

CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN DE ORDEÑO PARA GANADO OVINO Y CAPRINO

Antonio Callejo Ramos
Ingeniero Agrónomo
Dpto. de Producción Animal
E.U. de Ingeniería Técnica Agrícola-UPM

0.- INTRODUCCIÓN

Aunque todavía no se han publicado oficialmente, ya existen documentos finales de las Normas ISO que regulan los aspectos relacionados con las máquinas de ordeño; por ello, seguiremos las directrices de estos documentos que, en un tiempo no muy largo, suponemos se plasmarán en las correspondientes normas oficiales y, posteriormente, en normas españolas UNE.

Para este tema de cálculo de instalaciones, dos son las normativas que seguiremos:

1. UNE 68048 (ISO 3918): Vocabulario.
2. UNE 68050 (ISO 5707): Construcción y funcionamiento de las instalaciones de ordeño.

Las exigencias cualitativas de esta segunda norma son aplicables a vacas, búfalas, ovejas y cabras, si bien las de carácter cuantitativo para las dos últimas especies citadas se recogen en el Anexo D de dicha Norma, así como en las directrices de la Federación Internacional de Lechería (FIL), publicadas en 2002.

Es de esperar que cuando la norma ISO se traslade a la normativa española UNE, estos aspectos cuantitativos referentes a ganado ovino y caprino se recojan en la norma UNE-68078, tal y como ha sido habitual hasta la fecha.

2.- NOVEDADES DE LA NUEVA NORMA

La metodología de cálculo que introduce la nueva normativa presenta cierta complejidad respecto a la que marcaba la norma anterior 1996. Ello aconseja utilizar un formulario de seguimiento o una aplicación informática que, según la información que disponemos, se podrá descargar en los próximos meses desde la página web del Ministerio de Agricultura.

Las principales novedades son las siguientes:

- a) Mayor exigencia de reserva real, ligada a:
 - Tipo de juego de ordeño utilizado
 - Número de ordeñadores en la sala
 - Valor mínimo de 600 l/min de aire libre
- b) Se recomienda una pendiente mínima del 0,5% en la tubería de transporte de leche.
- c) Se recomienda que el juego de ordeño y los tubos largos de leche adopten una disposición determinada para reducir las fluctuaciones no cíclicas de vacío bajo el pezón.
- d) Para el cálculo del diámetro de la conducción de transporte de leche es preciso conocer los valores medios de algunos parámetros relativos a la cinética de emisión de leche, ya que determinan el caudal de leche que circula por dicha conducción.

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.

3.1. Cálculo de la 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.

Su valor se ha incrementado de forma importante ya que es conocido el efecto negativo que las fluctuaciones no cíclicas de vacío pueden producir en el estado sanitario del pezón. Éstas se deben, en gran parte, a las entradas de aire en la instalación durante la puesta y retirada de pezoneras, además de a las caídas accidentales de la misma durante el ordeño.

El valor de la reserva real mínima necesaria en instalaciones de ganado ovino y ganado caprino se determina por las fórmulas contenidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Reservas reales mínimas⁽¹⁾ para instalaciones de ovejas y cabras en función del juego de ordeño utilizado

Juego de ordeño dotado de	Nº de uds.	Reserva real mínima (l/min de aire libre)	
		Máquinas de ordeño con conducción	Máquinas de ordeño con cubo
Válvula automática + retirador automático de pezoneras	$n \leq 10$ $n > 10$	$200 + 20n$ $400 + 10(n-10)$ (Tabla 2)	
Válvula automática	$n \leq 10$ $n > 10$	$200 + 20n + nA$ $400 + 10(n-10) + nA$ (Tabla 3)	$100 + 20n + nA$ $300 + 10(n-10) + nA$
Válvula automática de cierre de vacío	$n \leq 10$ $n > 10$	$200 + 20n + 200M$ $400 + 10(n-10) + 20M$ (Tabla 4)	$100 + 20n + 100M$ $300 + 10(n-10) + 100M$
Convencional	$n \leq 10$ $n > 10$	$200 + 20n + 400M$ $400 + 10(n-10) + 400$ (Tabla 5)	$100 + 20n + 200M$ $300 + 10(n-10) + 200M$
n = número de juegos de ordeño M = número de ordeñadores A = cantidad de aire extra necesaria para el funcionamiento de los sistemas de corte automático del vacío cuando la unidad está desconectada			
(1): Añadir el consumo de aire de los equipos accesorios			

Las definiciones que da la Norma a las distintas dotaciones de los juegos de ordeño son las siguientes:

- **Válvula automática:** dispositivo que, automáticamente, abre el vacío a las pezoneras en la puesta y lo cierra en la retirada o cuando el juego de ordeño se desprende del animal.
- **Válvula automática de cierre:** dispositivo que corta el vacío cuando el juego de ordeño se desprende del animal en pleno ordeño.
- **Juego de ordeño convencional:** juegos de ordeño que poseen un dispositivo de apertura y cierre del vacío a las pezoneras de operación manual.

Con las válvulas automáticas se minimiza la entrada de aire en la instalación. Por otra parte, algunas válvulas de este tipo requieren un determinado consumo de vacío para su funcionamiento cuando están desconectadas.

Como se puede observar, en estas fórmulas se introduce como coeficiente el número de ordeñadores que debe manejar la sala, ya que cuando se manipula más de un juego de ordeño simultáneamente, mayores son las entradas de aire en el sistema. Ello se debe, entre otras cuestiones, al corto tiempo de ordeño de los pequeños rumiantes y, por tanto, a una mayor frecuencia en los cambios de pezoneras que en ganado vacuno.

Esta inevitable entrada de aire cuando se colocan o retiran pezoneras se cifra en 600 l/min de aire libre en la mayor parte de los juegos de ordeño comerciales. No obstante, en instalaciones de ordeño que cuentan con grandes conducciones de aire y de leche se ha comprobado que esta cifra puede elevarse a 800-1.200 l/min de aire libre. Como es obvio, junto a una reserva suficiente, se precisa también un regulador bien mantenido y con una sensibilidad adecuada.

Las tablas 2 a 5 muestran los valores de reserva real de acuerdo con las fórmulas de la Tabla 1 para cada tipo de juego de ordeño de los citados y en función del número de unidades, hasta 36. Cuando se dispone de válvula automática, se han considerado dos ejemplos de 20 l/min y 40 l/min de aire extra para su funcionamiento).

Tabla 2.
Reserva real mínima para ordeñar, en l/min de aire libre, para
Juegos de ordeño dotados de válvula automática y retirada automática de pezoneras

Número de unidades	litros de aire libre/min
2	240
3	260
4	280
5	300
6	320
7	340
8	360
9	380
10	400
11	410
12	420
13	430
14	440
15	450
16	460
17	470
18	480
19	490
20	500
21	510
22	520
23	530
24	540
25	550
26	560
27	570
28	580
29	590
30	600
31	610
32	620
33	630
34	640
35	650
36	660

Tabla 3
Reserva real mínima para ordeñar, en l/min de aire libre, para
Juegos de ordeño con válvula automática
(ejemplos con aire extra de 20 l/min y 40 l/min)

Número de unidades	Máquinas con conducción de leche		Máquina de ordeño con olla	
	<i>E</i> = 20 l/min	<i>E</i> = 40 l/min	<i>E</i> = 20 l/min	<i>E</i> = 40 l/min
2	280	320	180	220
3	320	380	220	280
4	360	440	260	340
5	400	500	300	400
6	440	560	340	460
7	480	620	380	520
8	520	680	420	580
9	560	740	460	640
10	600	800	500	700
11	630	850	530	750
12	660	900	560	800
13	690	950	590	850
14	720	1 000	620	900
15	750	1 050	650	950
16	780	1 100	680	1 000
17	810	1 150	710	1 050
18	840	1 200	740	1 100
19	870	1 250	770	1 150
20	900	1 300	800	1 200
21	930	1 350		
22	960	1 400		
23	990	1 450		
24	1 020	1 500		
25	1 050	1 550		
26	1 080	1 600		
27	1 110	1 650		
28	1 140	1 700		
29	1 170	1 750		
30	1 200	1 800		
31	1 230	1 850		
32	1 260	1 900		
33	1 290	1 950		
34	1 320	2 000		
35	1 350	2 050		
36	1 380	2 100		

E = Aire libre extra para el funcionamiento de las válvulas

Tabla 4
Reserva real mínima para ordeñar, en l/min de aire libre, para
Juegos de ordeño con válvula automática de cierre de vacío

