



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERÍA MECÁNICA**

Diseño del sistema de bombeo hidroneumático en el área de elaboración de embutidos en Industrias Delmor S.A.

AUTORES:

Br.	Eliezer Antonio Gunera Torrez	2010-33608
Br.	Bismark Alberto Pavón Sánchez	2009-29970
Br.	Elika Saraí De Los Ángeles Santana Acevedo	2005-21263

TUTOR:

Msc. Ing. Eddy Blandón Morales.

INDICE

I.	INTRODUCCION	5
II.	OBJETIVOS.....	6
	Objetivo general	6
	Objetivos Específicos	6
III.	MARCO TEORICO	7
	3.1 Sistema de Bombeo.	7
	3.1.1 Sistemas de Bombeo de Tanque a Tanque.....	7
	3.1.2 Sistemas de Bombeo Hidroneumáticos.....	8
	3.1.2.1 Tipos de sistemas hidroneumáticos.	9
	3.1.2.1.1 Sistema hidroneumático Residencial.....	9
	3.1.2.1.2 Sistema hidroneumático comercial.....	9
	3.1.2.1.3 Sistema hidroneumático industrial.....	10
	3.2 Principio de funcionamiento de un sistema hidroneumático.....	10
	3.2.1 Componentes del sistema hidroneumático.....	11
	3.3 Ciclos de bombeo.....	14
	3.4 Dimensionamiento de bombas y motores.	14
	3.4.1 Número de bombas y caudal probable.....	15
	3.4.2 Potencia requerida por la bomba y el motor.....	15
	3.4.3 Presiones de operación del sistema hidroneumático.....	16
	3.4.3.1 Presión mínima.....	16
	3.4.3.2 Presión diferencial y máxima.....	17
	3.5 Cálculos y dimensionamiento del tanque a presión	17
	3.5.1 Presión interna del taque.....	19
	3.6 Vida útil del sistema	19
	3.7 Ventajas y desventajas de un sistema hidroneumático contra un sistema común de almacenamiento	20
	3.8 Dimensionamiento de la tubería.....	21
	3.9 Flujo de fluidos.....	22
	3.9.1 Características de un flujo.....	22
	3.9.2 La Taza de flujo de fluido y la Ecuación de continuidad.....	22
	3.9.3 Flujo de fluidos en tuberías.....	25

3.9.4	Cálculo de pérdidas de energía debido a la fricción.....	28
3.9.5	Conservación de la Energía, Ecuación de Bernoulli.....	29
3.9.6.	Ecuación de Darcy.....	32
3.9.7.	Pérdidas por accesorios.....	33
IV.	DISEÑO METODOLOGICO.....	36
4.1	Métodos de investigación.....	36
4.2	Diseño de sistemas de Bombeo hidroneumático de agua potable.....	36
4.3	DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLÓGICO	38
a.	Consumo de agua	38
b.	Cálculo del diámetro de las tuberías.....	38
c.	Cálculo de velocidad del flujo.....	39
d.	Cálculo del área de la tubería.....	40
e.	Cálculo de numero de Reynolds	41
f.	Rugosidad Relativa	42
g.	Perdidas por fricción.....	43
h.	Cálculo de pérdidas totales.	43
i.	Cálculo de perdidas locales.	44
j.	Cálculo de pérdidas por longitud.	46
k.	Cálculo de potencia de la bomba.	47
l.	Potencia de la bomba.....	48
m.	Potencia requerida por conjunto de bomba y motor	48
n.	Selección de la bomba por medio de las curvas características.....	49
o.	Dimensionamiento del tanque hidroneumático.....	51
V.	CONCLUSIONES.....	54
VI.	RECOMENDACIONES.....	55
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	56
VIII.	REFERENCIAS DE PAGINAS WEB.....	57
IX.	CRONOGRAMA DE EJECUCION.....	58
X.	ANEXOS	60
10.1	ANEXOS DE FIGURAS.....	60
10.2	ANEXOS TABLAS.....	61
p.	Ayuda para seleccionar el tamaño de la tubería.....	61
q.	Tabla Propiedades del agua.....	62
r.	Coeficiente de rugosidad relativa.....	63

s. Tabla Factor de fricción.....	63
u. Diagrama de Moody.....	64

Simbología utilizada en este documento

n	velocidad de rotación (r.p.m.).
η	rendimiento, adimensional.
P	potencia (hp).
Q_m	caudal másico.
Q	caudal volumétrico (m ³ /s)
ρ	densidad del agua (kg/m ³).
V	volumen (m ³).
Δh_{1-2}	energía disipada entre dos puntos (m).
Dm:	diferencial de masa (kg).
\bar{U}	velocidad promedio (m/s).
P_s	presión estática (Kpa).
P_v	presión de vapor (psi).
S	sección transversal de tubería (mm ²).
Z	altura o nivel de referencia (m, pies).
γ	peso específico
w	peso (lb, kg).
N_R	número de Reynolds (adimensional).
T	tiempo
Glns	galones

I. INTRODUCCION

INDUSTRIAS DELMOR, S.A. es una empresa de capital nicaragüenses, constituida el 22 de febrero de 1962; dedicada a la producción de embutidos, enlatados y ahumados. Inicialmente el área de producción estaba conformada por: molino (1), desgarrador (1), embutidores (2), engrapador manual (1); debido al crecimiento continuo de la empresa y la pretensión de sostener y mejorar la calidad de sus productos surgió la necesidad de adquirir y anexar 5 equipos nuevos a las líneas de producción para suplir la demanda de los productos. Con el aumento de la producción se requiere mayor suministro de agua para la limpieza de todos los equipos cada vez que se realiza un cambio de producto (pasta) en la línea de embutidos. Considerando la necesidad proponemos aumentar las capacidades de caudales y presiones de agua por medio del diseño de un sistema de bombeo hidroneumático que se encargara de mantener la eficiencia y así reduciendo el tiempo de lavado de cada una de las máquinas al realizar el cambio de pasta a embutir requerida en los procesos antes mencionados.

Antes de la instalación de los 5 equipos nuevos en producción se tenía un tanque de almacenamiento de 10,000 litros de capacidad que suministraba agua por gravedad al sistema, con la puesta en marcha de los nuevos equipos agregados a la línea de producción se propone además el cambio del tanque de almacenamiento por uno de 22,000 litros de capacidad que alimentará el líquido a través de tubería galvanizada desde la salida (descarga) del sistema hidroneumático hasta la tubería principal de suministro de agua hacia el área de producción; durante el tiempo que el sistema hidroneumático opere, la alimentación de agua comercial se enviará a otro punto más bajo a través de válvulas de cierre rápido que permitan realizar esta maniobra; reduciendo así el tiempo de lavado de cada una de las máquinas al realizar el cambio de pasta a embutir y efectuar una correcta limpieza con un flujo a una presión de entre 60 a 70 PSI para que sea posible desprender residuos de pastas elaboradas con anterioridad y al finalizar la jornada de producción de dicha área.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

“Diseñar un sistema de bombeo hidroneumático para la limpieza a equipos con agua potable en el área de elaboración de embutidos en Industrias Delmor S.A”

Objetivos Específicos

1. Seleccionar los elementos principales para la elaboración del diseño de instalación del sistema hidroneumático.
2. Estimar las pérdidas ocasionadas en el proceso de conducción de agua de acuerdo al material y componentes seleccionados para el sistema hidroneumático.
3. Calcular el caudal y presión necesaria para la selección correcta de la bomba y tanque hidroneumático a instalar, para el uso eficiente en el sistema.

III. MARCO TEORICO

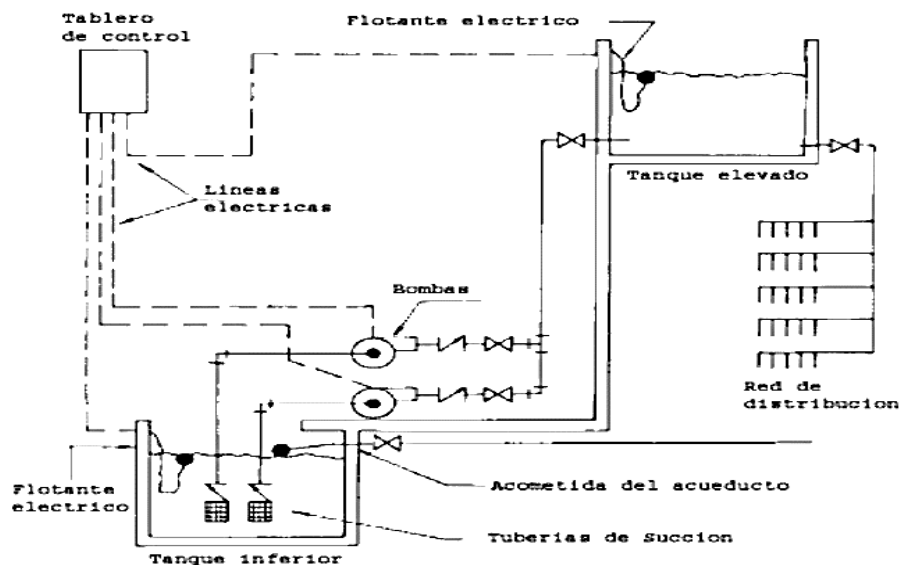
3.1 Sistema de Bombeo.

Un sistema de bombeo es un conjunto de componentes diseñados para transportar líquidos de un lugar a otro utilizando una bomba. Estos sistemas se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como el suministro de agua potable, la irrigación de cultivos, el tratamiento de aguas residuales, la transferencia de líquidos entre diferentes tanques o contenedores, y muchas otras aplicaciones industriales. Este sistema consta de una fuente de energía para hacer funcionar la bomba (como un motor eléctrico), una tubería de succión para llevar el líquido desde la fuente hasta la bomba, una tubería de descarga para llevar el líquido desde la bomba al destino deseado, y una variedad de accesorios, como válvulas, filtros y medidores de flujo, para controlar el flujo y la presión del líquido.

3.1.1 Sistemas de Bombeo de Tanque a Tanque.

Este sistema está basado en un tanque ubicado en la parte alta de un edificio o estructura metálica; con una altura que permita la presión del fluido (agua) y el recorrido por gravedad a una red de distribución del líquido.

Fig. 1 Diseño de un sistema de bombeo tanque a tanque



Desde el tanque elevado se hace descender una tubería vertical de la cual surgirá para cada piso, una ramificación a los apartamentos correspondientes al mismo, dándose de esta forma el suministro por gravedad. Este sistema requiere del estudio de las presiones de cada piso, asegurándose con este que las mismas no sobrepasen los valores adecuados.

En la parte inferior de la edificación existe un tanque, el cual puede ser superficial, semi subterráneo o subterráneo y en el que se almacenará el agua que llega del abastecimiento público. Desde este tanque un número de bombas establecido (una o dos), conectadas en paralelo impulsaran el agua al tanque elevado.

3.1.2 Sistemas de Bombeo Hidroneumáticos.

Los sistemas hidroneumáticos son sistemas diseñados para el suministro de agua a presión donde se requiera tener agua y esta no llegue en la cantidad y presión adecuada, ya sea por bajas presiones del acueducto o por cortes de agua.

Sus aplicaciones son variadas en redes de agua potable para uso residencial, comercial, sistemas de riego (agrícola), lavado de autos restaurantes, colegios, hospitales y plantas industriales.

