

Tema 4.1

CÁLCULO DE LA MAQUINARIA DE ORDEÑO PARA GANADO VACUNO



Antonio Callejo Ramos
Dpto. Producción Animal
EUIT Agrícola – U.P.M.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

- **DIÁMETRO TUBERÍA DE LECHE**
- **CAUDAL DE LA BOMBA DE VACÍO**
- **DIÁMETRO TUBERÍA DE VACÍO**

DIÁMETRO TUBERÍA DE LECHE

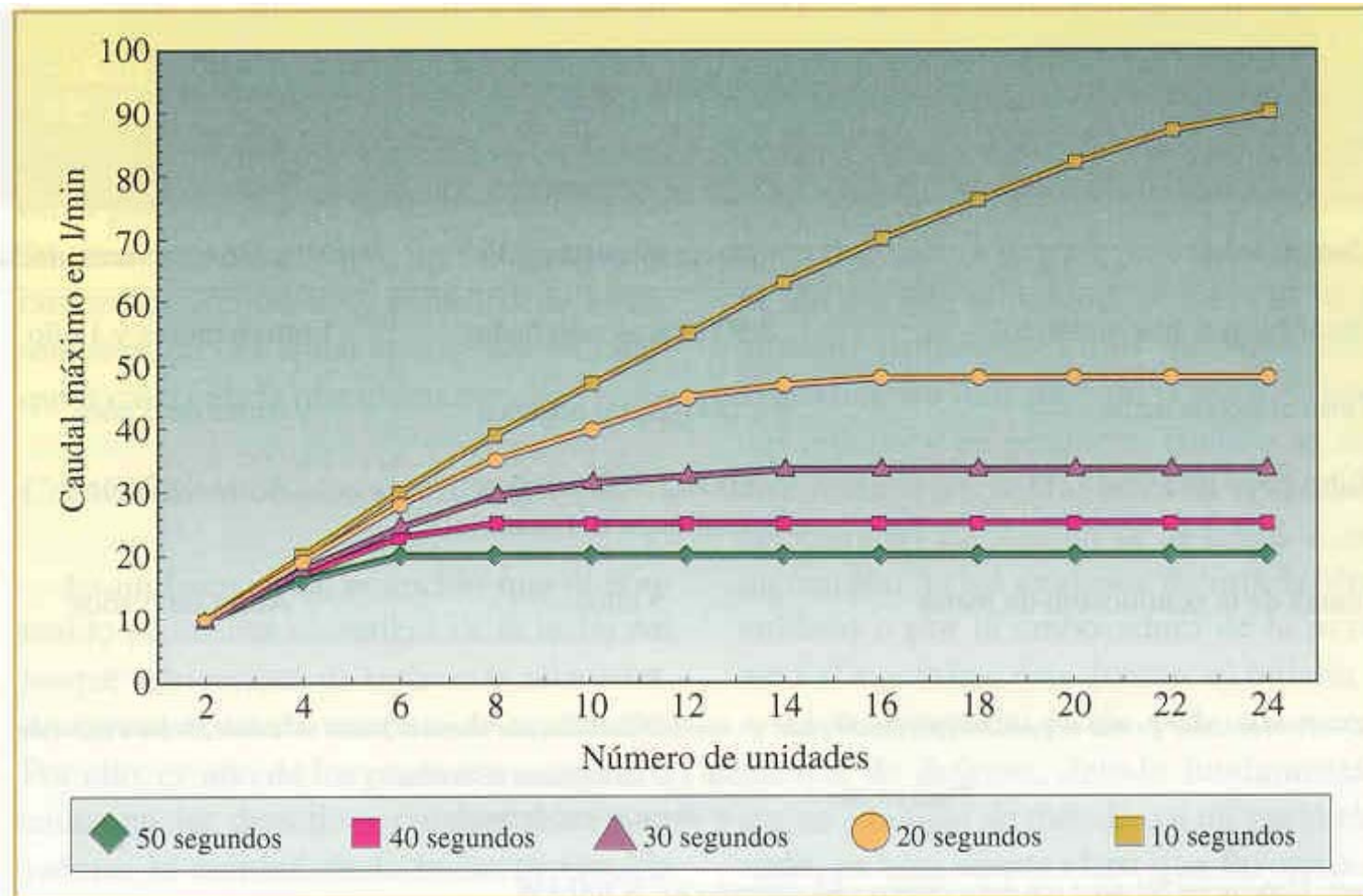
- Procedimiento muy complejo
- Parámetros a considerar:
 - CAUDAL MÁXIMO DE LECHE POR VACA
 - TIEMPO COLOCACIÓN PEZONERAS
 - N° Uds. ORDEÑO POR TRAMOS DE CONDUCCION
 - PENDIENTE DE LA CONDUCCIÓN
 - LONGITUD DE LA CONDUCCIÓN
 - MONTAJE (simple o anillo)
 - CAUDAL DE AIRE FIJO (colectores y otros)
 - CAUDAL DE AIRE INTERMITENTE