Número de unidades	Máquina de ordeño con conducción de leche		Máquina de ordeño con olla	
	<i>M</i> = 1	<i>M</i> = 2	<i>M</i> = 1	<i>M</i> = 2
2	440	640	240	340
3	460	660	260	360
4	480	680	280	380
5	500	700	300	400
6	520	720	320	420
7	540	740	340	440
8	560	760	360	460
9	580	780	380	480
10	600	800	400	500
11	610	810	410	510
12	620	820	420	520
13	630	830	430	530
14	640	840	440	540
15	650	850	450	550
16	660	860	460	560
17	670	870	470	570
18	680	880	480	580
19	690	890	490	590
20	700	900	500	600
21	710	910		
22	720	920		
23	730	930		
24	740	940		
25	750	950		
26	760	960		
27	770	970		
28	780	980		
29	790	990		
30	800	1 000		
31	810	1 010		
32	820	1 020		
33	830	1 030		
34	840	1 040		
35	850	1 050		
36	860	1 060		

M = Número de ordeñadores

Tabla 5
Reserva real mínima para ordeñar, en l/min de aire libre, para
Juegos de ordeño convencionales

Número de unidades	Máquina de ordeño con conducción de leche		Máquina de ordeño con ollas	
	<i>M</i> = 1	<i>M</i> = 2	<i>M</i> = 1	<i>M</i> = 2
2	640	1 040	340	540
3	660	1 060	360	560
4	680	1 080	380	580
5	700	1 100	400	600
6	720	1 120	420	620
7	740	1 140	440	640
8	760	1 160	460	660
9	780	1 180	480	680
10	800	1 200	500	700
11	810	1 210	510	710
12	820	1 220	520	720
13	830	1 230	530	730
14	840	1 240	540	740
15	850	1 250	550	750
16	860	1 260	560	760
17	870	1 270	570	770
18	880	1 280	580	780
19	890	1 290	590	790
20	900	1 300	600	800
21	910	1 310		
22	920	1 320		
23	930	1 330		
24	940	1 340		
25	950	1 350		
26	960	1 360		
27	970	1 370		
28	980	1 380		
29	990	1 390		
30	1 000	1 400		
31	1 010	1 410		
32	1 020	1 420		
33	1 030	1 430		
34	1 040	1 440		
35	1 050	1 450		
36	1 060	1 460		

M = Número de ordeñadores

3.2. Necesidades de aire para el lavado

Las conducciones de leche se lavan generalmente con una solución de lavado que debe fluir en régimen turbulento para ser efectiva, a una velocidad entre 7 y 10 m/s. El caudal de aire que se necesita para que se produzca un lavado eficaz (es decir, que se formen tapones en las conducciones) puede calcularse a partir de la ecuación siguiente:

$$Q = \frac{\pi \times d^2}{4} \times V \times \frac{p_b - p_i}{p_B}$$

donde:

- Q: Caudal necesario para lavar (l/min)
- d: Diámetro interior de la conducción (en decímetros)
- V: velocidad del aire y de la solución en el interior de la conducción (en decímetros/min)
- p_B : presión atmosférica real
- p_i : vacío durante la limpieza de la instalación

Debido al bajo valor de vacío que se utiliza habitualmente en el ordeño de pequeños rumiantes, suele ser conveniente elevar su nivel durante la limpieza de las conducciones. Para ello, lo más cómodo es instalar un segundo regulador, que se conecta durante el lavado y se desconecta para ordeñar. Todo ello, sin perjuicio de otras propuestas (p.ej., inyectores de aire) para conseguir un lavado eficiente y eficaz de las instalaciones.

La **tabla 6** indica el caudal de aire necesario para el lavado (al aplicar la ecuación) en función del diámetro de la conducción de leche y del nivel de vacío durante dicha limpieza, para una presión barométrica de 100 kPa.

Cuando la presión atmosférica es 100 kPa, se debe utilizar la primera parte de la tabla (filas de la tabla correspondientes a niveles de vacío entre 36 y 50 kPa). Por ejemplo, el aire necesario para la limpieza de una instalación equipada con una conducción de leche de 60 mm de diámetro interno y un vacío de 42 kPa es 787 l/min, a nivel del mar (en realidad, hasta 299 m) y a 100 kPa de presión atmosférica.

Tabla 6. Caudal de aire necesario para la limpieza (l/min) a una velocidad de 8 m/s y una presión atmosférica de 100 kPa (excepto la última fila)

Vacío (kPa)	Caudal de aire con un diámetro interior mínimo de la conducción de leche de (mm)								
	34	36	38	40	44	48	50	60	73
36	279	313	348	386	467	556	603	869	1285
38	270	303	338	374	453	539	584	841	1245
40	261	293	327	362	438	521	565	814	1205
42	253	283	316	350	423	504	547	787	1165
44	244	274	305	338	409	486	528	760	1125
46	235	264	294	326	394	469	509	733	1085
48	227	254	283	314	380	452	490	706	1045
50	218	244	272	302	365	434	471	679	1004

436	489	544	603	730	869	942	1357	2008
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

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 $(p_B - p_i)/p_B$. Por ejemplo, en una instalación a 1.300 m de altitud, la presión atmosférica es 85 kPa. El caudal en la conducción es 1.357 l/min para un diámetro interno de 60 mm. El caudal necesario para el lavado se calcula multiplicando el valor correspondiente de la última fila de la Tabla 6 (1.357 l/min) por el término $K_n = (p_a - p_i)/p_a$. Será, por tanto, $1.357 \times (85 - 50/85) = 559$ l/min.

Este término K_n , puede hallarse fácilmente en la tabla 7.

Tabla 7. Coeficiente K_n en función de la altitud y el nivel de vacío.

Altitude	Pression atmosphérique	Niveau de vide en kPa															
		35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
< 300 m	100	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50
300 à 700 m	95	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.49	0.48	0.47
700 à 1200 m	90	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.44
1200 à 1700 m	85	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.41
1700 à 2000 m	80	0.56	0.55	0.54	0.53	0.51	0.50	0.49	0.48	0.46	0.45	0.44	0.43	0.41	0.40	0.39	0.38

No obstante, se puede utilizar la Tabla 8 para determinar las necesidades de lavado cuando la presión atmosférica de referencia es distinta de 100 kPa.

Tabla 8. Necesidades de aire para el lavado en función del coeficiente K_n y del diámetro de la conducción de leche.

K_n	Diamètre du lactoduc en mm										
	34	36	38	40	44	48	50	60	66	73	98
0.40	174	195	218	241	292	347	377	543	657	804	1448
0.41	179	200	223	247	299	356	386	556	673	824	1484
0.42	183	205	229	253	307	365	396	570	690	844	1521
0.43	187	210	234	259	314	373	405	584	706	864	1557
0.44	192	215	240	265	321	382	415	597	723	884	1593
0.45	196	220	245	271	328	391	424	611	739	904	1629
0.46	200	225	250	277	336	400	434	624	755	924	1665
0.47	205	230	256	283	343	408	443	638	772	944	1702
0.48	209	235	261	290	350	417	452	651	788	964	1738
0.49	214	239	267	296	358	426	462	665	805	984	1774
0.50	218	244	272	302	365	434	471	679	821	1004	1810
0.51	222	249	278	308	372	443	481	692	838	1025	1847
0.52	227	254	283	314	380	452	490	706	854	1045	1883
0.53	231	259	289	320	387	460	500	719	870	1065	1919
0.54	235	264	294	326	394	469	509	733	887	1085	1955
0.55	240	269	299	332	401	478	518	746	903	1105	1991
0.56	244	274	305	338	409	486	528	760	920	1125	2028
0.57	248	278	310	344	416	495	537	774	936	1145	2064
0.58	253	283	316	350	423	504	547	787	952	1165	2100
0.59	257	288	321	356	431	512	556	801	969	1185	2136
0.60	261	293	327	362	438	521	565	814	985	1205	2172
0.61	266	298	332	368	445	530	575	828	1002	1225	2209
0.62	270	303	338	374	453	539	584	841	1018	1246	2245
0.63	275	308	343	380	460	547	594	855	1035	1266	2281
0.64	279	313	348	386	467	556	603	869	1051	1286	2317
0.65	283	318	354	392	474	565	613	882	1067	1306	2353

3.3. 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.

3.4. Influencia de la altitud y el vacío de trabajo

En las instalaciones situadas a una altitud inferior o igual a 300m, se considera que la presión atmosférica de referencia es de 100 kPa, por lo que el resultado de las fórmulas de la Tabla 1 no necesita corrección, siempre que el vacío de trabajo sea igual a 50 kPa.

