

CÁLCULO DE LA MAQUINARIA DE ORDEÑO

Antonio Callejo Ramos
Ariel Sebastián Odorizzi Morero

SUMARIO

En este trabajo se aporta una metodología simplificada del cálculo de la maquinaria de ordeño, como el caudal de la bomba de vacío necesario y los diámetros de la conducción de leche y de la conducción de vacío, tanto la conducción principal de aire como la de pulsación.

RESUMEN

La Norma UNE 68050:1998, publicada hace casi tres años, sustituye a la antigua Norma UNE de 1986. Al igual que ésta, la actual es equivalente a la Norma Internacional ISO 5707:1996 y viene a cubrir las necesidades que las nuevas instalaciones de ordeño, más grandes, con más elementos y con mayor consumo, estaban demandando. El nuevo procedimiento de cálculo se complica enormemente, al incorporar parámetro y variables no considerados anteriormente. Así, para el cálculo del diámetro de la conducción de leche se tiene en cuenta el número de unidades, el intervalo de colocación de las mismas, la pendiente con la que se instala, el flujo máximo de leche de las vacas, la forma de montaje, su longitud y las entradas intermitentes de aire. En el caso de la determinación del caudal de la bomba, el cálculo de las necesidades de aire para el lavado de la instalación es una novedad de la Norma, así como la consideración del consumo de los elementos auxiliares y una nueva fórmula para calcular la reserva real de la instalación. Finalmente, el diámetro interior de las conducciones de vacío se calcula en función de la longitud de las mismas, del material con que están fabricadas, la caída de vacío prevista y el caudal de aire que circula por ellas. Sin olvidar que se consideran las pérdidas de vacío que pueden provocar los codos de la tubería, las piezas especiales u otros recipientes de la instalación.

CÁLCULO DE LA MAQUINARIA DE ORDEÑO

Antonio Callejo Ramos. Ingeniero Agrónomo.
Dpto. Producción Animal. E.U. de Ing. Técnica Agrícola.
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid.
e-mail: acallejo@agricolas.upm.es

Ariel S. Odorizzi Morero. Ingeniero Agrónomo
Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. Argentina
Becario del Programa de Cooperación Interuniversitaria A. LE.
2001

1.- Introducción

Hasta hace apenas dos o tres años seguían vigentes las normas españolas (Normas UNE) aplicables a las máquinas de ordeño para vacuno, basadas en las correspondientes normas internacionales (Normas ISO).

La rapidez con la que progresa la técnica hace que las normas se puedan quedar anticuadas en pocos años, lo que obliga a una constante revisión de las mismas para que continúen siendo útiles. En este sentido, podemos decir que desde 1998 contamos con unas nuevas Normas UNE relativas a las máquinas de ordeño.

No hemos querido una mera y tediosa transcripción de la Norma, sino que hemos querido acercar, de un modo simplificado, la compleja metodología de cálculo que establece la nueva Norma (sobre todo, si lo comparamos con el método de la Norma UNE) anterior, al incorporar nuevos parámetro y variables de cálculo.

2. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO INTERIOR MÍNIMO DE LAS CONDUCCIONES DE LECHE

En la Norma UNE 68050 de 1986 se admitía una caída de vacío máxima de 3 kPa en estas conducciones, y no se consideraba problemático que el transporte de leche se realizara en un régimen con "tapones", en vez de ser siempre laminar (transporte separado de la leche y el aire). En un régimen laminar la leche se transporta siempre en la zona inferior de la conducción y el aire en la superior sin mezclarse, lo que es la situación ideal con respecto a mantener inalterables las condiciones físicas de la leche y la transmisión de vacío hacia la unidad de ordeño.

La nueva norma ISO 5707 admite una caída de vacío máxima de 2 kPa en la conducción de leche, entre el receptor (o unidad final) y cualquier punto de la misma, con todas las unidades funcionando en condiciones de ordeño real, para favorecer así el régimen laminar, al menos, durante el 95% de la duración del ordeño. Esta caída en el nivel de vacío se considera la adecuada para mantener las condiciones óptimas.