Fig. 2 Equipo hidroneumático de presión constante



Fuente: DISIN S.A DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, (2009), Equipos hidroneumáticos o de presión constante, <https://www.disin.com/equipos-hidroneumaticos-o-de-presion-constante/>

Estos equipos operan con alimentaciones eléctricas monofásicas (115/220 Volts) y trifásicas (220/460 Volts), con potencias desde 0.5 hp hasta 10 hp, con presiones de operación que van desde 20-40 psi, 30,50 psi o 40-60 psi, con tanques tanto verticales como horizontales.

3.1.2.1 Tipos de sistemas hidroneumáticos.

En dependencia del uso o aplicación para la cual se requiera, al régimen de trabajo y caudal que necesitamos mover, podemos decir que los sistemas hidroneumáticos se clasifican en:

- Sistemas Hidroneumáticos Residenciales
- Sistemas Hidroneumáticos Comerciales
- Sistemas Hidroneumáticos Industriales

3.1.2.1.1 Sistema hidroneumático Residencial.

Estos se utilizan generalmente para aumentar la presión en regaderas, llaves de lavamanos o lavado de trastes, así como elevación de la presión de alimentación de agua a aparatos electrodomésticos, permitiendo un llenado en menor tiempo además de alimentar mayor presión e incluso alimentación de agua a pisos superiores sobre el nivel de piso.

Los sistemas hidroneumáticos con tanques de 320 galones o menos y en edificaciones con 30 piezas servidas o menos se denominan hidroneumáticos de quintas o de uso doméstico.

3.1.2.1.2 Sistema hidroneumático comercial

Son comúnmente utilizados para aumentar la presión en tramos largos de tubería, por ejemplo, en centros comerciales, hospitales o edificios de oficinas,

donde se requiere un servicio con presión uniforme y constante a todas las llaves de agua de las instalaciones antes mencionadas.

3.1.2.1.3 Sistema hidroneumático industrial.

Se utilizan principalmente en líneas hidráulicas que alimentan equipos de producción los cuales requieren de una presión específica para poder funcionar correctamente.

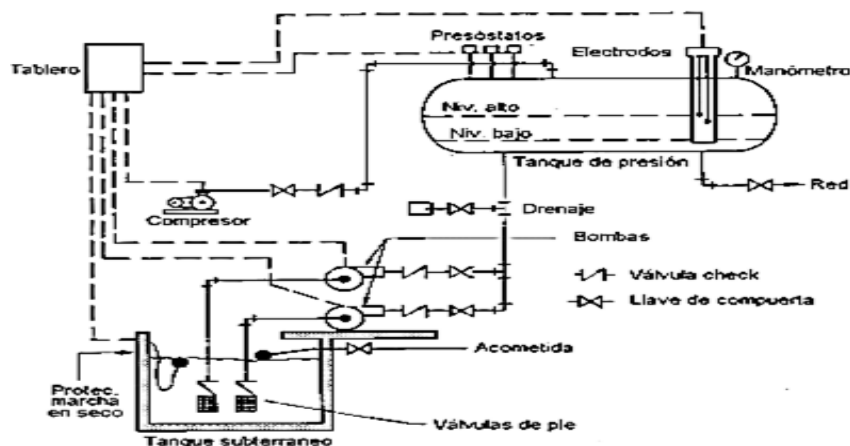
Su utilización también abarca los sistemas contra incendios, donde funcionan aumentando la presión en las redes hidráulicas y de este modo mejorar la labor de estos dispositivos de protección.

Así mismo el aumento de presión y traslado de cantidades considerables de agua de un punto a otro en una planta industrial e incluso entre naves de plantas industriales las cuales se encuentran a distancias considerables entre ellas.

3.2 Principio de funcionamiento de un sistema hidroneumático.

Los sistemas hidroneumáticos se basan en el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando es sometido a presión. A continuación, se explica el funcionamiento de un sistema hidroneumático:

Fig. 3 Funcionamiento de un sistema hidroneumático



Fuente: J. W. J. de Wekker V, (Junio 2004), SISTEMAS DE BOMBEO Características y Dimensionamiento (pág.4),

https://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/sistema_hidroneumatico.pdf

El agua suministrada desde el acueducto público u otra fuente (acometida), es retenida en un tanque de almacenamiento donde, a través de un sistema de bombas, será impulsada a un recipiente a presión que contiene volúmenes variables de agua y aire. Cuando el agua entra al recipiente, aumenta el nivel de agua, al comprimirse el aire aumenta la presión y cuando se llega a un nivel de agua y presión determinados, se produce una señal de parada de la bomba, y el tanque queda en la capacidad de abastecer la red, cuando los niveles de presión bajan, a los mínimos preestablecidos, se acciona el mando de encendido de la bomba nuevamente.

3.2.1 Componentes del sistema hidroneumático.

Según las Normas técnica complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas NTC-2004, un sistema hidroneumático deberá estar construido y dotado de los componentes que se indican a continuación.

- 1) Tanque presurizado precargado o tanque hidroneumático es un recipiente cerrado donde se acumula el agua bajo presión , posee una sola boca para la entrada y salida de agua, este almacenamiento da la posibilidad de disponer de la cantidad limitada de agua para distintos usos, al ingresar el agua a presión dentro del tanque, el aire confinado dentro de un diafragma en el interior del tanque se va comprimiendo dándole lugar al líquido, esto se debe a que el aire por ser un gas tiene sus moléculas más separadas y por ello tiende a comprimirse mucho más fácilmente que el agua.

Fig. 4 Tanque presurizado o hidroneumático



- 2) Número de bombas, acorde con las exigencias de la red, (una o dos para viviendas unifamiliares y dos o más para edificaciones mayores o industriales).

Fig. 5 Bomba Centrífuga



Fuente: Internet, José Luis R. (2022), <https://como-funciona.co/una-bomba-centrifuga/>

- 3) Válvula de retención, en cada una de las tuberías de descarga de las bombas al tanque hidroneumático.

Fig. 6 Válvula de retención o válvula check



Fuente: internet, HIDRASERVICE, recuperado de <https://hidraservice.cl/productos/riego-agricola/valvulas/vavulas-laton/valvula-de-retencion-horizontal/>

- 4) Llaves o válvulas de paso entre la bomba y el sistema hidroneumático, entre éste y el sistema de distribución.

Fig. 7 Válvula de esfera



Fuente internet, GENE BRE GROUP, Válvula esfera, recuperado de <https://www.genebre.biz/valvula-esfera-serie-ligera>

5) Manómetro.

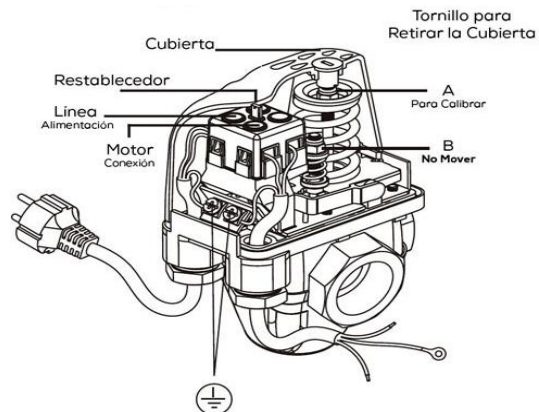
Fig. 8 Manómetro de presión



Fuente internet, GENE BRE GROUP, manómetro, recuperado de <https://www.genebre.biz/manometro-8012>

6) Interruptores de presión o presostato mecánico, para arranque a presión mínima y parada a presión máxima del sistema, y control de compresor.

Fig. 9 Interruptor de presión o presostato mecánico



Fuente internet, Interruptores de Presión, recuperado de https://misenatives.files.wordpress.com/2018/03/funcionamiento_y_reglaje_de_los_preostatos.pdf

7) Tablero de potencia y control de motores.

Fig. 10 Tablero de control



Fuente propia

3.3 Ciclos de bombeo

Se denomina ciclos de bombeo al número de arranques de una bomba en una hora. Cuando se dimensiona un tanque, se debe considerar la frecuencia del número de arranques del motor de la bomba. Si el tanque es pequeño, la demanda de distribución normal extraerá el agua útil del tanque rápidamente y los arranques de la bomba serán demasiado frecuentes. Un ciclo muy frecuente causa un desgaste innecesario de la bomba y un consumo excesivo de potencia.

Por convención se usa una frecuencia de 4 a 6 ciclos por hora, el ciclo de 4 arranques/hora se utiliza para el confort del usuario y se considera que con más de 6 arranques/hora puede ocurrir un sobrecalentamiento del motor, desgaste innecesario de las unidades de bombeo, molestias al usuario y un excesivo consumo de energía eléctrica.

El punto en que ocurre el máximo de arranques, es cuando el caudal de demanda de la red alcanza el 50% de la capacidad de la bomba. En este punto el tiempo que funcionan las bombas iguala al tiempo en que están detenidas. Si la demanda es mayor que el 50%, el tiempo de funcionamiento será más largo; cuando la bomba se detenga, la demanda aumentada extraerá el agua útil del tanque más rápidamente, pero la suma de los periodos será más larga.

Fuente: J. W. J. de Wekker V, (Junio 2004), Componentes de un sistema de bombeo (p.5) recuperado de https://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/sistema_hidroneumatico.pdf

3.4 Dimensionamiento de bombas y motores.

Pope (2000) dice que: “Las bombas convierten una entrada de energía mecánica en una energía del fluido”¹

La primera consideración al seleccionar el tamaño de las bombas, es el hecho de que deben ser capaces por sí solas de abastecer la demanda máxima

¹ Pope, J. (2000). Soluciones prácticas para el ingeniero mecánico (p. 193). México, Mc Graw Hill.

dentro de los rangos de presiones y caudales, existiendo siempre una bomba adicional para alternancia con la (s) otra (s) y para cubrir entre todas, por lo menos el 140 % de la demanda máxima probable.

3.4.1 Número de bombas y caudal probable

Para sistemas industriales deben seleccionarse dos o más bombas, ya que se debe dejar una unidad de bombeo de reserva para la alternancia y para confrontar caudales de demanda super-pico, se deberá utilizar el siguiente criterio:

La suma total de los caudales de las unidades de bombeo no será nunca menor al 140 % del caudal máximo probable calculado en la red. Este criterio se muestra en la tabla a continuación:

TABLA. 1 Número de bombas por caudal

No. de Bombas	% de Q _{max}	Total de Q de bombeo
2	100	200
3	50	150
4	35	140

Fuente: J. W. J. de Wekker V, (Junio 2004), SISTEMAS DE BOMBEO Características y Dimensionamiento (pág.7), https://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/sistema_hidroneumatico.pdf

3.4.2 Potencia requerida por la bomba y el motor

Según Robert L. Mott (2006) (p. 207). La potencia se define como la rapidez con que se realiza un trabajo. “En la mecánica de fluidos (...) se considera que la potencia es la rapidez con que se transfiere energía”

Con la siguiente ecuación podemos encontrar la potencia que requieren las

bombas:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot S}{75 \cdot \eta} \quad \text{Ec. (3.1)}^2$$

² Ec. (3.1) Calculo para la Potencia (hp) requerida por la bomba Hidrostaal, BOMBAS CENTRIFUGAS (mayo 2011) (p.17), recuperado de https://es.slideshare.net/mecanicadefluidos/bombas-centrifugas7934169?from_action=save

donde:

- P: potencia de la bomba (hp)
- Q: Caudal (m³/s ó L/s)
- H: Altura total de elevación (m)
- S: Gravedad específica (1 para agua limpia)
- η: Eficiencia de la bomba (%)

3.4.3 Presiones de operación del sistema hidroneumático

Todo sistema hidroneumático debe poseer una presión mínima y máxima de operación, la cual rige el arranque y paro de la bomba, dicho rango influencia en el tanque y el presostato.