Sin embargo, cuando la altitud es superior a 300 m y el ordeño se realice a un vacío inferior a 50 kPa, es necesario introducir un factor de corrección, pues como se estudió en el Tema 1 de este Curso, el rendimiento de las bombas de vacío disminuye según aumenta la altitud a la que trabajan y aumenta conforme disminuye el vacío de ordeño.

Por ello, al valor que resulta de aplicar las fórmulas de la Tabla 1 hay que multiplicarlo por el factor de corrección (H) que se especifica en la Tabla 9, en función de los dos parámetros señalados, altitud geográfica y vacío de trabajo.

El factor de corrección H se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$H = \frac{p_{\max} - \frac{p_N \times p_s}{p_{an}}}{p_{\max} - p}$$

donde:

- p_{\max} : es el vacío en la bomba medido durante el control cuando la bomba la entrada de aire a la bomba está totalmente cerrada, en kPa
- p_N : es el vacío estándar a la entrada de la bomba, en kPa (normalmente 50)
- P_s : es la presión atmosférica de referencia según la altitud, en kPa
- P_{an} : es la presión atmosférica estándar, en kPa (normalmente 100)
- P : es el vacío a la entrada de la bomba, en kPa

Por ejemplo, una instalación trabajando a nivel del mar y a 50 kpa necesita una bomba de 1.200 l/min. Si esa misma instalación se sitúa a 1.500 m de altitud y con un vacío de trabajo de 42 kPa, la bomba que necesita debería tener un caudal de:

$$1.200 \times 0,96 = 1.152 \text{ l/min}$$

Tabla 9. Presiones atmosféricas normales (P_s) para diferentes altitudes, y factor de corrección (H) según la altitud de la instalación y el nivel de vacío de la bomba.

(1)	(2)	Coeficiente de corrección (H) para un nivel de vacío de la bomba de (kPa):																				
		30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0-300	100	.67	.68	.69	.70	.71	.73	.74	.75	.77	.78	.80	.82	.83	.85	.87	.89	.91	.93	.95	.98	1.00
300-700	95	.68	.70	.71	.72	.74	.75	.77	.78	.80	.82	.84	.85	.87	.89	.92	.94	.96	.99	1.01	1.04	1.07
700-1200	90	.71	.72	.73	.75	.77	.78	.80	.82	.84	.86	.88	.90	.92	.95	.97	1.00	1.03	1.06	1.09	1.13	1.16
1200-1700	85	.73	.75	.76	.78	.80	.82	.84	.86	.88	.91	.93	.96	.99	1.01	1.05	1.08	1.11	1.15	1.19	1.24	1.28
1700-2200	80	.76	.78	.80	.82	.84	.86	.89	.91	.94	.97	1.00	1.03	1.07	1.10	1.14	1.19	1.23	1.28	1.33	1.39	1.45

3.5. 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 3.1.
 - b) las necesidades de aire para el lavado, calculadas en el punto 3.2.

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

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).

Ejemplo de cálculo

Consideremos una instalación de ordeño con las siguientes características:

- a) Explotación situada a 1.000 m de altitud
- b) 12 juegos de ordeño dotados de válvula automática
- c) 1 ordeñador
- d) Nivel de vacío de trabajo: 38 kPa
- e) Diámetro de conducción de leche: 48 mm
- f) Entrada de aire en cada juegos de pezoneras: 8 l/min
- g) Caudal suplementario para el funcionamiento de los juegos de ordeño: 20 l/min
- h) Número de pulsadores: 6
- i) Consumo de aire de cada pulsador: 25 l/min
- j) Nivel de vacío para el lavado: 50 kPa

Cálculos:

- 1) De acuerdo con la Tabla 1, la reserva real para ordeñar será:

$$400 \text{ l/min} + (10 \times 2) \text{ l/min} + 12 \times 20) \text{ l/min} = 660 \text{ l/min}$$

- 2) Según la Tabla 6, el caudal de aire necesario para la limpieza, a 50 kPa, de una instalación con conducción de leche de 48 mm de diámetro interno y a una altitud de 1.000 m, debería ser de 382 l/min, que es mayor que el de la reserva efectiva para ordeñar.

- 3) El consumo de aire de los juegos de ordeño (admisión de aire + pulsadores) es de:

$$(8 \times 12) + (25 \times 6) = 246 \text{ l/min}$$

- 4) Total de caudal de aire necesario durante el ordeño:

$$660 \text{ l/min} + 246 \text{ l/min} = 906 \text{ l/min}$$

- 5) Total de caudal de aire durante la limpieza

$$382 \text{ l/min} + 246 \text{ l/min} = 628 \text{ l/min}$$

- 6) En este ejemplo, la capacidad necesaria para el lavado es algo mayor que para ordeñar y, por tanto, será tomada como base para el dimensionamiento de la bomba.

- 7) Fugas en el sistema de leche:

$$10 \text{ l/min} + (2 \times 12) \text{ l/min} = 34 \text{ l/min}$$

- 8) Total: $906 \text{ l/min} + 34 \text{ l/min} = 940 \text{ l/min}$

- 9) Las pérdidas de regulación son el 10% de la reserva manual. La reserva era de 660 l/min y es menor que la reserva manual. Por ello:

$$\text{Reserva manual} = 660 \text{ l/min} \times 100 / (100 - 10) = 660 / 0,9 = 733 \text{ l/min}$$

$$\text{Pérdidas de regulación: } 733 \text{ l/min} \times 10 / 100 = 73 \text{ l/min}$$

$$\text{Total: } 940 \text{ l/min} + 73 \text{ l/min} = 1.013 \text{ l/min}$$

- 10) Las fugas en las conducciones de aire son el 5% de la capacidad de la bomba:

$$1.013 \text{ l/min} \times 5 / (100 - 5) = 53 \text{ l/min}$$

$$\text{Total} = 1013 \text{ l/min} + 53 \text{ l/min} = 1.066 \text{ l/min}$$

$$\text{También: } 1.013 \text{ l/min} / 0,95 = 1.066 \text{ l/min}$$

- 11) Con una caída de vacío máxima permitida de 3 kPa entre la bomba y el punto de medida, el nivel de vacío de la bomba será: $38 \text{ kPa} + 3 \text{ kPa} = 41 \text{ kPa}$

La corrección por altitud de acuerdo con la Tabla 9 para una altitud de 1.000 m y un nivel de vacío de 41 kPa, da un factor de corrección $H = 0,90$, lo que implica que, para una presión atmosférica de 100 kPa y un vacío de trabajo de 50 kPa, la capacidad nominal de la bomba será de:

$$1.066 \text{ l/min} \times 0,9 = 959 \text{ l/min}$$

4. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO MÍNIMO DE LAS CONDUCCIONES DE LECHE

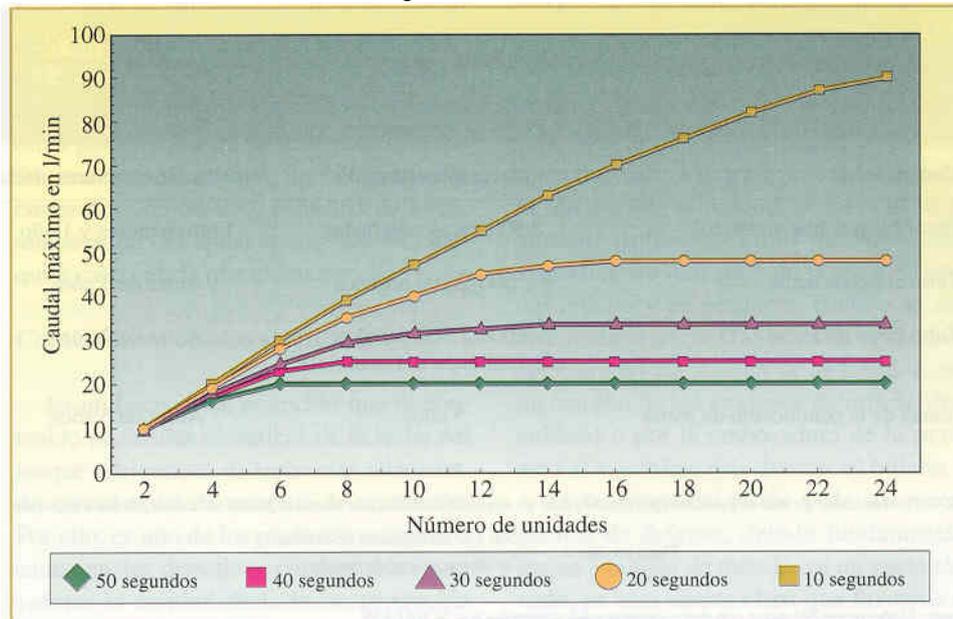
La nueva norma ISO 5707, en sus aspectos cualitativos, admite una caída de vacío máxima de 2 Kpa en la conducción de leche, entre el receptor o unidad final y cualquier punto de la misma, con todas las unidades funcionando en condiciones de ordeño real, para favorecer un régimen laminar durante, al menos,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

Podemos observar (aunque este gráfico corresponda a ganado vacuno) en la Figura 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 (animales) por el flujo máximo por animal, sino inferior. Como se observa en la citada figura, dependiendo del flujo máximo de ordeño por animal y del intervalo de puesta de las unidades de ordeño, el caudal de leche que circula por la conducción llega a un máximo, a partir del cual no depende del número de unidades. Este hecho, entre otras cuestiones, sirve para no justificar el uso de diámetros superiores a los calculados que, por otra parte, son más difíciles de limpiar eficazmente.

