

# Control del sistema de lavado de la máquina de ordeño

## Introducción

El objetivo de cualquier explotación lechera es obtener la mayor cantidad de leche, con el mínimo coste y la máxima calidad posibles. Para alcanzar los parámetros cuantitativos y cualitativos de calidad de leche es preciso tener en cuenta numerosos aspectos de la producción: Genética, alimentación, higiene de los alojamientos, higiene del ordeño e higiene de la instalación de ordeño, entre otros.

Todos sabemos que el equipo de ordeño debe lavarse después de cada ordeño de las vacas, es decir, dos o tres veces todos los días. Pero, ¿nos hemos preguntado si estamos lavando bien el equipo? ¿Nuestro lavado es eficaz (conseguimos los objetivos)? ¿Es eficiente (cuántos recursos utilizamos para conseguir el objetivo)? ¿Qué controles hacemos de la instalación de lavado para poder responder a estas sencillas preguntas? Y a otras: ¿Utilizamos el volumen adecuado de agua? ¿Y de agua caliente? ¿Se forman tapones en la tubería de leche durante el lavado? ¿Hacemos una inspección visual para detectar problemas de limpieza?

Responder a estas y a otras preguntas es el objetivo de este trabajo, abundando en otros artículos sobre esta cuestión que hemos publicado en números anteriores (*Frisona Española*, 158 y 159).

## Inspección Visual

Las deficiencias en la limpieza de la instalación se traducen la mayoría de las veces en depósitos o films de leche sobre las paredes de las tuberías o del tanque de refrigeración y son uno de los primeros signos de problemas, sin menoscabo de los distintos análisis de laboratorios que puedan realizarse.



**Antonio Callejo Ramos.** Dr. Ingeniero Agrónomo  
Dpto. de Producción Agraria-E.T.S.I.A.A.B.-UPM  
antonio.callejo@upm.es

Estos films, según su naturaleza, presentan un aspecto característico y su identificación puede constituir una valiosa ayuda para determinar la causa de una limpieza deficiente<sup>1</sup>:

- Los que contienen principalmente sustancias grasas son de aspecto espumoso, tanto cuando están húmedos como secos.
- Los films proteicos son duros cuando están húmedos o secos y presentan un color pardo claro.
- Los depósitos minerales forman depósitos, también duros tanto cuando están húmedos como secos, y presentan una textura porosa. Son generalmente amarillentos cuando están secos, aunque se aprecian con dificultad, y blancos cuando están húmedos.

La inspección de las partes visibles de la instalación es relativamente sencilla. Es más complicada la de las tuberías (cuando no son de vidrio, poco probable en instalaciones en línea baja), aunque puede efectuarse con la ayuda de una lámpara después de desmontar el tramo a inspeccionar. Otra posibilidad, aunque mucho más costosa, es introducir por las tuberías una minicámara. Especial atención debe prestarse a aquellas partes de la instalación de más difícil inspección: zona superior de los grifos y de medidores de leche, parte superior de la tubería de leche y de la unidad final, codos, etc.

Conviene revisar todo el sistema con el fin de conocer el estado de limpieza de todos sus elementos, así como aquellos puntos que pueden afectar a la circulación de la solución de limpieza aunque no estén en contacto con ella, como es el caso de la bomba de vacío o del regulador.

## Pila de lavado

Hay que comprobar que su capacidad permite albergar el volumen de agua que se requiere para lavar la instalación y que se calculará posteriormente. Debe examinarse su superficie para comprobar la eficacia de la solución de lavado y la degradación del material, sobre todo cuando la pila es de material plástico. Finalmente, debe observarse si existen sedimentos y la coloración de éstos.

## Tubería de lavado

Debe revisarse la colocación de los grifos de lavado respecto a la plataforma de lavado, así como la disponibilidad de un orificio adecuado sobre la

<sup>1</sup> Una guía de identificación de problemas de limpieza a partir de los residuos que aparecen en las conducciones de leche puede consultarse en *Frisona Española*, nº 159, página 90.

tubería. Se revisará el interior de la tubería; si se trata de un montaje en anillo se retirará el tramo más bajo, hacia donde se dirige la inclinación. Si es un montaje simple, se abrirá el final de las tuberías para proceder a su inspección.

#### **Plataforma o copas de lavado**

Comprobar que permite colocar en ellas las pezoneras así como el anclaje de los colectores, pues si hay inyección de aire puede sacarlos de la plataforma.

Revisar que no hay más entradas de aire que la del propio drenaje de la plataforma. El diámetro de este drenaje suele incrementarse con el tiempo, por lo que debe ser revisado.

En los sistemas donde hay conexión entre algunas de las plataformas de lavado y las válvulas que controlan el lavado de los medidores asociados a los retiradores, debe comprobarse si este lavado se realiza correctamente.

#### **Unidad de ordeño**

Observar el estado de las pezoneras y su limpieza, especialmente la embocadura y el borde de las mismas.

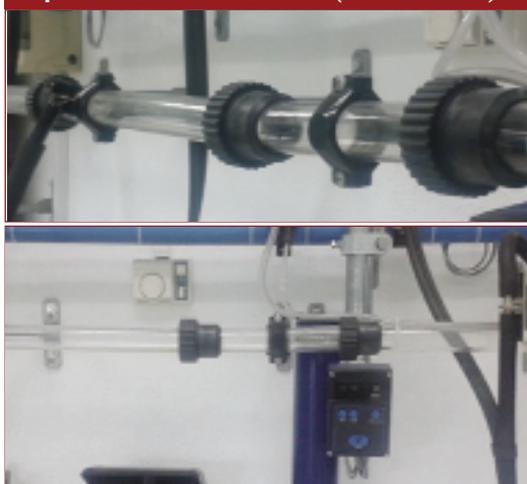
Revisar los tubos cortos y largo de leche, comprobando que su diámetro no supone restricciones.

Comprobar que no hay rayaduras en el interior del colector, donde puede acumularse suciedad. Si disponen de algún sistema de medición o distribución del agua, éste no debe restringir la circulación.