En el anexo C de la norma se aporta un método de cálculo muy complicado, que se debería aplicar para cada instalación en concreto, basándose en los caudales máximos esperados de aire y leche en las conducciones, y que son función de diferentes parámetros, entre los que destacan los siguientes:

* **Caudal máximo de leche por vaca del rebaño: (Tabla 1).** Se analizan dos modelos, uno con caudal máximo por vaca de 4 l/min, basado en los resultados de los análisis de rebaños de ganado Frisón de alta producción de Francia y de Estados Unidos, y otro con 5 l/min que se podría aplicar a rebaños de esos países con más alta producción y suelta especialmente rápida. Por ejemplo, en el caso de caudal máximo de 4 l/min se supone un tiempo de 30 segundos desde la colocación de las pezoneras hasta el inicio del flujo de leche; un caudal máximo de 120 segundos a 4 l/min, y tiempo medio de ordeño de 5,5, minutos con un caudal medio de 2,6 l/min.

* **Tiempo de colocación de las unidades:** Se tienen en cuenta tiempos supuestos de colocación de las pezoneras por el ordeñador de 10, 20, 30, 50, 70 y 90 segundos, que variarán según la rutina propuesta y la habilidad (y dedicación) del ordeñador.

* **Número de unidades por tramos de conducción:** Se consideran desde 2 a 40 unidades por tramo de conducción.

* **Pendiente de la conducción:** Como el incremento de pendiente hacia el receptor de la conducción favorece el movimiento de la leche en régimen laminar por efecto de la fuerza de la gravedad, se han establecido pendientes de 0,2-0,4%, 0,5%, 1%, 1,5% y 2,0%.

Con pendientes cercanas a la horizontal (0,2 a 0,5%) el factor que más afecta al flujo de leche es la corriente de aire que fluye por la parte superior de la tubería. Aumentando la pendiente de la tubería de leche se reduce el riesgo de tapones de leche.

* **Longitud de los tramos de conducción de leche:** La Norma UNE marca longitudes que van desde 5 a 50 metros.

* **Montaje de la instalación de leche:** Se tiene en cuenta si se monta en anillo o en línea simple.

* **Caudal de aire fijo ("steady air"):** Se ha tenido en cuenta un caudal de aire fijo de 4-12 l/min por el orificio de los colectores, además de las fugas permitidas en el sistema de leche.

* **Caudal de aire intermitente:** Corresponde al caudal de aire del cambio de las unidades y las caídas o escurrimiento de las pezoneras, dentro de los límites considerados normales. Se han tenido en cuenta 2 hipótesis: un ordeñador cuidadoso (100 l/min) o un ordeñador menos cuidadoso (200 l/min).

Hay que tener en cuenta que la norma recuerda que la aparición de tapones esporádicos en la tubería nunca debería considerarse como un síntoma de un mal funcionamiento.

Podemos observar en la Tabla 1 como, a partir de un determinado número de unidades de ordeño, el caudal máximo de leche previsto en las conducciones no es igual al resultado de multiplicar el número de unidades (vacas) por el flujo máximo por vaca, sino inferior. La explicación la podemos encontrar en el capítulo 5.

El cálculo de la capacidad real de transporte se basa en ecuaciones empíricas que representan adecuadamente las condiciones de flujo casi laminar de la leche durante un ordeño normal, sin admisión irregular de aire.

En la Norma UNE 68050:1998 se recogen (**Tabla 2**), los resultados de una de esas ecuaciones.

También podemos acudir a gráficos elaborados por algún fabricante de máquinas de ordeño donde el diámetro de la conducción de leche se calcula a partir del número de unidades por ramificación, del intervalo de colocación de éstas y de la pendiente, suponiendo un flujo máximo de leche de 4 l/min. Como es lógico el intervalo de puesta de pezoneras se reduce a la mitad cuando pasamos de uno a dos ordeñadores colocando unidades de ordeño. (**Figura 1**).

Los valores de la **Tabla 3** se derivan de datos experimentales obtenidos con conducciones de 48,5, 60, 73 y 98 mm de diámetro interior y pendientes de 0,5, 1, 1,5 y 2%. Estos datos han servido para deducir una ecuación que no incluimos aquí al poder consultarse en la Norma y para no comprometer la extensión de este trabajo, necesariamente limitada.

En estas condiciones, el movimiento de la leche en la conducción se realizará en régimen laminar durante, al menos, el 95% del tiempo del ordeño del rebaño. No obstante, nada impedirá el completo llenado de la tubería cuando una pezonera se caiga, a menos que los equipos de ordeño estén provistos de dispositivos de corte automático de vacío. En ausencia de éstos, la admisión de aire cuando se produce una caída de pezoneras oscilará entre 700 y 1.400 l/min, según el tipo de punto de ordeño y de su equipamiento, así como de la longitud y del diámetro interior del tubo largo de leche.