El problema suele ser algo más complejo en el caso de los pequeños rumiantes derivado de la existencia de dos especies (ovino y caprino) y dentro de cada una de ellas, de un elevado número de razas con muy distintas características en el ordeño (sobre todo, flujos de leche y tiempos de ordeño).

De esta forma, considerando una admisión de aire de 8 l/min por el orificio del colector más las fugas (en cada juego de ordeño) y tres flujos de leche (0,8 l/min para especies y razas con bajos flujos de leche, 1,3 l/min para especies y razas con flujos de leche medios y 2 l/min para especies y razas con flujos de leche elevados), las relaciones aire/flujo de leche serán 10, 6,15 y 3, respectivamente.

Figura 1. Caudal máximo de leche en una conducción de leche para un rebaño de vacas con un flujo medio máximo de 5 l/min, para unos tiempos medios de puesta entre unidades de 10 a 50 segundos.

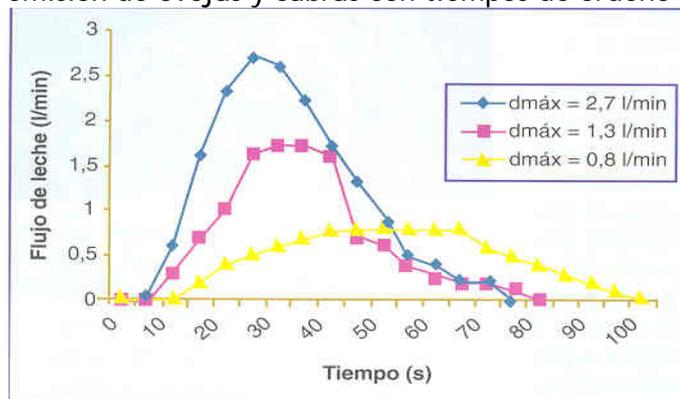


También se han considerado dos niveles de tiempo de ordeño, inferior a 120 segundos y superior a 120 segundos. La combinación de una determinada relación aire/flujo de leche y de un tiempo medio de ordeño se aplicará en función de las especificidades de la raza en cuestión.

Las figuras 2 y 3 representan las cinéticas elementales por animal, a partir de las cuales se calcula el flujo máximo de leche que circulará por cada ramal de la instalación.

Las curvas de emisión de leche representadas han sido registradas en rebaños comerciales, y de ellas se han extraído dos parámetros, el tiempo de ordeño y el flujo máximo. El flujo máximo se define como el valor máximo del flujo instantáneo durante, al menos, 10 segundos.

Figura 2. Curvas de emisión de ovejas y cabras con tiempos de ordeño cortos (<120 s)

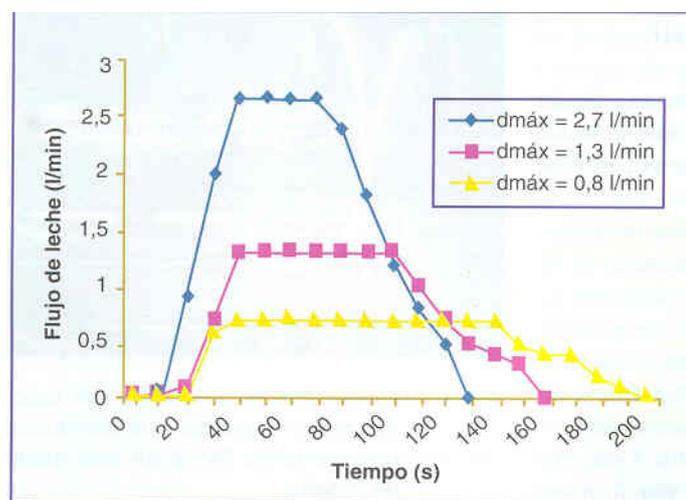


Fuente: Fernández y col. 1998

Estas curvas son representativas de las siguientes razas:

- Ovejas: $dm_{\text{máx}} = 0,8 \text{ l/min}$: Lacaune
 $dm_{\text{máx}} = 1,3 \text{ l/min}$: Churra, Latxa y Manchega
 $dm_{\text{máx}} = 2,7 \text{ l/min}$: Sarda
- Cabras: $dm_{\text{máx}} = 0,8 \text{ l/min}$: Murciano-Granadina
 $D_{\text{max}} = 1,3 \text{ l/min}$: Canaria (2 ordeños/día)

Figura 3. Curvas de emisión de ovejas y cabras con tiempos de ordeño cortos (>120s)



Fuente: Fernández y col. 1998

Estas curvas son representativas de las siguientes razas:

- Cabras: $dm_{\text{máx}} = 0,8 \text{ l/min}$: Saanen
 $D_{\text{max}} = 1,3 \text{ l/min}$: Alpina, Canaria (1 ordeño/día)

Una vez conocido el caudal máximo de leche, se elige el diámetro de la conducción de leche en función de la relación aire/leche circulante, del aire intermitente y de la pendiente de la propia conducción. Posteriormente, se debe comprobar que las condiciones elegidas permiten manejar el número de unidades instaladas en función del tipo de juego de ordeño utilizado, de forma que el régimen laminar sea el más habitual en la circulación de la leche por la tubería.

La Tabla 10 indica el flujo máximo por ramal para asegurar que el régimen laminar es el más habitual durante el ordeño para las tres relaciones aire/flujo de leche, en función del caudal de aire transitorio y de la pendiente de la conducción de leche.

Por otra parte, los flujos de leche de esta Tabla 10 deberán ser mayores o iguales a los flujos reales que circulan por la conducción de leche, los cuales pueden ser estimados a través de las curvas de emisión de leche junto a los intervalos de colocación esperados.

A este respecto, intervalos de colocación de 5 y 10 segundos parecen adecuados, especialmente en las instalaciones en que no se realiza tratamiento higiénico-sanitario previo a la puesta de pezoneras. En las que sí se hace, se pueden tomar intervalos de colocación de 15 y 20 segundos.

No es posible realizar cálculos específicos para cada raza. Por ello, para los cálculos se han considerado los dos niveles de tiempos de ordeño señalados con anterioridad, con tres tipos de curvas correspondientes a las razas más comunes de ovejas y cabras, lo que se refleja en las Figuras 2 y 3.

Tabla 10. Máximo flujo de leche por ramal (l/min) para asegurar que el régimen laminar es el más habitual durante el ordeño

Diámetro interior (mm)	Aire transitorio (l/min)																			
	25 l/min				50 l/min				100 l/min				200 l/min				400 l/min			
	pendiente (%)		pendiente (%)		pendiente (%)		pendiente (%)		pendiente (%)		pendiente (%)		pendiente (%)		pendiente (%)					
	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2
ratio = 10:1																				
38	5	7	9	11	4	6	8	10	3	5	6	8	2	3	4	6	1	2	2	3
48,5	10	14	18	21	9	13	17	19	7	11	15	17	5	8	11	14	3	5	8	10
60	17	25	31	36	16	24	30	35	14	22	28	33	11	18	24	29	7	13	18	22
73	29	42	51	60	28	41	50	58	26	38	48	56	22	34	44	52	16	27	36	44
ratio = 6,15:1																				
38	6	9	11	13	4	7	10	11	3	5	7	9	2	3	5	6	1	2	3	3
48,5	12	17	22	26	10	16	20	24	8	13	17	21	5	9	13	16	3	5	8	10
60	21	31	38	45	20	29	37	43	17	26	33	39	12	21	27	33	8	14	20	25
73	36	52	64	74	34	50	62	72	31	46	59	69	25	40	52	62	18	31	41	51
flow ratio = 3:1																				
38	7	12	15	18	5	9	12	15	3	6	8	11	2	3	5	6	1	2	3	3
48,5	16	24	31	36	13	21	27	32	9	16	22	27	6	10	15	19	3	6	8	11
60	30	44	55	64	27	41	51	60	21	34	44	53	14	25	34	42	8	15	22	28
73	51	74	92	107	48	70	88	103	41	63	81	95	31	52	68	82	20	36	50	63

La tabla 11 muestran ejemplos de predicción del flujo máximo de un grupo de ovejas y/o cabras con flujos máximos de 0,8, 1,3 y 2,7 l/min, para tiempos de ordeño cortos y largos e intervalos de colocación de pezoneras de 5, 10, 15 y 20 segundos.