#### **Tubería de leche**

Comprobar si hay problemas de inclinación o

**Figura 1. Tubería de leche mal montada al presentar un hundimiento (Foto del autor)**



de hundimiento de algún tramo (Figura 1).

Revisar los grifos de leche, observando el interior y comprobando el estado de limpieza así como el diámetro del orificio sobre la tubería. Verificar que todos se colocan con la misma inclinación y diámetro.

Revisar la solidez de las uniones en la tubería. Si es posible, desmontar estas uniones y comprobar su estado de limpieza.

#### **Parámetros de limpieza**

La limpieza y desinfección de las superficies que han estado en contacto con la leche resulta de una



# NO ESPERE HASTA LOS SÍNTOMAS SON CLARO!

**Kenomix** tienen ubres sanas y combatir **la mastitis**.

**Kenomix™**  
**JUST SHAKE IT!**

- DESINFECCIÓN COMPLETA
- CONSUMO MUY BAJO
- ESTABILIDAD DURABLE
- COLOR FUERTE
- SUAVE EN LA PIEL



## Control del sistema de lavado de la máquina de ordeño

combinación de procesos físicos, químicos y térmicos aplicados durante un tiempo determinado. Se requiere la circulación de un volumen de agua suficiente, a una velocidad y temperaturas suficientes, para limpiar adecuadamente estas superficies. Los fallos en la limpieza de una instalación de ordeño derivan de la inadecuada velocidad o de un tiempo de contacto insuficiente de la solución de limpieza circulante, amén de una concentración incorrecta del producto químico utilizado. Debemos tener presente que una pequeña cantidad de suciedad residual puede facilitar la adherencia bacteriana, su supervivencia y su crecimiento, lo que afectará negativamente a la calidad de la leche o, incluso, a su seguridad alimentaria, si los microorganismos contaminantes tienen carácter patógeno.

**Temperatura.** La regla general es lavar con una solución caliente, pues el calor elimina mejor la materia grasa y reduce la tensión superficial del agua, mejorando así la eficacia del producto utilizado. Además, son raros los productos de limpieza que funcionan de modo óptimo en frío o a baja temperatura.

La temperatura óptima para el lavado de la instalación de ordeño se sitúa en 60-65 °C, y nunca se debe bajar de 35-40 °C para que las grasas no vuelvan a depositarse sobre las superficies. Por ello, se debe vigilar la temperatura al final del ciclo de lavado (Figura 2).

**Figura 2. Comprobación de la temperatura del agua de lavado**



**Tiempo.** Un buen lavado se logra cuando la solución de limpieza, caliente, está el tiempo suficiente en contacto con todas las superficies que han estado en contacto con la leche durante el ordeño (tuberías, pezoneras, medidores, unidad final, etc.). Los productos que se utilizan actualmente requieren un tiempo de contacto entre 5 y 10 minutos.

Debe advertirse que un lavado más prolongado conlleva necesariamente una disminución de la temperatura de la solución, aumentando el riesgo, antes señalado, de re-deposición de la materia grasa.

**Concentración.** La concentración que debe tener el producto de limpieza en la solución circulante es un dato indicado por el fabricante de dicho producto. Si éste recomienda una dosis del 1%, significa que en 50 litros de solución debe haber 0,5 litros de producto. Por tanto, para una adecuada dosificación (salvo que se disponga de lavadora automática, que suele ajustar la dosis también de forma automática) es necesario conocer el volumen de agua que se requiere para lavar.

En el nº 150 de esta revista explicábamos dos metodologías para calcular el volumen de agua necesario para lavar correctamente la instalación. En este trabajo exponemos un tercer sistema de cálculo de dicho volumen, según el referencial francés

Net'Traite®, algo más simple. Este referencial indica que son necesarios 7,5 litros de agua por cada metro cuadrado de superficie a limpiar. Para calcular esta superficie, considera 0,25 m<sup>2</sup> por unidad de ordeño, más 1 m<sup>2</sup> de una Unidad Final de 50 litros<sup>2</sup>, más la superficie interna de la tubería de leche, que depende de su diámetro (Tabla 1).

**Tabla 1. Superficie de la tubería de leche (por metro de longitud)**

Diámetro interior (mm)	Superficie interior (m <sup>2</sup> /m)
38	0,12
48,5	0,15
50	0,16
60	0,19
63	0,20
70	0,22
73	0,23
90	0,28

*Ejemplo:* Sala en espina de pescado, línea baja, 2 x 18 (16 unidades de ordeño), con una tubería de leche de 24 m de longitud y 60 mm de diámetro interno. La superficie a lavar es de:

$$(16 \text{ ud} \times 0,25 \text{ m}^2/\text{ud}) + 1 \text{ m}^2 + 24 \text{ m} \times 0,19 \text{ m}^2/\text{m} = 9,6 \text{ m}^2 \sim 10 \text{ m}^2$$

Por tanto, serían necesarios 7,5 l/m<sup>2</sup> x 10 m<sup>2</sup> = 75 l, cantidad a la que habría que añadir el volumen necesario para lavar los elementos complementarios con los que cuente la instalación (medidores volumétricos, pre-enfriadores, etc.), a partir de los datos proporcionados por el fabricante.

El aumento de la dosis (concentración) del producto de limpieza no aporta ninguna mejora si se cumplen los requerimientos de los otros parámetros. Más aún, mayor concentración puede provocar reacciones químicas que aumenten la adherencia sobre la superficie de aquello que se pretende eliminar, además de suponer un sobrecoste y dar lugar a un residuo con mayor potencial contaminante.

Del mismo modo, el empleo de mayor cantidad de agua de la necesaria implica también un mayor coste del proceso (por el empleo de mayor cantidad de producto de limpieza si se quiere mantener la concentración de la solución) y la necesidad de almacenar y gestionar mayor volumen de efluentes.