3.4.3.1 Presión mínima

La presión mínima de operación P_{min} del cilindro en el sistema hidroneumático deberá ser tal que garantice en todo momento, la presión requerida (presión residual) en la toma más desfavorable, podrá ser determinada por la fórmula siguiente:

$$P_{min} = h + \Sigma h_f + v^2 / (2 * g) + h_r \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Donde:

h: Altura geométrica entre el nivel inferior y el nivel superior del líquido. (m)

Σh_f : La sumatoria de todas las pérdidas (tanto en tubería recta como accesorios) que sufre el fluido desde la descarga del tanque hasta la toma más desfavorable. (m)

$v^2 / (2 * g)$: Energía cinética o presión dinámica.

h_r : Presión residual. (m)

3.4.3.2 Presión diferencial y máxima

Algunos manuales recomiendan que la presión diferencial, no sea inferior a 14 metros de columna de agua (20 libras por pulgada cuadrada). Sin embargo, no fija un límite máximo que se pueda utilizar, por lo que hay que tener en cuenta que al aumentar el diferencial de presión, aumenta la relación de eficiencia del cilindro considerablemente y por lo tanto reduce en tamaño final del mismo; pero aumentar demasiado el diferencial puede ocasionar inconvenientes, pequeños, tales como un mayor espesor de la lámina del tanque, elevando así su costo y obligando a la utilización de bombas de mayor potencia para vencer la presión máxima, o graves, tales como fugas en las piezas sanitarias y acortamiento de su vida útil. La elección de la presión máxima se prefiere dejar al criterio del diseñador.

3.5 Cálculos y dimensionamiento del tanque a presión

El dimensionamiento del tanque a presión, se efectúa tomando como parámetros de cálculo el caudal de bombeo (Q_b), el caudal de demanda (Q_d), los ciclos por hora (U) y las presiones de operación, el procedimiento es como sigue:

T_c , representa el tiempo transcurrido entre dos arranques consecutivos de las bombas, y se expresa de la siguiente manera:

$$T_c = \frac{1 \text{ hora}}{U} \quad \text{Dado que } U = 6 \text{ por definición}$$

U : ciclos por hr

Por lo tanto, para caudales en lts/seg y tiempos en segundos:

$$T_c = \frac{3600}{6} = 600 \text{ seg}$$

Pero también

$$T_c = T_{II} + T_{va} \quad \text{Ec. (3.3)}$$

donde

T_{II} : tiempo de llenado del tanque.

T_{va} : tiempo de vaciado del tanque.

Por definición, el momento en que ocurren más ciclos en una hora es cuando el caudal de demanda (Q_d) es igual a la mitad del caudal de bombeo (Q_b), por tanto:

$$T_{II} = \frac{V_u}{Q_b - Q_d} \quad ; \text{ donde } V_u, \text{ es el volumen utilizable} \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Pero si

$$Q_d = \frac{1}{2} Q_b$$

$$T_{II} = \frac{V_u}{Q_d - \frac{1}{2} Q_b} = \frac{V_u}{\frac{1}{2} Q_b} = \frac{2V_u}{Q_b}$$

Por otro lado

$$T_{va} = \frac{V_u}{Q_d} = \frac{V_u}{\frac{1}{2} Q_b} = \frac{2V_u}{Q_b}$$

Por consiguiente, si $T_c = T_{II} + T_{va}$

$$T_c = \frac{4V_u}{Q_b} \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Despejando V_u :

$$V_u = \frac{T_c * Q_b}{4}$$

Por otro lado, procedemos al cálculo del porcentaje del volumen útil, ($\%V_u$), que representa la relación entre el volumen utilizable y el volumen total del tanque y se podrá calcular de la siguiente ecuación:

$$\%V_u = 90 \times \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max}} \quad (\text{Ec. 3.6})^3$$

³ J. W. J. de Wekker V, (2004), SISTEMAS DE BOMBEO Características y Dimensionamiento, https://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/sistema_hidroneumatico.pdf

Donde

P_{\max} : Presión máxima del sistema.

P_{\min} : Presión mínima del sistema.

Nota: Tanto la P_{\max} como la P_{\min} , serán dados como presiones absolutas.

Cálculo del volumen del tanque, V_t

$$V_t = \frac{Vu}{\%Vu/100} \quad \text{Ec. (3.7)}$$

3.5.1 Presión interna del taque

Siendo la función del compresor la de reemplazar el aire que se pierde por la absorción del agua y posibles fugas, su tamaño es generalmente pequeño. Debe vencer una presión superior a la máxima del sistema, su capacidad no pasa de unos pocos pies cúbicos por minuto.

En los tanques de capacidad iguales o mayores a 320 Glns es preferible usar para la recarga de aire un compresor del tipo convencional, de capacidad y presión adecuadas para el sistema, movido por un motor eléctrico mandado por un sistema de control el cual normalmente funcione mediante un sistema de combinación entre presión y nivel de agua, de manera que se pueda controlar el trabajo del compresor.

3.6 Vida útil del sistema

La vida útil de un sistema hidroneumático residencial y para edificios de poca altura, dependerá del programa de mantenimiento que pueda darse al sistema, ya que la vida media de un equipo de este tipo supera los 10 años, si se le da un mantenimiento adecuado.

Referido a un sistema hidroneumático de uso industrial esta expectativa de vida útil se extiende ya que, en industrias, se establece un plan de mantenimiento

continuo que incluye revisiones periódicas establecidas tanto mecánicas como eléctricas, lo que permite extender su vida útil de funcionamiento.

3.7 Ventajas y desventajas de un sistema hidroneumático contra un sistema común de almacenamiento.

➤ Ventajas.

1. La presión de agua es regulada a voluntad.
2. Tiene su propio depósito de agua, por lo que, antes de cortes de energía se mantiene una reserva presurizada disponible para utilizar. Agotada ésta, el agua fluye a presión normal.
3. No importa la distancia de ubicación del sistema en planta ni en altura con respecto a la demanda.
4. La bomba trabaja con rendimiento adecuado durante breves periodos, hasta alcanzar a presión de corte. Esto ayuda a generar un menor costo de operación a la vez que alarga la vida útil del equipo.
5. Es completamente automático.
6. Excelente presión en la red hidráulica, mejorando el funcionamiento de lavadoras, filtros, regaderas, operación de fluxómetros y riego por aspersión. Así mismo evita la acumulación de suciedad y algas en las tuberías por flujo a baja velocidad.
7. No requiere de red hidráulica de distribución en las terrazas, quedando libres para diferentes usos, evitando humedades por fugas de la red.
8. Totalmente higiénicos, ya que no hay tanques abiertos en contacto con el polvo, microbios, insectos pequeños, etc.

➤ Desventajas

1. En este tipo de sistemas no son muy numerosas las desventajas que pueden mencionarse ya que fueron diseñados y fabricados con el propósito de competir con los sistemas ya existentes y de esa manera mejorar de gran forma el uso y distribución de agua dentro de las estructuras para las que fueron diseñadas, optimizando presiones.

2. Una de las desventajas más notables en estos sistemas es el uso de energía eléctrica, ya que el sistema depende por completo de ella, y al no haber corriente el servicio se detiene por completo.
3. Otra de las desventajas es la falta de agua en las tuberías a causa del mal servicio, falta o corte del mismo, aunque problemas como este pueden resolverse de varias formas, por ejemplo, usando cisternas subterráneas o tinacos al nivel del suelo para tener una reserva aceptable y mantener continuo el flujo de agua sin importar el servicio externo.

3.8 Dimensionamiento de la tubería

Las tuberías serán seleccionadas con diámetros tales que la velocidad del caudal máximo probable entre ellas se encuentre comprendida entre 1 y 3 m/s.

La tabla siguiente puede servir de guía para la selección de los diámetros de tubería de suministro a edificaciones.

TABLA. 2 Dimensionamiento de la tubería según caudal

Caudales				Diámetros	
Lts/Seg				Nominal	Interno
				Pulg	cms
	hasta		0,85	3/4"	2,09
de	0,86	a	1,50	1"	2,66
de	1,51	a	2,30	1 1/4"	3,53
de	2,31	a	3,40	1 1/2"	4,09
de	3,41	a	6,00	2"	5,25
de	6,01	a	9,50	2 1/2"	6,27
de	9,51	a	13,50	3"	7,79
de	13,51	a	24,00	4"	10,2

Fuente: J. W. J. de Wekker V, (Junio 2004), SISTEMAS DE BOMBEO Características y Dimensionamiento (pág.16), https://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/sistema_hidroneumatico.pdf

3.9 Flujo de fluidos

Fluido es aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene. Pope (2000) define que: “Un fluido es una sustancia que se deforma de manera continua cuando está sujeta a un esfuerzo cortante”⁴

Un *flujo* es la cantidad de fluido que atraviesa un sistema en determinado tiempo.

3.9.1 Características de un flujo

Un fluido puede ser permanente o no permanente, uniforme o no uniforme, laminar o turbulento, unidimensional, bidimensional, tridimensional, rotacional o irrotacional.

Flujo permanente: tiene lugar cuando, en un punto cualquiera, la velocidad de las sucesivas partículas que ocupan ese punto en los sucesivos instantes, es la misma.

Flujo uniforme: tiene lugar cuando el módulo, la dirección y el sentido de la velocidad no varían de un punto a otro del fluido, es decir; $dv / ds = 0$.

Este supuesto implica que las otras magnitudes físicas no varían con las coordenadas espaciales. Si las líneas de corriente no son rectas, la velocidad sufre un cambio de dirección.

3.9.2 La Taza de flujo de fluido y la Ecuación de continuidad

La cantidad de fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo puede expresarse por medio de tres términos distintos:

Q: El flujo volumétrico, es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

⁴ Pope, J. (2000). Soluciones prácticas para el ingeniero mecánico (p. 2). México, Mc Graw Hill.

W: El flujo en peso, es el peso del **fluido que circula en una sección** por unidad de tiempo.

M: El flujo másico es la masa de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

El flujo volumétrico **Q** es el más importante de los tres y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = A \cdot v \quad \text{Ec. (3.8)}$$

Donde A es el área de la sección y v es la velocidad promedio del flujo. Al consultar el SI, obtenemos las unidades de Q del modo siguiente: / Robert I mott 6ta ed. Pág.154

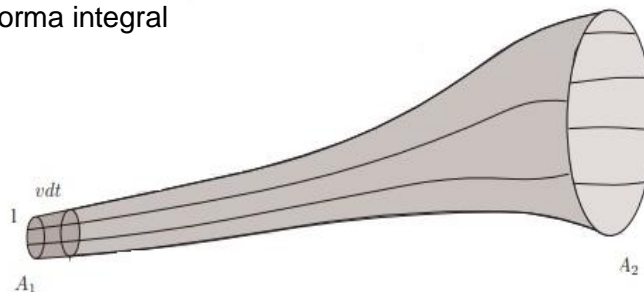
$$Q = A \cdot v = \text{m}^2 \times \text{m/s} = \text{m}^3 / \text{s} \quad \text{Ec. (3.9)}$$

Consideremos un tubo de corriente estrecho, de forma que se pueda considerar uniforme la velocidad en cualquier sección del tubo perpendicular al flujo.

