



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES

**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TÍTULO:**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MINI BOMBA  
NEUMÁTICA PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA, DESTINADA AL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA CARRERA DE  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE LOJA.

1859

TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR  
POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTROMECAÁNICO

AUTOR:

Álvaro Alonso Yaguana Apolo

DIRECTOR:

Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta, Mg. Sc.

LOJA-ECUADOR

2019

**CERTIFICACIÓN:**

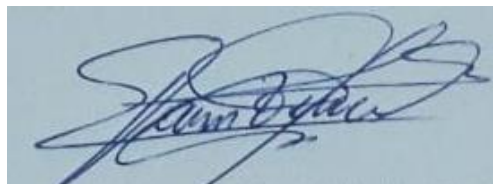
Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS.**

**CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MINI BOMBA NEUMÁTICA PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA, DESTINADA AL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**”, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado: Álvaro Alonso Yaguana Apolo, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 29 de septiembre del 2019

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature is cursive and appears to read 'Darwin Tapia Peralta'.

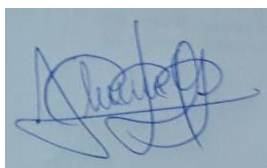
Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

## **AUTORÍA:**

Yo, **ÁLVARO ALONSO YAGUANA APOLO**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional- Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula:** 1104978612

**Fecha:** 16/12/2019

## **CARTA DE AUTORIZACIÓN:**

### **CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

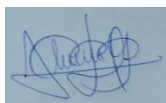
Yo, **ÁLVARO ALONSO YAGUANA APOLO**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MINI BOMBA NEUMÁTICA PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA, DESTINADA AL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”**, como requisito para optar al grado de **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los dieciséis días del mes de diciembre del dos mil diecinueve.

**Firma:**



**Autor:** Álvaro Alonso Yaguana Apolo

**Cédula:** 1104978612

**Dirección:** Loja Parroquia Vilcabamba

**Correo electrónico personal:** aayaguanaa@gmail.com

**Correo electrónico institucional:** aayaguanaa@unl.edu.ec

**Celular:** 0983478326

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de tesis:** Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta, Mg. Sc.

**Tribunal de grado:** Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg. Sc.

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.

Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, Mg. Sc.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado con profundo amor a mis padres y hermano, Homero, Amada y Jimmy, que son mi principal fortaleza, que supieron apoyarme moralmente y que estuvieron presentes en los momentos más difíciles, y quienes a lo largo de mi vida me han brindado apoyo, cariño y han velado por mi bienestar y educación.

A mi esposa gracias a su apoyo y comprensión me ha permitido llegar a esta meta, a mi hijo que es el ser más maravillosos que la vida me ha dado la cual ha sido mi inspiración y mis ganas de seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Primero agradezco a Dios, por ser mi guía y mi camino en mi vida. A la universidad Nacional de Loja, ya que recibí el conocimiento para conseguir la culminación del proyecto investigativo.

A mi tutor y mentor de la Tesis Ing. Darwin Tapia Ms. Sc. Por sus consejos, amistad y asesoría, al Ing. Byron Solórzano Ms. Sc. Que siempre ha sido un apoyo categórico para el desarrollo de mi presente trabajo de investigación guiándome con sus conocimientos y enseñanzas, siendo un ejemplo a seguir como docente universitario, y sobre todo su invaluable persona como padre y amigo.

Gracias a todos mis amigos, compañeros los cuales compartimos momentos inolvidables y a todas las personas que han confiado en mí para poder cumplir con esta meta.

¡Gracias Totales a Todos!

## TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN:	I
AUTORÍA:	II
CARTA DE AUTORIZACIÓN:	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
SIMBOLOGÍA	VIII
1. TÍTULO	1
2. RESUMEN	2
3. INTRODUCCIÓN	5
Objetivos específicos	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1. DIMENSIONAMIENTO, ANÁLISIS, PARÁMETROS OPERACIONALES Y COMPONENTES DE LA BOMBA NEUMÁTICA.	7
4.1.1. Bombeo	7
4.1.2. Bombeo mediante aire comprimido	10
4.1.3. Bomba Neumática	18
4.2. FUNDAMENTACIÓN DE MAQUINAS DE FLUIDOS.	29
4.2.1. Velocidades de flujo recomendable en tuberías y ductos.	29
4.2.2. Definición de caudal.	30
4.2.3. Definición de presión	30
4.2.4. Ecuación de Bernouilli	31
4.2.5. Pérdidas Primarias y secundarias en las tuberías	32
4.3. FUNDAMENTACIÓN DE DISEÑO MECÁNICO	33
4.3.1. Cilindros de pared delgada	33
4.4. FUNDAMENTACIÓN DEL CONTROL SEMIAUTOMÁTICO	33
4.4.1. Sensores	33
4.4.2. Electroválvulas	35
4.4.3. Selector	35
4.4.4. Relés	36
5. MATERIALES Y MÉTODOS	37
5.1. MATERIALES	37
5.2. MÉTODOS	38
5.3. Descripción del sistema de bombeo propuesto.	39
5.4. Propuesta de diseño	40

6.	RESULTADOS .....	45
6.1.	Diseño del Sistema de Bombeo.....	45
6.1.1.	Diseño y selección de componentes.....	45
6.1.2.	Tiempo de descarga de la bomba. ....	58
6.1.3.	Tiempo de recuperación en la cámara.....	58
6.2.	Descripción del Sistema Semiautomático para el Accionamiento de la Bomba Neumática. ....	62
6.2.1.	Diagramas eléctricos del sistema de bombeo semiautomático a controlar .....	68
6.3.	Fase constructiva.....	70
6.4.	Validación funcional del sistema propuesto.....	79
6.4.1.	Cálculo del rendimiento del sistema basado en las pruebas de evaluación.....	82
6.4.2.	Cálculo del rendimiento total del sistema .....	83
6.4.3.	Consumo de energía en las horas de servicio que presta este sistema de bombeo comparados con una bomba tradicional .....	86
6.4.4.	Guía de usuario para el funcionamiento del prototipo. ....	87
6.5.	Propuesta de prácticas para el laboratorio.....	87
6.5.1.	Caracterizar la bomba bajo condiciones de nivel de agua de reserva constante. 87	
6.5.2.	Caracterizar la bomba bajo condiciones de nivel de agua de reserva variable.... 87	
6.5.3.	Obtener el rendimiento de la bomba. ....	88
7.	DISCUSIÓN .....	89
8.	CONCLUSIONES .....	91
9.	RECOMENDACIONES .....	93
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	94
11.	ANEXOS.....	97



## SIMBOLOGÍA

- $T_{amb}$ : Temperatura ambiente del sector
- $\rho_{H2O}$ : Densidad del agua a 17°C
- $\eta_{H2O}$ : Viscosidad dinámica del agua a 17°C
- $\gamma_{H2O}$ : Peso específico del agua a 17°C
- $v_{f\_recomendada}$ : Velocidad del fluido recomendada
- $d_i$ : Diámetro interno de la tubería de descarga.
- $Q_b$ : Caudal a bombear
- $e_{t\_d}$ : Espesor de la tubería de descarga
- $d_e$ : Diámetro exterior de la tubería de descarga
- $v_{r\_f}$ : Velocidad real del fluido a la salida de la bomba
- $P_{bola\_TR1}$ : Peso de la bola (válvula de retención TR1)
- $A_{vl\_TR1}$ : Área de la válvula de retención TR1
- $D_{v1}$ : Diámetro de la válvula TR1
- $P_{r\_val\_1}$ : Presión en la entrada de la válvula TR1
- $H_{L\_s}$ : Perdidas por accesorios en la línea de succión
- $v_{f\_r\_e\_b}$ : Velocidad recomendada en la línea de succión
- $h_{t\_min}$ : Altura mínima del tanque para sumersión de la bomba
- $V_b$ : Volumen bombeado en la cámara
- $L$ : Longitud de la tubería en la parte interna de la cámara
- $D_c$ : Diámetro interno de la cámara
- $NR$ : Número de Reynolds
- $f$ : Factor de fricción en la tubería de descarga
- $\varepsilon$ : Rugosidad del material de la tubería de descarga

**$l$** : Longitud de la tubería de descarga

**$H_{L(p)}$** : Pérdidas primarias

**$H_{L(s)}$** : Pérdidas secundarias

**$k$** : Coeficiente de resistencia para pérdidas secundarias

**$H_L$** : Pérdidas de energía total

**$h_b$** : Altura de bombeo (manométrica)

**$P_{r_b}$** : Presión de bombeo

**$P_{r_b_a}$** : Presión en la fuente de aire comprimido

**$P_{r_{atm}}$** : Presión atmosférica del sector

**$\sigma_t$** : Resistencia máxima del material de la cámara

**$e_c$** : Espesor de la cámara

**$\eta_s$** : Coeficiente de seguridad de la cámara

**$d_{aire}$** : Diámetro interno de la tubería de aire

**$T_{amb_a}$** : Temperatura ambiente absoluta

**$n_c$** : Moles que entran a la cámara

**$R$** : Constante general de los gases

**$P_{r_{max_a}}$** : Presión máxima absoluta del compresor

**$P_{r_{min_a}}$** : Presión mínima absoluta del compresor

**$V_{comp}$** : Volumen del compresor

**$n_1$** : Número de moles a la presión máxima absoluta del compresor

**$n_2$** : Número de moles a la presión mínima absoluta del compresor

**$\Delta n$** : Número de moles utilizados para bombear

**#ciclos**: Número de ciclos realizados por la carga del compresor

**$t_c$** : Tiempo que dura la carga de aire en el compresor

**#a\_c**: Número de arranques por día del compresor

**t<sub>d\_c</sub>**: Tiempo de descarga de la bomba

**Q<sub>vl\_TR2</sub>**: Caudal de la válvula de retención TR2

**P<sub>r\_1</sub>**: Presión en la parte superior de la reserva de agua

**v<sub>1</sub>**: Velocidad del agua en la parte superior de la reserva de agua

**P<sub>r\_2</sub>**: Presión en la parte interna de la cámara

**v<sub>2</sub>**: Velocidad del agua en la entrada de la cámara

**Z<sub>2</sub> = Δh**: Variación de altura en la parte interna de la cámara

**v̂<sub>e\_ca</sub>**: Velocidad promedio en la entrada de la cámara en el análisis teórico

**Q̂<sub>e\_ca</sub>**: Caudal promedio en la entrada de la cámara

**t<sub>teórico</sub>**: Tiempo teórico en condiciones de reserva de agua constante

**t̂<sub>práctico</sub>**: Tiempo promedio práctico en condiciones de reserva de agua variable

**t̂<sub>r\_c</sub>**: Tiempo promedio de recuperación en la cámara en condiciones de reserva de agua constante y variable

**V̂<sub>b</sub>**: Volumen promedio medido del prototipo

**E<sub>hidráulica</sub>**: Energía hidráulica obtenida del sistema

**E<sub>neumática</sub>**: Energía mecánica (neumática) que realizó la fuente de aire comprimido sobre el agua

**ΔP**: Variación de presión en la fuente de aire comprimido

**η<sub>B\_N</sub>**: Rendimiento del sistema de bombeo neumático

**t<sub>c\_c</sub>**: Tiempo de carga del compresor

**P̂<sub>e</sub>**: Potencia media que ingresa al sistema

**Ê<sub>e</sub>**: Energía media que ingresa al sistema

**η<sub>T</sub>**: Rendimiento total del sistema de bombeo neumático

**CE**: Consumo de energía

$P_{e\_b\_t}$ : Potencia de una bomba tradicional

## **1. TÍTULO**

Diseño y construcción de un prototipo de mini bomba neumática para la extracción de agua, destinada al laboratorio de Mecánica de fluidos de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja.

## 2. RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se realizó un prototipo de mini bomba neumática destinado al laboratorio de Energía y fluidos de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja (UNL), donde los estudiantes pueden realizar el estudio sobre su funcionalidad, analizar sus características y vincularlo con la práctica de laboratorio.

El sistema de mini bombeo está compuesto por un compresor donde el aire comprimido es el fluido de trabajo para accionar una bomba neumática sumergida en una reserva de agua, esta conlleva una cámara con dos válvulas de retención, una en la parte superior para la descarga de agua y la otra en la parte inferior para la carga de agua. Para evacuar dicho fluido por un sistema hidráulico, sensores de nivel tipo flotador activan y desactivan las electroválvulas EVA y EVB para la entrada y salida del aire comprimido, el cual es manejado por un sistema de control semiautomático.

A través de la metodología utilizada se compiló información de internet tales como: repositorio bibliográfico institucional de la UNL, artículos de tesis, libros, informes y videos, adicionalmente consultas a docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica. Una vez sistematizado la información correspondiente y considerando los datos propuestos del sistema de bombeo, se realizó el diseño, la selección y construcción de componentes hidráulicos y neumáticos de acuerdo a los parámetros de diseño (caudal de bombeo y altura manométrica). El caudal bombeado fue de 5 L/min y la altura de descarga 12m. Las partes que conforman la bomba neumática como la cámara y la tapa superior e inferior fueron construidas de hierro galvanizado (HG), los accesorios hidráulicos que conlleva este sistema son de pvc, excepto las válvulas de retención TR1 y TR2 tipo esfera que son material de acero inoxidable (ver anexo 5). En lo relacionado al componente neumático, se seleccionó el compresor considerando el número de ciclos bombeados y el número de arranques de un motor. La capacidad del tanque fue de 24 L. Los accesorios son de pvc, excepto las electroválvulas EVA y EVB que son de bronce (ver anexo 14). El tiempo de cada ciclo de descarga fue de 7.8seg, y el tiempo de recuperación promedio es de 5.5 seg. En anexos se presentan tablas, gráficos, capturas de pantalla, planos y las guía para que los estudiantes pueden realizar correctamente las prácticas. Finalmente, en la fase experimental se validó el funcionamiento del prototipo, consiguiendo resultados

esperados. El rendimiento total considerando todas las energías que interactúan con el sistema (eléctrica, neumático, hidráulico) fue del 3.2%.

Palabras claves: Máquinas de fluidos, Diseño mecánico, Control semiautomático, Bomba Neumática, Hidráulica.

## ABSTRACT

In the present research work, a prototype of a pneumatic mini pump was made for the Energy and Fluids Laboratory of the Electromechanical Engineering of the National University of Loja (UNL), where students can perform the study on its functionality, analyze its characteristics and link it with laboratory practice.

The mini pumping system is composed of a compressor where the compressed air is the working fluid to operate a pneumatic pump submerged in a water reservoir, this involves a chamber with two retention valves, one at the top for the discharge of water and the other at the bottom for water loading. To evacuate this fluid through a hydraulic system, float level sensors activate and deactivate the EVA and EVB solenoid valves for the entry and exit of compressed air, which is operated by a semi-automatic control system.

Through the methodology used, information from the Internet was compiled such as: institutional bibliographic repository of the UNL, thesis articles, books, reports and videos, in addition to consultations with teachers of the Electromechanical Engineering degree. Once the corresponding information was systematized and considering the proposed data of the pumping system, the design, selection and construction of hydraulic and pneumatic components was carried out according to the design parameters (pumping flow and gauge height). The pumped flow was 5 L / min and the discharge height 12m. The parts that make up the pneumatic pump such as the chamber and the upper and lower cover were constructed of galvanized iron (HG), the hydraulic accessories that this system entails are made of pvc , except the retention valves TR1 and TR2 type sphere that are material of stainless steel (see annex 5 ) . Regarding the pneumatic component, the compressor was selected considering the number of cycles pumped and the number of starts of an engine. The capacity of the tank was 24 L. The accessories are made of pvc, except the EVA and EVB solenoid valves that are made of bronze ( see annex 14 ) . The time of each discharge cycle was 7.8 sec, while the average recovery time is 5.5 sec. In annexes are presented tables, graphs, screenshots, plans and guides so that students can perform the practices correctly. Finally, in the experimental phase the operation of the prototype was validated, achieving expected results. The total efficiency considering all the energies that interact with the system (electric, pneumatic, hydraulic) was 3.2%.

Keywords: Fluid machines, Mechanical design, Semiautomatic control, Pneumatic pump, Hydraulics.



### **3. INTRODUCCIÓN**

La bomba neumática, es un tipo de bomba que pertenece a las máquinas elevadoras especiales para líquidos, aprovecha la presión del aire comprimido, o de cualquier otro gas compatible con el uso, esta tecnología está ganando campo de forma considerable, en el ámbito urbano y rural, la cual es utilizada para la extracción de aguas subterráneas para el uso de la agricultura ganadería, industrias y el consumo doméstico, su principal ventaja es la de no tener partes complejas o móviles sumergidas, no requiere demasiado mantenimiento, se puede bombear cualquier tipo de fluido (L. Huisman, 1988).

Este documento trata sobre el diseño de un sistema de bombeo neumático, es una propuesta nueva en el laboratorio de Energía y fluidos de la carrera Ingeniería Electromecánica para el estudio de nuevas bombas no tradicionales. En la UNL si hay la elaboración de una tesis similar de Cristhian Ortega en el año 2016 para el estudio y el desarrollo de la misma.

La carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, cuenta con un laboratorio de mecánica de fluidos que permiten desarrollar un vínculo directo entre la teoría dictada en clases y la práctica. Este laboratorio sirve de apoyo para el desarrollo de actividades de los alumnos que cursan las materias de Mecánica de fluidos, Máquinas de fluidos, Diseño mecánico, Control automático, Taller eléctrico 2, entre otras.

Es por esto que, al diseñar y construir este sistema de bombeo neumático para la elaboración de prácticas, va a resolver una necesidad existente en el laboratorio de Energía y fluidos de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la UNL, donde los estudiantes puedan realizar ejercicios relacionados con las materias que tengan vínculo con este laboratorio.

En cuanto a la estructura del documento de trabajo de grado;

En la primera parte se aborda la revisión de literatura enfocada al dimensionamiento, análisis, parámetros operacionales y componentes de la bomba neumática; también la fundamentación de máquinas de fluidos, modelos matemáticos de la bomba y el sistema de control semiautomático propuesto para la misma.

En la segunda parte se describe el desarrollo del prototipo, mismo que trata sobre la propuesta de diseño del sistema de bombeo con base a lo manifestado y por medio de modelos matemáticos investigados se establece el diseño y la selección de componentes hidráulicos y neumáticos del prototipo. Además, se realizó una propuesta de control semiautomático para los ciclos de bombeo y finalmente, se procedió a la construcción del banco y validación del mismo.

En la cuarta parte se describe la discusión sobre la funcionalidad del sistema de bombeo, además de las principales conclusiones y recomendaciones que permitan fortalecer el proyecto de titulación, finalmente se abarca los anexos sobre el diseño y construcción del prototipo.

### **Objetivos específicos**

- Compilar información sobre dimensionamiento, análisis, parámetros operacionales y componentes de la bomba.
- Diseñar la bomba para un entorno de prueba en el edificio de laboratorios y  $Q = 5 \frac{L}{min}$
- Construir la bomba y validar el funcionamiento de la misma en un banco de prueba diseñada para ello.
- Elaborar las guías de prácticas con base a la normativa de la UNL.

