

FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL **ORDEÑO MECÁNICO.**

José. Luis. Ponce de León Esteban.
Ingeniero Agrónomo.

1. MECANISMO DE EXTRACCION DE LA LECHE

La máquina de ordeño extrae la leche de las vacas de forma similar a como lo hacen las crías, es decir, mediante una succión o vacío. Si se observa el comportamiento de una cría durante una tetada se verá que la succión es intermitente y va acompañada por un masaje del pezón, que queda entre la lengua y el paladar.

Inmediatamente antes del ordeño, cuando se realiza el apoyado, la leche presenta una presión que ayuda a su salida de la ubre. En este mecanismo están involucradas acciones físicas y hormonales. Esta presión, que facilita el ordeño, ha sido evaluada entre 10 y 3 kPa¹, variando entre estos límites a lo largo del ordeño.

La extracción de la leche se realiza mediante la aplicación en la parte exterior de los pezones de un vacío (o depresión), de unos 40 - 50 kPa. En los primeros años de desarrollo de esta máquina se intentó una extracción continua de la leche, pero no resultó pues la aplicación de un vacío ininterrumpido hacía que la punta del pezón se congestionase y aparecieran daños; por ello, en la práctica se utiliza una extracción intermitente (aproximadamente unas 60 veces por minuto), permitiendo así un descanso al pezón, a la vez que se da un masaje que evita la congestión.

Todas las acciones descritas se consiguen merced a un manguito o pezonera de material flexible (normalmente caucho sintético) que rodea el pezón y una copa rígida (figura 1). Entre el manguito y la copa queda un espacio cerrado herméticamente que se llama "cámara de pulsación". En esta cámara se tiene intermitentemente presión de 100 kPa (considerando condiciones a nivel del mar) y un vacío de 50 kPa, mediante un sistema mecánico (pulsación), que más adelante se explicará.

En el interior del manguito de ordeño hay un vacío continuo de 40 a 50 kPa. Cuando en la cámara de pulsación hay vacío, las paredes del manguito están tensas al tener la misma presión en ambos lados y se produce la extracción de leche como se puede ver en el esquema de la figura 2. Este período de tiempo se llama "fase de ordeño".

Cuando en la cámara de pulsación hay presión atmosférica, las paredes del manguito se colapsan al tener mayor presión en la parte exterior rodeando al pezón, le dan masaje y no se extrae leche. Este período se llama "fase de masaje".

Por lo tanto para conseguir que funcione una máquina de ordeño hay que contar con: a) Una fuente productora de vacío, b) Un dispositivo para mantener un vacío constante en el interior del manguito y c) Un sistema de pulsación.

¹ kPa = kilopascal, más adelante se define esta unidad

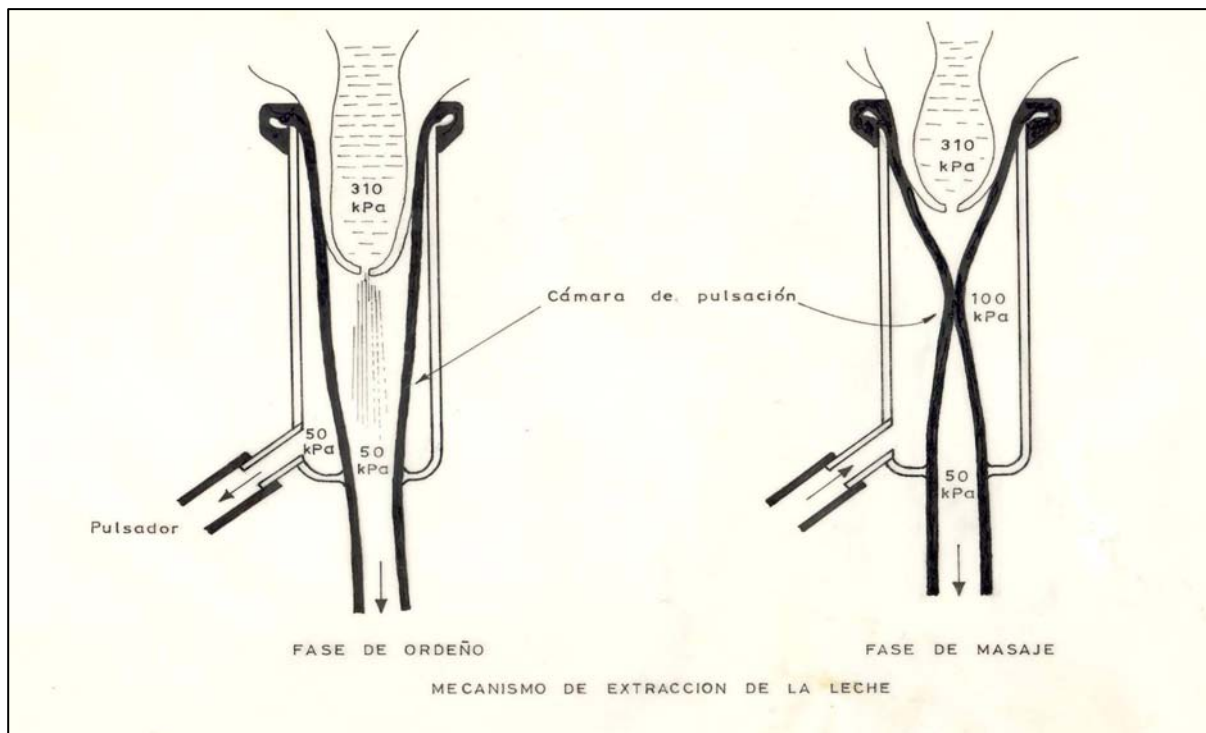


Figura 1. Mecanismo básico de la extracción de la leche por la ordeñadora

2. CONCEPTOS FISICOS. PRESION, VACIO Y UNIDADES

En este trabajo sólo se van a tratar aquellos conceptos que tienen aplicación inmediata en las instalaciones de ordeño, su funcionamiento y su cálculo. Quién esté interesado en profundizar en estos temas podrá fácilmente encontrar tratados de física teórica de consulta.

2.1 Presión

Las moléculas de los gases, por ejemplo el aire, están moviéndose constantemente en todas las direcciones. Si consideramos un recipiente cerrado y lleno de aire, sus moléculas están golpeando constantemente las paredes y ejercen una fuerza por unidad de superficie, que se llama presión absoluta.

La presión absoluta varía según el número de moléculas que golpean las paredes del recipiente por unidad de tiempo, es decir cuantas más moléculas de aire haya en el recipiente -mayor masa- la presión aumenta. Si se bombea aire fuera del recipiente, habrá menor número de moléculas y la presión disminuye. La presión también varía con la temperatura, ya que al aumentar ésta, las moléculas se mueven más rápidamente y por ello hay más presión y viceversa.

La presión que en un determinado punto ejerce la capa de aire que rodea la tierra se conoce como presión atmosférica. La presencia de la presión atmosférica se evidencia cuando se llena de mercurio un tubo de 1.000 mm de longitud cerrado por un extremo; si se tapa el otro extremo, se invierte el tubo introduciéndolo en una cubeta llena de mercurio y en ese

momento se destapa, se verá que la columna de mercurio desciende hasta situarse a una altura determinada sobre el nivel del recipiente (ver figura 2 A).

La presión que ejerce esa columna de mercurio es equivalente a la presión atmosférica que hay en el lugar y momento de la realización de la experiencia. La medida de la presión atmosférica puede ser realizada de esta forma en cm de mercurio (Hg). Se considera que la presión atmosférica normal al nivel del mar es de 76 cm de Hg. Hay que recordar que la presión atmosférica no es constante y que varía con la altitud, disminuyendo cuando ésta aumenta; también varía con las condiciones atmosféricas (principalmente humedad y temperatura), que se dan en un lugar y momento determinado.

La unidad de presión que se utiliza actualmente es el "Pascal" (Pa), que se define como la presión de un Newton por metro cuadrado (N/m^2). Por razones prácticas, en ordeño se utiliza el kilopascal (kPa), igual a 1000 Pa. Se puede demostrar que 1 mm de Hg equivale aproximadamente a 0,133 kPa. La presión normal a nivel del mar es de 101,3 kPa, aunque en la práctica siempre la consideramos de 100 kPa.