**Acción mecánica.** Quizá sea el parámetro que menos se controla por ser el más complicado, al depender en gran medida del tipo de instalación de lavado instalado y de requerir instrumentación específica para hacer un buen ajuste del flujo de la solución de limpieza. Las instalaciones de ordeño son cada vez más grandes y complejas, con una automatización también creciente y, por ello, conseguir un eficaz efecto mecánico de la solución de limpieza se convierte en un verdadero desafío para técnicos y ganaderos.

Generalmente, en instalaciones no demasiado grandes el sistema de leche del equipo de ordeño (tuberías, pezoneras, unidad final) es lavado mediante la circulación de una mezcla de aire y de solución de limpieza, gracias a la acción del vacío. El aire es aspirado durante unos pocos segundos cuando se ha vaciado la pileta de lavado y antes de que retorne a ésta el volumen de solución previamente aspirado por el sistema, ciclo que se repite varias veces a lo largo de la duración del ciclo

2 Modelos de otro volumen tendrán distinta superficie interna

# Control del sistema de lavado de la máquina de ordeño

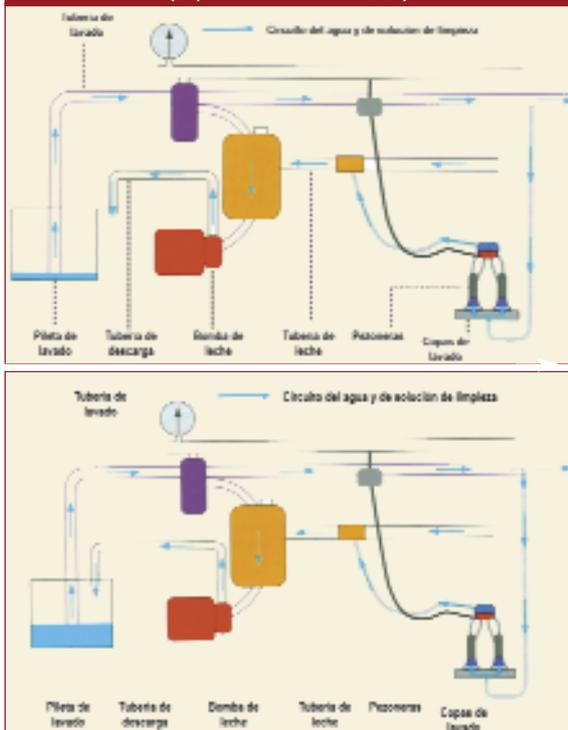
de lavado. El aire entra a gran velocidad en las tuberías y provoca la formación de tapones de solución de limpieza.

Sin embargo, en las instalaciones de gran tamaño y complejidad (tuberías de leche con diámetro interno mayor o igual a 60 mm), con multitud de tuberías y componentes de diámetro y material diversos, ya no es posible realizar el lavado por simple inundación de la tubería como en las instalaciones pequeñas. Ni siquiera es posible generar turbulencias en las conducciones mediante la admisión de un caudal constante de aire, pues este sistema no permite el adecuado control del proceso.

El sistema de limpieza de las instalaciones actuales dispone de uno o de varios inyectores de aire que permiten regular la cantidad de aire que entra y en qué momento lo hace. El objetivo es que este aire que se inyecta provoque la formación de un tapón de solución de limpieza en la tubería de leche y se desplace a lo largo de toda su longitud hasta la unidad final limpiando toda la superficie interna de dicha tubería. Estos tapones pueden tener una longitud desde unos pocos centímetros hasta varios metros, se desplazan velozmente y cubren toda la sección transversal del tubo. La inyección de aire también reduce el volumen de agua necesario para limpiar y, por ello, la cantidad de producto detergente y desinfectante necesario. Con este sistema también es más rápido el enfriamiento de la tubería, lo que deberá compensarse con una mayor temperatura inicial de la solución y evitando enfriar la tubería en la fase anterior, de enjuagado.

La velocidad a la que se desplaza el tapón oscila entre 6 y 12 m/s, de 5 a 10 veces más que cuando la solución se desplaza en flujo continuo. De esta forma, la fuerza cortante que se desarrolla sobre las paredes del tubo es de 10 a 30 veces superior que la generada en flujo continuo. Sin embargo, el tiempo de contacto es bastante corto. Un tapón de 2 metros de longitud, circulando a 10 m/s tiene un tiempo de contacto de 0,2 s.

**Figura 3. Esquema equipo de limpieza, en circuito abierto (arriba) y en circuito cerrado (abajo).**  
(A partir de Billon, 2009)



## El circuito de lavado en las instalaciones de ordeño

La figura 3 muestra un esquema básico del proceso y del equipo de limpieza, en circuito abierto (arriba), que corresponde a las fases de enjuagado previo y de aclarado final, y en circuito cerrado (abajo), correspondiente a la fase de lavado propiamente dicha.

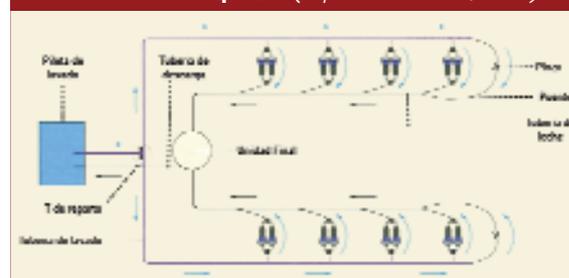
No existe una única forma de montar la tubería de lavado de la máquina de ordeño y de conectarla a la tubería de leche. Los esquemas que se incluyen a continuación son únicamente algunas de las posibilidades de montaje.