## **4. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **4.1. DIMENSIONAMIENTO, ANÁLISIS, PARÁMETROS OPERACIONALES Y COMPONENTES DE LA BOMBA NEUMÁTICA.**

#### **4.1.1. Bombeo**

La tecnología de bombeo de agua se desarrolló paralela a la disponibilidad de fuentes de energía. Efectivamente, se puede decir que el primero de nuestros ancestros que juntó sus manos y cogió agua de una corriente, escogió la técnica de “bombeo”. Los dispositivos modernos, tales como las bombas centrífugas, han alcanzado un alto estado de desarrollo y son profusamente usados, gracias a que se dispone de fuentes de energía adecuadas, tales como motores de combustión interna o eléctricos.

En pequeñas comunidades de países en desarrollo, la energía humana y la animal son a menudo, es la energía que con mayor facilidad se dispone para el bombeo del agua, particularmente en áreas rurales. Bajo condiciones adecuadas, la energía eólica es importante. La energía solar puede tener un uso potencial. Los motores eléctricos y diésel sólo deberían usarse si se dispone del suministro necesario de combustible o electricidad. Junto a esto debe haber un mantenimiento adecuado y repuestos.

##### **4.1.1.1. Tipos de bombas**

Las principales aplicaciones de bombas en sistemas de abastecimiento de agua a pequeñas comunidades son:

- Bombeo de agua desde pozos.
- Bombeo de agua desde captaciones de agua superficial.
- Bombeo de agua hacia reservorios de almacenamiento y al sistema de distribución.

Basados en los principios mecánicos pertinentes, se puede clasificarse estas bombas como sigue:

##### **Bombas reciprocantes (émbolo)**

- Bombas de succión.
- Bombas elevadoras.
- Bombas de fuerza o impelentes.
- Bombas de diafragma.

## Bombas rotativas

- Bombas de cadena (desplazamiento positivo).
- Bomba de rotor helicoidal.

## Bombas de flujo axial.

## Bombas centrífugas.

## Bombas accionadas por aire.

### 4.1.1.2. Bombas Accionadas por aire

Una bomba accionada por aire eleva el agua mediante la inyección de pequeñas burbujas de aire comprimido, distribuidas en forma muy pareja, al pie de la tubería de descarga que se fija dentro del pozo. Esto requiere un compresor de aire. Siendo la mezcla aire-agua más ligero que el agua que está fuera de la tubería de descarga, esta mezcla de aire-agua es forzada a ascender por la carga hidrostática como se indica en la Figura 1.

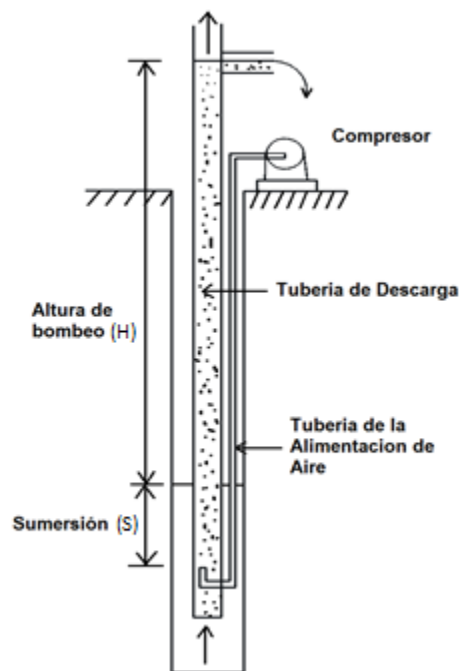


Figura 1: Bomba elevadora de agua por aire (vista esquemática).

Fuente: (L. Huisman, 1988).

La carga o altura de bombeo (H), contra la cual una bomba accionada por aire puede elevar agua, se relaciona directamente con la sumersión (S) de la tubería de descarga. Una alta carga de bombeo requiere una inmersión considerable a una profundidad por debajo

del menor nivel de abatimiento del agua en el pozo. El punto de inyección de aire comprimido también se encuentra a esta profundidad, de tal forma que se necesita una presión de aire lo suficiente grande.

Las bombas accionadas por aire también tienen ventajas importantes. Son simples de operar y no las afecta la arena o el sedimento del agua bombeada. Todo el equipo mecánico (el compresor) está sobre el suelo. Se puede operar, usando un solo compresor, varias bombas accionadas por aire instaladas en pozos adyacentes. Se puede obtener agua bombeada por aire de pozos con una profundidad de hasta 120m en cantidad considerable.

Estas bombas se las debe considerar, particularmente, en áreas en donde el agua subterránea contiene mucha arena o sedimento y para el bombeo de aguas ácidas (bajo pH).

En la tabla 1 y 2 ofrecen una guía preliminar para la selección de bombas accionadas por aire. (L. Huisman, 1988)

Tabla 1: Guía preliminar en la sección de bombas accionadas por aire.

<b>Elevación (m)</b>	<b>Sumersión (m)</b>	<b>Relación de flujo Aire-agua (volumen / volumen)</b>	<b>Presión de aire requerida (m H<sub>2</sub>O)</b>
10	12	3.0	20
20	20	4.7	30
30	25	6.8	40
40	28	7.9	45
60	40	9.6	65
80	49	11.6	85
100	58	13.3	105
120	71	14.8	125

Fuente: (L. Huisman, 1988).

Tabla 2: Guía preliminar en la sección de bombas accionadas por aire.

<b>Capacidad de bombeo (L/seg)</b>	<b>Diámetro de tubería de descarga (mm)</b>	<b>Diámetro de la tubería de aire (mm)</b>	<b>Energía del compresor (HP)</b>
2.5	74	25	1.5
5	100	40	2.5
7.5	100	40	4
10	125	50	5
15	150	50	7.5
20	150	60	10
40	200	75	20

Fuente: (L. Huisman, 1988)

#### **4.1.2. Bombeo mediante aire comprimido**

##### **4.1.2.1. Principio general de funcionamiento**

La aplicación del aire comprimido para la extracción de agua en sondeos se debe a J.C Phole. El fundamento teórico del método está basado en el sistema de vasos comunicantes, como puede verse en la Figura 2.

Sea un recipiente R, y una tubería abierta por los extremos. Si por un punto O, situado a poca distancia del extremo inferior, se inyecta aire comprimido a una presión superior a la necesaria para vencer la columna líquida S, por la tubería ascenderá una mezcla de agua-aire hasta una altura tal que los pesos interior y exterior se equilibren. Eligiendo de modo conveniente la relación entre la parte sumergida D de la tubería y su longitud total H, debido a la diferencia de densidades por las burbujas existentes dentro de la tubería, se obtendrá una columna ascensional de altura A. La entrada del aire se colocará a una distancia del extremo inferior de la tubería del agua, que puede variar entre 0.5m, cuando la parte de tubería sumergida es del 75% de la total y de 2m cuando sólo alcance el 25%.

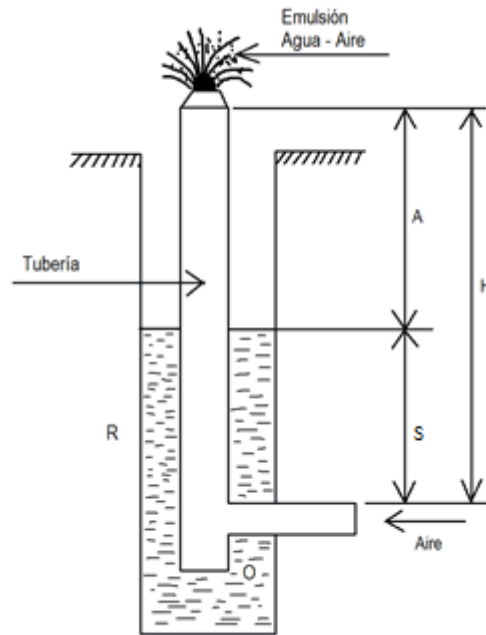


Figura 2: Sistema de vasos comunicantes.

Fuente: (Villanueva Martinez & Alfredo, 1984)

#### 4.1.2.2. Aplicación y práctica

Para la aplicación práctica de bombeo mediante aire comprimido, es necesario disponer de dos tuberías de diferentes diámetros, guardando estas una cierta relación, como se verá más adelante.

Las figuras 3 y 4 muestran, esquemáticamente, la disposición de un equipo de bombeo con aire comprimido. La tubería de aire o “inyectora” puede colocarse indistintamente por el interior de la tubería de descarga, o totalmente exterior. Normalmente, es más utilizado el sistema de tuberías concéntricas, aunque ambas instalaciones son igualmente correctas y funcionan con el mismo grado de eficacia. Cuando el diámetro del sondeo es reducido puede ser obligado, por razones de espacio libre, la instalación correspondiente a la figura 3.

Si el entubado del sondeo tiene un diámetro lo suficientemente pequeño, este puede ser utilizado como tubería de descarga, siendo suficiente la colocación de una tubería de aire para que el dispositivo funcione con normalidad. Es evidente que el procedimiento de bombeo con aire, al no disponer de elementos mecánicos en movimiento, no presenta riesgo alguno en la extracción de aguas turbias o arenosas, puesto que no existen desgastes en este tipo de instalación.

El nivel dinámico, durante el bombeo, se puede medir con cualquier tipo de sonda. Para evitar oscilaciones, dicha sonda se dirige a través de un tubo guía de longitud suficiente para que, en todo momento, tenga su parte inferior sumergida.

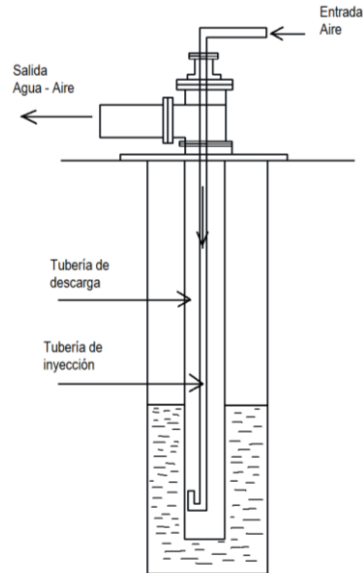


Figura 3: Equipo de bombeo con aire comprimido con tubería de aire interior.

Fuente: (Villanueva Martinez & Alfredo, 1984)

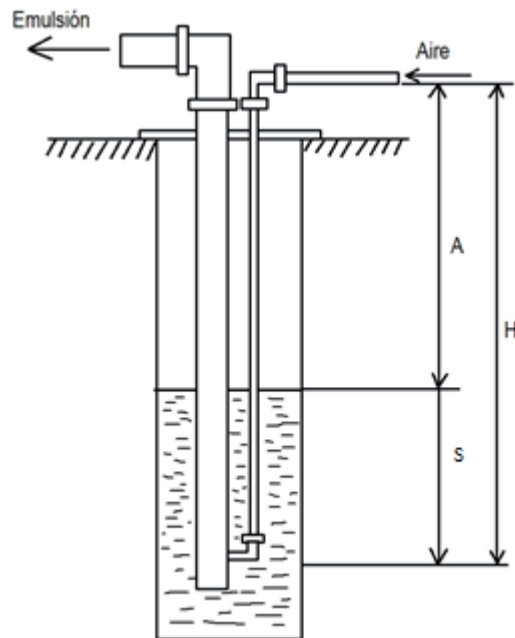


Figura 4: Equipo de bombeo con aire comprimido con tubería de aire exterior.

Fuente: (Villanueva Martinez & Alfredo, 1984)



### 4.1.2.3. Sumergencia

Se llama sumergencia o “coeficiente de sumersión” a la relación entre la longitud de tubería situada por debajo del nivel del agua y la longitud total de la misma. En la figura 5, la sumergencia, expresada en tanto por ciento, viene dada por la relación

$$S = \frac{D}{A + D} * 100 \quad \text{EC: 1}$$

Donde:

$D$  Longitud de la tubería situada por debajo del nivel del agua.

$A$  Altura de elevación.

Experimentalmente se ha podido comprobar que la sumergencia más conveniente es del 60 al 65%, siendo admisible el 75% como máximo y el 30% como mínimo. Como puede suponerse, la sumergencia varía en función de la evolución del nivel dinámico. Por este motivo, para que el sistema funcione dentro de los límites admisibles, es necesario estimar el descenso de nivel provocado como consecuencia del bombeo.

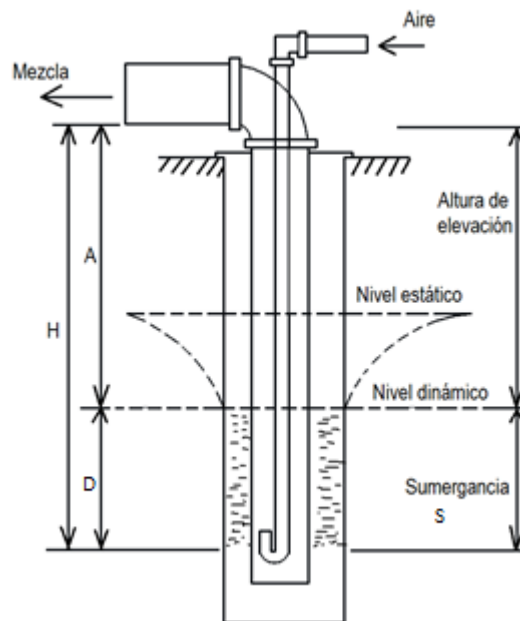


Figura 5: Sistema de bombeo dependiendo del nivel.

Fuente: (Villanueva Martinez & Alfredo, 1984).

Para conocer la longitud total de tubería en función de la altura de elevación, fijando la sumergencia, se procederá del modo siguiente:

La longitud total  $H = A + D$ , si la sumergencia se supone que es del 40% se tiene:

$$H = A + \frac{40}{100} * H \quad \text{EC: 2}$$

$$H = \frac{100 * A}{100 - 40} = \frac{A}{1 - 0.4} \quad \text{EC: 3}$$

Cuando el nivel estático se encuentra a mucha profundidad, puede suceder que los dispositivos hasta ahora diseñados no funcionen por falta de la debida sumergencia. En este caso es necesario utilizar un sistema de elevación por etapas. La campana juega el papel de pozo auxiliar, y su longitud ha de ser la apropiada para que la sumergencia, en la segunda etapa de elevación, sea la suficiente y el agua suba hasta la superficie.

#### 4.1.2.4. Relación de diámetros

Los diámetros de las tuberías de agua y aire deben adecuarse a los caudales bombeados, y han de guardar una cierta relación para que las velocidades del agua y aire sean las más convenientes, evitando pérdidas de carga importantes. En principio, y para una primera estimación, la relación entre los diámetros de las tuberías de agua y aire  $D/d$ , debe alcanzar valores comprendidos entre 3 y 4.

En la tabla 3 (según Johnson) se dan los valores de los diámetros de las tuberías, en función de los caudales que se deseen extraer. Teniendo en cuenta el grado de sumergencia, los diámetros de estas tuberías, para unos determinados caudales se dan en la tabla 4.

Tabla 3: Relación de diámetros con respecto al caudal.

<b>Caudal L/min</b>	<b>Diámetro tubería agua (mm)</b>	<b>Diámetro tubería aire (mm)</b>	<b>D/d</b>
120-240	50	13	3.85
240-300	75	25	3
300-360	90	25	3.6
360-540	100	32	3.12
540-960	130	38	3.42
960-1500	150	50	3

Fuente: (Villanueva Martinez & Alfredo, 1984)

Tabla 4: Diámetros de tubería en función del caudal y la sumergencia.

Diámetro (mm)		Sumergencias					
Tubería agua	Tubería aire	33%	43%	50%	55%	60%	66%
		Caudal elevado en litros por minutos					
38	13	40	52	68	60	50	71
50	19	65	95	113	140	150	162
63	25	120	160	200	210	225	243
75	25	230	350	380	390	396	404
88	25	320	425	490	500	512	530
100	31	430	550	600	650	655	662
113	38	500	680	760	780	810	845
125	38	720	900	1100	1140	1170	1205
150	38	940	1300	1500	1550	1600	1670

Fuente: (Villanueva Martinez & Alfredo, 1984)

#### 4.1.2.5. Presión y volumen de aire

La presión mínima que debe tener el aire para que el sistema comience a funcionar deberá ser algo superior a la ejercida por la columna de agua sobre el punto en que se efectúa la inyección, tal como se indica en la figura 7.

La presión máxima requerida será, pues, en el momento del arranque. A partir de este instante, la columna de agua disminuye como consecuencia de la depresión originada por el bombeo y paralelamente, la presión del aire decrece hasta que el nivel queda estabilizado. Si se tiene una instalación de aire comprimido con una columna sumergida de 80m, la presión mínima del compresor en el arranque deberá ser de 8 atmósferas (70 mca). La presión que debe tener el aire para poder ser inyectado se calcula a partir de la formula.

$$P_a = 0.10 * D * P_r \quad \text{EC: 4}$$

Donde:

$P_a$  Presión del aire en atmósferas.

0.10 Presión de una columna de agua de un metro de altura, en atmósferas.

$D$  Longitud de la tubería situada por debajo del nivel del agua.

$P_r$  Pérdidas de presión por rozamiento, en atmósferas.

El volumen de aire libre, en litros por minuto, que es necesario para elevar un litro por minuto de agua, viene dado por la formula experimental:

$$V = \frac{A}{9.5 * \log \frac{D + 10.33}{10.33}} \quad \text{EC: 5}$$

Donde:

$V$  Volumen de aire en l/min.

$D$  Longitud de la tubería situada por debajo del nivel del agua.

$A$  Altura de elevación en metros.

En la tabla 5 se consignan los litros por minuto de aire y la presión necesaria para elevar un litro de agua, en el mismo tiempo, a diversas alturas, con las sumergidas que se expresan. La presión se ha calculado admitiendo una pérdida por rozamiento de 0.2 atmosferas por cada 100 metros de tubería. Como se ha dicho, la tabla expresa la presión y volumen de aire necesarios para obtener un caudal de agua de un l/min. Para obtener n l/min, será necesaria la misma presión y n veces el volumen de aire que marca la tabla.

Tabla 5: Volumen de aire y presión necesarios para elevar un litro de agua con distintas sumergencias y alturas.

Elevación en metros	Sumergencias							
	60%		66%		70%		75%	
	L	P	L	P	L	P	L	P
5	2.21	0.77	1.79	1.03	1.62	1.28	1.38	1.54
10	2.65	1.55	2.2	2.06	1.99	2.57	1.75	3.08
20	3.52	3.1	3.03	4.12	2.73	5.14	2.5	6.16
30	4.3	4.65	3.77	6.18	3.42	7.71	3.18	9.24
40	5.02	6.2	4.44	8.24	4.07	10.28	3.79	12.32
50	5.74	7.75	5.11	10.3	4.71	12.85	4.41	15.40
75	7.34	11.63	6.63	15.45	6.15	19.28		
100	8.84	15.5	8.04	20.6	7.51	25.7		
125	10.45	19.38	9.51	25.75	8.8	32.13		
150	11.63	23.25	10.68	30.9	10.04	38.55		
175	12.95	27.13	11.94	36.05				
200	14.23	31.00	13.17	41.20				
225	15.51	34.88	14.36	46.35				
250	16.74	38.75	15.53	51.5				
275	17.96	42.63	16.82	56.65				
300	19.15	46.5	17.83	61.8				

Fuente: (Villanueva Martinez & Alfredo, 1984)

#### 4.1.2.6. Pérdidas por rozamiento

Son varios los factores que determinan las pérdidas por rozamiento, calculándose dichas pérdidas a partir de la fórmula de Darcy.

$$P_r = \frac{2}{d} * l * \beta * \alpha * v^2 \quad \text{EC: 6}$$

Siendo:

$P_r$  Pérdidas de presión en kg/m<sup>2</sup>.

$d$  Diámetro de la tubería en metros.

$l$  Longitud de la tubería en metros.