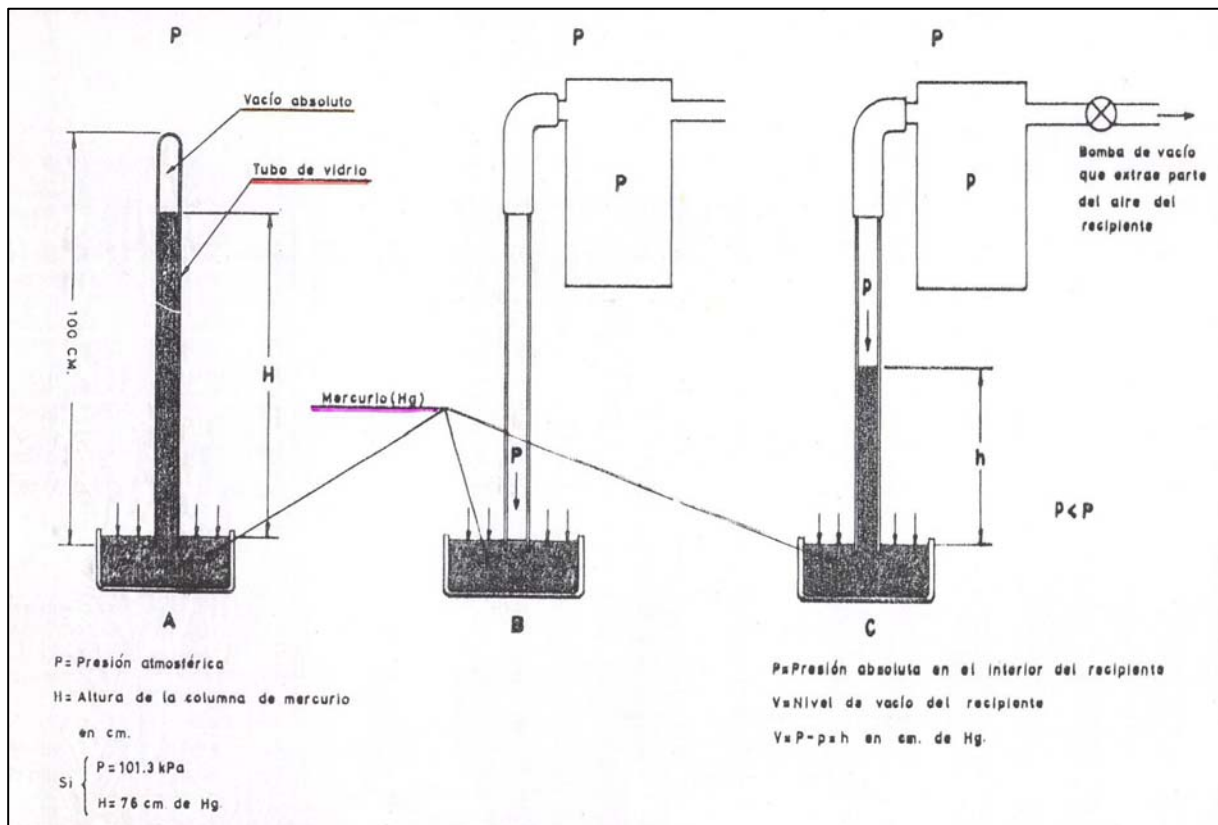


Figura 2. Medida de la presión y depresión (vacío) con una columna de mercurio.

La norma UNE 68050 de "Instalaciones de ordeño. Construcción y funcionamiento" recomienda que para todo lo relacionado con las instalaciones de ordeño se utilicen las presiones atmosféricas de referencia que se relacionan en la tabla nº 1.

Tabla nº 1 Presiones atmosféricas de referencia según UNE 68050.

Altitud (m)	Presión atmosférica de referencia (kPa)
< 300	100
de 300 a 700	95
de 700 a 1200	90
de 1200 a 1700	85
de 1700 a 2200	80

2.2 Vacío

Se define como "vacío" toda presión inferior a la atmosférica reinante en una determinada situación. Por ejemplo, si tenemos un recipiente situado en un lugar con una presión atmosférica **P** (ver figura 2, B y C), y se extrae mediante una bomba parte del aire interior, en el recipiente habría una presión **p** menor que la atmosférica reinante y por ello se está produciendo un vacío.

La disminución de la presión interior del recipiente (o incremento del vacío) es proporcional al número de moléculas que se han extraído.

En realidad la palabra correcta para definir ese hecho físico es "depresión", pero se ha vulgarizado entre los profesionales y técnicos la de "vacío", que es la que siempre se emplea en este trabajo.

El nivel de vacío que hay en un recipiente se puede medir utilizando un tubo lleno de mercurio, tal como se ve en la figura nº 2, C. Una parte del tubo se conecta con el recipiente y la otra permanece introducida en una cubeta llena de mercurio y expuesta a la presión atmosférica. La altura de la columna de mercurio mide directamente en mm de Hg el vacío (**V**) del recipiente como diferencia entre la presión atmosférica (**P**) y la presión absoluta en el interior del recipiente (**p**).

$$\mathbf{V \text{ (kPa)} = P \text{ (kPa)} - p \text{ (kPa)}}$$

Hay que resaltar que las medidas de vacío que se utilizan en **ordeño son siempre diferenciales** entre la presión atmosférica reinante y la presión dentro de la máquina de ordeño. Por ejemplo, tenemos que algunos tipos de instalaciones de ordeño de vacuno funcionan a un vacío de 50 kPa, si la máquina está situada a nivel del mar, la presión interior será de 50 kPa.

$$\mathbf{P = 100 \text{ kPa}; \quad V = 50 \text{ kPa}}$$

$$p = \mathbf{P - V}; \quad p = 100 - 50 = 50 \text{ kPa}$$

Si esta misma máquina está situada en un lugar, con una presión atmosférica de 95 kPa (**P**), el nivel de vacío de trabajo (**V**) sigue siendo de 50 kPa, la presión (**p**) dentro de la instalación será en este caso de 45 kPa.

$$P = 95 \text{ kPa}; \quad V = 50 \text{ kPa}$$

$$p = 95 - 50 = 45 \text{ kPa}$$

Vemos por lo tanto que cuando disminuye la presión atmosférica (aumentando la altitud) del lugar en donde funciona la instalación de ordeño, la presión absoluta dentro de la misma va disminuyendo, de tal manera que siempre se mantiene la misma diferencia de presiones. Esta diferencia es el nivel de vacío que se mide en los vacuómetros en diferentes puntos de la instalación.

Si se mide el vacío con un barómetro convencional obtendremos valores de presión inferiores a la atmosférica (ver la tabla nº 2), que van descendiendo conforme aumenta el nivel de vacío. Normalmente el nivel de vacío se mide directamente con unos instrumentos que se llaman vacuómetros, de tal manera que los valores van aumentando cuando se incrementa el vacío.

Tabla nº 2 Diversas medidas del vacío según la situación y sistema de medida

MEDIDA EN UNIDADES DE:		SITUACION
PRESION (kPa)	VACIO (kPa)	
100	0	Nivel del mar
75	25	
50	50	Mitad de escala
25	75	
0	100	Vacío absoluto

En la práctica el nivel de vacío de las instalaciones de ordeño se mide con unos dispositivos mecánicos que se llaman vacuómetros. Estos vacuómetros expresan medidas directas de vacío en kPa y **siempre miden el nivel de vacío diferencial**, es decir diferencia de presiones entre el interior y el exterior de la instalación de ordeño.

3. ECUACION GENERAL DE LOS GASES

En un gas ideal las propiedades físicas de volumen, presión y temperatura están relacionadas entre si, por la ecuación general de los gases. Hay que tener en cuenta que en la aplicación de esta ley se considera siempre un gas ideal confinado en un recipiente.