### Instalaciones con tubería de leche montada en forma simple

La figura 4 muestra a un montaje clásico, que puede ser correcto si se respetan las siguientes normas:

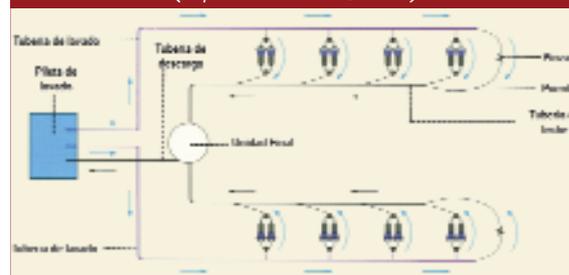
1. Colocar una "T" en el centro con el fin de asegurar un reparto de agua idéntico a las dos ramas del circuito.
2. Montar la tubería de lavado con pendiente (5%) inversa a la de la tubería de leche
3. Los tubos que sirven de puente en los extremos entre la tubería de lavado y la de leche deben tener un diámetro interior no inferior a 12 mm y contar con un sistema eficaz de cierre (pinza u otro).
4. En caso de utilizar un programador de lavado, instalar una pileta de agua.

**Figura 4. Esquema de montaje clásico de un circuito de lavado para una tubería de leche montada en forma simple (no cerrada en anillo).**  
→ Indica el sentido de circulación de la solución de limpieza. (A partir de Billon, 2009)



La figura 5 muestra un montaje con dos entradas de agua, y que es una variante del montaje anterior mejorando el reparto de agua en cada rama de la tubería de leche.

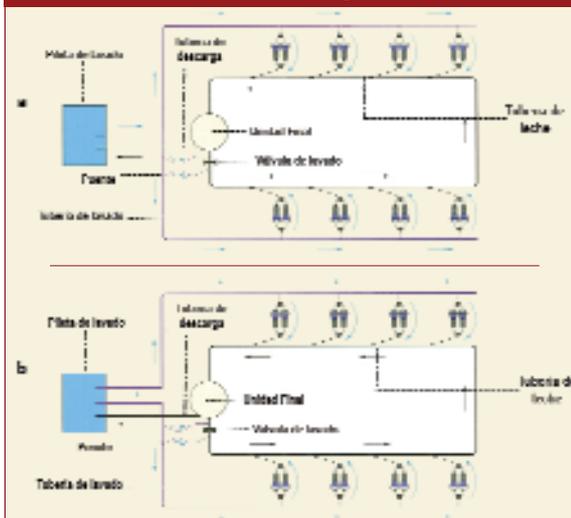
**Figura 5. Esquema de montaje de un circuito de lavado con dos entradas de agua para una tubería de leche montada en forma simple (no cerrada en anillo).**  
→ Indica el sentido de circulación de la solución de limpieza. (A partir de Billon, 2009)



### Instalaciones con tubería de leche montada en forma de anillo

El montaje en anillo de la tubería de leche siempre es recomendable, cualquiera que sea la insta-

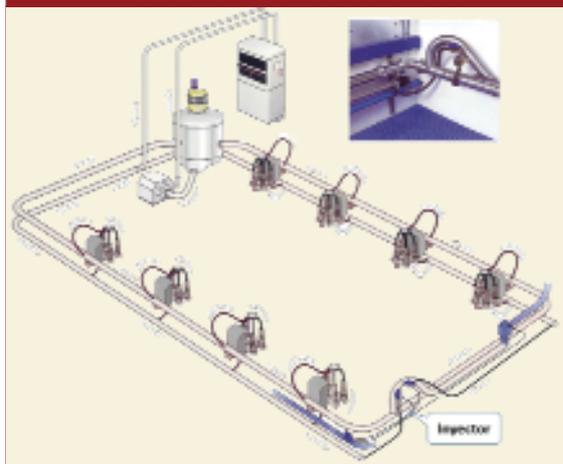
**Figura 6. Esquema de montaje de un circuito de lavado para una tubería de leche montada en forma anillo, con una entrada de agua (a) o dos (b). → indica el sentido de circulación de la solución de limpieza**



lación de ordeño pues, entre otras cosas, disminuye la caída de vacío en la tubería de leche. En este montaje también son posibles distintas variantes en lo que respecta a la tubería de lavado, con una entrada de agua (Figura 6a) o dos (Figura 6b).

La tubería de leche está equipada con una válvula de cierre o válvula de lavado<sup>3</sup> situada lo más cerca posible de la unidad final o receptor. Esta vál-

**Figura 7. Posición del inyector en el punto más distante de la tubería de leche. No sería necesaria la válvula de lavado**



vula, durante el lavado, obliga a que la solución de limpieza circule en un único sentido por la tubería de leche cuando el inyector de aire se coloca cerca de la unidad final, al otro lado de la válvula. Si el inyector se coloca en la tubería de leche, pero en un punto equidistante de la unidad final, no sería necesaria la instalación de esta válvula (Figura 7).

Sea cual sea el montaje del sistema de lavado, el objetivo es que la solución de lavado forme tapones y que éstos se vayan desplazando a lo largo

<sup>3</sup> Es muy común denominarla válvula de tres vías

**30 AÑOS  
COLABORANDO  
CONTIGO**



**HYP**

**UNA NUEVA IDENTIDAD**  
HYPRED GARANTIA DE ALTO RENDIMIENTO

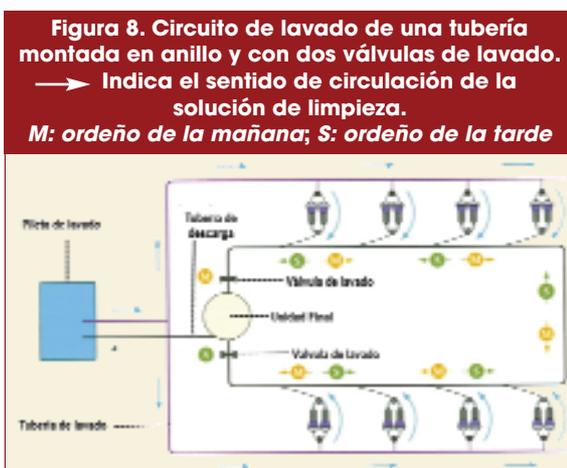


## Elección del sistema de refrigeración

de la tubería de leche hasta la unidad final.