Para ilustrar el modo en que pueden manejarse estas tablas, consideremos el ejemplo siguiente:

Sala de ordeño equipada con 12 unidades de ordeño (en línea baja), con un ritmo de colocación de las pezoneras de 10 s.

La Tabla 1 nos indica un caudal máximo de leche previsto de 24 l/min para 6 puntos de ordeño por ramificación, con un caudal máximo medio de leche por vaca de 4 l/min.

La Tabla 3 permite garantizar que cada una de las opciones consideradas será compatible con las especificaciones señaladas en la Tabla 2.

1) Para los ordeñadores más cuidadosos en la colocación de pezoneras:

- Una conducción montada en anillo, de 48,5 mm de diámetro interior y una pendiente mínima de 1,0% (es decir, un caudal intermitente de entrada de aire previsto inferior o igual a 100 l/min, que equivale a 50 l/min por ramificación)
- Conducción montada en forma simple, con dos ramificaciones cerradas en los extremos, de un diámetro interior de 48,5 mm y una pendiente mínima de 1,5% (caudal intermitente previsto de 100 l/min)

2) Para los ordeñadores menos rigurosos,

- Una conducción en anillo, de un diámetro interior de 48,5 mm y una pendiente mínima de 1,5% (es decir, para un caudal intermitente de 200 l/min, que equivale a 100 l/min por ramificación)
- Conducción no cerrado en anillo con dos ramificaciones cerradas en los extremos, un diámetro interior de 60 mm y una pendiente mínima de 1,0% (para un caudal intermitente previsto de 200 l/min)

3. Cálculo del caudal de la bomba de vacío

La bomba de vacío debe tener suficiente capacidad para cubrir las necesidades de los equipos durante el ordeño y el lavado, y suficiente reserva para compensar las entradas de aire imprevistas en la instalación. Ello permitirá que la caída de vacío en la unidad final no sea superior a 2 kPa en el transcurso de un ordeño normal, lo cual comprende la puesta y retirada de pezoneras o la caída accidental de las mismas.

La capacidad requerida para la bomba está, por tanto, en función de:

- Demanda durante el ordeño, incluida la reserva real
- Demanda adicional durante el lavado, si ésta es superior a la de ordeño
- Demanda de los equipos auxiliares, por ejemplo, retiradores automáticos
- Corrección según la altitud sobre el nivel del mar y según el vacío de ordeño.

2.1. Reserva real

La reserva real de una instalación es el caudal mínimo que todavía tiene la bomba de vacío, con todas las unidades de ordeño funcionando, para absorber las entradas de aire adicionales (fugas, caídas de pezoneras, etc.), manteniendo todos los parámetros (nivel de vacío, estabilidad, etc.) dentro de las condiciones normales de ordeño, es decir, sin que el vacío en la unidad final disminuya más de 2 kPa.

Las necesidades de reserva real que marca la Norma UNE vienen reflejadas en la **Tabla 4**.

2.2. Necesidades de aire para el lavado

Las conducciones de leche se lavan generalmente con una solución de lavado que fluye en régimen turbulento a una velocidad entre 7 y 10 m/s. El caudal de aire que se necesita para que se produzca un lavado eficaz puede calcularse a partir de la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{\pi \times d^2}{4} \times V \times \frac{P_B - p}{P_B}$$

donde:

Q: Caudal necesario para lavar (l/min)

d: Diámetro interior de la conducción (en dm)

V: velocidad del aire y de la solución en el interior de la conducción (en dm/min)

p_B: presión atmosférica

p: vacío de trabajo

La **tabla 5** indica el caudal de aire necesario para el lavado (al aplicar la ecuación) en función del diámetro de la conducción de leche y del vacío de trabajo, para una presión barométrica de 100 kPa.

Para calcular estas necesidades cuando la presión atmosférica de referencia no es 100 kPa, se multiplica la cifra correspondiente de la última fila por el valor (p_B - p)/p_B.

2.3. Elementos auxiliares

Los elementos auxiliares satisfacen sus necesidades de vacío de la misma fuente de vacío que el ordeño, aunque no sean utilizados directamente en el ordeño de un animal. Estos elementos pueden dividirse en tres grupos:

- a. Los que funcionan permanentemente durante el ordeño
- b. Los que necesitan una cierta cantidad de aire durante un corto período de tiempo durante el ordeño; por ejemplo, retiradores automáticos de pezoneras o puertas de accionamiento automático
- c. Los que funcionan antes o después del ordeño

El consumo de los equipos debe ser especificado por el fabricante.