La ecuación se puede expresar de la forma siguiente "para una masa dada de gas, el producto de su presión por su volumen, dividido por la temperatura absoluta es una constante".

$$\frac{P \times V}{T} = \text{Constante}$$

donde:

P = presión absoluta

V = volumen

T = temperatura absoluta ($t\text{ }^{\circ}\text{C} + 273$)

Cuando se pasa de una situación inicial a otra, la ecuación se puede expresar de la forma siguiente:

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = \frac{P_2 \times V_2}{T_2}$$

Si en el cambio producido la variación de la temperatura es pequeña, se puede considerar que $T_1 = T_2$ y se utiliza la ecuación de la forma siguiente:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

En la figura 3 se ve como el volumen de aire aumenta al doble, cuando la presión pasa de 100 kPa a 50 kPa (vacío de 50 kPa), sin variar la masa de aire y suponiendo que la temperatura permanece constante.

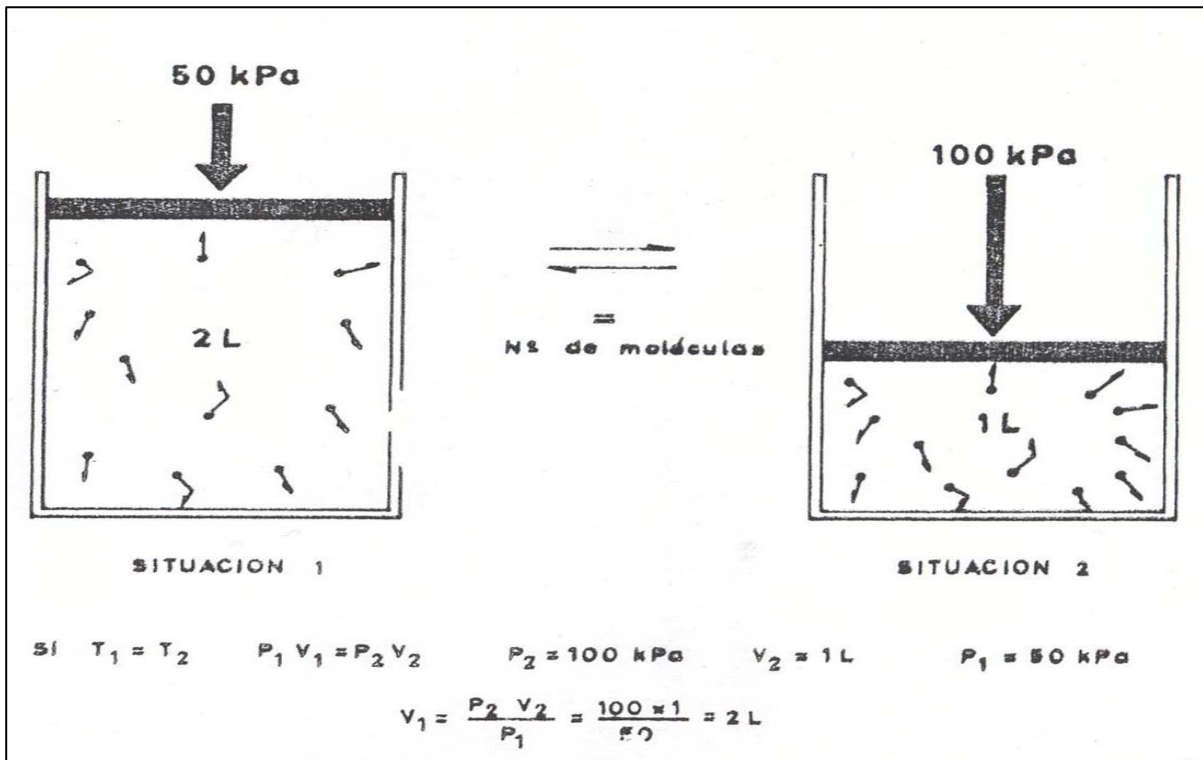


Figura 3. Ecuación general de los gases representada con un cilindro y émbolo.

Cuando el aire está sometido a una presión inferior a la atmosférica (o bajo vacío), se le denomina "aire expandido", situación ésta que se presenta en el interior de la máquina de ordeño. Por el contrario el aire sometido a la presión atmosférica reinante se llama "aire libre".

Aire libre se considera todo el que está entrando en una instalación de ordeño por los diferentes componentes (regulador, pulsador, colector) y que es necesario para el funcionamiento de la máquina. También es aire libre el que está entrando por aberturas no previstas (fugas) y que, si el caudal es excesivo puede comprometer el funcionamiento de la instalación de ordeño. Todas las medidas que se realizan en una instalación de ordeño durante un control se hacen en aire libre.

4. SISTEMAS DE VACIO

Si tenemos un recipiente de un volumen determinado lleno de aire y por medio de una bomba se extrae parte de ese aire, cerrando a continuación la llave de paso, tenemos lo que se define como un "**sistema estático de vacío**".

En la figura 4 A, se observa que si de un recipiente de 100 litros, con una presión atmosférica reinante de 100 kPa, se extraen 50 litros de aire por medio de una bomba y se cierra la llave de paso, el vacío en el interior es de 50 kPa. Al extraer 50 litros de aire, el número de moléculas que están en el interior del recipiente es la mitad del inicial y por lo tanto la presión se reduce también a la mitad. El aire del interior del recipiente sigue teniendo un volumen total de 100 litros, pero está "expandido" y por ello cada litro contiene la mitad de moléculas que en la situación inicial.

Si se abre la llave de paso, inmediatamente entra aire hacia el interior (en este caso 50 litros), hasta equilibrar las presiones y se vuelve a la situación inicial. Un sistema estático de vacío, tal como el descrito, no se puede utilizar en el ordeño por que no es compatible con una situación de vacío continuo y estable en el interior de la instalación de ordeño y una entrada continua de aire por los diversos componentes de la misma.

Si en el mismo recipiente anterior se coloca una bomba de vacío que extrae un caudal constante de 50 litros de aire por minuto y cuando se ha conseguido en el interior del recipiente un vacío de 50 kPa (tiempo de un minuto), se abre un orificio que permite la entrada de un caudal de 50 litros de aire, tenemos un sistema dinámico de vacío (ver figura 4 B).

Este sistema se caracteriza porque es capaz de mantener un nivel de vacío determinado, a pesar de tener una entrada constante de aire. Al no haber ningún sistema de regulación, si el caudal de entrada de aire varia, también varia el nivel de vacío, de tal manera que si el caudal de entrada es mayor que el de la bomba, el vacío disminuye y por el contrario, si es menor aumenta el vacío.

La instalación de ordeño es un sistema dinámico de vacío con regulación (ver figura nº 4 C). En este sistema hay un caudal de entrada de aire variable (consumo de los componentes y de la fugas), pero el nivel de vacío se mantiene constante merced a un dispositivo llamado regulador, que completa esa entrada de aire para obtener siempre como suma el caudal de la bomba.

El funcionamiento se puede resumir como sigue: una vez puesto el sistema en marcha con la bomba extrayendo un caudal constante de 50/min, si la entrada de aire variable es de 50 L/min, el regulador está cerrado; si la entrada de aire variable es de 20 L/min, el regulador se abre y deja pasar 30 L/min y si se cierra la entrada de aire, el regulador deja entonces pasar 50 L/min. En todos los casos el nivel de vacío del recipiente permanece constante a 50 kPa.