$\beta$  Peso específico del aire a la temperatura y presión existentes.

$v$  Velocidad del aire en m/seg.

$$\alpha = 0.000507 + \frac{0.00001294}{d}$$

#### **4.1.2.7. Capacidad y rendimiento del compresor**

Para calcular las dimensiones del compresor es necesario conocer el volumen de aire libre requerido y la presión en las distintas condiciones de trabajo. La capacidad del compresor o volumen de aire que descarga por unidad de tiempo permanece invariable con la altitud del lugar, pero el peso del mismo volumen de aire disminuye con la altura. Para que el compresor, a mayor altura, pueda realizar el mismo servicio, será necesario un volumen de aire cuyo peso sea igual al del volumen primitivo para el que fue calculado.

Como norma referencial se ha tomado la cota del nivel del mar y una temperatura de 15°C.

Cuando el compresor se ubica en un punto más elevado, se aspira menos peso de aire por embolada y, por tanto, para la misma presión final, el volumen comprimido disminuye con la altitud. (Villanueva Martínez & Alfredo, 1984)

#### **4.1.3. Bomba Neumática**

Se trata de un dispositivo para extraer agua de cierta profundidad, por medio de aire comprimido, la principal ventaja de estas es de no contar con partes complejas ni móviles sumergidas, excepto dos simples válvulas de retención y su compresor ubicado al nivel del suelo lo cual es muy accesible para su mantenimiento o cualquier reposición ver figura 6.

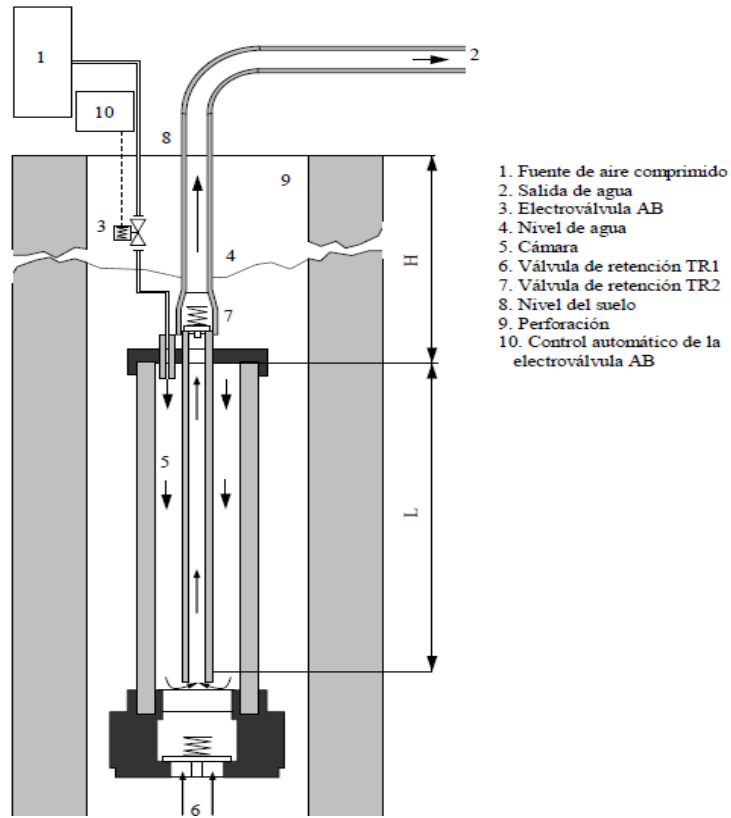


Figura 6: Croquis de la bomba neumática indicando las partes principales y los componentes de la misma.

Fuente: (Rodrigo D. J., 2000)

#### 4.1.3.1. Descripción y Funcionamiento del dispositivo neumático.

Según las investigaciones de (Jorge Di Gennaro V. R., 2000) se detalla la existencia de una bomba neumática ver figura 7.

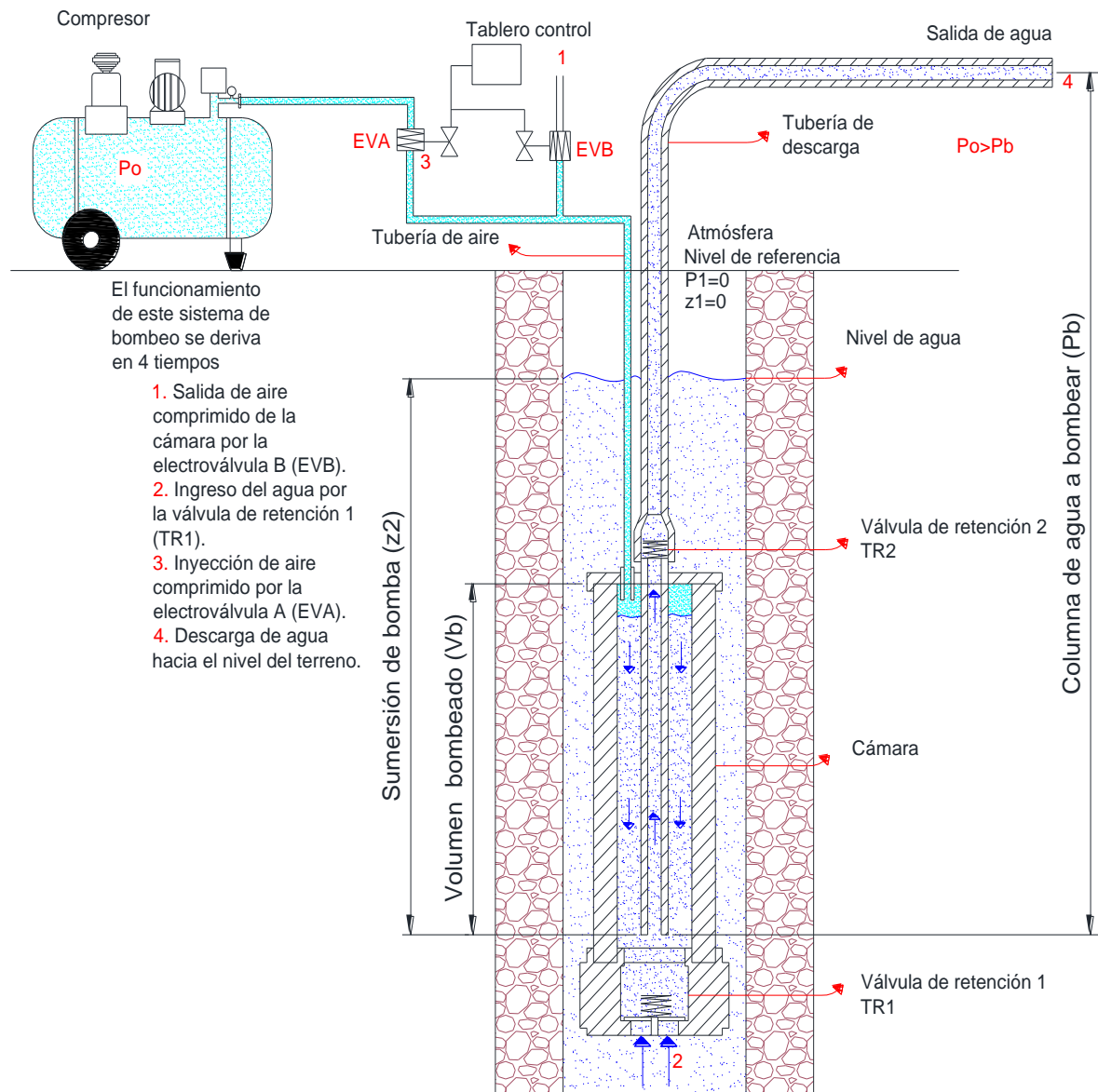


Figura 7: Bomba neumática. Fuente: Autor

La fuente de aire comprimido se comunica por una tubería de aire, con una cámara sumergida en el agua. De la cámara, sale otra tubería de agua, que se eleva hasta el nivel del terreno y esta comunicada con la atmósfera.

Al comenzar el funcionamiento de la misma, la cámara y la cañería están llenas de agua hasta el nivel estático, el agua ingresa a la cámara y a la cañería, por las válvulas de retención TR1 y TR2 porque estaba abierta la electroválvula de dos vías que comunica con la atmósfera y cerrada la válvula que comunica al compresor. En cierto instante, se invierte el sentido de la electroválvula con lo cual, la presión del aire comprimido, que



actúa sobre el agua en la cámara, la obliga a ingresar a la cañería a través de la válvula de retención TR2, a la vez que obliga a cerrarse, a la válvula TR1. El agua, por lo tanto, asciende por la cañería hasta la superficie terrestre, mientras descende en la cámara, hasta el nivel inferior. Entonces en ese instante se invierte el sentido en la electroválvula, de modo que la cámara queda comunicada con la atmósfera, y se cierra la válvula TR2 por el peso del agua contenida en la cañería de esta manera la bomba queda cebada y se reinicia el ciclo.

En la figura 8 se muestra el ciclo de trabajo de la bomba neumática en 3 estados; la bomba en reposo (momento en que es sumergida), el estado de carga, y el momento en que se inyecta aire comprimido produciendo la descarga.



Figura 8: Ciclo de trabajo del dispositivo neumático.

Fuente: (Victor Rodrigo, 2006)

Por encima de TR2; en ese instante, necesitamos distinguir, entre tres casos posibles; como explica (Rodrigo V. D., 2002), ver figura 9.

- **V<sub>c</sub>:** Volumen caudal. – volumen entre el nivel del pozo y el nivel inferior (altura L), en la cámara, descontando el volumen de la longitud L de tubería de agua. Es el volumen barrido por la superficie libre del agua de la cámara. Es el volumen que determina el caudal.
- **V<sub>a</sub>:** Volumen de la cañería de agua, entre el nivel del pozo y el nivel de tierra (altura H).

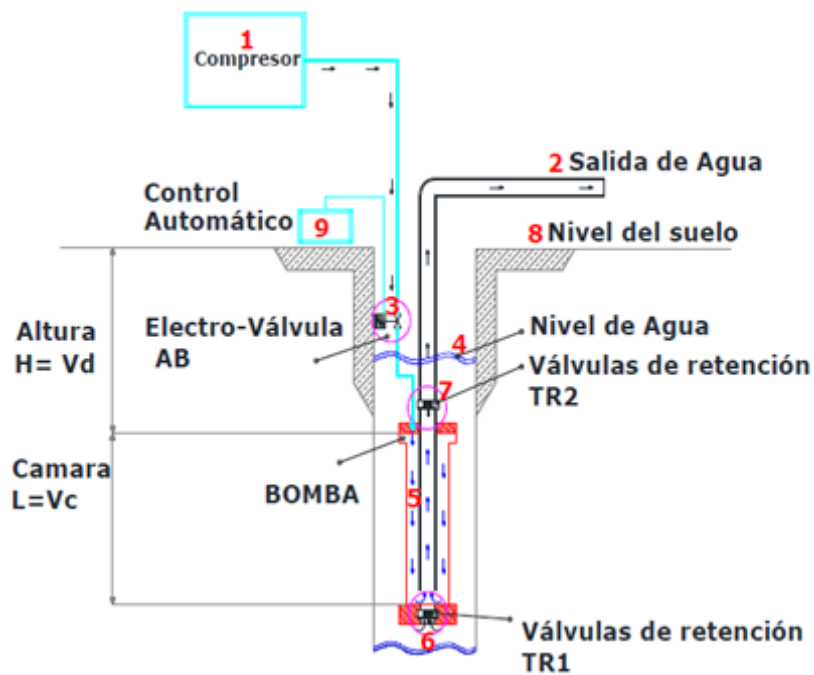


Figura 9: Esquema de funcionamiento de la bomba neumática de agua.

Fuente: (Ortega., 2016)

Los tres casos posibles son:

- $V_c > V_d$  en la primera etapa de compresión, la cañería se llena de agua, (cebado) y entrega agua.
- $V_c = V_d$  en la primera etapa de compresión, la cañería se ceba, pero no entrega agua. A este valor del volumen  $V_c$  lo llamamos volumen caudal limite,  $V_{c-lim}$ .
- $V_c < V_d$  en la primera etapa de compresión, la cañería no se llena se agua. Según la relación ente los valores  $V_c$  y  $V_d$ , la cañería se ceba en una etapa más o en varias etapas más.

Para continuar con el funcionamiento, que  $V_c > V_d$ . Entonces, al llegar al nivel inferior, (la cañería ya está entregando agua), se cierra la electroválvula y comienza la etapa de escape, la cámara queda comunicada con la atmosfera, de modo que el aire escapa y el agua ingresa a la cámara por TR1 hasta el nivel estático de la perforación. El agua en la cañería, no puede descender, porque se lo impide TR2. De esta manera, se completa un ciclo y la bomba ya está lista para iniciar una nueva etapa de compresión. Debemos observar que; el trabajo entregado al aire para comprimirlo, se pierde porque se lo hace escapar a la atmósfera.

#### 4.1.4. Modelo Matemático Bomba Neumática

Se detalla la existencia de un modelo matemático sobre este dispositivo neumático basado en tres técnicas presentadas anteriormente como indica (Jorge Di Gennaro V. R., 2002), que trata de una bomba neumática sencilla donde toma como referencia el libro (Mataix., 1978), como nos indica la siguiente figura 10, con sus respectiva nomenclatura y ecuaciones.

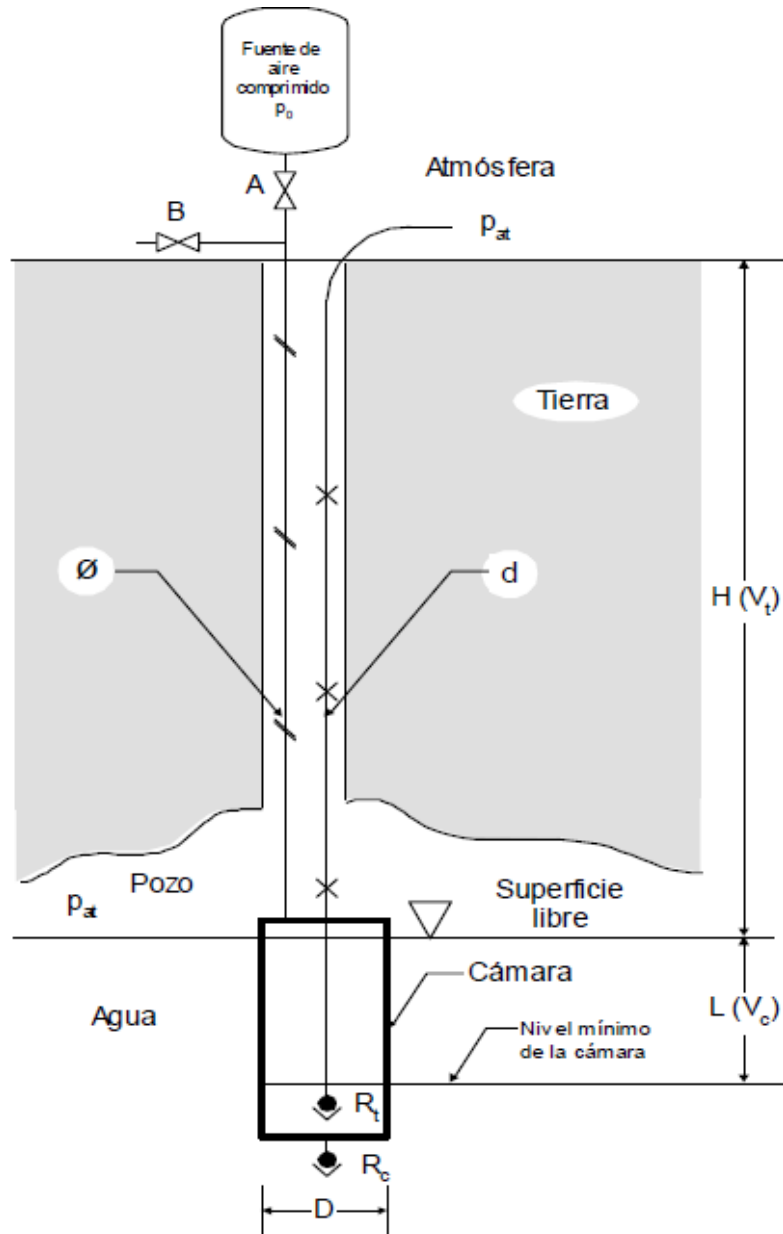


Figura 10: Esquema de Dispositivo neumático.

Fuente: (Jorge Di Gennaro V. R., 2002).

#### 4.1.4.1. Nomenclatura

**Pat:** Presión atmosférica.

**T:** Temperatura ambiente.

**Po:** Presión en la fuente de aire comprimido.

**g:** Aceleración gravitatoria.

**$\Gamma$ :** Peso específico del agua.

**Rt:** Válvula de retención de la tubería de agua.

**Rc:** Válvula de retención de la cámara.

**H:** Profundidad de la superficie libre del agua.

**d:** Diámetro de la tubería de agua.

**S:** Área de la sección de la tubería de agua.

**Vt:** Volumen de la tubería de agua por encima de la superficie libre.

**L:** Longitud de la tubería de agua por debajo de la superficie libre.

**M:** Diámetro de la cámara.

**N:** Área de la sección de la cámara.

**Vc:** Volumen de la cámara.

**Va:** Volumen de la tubería de aire.

**t:** Tiempo activo.

**Q:** Caudal de agua en la tubería de agua durante el tiempo activo.

**R:** Coeficiente de pérdidas en la válvula Rt.

**f:** Coeficiente de pérdidas en la tubería de agua durante el tiempo activo.

$$C. = 1 + K + f * (H + L) / d$$

**D:** Energía neta para elevar una altura H un peso  $\Gamma$  Vc de agua.

**Pot:** Potencia neta.

**Qa:** Caudal de aire.

**Tci:** Trabajo de compresión isotérmica del aire.

**EB:** Energía requerida por la bomba.

**Ebr:** Energía de la bomba relativa.

**P:** potencia de la bomba.

**V:** Volumen de aire normal entregado por la fuente de aire comprimido.

**V':** V+Va.

#### **4.1.4.2. Volumen de la cámara (Vc)**

Es el volumen comprendido entre los niveles máximo, (superficie libre del agua en el pozo) y mínimo, del agua en la cámara, con una altura L. Siendo “D” el diámetro de la cámara y “d” el de la tubería del agua, este volumen es:

$$V_c = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right)L - \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)L = \left(\frac{\pi L}{4}\right)(D^2 - d^2) \quad \text{EC: 7}$$

#### **4.1.4.3. Volumen de la tubería de agua (Vt)**

Es el volumen de tubería de agua comprendido entre la superficie libre del agua en el pozo y la superficie terrestre con una altura “H”.

$$V_t = \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)H \quad \text{EC: 8}$$

#### **4.1.4.4. Relación entre “Vt” y “Vc”**

Como hemos dicho que cuando el agua ha descendido a su nivel mínimo en la cámara, ha ascendido hasta la superficie terrestre en la tubería, debe ser.

$$L = \frac{d^2 \cdot H}{(D^2 - d^2)} \quad \text{EC: 9}$$

#### **4.1.4.5. Presión**

La presión “Po” en la fuente de aire comprimido, será la necesaria para equilibrar una columna de agua de altura H+L, más la presión atmosférica (pat), cuando el agua ha llegado a su nivel mínimo en la cámara, se obtiene:

$$P_o = pat + \Gamma(H + L) \quad \text{EC: 10}$$

#### 4.1.4.6. Tiempos

Tiempo de vaciado de la cámara. Es el tiempo de descenso “L” del agua en la cámara, estando la tubería de agua, llena de agua. Es el tiempo activo o útil de la bomba. En un instante cualquiera, la altura del agua sobre su nivel mínimo, que va disminuyendo, tiene un valor de “h”; en ese instante planteamos la ecuación de la energía entre la superficie libre en la cámara y la salida de la tubería a la atmósfera. Teniendo en cuenta que el movimiento del agua se inicia cuando la presión del aire en la cámara es:  $p_{at} + \Gamma \cdot H$  y finaliza cuando esta presión es  $p_o = p_{at} + \Gamma(H + L)$ ; siendo L relativamente pequeña respecto a H, supondremos  $p = p_o$  en la cámara; por otra parte, despreciamos la velocidad del agua en la cámara frente a la velocidad en la tubería. Tomando como nivel de referencia, el nivel mínimo, resulta:

$$\frac{p_o}{\Gamma} + h - \left( K + \frac{f(H + L)}{d} \right) \left( \frac{V^2}{2g} \right) = \frac{p_{at}}{\Gamma} + (H + L) + \frac{V^2}{2g} \quad \text{EC: 11}$$

$$t = \sqrt{\frac{2C}{g}} \cdot \left( \frac{A}{S} \right) \cdot \sqrt{L} \quad \text{EC: 12}$$

Esta ecuación, contiene el coeficiente “F” de pérdidas en la tubería de agua y el coeficiente “K” de pérdidas en la válvula “Rt”

- **Tiempo de Cebado**

Es el tiempo del descenso L del agua en la cámara. Este tiempo puede suponerse menor que el Tiempo Activo dado por la EC:12, porque la columna “h” de agua en la tubería, por encima del nivel del pozo, no es constante, si no que varía desde 0 hasta H.