En el interior del tubo la velocidad del flujo es paralela a la línea de corriente en cada punto, pudiendo ser estas velocidades distintas en cada punto (Figura 11).

Sea v_1 la velocidad de la partícula en el punto 1, y v_2 la velocidad de la partícula en el punto 2, con A_1 y A_2 las secciones transversales de los tubos, perpendiculares a las líneas de corriente. Si el tubo es estrecho v_1 y v_2 son uniformes en A_1 y A_2 respectivamente.

Fig. 11 Tubo de corriente utilizado para la obtención de la ecuación de continuidad de forma integral



En un intervalo de tiempo dt , un elemento de fluido recorrerá una distancia $v dt$, por lo que en el tiempo dt pasará por A_1 la masa de fluido:

$$dm_1 = \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 dt \quad \text{Ec. (3.10)}$$

donde

ρ_1 : es la densidad del fluido al pasar por la sección 1.

El **Caudal másico** se define como la masa que atraviesa una sección en la unidad de tiempo, y viene dado por:

$$Q_m = \frac{dm_1}{dt} = \rho_1 A_1 v_1 \quad \text{Ec. (3.11)}$$

donde se considera implícitamente que en ese intervalo infinitesimal de tiempo ni A ni v varían apreciablemente en el recorrido del fluido vdt . El caudal másico a través de la sección A_1 es $\rho_1 A_1 v_1$ y a través de la sección A_2 es $\rho_2 A_2 v_2$.

Como las partículas del flujo no pueden atravesar las paredes del tubo de flujo debe cumplirse que, si el régimen es permanente (o estacionario) y no hay fuentes ni sumideros de partículas, ambos caudales han de ser iguales:

$$Q_m = \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \Rightarrow Q_m = \rho A v = \text{cte}$$

Y análogamente para cualquier otra sección A perpendicular al tubo de flujo, por lo que esta **Ley de Conservación de la Masa** o **Ecuación de Continuidad** se puede escribir simplemente como:

$$\rho A v = \text{cte}$$

a través de cualquier sección del tubo de flujo perpendicular al mismo en régimen estacionario. Para el caso particular de flujo incompresible ρ no depende del punto y esta ecuación de continuidad puede escribirse como:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \Rightarrow Q = A v = \text{cte}$$

Donde

Q : es el **caudal o volumen** que atraviesa la sección en la unidad de tiempo. Por ejemplo, en una canalización por la que circula un fluido incompresible, se tiene la sencilla relación $A_1 v_1 = A_2 v_2$, que da, para la relación entre velocidades,

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2} * V_1$$

En todo el cálculo anterior hemos considerado implícitamente que la velocidad v es uniforme en cada sección.

Esto no es cierto en el caso general, pero la ecuación de continuidad sigue siendo válida en las mismas condiciones si la densidad es uniforme en la sección y en vez de la velocidad se utiliza la velocidad promedio en la sección.

$$\bar{v} = 1/2 \int_A v dA \quad \text{Ec. (3.12)}$$

3.9.3 Flujo de fluidos en tuberías

A menudo, las fuerzas no conservativas en un fluido no pueden despreciarse. Estas fuerzas dan lugar a una disipación de la energía mecánica del fluido en energía interna del mismo, igual que las fuerzas de rozamiento disipan energía de un bloque deslizante en energía interna del bloque y de la superficie sobre la que se desliza (aumentan sus temperaturas).

Como consecuencia de esto, cuando un fluido viscoso circula por una tubería horizontal uniforme, la presión a lo largo de una línea de flujo disminuye, al contrario de lo que ocurre en un fluido perfecto (**Figura 12.**). Debe notarse que, al no variar la sección de la tubería, la velocidad del flujo en la misma no varía, al contrario de la presión.

Fig. 12 Comportamiento de un fluido



Fuente: internet, Domingo. Agustín Marín (2011), Apuntes de mecánica de fluidos (p.46), recuperado por <https://oa.upm.es/6531/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>

En la Figura 12. Podemos observar un fluido viscoso en una tubería, el resultado de esto es que la presión disminuye a lo largo del flujo en un fluido real.

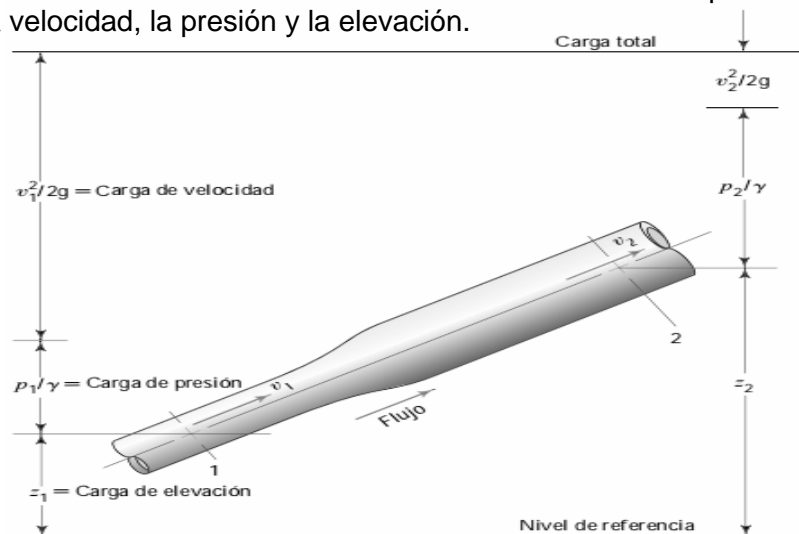
Viscosidad: todo fluido real posee la propiedad de la *viscosidad*. La viscosidad es la causa de la resistencia que aparece en el flujo de un fluido en tuberías y canales y está relacionada con la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, en las que se produce rozamiento entre distintas partes del fluido.

Por ejemplo, a causa de las fuerzas viscosas de rozamiento en una tubería, las capas de fluido más próximas a la pared (más lentas) frenan a las capas más interiores (más rápidas), apareciendo una distribución de velocidades.

El efecto de estas fuerzas de rozamiento se traduce en una disipación de energía que debe tenerse en cuenta en la ecuación de *Bernoulli*⁵ en la forma siguiente, si el flujo va de 1 a 2, (ver figura 13)

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ec. (3.13)}$$

Fig. 13 Porción de un sistema de distribución de fluidos que muestra variaciones en la velocidad, la presión y la elevación.



Fuente: L. Mott Robert. Mecánica de fluidos, (p.120), Séptima edición (2015)

⁵ Daniel Bernoulli (Groninga, 8 de febrero de 1700. - Basilea, 17 de marzo de 1782) fue un matemático, estadístico, físico y médico suizo. Destacó no solo en matemática pura, sino también en las llamadas aplicadas, principalmente estadística y probabilidad. Hizo importantes contribuciones en hidrodinámica y elasticidad.

En la Figura 13. Se observa la obtención de la ecuación de Bernoulli para una línea de flujo. En la figura se representa un tubo de flujo estrecho de forma que la velocidad pueda considerarse uniforme en cada sección

Donde

Δh_{12} : es la energía disipada entre 1 y 2 por unidad de peso del fluido, a la que se denomina ***pérdida de carga***.

Régimen Laminar y régimen Turbulento: dependiendo de la importancia relativa entre las fuerzas viscosas y las fuerzas de inercia, el régimen de movimiento de un fluido puede ser de dos tipos:

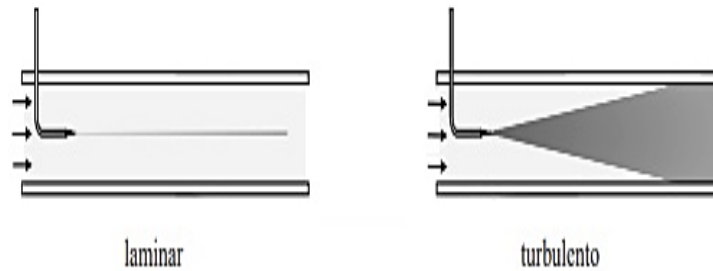
Régimen Laminar o de Poiseuille: El régimen del flujo es ***Laminar*** cuando el flujo tiene un movimiento ordenado, en el que las partículas del fluido se mueven en líneas paralelas, sin que se produzca mezcla de materia entre las distintas capas.

Régimen Turbulento o de Venturi: El régimen de movimiento de un fluido es ***turbulento*** cuando el fluido presenta un movimiento desordenado con mezcla intensiva entre las distintas capas.

Para distinguir conceptualmente ambos regímenes es conveniente recordar la forma en que experimentalmente se observa el paso de un régimen de movimiento a otro. Consideremos una tubería cilíndrica de sección constante por la que circula un fluido a una cierta velocidad. Si introducimos en el flujo una aguja fina por la que lentamente inyectamos tinta como se muestra en la **figura 14** podemos tener dos comportamientos:

Cuando el régimen del flujo es ***Laminar***, la tinta avanza con el agua como un fino hilo, mezclándose lentamente con ésta por procesos de difusión.

Fig. 14 Régimen Laminar y Turbulento.



Fuente: internet, Domingo. Agustín Marín (2011), Apuntes de mecánica de fluidos (p.46), recuperado por <https://oa.upm.es/6531/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>

La mezcla entre el agua y la tinta es muy lenta. Esta situación se tiene para diámetros pequeños y velocidades bajas del fluido. A medida que aumenta la velocidad del flujo, llega un momento en que el régimen de movimiento pasa a ser turbulento. Cuando el régimen de movimiento del flujo es **Turbulento**, la tinta se mezcla de forma inmediata con el agua, diluyéndose en ésta.

3.9.4 Cálculo de pérdidas de energía debido a la fricción

El comportamiento de un fluido, en lo que a pérdidas de energía se refiere, depende de que el flujo sea Laminar o Turbulento. Por esta razón se necesita un medio para predecir el flujo sin necesidad de observarlo en realidad.

Se demuestra en forma experimental y de modo analítico, que el carácter de un fluido en un tubo redondo depende de 4 variables: la densidad del fluido (ρ), su viscosidad (cinemática o dinámica), el diámetro del tubo y su velocidad promedio.

Osborne Reynolds⁶ fue el primero en demostrar que es posible diagnosticar el flujo Laminar o Turbulento si se conoce la magnitud de un número adimensional que hoy se denomina número de Reynolds (N_R)⁷, que se define de la siguiente manera:

⁶ **Osborne Reynolds** (Irlanda del norte 1842- Inglaterra 1912), Ingeniero y físico, realizó aportes importantes a la aerodinámica y a la mecánica de fluidos, la más notable fue el número de Reynolds en 1883.

⁷ L. Mott Robert, Mecánica de fluidos (p.181) ec. (8-1), Número de Reynolds – Secciones circulares Séptima edición (2015)

$$N_R = \frac{vD}{\nu} \quad \text{Ec. (3.14)}$$

Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías, encontramos que, si el número de Reynolds par el flujo es menor que 2000, este será Laminar. Si el número de Reynolds es mayor que 4000, el flujo será Turbulento.