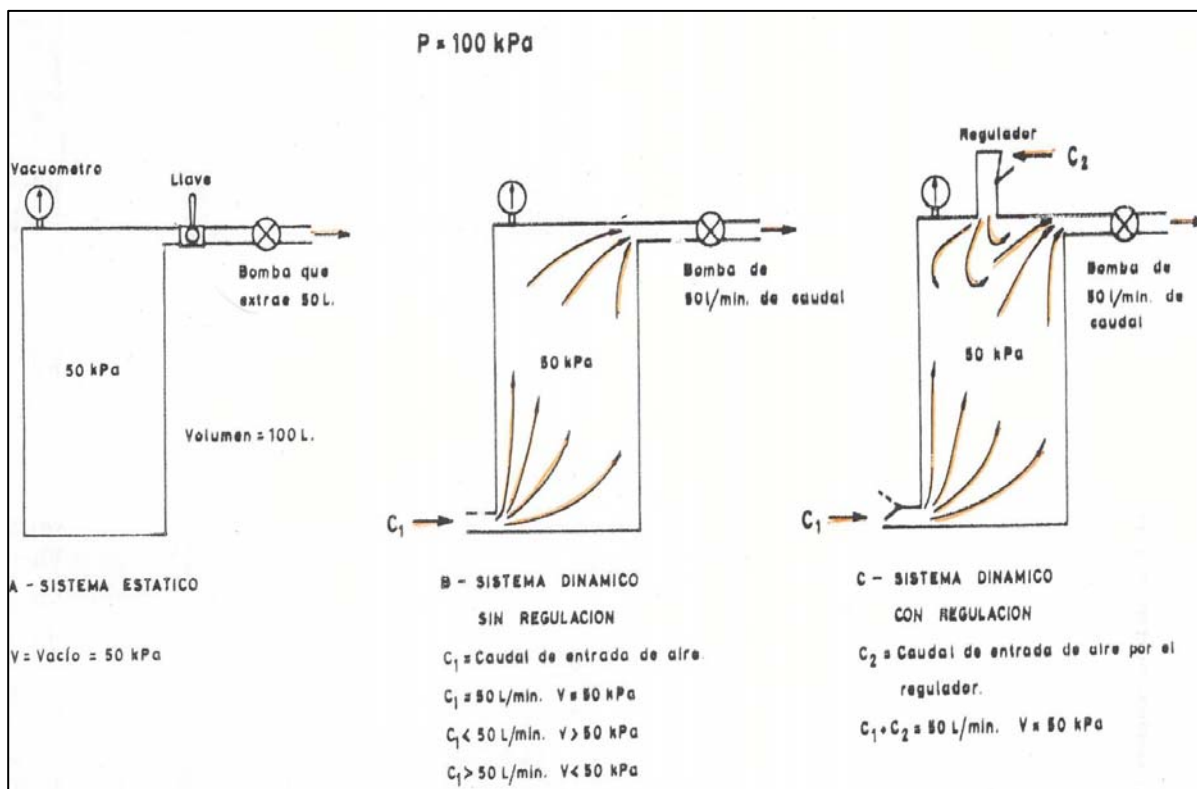


Figura 4. Representación de los diferentes sistemas de vacío.

5. FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN DE ORDEÑO

En el punto anterior se ha visto que una instalación de ordeño corresponde a un sistema de vacío dinámico con regulación que necesita para su funcionamiento una serie de componentes tales como, una bomba de vacío, un regulador y un sistema de pulsación. En la figura 5 se representa el esquema de una instalación de ordeño con sus componentes, así como con las conducciones de aire y leche necesarias para conectar estos componentes entre si y permitir el funcionamiento de todo el sistema.

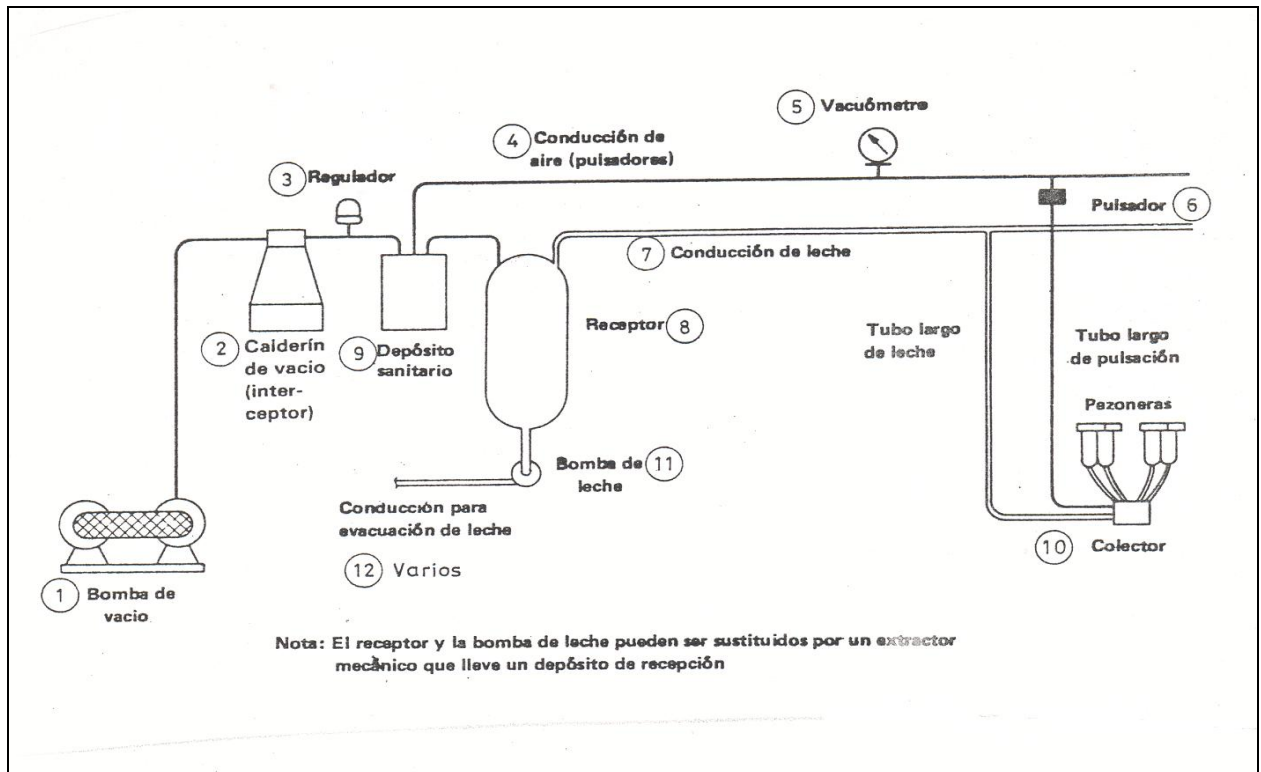


Figura 5. Esquema de una instalación de ordeño

A continuación se describe el fundamento físico de estos componentes, así como de algunas propiedades del movimiento del aire en las conducciones del sistema.

5.1 Bomba de Vacío

Las bombas que se utilizan para producir vacío en las instalaciones de ordeño son de tipo rotativo, en general con cuatro paletas. Estas bombas tienen un funcionamiento sencillo, ya que su acción consiste en extraer el aire expandido del interior de la instalación de ordeño y comprimirlo hasta alcanzar una presión que tiene que ser ligeramente superior a la atmosférica reinante (unos 2-5 kPa), para permitir su salida al exterior (ver figura 6).

Si consideramos una instalación de ordeño que funciona a 50 kPa, el aire a la entrada de la admisión, está a un nivel de vacío de aproximadamente 51 kPa y a la salida del escape (suponiendo una presión ambiental de 100 kPa), está por ejemplo a unos 102 kPa.

Aplicando la ecuación general de los gases, si se considera que la temperatura es constante, se comprueba que la bomba de vacío extrae y comprime, el aire expandido del interior de la instalación de ordeño en una proporción teórica de aproximadamente de 2:1. Esto quiere decir que la bomba extrae dos litros de aire expandido por cada litro de aire libre que sale por el escape.