- **Tiempo de llenado de la cámara**

Este tiempo puede suponerse menor que el tiempo activo dado por la EC:12, por ser más libre el flujo, en este caso. Los valores preliminares de los tiempos de cebado y llenado de la cámara, se estimarán como un porcentaje del tiempo Activo, (70 a 80%).

#### 4.1.4.7. Energía y Potencia

- **Energía Neta**

La energía neta necesaria para elevar la unidad de peso de agua desde el nivel del pozo hasta la superficie terrestre, (altura H), surge de aplicar la ecuación de la Energía de la Mecánica de Fluidos entre ambos niveles, sin tener en cuenta las pérdidas.

Si llamamos  $E_{up}$ , a esta energía por unidad de peso, la ecuación es:

$$\frac{p_{at}}{\Gamma} + E_{up} = \frac{p_{at}}{\Gamma} + H: \text{ donde } E_{up} = H \quad \text{EC: 13}$$

Entonces la Energía necesaria para elevar una altura  $H$ , el peso  $\Gamma.V_c$  de agua contenida en el volumen  $V_c$  de la cámara es:

$$E = \Gamma.V_c.E_{up} = \Gamma.V_c.H \quad \text{EC: 14}$$

La Potencia Neta necesaria depende del caudal “ $Q$ ” y es:

$$Pot = \Gamma.Q.E_{up} = \Gamma.Q.H \quad \text{EC: 15}$$

- **Energía Requerida por la Bomba**

No tomando en cuenta las pérdidas de energía en los conductos y en la bomba, la energía requerida por la bomba, para elevar el peso  $P = \Gamma.V_c$ , de agua, una altura  $H$ , consta de dos partes, que son:

- Aumento de la Energía Potencial del peso ( $\Gamma.V_c$ ) de agua.

$$E = \Gamma.V_c.H; \text{ Es la energía neta} \quad \text{EC: 16}$$

- Trabajo de Compresión del Aire.

$$T_{ci} = [p_{at} + \Gamma(H + L)]. [V_c + V_a]. \ln \left[ \frac{p_{at} + \Gamma.(H + L)}{p_{at}} \right] \quad \text{EC: 17}$$

Trabajo de compresión isotérmica o bien:

$$T_{ci} = [p_{at} + \Gamma(H + L)]. [V_c + V_a]. \ln \left[ 1 + \frac{\Gamma.(H + L)}{p_{at}} \right] \quad \text{EC: 18}$$

Entonces, la Energía requerida por la bomba es:

$$E_B = E + T_{ci} \quad \text{EC: 19}$$

Siendo  $T_{ci}$  el exceso de energía requerida. En relación a la Energía Neta,  $E$  la Energía requerida por la bomba es:

$$E_{br} = \frac{EB}{E} = \frac{E + T_{ci}}{E} \quad \text{EC: 20}$$

$$= 1 + \frac{T_{ci}}{E}; \text{ Energía de la bomba requerida}$$

Remplazando E y Tci, obtenemos:

$$E_{br} = 1 + \left[ \frac{pat + \Gamma(H + L)}{\Gamma \cdot H} \right] \left[ 1 + \frac{Va}{Vc} \right] \cdot \ln \left[ 1 + \frac{\Gamma(H + L)}{pat} \right] \quad \text{EC: 21}$$

- **Potencia de la Bomba**

En el tiempo activo la bomba requiere una Energía EB, entonces la potencia es:

$$P = \frac{E + T_{ci}}{\sqrt{\frac{2C}{g}} \cdot \frac{A}{S} \cdot \sqrt{L}} \quad \text{EC: 22}$$

#### 4.1.4.8. Caudales

- **Caudal de Agua**

En el tiempo activo t, la bomba entrega un volumen de agua igual al volumen Vc de la cámara: de donde, el caudal en este tiempo es:

$$Q = \frac{Vc}{t} \quad \text{EC: 23}$$

Si consideramos el ciclo completo, debemos agregar el tiempo t' de llenado de la cámara, durante el cual el caudal es nulo, y obtenemos un caudal medio:

$$Q_m = \frac{Vc}{(t + t')} \quad \text{EC: 24}$$

- **Caudal de Aire**

Al iniciarse el tiempo activo, existe en la tubería de aire, un volumen Va de aire a presión atmosférica y temperatura ambiente T. Al finalizar el tiempo activo existe un volumen Vc + Va, de aire a presión pat + Γ(H + L) y a temperatura ambiente T. Suponiendo un gas perfecto, a la misma temperatura T, este volumen Vc + Va, a la presión atmosférica, aumenta y alcanza el valor:

$$V' = [pat + \Gamma(H + L)] \cdot \frac{Vc + Va}{pat} \quad \text{EC: 25}$$

Entonces, el volumen V de aire a (pat) y T ambiente, que ha sido entregado por la fuente de aire comprimido, es:



$$V = V' - Va$$

EC: 26

Con lo cual, el caudal de aire, en el tiempo activo t, es:

$$Qa = \frac{V}{t}$$

EC: 27

## 4.2. FUNDAMENTACIÓN DE MAQUINAS DE FLUIDOS.

### 4.2.1. Velocidades de flujo recomendable en tuberías y ductos.

Un aspecto muy importante a tener en cuenta para el diseño del sistema de tuberías es el de la velocidad que alcanza el fluido por el interior de las conducciones, para lograr una velocidad de flujo satisfactoria los factores son el tipo de fluido, la longitud del sistema de flujo, el tipo de tubería, la caída de presión, bombas válvulas entre otros. (PFCIQ., 2014).

Los valores aproximados que se usan dependen del tipo del fluido que se trate, pero los más corrientes se muestra en la tabla 6.

Tabla 6: Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
<b>Líquidos pocos viscosos</b>	Flujo por gravedad	0,5 - 1	0,15 - 0,30
	Entrada de bomba	1 - 3	0,3 - 0,9
	Salida de bomba	4 - 10	1,2 - 3
	Línea de conducción	4 - 8	1,2 - 1,4
<b>Líquidos viscosos</b>	Entrada de bomba	0,2 - 0,5	0,06 - 0,15
	Salida de bomba	0,5 - 0,2	0,15 - 0,6
<b>Vapor de agua</b>		30 - 50	9 - 15
<b>Aire o gas</b>		30 - 100	9 - 30

Fuente: (PFCIQ., 2014)

#### 4.2.2. Definición de caudal

Caudal (Q) es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente, se expresa:

$$Q = A * v_f \quad \text{EC: 28}$$

Donde:

$v_f$ : es la velocidad del fluido y A es el área de la sección (m/s)

#### 4.2.3. Definición de presión

Se define presión (P) como la cantidad de fuerza que ejerce sobre una unidad de área de alguna sustancia. Esto se enuncia por medio de la ecuación (Mott., 2006)

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{EC: 29}$$

##### 4.2.3.1. Presión Hidrostática

La presión hidrostática es la que ejerce el fluido que se encuentra en reposo a una determinada profundidad.

$$P_{r_H} = \rho * g * h \quad \text{EC: 30}$$

Donde:

$P_{r_H}$  Presión Hidrostática (Pa).

$\rho$  Densidad del fluido.

$h$  Profundidad del fluido en reposo.

##### 4.2.3.2. Presión Absoluta

Es normal que la atmósfera sea la presión de referencia. Así, la presión que arroja la medición del fluido se llama presión manométrica. La presión que se mide en relación con un vacío perfecto se denomina presión absoluta.

$$P_{r_{abs}} = P_{r_{man}} + P_{r_{atm}} \quad \text{EC: 31}$$

Donde:

$P_{r_{abs}}$  Presión absoluta (Pa).

$P_{r_{man}}$  Presión manométrica.

$P_{r_{atm}}$  Presión atmosférica.

#### 4.2.3.3. Presión de bombeo

La presión de bombeo está comprendida por el peso específico del fluido, la altura de bombeo más las pérdidas de energía en la línea de descarga.

$$P_{r\_b} = \gamma * (h_b + H_L) \quad \text{EC: 32}$$

Donde:

$P_{r\_b}$  Presión de bombeo en (Pa)

$\gamma$  Peso específico del fluido en (N/m<sup>3</sup>).

$h_b$  Altura manométrica (m).

$H_L$  Pérdidas primarias y secundarias en la línea de descarga.

#### 4.2.4. Ecuación de Bernouilli

La ecuación de Bernouilli, se puede considerar como una apropiada declaración del principio de la conservación de energía para el flujo de fluidos.

La energía del fluido en el punto 1, ha de ser igual a la energía en el punto 2 (Mataix, 1982).

Para este caso se supone que no hay pérdidas o adiciones de energía entre los dos puntos, por lo que la carga total permanece constante. Este párrafo constituye la ecuación de Bernouilli

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_{f1}^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_{f2}^2}{2g} \quad \text{EC: 33}$$

Donde:

$\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$  Alturas de presión.

$Z_1, Z_2$  Alturas geodésicas.

$\frac{v_{f1}^2}{2g}, \frac{v_{f2}^2}{2g}$  Altura de velocidades.

## 4.2.5. Pérdidas Primarias y secundarias en las tuberías

### 4.2.5.1. Numero de Reynolds

El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento, la ecuación que define básicamente al Número de Reynolds es (Mott., 2006):

$$N_R = \frac{v_f * d_i * \rho}{\eta} \quad \text{EC: 34}$$

Donde:

$d_i$  Diámetro interno de la tubería.

$\eta$  Viscosidad dinámica: En la tabla 7 se indica la viscosidad dinámica del fluido a la temperatura ambiente del sector.

### 4.2.5.2. Pérdidas primarias

Al término  $H_L$  se le definió como la pérdida de energía en el sistema debido a la fricción en el fluido que circula en tuberías y tubos; la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente. Esto se expresa en forma matemática como la ecuación de Darcy:

$$H_{L(P)} = f * \frac{L}{d_i} * \frac{v_f^2}{2g} \quad \text{EC: 35}$$

Donde:

$H_{L(P)}$  Pérdida primaria de energía debido a la fricción en (m)

$L$  Longitud de la corriente del flujo (m)

$f$  Factor de fricción (adimensional).

En el anexo 1 se encuentran las ecuaciones para calcular el factor de fricción dependiendo del régimen del fluido.

### 4.2.5.3. Pérdidas secundarias

Son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas y en toda clase de accesorios de tubería (Mataix, 1982).

$$H_{L(s)} = \sum k * \frac{v_f^2}{2g}$$

**EC: 36**

Donde:

$\sum k$  Es la suma de los coeficientes adimensionales de pérdidas de carga secundaria. En el anexo 2 se encuentran los valores para el coeficiente de resistencia (k) que dependen del tipo de accesorios.

### **4.3. FUNDAMENTACIÓN DE DISEÑO MECÁNICO**

#### **4.3.1. Cilindros de pared delgada**

Un depósito cilíndrico que contenga un fluido a una presión  $P \frac{N}{m^2}$  está sometido a fuerzas de tensión según sus secciones longitudinales y transversales, y las paredes han de resistir estas fuerzas para evitar que estalle. Por tanto

$$\sigma_t = \frac{PD}{2t}$$

**EC: 37**

Donde:

P: Presión que ejerce el fluido

D: Diámetro interno del cilindro

t: Espesor del cilindro

### **4.4. FUNDAMENTACIÓN DEL CONTROL SEMIAUTOMÁTICO**

El control semiautomático se emplea principalmente para facilitar las maniobras de mando y dar flexibilidad a las maniobras de control de aquellas instalaciones en las que el control manual no es posibles. Este tipo de control requiere un operador que inicie cualquier cambio en la posición o condición de funcionamiento de la máquina.

#### **4.4.1. Sensores**

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia,

aceleración, inclinación desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento Ph, etc. (Villavicencio S. S., 2013)

#### 4.4.1.1. Tipos de sensores

A continuación, se indican algunos tipos y ejemplos de sensores:

- Sensores de temperatura
- Sensores de deformación
- Sensores de contacto
- Sensores de proximidad
- Sensores de presión
- Sensores de nivel

#### 4.4.1.2. Sensores de nivel

El sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente.

Los sensores de nivel se utilizan para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido, generalmente, este tipo de sensor funciona como alarma, indicando un sobre llenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido, o al contrario una alarma de nivel bajo ver figura 11 y 12. (Villavicencio A. R., 2017)

Existen dos tipos de sensores de nivel:

- Sensor de nivel de líquidos vertical.



Figura 11: sensor de nivel de líquidos vertical. Fuente: Autor

- Sensor de nivel de líquidos horizontal.



Figura 12: sensor de nivel de líquidos horizontal. Fuente: Autor

#### 4.4.2. Electroválvulas

Las electroválvulas son válvulas electromecánicas, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina de solenoide ésta se excita a través de un temporizador eléctrico, un final de carrera, presostatos, termostatos o mandos electrónicos.

Las válvulas de solenoide generalmente poseen 2/2 (2 vías, 2 posiciones), 3/2 (3 vías, 2 posiciones), 4/2 (4 vías, 2 posiciones), 5/2 (5 vías, 2 posiciones).

Existen dos tipos de electroválvulas:

- Válvula de acción directa un solo solenoide se llama monoestables
- Válvula de doble solenoide se llaman biestables.

En las válvulas de solenoide de acción directa la diferencia de presión entre la entrada y la salida disminuye al aumentar el diámetro de la válvula, ya que la fuerza generada por la bobina al conectarla a la corriente debe vencer la presión diferencial del fluido, ver figura 13. (Solé, 2007)



Figura 13: Electroválvula de acción directa 2/2.

Fuente: Autor

#### 4.4.3. Selector

El interruptor selector su función es abrir y cerrar un contacto ya sea normalmente abierto o normalmente cerrado según su aplicación eléctrica en un circuito, por lo regular para ponerse en una operación en automático o en manual consta de sus contactos eléctricos normalmente abierto o cerrado según su aplicación.

Su aplicación eléctrica en el uso industrial es fundamental en equipos donde se requiera una operación en manual y automático, ver figura 14. (Villavicencio S. S., 2013)

### Selectores de 2 Posiciones - No Iluminados - Ø22 mm - IP66

#### Perilla Corta<sup>1)</sup>






Foto ilustrativa	Actuación	Diagrama	Ángulo del selector	Color <sup>1)</sup>		Referencia	Código	Peso (kg)
		Fija	1	45°	●	Negro	CSW-CK2F45 WH	12882307
		Retorno	1	45°	●	Negro	CSW-CK2R45 WH	12882309
		Fija	1	90°	●	Negro	CSW-CK2F90 WH	12882308
			2	90°	●	Negro	CSW-CK2F90W WH	12904656
		Retorno	1	90°	●	Negro	CSW-CK2R90 WH	12882310

Figura 14: selector dos posiciones.

Fuente: (EBASEE, 2017)

#### 4.4.4. Relés

Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos, ver figura 15.



Figura 15: Mini Relé WEG CWB18. Fuente: (CAMSCO, 2018)



## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. MATERIALES**

Los principales materiales que se emplearon en la ejecución del presente proyecto son los siguientes:

#### **Materiales de oficina:**

Computadora, materiales bibliográficos, internet, paquete office, AutoCAD, Entre otros.

#### **Materiales de construcción del prototipo**

Hidráulicos: Tubería pvc, accesorios para tubería pvc, tanque de pvc, tubería de HG (hierro galvanizado), accesorios para tubería de HG, electroválvula para agua, entre otros.

Neumáticos: Compresor, electroválvulas para aire, tubería de pvc, accesorios para tubería de aire, entre otros.

Control: Sensores de nivel horizontales y verticales, relés, fuente de 12v, accesorios para el sistema de control, entre otros.

Metálicos: tubería de acero ½" \*1mm, plancha de acero 500\*500\*5mm, platina de 51\*3mm, pernos, arandelas, entre otros.

Durante el diseño de la bomba se realizó experimentos, procesos para los cuales se necesitó los siguientes materiales.

#### ***Ensayo para determinar el tiempo promedio de recuperación práctico en la cámara.***

Bomba neumática

Tanque de agua de 2m

Cronómetro

Tubería de descarga de 1.5m

Tubería de aire de 2m.

#### **Recursos humanos:**

Docente asesor de tesis, asesores extremos, otros.

## 5.2. MÉTODOS

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto se basó en los siguientes pasos.

- Observación sobre los componentes y el principio de funcionamiento de la bomba neumática.
- Búsqueda de información adecuada sobre la operación de estas bombas para saber cuáles son sus principales inconvenientes en el diseño, selección y construcción del prototipo.
- Compilación de información sobre parámetros y dimensionamiento del sistema de bombeo neumático para determinar todos los modelos matemáticos.

Una vez que se conoce todas las generalidades del sistema neumático se define el diseño y construcción del prototipo:

- Se realizó el diseño conceptual del prototipo basado en la existencia de diferentes tipos de bombeo neumático existentes en el mercado.
- Para el sistema hidráulico, se seleccionó algunos componentes como lo son: la tubería para la línea de descarga en base a la velocidad de flujo recomendado para este tipo, válvulas de retención de acuerdo al caudal requerido en l/día, válvula de pie según dato propuesto debe ser mayor que la línea de descarga, tubería para la cámara de la bomba mediante el diámetro obtenido, entre otros, todos estos componentes y respecto a su material se encontraron en el mercado local. Se diseñó algunos componentes que no se contaba en el mercado como lo fue la tapa superior e inferior de la cámara de acuerdo a la geometría de los accesorios hidráulicos como la válvula de retención, válvula de pie, línea de descarga y diámetro de la cámara también se diseñó un tanque para la reserva de agua en base a la geometría de la bomba neumática construida y la columna de agua mínima que necesita sumergirse para el llenado de la cámara.
- A demás se propuso un sistema de control mediante sensores de nivel de líquido tipo flotador para mantener la reserva de agua de la bomba a nivel constante.
- En el cálculo del tiempo de recuperación promedio de la cámara, se desarrolló dos análisis el primero fue teórico bajo condiciones de reserva constante y el segundo práctico bajo condiciones de reserva variable.