En el rango de número de Reynolds entre 2000 y 4000 es imposible identificar el tipo de fluido existente, por lo que se denomina **Región Crítica**. *L mott Robert , 6ta edicion (2006), Mecanica de fluidos, pag 230-231*

3.9.5 Conservación de la Energía, Ecuación de Bernoulli

Hay tres formas de energía que se consideran cuando se analiza un problema de flujo en tuberías (Mott, 2006):

Energía potencial (debido a su elevación), la energía potencial de un elemento de fluido con algún nivel de referencia es:

$$Ep = w \times z \quad \text{Ec. (3.15)}$$

Dónde: w es el **peso del elemento**.

Energía cinética (debido a su velocidad), la energía cinética de un elemento es:

$$EC = \frac{w \times v^2}{2g} \quad \text{Ec. (3.16)}$$

Energía de flujo, a veces llamada energía de presión o trabajo de flujo, representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de fluido a través de cierta sección contra la presión p . Esta se calcula de la siguiente manera:

$$EF = \frac{wp}{\gamma} \quad \text{Ec. (3.17)}$$

La fuerza sobre un elemento de fluido dentro de una tubería se expresa como pA , donde p es la presión en la sección y A es el área de esta. Al mover el elemento a través de la sección, la fuerza recorre una distancia L igual a la longitud del elemento, por tanto, el trabajo que realiza es:

$$T = p \times A \times L = pV$$

Donde V es el volumen del elemento. El peso w del elemento de fluido es:

$$w = \gamma \times V \quad \text{Ec. (3.18)}$$

Donde γ es el peso específico del fluido, el volumen del elemento es:

$$V = w / \gamma \quad \text{Ec. (3.19)}$$

Y se obtiene que Trabajo = $pV = pw / \gamma$ que se conoce como energía de flujo.

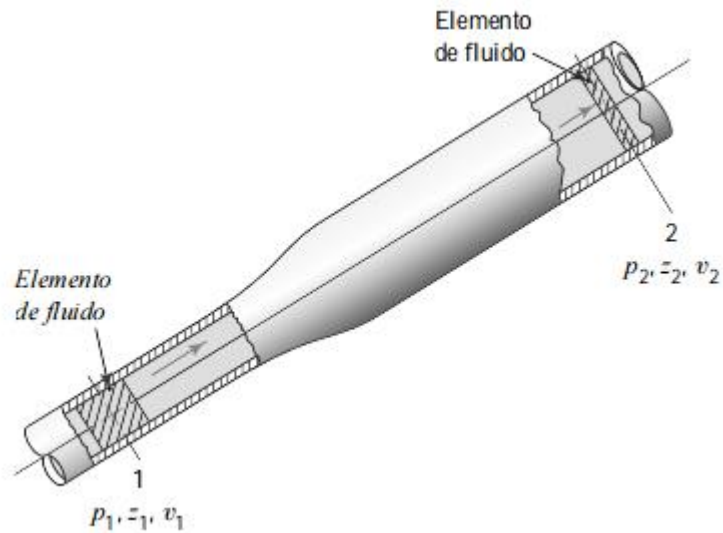
Entonces, la cantidad total de energía de estas tres formas que posee el elemento de fluido es la suma E :

$$E = EF + EP + EC$$

$$E = \frac{wp}{\gamma} + wZ + \frac{wv^2}{2g} \quad \text{Ec. (3.20)}$$

Cada término se expresa en unidades de energía, como el N/m (SI) o pie-lb en el sistema tradicional de EEUU.

Fig. 15 Elementos de fluido utilizados en la ecuación de Bernoulli



Fuente: L. Mott Robert. Mecánica de fluidos, (p.128), Séptima edición (2015)

Considerando el elemento de fluido que se mueve de la sección 1 a la 2, se podrá observar que los valores de p , v y z son diferentes en las dos secciones (figura 12). En la sección 1, la energía total es:

$$E_1 = \frac{wp}{\gamma} + wZ_1 + \frac{wv_1^2}{2g} \quad \text{Ec. (3.21)}$$

En la sección 2, la energía total es:

$$E_2 = \frac{wp}{\gamma} + wZ_2 + \frac{wv_2^2}{2g} \quad \text{Ec. (3.22)}$$

Si no hay energía que se agregue o pierda en el fluido entre las secciones 1 y 2, entonces el principio de conservación de la energía requiere que:

$$E_1 = E_2$$

$$\frac{w \times p_1}{\gamma} + wZ_1 + \frac{w \times v_1^2}{2 \times g} = \frac{w \times p_2}{\gamma} + wZ_2 + \frac{w \times v_2^2}{2 \times g} \quad \text{Ec. (3.23)}$$

El peso del elemento de fluido w es común a todos los términos, y se elimina al dividir entre el; entonces la ecuación se convierte en lo que se conoce como la **Ecuación de Bernoulli**:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ec. (3.23)}$$

“Cada término de la ecuación de Bernoulli es una forma de la energía que posee el fluido por unidad de peso de fluido que se mueve en el sistema”
(Mott, 2006).

3.9.6. Ecuación de Darcy

En la ecuación general de la energía:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ec. (3.24)}$$

El término h_A se define como la energía perdida/ mediante un dispositivo mecánico; una bomba, por ejemplo.

El término h_R se define como se define como la energía retirada desde el fluido mediante un dispositivo mecánico externo; una turbina, por ejemplo.

Al término h_L se le definió como la pérdida de energía del sistema; una componente de la pérdida de energía es la fricción en el fluido que circula.

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times L \times \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ec. (3.25)}$$

Para el caso del flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente. Esto se expresa como la **Ecuación de Darcy**:

donde:

h_L = pérdida de energía debido a la fricción (N-m/N, m, lb-pie/lb o pies)

L = longitud de la corriente del flujo (m o pies)

D = diámetro interno de la tubería (m o pies)

v = velocidad promedio del flujo (m/seg o pies/seg)

f = factor de fricción o rozamiento (adimensional)

El factor de rozamiento, f, tiene un valor de $64/R$, mientras la corriente laminar prevalezca en toda la sección. Esta condición se satisface si el número de Reynolds $R = \rho v D / \mu$ se conserva inferior a 2000. (Marks, 1960, pág. 263)

3.9.7. Pérdidas por accesorios

Cada válvula, tee, codo, reductor y agrandamiento ocasiona que se pierda energía del fluido. Además, mientras el fluido pasa por tramos rectos de tubo, se pierde energía debido a la fricción.

En un sistema de distribución de un fluido industrial, por ejemplo, podemos suponer; si el fluido entra por la izquierda, del cual la línea de alimentación lo extrae de un tanque de almacenamiento, la bomba agregará energía al fluido y

hará que este pase por la línea de conducción y luego al resto de tuberías del sistema. Suponga un reductor gradual entre la línea de succión y la entrada de la bomba, y un ensanchamiento gradual a la salida. Estos accesorios son necesarios en la línea de tubería debido a los diferentes diámetros de tubería que proporcionan los diferentes fabricantes de estas. Luego de esto el fluido puede circular a través de accesorios como tees, válvulas, que se usa para detener el flujo en la línea.

Es común que los elementos que controlan la dirección o el flujo volumétrico del flujo de un sistema generen turbulencia local en este, ocasionando que haya disipación de energía en forma de calor. En un sistema grande la magnitud de las pérdidas por las válvulas y accesorios generalmente es pequeña en comparación con las perdidas por fricción en tuberías, y reciben el nombre de pérdidas menores.

La magnitud de las pérdidas de energía que producen las válvulas y accesorios es directamente proporcional a la carga de velocidad del fluido. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$h_L = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad \text{Ec. (3.26)}$$

El término K es el coeficiente de resistencia, el cual se determina por medio de la ecuación de Darcy. Generalmente el valor de K, (que difiere según el tipo de accesorio a determinar) procede datos experimentales.

El procedimiento de cálculo de las pérdidas de energía causadas por válvulas u otros accesorios por medio de la ecuación

$$K = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_T \quad \text{Ec. (3.27)}$$

Donde:

f_T : es el factor de fricción

L_e / D : relación de longitud equivalente

1. En tabla encontrar el valor de L_e / D para el accesorio
2. Si la tubería es acero, nueva y limpia: encontrar valor de f_T
 - 2.1 Para otros materiales: determinar rugosidad del tubo ϵ ; calcular D/ϵ . Se emplea el diagrama de Moody para determinar f_T en la zona de turbulencia total.
3. Calcular $K = (L_e / D) f_T$
4. Calcular $h_L = K (v_p^2 / 2g)$, donde v_p es la velocidad en el tubo.

IV. DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Métodos de investigación

El proyecto se desarrollará en el área de industria alimenticia nacional, específicamente en el área de elaboración de embutidos en INDUSTRIAS DELMOR.

Para realizar el proyecto se hará uso de la **investigación cuantitativa**, ya que, con la propuesta, se busca resolver el problema de la deficiencia de suministro de agua en el área de elaboración de embutidos; para lo cual se hará uso de la observación y la entrevista como técnicas de investigación, y junto con la recopilación de datos realizados en el departamento de mantenimiento industrial podremos plantear las mejores opciones para la resolución a esta dificultad que afecta en gran medida tanto los volúmenes de producción como limpieza del área en general, se presentará la propuesta de diseño de un sistema de bombeo de agua potable a esta área el cual incluirá el cálculo y selección del sistema hidroneumático.

4.2 Diseño de sistemas de Bombeo hidroneumático de agua potable.

Se empezará con la concepción del diseño, proponiendo el volumen del tanque de alimentación, el material de fabricación de tuberías (succión y descarga), y la potencia necesaria del sistema hidroneumático, para que satisfaga la necesidad actual.

Una vez verificado el espacio disponible en el cual pueda instalarse el sistema de bombeo, se procede a la elaboración del diagrama de instalación del sistema, que incluye longitud y diámetros de tubería (succión y descarga), distancia de tubería desde el sistema hasta su conexión a la tubería principal, accesorios a utilizar para las conexiones, cálculo de pérdidas por fricción en tuberías para la selección de la potencia del equipo.

Cabe señalar que, según el responsable de mantenimiento, el sistema eléctrico para el funcionamiento del equipo (alimentación e instalación de panel) será realizado por personal de mantenimiento industrial de la empresa DELMOR S:A, en caso de ser aplicada la propuesta.

Para efectuar el diseño de un sistema de bombeo, es necesario realizar cálculos de pérdidas en tuberías, tanto desde el tanque de reserva hasta el sistema hidroneumático, el cual consta de un tramo corto, pero con una cantidad considerable de accesorios entre ambos, y luego las pérdidas por tubería y accesorios desde la salida del sistema hidroneumático hasta el punto donde se alimentará el agua a presión.

Para la correcta selección del sistema hidroneumático nos apoyaremos en datos registrados del periodo 2021 al 2022, con lo cual podremos hacer una estimación del caudal que se requiere alimentar por minuto, y en base a eso hacer una adecuada selección.

Ya que, si la selección no es la correcta y la potencia de la bomba instalada es menor a la requerida, provocará que esta trabaje por un tiempo más prolongado para poder desplazar el volumen de agua que se necesita lo cual a su vez provocará un recalentamiento en su bobinado debido al esfuerzo continuo que debe realizar, hasta llegar al punto de dañarse.