Tabla 1. Caudal máximo de leche previsto en las conducciones de leche, para caudales medios de 2,5 l/min, 3 l/min, 4 l/min y 5 l/min por vaca e intervalos de puesta de pezoneras de 5, 10, 20, 30, 50, 70 y 90 segundos.

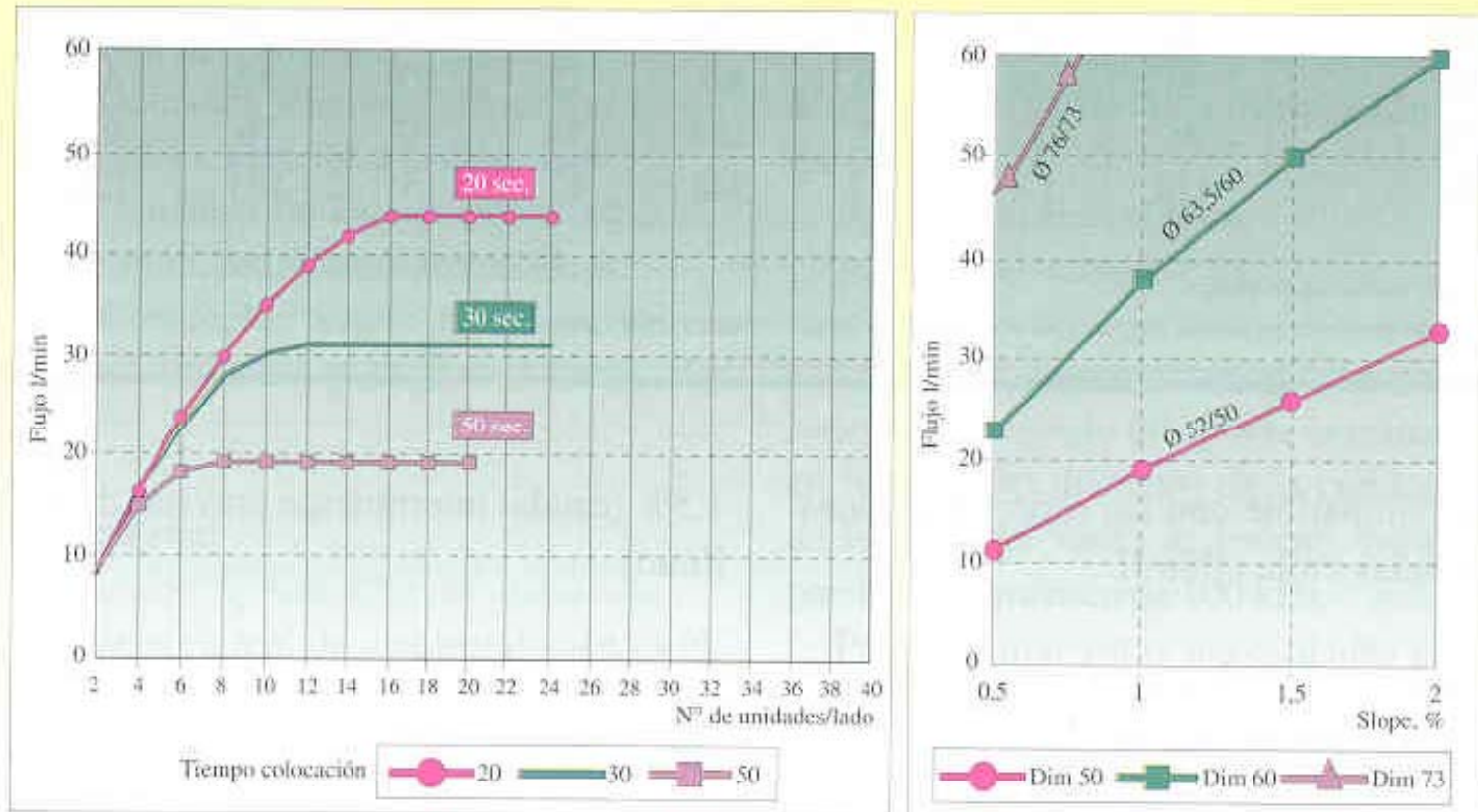
Intervalo de puesta (s)	Caudal de leche ^a (kg/min)	Número de puntos de ordeño por ramificación																			
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
5	2,5	5	10	15	20	24,5	29	33,5	37,5	41											
	3	6	12,5	19	25	31	37	43	48	54											
	4	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	102	108	114	120	126	132	136	140
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	126	132	138	144	150	156	160	164
10	2,5	5	10	15	20	24,5	29	33,5	37,5	41											
	3	6	12	18,5	24	30	35	40	45	49											
	4	8	16	24	32	40	48	54	60	66	70	74	78	81	83	85	<u>86,5</u>	<u>86,5</u>			
	5	10	20	30	40	50	60	66	72	78	82	86	90	93	95	97	<u>98,5</u>	<u>98,5</u>			
20	2,5	5	9,5	13	16	19	22	25	26	28											
	3	6	12	17,5	23	27	31	34	36	37											
	4		16	24	30	35	39	42	<u>44</u>	<u>44</u>											
	5	10	20	30	35	41	45	48	<u>50</u>	<u>50</u>											
30	2,5	5	9	12	15	17	19	20	<u>21</u>	<u>21</u>											
	3	6	12	16,5	20	23	25	26	<u>26,5</u>	<u>26,5</u>											
	4		16	23	28	30	<u>31</u>	<u>31</u>													
	5	10	20	28	33	<u>35</u>	<u>35</u>														
50	2,5	5	8	11	12	<u>13</u>	<u>13</u>														
	3	6	11	14	15	<u>16</u>	<u>16</u>														
	4		15	18	<u>19</u>	<u>19</u>															
	5	10	18	21	<u>22</u>	<u>22</u>															
70	2,5	5	7	8	<u>9</u>	<u>9</u>															
	3	6	10	12	<u>12</u>																
	4		13	<u>13,5</u>	<u>13,5</u>																
	5	10	15	<u>15,5</u>	<u>15,5</u>																
90	2,5	4	6,5	<u>7,5</u>	<u>7,5</u>																
	3	6	8,5	<u>9</u>	<u>9</u>																
	4		<u>11</u>	<u>11</u>																	
	5	10	<u>13</u>	<u>13</u>																	