***Ensayo para determinar el tiempo promedio de recuperación práctico en la cámara.*** - Se realizó para determinar el tiempo práctico necesario al llenar la cámara de agua a diferentes niveles de sumersión ver anexo 15.

- En cuanto a lo neumático se seleccionó la mayoría de los componentes ya que si se encontraron a nivel del mercado local estos son: tubería para el aire comprimido de acuerdo a la información que se compilo la relación de diámetros respecto a la línea de descarga  $D_{agua}/d_{aire} = 4$ , el compresor que fue seleccionado mediante el número de arranques de un motor al día especialmente para este tipo de bombeo, electroválvulas para el mismo fluido en base a la presión máxima del compresor
- En cuanto a la propuesta de control semiautomática, se plantea un diseño con sensores de nivel para líquido tipo flotador en la parte interna de la cámara para los procesos de bombeo lo cual comandan a los dispositivos electromecánicos así mismo se cuenta con el diseño de los sistemas de fuerza y mando controlado por accesorios de accionamiento, señalización y control.
- Construcción de la bomba neumática con tecnología local para el caso de estudio propuesto, diseñada en un banco para ello.
- Definir los temas para el desarrollo de las guías prácticas.
- Validación funcional del prototipo.
- Análisis de resultados.

### **5.3. Descripción del sistema de bombeo propuesto.**

La bomba será implementada en el bloque de laboratorios, montada en un banco de hidráulica, destinada al laboratorio de mecánica de fluidos de la carrera de Ingeniería Electromecánica, donde se pretende bombear desde la planta baja hasta la reserva ubicada en la planta superior, a continuación, se muestra un esquema de la instalación, ver figura 16.

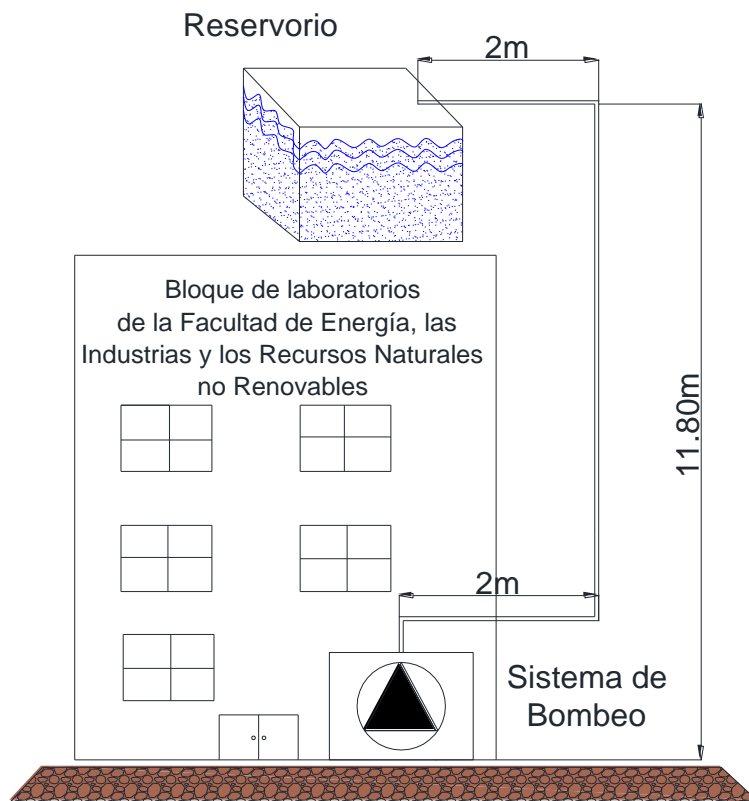


Figura 16. Instalación del sistema de bombeo. Fuente: Autor

#### 5.4. Propuesta de diseño

Los requerimientos que se proponen para la bomba neumática son:

El servicio que ofrece este sistema de bombeo es de 8 horas de trabajo diarias, el diseño para este tipo de bombeo se realizará en condiciones de nivel estático de reserva.

Se propone que la bomba realice 5 ciclos /min, con base al caudal requerido 5 L/min y a los ciclos a realizar por cada minuto, es necesario bombear un volumen de 1L.

La bomba neumática es accionada mediante una fuente de aire comprimido y mediante unos sensores ubicados en la parte interna de la cámara van a controlar las electroválvulas para el estado de carga y descarga del fluido, ésta va a estar sumergida en un tanque diseñada para ella y sobre este se realizará un sistema de control para condiciones de nivel estático, además tendrá un indicador para referenciar el nivel mínimo y máximo de agua, en la parte superior del tanque llevará una tapa para la entrada de la tubería de agua y aire que va conectada hacia la cámara de la bomba, ver figura 17.

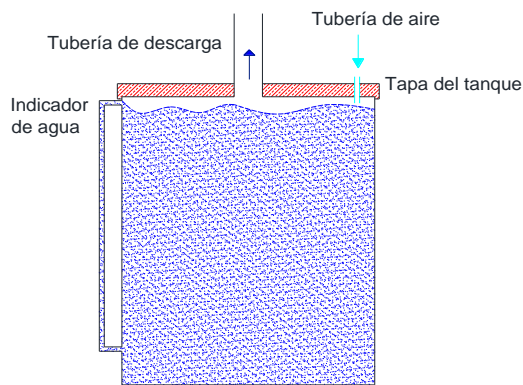


Figura 17. Tanque cilíndrico vertical. Fuente: Autor

La cámara de la bomba va a estar sumergida, en la parte inferior como se indica en la figura 18, se diseñará una tapa en la parte inferior, para el montaje de la válvula de retención TR1 y la válvula de pie, el diámetro de esta tiene que ser  $> d_i$  para facilitar el ingreso del agua.

En la parte superior de la cámara se diseñará una tapa y sobre esta se montará la válvula de retención TR2, en la parte inferior se conectará la tubería de descarga que va introducida dentro de la cámara y en la parte superior se ensamblará la línea de descarga hasta la superficie del tanque.

La tubería de aire se instalará en la parte lateral derecha de la cámara.

La tubería de descarga inicia desde la cámara interna de la bomba luego se conecta a la tapa del tanque y de ahí llega al reservorio que se encuentra en la parte alta del bloque.

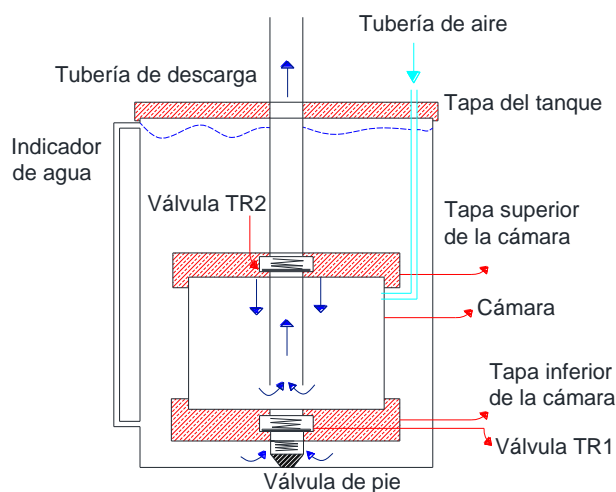


Figura 18. Descripción de la bomba neumática Fuente: Autor

Para bombear 1L de agua se propone que la longitud de la cámara y la tubería de descarga que va dentro de la misma (L) sea 0.25m, dejando en la parte inferior de esta con respecto a la válvula de retención TR1 (1 cm) para la entrada del agua, así como indica la figura 19.

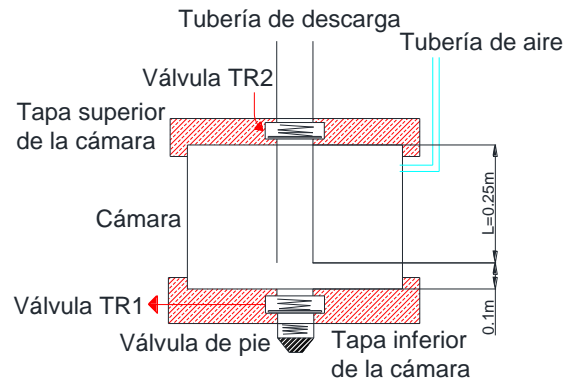


Figura 19. Geometría de diseño de la cámara Fuente: Autor

Los componentes que conforman el sistema de bombeo son:

- Cámara interna de la bomba
- Tubería de descarga
- Accesorios de tubería pvc
- Válvulas de retención
- Válvula de pie
- Tubería de aire
- Electroválvulas
- Controlador semiautomático
- Compresor
- Reservorio
- Reservorio para la sumersión de la bomba neumática

A continuación, se muestra en la figura 20 un esquema de la instalación del prototipo.

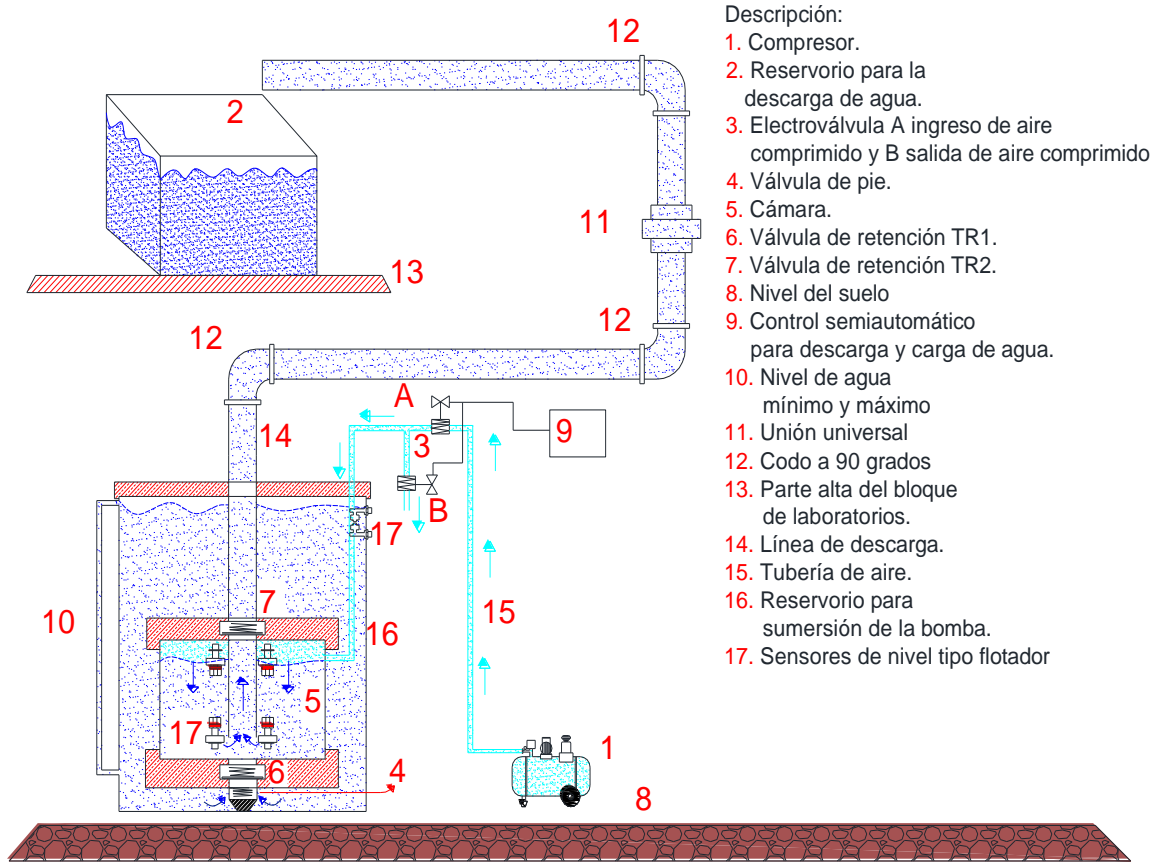


Figura 20. Descripción del sistema de bombeo. Fuente: Autor

Una vez conocido los componentes que conforman este prototipo, se describe el funcionamiento del sistema de bombeo.

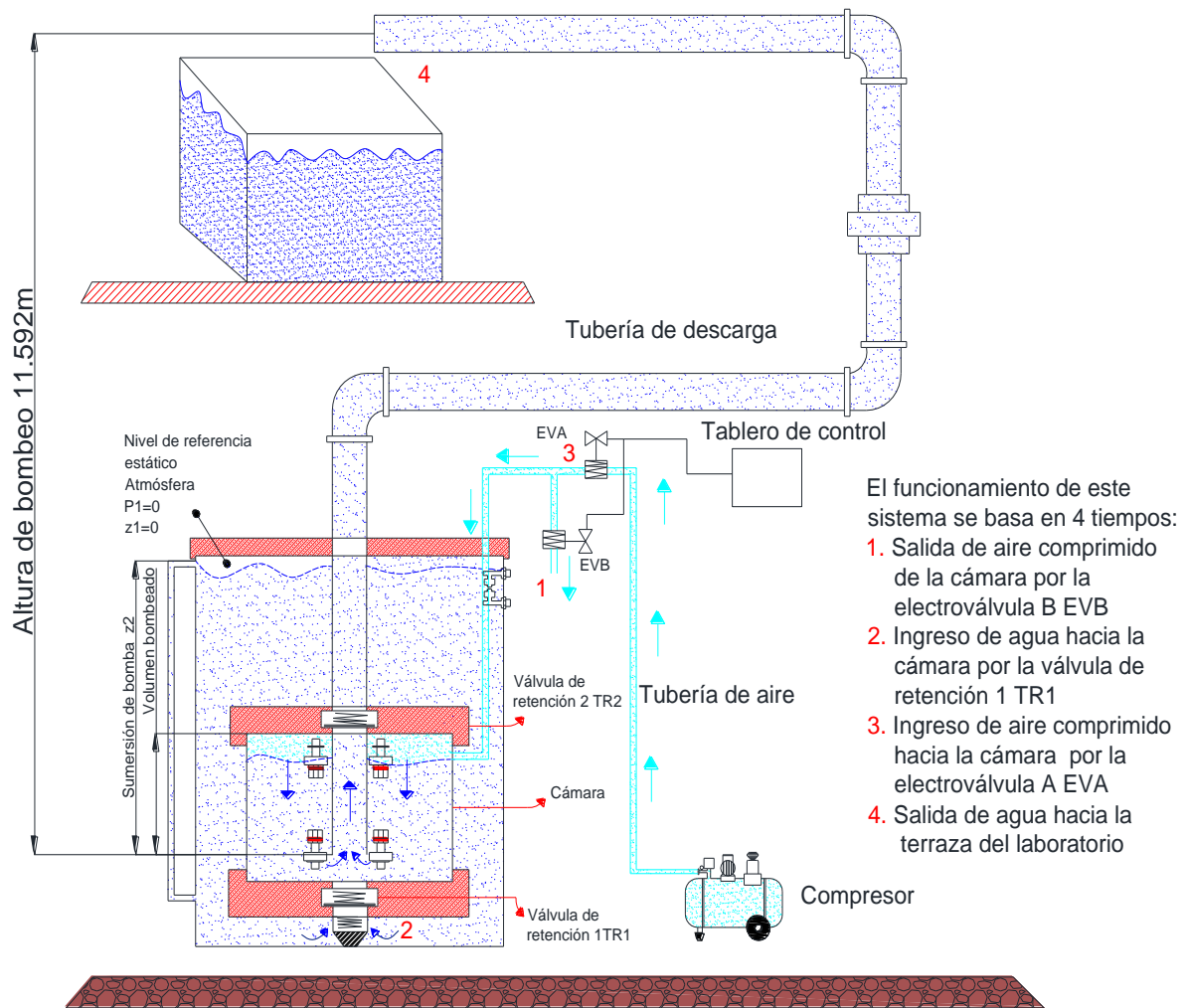


Figura 21. Esquema de funcionamiento, sistema de bombeo neumático. Fuente: Autor.

Al comenzar el funcionamiento de la misma, en el punto 1 se deja escapar el aire comprimido que se encuentra en la cámara hacia la atmósfera abriendo la electroválvula B (EVB), en el punto 2 el agua ingresa a la cámara y a la tubería por las válvulas de retención 1 y 2 (TR1, TR2), cuando ha llenado la cámara los sensores de nivel tipo flotador SNA2 y SNB2 cerraron la electroválvula B (EVB), y los sensores SNA1 y SNB1 activan la electroválvula A (EVA), para inyectar aire comprimido desde el compresor (punto 3), esta actúa sobre el agua obligándola a salir por la tubería de descarga a través de la válvula de retención 2 (TR2), a la vez obliga a cerrarse, la válvula (TR1), El agua, por lo tanto, asciende por la cañería hasta la superficie terrestre (punto 4), mientras desciende en la cámara, hasta el nivel inferior. Entonces en ese instante se invierte el sentido en la electroválvula por los sensores de nivel, de modo que la cámara queda



comunicada con la atmósfera, y se cierra la válvula TR2 por el peso del agua contenida en la cañería de esta manera la bomba queda cebada y se reinicia el ciclo.

Los valores aproximados del sector donde se construirá la bomba neumática son:

- El valor medio de la temperatura ambiente registrado es (17 °C) ([INAMHI], 2015) equivalente a (290K), en la tabla 7 se encuentran los parámetros del agua a dicha temperatura.
- La presión atmosférica promedio según (INAMHI, 2019) es de 787.21 hpa que es equivalente a 11.41 psi (anexo 3).
- A la temperatura media establecida en el lugar de trabajo se debe tener en cuenta los siguientes parámetros del agua:

Tabla 7. Parámetros del agua a la temperatura ambiente donde se construirá la bomba (17°C)

Parámetros del agua a 17°C	
Densidad ( $\rho_{H2O}$ )	999.2 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad dinámica ( $\eta_{H2O}$ )	1.09x10 <sup>-3</sup> N/m <sup>2</sup> .s
Peso específico ( $\gamma_{H2O}$ )	9802 N/m <sup>3</sup>

Fuente: (Mott, 2006)

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Diseño del Sistema de Bombeo

#### 6.1.1. Diseño y selección de componentes

##### 6.1.1.1. Componentes hidráulicos

- **Diseño de la tubería de descarga**

Según (PFCIQ., 2014) la velocidad recomendada para fluidos en tuberías es de 1.2 a 3 m/s, ver tabla 6.

Para calcular el diámetro interno de la tubería se seleccionó una velocidad intermedia de la recomendada de 2.1 m/s, como ya se conoce el caudal a bombear 5 L/min (8.333(10)<sup>-5</sup>m<sup>3</sup>/s), entonces de la ecuación 28 se obtuvo:

$$d_i = \sqrt{\frac{Q_b * 4}{\pi * v_{f\_recomendada}}} = \sqrt{\frac{8.333(10)^{-5} \frac{m^3}{s} * 4}{\pi * 2.1 \frac{m}{s}}} = 7.1(10)^{-3} m = 0.28''$$

Se seleccionó el diámetro nominal de tubería comercial, tipo de material de PVC, por su resistencia a la oxidación y factores económicos, de acuerdo al catálogo de Plastigama.

$d_{nominal} = \frac{1}{2}''$ ;  $d_i = 13.54mm$ , espesor  $e_{t-d} = 3.73mm$ , diámetro exterior  $d_e = 21mm$ , presión de trabajo 1Mpa, ver anexo 4.