Para la realización de este trabajo se recabará la teoría sobre el tema, desde principios de mecánica de fluidos, sistemas hidroneumáticos, selección de sistemas hidroneumáticos, hasta el diseño de redes hidráulicas y se concentrarán los criterios más importantes y útiles dentro del marco teórico de esta tesis. Para el diseño de las trayectorias de tubería se tomará en cuenta las dimensiones de la fuente, el espacio y ubicación del centro de control, todo esto con el propósito de que la diferencia de caída de presión en los ramales de tuberías sea mínima. Las pérdidas tanto en tuberías como en accesorios son determinantes para el diseño de tuberías, pero previamente se necesita haber calculado los parámetros

de flujo como el caudal, la velocidad y la presión del fluido, que además también son importantes para determinar las dimensiones de la tubería. La adecuada selección y cálculo de la potencia de una bomba nos ayuda en el buen funcionamiento de los tanques hidroneumáticos, de tal manera que el tiempo de llenado de volumen útil de los tanques es corto y el número de arranques de la bomba se reduce, además es capaz de proporcionar el caudal demandado por la red y de sostener la presión requerida para las salidas de agua.

4.3 DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLÓGICO

El consumo total de agua por turno es de 210 m³ por cada 10 horas de trabajo en el área de producción, basados en este dato realizaremos los cálculos correspondientes para obtener diámetros de tuberías y potencia de la bomba a utilizar por el sistema hidroneumático.

a. Consumo de agua

Jornada de producción (10hrs)

$$Q = 21m^3/h \approx 0.00583m^3/s$$

b. Cálculo del diámetro de las tuberías.

Para la elección del diámetro de la succión y descarga de la tubería haremos uso de la tabla de la figura 6.3 (Mott. 2015)⁸ **ver en Anexos Tablas:**

De esto obtenemos:

$$\phi_{succion.} = 2" \approx 50mm$$

$$\phi_{descarga} = 1\frac{1}{2}" \approx 38mm$$

⁸ L. Mott Robert. Mecánica de fluidos, Sexta edición (2006), (p.163) figura 6.3.

c. Cálculo de velocidad del flujo.

Para este cálculo nos auxiliaremos de la “tabla de velocidad de flujo recomendada en tuberías y tubos.”⁹

Tabla. 3 Velocidad de Flujo recomendadas en tuberías y tubos.

Rapidez del flujo de volumen		Línea de succión			Línea de descarga		
		Tamaño de la tubería (in)	Velocidad		Tamaño de la tubería (in)	Velocidad	
gal/min	m ³ /h		ft/s	m/s		ft/s	m/s
10	2.3	1	3.7	1.1	¾	6.0	1.8
100	22.7	2½	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114	5	8.0	2.4	3½	16.2	4.9
2000	454	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

Interpolando los datos de tabla, obtenemos los valores de velocidad a la entrada y la salida para nuestro caudal de trabajo.

Tabla. 4 Interpolación de datos tabla 3 pág.37 de este documento.

Flujo volumétrico (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	
	Succión	Descarga
2.3	1.1	1.8
21	1.92	2.8
22.7	2	2.9

⁹ L. Mott Robert. Mecánica de fluidos, (p.120), Séptima edición (2015)

d. **Cálculo del área de la tubería**

Succión

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.00583m^3/s}{1.92m/s}$$

$$A = 0.00303m^2$$

Descarga

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.00583m^3/s}{2.80m/s}$$

$$A = 0.00208m^2$$

Se utilizará tubería galvanizada cedula 40. según la tabla de *Propiedades del agua*¹⁰. **Ver en Anexos Tablas.**

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$T = 20^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 9790 \frac{N}{m^3} \approx 998.3 \frac{kg}{m^3}$$

$$\nu = 1.02 \times 10^{-6} m^2/s$$

¹⁰ L. Mott Robert. Mecánica de fluidos, (p.488), Apéndice A, Tabla A.1, Séptima edición (2015)

Coeficiente de rugosidad relativa para hierro galvanizado cedula 40, según la Tabla 8.2 del Mott (2015). **Ver Anexos Tabla.**

$$\varepsilon = 1.5 \times 10^{-4}$$

e. Cálculo de numero de Reynolds

Descarga

$$Re = \frac{V \times D}{\nu}$$
$$Re = \frac{(2.80m/s) \times (0.038m)}{1.02 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 104.1050 \times 10^3 \approx 1.04105 \times 10^5$$

Succión

$$Re = \frac{V \times D}{\nu}$$
$$Re = \frac{(1.92m/s) \times (0.05m)}{1.02 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 94.117 \times 10^3$$

El número de Reynolds obtenido es mayor a 4000, indicando que el flujo es turbulento.

f. Rugosidad Relativa

Teniendo en cuenta el número de Reynolds en la descarga, succión y la rugosidad relativa del diagrama de Moody (Mott, 7ma edición p.186 figura 8.7) se obtiene el *factor de fricción*. **Ver Anexos Tabla.**

Descarga:

$$D / \varepsilon = \frac{0.038}{1.5 \times 10^{-4}}$$

$$D / \varepsilon = 253.33$$

$$f = 0.028$$

Succión:

$$D / \varepsilon = \frac{0.050}{1.5 \times 10^{-4}}$$

$$D / \varepsilon = 333.3$$

$$f = 0.027$$

Ecuación de la energía teorema de Bernoulli:

$$H = z + \frac{\rho}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

g. Pérdidas por fricción

$$h_f = f \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} ; f = 0.028$$

$$h_f = 0.028 \times \frac{26m}{0.038m} \times \frac{(2.8m/s)^2}{2(9.81m/s^2)}$$

$$h_f = 7.655 m$$

Ecuación de Bernoulli generalizada.

$$\frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_B = \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H_T$$

h. Cálculo de pérdidas totales.

$$H_{T1\frac{1}{2}''} \begin{matrix} \nearrow h_f \\ \searrow h_L \end{matrix}$$

$$H_{f2''} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$H_{f2''} = 0.027 \times \frac{0.5m}{0.05m} \times \frac{(1.92m/s)^2}{2(9.81m/s^2)}$$

$$H_{f2''} = 0.051 m$$

i. Cálculo de pérdidas locales.

Para el cálculo del coeficiente de pérdidas de energía (k) en accesorios y tuberías utilizaremos la tabla A-24, página A-46 del manual CRANE (2009) de coeficiente (k) para cada tipo de accesorio o tubería.¹¹ **Ver en Tabla Anexos**

Válvula de retención.

$K=100ft$

De tabla A-24, página A-46 obtenemos que F_T :

F_T , para 2" =0.019,

Entonces

$$K = 100 \times 0.019$$

$$K = 1.9$$

Codo estándar de 90°

$K_{c90^\circ} =30ft$

De tabla A-24, página A-46 obtenemos que F_T :

F_T , para 2" =0.019,

Entonces

$$K = 30 \times 0.019$$

$$K = 0.57$$

¹¹ CRANE Co. (2009). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Unidades en los Sistemas Inglés e Internacional (p.A-46) Tabla A-24, Mc Graw Hill. Traducción VALFISA, S.A

Entrada de borde vivo.

De tabla de coeficiente de pérdidas en entradas y salidas obtenemos.

$$K=0.45$$

Codo estándar de 90°

$$K_{c90^\circ} = 30\text{ft}; F_T=0.019$$

$$K=0.57$$

Codo estándar de 90°

$$K_{c90^\circ} = 30\text{ft}; F_T=0.020$$

$$K=0.60$$

Codo estándar de 90°

$$K_{c90^\circ} = 30\text{ft}; F_T=0.020$$

$$K=0.60$$

Se desprecian las pérdidas por uniones de la tubería.

Perdidas locales

Perdidas locales	R.
Entrada canto vivo	0.45
Válvula de retención	1.9
Codo 90°	0.57
Codo 90°	0.57
Codo 90°	0.60
Codo 90°	0.60
Total:	$\sum K = 4.69$

j. **Cálculo de pérdidas por longitud.**

$$h_L = \sum k \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = (4.69) \times \frac{(2.8\text{m/s})^2}{2(9.81\text{m/s}^2)}$$

$$h_L = 1.876 \text{ m}$$

k. Cálculo de potencia de la bomba.

Ecuación de Bernoulli generalizada.

$$\frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + H_B = \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + H_T$$

z_1 = altura del tanque o depósito de agua.

$$z_1 = 4.5\text{m}$$

z_2 = altura máxima a vencer por la bomba.

$$z_2 = 7\text{m}$$

Operando.

$$H_B = \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_T$$

$$H_B = \frac{(1.92\text{m/s})^2}{2(9.8\text{m/s}^2)} + 4.5\text{m} + \frac{(2.8\text{m/s})^2}{2(9.8\text{m/s}^2)} + 7\text{m} + 0.07138 + 4.69$$

$$H_B = 0.187\text{m} + 4.5\text{m} + 0.399\text{m} + 7\text{m} + 0.07138 + 4.69$$

$$H_B = 16.84\text{m} \approx 17\text{m}$$

I. Potencia de la bomba.

$$\omega = 9790 \frac{N}{m^3} \times 0.00583 \frac{m^3}{s} \times 17m$$

$$\omega = 970.2869 \frac{N}{m} \approx 1.30hp$$

Obtenemos que la potencia requerida de la bomba es de 1.30 caballos de potencia (hp)

Potencia aplicada por la bomba al liquido

$$P_A = 970.28W \approx 1.3hp$$

m. Potencia requerida por conjunto de bomba y motor

La potencia para sistemas hidroneumáticos se puede calcular con la siguiente formula

$$HP = \frac{Q(lts) \times H(mts)}{76 \times (\eta)}$$

$$HP = \frac{0.00583 \frac{m^3}{s} \times (17mts)}{76 \times (0.6)}$$

$$HP = \frac{5.83 \times (17)}{76 \times (0.6)}$$

$$HP = \frac{99.11}{45.6}$$

$$HP = 2.173hp$$

La potencia requerida por el motor eléctrico para hacer funcionar la bomba es de 2.173 hp

Donde:

HP: potencia de la bomba en caballos de fuerza.

Q: caudal en litros por segundo que la bomba debe impulsar.

H: carga total de la bomba, altura geométrica y pérdidas por fricción o carga dinámica total.

η : eficiencia de la bomba aproximadamente en 60% según la teoría.

n. Selección de la bomba por medio de las curvas características.

En la práctica, la selección de las bombas es muy fácil, si conocemos el caudal requerido y la carga total de bomba, podemos iniciar la búsqueda por medio de las gráficas que contienen las curvas que caracterizan a cada bomba hidráulica, donde tenemos que cuidar la eficiencia, la cual debe de mostrarse dentro de las gráficas, de esta forma encontraremos la potencia necesaria para nuestra bomba. Pope (2000) señala que: “La potencia necesaria para operar una bomba depende de dos propósitos: el primero, sobrepasar todas las pérdidas en los circuitos de flujo relacionados; segundo: suministrar energía al fluido para la tarea específica” (p. 98).

De este modo, podemos realizar nuestra selección si: nuestro caudal requerido $Q=21 \text{ m}^3/\text{h}$ y nuestra Carga Total 17 m, observemos la figura 16 del fabricante, donde nos muestra el valor real de la potencia requerida.