2.4. Cálculo del caudal de la bomba de vacío

La capacidad de la bomba de vacío debe ser tal que pueda extraer todo el aire que entra en la instalación, e decir, el consumido por el funcionamiento de los pulsadores, el que entra por el orificio de los colectores, el consumido por otros elementos, además de las fugas que pudieran producirse, sin olvidar que debe mantener la reserva de la instalación.

(1) Al consumo de aire de los pulsadores, colectores y otros elementos auxiliares le sumaremos:

- a) la reserva real determinada en el punto 2.1.
- b) las necesidades de aire para el lavado, calculadas en el punto 2.2.

Consideraremos el mayor valor resultante de las dos sumas anteriores.

- (2) En concepto de fugas, a este valor se le suma 10 l/min, más 2 l/min en salas de ordeño ó 1l/min en establos con conducción de leche por cada unidad de ordeño
- (3) Sumar las pérdidas del regulador: 10% de la reserva manual (reserva con el regulador desconectado) o la cifra dada por el fabricante.
- (4) Sumar, en concepto de fugas en las conducciones de aire, un 5% del caudal nominal de la bomba

En la **Tabla 6** se resumen los resultados de este procedimiento de cálculo para distinto números de unidades, entre 2 y 20. En la última fila de dicha tabla figura el resultado de aplicar una fórmula establecida por la firma DeLaval, apreciándose muy poca diferencia con relación al resultado obtenido tras el laborioso proceso de cálculo que establece la Norma UNE y simplificando enormemente, por tanto, el cálculo del caudal de la bomba necesario.

Para simplificar aún más, la **Tabla 7** permite obtener las necesidades mínimas de caudal, conocidos el número de unidades de ordeño y el diámetro de la conducción de leche que se requiere.

Finalmente, debemos considerar las condiciones de trabajo en que funcionará la bomba, es decir, la altitud y el vacío de ordeño, puesto que el cálculo anterior se establece para las condiciones de referencia (100 kPa de presión atmosférica y 50 kPa de vacío de ordeño). Estos dos parámetros permiten establecer un coeficiente de corrección el cual, multiplicado por el caudal obtenido para las condiciones de referencia citadas, nos dará la capacidad de la bomba en la situación de trabajo. Dicho factor de corrección H se obtiene a partir de una fórmula que figura en la Norma UNE 68050:1998 y se especifica en la **Tabla 8**.

Ejemplo: Una instalación de ordeño con 12 unidades, situada a nivel del mar y con un vacío de trabajo de 50 kPa, requiere una bomba con una capacidad de 1.160 l/min (Tabla 5). Esta misma instalación, si estuviera situada a 1.000 m sobre el nivel del mar y trabajando a 42 kPa, necesitaría una bomba de $1.160 \times 0,92 = 1.067$ l/min (factor de corrección $H = 0,92$. – Tabla 7).

Podemos comprobar en dicha Tabla 7 cómo el rendimiento de las bombas disminuye según aumenta la altitud y aumenta según disminuye el vacío de ordeño.

3. Cálculo del diámetro interior mínimo de las conducciones de aire

La nueva Norma UNE 68050:1998 introduce cuatro novedades principales en la metodología de cálculo del diámetro interior mínimo de las conducciones de aire.

- a) Tiene en cuenta el material con que está fabricada la conducción (plástico y acero inoxidable o hierro galvanizado).
- b) Si la tubería es la conducción principal (**Figura 2**) o la que suministra vacío a los pulsadores¹ (**Figura 3**)
- c) Caída de vacío máxima admisible (con el límite de 3 kPa)
- d) Número de derivaciones, empalmes o tés, codos, medidores, depósito sanitario, depósito interceptor, unidad final,...La Norma considera que la existencia de codos y piezas especiales como piezas en T, conexiones de entrada y de salida de los recipientes (unidad final, depósito interceptor, etc.) producen pérdidas de vacío por fricción equivalentes a una pieza de conducción recta de una cierta longitud. Estas longitudes equivalentes deberían añadirse a la longitud total de la conducción cuando se calcula la caída de vacío en la conducción de aire.

De nuevo, el procedimiento de cálculo que establece la Norma es laborioso. Las tablas que permiten establecer el diámetro interior mínimo de las conducciones de aire se elaboran a partir de diversas fórmulas, diferentes según el material de la tubería (dada la distinta rugosidad), donde las variables son el caudal de aire que circula por la tubería y la longitud de la misma.