a. Flujo máximo medio por vaca

b. Las cifras subrayadas y en cursiva indican el flujo máximo alcanzable (más unidades no aumentan el flujo que circula por la tubería)



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.



Dimensionamiento en función del número de unidades por ramificación, intervalo de colocación y pendiente. Pico de 4 kg/min. Pendiente superior a 0,5 %.

Caudal máximo de leche (l/min) por ramificación que permite garantizar un régimen laminar durante el ordeño. Flujo máximo por vaca de 4,5 kg/min

a) Caudal transitorio de aire de 50 l/min y 100 l/min

Ø int., (mm)	50 l/min (1)				100 l/min (2)			
	Pendiente (%)				Pendiente (%)			
	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
38	8	13	17	20	6	10	13	16
48,5	18	28	35	41	15	24	31	37
60	34	51	63	74	30	46	58	69
73	59	86	106	124	54	81	101	118
98	129	185	228	264	124	180	223	259

b) Caudal transitorio de aire de 100 l/min y 200 l/min

Ø int., (mm)	100 l/min (1)				200 l/min (2)			
	Pendiente (%)				Pendiente (%)			
	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
38	3	6	9	11	2	3	5	7
48,5	10	17	24	29	6	11	16	20
60	23	38	50	60	15	27	37	46
73	46	72	92	109	34	57	76	92
98	114	170	212	248	97	151	193	228

(1) Conducción montada en anillo

(2) Conducción montada en forma simple, con dos ramificaciones cerradas en los extremos

Tabla 4. Máximo número de unidades por ramificación con intervalos de puesta de pezoneras de 10 s (5 s).