Una vez obtenido el diámetro de la tubería de descarga se vuelve a calcular la velocidad real del fluido.

$$v_{r-f} = \frac{Q_b}{A} = \frac{8.333(10)^{-5} \frac{m^3}{s} * 4}{\pi * (0.01354m)^2} = 0.578 \frac{m}{s}$$

- **Válvulas de retención**

La bomba neumática posee dos válvulas, entonces de acuerdo al caudal propuesto de 5 L/min, cada válvula debe dejar pasar 7200 L/día.

Para ello se seleccionó las válvulas de la Bomba ZM 51 MAXXI (ZM, s.f.), la cual está diseñada para un rango normal, flujo máximo de 22200 L/día ver anexo 5, este tipo de bomba poseen dos pistones por ende cada válvula está diseñada para un flujo promedio de 11100 L/día.

- **Válvula de pie**

De acuerdo a la propuesta de diseño el diámetro de la válvula de pie debe ser mayor que el de la línea de descarga para facilitar el ingreso del agua a la cámara, se seleccionó el diámetro comercial de la válvula de pie de  $\frac{3}{4}''$ , tipo de material PVC ver anexo 6.

- **Diseño de la cámara**

- **Cálculo del diámetro**

El volumen en la cámara a bombear está comprendido por la longitud de la tubería dentro de la cámara ( $L$ ), el diámetro de la cámara ( $D_c$ ) y el diámetro exterior de la tubería de descarga ( $d_e$ ), de la ecuación 7 se obtiene.

$$V_b = \frac{\pi L}{4} (D_c^2 - d_e^2) \text{ se despeja } D_c$$

$$D_c = \sqrt{\frac{V_b * 4}{\pi L} + d_e^2} = \sqrt{\frac{1(10)^{-3} m^3 * 4}{\pi * 0.25m} + (0.021m)^2} = 0.07439m = 74.39mm$$

Se obtuvo un diámetro de 74.39 mm, se seleccionó el tipo de material de HG (hierro galvanizado) por factores económicos, el diámetro nominal comercial para la cámara es de 3", ver anexo 7, en la figura 22 se muestra la geometría de la cámara.

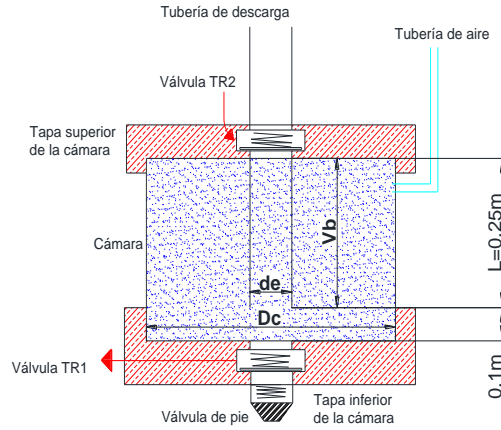


Figura 22. Geometría de la cámara Fuente: Autor

- **Diseño de la tapa inferior**

Para mayor facilidad de ensamblar la tapa, se realizó el diseño de un accesorio tipo unión que acorde a la geometría y material de la cámara, como indica la figura 23.

El material para la tapa inferior es de HG (hierro galvanizado). El diámetro se dimensionó de acuerdo a la geometría obtenida de la cámara de 3", el diseño de la base para la válvula de retención TR1 se obtuvo de acuerdo a la información que brinda el catálogo de las bombas ZM y el diámetro para la entrada del agua hacia la cámara se lo realizó mediante la válvula de pie seleccionada anteriormente.

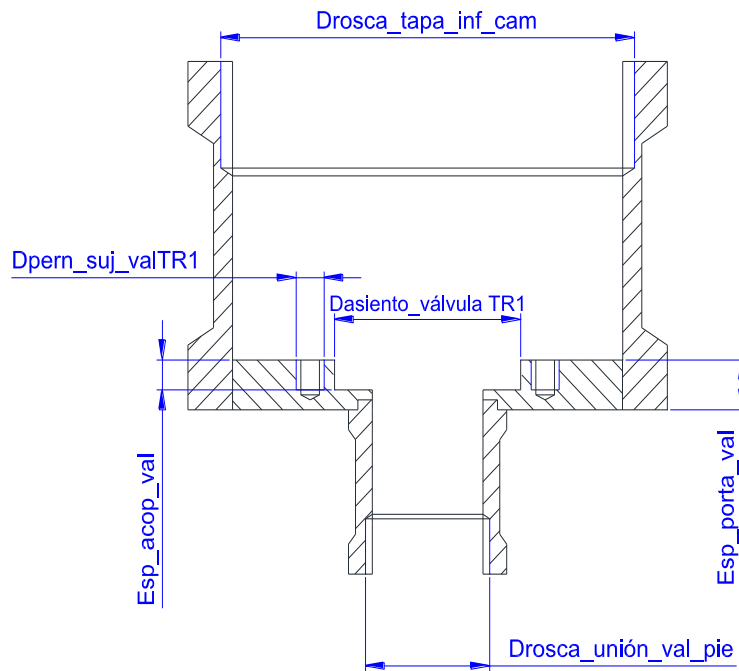


Figura 23. Geometría de diseño de la tapa inferior de la cámara. Fuente: Autor

- **Diseño de la tapa superior**

Así mismo el diseño para esta tapa es del mismo material y diámetro que la anterior, la geometría es de acuerdo a los accesorios seleccionados anteriormente: como la válvula de retención TR2 para la base de la misma y el diámetro la para la tubería de descarga dentro de la cámara.

En la parte superior de la tapa se ensambló dos bushing reductores uno de 3" a 1 ½" y el otro de 1 ½" a ½" para el acople de la línea de descarga hacia el reservorio, ver figura 24.

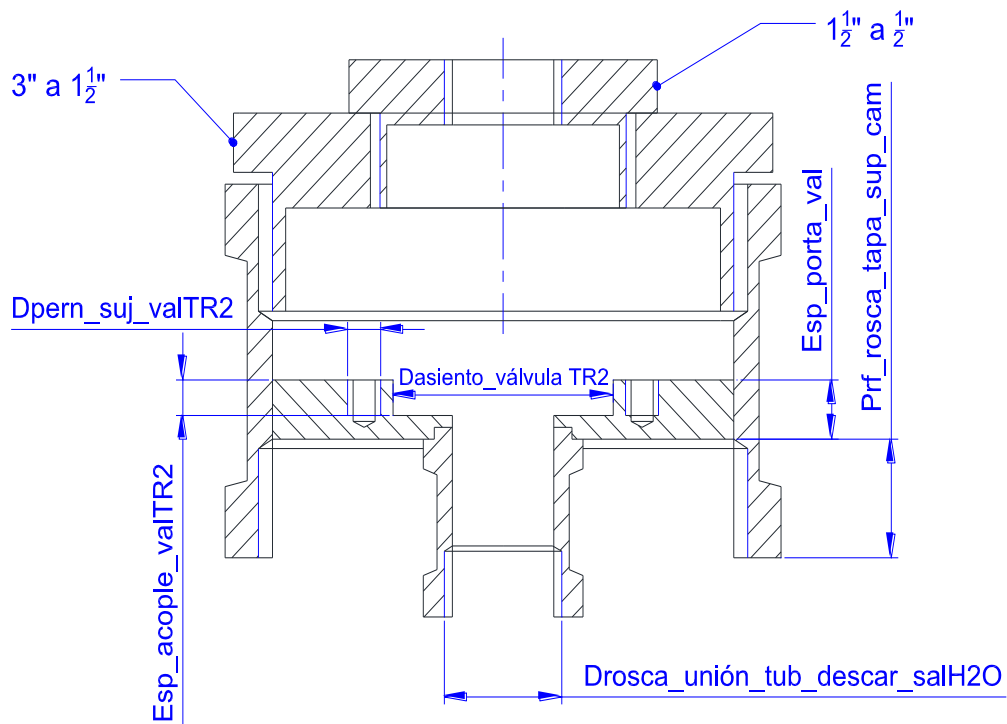


Figura 24. Geometría de diseño de la tapa superior de la cámara. Fuente: Autor

- **Diseño del tanque**

Para que comience a llenar la cámara de agua se procede a calcular la columna de agua mínima que debe tener el tanque donde va sumergida la bomba, ver figura 25.

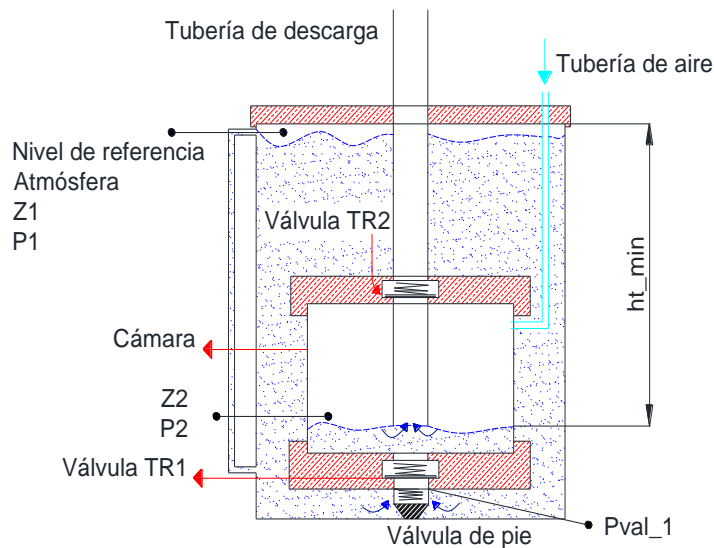


Figura 25. Diseño del tanque. Fuente: Autor

La columna mínima de agua se dedujo de la ecuación 33 de Bernoulli.

Para ello se consideró la bomba sumergida en un tanque, las pérdidas de energía que hay en la válvula de retención TR1 y en la válvula de pie.

$$\frac{P_{r-1}}{\gamma_{H2O}} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_{L_s} = \frac{P_{r-2}}{\gamma_{H2O}} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_{r-val-1}}{\gamma_{H2O}}$$

Sin embargo,  $P_{r-1} = P_{r-2} = 0$ ,  $v_1$  es aproximadamente igual a cero.

$$Z_1 = 0 \text{ y } Z_2 = -h_{t-min}$$

Se despeja  $h_{t-min}$ , la altura mínima que debe tener el tanque para empezar a vencer la presión que hay en la entrada de la válvula de retención y así pueda ingresar el fluido hacia la cámara.

$$h_{t-min} = \frac{P_{r-val-1}}{\gamma_{H2O}} + H_{L_s} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Mediante la ecuación 29 se determina la presión que ejerce el peso de la bola sobre el área por donde ingresa el agua hacia la cámara en la válvula TR1.

Para la siguiente presión se consideró los siguientes datos:

Masa de la bola que se encuentra en la válvula para el paso del flujo  $m_b = 0.14kg$

Diámetro por donde ingresa el fluido de la válvula de retención TR1  $D_{v1} = 0.014m$

$$P_{r-val-1} = \frac{P_{bola\_TR1}}{A_{vl\_TR1}} = \frac{0.14kg * 9.81 \frac{m}{s^2}}{\frac{\pi(0.014m)^2}{4}} = 8921.77 \frac{N}{m^2}$$

Según (PFCIQ., 2014) la velocidad recomendada a la entrada de una bomba es de  $v_{f\_r\_e\_b} = 0.3 \text{ a } 0.9 \text{ m/s}$ , ver tabla 6.

Para calcular la columna de agua mínima se seleccionó una velocidad intermedia de la recomendada de 0.6 m/s.

Las pérdidas por accesorios en la entrada de la bomba como lo es la válvula de pie de 3/4" según (SlideShare, 2012) (ver anexo 2) el coeficiente de resistencia es de:

Válvula de pie 3/4"  $K = 10.5$

$$H_{L_s} = K \frac{(v_{f\_r\_e\_b})^2}{2g} = 10.5 \frac{(0.6 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} = 0.19m$$

Entonces la columna de agua mínima que debe tener el tanque es de:

$$h_{t-min} = \frac{8921.77 \frac{N}{m^2}}{9802 \frac{N}{m^3}} + 0.19m + \frac{(0.6 \frac{m}{s})^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 0.91m + 0.19m + 0.018m = 1.11m$$

Se obtuvo una altura mínima de 1.11m, para este entorno de prueba se propone una columna de agua de 2 m, de un tubo corrugado pvc y diámetro nominal 250mm.

A continuación, se muestra en la figura 26, las dimensiones del sistema de bombeo a instalar.

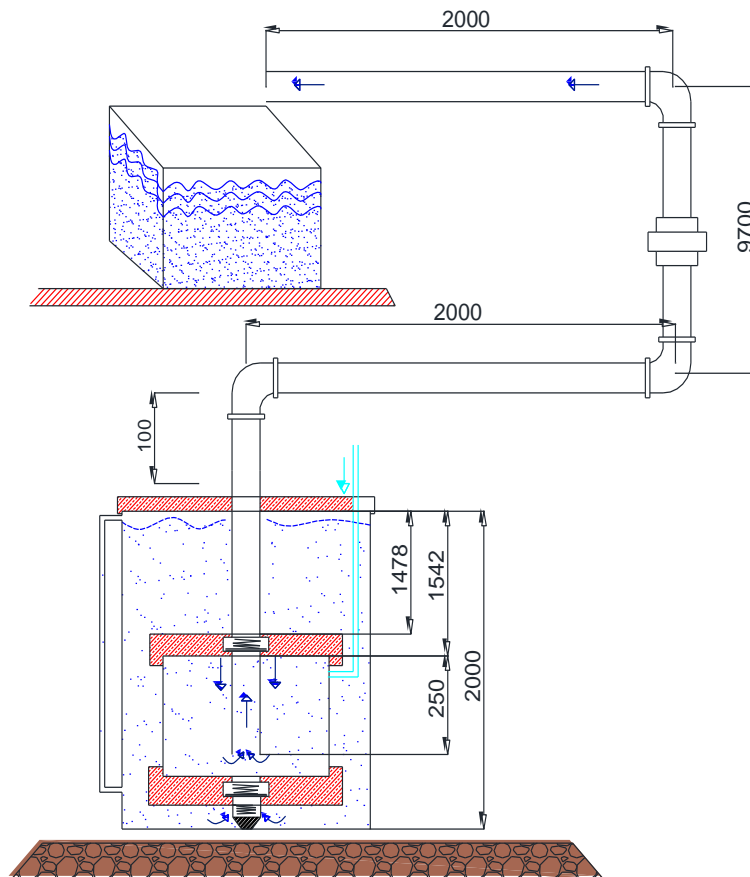


Figura 26. Dimensiones del sistema de bombeo. Fuente: Autor

- **Cálculo de las pérdidas**

Para determinar la Presión de bombeo se determinó primero las pérdidas primarias y secundarias que existen en la tubería de descarga.

Las Pérdidas primarias, se determinó mediante la aplicación de la ecuación 34:

Número de Reynolds

$$NR = \frac{v_{r-f} * d_i * \rho_{H2O}}{\eta_{H2O}} = \frac{0.578 \frac{m}{s} * 0.01354m * 999.2 \frac{kg}{m^3}}{1.09 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}} = 7174.18$$

El fluido se encuentra en régimen turbulento y  $f$  se puede calcular bajo el criterio de P.K. Swamee y A.K. Jain ver anexo 1.

Factor de fricción:

$$f = \frac{0,25}{\left( \log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7 * d_i} + \frac{5,74}{NR^{0,9}} \right) \right)^2}$$

El valor de la rugosidad del material tubería de plástico PVC según (Mott, 2006) es de  $3 \times 10^{-7}m$ , ver anexo 8.

$$f = \frac{0,25}{\left( \log_{10} \left( \frac{3 \times 10^{-7}m}{3,7 * 0.01354m} + \frac{5,74}{7174.18^{0,9}} \right) \right)^2} = 0.034$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 35 se obtuvo las pérdidas primarias por fricción:

Donde:

$$l = 15.592m$$

$$H_{L(P)} = f * \frac{l}{d_i} * \frac{v_{r-f}^2}{2g} = 0.034 * \frac{15.592m}{0.01354m} * \frac{\left(0.578 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.66m$$

Pérdidas secundarias, la cual se utilizan los siguientes accesorios con sus respectivos coeficientes de resistencia (anexo 2):

$$3 \text{ codos estándar a } 90^\circ: \quad k = 30f$$

$$\text{Bushing reductor de } 3'' \text{ a } 1 \frac{1}{2}'' \quad k = 0.35$$

$$\text{Bushing reductor de } 1 \frac{1}{2}'' \text{ a } \frac{1}{2}'' \quad k = 0.44$$

Según (SlideShare, 2012) el coeficiente para la válvula de retención TR2 es de  $k = 2.7$



Y mediante la ecuación 36 se obtuvo las pérdidas secundarias:

$$H_{L(S)} = \sum K * \frac{v_{rf}^2}{2g} = ((3)30 * 0.034) + (0.35) + (0.44) + (2.7) * \frac{(0.578 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$= 0.11m$$

Debido al rozamiento del fluido con la tubería y al acople de accesorios las pérdidas de energía total son:

$$H_L = H_{L(P)} + H_{L(S)} = 0.66m + 0.11m = 0.77m$$

Remplazando estos valores en la ecuación 32, se obtuvo la presión que deberá vencer la bomba por efecto de la altura y las pérdidas de bombeo,

Donde:

$$h_b = 9.8m + 0.25m + 1.542m$$

$$P_{r_b} = \gamma_{H2O} * (h_b + H_L) = 9802 \frac{N}{m^3} * (11.592m + 0.77m) = 121172.324 \frac{N}{m^2}$$

- **Presión en la fuente de aire comprimido**

La presión  $P_{r_b_a}$  en la fuente de aire comprimido, será la necesaria para equilibrar la columna de agua, más la presión atmosférica, cuando el agua a llegado a su nivel mínimo en la cámara de la ecuación 10 se obtuvo:

$$P_{r_b_a} = P_{r_b} + P_{r_{atm}} = 121172.324 \frac{N}{m^2} + 78721 \frac{N}{m^2} = 199893.324 \frac{N}{m^2} = 29Psi$$

- **Cálculo del espesor de la cámara**

Se va a realizar una verificación del espesor  $e_c$  seleccionado ya que la cámara va a tener un fluido a presión y está sometido a fuerzas de tensión tangencial o circunferencial, para ello se realizó el cálculo de cilindros de paredes delgadas.