En las Tablas 12 a 18 se puede encontrar el número máximo de unidades por ramal que aseguran la existencia de flujo laminar en las conducciones de leche durante el ordeño.

En los cálculos se ha tenido en cuenta la pendiente de la conducción, el montaje de la misma (simple o en anillo) y el tipo de juego de ordeño.

Las condiciones del flujo de aire están basadas en una admisión de aire de 8 l/min (a través de las tomas de aire más las fugas constantes), a la que se le han sumado los flujos de aire intermitentes, asociados a la puesta y la retirada de pezoneras y al deslizamiento de los juegos de ordeño. Para simplificar los cálculos, en los juegos de ordeño con válvula automática solo se considera el caso en que todas las unidades están funcionando a la vez. Esta es la situación de máximo flujo de leche, pero solamente con el flujo de aire proveniente de la toma de aire y de las fugas. Sin embargo, en los cálculos se tiene en cuenta el aire transitorio.

Lo que aquí se propone para el aire transitorio debe estar de acuerdo con otros apartados de este documento, en particular con el cálculo de la reserva efectiva, y son los siguientes:

1. Para juegos de ordeño convencionales: 400 l/min para el flujo intermitente para una conducción sencilla y 200 l/min para una conducción en anillo
2. para juegos de ordeño dotados de válvula automática de cierre: 200 l/min para el flujo de aire intermitente en una conducción sencilla y 100 l/min por ramal para una conducción en anillo.
3. Para juegos dotados de válvula automática: 50 l/min para el flujo de aire intermitente en una conducción sencilla y 25 l/min por ramal para una conducción en anillo.

El diámetro mínimo de la conducción de leche recomendado puede ser calculado a través de la Tabla 10 junto a la Tabla 11, dependiendo de la duración del tiempo de ordeño y de los tiempos de colocación de 5, 10, 15 y 20 segundos.

Tabla 11. Predicción del caudal máximo de leche (l/min) en conducciones de leche de pequeños rumiantes con distintos intervalos de colocación de pezoneras y tiempos de ordeño corto (≤ 10 seg.) y largo (> 120 seg.).

Tiempo de colocación (seg.)	Flujo max. óv. kg/min	Número de unidades																			
		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Tiempos de ordeño cortos (<120 seg.)																					
5	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,2	7,3	8,2	8,7	9,0	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
	1,3	2,6	3,9	5,2	6,2	7,1	8,4	9,1	9,6	9,9	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	2,7	5,4	7,7	9,9	11,7	13,2	15,5	16,6	17,2	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
10	0,8	1,6	2,4	3,1	3,7	4,1	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
	1,3	2,6	3,6	4,2	4,6	4,9	5,1	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
	2,7	5,0	6,8	7,8	8,3	8,7	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
15	0,8	1,6	2,3	2,8	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
	1,3	2,6	3,0	3,4	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	2,7	4,5	5,6	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
20	0,8	1,6	2,1	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
	1,3	2,3	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
	2,7	4,1	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
Tiempos de ordeño largos (>120 seg.)																					
5	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,0	9,6	11,2	12,8	14,4	16,0	17,6	19,0	20,1	21,0	21,7	22,1	22,3	22,4
	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	10,4	13,0	15,6	18,2	20,1	21,3	22,3	23,0	23,6	24,0	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2
	2,7	5,4	8,1	10,8	13,5	16,2	21,3	25,2	28,2	30,0	31,1	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4
10	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,0	9,5	10,6	11,1	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	10,4	11,5	12,1	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
	2,7	5,4	8,1	10,8	12,6	14,2	15,8	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
15	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	7,3	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	6,8	7,6	8,1	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
	2,7	5,4	8,1	10,8	12,3	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
20	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,1	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
	1,3	2,6	3,9	5,2	5,8	6,2	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
	2,7	5,4	7,9	9,3	10,2	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7

^a Average peak flow per sheep/goat for different attachment intervals.

Tabla 12
 Número máximo de unidades por ramal para tres flujos de leche máximos y animales con
 tiempos de ordeño cortos. Tiempos de colocación de 5 s (10 s entre paréntesis)
Juegos de ordeño dotados de válvula automática

Milkline type	Nominal internal diameter mm	Maximum number of units for a slope of			
		0,5 %	1 %	1,5 %	2 %
Peak flow per animal = 0,8 kg/min					
looped	38	6 (a)	9 (a)	16 (a)	a (a)
	48,5	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead- ended	38	5(5)	7 (a)	11 (a)	a (a)
	48,5	16 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 1,3 kg/min					
looped	38	4 (a)	9 (a)	a (a)	a (a)
	48,5	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead- ended	38	3 (3)	5 (a)	a (a)	a (a)
	48,5	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 2,7 kg/min					
looped	38	2 (2)	5 (a)	7 (a)	a (a)
	48,5	8 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead- ended	38	1 (2)	3 (a)	5 (a)	7 (a)
	48,5	5 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
NOTE The figures given in parentheses indicate the maximum number of units per slope at a mean attachment interval of 10 s per slope.					
^a An unlimited number of milking units is possible.					

Tabla 13.

Número máximo de unidades por ramal para tres flujos de leche máximos y animales con tiempos de ordeño cortos. Tiempos de colocación de 5 s (10 s entre paréntesis)
Juegos de ordeño dotados de válvula automática de cierre del vacío

Milkline type	Nominal internal diameter mm	Maximum number of units for a slope of			
		0,5 %	1 %	1,5 %	2 %
Peak flow per animal = 0,8 kg/min					
looped	38	3 (3)	6 ^(a)	7 (a)	11 (a)
	48,5	9 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead-ended	38	2 (2)	3 (3)	5 (5)	7 (a)
	48,5	6 (a)	11 (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 1,3 kg/min					
looped	38	2(2)	3 (7)	4 (a)	7(a)
	48,5	7 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73				
dead-ended	38	1 (1)	2 (2)	3 (7)	4 (a)
	48,5	3 (7)	9 (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 2,7 kg/min					
looped	38	1 (1)	1(1)	2(2)	3(4)
	48,5	2(3)	4 (a)	7 (a)	a (a)
	60	6(a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead-ended	38	1(1)	1 (1)	1(1)	2 (2)
	48,5	1(1)	4 (a)	7 (a)	a (a)
	60	6 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
NOTE The figures given in parentheses indicate the maximum number of units per slope at a mean attachment interval of 10 s per slope.					
^a An unlimited number of milking units is possible.					

Tabla 14

Número máximo de unidades por ramal para tres flujos de leche máximos y animales con tiempos de ordeño cortos. Tiempos de colocación de 5 s (10 s entre paréntesis)
Juegos de ordeño convencionales

Tipo de conducción	Diámetro interior (mm)	Pendiente			
		0,5 %	1 %	1,5 %	2 %
Flujo máximo/animal = 0,8 l/min					
Anillo	38	2 (2)	3 (3)	5 (5)	7 (a)
	48,5	6 (a)	11 (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Simple	38	1 (1)	2 (2)	2 (2)	3 (3)
	48,5	3 (3)	6 (a)	11 (a)	a (a)
	60	9 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Flujo máximo/animal = 1,3 l/min					
looped	38	1 (1)	2 (2)	3 (7)	4 (a)
	48,5	3 (7)	9 (a)	a (a)	a (a)
	60	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead-ended	38	1 (1)	1 (1)	2 (2)	2 (2)
	48,5	2 (2)	3 (7)	7 (a)	a (a)
	60	7 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	13 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Flujo máximo/animal = 2,7 l/min					
looped	38	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (2)
	48,5	1 (1)	4 (a)	7 (a)	a (a)
	60	6 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead-ended	38	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
	48,5	1 (1)	2 (2)	3 (4)	4 (a)
	60	3 (4)	7 (a)	a (a)	a (a)
	73	7 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
(a) = Número ilimitado de unidades de ordeño					