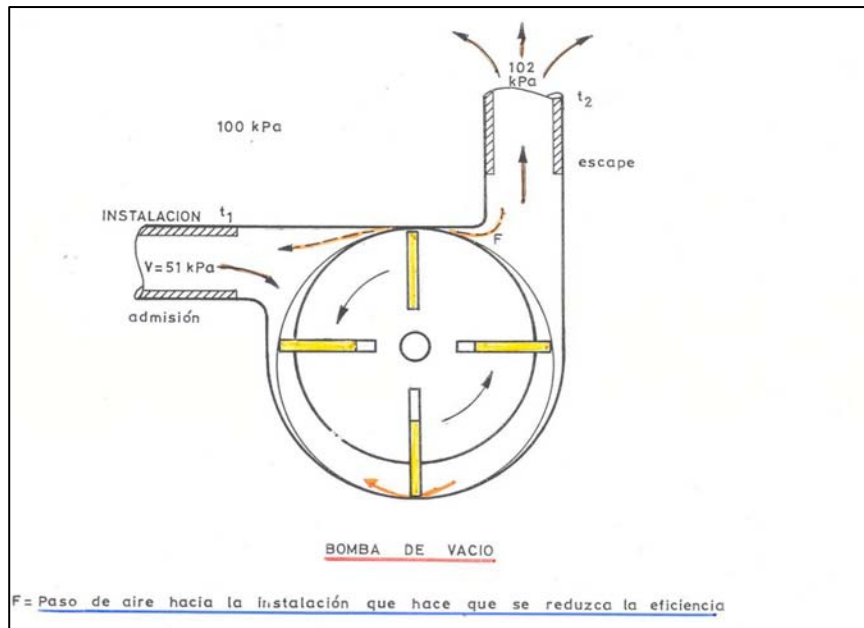


Figura 6. Esquema de funcionamiento de una bomba de vacío

Si consideramos una instalación de ordeño que funciona a 50 kPa, el aire a la entrada de la admisión, está a un nivel de vacío de aproximadamente 51 kPa y a la salida del escape (suponiendo una presión ambiental de 100 kPa), está por ejemplo a unos 102 kPa.

Aplicando la ecuación general de los gases, si se considera que la temperatura es constante, se comprueba que la bomba de vacío extrae y comprime, el aire expandido del interior de la instalación de ordeño en una proporción teórica de aproximadamente de 2:1. Esto quiere decir que la bomba extrae dos litros de aire expandido por cada litro de aire libre que sale por el escape.

V = vacío de trabajo = 51 kPa

P_1 = presión en la admisión = 100 - 51 = 49 kPa

V_1 = volumen de aire expandido en el interior de la instalación de ordeño

P_2 = presión en el escape = 102 kPa

V_2 = volumen de aire a la salida del escape = 1 litro

$$V_1 = \frac{P_2 \times V_2}{P_1} = \frac{102 \times 1}{49} = 2,08 \text{ litros}$$

Como el volumen de extracción de cada bomba es constante, si suponemos en el cálculo que V_2 es siempre 1 litro, cuanto mayor sea el volumen V_1 que se obtenga, menor será el rendimiento de la bomba y viceversa.

La proporción calculada varía con la altitud, con la presión atmosférica ambiental, nivel de vacío de trabajo, temperatura y características constructivas de la bomba.

El rendimiento (caudal de aire libre) de una bomba es menor cuanto más altitud tiene el lugar en que está trabajando.

Suponiendo una bomba situada a una altitud de 500 m (presión atmosférica de referencia de 95 kPa), si se aplica la ecuación general de los gases se obtiene una proporción de 2,2:1, es decir, se tiene un rendimiento 10% inferior al que se obtendría si trabajase a nivel del mar.

$$V = \text{vacío de trabajo} = 50 \text{ kPa}$$

$$P_1 = 95 - 51 = 44 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 97 \text{ kPa}$$

$$V_2 = 1 \text{ litro}$$

$$V_1 = \frac{97 \times 1}{44} = 2,2 \text{ litros}$$

En la norma UNE 68050 se define un coeficiente de corrección H que permite realizar directamente los cálculos de los rendimientos de una bomba de vacío a diferentes altitudes y con diferentes valores de nivel de vacío de la instalación.

Las variaciones de la presión atmosférica ambiental también afectan, aunque tienen menor importancia que las debidas a la altitud ya que no son de esperar variaciones superiores a un $\pm 2 \%$.

El nivel de vacío de trabajo tiene importancia pues cuanto más bajo es, mayor es el caudal útil de la bomba. Si consideramos una instalación de ordeño a nivel del mar y con un nivel de vacío de 44 kPa, aplicando la ecuación general de los gases obtenemos una proporción de 1,85:1, es decir un 7% más de rendimiento que cuando se trabaja a un vacío de 50 kPa.(ver figura 7)

$$V = \text{vacío de trabajo} = 44 \text{ kPa}$$

$$P_1 = 100 - 45 = 55 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 102 \text{ kPa}$$

$$V_2 = 1 \text{ litro}$$

$$V_1 = \frac{102 \times 1}{55} = 1,85 \text{ litros}$$

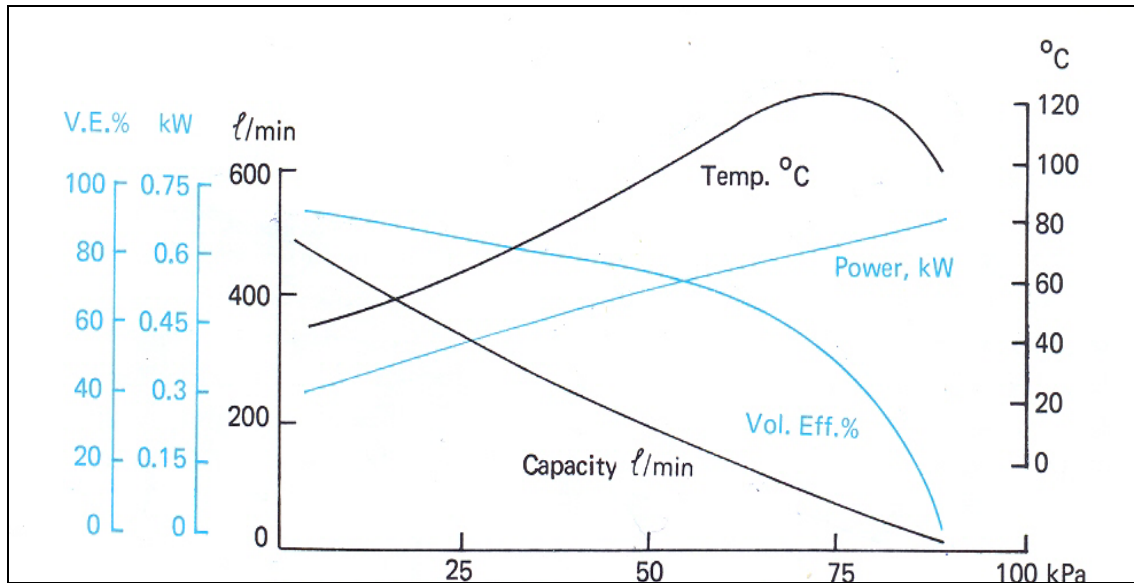


Figura 7. Curvas características de una bomba de vacío. Caudal máximo (l/min); potencia (kW), temperatura (°C) y volumen eficaz (% en relación al nivel de vacío).

Al comprimir el aire expandido se produce calor y aumenta la temperatura del escape y del aire que sale, hasta alcanzar unos 80 ó 90° C. La admisión de la bomba también se calienta por convección. Estos cambios de temperatura hacen descender el rendimiento de la bomba hasta un 10%.

En la práctica el caudal de una bomba de vacío disminuye cuando aumenta su temperatura. Se considera que a partir de la media hora de funcionamiento se estabiliza el caudal y por ello es el momento en el que se debe de realizar la medición del caudal de aire libre que sale por la admisión.

Aunque la bomba de vacío trabaja lubricada hay unas holguras entre las paletas y la carcasa que impiden que todo el volumen de aire extraído sea comprimido y salga por el escape, por lo que no se consigue el rendimiento teórico esperado. Esa diferencia entre el rendimiento esperado y el realmente conseguido para cada bomba se llama eficiencia. La eficiencia de una bomba se puede calcular en la práctica como el cociente del vacío máximo que se consigue con la admisión de la bomba cerrada y la presión atmosférica ambiental.

V máx. = vacío máximo con la admisión cerrada

P_b = Presión atmosférica ambiental

$$Eficiencia = \frac{V_{máx}}{P_b} \times 100$$

La eficiencia normal de las bombas de vacío está comprendida entre el 85 y 95%.

5.2 Regulador

La bomba de vacío extrae siempre el mismo caudal de aire, a un nivel de vacío determinado, independientemente de las variaciones que haya en el sistema. Como ya se ha visto, para que en cualquier circunstancia se mantenga el mismo nivel de vacío en la instalación de ordeño hay que disponer de un dispositivo de regulación. Este dispositivo recibe el nombre de regulador.