La entrada de aire atmosférico provoca que entre un extremo y otro del tapón formado haya una diferencia de presión suficientemente importante para que el tapón se mueva y se desplace por toda la tubería de leche. Es preciso señalar que para una limpieza eficaz, la velocidad de estos tapones debe situarse entre 7 y 10 m/s. Otra parte del agua, en mucha menor cantidad, es también dirigida en sentido inverso hacia la unidad final con el fin de asegurar la limpieza del pequeño tramo de tubería de leche que hay entre esta unidad final y la válvula de tres vías, antes citada.

Cuando las tuberías de leche son muy largas, o cuando la pendiente de la misma es superior a 1,5%, se pueden montar dos válvulas de lavado, una a cada lado de la unidad final. En estas tuberías tan largas el riesgo de que el tapón formado se deshaga antes de llegar al receptor es alto, por lo que una parte más o menos importante de la tubería de leche tendría una limpieza insuficiente. Para reducir este efecto negativo sobre la calidad bacteriológica de la leche, se cerrarían alternativamente las dos válvulas, una en el lavado tras el ordeño de la mañana, y la otra tras el de la tarde (Figura 8).



Si una solución de limpieza no puede conseguir suficiente velocidad, no entra en contacto con la superficie del sistema o no lo hace durante tiempo suficiente tendremos un problema de lavado. Los inyectores de aire (figura 9) han venido a solucionar este problema; con un inyector no sólo habrá una fase de entrada de agua sino que habrá una nueva fase, la entrada de aire.

Por tanto, para que un ciclo de lavado permita el contacto del agua con la superficie a limpiar del sistema de ordeño es preciso que este ciclo esté dividido en estas dos fases. Precisamente durante la



fase abierta es cuando el agua entrará en contacto con toda la superficie a limpiar, sobre todo la de aquellos componentes de mayor tamaño (Unidad Final). Podríamos hablar de una solución de limpieza inyectada que se proyecta sobre las paredes de estos recipientes y posibilita su lavado.

En un inyector tan importante es el tiempo en que está inyectando aire como el tiempo en que no lo hace. El ciclo de inyección será, pues, el tiempo en que el inyector está abierto más el tiempo en que está cerrado. Esta fase cerrada del inyector debe permitir que la solución limpiadora acceda con suficiente velocidad por aquellas zonas del circuito donde no es fundamental la inyección de aire para su limpieza, como es el caso de los tubos de leche.

Otra posibilidad es la instalación de una tubería de lavado que se conecta a la tubería de leche y donde se coloca el inyector para formar tapones en ésta, y otra tubería de lavado donde se instalan las copas de lavado y a las que se conectan las unidades de ordeño (Figura 10), y en la que no se instala inyector.

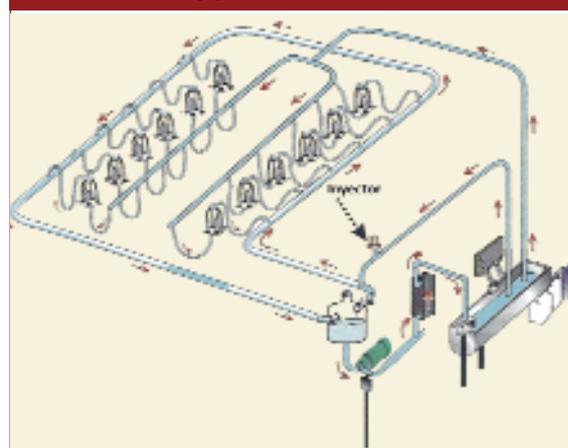
### Dinámica del aire inyectado y del régimen turbulento (formación de tapones)

Entender las bases dinámicas de la formación, crecimiento y rotura de los tapones de solución de limpieza es esencial para ajustar adecuadamente el sistema de inyección y resolver problemas de limpieza.

Un inyector de aire es una válvula de entrada de aire controlada automáticamente y montada, como ya hemos señalado, en la tubería de leche, en la de lavado o en ambas. Aire y agua son admitidas de forma alternada en la tubería mediante la apertura y cierre de la válvula del inyector, respectivamente. La admisión de aire provoca la formación de un tapón de agua que se desplaza a lo largo de la tubería. Por delante y por detrás del tapón la tubería está parcialmente llena de una lámina de agua que se mueve en la misma dirección que el tapón pero a una velocidad más baja (Figura 11).

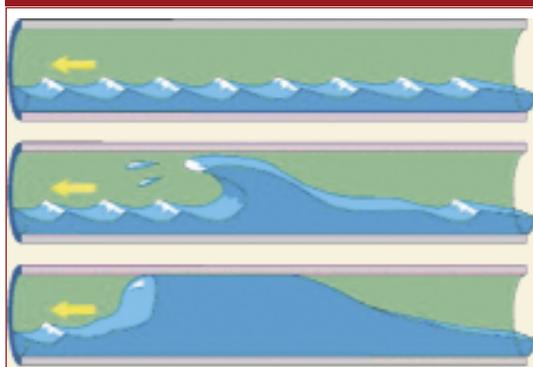
Conforme se desplaza, el tapón recoge líquido por su parte delantera y lo pierde por la de atrás. La proporción de agua recogida es directamente proporcional a la profundidad de la lámina de agua existente en la tubería por delante del tapón. Si esta profundidad es mayor del 20% del diámetro de la tubería, lo que sucede habitualmente en los primeros 10 a 20 metros de la tubería (medidos desde el inyector), el tapón crecerá en longitud. Si es menor,

**Figura 10. Doble circuito de lavado: para tubería de leche y para unidades de ordeño**



## Elección del sistema de refrigeración

**Figura 11. Proceso de formación de un tapón de solución de limpieza** (Cortesía de DeLaval)



como sucede cuando la tubería llega a la unidad final, la longitud del tapón disminuye.

Esto sucede porque la tubería de leche se monta con una pendiente descendente hacia la unidad final entre el 0,5 y el 2%<sup>4</sup>. De esta forma, tras el primer paso de la solución de limpieza por la tubería, el líquido remanente se va desplazando hacia las partes más bajas: por un lado, hacia la válvula de lavado, cerca de donde debe colocarse el inyector, acumulándose y alcanzando la lámina de agua mayor profundidad. Por el otro, drenando hacia la unidad final, por lo que la profundidad de la lámina de agua es menor.