Tabla 15
 Número máximo de unidades por ramal para tres flujos de leche máximos y animales con
 tiempos de ordeño largos. Tiempos de colocación de 5 s (10 s entre paréntesis)
Juegos de ordeño dotados de válvula automática

Milkline type	Nominal internal diameter mm	Maximum number of units for a slope of			
		0,5 %	1 %	1,5 %	2 %
Peak flow per animal = 0,8 kg/min					
looped	38	6 (6)	8 (8)	11 (11)	13 (15)
	48,5	12 (13)	17 (a)	22 (a)	28 (a)
	60	21 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead- ended	38	5 (5)	7 (7)	10 (10)	12 (13)
	48,5	11 (11)	16 (a)	21 (a)	24 (a)
	60	20 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 1,3 kg/min					
looped	38	4 (4)	6 (6)	8 (9)	10 (a)
	48,5	9 (11)	13 (a)	19 (a)	a (a)
	60	17 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead- ended	38	3 (3)	5 (5)	7 (7)	8 (9)
	48,5	7 (7)	12 (a)	15 (a)	26 (a)
	60	15 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 2,7 kg/min					
looped	38	2 (2)	4 (4)	5 (7)	6 (a)
	48,5	5 (a)	9 (a)	15 (a)	a (a)
	60	14 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead- ended	38	1 (1)	3 (3)	4 (4)	5 (7)
	48,5	4 (5)	7 (a)	11 (a)	a (a)
	60	11 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
NOTE The figures given in parentheses indicate the maximum number of units per slope at a mean attachment interval of 10 s per slope.					
^a An unlimited number of milking units is possible.					

Tabla 16

Número máximo de unidades por ramal para tres flujos de leche máximos y animales con tiempos de ordeño largos. Tiempos de colocación de 5 s (10 s entre paréntesis)
Juegos de ordeño dotados de válvula automática de cierre del vacío

Milkline type	Nominal internal diameter mm	Maximum number of units for a slope of			
		0,5 %	1 %	1,5 %	2 %
Peak flow per animal = 0,8 kg/min					
looped	38	3 (3)	6 (6)	7 (7)	10 (10)
	48,5	8 (8)	13 (15)	18 (a)	21 (a)
	60	17 (a)	31 (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead-ended	38	2 (2)	3 (3)	5 (5)	7 (7)
	48,5	6 (6)	10 (10)	13 (15)	17 (a)
	60	13 (15)	22 (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 1,3 kg/min					
looped	38	2 (2)	3 (3)	5 (5)	6 (6)
	48,5	6 (6)	10 (a)	13 (a)	17 (a)
	60	13 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead-ended	38	1 (1)	2 (2)	3 (3)	4 (4)
	48,5	3 (3)	6 (6)	8 (9)	10 (a)
	60	8 (9)	13 (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 2,7 kg/min					
looped	38	1 (1)	2 (2)	2 (2)	4 (4)
	48,5	3 (3)	5 (a)	8 (a)	11 (a)
	60	7 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead-ended	38	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (2)
	48,5	2 (2)	3 (3)	5 (7)	7 (a)
	60	5 (5)	9 (a)	a (a)	a (a)
	73	15 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
NOTE The figures given in parentheses indicate the maximum number of units per slope at a mean attachment interval of 10 s per slope.					
a An unlimited number of milking units is possible.					

Tabla 17
 Número máximo de unidades por ramal para tres flujos de leche máximos y animales con
 tiempos de ordeño largos. Tiempos de colocación de 5 s (10 s entre paréntesis)
Juegos de ordeño dotados de convencionales

Milkline type	Nominal internal diameter mm	Maximum number of units for a slope of			
		0,5 %	1 %	1,5 %	2 %
Peak flow per animal = 0,8 kg/min					
looped	38	2 (2)	3 (3)	5 (5)	7 (7)
	48,5	6 (6)	10 (10)	13 (15)	17(a)
	60	13 (15)	22 (a)	a (a)	a (a)
	73	a (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead- ended	38	1 (1)	2 (2)	2 (2)	3 (3)
	48,5	3 (3)	6 (6)	10 (10)	12 (13)
	60	8 (8)	16 (a)	22 (a)	31 (a)
	73	20 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 1,3 kg/min					
looped	38	1 (1)	2 (2)	3 (3)	4 (4)
	48,5	3 (3)	6 (6)	8 (9)	10 (a)
	60	8 (9)	13 (a)	a (a)	a (a)
	73	31 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead- ended	38	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (2)
	48,5	2 (2)	3 (3)	6 (6)	7 (7)
	60	5 (5)	10 (a)	13 (a)	19 (a)
	73	12 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
Peak flow per animal = 2,7 kg/min					
looped	38	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (2)
	48,5	2 (2)	3 (3)	5 (7)	7(a)
	60	5 (5)	9 (a)	a (a)	a (a)
	73	15 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
dead- ended	38	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)
	48,5	1 (1)	2 (2)	2 (2)	4 (4)
	60	2 (2)	5 (7)	8 (a)	11 (a)
	73	7 (a)	a (a)	a (a)	a (a)
NOTE The figures given in parentheses indicate the maximum number of units per slope at a mean attachment interval of 10 s per slope.					
^a An unlimited number of milking units is possible.					

5. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO INTERIOR DE LA CONDUCCIÓN DE AIRE

Las novedades introducidas por la Norma ISO:5707 en la metodología de cálculo del diámetro interior mínimo de las conducciones de aire, en su edición de 1996, no han sufrido variaciones en el proyecto de modificación de la misma. Son las siguientes:

- 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 4**) o la que suministra vacío a los pulsadores¹ (**Figura 5**)
- 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 su distinta rugosidad interna), 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

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

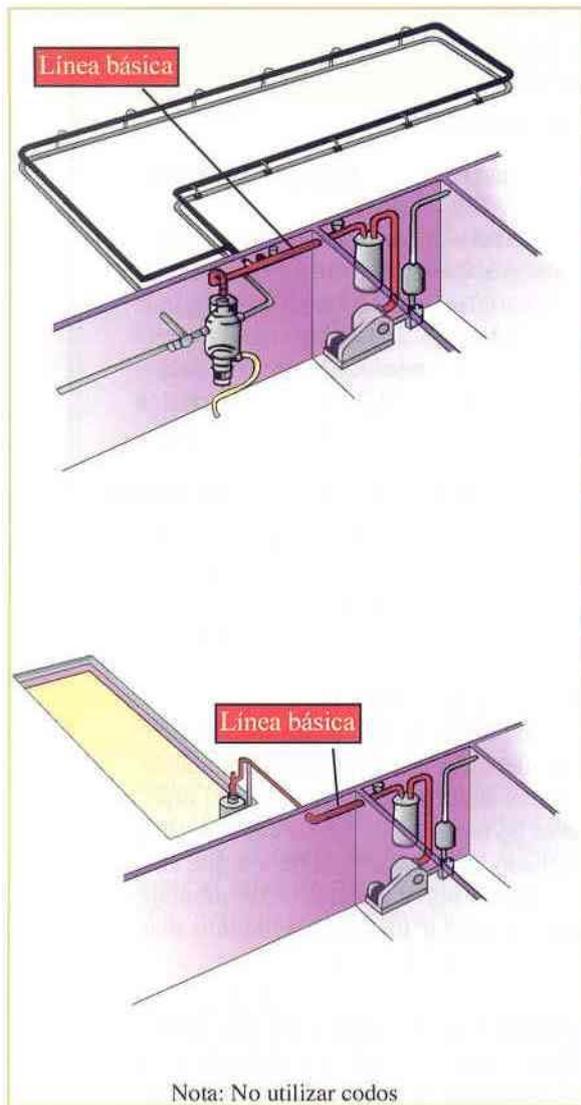


Figura 5. Línea básica o principal de vacío

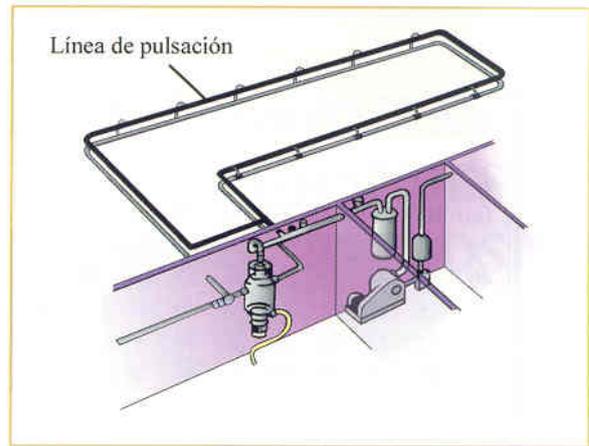


Fig. 6. Línea de pulsación

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 18) como para las conducciones de pulsación (Tabla 19)².