El principio de funcionamiento del regulador se muestra en la figura nº 8; este dispositivo tiene un orificio conectado con el exterior (presión atmosférica), en el que se ajusta una válvula con un peso (un muelle o una combinación de peso y membranas), cuyo movimiento puede cerrar la entrada de aire o dejarla abierta, parcial o totalmente. Por otra parte, el regulador está conectado directamente a la conducción principal de aire.

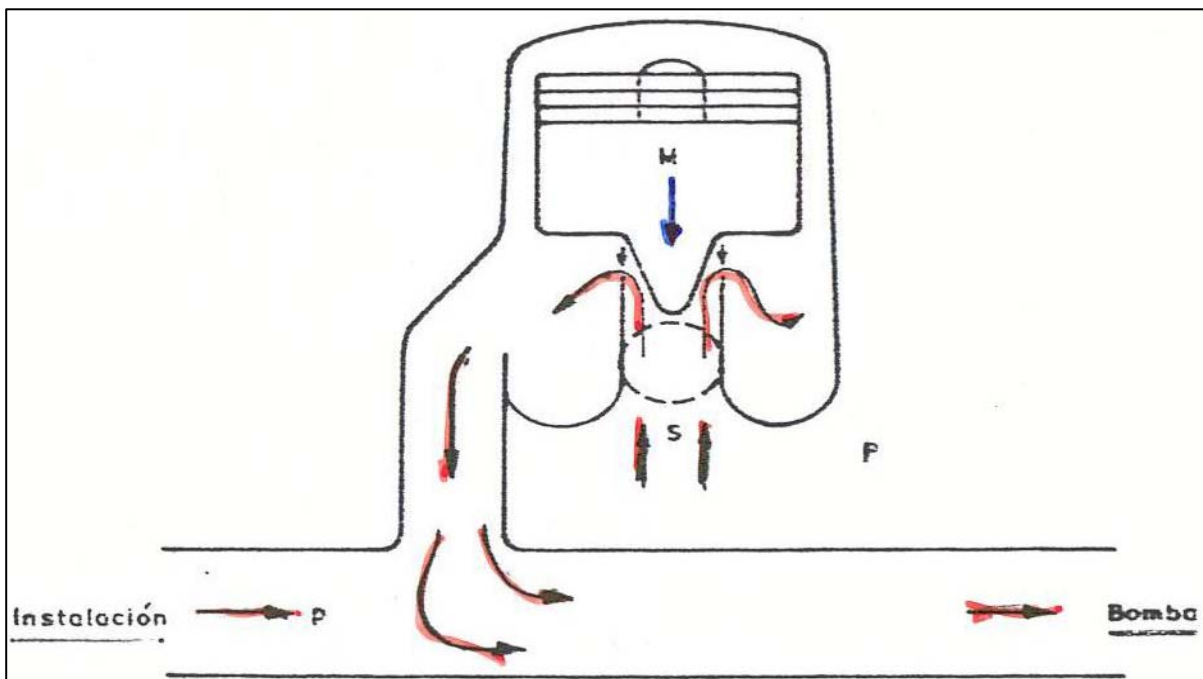


Figura 8. Parámetros de funcionamiento de un regulador

En el área correspondiente a la entrada de aire, durante el funcionamiento de la instalación de ordeño, hay un equilibrio de fuerzas entre las presiones interior, exterior y el peso, de tal manera que se debe cumplir:

$$P \times s = p \times s + M$$

donde:

P = presión atmosférica

p = presión en el interior de la instalación de ordeño

s = área del orificio de entrada

M = peso (o fuerza ejercida por el muelle)

V = **P** - **p** = nivel de vacío de trabajo

La expresión también se puede escribir:

$$(P - p) = V = \frac{M}{s}$$

Para un nivel de vacío dado y un área (s) definida, M es constante. Hay reguladores en los que se puede ajustar el nivel de vacío, quitando o añadiendo peso, según se quiera disminuir o aumentar el nivel de vacío.

Durante el funcionamiento, la válvula del regulador está constantemente ajustándose para admitir el aire necesario para mantener el nivel de vacío en cualquier circunstancia.(ver figura 9).

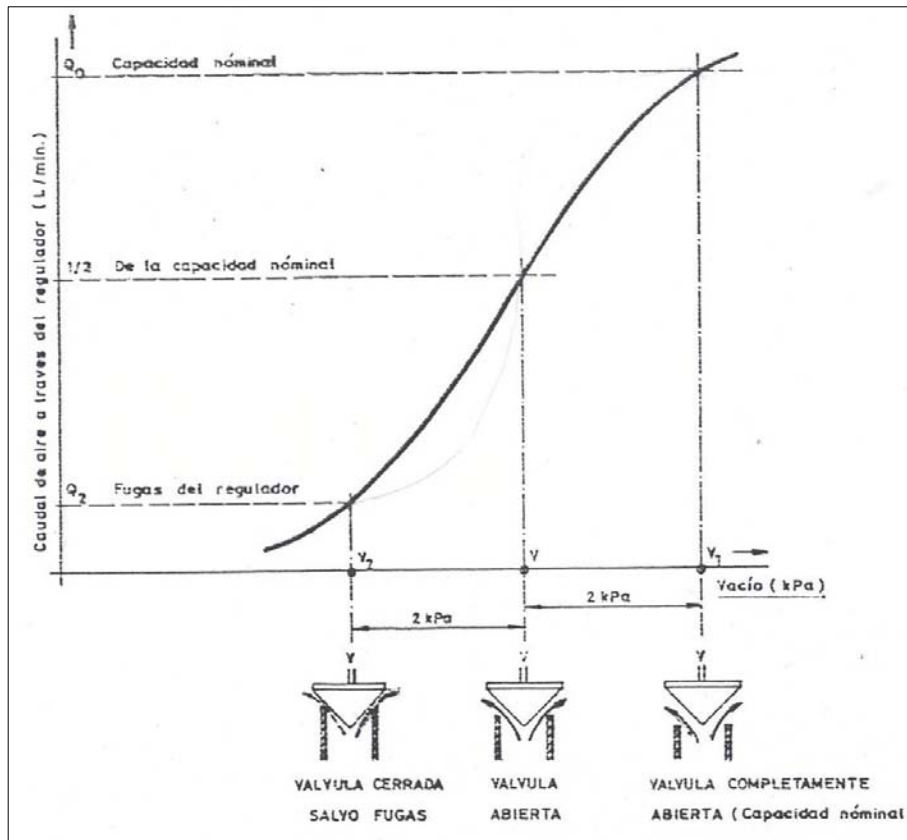


Figura 9. Esquema de funcionamiento de un regulador y curva característica

La tolerancia que se admite está entre -2 y +1 kPa del nivel de vacío elegido. Es decir que si estamos trabajando a un nivel de vacío de 50 kPa, a 48 kPa la válvula debe estar completamente cerrada y si hay entrada de aire, se consideran como fugas. Por el contrario a 52 kPa la válvula está completamente abierta y el caudal máximo de aire que pasa se llama "**capacidad del regulador**". En una instalación en la que el caudal de la bomba sea superior a la capacidad del regulador, el nivel superaría los 52 kPa y por lo tanto no sería admisible.(ver figura 10).