En sistemas bien ajustados, el tapón perderá un metro de longitud por cada 20 metros de desplazamiento y tendrá sólo un 20% de su volumen inicial cuando llegue al final de la tubería. El tapón formado al principio de la tubería deberá tener, por tanto, una longitud suficiente para que no se rompa antes de llegar al final de la misma.

La velocidad del tapón está determinada por la cantidad de aire admitida a través del inyector. Si la velocidad es inferior a 4 m/s, será difícil mantener el tapón. Si supera los 12 m/s habrá una excesiva cantidad de aire dentro del tapón y el tapón acabará rompiéndose. Por tanto, la cantidad de aire inyectada debería ajustarse para que el tapón alcance una velocidad dentro del rango entre los 7 y 10 m/s.

Un ciclo de inyección de aire se compone de una fase en la que el inyector está cerrado (fase cerrada), en la que el agua de limpieza entra en el sistema, y de una fase en la que el inyector está abierto (fase abierta), en la que es el aire el que entra al sistema. Cuando el tiempo de fase abierta es demasiado corto, el tapón que se forma no tiene suficiente longitud, se rompe demasiado pronto y se desliza como una ola larga que no llena toda la sección del tubo. Esta ola puede ser recogida por el tapón formado en la siguiente inyección de aire, pero una porción más o menos importante de la zona superior de la tubería no habrá estado en contacto con la solución y resultará en un problema de limpieza. Si durante la fase de lavado, cada tapón que se forma al principio de la tubería se mantiene en toda la longitud de ésta, tendremos la seguridad de que toda la superficie de la tubería ha estado en contacto con la solución de limpieza el tiempo suficiente.

**Agua absorbida por ciclo de inyección.** El volumen y geometría de la unidad final determina el tamaño admisible del tapón que debe llegar a dicho recep-

tor, habitualmente un tercio del volumen de aquella. Una mayor cantidad de agua podría llegar al depósito sanitario, lo que no es aconsejable. El volumen de agua introducido en cada ciclo de inyección (fase cerrada) puede calcularse mediante la ecuación siguiente:

$$W = \frac{R}{3} + \frac{L * D^2}{1.000} \quad [1]$$

Donde

W= volumen de agua (litros)

R = volumen de la unidad final (litros)

L= longitud (m) a recorrer por el tapón, desde la válvula de tres vías hasta la unidad final

D= Diámetro interno de la tubería de leche (mm)

**Capacidad de la bomba de leche.** La capacidad de la bomba de leche es, frecuentemente, un factor limitante en el sistema de limpieza. El agua que se introduce en el sistema en cada ciclo de inyección y que llega a la Unidad Final deber ser extraída por esta bomba. Si no es así, el depósito sanitario puede llenarse. Un vacío elevado, filtros en la tubería de descarga, pre-enfriadores o cualquier otro elemento en la tubería de descarga reducen la capacidad de la bomba. La capacidad mínima de la bomba de leche se puede calcular a partir de la ecuación siguiente:

$$M \geq \frac{W * 60}{I_0 + I_C} \quad [2]$$

Donde:

M= Capacidad de la bomba a vacío de trabajo (l/m)

W= Volumen de agua (l)

I<sub>0</sub>= Tiempo de inyector abierto (s)

I<sub>C</sub>= tiempo de inyector cerrado (s)

El sistema debe trabajar cerca de este valor a fin de que el proceso de limpieza sea el mayor posible antes de que la solución de limpieza se enfríe.

**Caudal de aire inyectado.** Este caudal es la clave para controlar la velocidad del tapón. Este caudal puede controlarse cambiando el nivel de vacío o a través del inyector de aire (ajustando el tamaño del orificio de entrada). Los rangos de caudal de aire inyectado figuran en la Tabla 2. Un mayor caudal que el máximo de dichos rangos reducen la densidad del tapón y se reduce la acción mecánica del mismo sobre las paredes de la tubería. Además, hay mayor riesgo de que el tapón se deshaga antes de completar su recorrido.

**Tabla 2. Caudal de aire inyectado que se requiere para que el tapón alcance una velocidad de 6 a 10 m/s**

Ø Tubería de leche (mm)	Caudal de aire (l/s)	Diferencia de vacío (kPa)
48	6-12	20-35
60	9-18	18-32
73	13-27	15-28
98	23-49	10-20

El caudal de aire admitido puede calcularse a partir de la velocidad del tapón, según la siguiente ecuación<sup>5</sup>:

$$A_1 = \frac{V_{\text{tapón}} * D^2}{17} * \frac{100 - \text{Vac}}{100} \quad [3]$$

<sup>4</sup> Para evitar la formación de taponos de leche durante el ordeño

<sup>5</sup> 100 kPa es la presión de referencia entre 0 y 300 de altitud. Si estamos a mayor altitud, la presión atmosférica es inferior

Donde:

$A_i$ = Aire libre inyectado en condiciones de trabajo (l/m)

$V_{\text{tapón}}$ = velocidad del tapón (m/s)

$D$ = Diámetro interno de la tubería de leche (mm)

$V_{\text{ac}}$ = Vacío del sistema durante el lavado (kPa)

La velocidad del tapón puede medirse mediante un medidor de vacío (ver punto 6). El caudal de aire inyectado puede medirse usando un caudalímetro de la forma siguiente: con el regulador desconectado, se conecta el caudalímetro en la Unidad Final o cerca de ella, midiendo la entrada de aire con el inyector abierto y con el inyector cerrado. La diferencia entre ambas lecturas será el caudal de aire inyectado. Esta medición debe hacerse a un nivel de vacío del sistema 20 kPa por debajo del utilizado para lavar, pues es éste el nivel de vacío en el inyector de aire durante el proceso. La mayoría de los caudalímetros están calibrados para leer correctamente a 50 kPa de vacío. Por tanto, deben utilizarse las tablas o curvas de compensación cuando las lecturas de caudal se realizan a vacíos inferiores. Si se conoce el caudal de aire inyectado en condiciones de trabajo, la velocidad del tapón resultante puede calcularse directamente usando la ecuación (3).