Se considera 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.

² Existen otras tablas para tuberías de acero galvanizado

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.

Tabla 18. Diámetro interno mínimo recomendado para líneas básicas de PVC con una caída de vacío de 2 kPa. La línea incluye 7 curvas y una pieza en T.

L = Longitud de la línea básica en m

L (m)	Flujo en l/min																		
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2500	3000	
10	32	34	36	38	40	42	43	44	46	47	48	49	51	52	53	54	58	62	
15	33	36	38	40	42	44	45	46	48	49	51	52	53	54	55	56	61	65	
20	35	38	40	42	44	45	47	48	50	51	53	54	55	56	57	58	63	68	
25	36	39	41	43	45	47	49	50	52	53	55	56	57	58	59	60	65	70	
30	37	40	42	44	46	48	50	51	53	54	56	57	59	60	61	62	67	72	

PVC 50/45 mm

PVC 75/68,5 mm

Tabla 19. Diámetro interno mínimo de la línea de pulsación en anillo, en PVC con una caída de vacío de 1 kPa. La línea incluye 6 curvas.

L = Longitud total en m

L (m)	Flujo en l/min																		
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500	3000
40	17	20	22	24	26	27	29	30	31	33	35	37	40	43	45	48	52	56	60
60	19	22	24	26	28	30	31	32	34	36	38	40	44	47	49	52	56	61	65
80	20	23	26	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	50	52	55	60	65	69
100	21	24	27	29	31	33	35	36	38	40	43	45	49	52	55	58	63	68	73

PVC 50/45 mm

PVC 75/68,5 mm

5.1. Caída de vacío debida al caudal de aire en conducciones rectas y con la superficie interior lisa

La caída de vacío, de aproximadamente hasta 3 kPa, en una conducción de aire con poca rugosidad, normalmente de plástico o de acero inoxidable, puede calcularse mediante la siguiente ecuación (1):

$$\Delta p = 27,8 \times l \times \frac{q^{1,75}}{d^{4,75}}$$

donde :

- Δp : caída de presión en la conducción (kPa)
- l : longitud de la conducción (m)
- q : caudal en la conducción (l/min de aire libre)
- d : diámetro interno de la conducción (mm)

Puesto que el caudal en la conducción y la máxima caída de vacío permitida son normalmente conocidos, esta ecuación (1) se puede escribir:

$$d = \sqrt[4,75]{\frac{27,8 \times l \times q^{1,75}}{\Delta p}}$$

donde:

- Δp : caída de vacío en la conducción, en kPa
- l : longitud de la conducción, en metros
- q : caudal de aire en la conducción, en l/min de aire libre
- d : diámetro interior del tubo, en mm

Para el caso de conducciones galvanizadas, el diámetro interior de éstas viene dado por la siguiente ecuación (2):

$$d = \sqrt[5]{\frac{18,74 \times l \times q^2}{\Delta p}}$$

La tabla 20 muestra los diámetros interiores para una única conducción con poca rugosidad, según la ecuación (1), para una presión atmosférica de 100 kPa y un vacío

de 50 kPa. Esta ecuación se utiliza normalmente para el dimensionamiento de la conducción principal, es decir entre la bomba y el principio de las conducciones de vacío de pulsación

Tabla 20. Diámetros interiores mínimos de las conducciones de aire, recomendados para una caída de vacío de 1 kPa debida al flujo de aire en canalizaciones simples de plástico o de acero inoxidable

Caudal de aire l/m	Diámetro interno mínimo, mm									
	Longitud de la conducción, m									
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70
100	15	18	19	21	22	22	24	25	26	27
200	20	23	25	27	28	29	31	32	34	35
300	23	27	29	31	32	34	36	37	39	40
400	26	30	32	34	36	37	40	42	43	45
500	28	32	35	37	39	41	43	45	47	49
600	30	34	38	40	42	43	46	48	50	52
700	32	36	40	42	44	46	49	51	53	55
800	33	38	42	44	46	48	51	54	56	58
900	35	40	44	46	48	50	54	56	58	60
1000	36	42	45	48	50	52	56	58	61	63
1200	38	44	48	51	54	56	60	62	65	67
1400	41	47	51	54	57	59	63	66	69	71
1600	43	49	54	57	60	62	66	69	72	74
1800	45	52	56	60	63	65	69	72	75	78
2000	46	54	58	62	65	68	72	75	78	81
2500	50	58	63	67	71	73	78	82	85	88
3000	54	62	68	72	76	79	83	87	91	94
3500	57	66	72	76	80	83	88	93	96	99
4000	60	69	75	80	84	87	93	97	101	104
4500	63	72	79	84	88	91	97	102	106	109
5000	65	75	82	87	91	95	101	106	110	113
5500	67	78	85	90	94	98	104	109	114	117
6000	70	80	88	93	98	101	108	113	117	121
6500	72	83	90	96	100	104	111	116	121	125
7000	74	85	93	99	103	107	114	119	124	128

La tabla 21 muestra los diámetros para conducciones en anillo con poca rugosidad, a un vacío de 50 kPa y a una presión atmosférica de 100 kPa, siempre que ambos extremos estén conectados a una conducción que tenga al menos el doble del área de su sección transversal. La tabla se basa en la ecuación (1), aplicada al caso de dos conducciones de igual longitud y caudal, y considerando que la longitud total es la suma de las longitudes de cada conducción (ramal); los cálculos se han hecho, en el ejemplo, con $l/2$ y $q/2$. Esta tabla debería utilizarse para el dimensionamiento de la conducción de aire de pulsación.

Tabla 8. Diámetros interiores mínimos de las conducciones de aire, recomendados para una caída de vacío de 1 kPa debida al flujo de aire en canalizaciones en anillo de plástico o de acero inoxidable

Caudal de aire l/m	Diámetro interno mínimo, mm											
	Longitud de la conducción, m											
	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	280
100	16	17	18	19	20	21	21	22	22	23	23	24
150	19	20	21	22	23	24	25	25	26	27	27	28
200	21	22	24	25	26	27	28	28	29	29	30	31
250	22	24	26	27	28	29	30	31	31	32	33	34
300	24	26	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36
350	25	28	29	31	32	33	34	35	36	36	37	38
400	27	29	31	32	35	35	36	36	37	38	39	40
450	28	30	32	34	35	36	37	38	39	40	40	42
500	29	31	33	35	36	38	39	40	41	41	42	43
550	30	33	35	36	38	39	40	41	42	43	44	45
600	31	34	36	37	39	40	41	42	43	44	45	47
650	32	35	37	39	40	41	43	44	45	46	46	48
700	33	36	38	40	41	43	44	45	46	47	48	49
800	34	37	40	42	43	45	46	47	48	49	50	52
900	36	39	41	43	45	47	48	49	50	51	52	54
1000	37	41	43	45	47	49	50	51	52	53	54	56
1200	40	43	46	48	50	52	53	55	56	57	58	60
1400	42	46	49	51	53	55	56	58	59	60	62	64
1600	44	48	51	54	56	58	59	61	62	63	65	67
1800	46	50	54	56	58	60	62	64	65	66	67	70
2000	48	52	56	58	61	63	64	66	68	69	70	72

La tabla 22 muestra los diámetros interiores para una conducción galvanizada simple, según la ecuación (2), para una presión atmosférica de 100 kPa y un vacío de 50 kPa. Esta ecuación se utiliza normalmente para el dimensionamiento de la conducción principal.

Tabla 22. Diámetros interiores mínimos de las conducciones de aire, recomendados para una caída de vacío de 1 kPa debida al flujo de aire en canalizaciones simples galvanizadas.