Flujo máximo (kg/min)	Diámetro interno mm	Aire intermitente: 50 l/min y ramal				Aire intermitente: 100 l/min y ramal				Aire intermitente: 200 l/min y ramal			
		% pendiente				% pendiente				% pendiente			
		0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5	2
2,5	38	1	3	4	5	1	2	3	3	0	1	1	2
	48,5	4	8	10	12	3	6	8	10	1	3	5	7
	60	10	16	22	28	8	13	19	23	5	10	13	17
	73	0	34	a	a	17	3	a	a	12	22	33	a
	98	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
3	38	1	2	4	4	1	1		3	0	1	1	1
	48,5	3	6	10	0	2	5	6	8	1	3	4	6
	60	8	13	22	22	6	11	15	19	4	8	11	14
	73	16	30	a	a	15	26	a	a	11	20	31	a
	98	a	a	a	a	26	a	a	a	11	0	31	a
4	48,5	3	6	7	9	2	4	6	7	1	2	4	5
	60	7	11	15	19	5	9	12	16	3	6	9	11
	73	14	26	a (25)	a (31)	11	21	a (25)	a (31)	8	15	25	a (25)
	98	a(33)	a (a)	a (a)	a (a)	a (30)	a (60)	a (a)	a (a)	a (24)	a (45)	a (a)	a (a)
5	48,5	3	4	6	7	2	3	4	5	1	2	3	4
	60	6	9	11	15	4	7	10	12	3	4	5	7
	73	10	19	a (20)	a (23)	9	1	25	a (21)	6	11	17	25
	98	a (25)	a (48)	a (a)	a (a)	a (22)	a (43)	a (a)	a (a)	a (30)	a (34)	a (58)	a (a)

a: Número ilimitado de unidades

Los número entre paréntesis indican el número máximo de unidades cuando el intervalo de puesta de pezoneras es de 5 s.

Cálculo del Caudal de la BOMBA DE VACÍO

Función de:

- **DEMANDA DURANTE EL ORDEÑO, INC. RESERVA REAL**
- **DEMANDA ADICIONAL DURANTE EL LAVADO, SI ÉSTA ES SUPERIOR A LA DE ORDEÑO**
- **DEMANDA DE LOS EQUIPOS AUXILIARES**
- **CORRECCIÓN SEGÚN ALTITUD Y NIVEL DE VACÍO**

RESERVA REAL

Definición:

Cantidad de aire (l/min) que puede entrar en el sistema sin que el vacío descienda más de 2 kPa

Necesidades de reserva real, en l/min, según el tipo de instalación y cuando los colectores disponen de válvulas de cierre automático

a) Instalaciones con cubos y RTS

Número de unidades	
2 - 10	$80 + 25n$
más de 10	$330 + 10 (n - 10)$

b) Salas de ordeño

Número de unidades	
2 - 10	$200 + 30n$
más de 10	$500 + 10(n-10)$

Si los colectores no disponen de válvula de cierre automático, se añaden 200 l/min al resultado de aplicar la fórmula, en instalaciones en sala de ordeño (añadir 80 l/min en instalaciones de ordeño con olla y RTS).

Necesidades de aire para el lavado

- **Se requiere flujo turbulento, a 7-10 m/s**
- **Caudal necesario**

$$Q = \frac{\pi \times d^2}{4} \times V \times \frac{p_B - p}{p_B} \times \frac{6}{100}$$