El inyector puede ajustarse para admitir mayor o menor caudal de aire si la velocidad del tapón no está dentro del rango señalado en la Tabla 2. También puede reducirse el caudal de aire disminuyendo el nivel de vacío del sistema. Se debe comprobar que la válvula de tres vías (ordeño/lavado) no presente holguras que dejen entrar aire (fugas), que irá directamente al receptor, debiéndose incrementar el aire que entre por el inyector para compensar estas fugas.

**Tiempo de inyector abierto.** El tiempo durante el que está abierto el inyector de aire debe ser tal que el tapón formado al principio de la tubería de leche tenga tiempo suficiente para desplazarse por la totalidad de la misma, a velocidad de 7-10 m/s. Este tiempo de inyector abierto se calcula dividiendo la distancia (m) que debe recorrer entre la velocidad medida:

$$l_0 = \frac{L}{V_{\text{tapón}}}$$

La velocidad del tapón para una acción de limpieza óptima está entre 7 y 10 m/s.

Si el inyector de aire se monta al principio de la tubería de lavado, cerca de la pileta, se debe sumar la longitud de esta tubería y ajustar consecuentemente el tiempo durante el que el inyector está abierto. Este tiempo puede requerir posteriormente un ajuste más fino, a fin de asegurar una adecuada limpieza de la Unidad Final sin que llegue agua al depósito sanitario. Para ello, en la mayoría de los casos, el inyector se debe cerrar justo antes de que el tapón llegue a la Unidad Final, ralentizando su entrada y evitando el efecto antes señalado. Cuando la Unidad Final es de gran volumen se necesita que el volumen del tapón sea también mayor para lavar correctamente la zona superior del receptor. En este caso, el inyector de aire no debe cerrarse hasta que el tapón haya entrado completamente en el receptor.

**Tiempo de inyector cerrado.** La cantidad de agua aspirada en cada ciclo está determinada por el tiempo durante el que el inyector está cerrado. Si el depósito sanitario se llena o recibe una excesiva

cantidad de agua, este tiempo de fase cerrada debe reducirse. Cuando el inyector está abierto, algo de agua entra en la tubería. Esta agua formará parte del próximo tapón. El volumen de agua aspirado puede determinarse por la diferencia del volumen de agua que hay en la pileta durante la fase abierta del inyector y la fase cerrada. Si el tiempo de fase cerrada es reducido al mínimo posible y aun así entra agua en el depósito sanitario, deberá revisarse la capacidad de la bomba de leche, que requerirá ser aumentada.

**Capacidad de la bomba de vacío.** La bomba de vacío debe tener capacidad suficiente para expulsar todo el aire que entra a través del sistema (inyector, regulador, colectores, pulsadores, fugas) y mantener constante el vacío de trabajo durante el lavado. Para evitar sobrepasar su capacidad, la pileta debe mantener un volumen de agua que impida que entre aire por la tubería de aspiración. Si el vacío durante el lavado es diferente al vacío durante el ordeño, la comprobación de la capacidad de la bomba durante el lavado debe hacerse al vacío de lavado. Si la entrada total de aire al sistema durante la fase abierta excede la capacidad de la bomba de vacío, el vacío en la instalación bajará. Sin embargo, durante la fase cerrada, al no haber entrada de aire por el inyector, el sistema puede recuperar el nivel de vacío de lavado. El rango de capacidad aceptable de la bomba de vacío se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$A_i + A_s < A_p < A_i + A_s \frac{l_0}{l_0 + l_c} \quad [5]$$

Donde<sup>6</sup>:

$A_s$ =Aire que entra al sistema (l/min), excepto por el inyector (regulador, pulsadores, fugas)

$A_p$ = Capacidad de la bomba de vacío (l/min)

Si la capacidad de la bomba excede del caudal de aire que entra al sistema, el nivel de vacío se mantendrá constante aunque no mejorará la eficacia de lavado. Si está entre el mínimo y máximo del rango definido por la ecuación (5), el vacío bajará durante la fase abierta y se recuperará durante la fase cerrada.

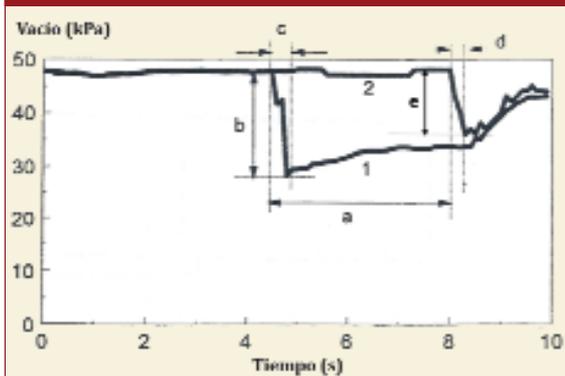
**Nivel de vacío durante el lavado.** La estabilidad del vacío durante el lavado de la instalación no es tan importante como durante el ordeño. Con un nivel de vacío más bajo disminuye el caudal de aire admitido a través del inyector, disminuye el caudal de agua aspirada, aumenta la capacidad de la bomba y el rendimiento de ésta, aunque puede verse comprometida la formación del tapón y su velocidad de desplazamiento. Efectos contrarios a los señalados tendría un nivel de vacío más elevado.

#### Uso de un registrador de vacío para comprobar el sistema de limpieza

Un registrador de vacío de dos canales, de los utilizados habitualmente en el control de la instalación de ordeño, puede proporcionar una valiosa información para detectar y resolver problemas de limpieza. Este medidor se conecta a dos puntos de la tubería de leche separados al menos 10 m. Los dos canales registran el paso del mismo tapón por dos puntos diferentes en su desplazamiento a través de la tubería.