El esfuerzo máxima del material es de  $21.2 \frac{kgf}{cm^2} = 2079009.8Pa = \sigma_t$  (HENRRYASH, 2016)

Remplazando estos valores en la ecuación 37 se obtuvo:

$$\sigma_t = \frac{P_{r_b_a} * D_c}{2e_c}$$

Se despeja el espesor de la cámara  $e_c$

$$e_c = \frac{P_{r-b,a} D_c}{2\sigma_t} = \frac{199893.324 \times 0.08}{2 \times 2079009.8} = 3.84(10)^{-3} m = 3.84 mm$$

El espesor seleccionado es de 4.45mm, lo cual indica que la cámara si está fabricada para trabajar a la presión de bombeo requerida, con un coeficiente de seguridad de:

$$\eta_s = \frac{4.45 mm}{3.84 mm} = 1.15$$

### 6.1.1.2. Componentes Neumáticos

- **Diseño de la tubería de aire comprimido**

Según (Villanueva Martinez & Alfredo, 1984), Los diámetros de las tuberías de agua y aire deben adecuarse a los caudales bombeados, la relación entre los diámetros de las tuberías de agua y aire  $D/d$ , debe alcanzar valores comprendidos entre 3 y 4 en la tabla 3 se puede observar que para menores caudales la relación es:

$$\frac{d_i}{d_{aire}} = 4 \quad \text{entonces}$$

$$d_{aire} = \frac{D_{agua}}{4} = \frac{0.01354 m}{4} = 3.385(10)^{-3} m = 3.385 mm$$

Se obtuvo una tubería con diámetro interior de 3.385mm por lo que, teniendo en cuenta los accesorios de la instalación se seleccionó el diámetro comercial nominal ver anexo 9.

$$d_{aire} = \frac{3}{16} "$$

Para la adaptación de la tubería de aire hacia la cámara de la bomba se seleccionó el adaptador rápido comercial codo a  $90^\circ$ ,  $\frac{5}{16} "$  de manguera  $\times \frac{1}{4} "$  de rosca, ver anexo 10.

- **Selección del compresor**

Según (Electric, 2010), el número promedio de arranques por día en un periodo de meses o años influye en la vida de un sistema sumergible de bombeo. El exceso de ciclos afecta tanto la vida de los componentes de control, arrancadores, reveladores y condensadores provocando también sobrecalentamiento del motor. Para ello en la selección del compresor se basa en el número de arranques de un motor al día, por lo tanto el número

máximo de arranques de un motor en un periodo de 24 horas es 100, para más detalle ver anexo 12.

En la tabla 8 se muestra un análisis que se realizó del catálogo de compresores Porten (PORTEN, 2019) de diferente capacidad de volumen y potencia para determinar el número de arranques que realizará de acuerdo a los datos propuestos y obtenidos del sistema de bombeo.

Tabla 8. Número de arranques de un motor en un periodo de 8 horas de trabajo.

Potencia (Hp)	Capacidad (L)	Arranques máximos en 8h	# de arranques calculados del compresor al día
2	24	33	29.14
2.5	50	33	14
2	80	33	8.75
3	200	33	3.5
5	300	33	2.33

Fuente: varios, adaptación el autor.

Como se puede observar a mayor volumen del tanque de la reserva, el compresor va a requerir menos arranques, como el sistema de bombeo propuesto es de menor escala y por factores económicos se debe seleccionar un compresor de baja capacidad que esté acorde a las instalaciones del prototipo y que cumpla con los parámetros investigados.

De acuerdo al análisis realizado, se seleccionó el compresor de 2Hp con una capacidad de 24L la cual está apto para abastecer al sistema de bombeo ya que no excede los parámetros definidos sobre el número de arranques máximo que debe tener el motor, (para más detalles del compresor ver anexo 13).

A continuación, se muestra el desarrollo del compresor seleccionado para determinar el número de arranques.

Para determinar el número de arranques que va a tener de forma diaria se va a calcular el número de moles de aire necesarios para evacuar el volumen de agua que se encuentra en la cámara, para ello se emplea la ecuación general de los gases lo cual se trabaja con presiones y temperaturas absolutas, para el valor de (R) del aire ver anexo 11.

La presión absoluta a trabajar es la que hay en la fuente de aire comprimido para bombear.

$$P_{r\_b\_a} = 199893.324 \frac{N}{m^2} \text{ (29psi)}$$

La temperatura a trabajar es la del sector donde estará instalada el sistema de bombeo según ([INAMHI], 2015).

$$T_{amb\_a} = 17^\circ C + 273 = 290K \text{ (sector Loja)}$$

El volumen de agua que se encuentra en la cámara es de  $0.001m^3$ , entonces el número de moles para evacuar el litro de agua de la cámara es de:

$$n_c = \frac{P_{r\_b\_a} * V_b}{T_{amb\_a} * R} = \frac{199893.324 \frac{N}{m^2} * 1(10)^{-3}m^3}{290K * 8.31447 \frac{J}{mol.K}} = 0.082 \text{ moles}$$

El compresor va a comenzar a cargar cuando ha llegado a su presión mínima y va a pagarse cuando llegue a su presión máxima, entonces se procede a calcular el número de moles que fue entregado por la fuente de aire comprimido para bombear.

Mediante la ecuación 31 se determinó la presión máxima absoluta del compresor cuando la presión máxima es de 116 psi.

$$P_{r\_max\_a} = 799792.16 \frac{N}{m^2} + 78721 \frac{N}{m^2} = 878513.16 \frac{N}{m^2}$$

La presión mínima absoluta que va a trabajar el compresor va hacer la requerida para bombear.

$$P_{r\_min\_a} = 199893.324 \frac{N}{m^2} \text{ (29psi)}$$

Luego se determinó el número de moles a la presión máxima y mínima que va a trabajar el compresor.

$$\text{Donde el volumen del compresor es: } v_{1-comp} = v_{2-comp} = 0.024m^3$$

Número de moles a la presión máxima

$$n_1 = \frac{P_{r\_max\_a} * V_{1-comp}}{T_{amb\_a} * R} = \frac{878513.16 \frac{N}{m^2} * 0.024m^3}{290K * 8.31447 \frac{J}{mol.K}} = 8.744 \text{ moles}$$

Número de moles a la presión mínima

$$n_2 = \frac{P_{r\_min-a} * V_{2-comp}}{T_{amb-a} * R} = \frac{199893.324 \text{ N/m}^2 * 0.024\text{m}^3}{290\text{K} * 8.31447 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}} = 1.99\text{moles}$$

Los números de moles que se usaron para bombear son:

$$\Delta n = n_1 - n_2 = 8.744\text{moles} - 1.99\text{moles} = 6.75\text{moles}$$

Una vez obtenido los números de moles utilizados para el bombeo se procede a calcular los ciclos que va a realizar dicha carga de aire en el compresor, anteriormente se obtuvo que por cada ciclo de bombeo se utilizan 0.082 moles entonces:

$$\#ciclos = \frac{\Delta n * 1ciclo}{n_c} = \frac{6.755\text{moles} * 1ciclo}{0.082\text{moles}} = 82.37\text{ciclos}$$

Como ya se conoce cuántos ciclos va a realizar la carga de aire, ahora se calcula el tiempo que va a durar dicha carga, como el sistema va a realizar 5 ciclos/min

$$t_{a\_c} = \frac{\#ciclos * 1min}{5 \text{ ciclos}} = \frac{82.37\text{ciclos} * 1min}{5\text{ciclos}} = 16.47min = 0.2745\text{horas}$$

Entonces el compresor va hacer un arranque por cada 0.274 horas, debido a los datos propuestos el compresor va a trabajar 8 horas diarias, entonces el número de arranques por día es:

$$\#a\_c = \frac{8h}{\text{día}} * \frac{1\text{arranque}}{0.2745\text{horas}} = 29.14 \cong 29 \text{ arranques por día}$$

De lo anterior se observa que el compresor seleccionado está por debajo de los arranques máximos permisibles 33.

- **Electroválvulas**

Para controlar el paso del fluido lo que es aire y agua en el sistema de bombeo se accionará mediante las válvulas de solenoide.

Para controlar la descarga y carga de agua en la cámara mediante el aire comprimido, Las electroválvulas que se seleccionó deben trabajar a una presión máxima de 116 psi (compresor) y para el paso del agua en las condiciones de nivel estático en el tanque esta electroválvula debe trabajar a la presión que suministra la red de agua en el laboratorio presión medida (48 psi).

A continuación, se describe cada uno de los equipos a controlar:

**Electroválvula (A), inyección de aire hacia la cámara (ver anexo 14).**

Voltaje: 12/24 V

Presión de trabajo: 0.3-10 Bar (145psi)

**Electroválvula (B) de descarga hacia la atmósfera (ver anexo 14).**

Voltaje: 12/24 V

Presión de trabajo: 0.3-10 Bar (145psi)

**Electroválvula (C) carga de H<sub>2</sub>O al tanque (ver anexo 15).**

Voltaje: 110 V

Presión de trabajo: 0.5-7 kgf/cm<sup>2</sup> (99.56 psi)

**6.1.2. Tiempo de descarga de la bomba.**

A continuación, se estima el tiempo necesario para descargar el volumen de agua en la cámara por cada ciclo de bombeo.

De acuerdo a la información que brindan las bombas ZM ver anexo 5, la válvula de retención seleccionada permite el paso de caudal de 0.1284 L/seg, con base a ese dato se estima que el tiempo en evacuar el litro de agua de la cámara debe ser:

$$t_{d\_b} = \frac{V_b}{Q_{vl\_TR2}} = \frac{1 L}{0.1284 \frac{L}{seg}} = 7.78seg$$

Entonces para un caudal de 5 L/min, la bomba va a realizar 5 cicl/min, en cada ciclo va a requerir 7.78 seg para bombear 1L de agua y para que la cámara se vuelva a llenar el tiempo de recuperación máximo debe ser 4.22 seg.

**6.1.3. Tiempo de recuperación en la cámara**

Es aquel considerado, una vez que termina el proceso de descarga y se libera la presión que se encuentra dentro de la cámara, nuevamente vuelve a ingresar el agua hacia ella para continuar con los ciclos de bombeo, el fluido entra con una velocidad que está en función de la columna de agua que se encuentra sobre la bomba.

A continuación, se estima el tiempo de recuperación promedio basado en dos tipos de análisis, el primero teórico bajo condiciones de reserva estable y el segundo experimental bajo condiciones de reserva variable.

### 6.1.3.1. Tiempo teórico

Para calcular el tiempo teórico se consideró la columna de agua estática que se encuentra sobre la bomba, luego se determina la velocidad promedio con la que ingresa el fluido ya que por cada centímetro que se va llenando la cámara la velocidad va disminuyendo hasta llegar al nivel estático, para calcular esta velocidad se dedujo mediante la ecuación 33 de Bernoulli, añadiéndole la presión que ejerce el agua sobre la válvula TR1 para ingresar hacia la cámara ver figura 27.

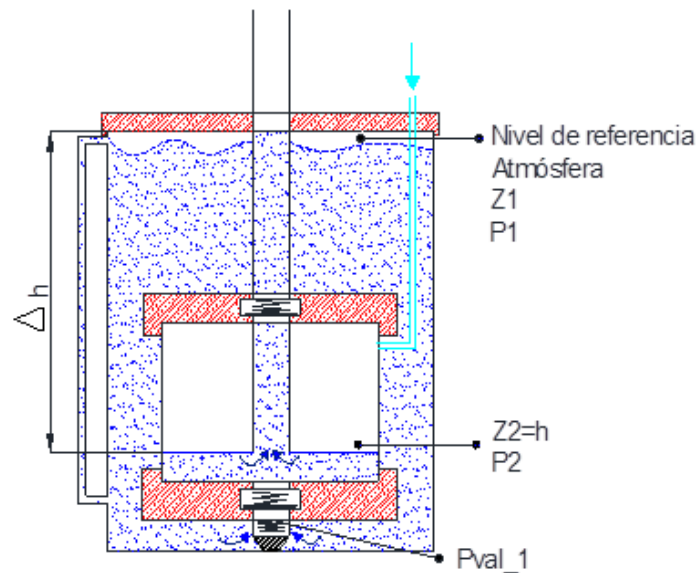


Figura 27. Sistema de flujo de fluido que ilustra la ecuación general de la energía. Fuente: Autor

$$\frac{P_{r_1}}{\gamma_{H2O}} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_L = \frac{P_{r_2}}{\gamma_{H2O}} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_{r_{val_1}}}{\gamma_{H2O}}$$

Sin embargo,  $P_{r_1} = P_{r_2} = 0$ ,  $v_1$  es aproximadamente igual a cero,  $Z_1 = 0$  y  $Z_2 = -\Delta h$  y  $H_L = K \frac{v_2^2}{2g}$  es la pérdida de energía por la válvula de pie, según (SlideShare, 2012) (ver anexo 2) el coeficiente de resistencia es de:

Válvula de pie 3/4"  $K = 10.5$

Se despeja  $v_2$ :

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \left( \Delta h - \frac{P_{r_{val1}}}{\gamma_{H2O}} \right)}{K + 1}}$$

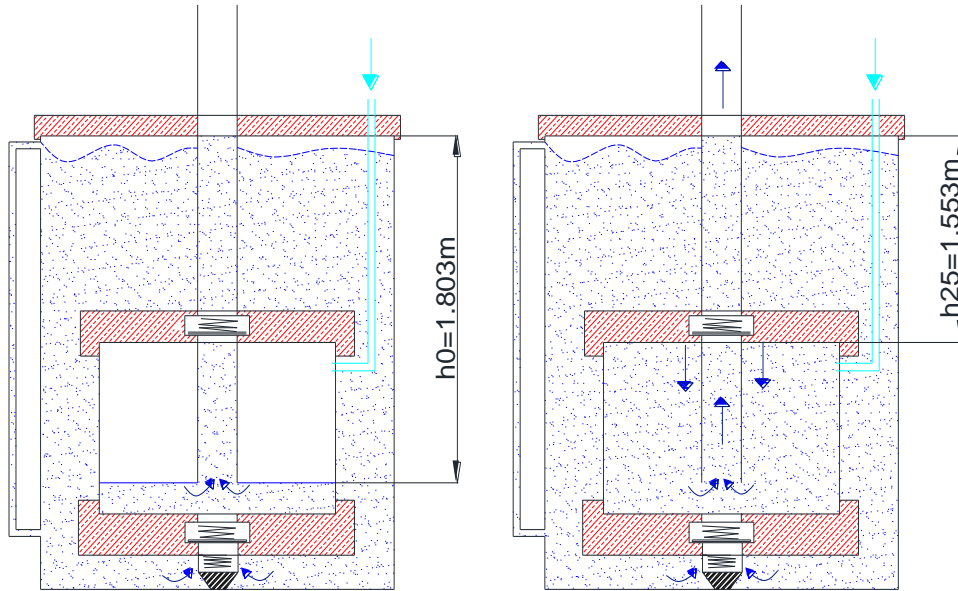


Figura 28. Altura inicial y final de llenado de la cámara a nivel constante. Fuente: Autor.

Para calcular la velocidad promedio con la que ingresa el fluido hacia la cámara se da valores a (h) de 1 cm por cada llenado desde el nivel inicial hasta el nivel final de la cámara como indica la figura 28.

En la tabla 9 se calcula la velocidad por cada centímetro de llenado en la cámara y el caudal con que ingresa el fluido mediante la válvula de retención TR1, donde el área es:

$$A_{vl-TR1} = \frac{\pi D_{v1}^2}{4};$$

$D_{v1} = 0.014m$ , es el diámetro de la válvula de retención TR1.



Tabla 9: Cálculo de la velocidad y el área bajo la curva por cada centímetro de llenado en la cámara.

Diferencia de cabezal (m)		Velocidad (m/s)	Área por donde ingresa el fluido válvula TR2 (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
h1	1,793	1,227	0,0001539	0,0001889
h2	1,783	1,220	0,0001539	0,0001878
h3	1,773	1,213	0,0001539	0,0001867
h4	1,763	1,206	0,0001539	0,0001857
h5	1,753	1,199	0,0001539	0,0001846
h6	1,743	1,192	0,0001539	0,0001835
h7	1,733	1,185	0,0001539	0,0001824
h8	1,723	1,178	0,0001539	0,0001813
h9	1,713	1,170	0,0001539	0,0001801
h10	1,703	1,163	0,0001539	0,0001790
h11	1,693	1,156	0,0001539	0,0001779
h12	1,683	1,148	0,0001539	0,0001767
h13	1,673	1,141	0,0001539	0,0001756
h14	1,663	1,133	0,0001539	0,0001744
h15	1,653	1,126	0,0001539	0,0001733
h16	1,643	1,118	0,0001539	0,0001721
h17	1,633	1,111	0,0001539	0,0001709
h18	1,623	1,103	0,0001539	0,0001697
h19	1,613	1,095	0,0001539	0,0001685
h20	1,603	1,087	0,0001539	0,0001673
h21	1,593	1,079	0,0001539	0,0001661
h22	1,583	1,072	0,0001539	0,0001649
h23	1,573	1,064	0,0001539	0,0001637
h24	1,563	1,055	0,0001539	0,0001624
h25	1,553	1,047	0,0001539	0,0001612

Fuente: Autor

Entonces, la velocidad promedio es la sumatoria de todas las velocidades calculadas por cada centímetro de llenado en la cámara dividida para el número de intervalos dado.

$$\hat{v}_{e\_ca} = \frac{\sum v_T}{25} = \frac{28.491}{25} = 1.139 \frac{m}{s}$$

El caudal promedio que va a ingresar a la cámara es la sumatoria de todos los caudales calculados por cada centímetro de llenado dividido para el número de intervalos dado.

$$\hat{Q}_{e\_ca} = \frac{\sum Q_T}{25} = \frac{0.0043848}{25} = 1.753 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

El tiempo teórico es:

$$t_{teórico} = \frac{V_b}{\hat{Q}_{p\_ca}} = \frac{1 * 10^{-3} m^3}{1.753 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}} = 5.70 \text{ seg}$$

### 6.1.3.2. Tiempo práctico

A continuación, se estima el tiempo promedio práctico necesario para el llenado de la cámara mediante un ensayo experimental, se consideró para ello la sumersión de la bomba a diferentes profundidades.

Se desarrolló 3 pruebas de las cuales la primera fue con la columna de agua sobre la bomba de 1.435m, la segunda a 0.935m y la tercera a 0.435m, ver Anexo 16, de aquellas mediciones se evaluó un promedio de:

$$\hat{t}_{práctico} = 5.3 \text{ seg}$$

### 6.1.3.3. Cálculo del tiempo de recuperación en la cámara

Una vez Obtenido los tiempos práctico y teórico se determina un promedio

$$\hat{t}_{r\_c} = \frac{t_{teórico} + \hat{t}_{práctico}}{2} = \frac{(5.7 + 5.3) \text{ seg}}{2} = 5.5 \text{ seg}$$

Se obtuvo un tiempo de recuperación promedio de 5.5 seg en el llenado de la cámara para condiciones de nivel estático y variable sobre la bomba.

## 6.2. Descripción del Sistema Semiautomático para el Accionamiento de la Bomba Neumática.

El control del sistema en la cámara de la bomba, para la extracción de agua y poder evacuar 5 L/min, conlleva a tener un mecanismo de control semiautomático de todos los dispositivos a controlar, que permita operar de manera continua, sin paras repentinas durante el proceso de bombeo.

La bomba neumática propuesta consta de 2 estados con el siguiente procedimiento:

- El primer estado de carga, la cámara y la tubería de descarga están llenas de agua hasta el nivel estático, el agua ingresa a la cámara y a la tubería de descarga por las válvulas de retención TR1 y TR2 porque estaba abierta la electroválvula (B) que conecta a la atmósfera y cerrada la electroválvula (A) que comunica al compresor.

- El segundo estado de descarga, se invierte el sentido de las electroválvulas (A) y (B), en ese momento se inyecta aire comprimido hacia la cámara, que actúa sobre el agua obligada a salir por la tubería de descarga a través de la válvula de retención TR2, a la vez que obliga a cerrarse TR1. El agua asciende hasta la superficie alta del bloque de laboratorio, mientras desciende en la cámara, hasta el nivel inferior.
- Entonces en ese instante se invierte el sentido de la electroválvula (A) y (B), de modo que la cámara queda comunicada con la atmósfera y se cierra la válvula TR2 por el peso del agua contenida en la tubería de descarga de esta manera la bomba queda cebada y se reinicia el ciclo.