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

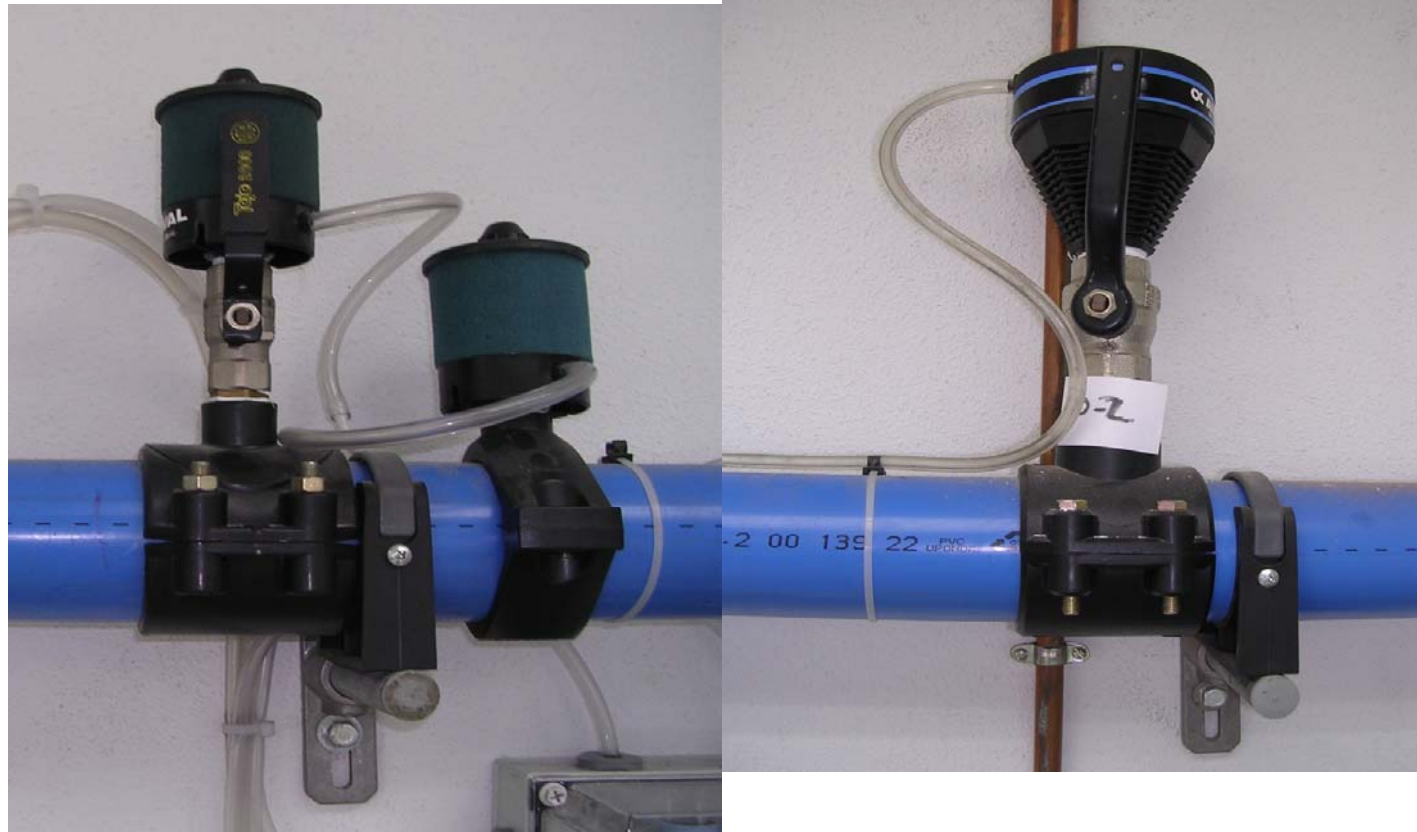
p: vacío de trabajo durante el lavado

- **Caudal para lavado**
- VS**
- **Caudal para reserva**

Se toma el mayor de ellos como base para el cálculo de la bomba

El vacío de ordeño puede ser insuficiente para conseguir régimen turbulento durante el lavado

- 1. Cambiar el vacío antes de lavar y antes de ordeñar*
- 2. Instalar dos sensores de regulador, calibrados a vacíos distintos. Uno de ellos con llave de cierre*



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
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

Multiplicar por K_n cuando $P_B \neq 100$ kPa

$$K_n = (P_B - p) / p_B$$

Coefficiente 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

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

Kn	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

ELEMENTOS AUXILIARES

- a) Los que funcionen 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

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, es 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.

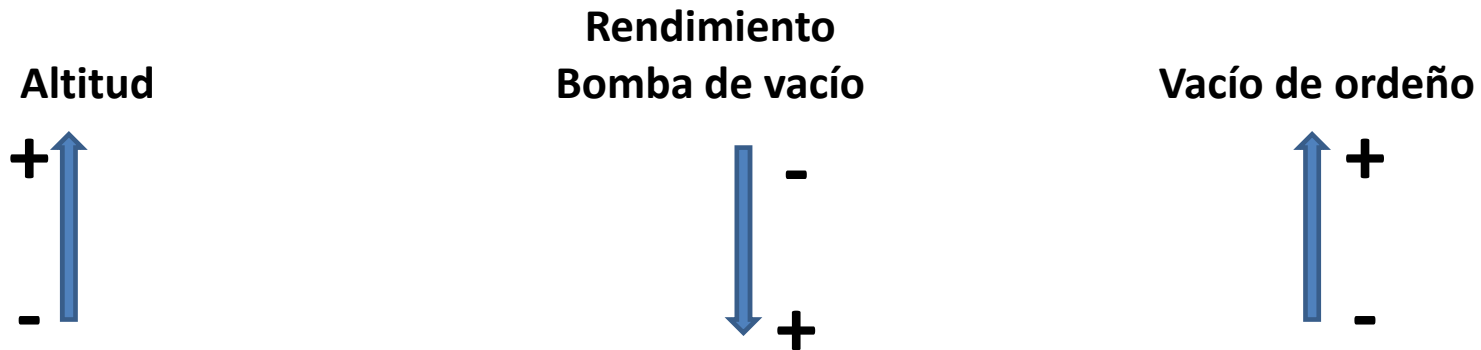
(1) Al consumo de aire de los pulsadores, colectores y otros elementos auxiliares le sumaremos:

- a) la reserva real determinada mediante las fórmulas
- b) las necesidades de aire para el lavado

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 por cada unidad de ordeño ó 1 l/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

Corrección por altitud y vacío de trabajo



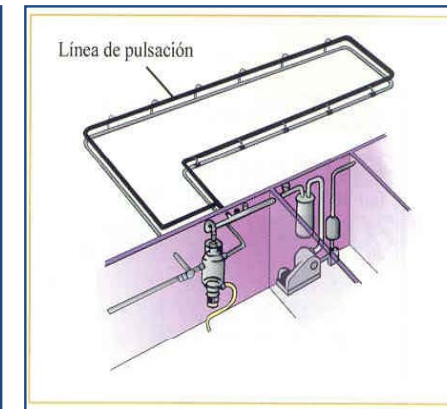
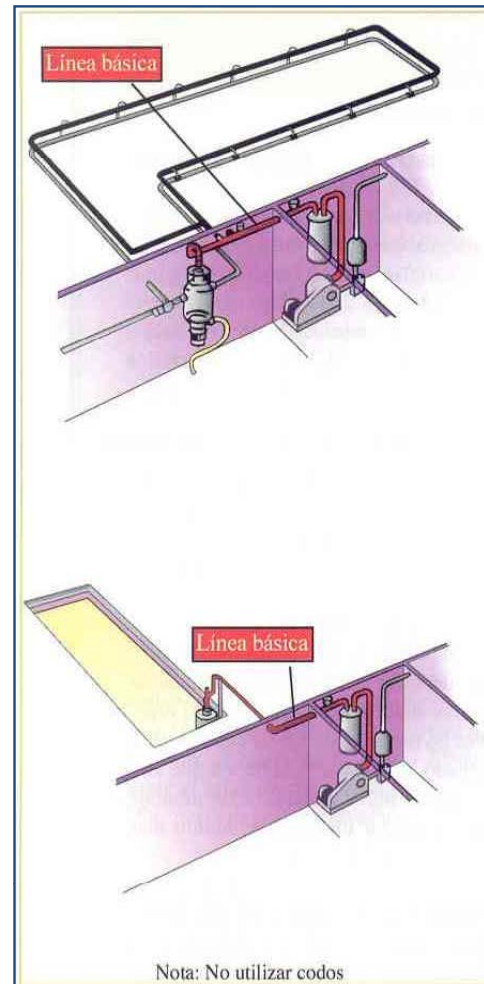
Al valor que resulta de aplicar la secuencia de cálculo de la diapositiva anterior hay que multiplicarlo por el factor de corrección (H) que se especifica en la siguiente Tabla 9, en función de los dos parámetros señalados, altitud geográfica y vacío de trabajo.

(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

Diámetro interior mínimo conducción de vacío

Consideraciones en el cálculo

- **Material**
 - Plástico y acero inox.
 - Hierro galvanizado
- **Conducción de vacío**
 - Principal o Básica
 - De pulsación
- **Caída de vacío máx:**
 - 3 kPa
 - 2 kPa
- **Nº de piezas especiales**
 - Tes, codos, depósitos, etc



Diámetro interior mínimo conducción de vacío

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:

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

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

Esta tabla se deriva de la fórmula anterior y se utiliza para el cálculo de la tubería principal de vacío.

Existen tablas similares (ver texto) para conducciones en anillo, para caídas de vacío de 2 y 3 kPa y para conducciones de hierro galvanizado

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 siguiente da estas longitudes equivalentes, que se sumarán a la longitud de la misma para calcular su diámetro interior.

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
Deposito 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