Usando las tablas del sitio web del fabricante obtenemos lo siguiente:

Datos de la bomba:

Marca: FRANKLIN ELECTRIC

Serie: Turf Boss

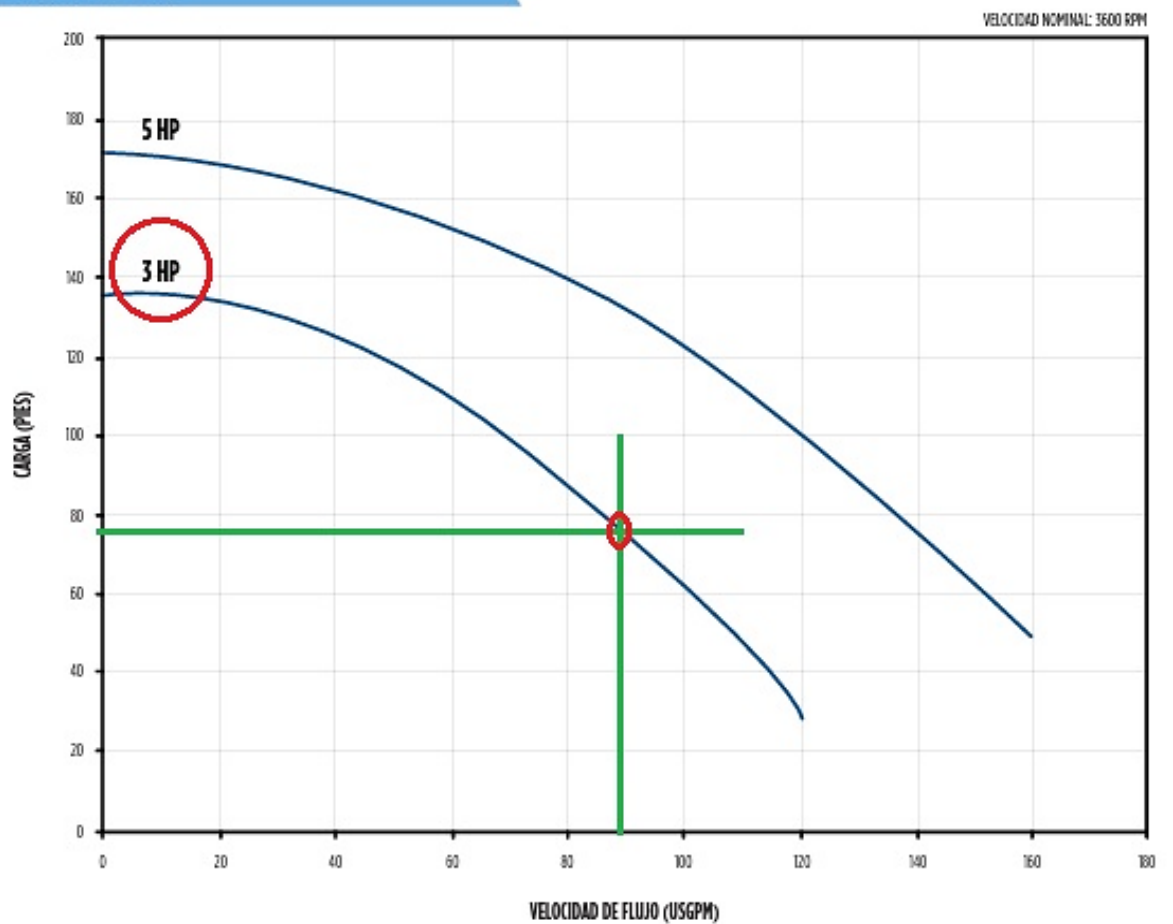
No de parte: 92980035

Modelo: FTB3CI-3 HP
Potencia: 2750 watts
Voltaje entrado: 460 V trifásico.

Fig. 16 Curva característica para la selección de la Potencia de la bomba.¹²

BOMBAS DE IRRIGACIÓN AUTOCEBANTES - TURF BOSS

RENDIMIENTO: 3-5 HP



¹² Fuente: Franklin electric,
https://franklinagua.com/media/125340/lmx02071_catalogo_residencial_superficie.pdf

En el eje de las abscisas podemos observar el caudal que está entre 80 y 100 GPM (21 m³/h), y en el eje de las ordenadas la carga de la bomba que está entre 60 y 80 pies (17 metros). Observemos que nuestra bomba se encuentra dentro de esos rangos de operación, por tanto, la potencia necesaria será de **3 hp**

Potencia y eficiencia

La potencia se define como la rapidez con la que se realiza un trabajo, en mecánica de fluidos podemos decir que es la rapidez con la que la energía está siendo transferida esa es igual a la carga dinámica total se puede expresar en W o hp.

o. Dimensionamiento del tanque hidroneumático

Este diseño se ejecuta tomando en cuenta el cálculo del caudal de bombeo (Qb) los ciclos de uso (U) y las presiones de operación.

Ciclos de bombeo.

T_c = tiempo entre 2 arranques consecutivos

U= ciclos de encendido de la bomba por hora

$$T_c = \frac{3600seg}{U}$$

$$T_c = \frac{3600seg}{6} = 600seg$$

$$T_c = 600seg$$

Volumen útil de tanque hidroneumático

$$V_u = \frac{T_c \times Q}{U}$$

$$V_u = \frac{600 \times 5.83 \frac{lbs}{s}}{6}$$

$$V_u = 583lbs$$

Porcentaje del volumen utilizado en el tanque hidroneumático

Presión según demanda es de 70 psi tomando en cuenta la literatura la presión máxima debe sobrepasar en 20 psi la presión máxima y la mínima a criterio del diseñador, proponemos sea 40 psi para mantener un rango estable y seguro en las presiones de operación.

p_{min} . 40 psi.

p_{max} . 90 psi.

$$\%V_u = \frac{90 \times (P_{max} - P_{min})}{P_{max}}$$

$$\%V_u = \frac{90 \times (90 \text{ psi} - 40 \text{ psi})}{90 \text{ psi}}$$

$$\%V_u = \frac{90 \times (50)}{90}$$

$$\%V_u = 50$$

$$V_u = 50\%$$

Por consiguiente, calculamos el volumen total del tanque presurizado.

$$V_T = \frac{V_u}{\frac{\%V_u}{100}}$$

$$V_T = \frac{583 L}{\frac{50}{100}}$$

$$V_T = \frac{583 L}{0.5}$$

$$V_T = 1,166 L$$

Nota: El volumen del tanque hidroneumático o a utilizar es de **1,166 litros**.

Con estos criterios calculados podemos proceder a seleccionar la bomba y el tanque presurizado más acorde a los datos arrojados, a continuación, las propuestas pertinentes.

V. CONCLUSIONES

Una vez realizado el diseño del sistema de bombeo hidroneumático para la limpieza a equipos con agua potable en el área de elaboración de embutidos en Industrias Delmor S.A obtenemos las siguientes conclusiones:

✓ Mediante el estudio realizado para el diseño del sistema hidroneumático se seleccionaron los siguientes elementos principales:

1. Una bomba de 3Hp de potencia / 430 v trifásico.
2. Un tanque hidroneumático con una capacidad de 1,500 L / 232 psi.
3. Un tanque de almacenamiento de agua de 20,000 L.
4. Tubería galvanizada cédula 40 y accesorios de 2" para la succión y 1 ½" para la descarga.

✓ Debido a la transferencia del fluido (agua) se seleccionó el material galvanizado para el sistema de tuberías y sus accesorios, para la cuantificación de las pérdidas de carga por fricción se utilizó la ecuación de Darcy – Weisbach, la ecuación de Reynolds para determinar el tipo de flujo y el principio de Bernoulli, obteniendo una pérdida total de 17 m.

✓ De acuerdo a los registros facilitados durante la visita de campo, la demanda de consumo de agua es de 21 m³/h, para mantener una presión uniforme y estable de 90 Psi, suministrada por el tanque hidroneumático

VI. RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta los parámetros físicos e hidráulicos del diseño sistema hidroneumático implementado en presente trabajo, en particular, para la correcta selección de una bomba acorde a lo requerido.
- Verificar la Instalación correcta en base al diseño del sistema propuesto en este trabajo, seleccionado los componentes adecuados para el sistema de bombeo hidroneumático, es importante instalarlos correctamente. Esto incluye la instalación de la bomba, el tanque y las tuberías, así como la configuración del sistema para proporcionar la presión adecuada y evitar el funcionamiento en seco.
- Realizar un mantenimiento preventivo regular, para asegurar que el sistema de bombeo hidroneumático funcione de manera eficiente y efectiva, esto puede incluir la limpieza y el reemplazo de filtros, la revisión de la bomba y el tanque, y la reparación de cualquier problema que pueda surgir. Ya sea por el departamento de mantenimiento industrial con conocimientos en el tema o de un proveedor externo.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos (6ta ed.), México, México: PEARSONS EDUCACION, Inc. / PRENTICE HALL, INC.

Mott, R. L. (2015). Mecánica de fluidos (7ma. ed.), México, México: PEARSONS EDUCACION, Inc. / PRENTICE HALL, INC.

Marks, L. S. (1960). Manual del Ingeniero Mecánico de Marks. México D.F.: UTEHA (Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana). Pfleiderer, ". K. (1960). *Manual del Ingeniero Mecánico de Marks; Fluids Mechanics.*

Pope, J. (2000). Soluciones prácticas para el ingeniero mecánico. México, Mc Graw Hill.

CRANE Co. (2009). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Unidades en los Sistemas Inglés e Internacional, Mc Graw Hill. Traducción VALFISA, S.A

VIII. REFERENCIAS DE PAGINAS WEB.

J. W. J. de Wekker V, (2004), SISTEMAS DE BOMBEO Características y Dimensionamiento.
https://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/sistema_hidroneumatico.pdf

DISIN S.A DISEÑOS Y CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, (2009), Equipos hidroneumáticos o de presión constante.
<https://www.disin.com/equipos-hidroneumaticos-o-de-presion-constante/>

SABANTINI Bombas & Mecanizados, TANQUES HIDRONEUMATICOS
https://www.academia.edu/31680419/TANQUES_HIDRONEUMATICOS.pdf

José Luis R. (2022), <https://como-funciona.co/una-bomba-centrifuga/>

HIDRASERVICE,
<https://hidraservice.cl/productos/riego-agricola/valvulas/vavulas-laton/valvula-de-retencion-horizontal/>

GENEBRE GROUP, Válvula esfera.
<https://www.genebre.biz/valvula-esfera-serie-ligera>

Interruptores de Presión.
https://misenatives.files.wordpress.com/2018/03/funcionamiento_y_reglaje_de_los_preostatos.pdf

Hidrostal, BOMBAS CENTRIFUGAS (mayo 2011).
https://es.slideshare.net/mecanicadefluidos/bombas-centrifugas-7934169?from_action=save

Domingo. Agustín Marín (2011), Apuntes de mecánica de fluidos.
<https://oa.upm.es/6531/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>

Franklin electric,
https://franklinagua.com/media/125340/lmx02071_catalogo_residencial_superficies.pdf