Obviamente, no existen tantos diámetros comerciales como los que las fórmulas permiten obtener ni conducciones tan largas como figura en las tablas mencionadas. Por ello, podemos acudir a tablas simplificadas donde se establecen unas condiciones bastante habituales y se agrupan los “infinitos diámetros resultantes de la aplicación de las fórmulas de la Norma en los tres diámetros comerciales más comunes, tanto para conducciones de aire principales (**Tabla 9**) como para las conducciones de pulsación (**Tabla 10**)². Consideramos que la existencia de mayor o menor número de codos y piezas especiales no modifica de forma importante el resultado. No obstante, sí habría que cuidar mucho más los detalles de montaje para garantizar un funcionamiento más correcto de la instalación.

La línea de pulsación se utiliza principalmente para dar vacío a los pulsadores, aunque también puede ser utilizada para dar vacío a otros equipos como los retiradores automáticos de pezoneras.

4. Ejemplo de cálculo

Consideremos una sala de ordeño en espina de pescado, con doce unidades de ordeño (6 a cada lado del foso) y manejada por un solo operario que coloca las unidades de ordeño con un intervalo de 30 segundos. El operario puede considerarse cuidadoso, por lo que las entradas intermitentes de aire no son superiores a 100 l/min. La instalación sólo nos permite montar la conducción de leche con una pendiente del 1 %. El vacío de ordeño es de 50 kPa.

¹ La conducción principal de aire va desde la bomba hasta la primera derivación

² Existen otras tablas para tuberías de acero galvanizado

4.1. Conducción de leche

En la Figura 1 podemos ver que si hay 6 unidades por lado, el diámetro interno de la tubería debe ser de 60 mm para una pendiente del 1 %. Si la pendiente fuese del 1,5 %, podría instalarse un menor diámetro, de 50 mm.

Una vez elegida la tubería de leche, es posible determinar el caudal de la bomba

4.2. Caudal de la bomba

En la tabla 6 podemos ver que la demanda de vacío es de 1.160 l/min a nivel del mar, para 12 unidades. También podríamos determinar esta capacidad a partir de la fórmula establecida por DeLaval o por el procedimiento descrito en la Norma UNE. La explotación está situada a 500 m de altitud, por lo que el factor de corrección es 1,07 (ver tabla 8). Por tanto, la capacidad mínima de la bomba será:

$$1,07 \times 1.160 = 1.241 \text{ l/min}$$

De las bombas comercialmente disponibles, se elegirá aquella cuyo caudal sea igual o mayor al calculado.

4.3. Conducciones de aire

La **línea básica** o conducción principal es de PVC, tiene una longitud de 18 metros y consta de 7 curvas y una pieza en T. La capacidad de la bomba de vacío elegida es de 1.300 l/min. La tabla 9 nos da un diámetro interno de 50 mm, por lo que elegimos una tubería de 75 mm (diámetro interno de 68,5 mm > 50 mm).

La **línea de pulsación** debe estar montada en anillo y tiene una longitud de 26 metros. Los consumos de aire para instalaciones típicas son:

Pulsador:	30 l/min
Retirador:	20 l/min

Con 12 pulsadores y 12 retiradores, el flujo de aire en la línea de pulsación es de:

$$12 \times (20 + 30) = 600 \text{ l/min.}$$

De la tabla 10 obtenemos que el diámetro mínimo debe ser de 33 mm. Seleccionamos tubería de PVC de 50/45.

5. Conclusiones

Confiamos que este trabajo haya servido para hacer más sencillo y claro al lector interesado el cálculo de la instalación de ordeño. La “filosofía” del mismo, así como las diversas fórmulas de cálculo y las tablas que se han mencionado y no figuran en el texto, pueden ser consultadas en la propia Norma UNE.

BIBLIOGRAFÍA

ALFA LAVAL AGRI. Normas ISO. Dimensionamiento de instalaciones de ordeño. 1997.

CALLEJO, A. Cálculo de la maquinaria de ordeño. Curso de Técnico de control de montaje y mantenimiento de instalaciones de ordeño mecánico. Dirección General de Empleo. Consejería de Economía. Comunidad de Madrid. EUITA-UPM. 1998

PONCE DE LEON, J.L. Nuevas normas ISO sobre máquinas de ordeño para la mejora en el control de las mamitis. VIII Jornadas Técnicas sobre el Ganado Bovino. EXPOAVIGA. 1995. Barcelona

UNE 68048. Instalaciones de ordeño. Vocabulario. AENOR. 1998

UNE 68050. Instalaciones de ordeño. Construcción y funcionamiento. AENOR. 1998