Caudal de aire l/m	Diámetro interno mínimo, mm									
	Longitud de la conducción, m									
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70
100	16	18	19	21	22	22	24	25	26	27
200	21	24	26	27	28	30	31	33	34	35
300	24	28	30	32	33	35	37	38	40	41
400	27	31	34	36	38	39	41	43	45	46
500	30	34	37	39	41	43	45	47	49	50
600	32	37	40	42	44	46	49	51	53	54
700	34	39	42	45	47	49	52	54	56	58
800	36	41	45	47	50	51	54	57	59	61
900	38	43	47	50	52	54	57	60	62	64
1000	39	45	49	52	54	56	60	62	65	67
1200	42	49	53	56	58	60	64	67	69	72
1400	45	52	56	59	62	64	68	71	74	76
1600	47	54	59	63	65	68	72	75	78	80
1800	50	57	62	66	69	71	75	79	82	84
2000	52	60	65	68	72	74	79	82	85	88
2500	57	65	71	75	78	81	86	90	93	96
3000	61	70	76	80	84	87	92	97	100	103
3500	65	75	81	86	89	93	98	103	107	110
4000	68	79	85	90	94	98	104	108	112	116
4500	72	82	89	95	99	103	109	114	118	122
5000	75	86	93	99	103	107	113	119	123	127
5500	78	89	97	103	107	111	118	123	128	132
6000	80	92	100	106	111	115	122	128	132	136
6500	83	95	104	110	115	119	126	132	137	141
7000	86	98	107	113	118	122	130	136	141	145

La tabla 23 muestra los diámetros interiores para conducciones galvanizadas en anillo, con un vacío de 50 kPa y una presión atmosférica de 100 kPa, siempre que ambos extremos estén conectados a una conducción que mida al menos el doble del área de su sección transversal. La tabla se basa en la ecuación (2), aplicada al caso de dos conducciones de igual longitud y caudal, y considerando que la longitud total es la suma de las longitudes de cada conducción (ramal); los cálculos se han hecho, en el ejemplo, con $1/2$ y $q/2$. Esta tabla debería utilizarse para el dimensionamiento de la conducción de aire de pulsación.

Tabla 23. Diámetros interiores mínimos de las conducciones de aire, recomendados para una caída de vacío de 1 kPa debida al flujo de aire en canalizaciones en anillo galvanizadas.

Caudal de aire l/m	Diámetro interno mínimo, mm											
	Longitud de la conducción, m											
	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	280
100	16	17	18	19	20	21	21	22	22	23	23	24
150	19	20	21	22	23	24	25	25	26	27	27	28
200	21	22	24	25	26	27	28	28	29	29	30	31
250	23	24	26	27	28	29	30	30	31	32	33	34
300	24	26	28	29	30	31	32	33	34	34	35	36
350	26	28	30	31	32	33	34	35	36	36	37	38
400	27	30	31	33	34	35	36	37	38	38	39	40
450	29	31	33	34	36	37	38	39	39	40	41	42
500	30	32	34	36	37	38	39	40	41	42	43	44
550	31	34	36	37	39	40	41	42	43	44	44	46
600	32	35	37	38	40	41	42	43	44	45	46	47
650	33	36	38	40	41	42	44	45	46	47	47	49
700	34	37	39	41	42	44	45	46	47	48	49	50
800	36	39	41	43	45	46	47	49	50	51	51	53
900	38	41	43	45	47	48	50	51	52	53	54	56
1000	39	43	45	47	49	50	52	53	54	55	56	58
1200	42	46	49	51	53	54	56	57	58	59	60	62
1400	45	49	52	54	56	58	59	61	62	63	64	66
1600	47	51	54	57	59	61	63	64	65	67	68	70
1800	50	54	57	60	62	64	66	67	69	70	71	73
2000	52	56	60	62	65	67	68	70	72	73	74	77

El diámetro de la conducción calculado mediante la ecuación (2) o utilizando las tablas 9 y 10, debería aumentarse en aproximadamente un 5% para tener en cuenta la posible acumulación de depósitos en las paredes.

Las cuatro tablas están obtenidas para una caída de vacío de 1 kPa. Para calcular los diámetros correspondientes a caídas de vacío de 2 y 3 kPa, se usan las mismas tablas, pero considerando una longitud igual a $1/2$ (para 2 kPa) o a $1/3$ (para 3kPa) de los

valores de longitud dados en las tablas señaladas.

Los elementos de la conducción referidos anteriormente como son los codos , las "T" , los orificios de entrada y de salida de los recipientes producen pérdidas equivalentes a las originadas por una cierta longitud de conducción simple. La tabla 24 da estas longitudes equivalentes, que se sumarán a la longitud de la misma para calcular su diámetro interior.

Tabla 24. Longitud equivalente correspondiente a diferentes piezas especiales, expresado en longitud aproximada de conducción de diferentes diámetros.

Causa del rozamiento	Nº de diámetros de la conducción	Diámetro de la conducción (mm)				
		38	50	63	75	100
		Longitud equivalente aproximada de conducción , en metros				
<i>Codos</i>						
45°	8 a 10	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9
90°, pequeño radio de curvatura (R/D = ,75) ^a	35 a 40	1,4	1,8	2,4	3,0	3,6
90°, radio de curvatura mediano (R/D =1,8) ^a	15 a 20	0,7	0,9	1,1	1,2	1,8
<i>"Tes"</i>						
Conexión con flujo recto	15 a 20	0,7	0,9	1,1	1,2	1,8
Conexión con flujo lateral	40 a 45	1,6	2,1	2,4	2,7	4,2
Conexión inclinada	20 a 25	0,9	1,1	1,1,	1,5	2,2
<i>Tanques y depósitos</i>						
Contracción brusca	20 a 25	0,9	1,1	1,2	1,5	2,2
Expansión brusca	40 a 45	1,6	2,1	2,4	2,7	4,2
Depósito sanitario, tanque de distribución, receptor/unidad final ^b	60 a 70	2,5	3,2	3,6	4,2	6,4

a: R/D corresponde al radio interior del codo dividido por el diámetro interno de la tubería
b: Una entrada y una salida

EJEMPLO

1. Conducción de aire principal

Vamos a calcular el diámetro de la conducción de aire entre la unidad final y la bomba de vacío, de la instalación descrita en el ejemplo utilizado para calcular el caudal de la bomba.

El caudal nominal necesario era de 1.263 l/min, aunque la bomba comercialmente disponible más próxima que proporcione este caudal es de 1.400 l/min.

La conducción será de plástico y la caída de vacío máxima permitida será de 2 kPa.

La longitud de la conducción entre la bomba y la unidad final tiene 15 metros, con 5 curvas de 90°, de radio de curvatura grande, una "T" y un depósito interceptor.

La tabla 20 nos da un diámetro de 44 mm para una longitud de conducción de 7,5 m (15 m/2), puesto que la caída de vacío es de 2 kPa).

Las curvas, "T" y recipientes limitan el flujo de aire del mismo modo que una longitud de conducción equivalente a (tabla 11, diámetro = 50 mm):

$$(5 \times 0,9) + (1 \times 0,9) + (1 \times 3,2) = 8,6 \text{ m}$$

Por tanto, la longitud total a tener en cuenta para la determinación del diámetro será de

$$15 + 8,6 = 23,6 \text{ m}$$

Consultando de nuevo la tabla 20 para una longitud de $23,6/2 = 11,8$ m, nos da un diámetro aproximado de 48 mm, al que sumamos un 5% más previendo posibles depósitos susceptibles de reducir el diámetro útil del interior de la conducción.

Por tanto, el diámetro interior de la conducción debe ser de 50,4 mm, o sea, **50 mm**.

2. Conducción de aire de los pulsadores

Número de pulsadores = 12

Consumo de aire de cada pulsador = 25 l/min

Longitud de la conducción = 40 m

Consumo total de los pulsadores: $12 \times 25 = 300$ l/min

Consumo de los retiradores automáticos que funcionan simultáneamente = 100 l/min

Consumo total de aire en la conducción de aire de los pulsadores: $300 + 100 = 400$ l/min

Para este caudal, la tabla 21 nos da un diámetro interior de 27 mm

Los cuatro codos que tiene esta tubería suponen una longitud suplementario de $4 \times 0,7 = 3$ m

Para la nueva longitud de tubo (43 m) el diámetro sigue siendo el mismo, al que se añade, como anteriormente, un 5% para prevenir la acción negativa de los depósitos que pudieran originarse.

Por tanto, la conducción de aire de los pulsadores deberá tener un diámetro interior mínimo de 8,35 mm, o sea, **29mm**.

BIBLIOGRAFÍA

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

BILLON, P. y col. 2002. *Quantitative recommendatiuons for Milking Machines Installations for Small Ruminants.* Bulletin of the International Dairy Federation, 370:4-19.

CALLEJO, A. 1998. *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.

CALLEJO, A.; ODORIZZ, A. 2001. *Cálculo de la maquinaria de ordeño.* En: "Ordeño Mecánico". BOVIS, 99: 47-60. Ed. Luzán 5.

INTERNARTIONAL STANDARD ORGANIZATION. 2006. *Milking Machine Installations - Construction and Performance.* Final Draft.

PONCE DE LEON, J.L. 1995. *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

PONCE DE LEON, J.L. 2001. *Influencia de la máquina de ordeño en la calidad de la leche.* En: "Ordeño Mecánico". BOVIS, 99: 69-86. Ed. Luzán 5.

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

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