IX. CRONOGRAMA DE EJECUCION

Actividades	14/01/2023	21/01/2023	28/01/2023	04/02/2023	11/02/2023	18/02/2023	25/02/2023	04/03/2023
Elaboración de: Tema a investigar y objetivos	✓							
Aprobación del tema por el decano		✓						
Diseño metodológico			✓					
Desarrollo del diseño metodológico				✓				
Aplicación de instrumentos, prueba de laboratorios					✓			
Procesamiento y análisis de la información						✓		
Conclusiones, recomendaciones y anexos							✓	
Presentación de Monografía								✓

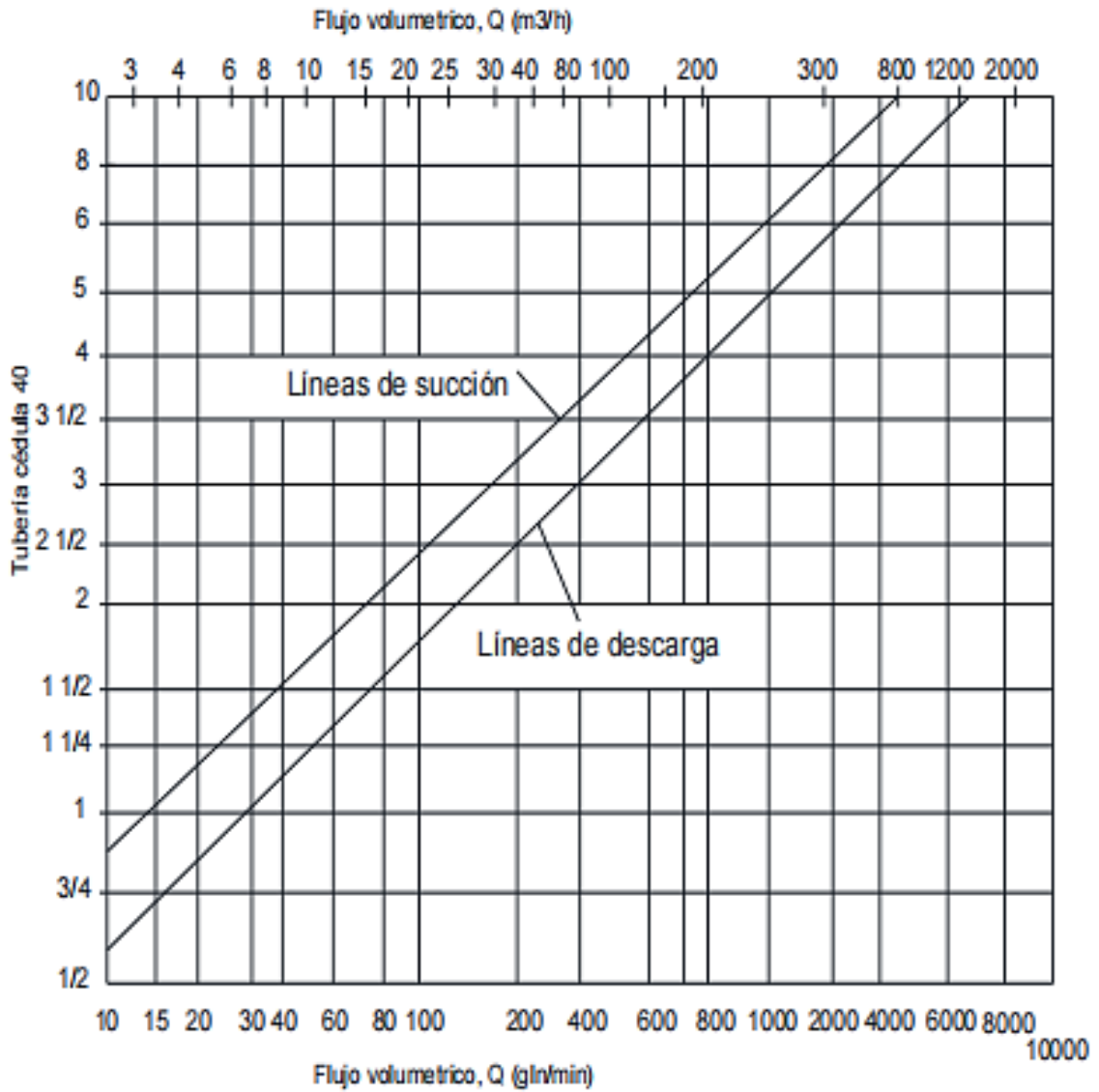
X. ANEXOS

10.1 ANEXOS DE FIGURAS

- Figura 1.** Diseño de un sistema de bombeo tanque a tanque (pág. 6)
- Figura 2.** Sistemas de Bombeo Hidroneumáticos. (pág. 7)
- Figura 3.** Principio de funcionamiento de un sistema hidroneumático. (pág. 9)
- Figura 4.** Tanque presurizado precargado. (pág. 10)
- Figura 5.** Bomba centrífuga. (pág. 11)
- Figura 6.** Válvula de retención o válvula check. (pág. 11)
- Figura 7.** Válvula de paso. (pág. 11)
- Figura 8.** Manómetro. (pág. 12)
- Figura 9.** Interruptores de presión o presostato mecánico. (pág. 12)
- Figura 10.** Tablero de potencia y control de motores. (pág. 12)
- Figura 11.** Tubo de corriente utilizado para la obtención de la ecuación de continuidad en forma integral. (pág. 22)
- Figura 12.** Fluido viscoso en una tubería, el resultado de esto es que la presión disminuye a lo largo del flujo en un fluido real. (pág. 24)
- Figura 13.** Porción de un sistema de distribución de fluidos que muestra variaciones en la velocidad, la presión y la elevación. (pág. 25)
- Figura 14.** Régimen Laminar y Turbulento. (pág. 27)
- Figura 15.** Elementos de fluido utilizados en la ecuación de Bernoulli. (pág. 29).
- Figura 16.** Curva característica para la selección de la Potencia de la bomba. (pág.49)

10.2 ANEXOS TABLAS

p. Ayuda para seleccionar el tamaño de la tubería



Fuente: L. Mott Robert. Mecánica de fluidos, Sexta edición (2006), (p.163) figura 6.3.

q. Tabla Propiedades del agua

TABLA A.1 Unidades del SI [101 kPa (abs)]

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	5.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Fuente: L. Mott Robert. Mecánica de fluidos, Séptima edición (2015), (p.488), Apéndice A, Tabla A.1,

r. Coeficiente de rugosidad relativa.

TABLA 8.2 Rugosidad de la tubería —valores de diseño

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo estirado; cobre, latón, acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil —revestido	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil —sin revestir	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien hecho	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: L. Mott Robert. Mecánica de fluidos, Séptima edición (2015), (p.185)

s. Tabla Factor de fricción.

FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS, DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA

Diámetro Nominal	mm	15	20	25	32	40	50	65, 80	100	125	150	200,250	300,400	450-600
	pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½, 3	4	5	6	8: 10	12-16	18-24
Factor de fricción (f_f)		.027	.025	.023	.022	.021	.019	.018	.017	.016	.015	.014	.013	.012

CRANE Co. (2009). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Unidades en los Sistemas Inglés e Internacional (p.A-46) Tabla A-24, Mc Graw Hill. Traducción VALFISA, S.A

u. Diagrama de Moody

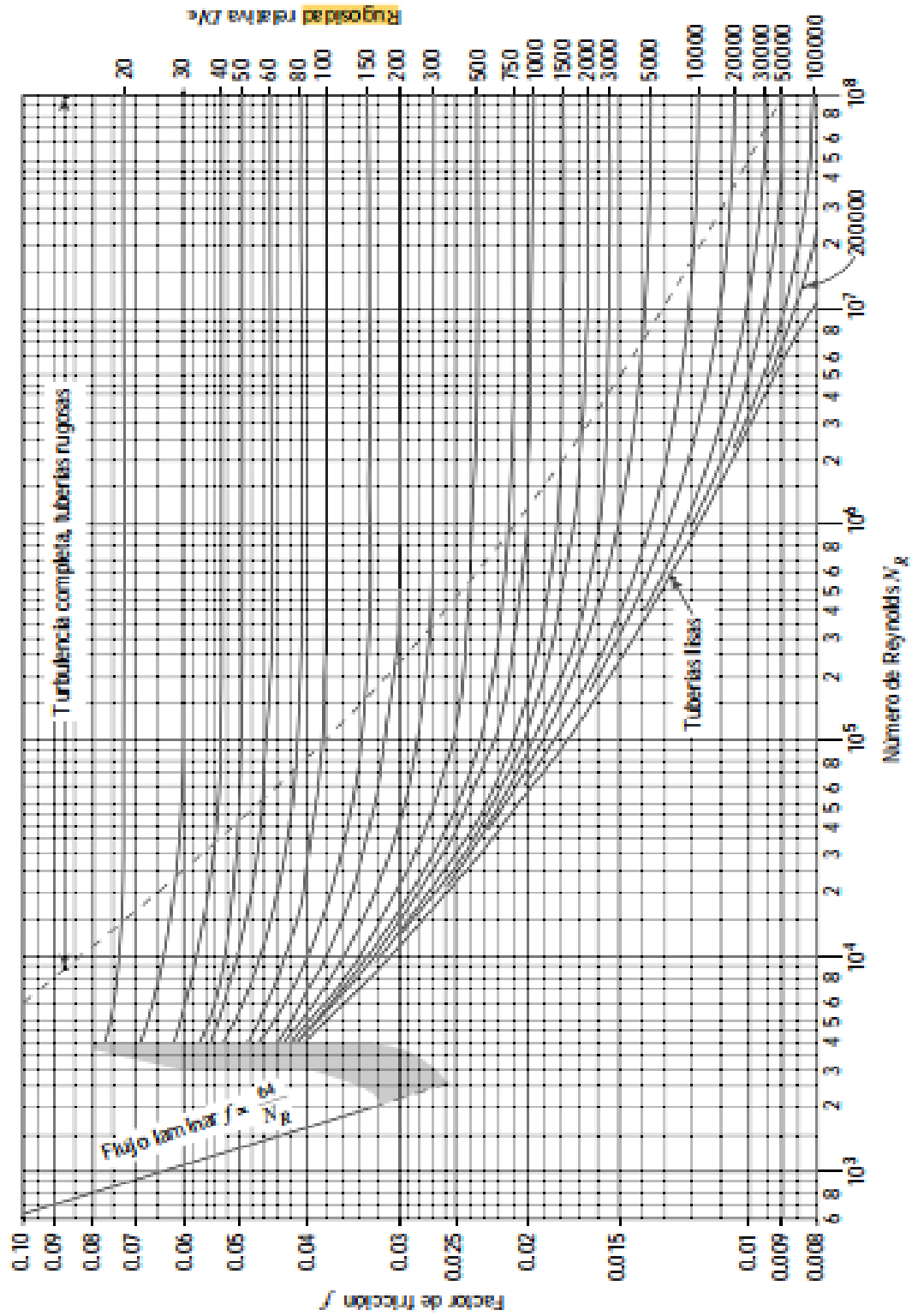


Figura 8.7 Diagrama de Moody. Fuente: Fox, R. H., E. Roldi Méndez, p. 284. Derechos reservados ©, 1961. Reproducido con autorización del autor.

Fuente: L. Mott Robert. Mecánica de fluidos, Séptima edición (2015), (p.186),

ESQUEMA BODEGA GENERAL