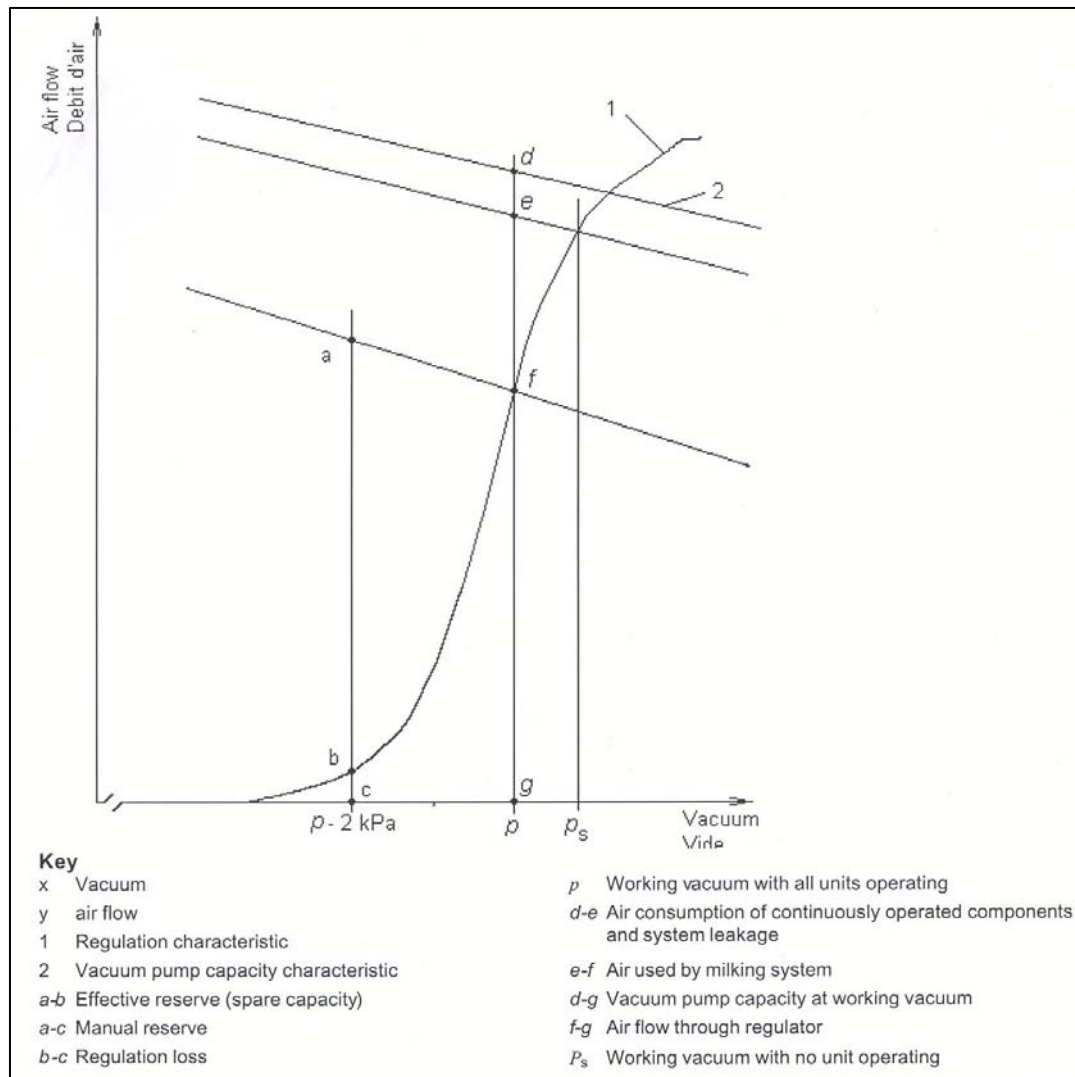


Figura 10. Curva característica de un regulador

5.3 Conducciones de aire

En el sistema de vacío hay una corriente constante de aire expandido desde todas las entradas hasta la bomba de vacío. Durante este recorrido el aire, como cualquier otro fluido, está sujeto a una serie de fenómenos físicos tales como, pérdidas de energía por rozamiento, aumento de su velocidad en los estrechamientos, cambios de la presión, etc.

De una forma práctica se puede comprobar que hay una diferencia en el nivel de vacío del final de la instalación al de las proximidades de la bomba. Cuanto más nos alejamos de la bomba menor es el nivel de vacío. Esta diferencia de niveles de vacío se llama "caída de vacío" y depende de varios factores.

En una conducción la caída de vacío varía según la siguiente expresión:

$$\Delta V = k \frac{C^2 \times L}{D^5}$$

donde:

ΔV = Variación del nivel de vacío

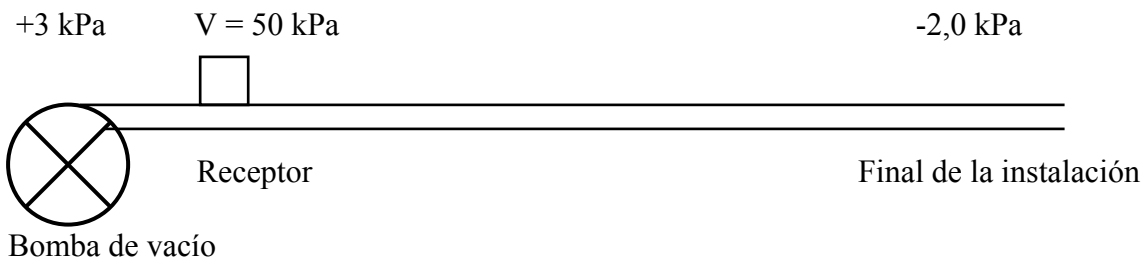
C = caudal de aire que pasa por la instalación

D = diámetro de la conducción

L = longitud de la conducción

Es decir, cuanto mayor sea la longitud de la conducción de aire mayor diferencia de vacío habrá entre los extremos de ésta. Por otra parte, si se reduce a la mitad el caudal de aire que pasa por una conducción (por ejemplo, al realizar una anillo), la caída de vacío en ese tramo se divide por cuatro. Si se duplica el diámetro interno de la conducción con el mismo caudal de aire, la caída de vacío se divide por 32.

La norma UNE exige que los diámetros de las conducciones de aire y sus conexiones sean tales que la caída de vacío entre la bomba y el receptor, la caída de vacío no exceda de 3 kPa (1 kPa entre el sensor del regulador y el receptor). Asimismo, la caída de vacío entre el medido en el receptor y el valor máximo medido en la cámara de pulsación no debe ser superior a 2 kPa.



Es decir, que el nivel de vacío de trabajo se consigue sólo en las proximidades del regulador. También hay que citar que los codos de radio pequeño presentan un alto grado de fricción, por lo que la norma exige el montaje de curvas de radio amplio y se recomienda la utilización del mínimo número posible de estos elementos en la instalación.

5.4 Sistema de pulsación

El mecanismo de la pulsación se realiza en el pulsador que es un dispositivo que produce cambios cíclicos de presión atmosférica y vacío, transmitiéndolos a la cámara de pulsación a través del tubo largo de pulsación, distribuidor del colector y tubo corto de pulsación.

Aunque hay muchos tipos de pulsadores diferentes, el principio de funcionamiento es el mismo en todos ellos y en esencia consiste en conectar intermitentemente el tubo largo de pulsación con el vacío de la instalación y la presión atmosférica interior. Para ello, el pulsador tiene una conexión directa con la conducción de vacío y unos orificios al exterior (ver figura 11).

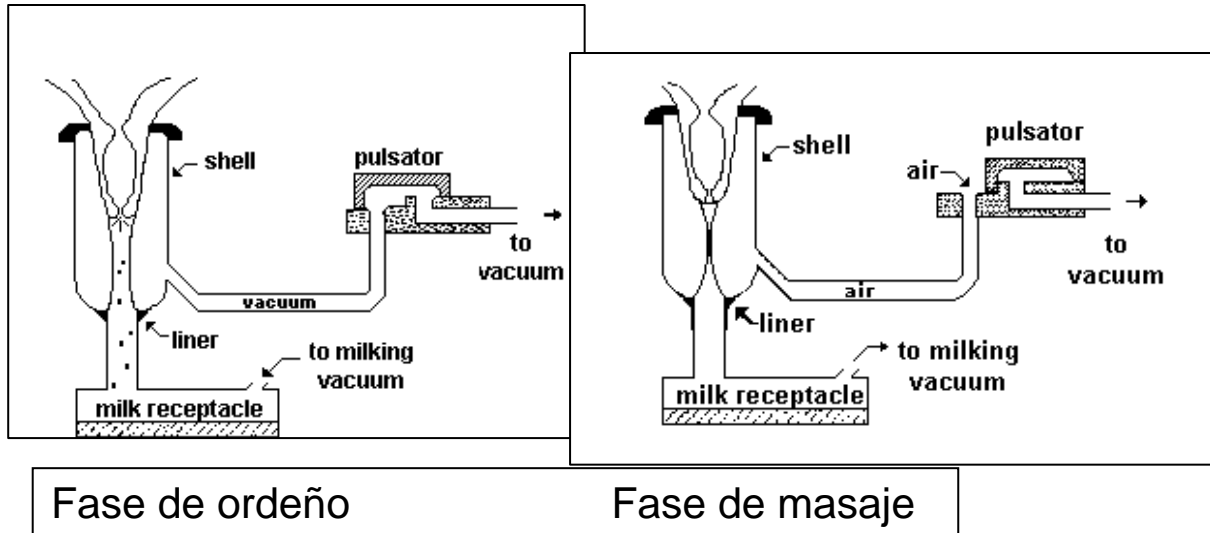


Figura 11. Funcionamiento de un pulsador

El mecanismo que realiza esta función puede moverse por medio del propio vacío - pulsadores neumáticos- o por medios eléctricos e incluso mecánicos. También pueden ser pulsadores individuales y con un funcionamiento independiente o tener un generador central de pulsaciones -neumático, eléctrico o mecánico- y luego, transmitir esa señal por medios asimismo -neumáticos, eléctricos o mecánicos- a unos repetidores -"relay"-, que hacen de pulsadores.