<sup>6</sup> El significado del resto de términos figura en ecuaciones anteriores

**Figura 12. Ejemplo de uso de un registrador de vacío de dos canales**



**Caída de vacío.** El paso del tapón por un punto de la tubería provoca una caída del vacío en dicho punto que puede ser medida ("b" y "e" en la Figura 12). Esta caída es una medida directa de la acción mecánica de limpieza producida. Esta caída de vacío disminuye lentamente conforme el tapón se desplaza debido a la paulatina disminución de su longitud. Las cifras de la Tabla 2 muestran el rango recomendado de caída de vacío para un diámetro de tubería de leche determinado. La caída de vacío es máxima al principio de la tubería y se sitúa cerca del valor mínimo de dicho rango al final de la misma.

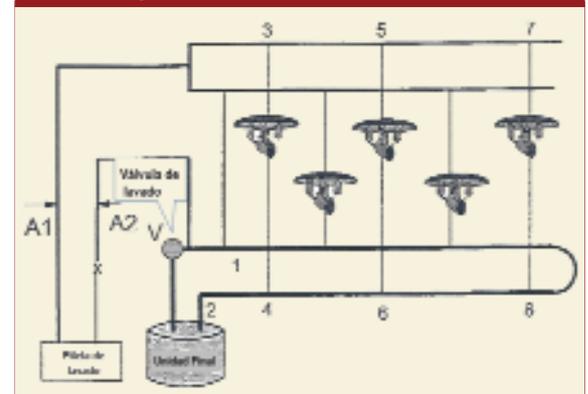
Un diferencial de vacío inadecuado o una caída lenta del mismo señala que el tapón se desplaza con menor velocidad o que su longitud es corta (menos de 1 m), o que hay un excesivo paso de aire a través de dicho tapón. Este hecho disminuye su acción limpiadora. La longitud del tapón puede incrementarse con una mayor duración de la fase cerrada y absorbiendo más agua en cada ciclo. Otra posible causa de una escasa velocidad del tapón es una excesiva entrada (fuga de aire) por la válvula de lavado.

**Velocidad del tapón.** Puede determinarse midiendo la distancia que existe entre los dos puntos de conexión del registrador de vacío dividida entre el tiempo transcurrido entre las dos caídas de vacío que se producen al pasar el tapón por cada uno de esos puntos ("a" en la figura 12). El tapón normalmente aumenta su velocidad en los primeros 5 metros hasta alcanzar un valor estable, por lo que en esta zona se desplaza más lentamente que en el resto de la tubería. Un rápido incremento de velocidad en la última parte de su recorrido es un signo de que el tapón disminuye de tamaño rápidamente y está próximo a deshacerse.

**Longitud del tapón.** ("c" y "d" en la figura 12). Puede calcularse multiplicando la velocidad medida por el tiempo durante el tiempo en el que se produce la rápida caída de vacío. Al principio de la tubería (c), esta rápida caída de vacío tiene mayor duración que al final (d), lo que indica que el tamaño del tapón es mayor también al principio. Estas mediciones pueden usarse para ajustar el sistema de lavado, en particular el ciclo de inyección de aire (fase abierta y fase cerrada) y la cantidad de aire admitida en la fase abierta del inyector. Uno de los mayores problemas en estos sistemas de lavado en salas de ordeño es conseguir una suficiente y equilibrada distribución de agua a todas las unidades. Para ello se pueden utilizar distintos métodos, como limitar el número de unidades por línea de lavado, aumentar el tamaño de éstas o di-

vidir el sistema en varios subcircuitos con válvulas de control automático. Las salas de ordeño que cuentan con retiradores automáticos de pezoneras disponen de una válvula de autocierre de vacío en el tubo largo de leche de cada unidad de ordeño. Con una simple modificación, cada una de estas válvulas puede servir como punto de control para dividir el sistema de limpieza en subcircuitos más manejables para asegurar la adecuada limpieza tanto de las unidades de ordeño como de la tubería de leche. La diferencia de vacío en el conjunto pezoneras-copas de lavado determinará el flujo de agua a través de cada unidad. Para ello, se medirá la diferencia de vacío entre los puntos 3-4, 5-6, etc., de la Figura 13.

**Figura 13. Control del flujo de solución de limpieza en las unidades de ordeño**



La velocidad del tapón puede medirse entre los puntos 1 y 2 de la Figura 9. La comprobación de la formación de tapones se realizaría en los puntos 1, 2, 4, 6 y 8 de dicha figura.

Algunos estudios muestran que la inyección de aire en la tubería de lavado logra un mayor equilibrio en el flujo de agua que reciben todas las unidades de ordeño. Cuando el aire es inyectado tanto en la tubería de lavado como en la tubería de leche, se debe instalar un sistema de control para que ambos inyectoros no funcionen simultáneamente y haya menor riesgo de sobrepasar la capacidad de la bomba de vacío. Cuando se inyecta aire en la tubería de lavado, la fase cerrada debe durar hasta que el agua llega a la unidad de ordeño más alejada.

Algunos elementos de la instalación de ordeño como medidores de leche y sensores pueden requerir inyección de aire para su correcta limpieza. La inyección de aire en la tubería de lavado aumenta la velocidad de la solución a través de las unidades pero disminuye la turbulencia (formación de tapones) en la tubería de leche.

Una norma fundamental para lograr un diseño eficiente y eficaz del sistema de limpieza es conseguir que la longitud, número de curvas, tramos ascendentes y número de conexiones sean mínimos. Así se logrará un régimen turbulento más uniforme y controlado, se necesitará menor volumen de agua (y por tanto de producto de limpieza) y la solución de limpieza tardará más tiempo en enfriarse. Por ello, la instalación de ordeño (bomba, tuberías, etc.) debe diseñarse antes que la sala de ordeño, lechería y restos de dependencias. Dicho de otra forma. La sala de ordeño debe ser la que necesite la instalación; no que la instalación sea la que quepa en la sala de ordeño.