejado en enfriar la leche. Este caso puede corresponder a los tanques diseñados para enfriar con una temperatura ambiente de 25 °C (antigua normativa de muchos países europeos) y que están funcionando en lecherías con temperaturas más elevadas, situación muy frecuente durante el verano en España.

En estos casos, puede ser interesante la instalación de un intercambiador (tubular o de placas) que enfrían la leche con agua corriente antes de introducirla en el tanque, consiguiéndose una temperatura de la leche unos 3-4°C de la del agua utilizada como refrigerante. Ello supone al tanque ahorrar el coste de la energía necesaria para pasar de 35° a los 15-18°C que obtenemos con el refrigerador de paso (figura 7), además de reducir el tiempo preciso para alcanzar la temperatura de conservación (figura 8).

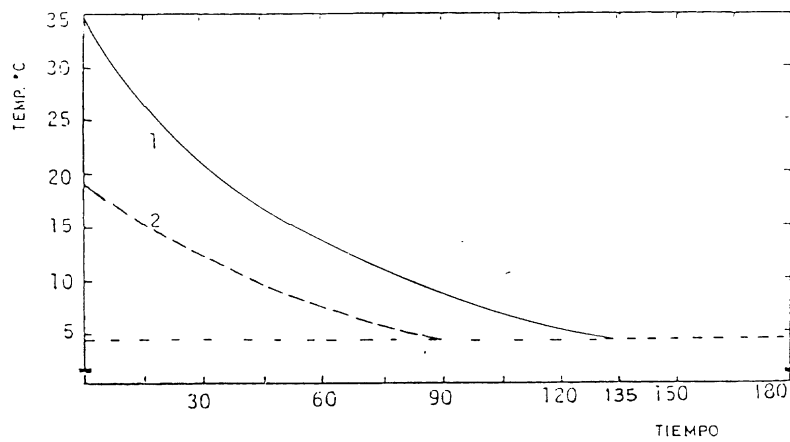
No obstante, a la hora de decidir si se instala un intercambiador de placas para el pre-enfriamiento de la leche, hay que considerar el precio del agua corriente a utilizar (2,5 volúmenes de agua por cada volumen de leche) y la posible reutilización de este agua más caliente, amén de tener en cuenta que es un dispositivo que también hay que limpiar y que no siempre resulta fácil hacerlo por circulación. En zonas de aguas duras, los depósitos calcáreos entre las placas por las que circula el agua puede reducir rápidamente la eficacia de este elemento.



**Figura 7.** Esquema de un proceso de pre-enfriamiento



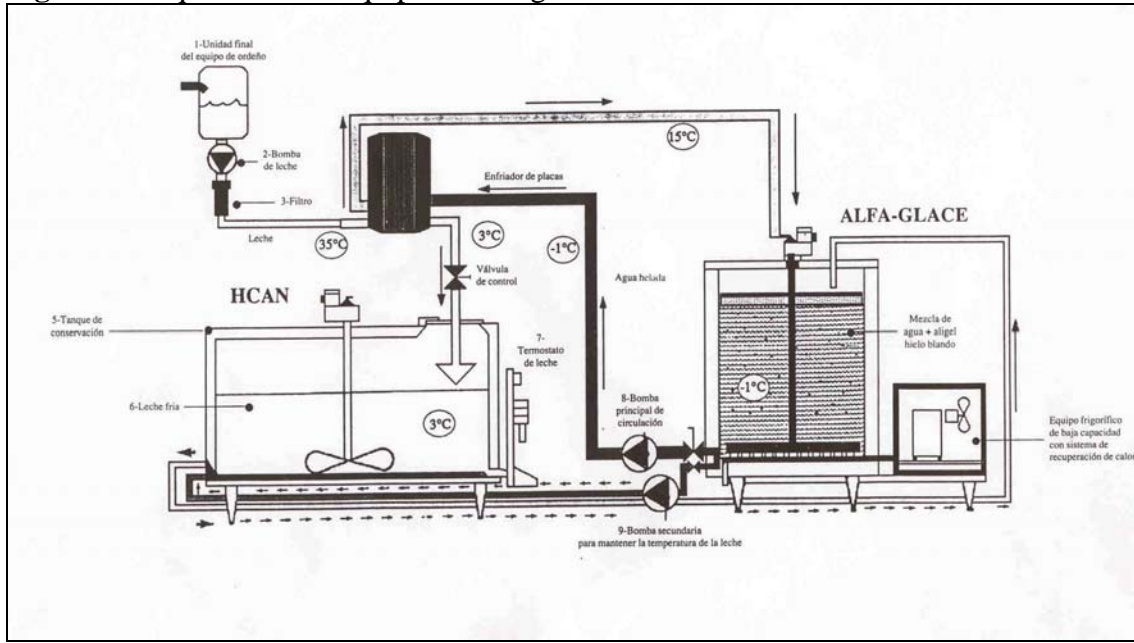
**Figura 8.** Comparación de las curvas de enfriamiento del 1º ordeño en un tanque con (2) o sin pre-enfriamiento (1) bajando la temperatura de la leche de  $35^{\circ}\text{C}$  a  $18^{\circ}\text{C}$ .



### 5.3. Sistema de enfriamiento instantáneo

Los sistemas de enfriamiento instantáneo se caracterizan por producir un enfriamiento rapidísimo de la leche, con tiempos que se sitúan en el entorno de 1 minuto, y están constituidos principalmente por (figura 9):

**Figura 9.** Esquema de un equipo de refrigeración instantánea



- *Un equipo acumulador de hielo*
- *Un intercambiador de calor de placas para enfriamiento de la leche*
- *Uno o varios tanques isotermos*

A pesar de sus indudables ventajas en lo que se refiere a velocidad de enfriamiento, este sistema ha presentado, tradicionalmente, tres inconvenientes principales

1. Bajo rendimiento del equipo frigorífico debido al efecto aislante producido por el hielo depositado sobre el serpentín evaporador
2. Dificultad para mantener la temperatura de conservación de la leche durante períodos de almacenamiento en la granja superiores a 24 horas, a pesar de que los tanques isotermos estuvieran bien aislados.
3. Baja velocidad en la fusión del hielo, que limita la capacidad de enfriamiento de la leche u obliga a utilizar equipos acumuladores de grandes dimensiones para aumentar la superficie de contacto entre el hielo y el agua.

Estos inconvenientes están prácticamente solucionados actualmente con los modernos equipos de acumulación de hielo blando que producen hielo finamente granulado, que no queda adherido a la superficie del evaporador, con lo que se mantiene constante la eficiencia del equipo frigorífico, eliminando el problema que se produce en los equipos tradicionales debido al efecto aislante del hielo.

La velocidad de fusión del hielo se incrementa considerablemente por la gran superficie de contacto que presentan los granos de hielo con el agua contenida en el recipiente.

Finalmente, también se ha resuelto el problema de mantenimiento de la temperatura de conservación, utilizando tanques isotermos similares a los frigoríficos que tienen una cámara en el fondo por donde circula agua helada, mediante una bomba gobernada termostáticamente, en caso de elevación de la temperatura de la leche.