Se llama ciclo de pulsación a una secuencia completa de los movimientos del manguito de ordeño. Este ciclo se puede obtener gráficamente mediante un registrador de vacío colocado a la entrada de la cámara de pulsación.

Si se analiza la gráfica se pueden definir las cuatro fases siguientes:

$$a) \text{ Fase de aumento de vacío (\%)} : \frac{a}{a + b + c + d} \times 100$$

$$b) \text{ Fase de vacío máximo (\%)} : \frac{b}{a + b + c + d} \times 100$$

$$c) \text{ Fase de disminución de vacío (\%): } \frac{c}{a + b + c + d} \times 100$$

$$d) \text{ Fase de vacío mínimo (\%): } \frac{d}{a + b + c + d} \times 100$$

La duración de cada fase expresada en porcentaje del ciclo total está definida en la norma UNE 68050 por los puntos de intersección del gráfico con los niveles de vacío correspondiente a 4 kPa por debajo del vacío normal de trabajo y por encima de la presión atmosférica (ver figuras 12 y 13).

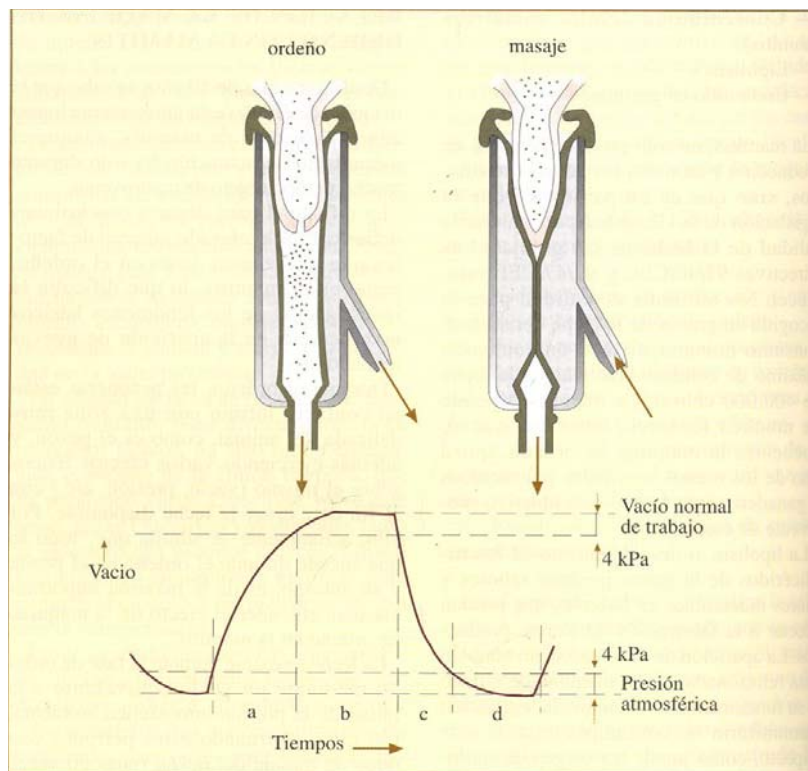


Figura 12. Movimiento de la pezonera en las fases de ordeño y masaje
representación gráfica de un ciclo de pulsación

Las características del funcionamiento del pulsador vienen definidas por los parámetros siguientes:

Frecuencia de pulsación: número de ciclos de pulsación por minuto.

Relación de pulsación: porcentaje de los tiempos de aumento de vacío y vacío máximo, referido a la duración del ciclo de pulsación, registrado en la cámara de pulsación, es decir:

$$\frac{a + b}{a + b + c + d} \times 100 (\%)$$

Pulsación simultanea: los movimientos cíclicos de todos los manguitos de ordeño de un juego de pezoneras se producen al mismo tiempo.

Pulsación alternada: los movimientos cíclicos de la mitad de los manguitos de ordeño de un juego de pezoneras se alternan con la otra mitad.

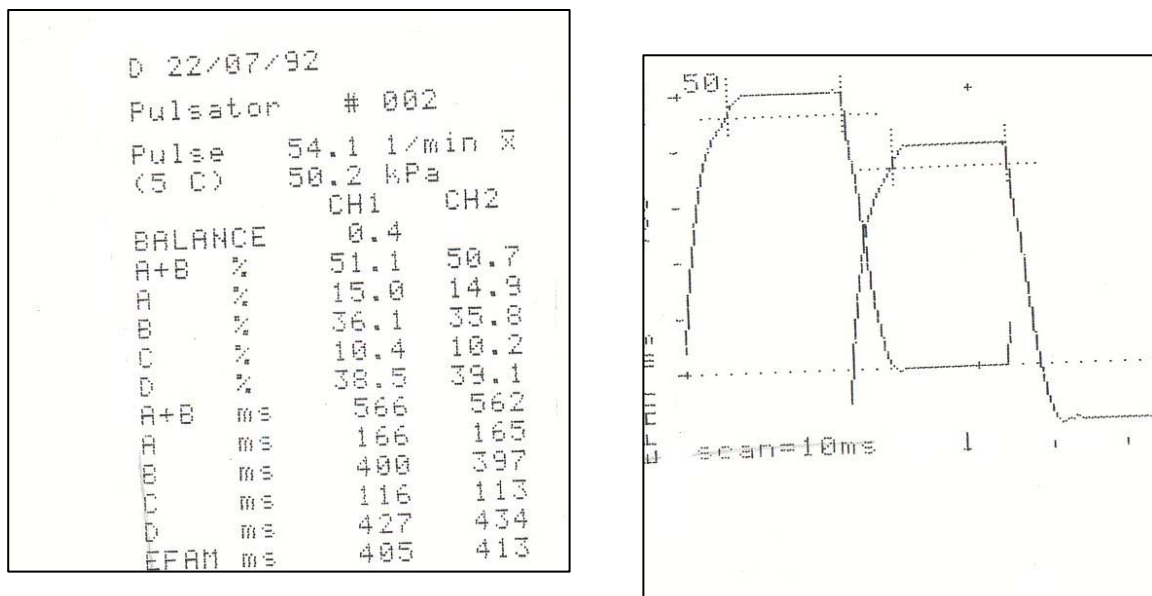


Figura 13. Medidas reales de un pulsador y curva de pulsación obtenida

6. CONCLUSION

Con esta exposición no se agotan las posibilidades de analizar los fenómenos físicos que intervienen en el ordeño mecánico, pero consideramos que será suficiente para los técnicos o profesionales que quieran iniciarse en este tema.

7. BIBLIOGRAFIA

LOWE F.R. (1981) Milking machines. Pergamon Press Ltda. Londres.

N.I.R.D. (1979) Machine milking. Technical Bulletin 1. Reading.

O'CALLAGHAN E. y O'SHEA J. (1978) Machine milking and milking facilities. An Foras Taluntais. Handbook series n^o 19. Dublin.

UNE 68048 (1981) Instalaciones de Ordeño. Terminología. AENOR

UNE 68050 (1982) Instalaciones de Ordeño. Construcción y funcionamiento.

UNE 68061 Instalación de Ordeño. Ensayos Mecánicos.