Para efectuar el control manual de este ciclo de bombeo, el sistema estará constituido por los siguientes accesorios de accionamiento, señalización y control.

Accionamiento:

- Electroválvula inyección de aire comprimido (A).
- Electroválvula escape de aire hacia la atmósfera (B).
- Electroválvula para nivel estático en la reserva (C).
- Tres relés ver anexo 21.

En la tabla 10 se muestran las características eléctricas de los accionamientos que componen el sistema de bombeo.

Tabla 10. Características eléctricas de los elementos electromecánicos.

N.º	Detalle	Acronimo	Potencia	Voltaje	Corriente
			(kW)	(V)	(A)
1	Electroválvula inyección de aire comprimido.	EVA	0.008	12 DC	0.6
2	Electroválvula salida de aire a la atmósfera.	EVB	0.008	12DC	0.6
3	Electroválvula para agua (nivel estático reserva)	EVC	0.06	110AC	0.5
4	Relé (electroválvula A)	K1	0.04	110AC	0.3
5	Relé (electroválvula B)	K2	0.04	110AC	0.3
6	Relé (electroválvula C)	K3	0.04	110AC	0.3

Señalización y control:

- Cuatro sensores de nivel magnéticos verticales, ver anexo 17.
- Dos sensores de nivel magnético horizontal, ver anexo 18.
- Una parada de emergencia, ver anexo 19.
- Un selector de dos posiciones, ver anexo 20.
- Cuatro luces piloto.
- Un pulsador NO

A continuación, se muestran las características eléctricas de los accesorios de control:

Tabla 11. Características eléctricas de los accesorios de control:

N.º	Detalle	Acrónimo	Tipo de control		Tensión de trabajo	Corriente de trabajo
			NO	NC	(V)	(A)
1	Sensor de nivel alto 1	SNA1	x		110	0,5
2	Sensor de nivel alto 2	SNA2		X	110	0,5
3	Sensor de nivel bajo 1	SNB1	x		110	0,5
4	Sensor de nivel bajo 2	SNB2		X	110	0,5
5	Sensor de nivel estático 1	SND1		X	110	0,5
6	Sensor de nivel estático 2	SND2		X	110	0,5
7	Selector de dos posiciones	SP	x	X	110	6
8	Parada de emergencia	PE		X	110	3
9	Pulsador	S1	x		110	6

Fuente: Varios. Adaptación el autor.

Equipos de señalización y control a instalar:

En la cámara de la bomba:

- Sensor de nivel (SNA1) y (SNB1), para controlar el llenado de la cámara y activar la electroválvula (A) (inyección de aire comprimido),
- Sensor de nivel dos (SNA2) y (SNB2), para controlar el vaciado de la cámara y activar la electroválvula (B) (escape de aire hacia la atmósfera).

En la parte superior del tanque:

- Electroválvula (A), estado de descarga, para el paso de aire comprimido hacia la cámara.
- Electroválvula (B), estado de carga, salida de aire hacia la atmósfera.
- Electroválvula (C), para el paso de agua hacia al tanque.
- Sensores de nivel (SND1) y (SND2), para conservar el nivel estático del agua en el tanque.

En el tablero de control:

- Una parada de emergencia con el objetivo de interrumpir el proceso para prevenir situaciones que puedan poner en peligro al operario, evitar daños en el sistema de bombeo, etc.
- Selector de dos posiciones mismo que permite el encendido y apagado del sistema de bombeo.
- Relé K1 para abrir y cerrar el paso de aire comprimido de la electroválvula (A).
- Relé K2 para abrir y cerrar el paso de aire hacia la atmósfera de la electroválvula (B).
- Relé K3 para abrir y cerrar el paso de agua hacia el tanque de la electroválvula (C).
- Una luz piloto de color verde para indicar que se encuentra energizado el sistema de control.
- Una luz piloto de color azul para indicar el estado de descarga.
- Una luz de color roja para indicar el estado de carga.
- Una luz de color amarilla para indicar la activación de la electroválvula (C).
- Un pulsador NO para resetear el sistema de bombeo

A continuación, se muestra un esquema de los accesorios de accionamiento, control y señalización a instalar en el sistema semiautomático.

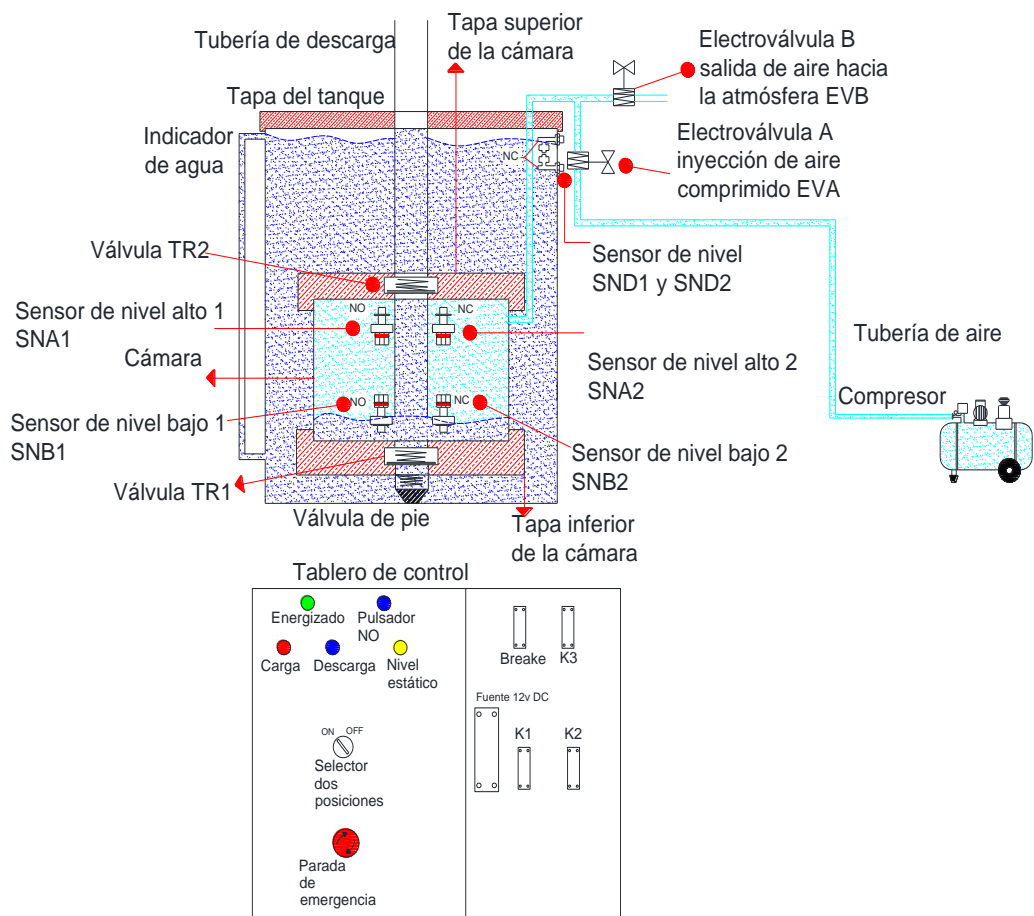
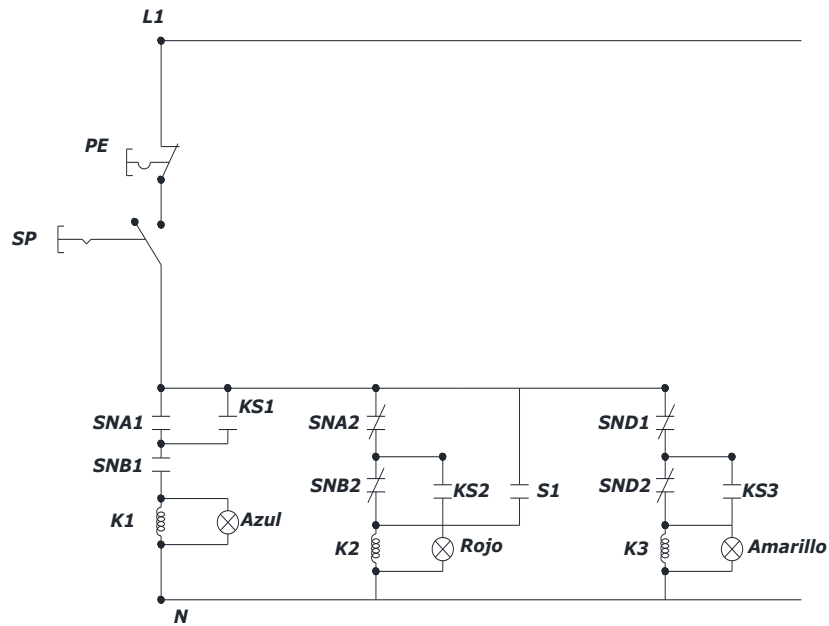


Figura 29: Esquema de los accesorios de accionamiento, control y señalización a controlar. Fuente: Autor.

## 6.2.1. Diagramas eléctricos del sistema de bombeo semiautomático a controlar

### 6.2.1.1. Diagrama de mando



Item	Acrónimo	Tipo de contacto	
		NA	NC
Míni relé sensor SNA1	KS1	x	
Míni relé sensor SNB2	KS2	x	
Míni relé sensor SND2	KS3	x	
Sensor de nivel Alto 1	SNA1	x	
Sensor de nivel Alto 2	SNA2		x
Sensor de nivel Bajo 1	SNB1	x	
Sensor de nivel Bajo 2	SNB2		x
Parada de Emergencia	PE		x
Selector de dos Posiciones	SP	x	
Sensor de nivel estático 1	SND1		x
Sensor de nivel estático 2	SND2		x
Pulsador	S1	x	

**K1: Relé para el encendido de electroválvula EVA**

**K2: Relé para encendido de electroválvula EVB**

**K3: Relé para encendido de electroválvula EVC**



Figura 30. Diagrama de mando del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor.

### 6.2.1.2. Diagrama de fuerza

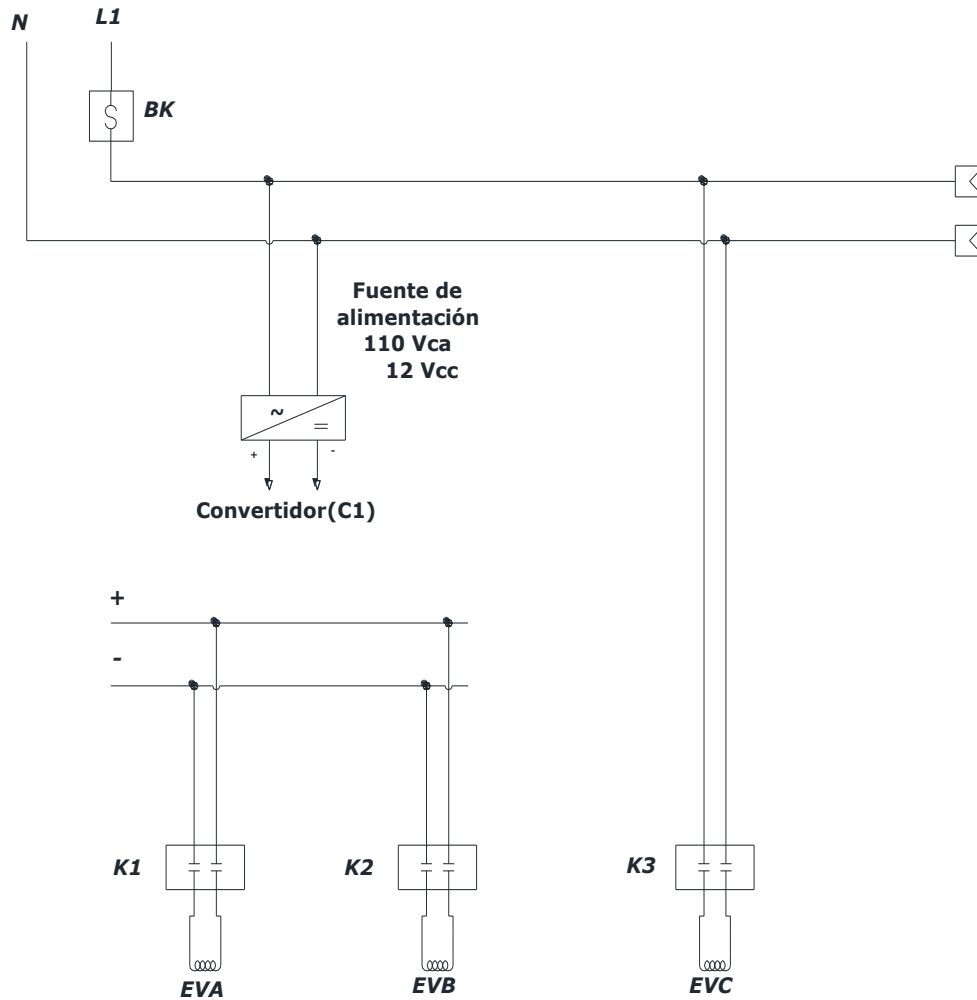


Figura 31. Diagrama de fuerza del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor.

### 6.3. Fase constructiva



Figura 32. Cámara de la bomba. Fuente: Autor.



Figura 33. Unión  $\frac{3}{4}$ " para el acople de la válvula de pie sobre la porta válvulas en la parte inferior (tapa inferior de la cámara). Fuente: Autor.



Figura 34. Porta válvula parte superior (tapa inferior de la cámara). Fuente: Autor



Figura 35. Ensamble de válvula TR1 en la parte superior de la tapa (tapa inferior de la cámara).

Fuente: Autor



Figura 36. Tapa inferior de la cámara. Fuente: Autor.



Figura 37. Unión 1/2" para el acople de la tubería de descarga en la parte interna de la cámara sobre la porta válvula en la parte inferior (tapa superior de la cámara). Fuente: Autor.



Figura 38. Porta válvula parte superior (tapa superior de la cámara). Fuente: Autor.



Figura 39. Porta válvula, parte inferior (tapa superior de la cámara). Fuente: Autor.





Figura 40. Ensamble de válvula TR2 en la parte superior de la tapa (tapa superior de la cámara). Fuente: Autor.



Figura 41. Tapa superior de la cámara y ensamble de tubería de descarga. Fuente: Autor.



Figura 42. Ensamble de sensores SNA1, SNA2, SNB1, SNB2, para el control de carga y descarga del fluido en la parte interna de la cámara. Fuente: Autor.



Figura 43. Bomba neumática ensamblada. Fuente: Autor.



Figura 44. Trípode para bomba neumática. Fuente: Autor.



Figura 45. Base del prototipo. Fuente: Autor.



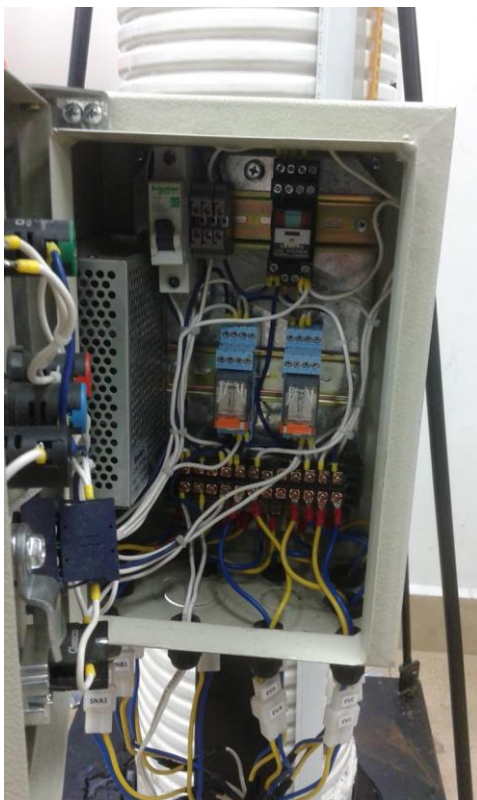


Figura 46. Cableado del tablero de control. Fuente: Autor



Figura 47. Vista de lateral izquierda del prototipo. Fuente: Autor.



Figura 48. Vista de frente del prototipo. Fuente: Autor.

#### 6.4. Validación funcional del sistema propuesto

Para el funcionamiento del sistema de bombeo neumático propuesto, se recurrió a realizar una fase experimental, mediante el accionamiento del prototipo construido, tomando en cuenta las siguientes condiciones a las que se sometió la evaluación del prototipo.

- Lugar: laboratorio de mecánica de fluidos de la carrera de ingeniería Electromecánica de la UNL.
- Presión atmosférica: 11.3Psi
- Temperatura ambiente: 17°C.
- Altura manométrica  $h_b = 11.592m. c. a$

En el funcionamiento del prototipo se evaluó los ciclos de bombeo y el volumen bombeado en función de la carga del compresor.

Tabla 12. Datos obtenidos del prototipo de acuerdo a la carga del compresor.

Ensayo	Altura (m)	Presión de bombeo (psi)	Volumen bombeado (L)	Número de ciclos realizados	Tiempo (min)
1	11.592	29	45.7	41	7.53
2			45	41	7.53
3			46	41	7.53
4			45.5	41	7.53
5			46	41	7.53

Fuente: Autor

Ahora tomando en cuenta por cada ciclo de bombeo:

Tabla 13. Datos obtenidos del prototipo de acuerdo a los datos propuestos.

Modelo de prueba	Ciclos/min	Volumen bombeado (L)	Caudal (L/min)
Dato propuesto	5	1	5
Prototipo	5	0.98	4.9

Fuente: Autor

Analizando el resultado de los datos propuestos con el prototipo se calcula el porcentaje de diferencia entre los dos resultados:

- El porcentaje de diferencia entre el volumen propuesto con el prototipo obtenido en la prueba física es de 2%
- Y el caudal propuesto respecto al obtenido en la prueba física la diferencia es de 2%



Figura 49. Sistema de bombeo en descarga. Fuente: Autor.



Figura 50. Sistema de bombeo en carga. Fuente: Autor.



Figura 51. Volumen recolectado en un ciclo 0.98 litros. Fuente: Autor.



Figura 52. Fuente de aire comprimido a 29 psi. Fuente: Autor

#### 6.4.1. Cálculo del rendimiento del sistema basado en las pruebas de evaluación

Con el volumen de agua bombeado durante toda la carga del compresor, la altura de bombeo y el peso específico del agua se calcula cuánta Energía hidráulica se obtuvo del sistema:

Se determinó un volumen promedio:

$$\hat{V}_b = 45.64L$$

$$E_{hidráulica} = \hat{V}_b * \gamma_{H_2O} * h_b = 0.04564m^3 * 9802 \frac{N}{m^3} * 11.592m = 5185.83J$$

Ahora se calcula cuanto trabajo mecánico (Energía neumática) realizó la fuente de aire comprimido sobre el agua para evacuar los 11.592 m.c.a., hacia el reservorio, la presión máxima de la fuente de aire comprimido es de 115psi y la presión de reinicio es de 29 psi, la capacidad del tanque es de 24L.

$$E_{neumática} = \Delta P * V_{comp} = (792897.4 - 199948.04) \frac{N}{m^2} * 0.024m^3 = 14230.78 J$$

Para el rendimiento del sistema de bombeo neumático, se divide la energía hidráulica obtenida para el trabajo mecánico (Energía neumática) realizado.

$$\eta_{B-N} = \frac{E_{hidráulica}}{E_{neumática}} = \frac{5185.83J}{14230.78 J} = 0.3644 = 36.44\%$$

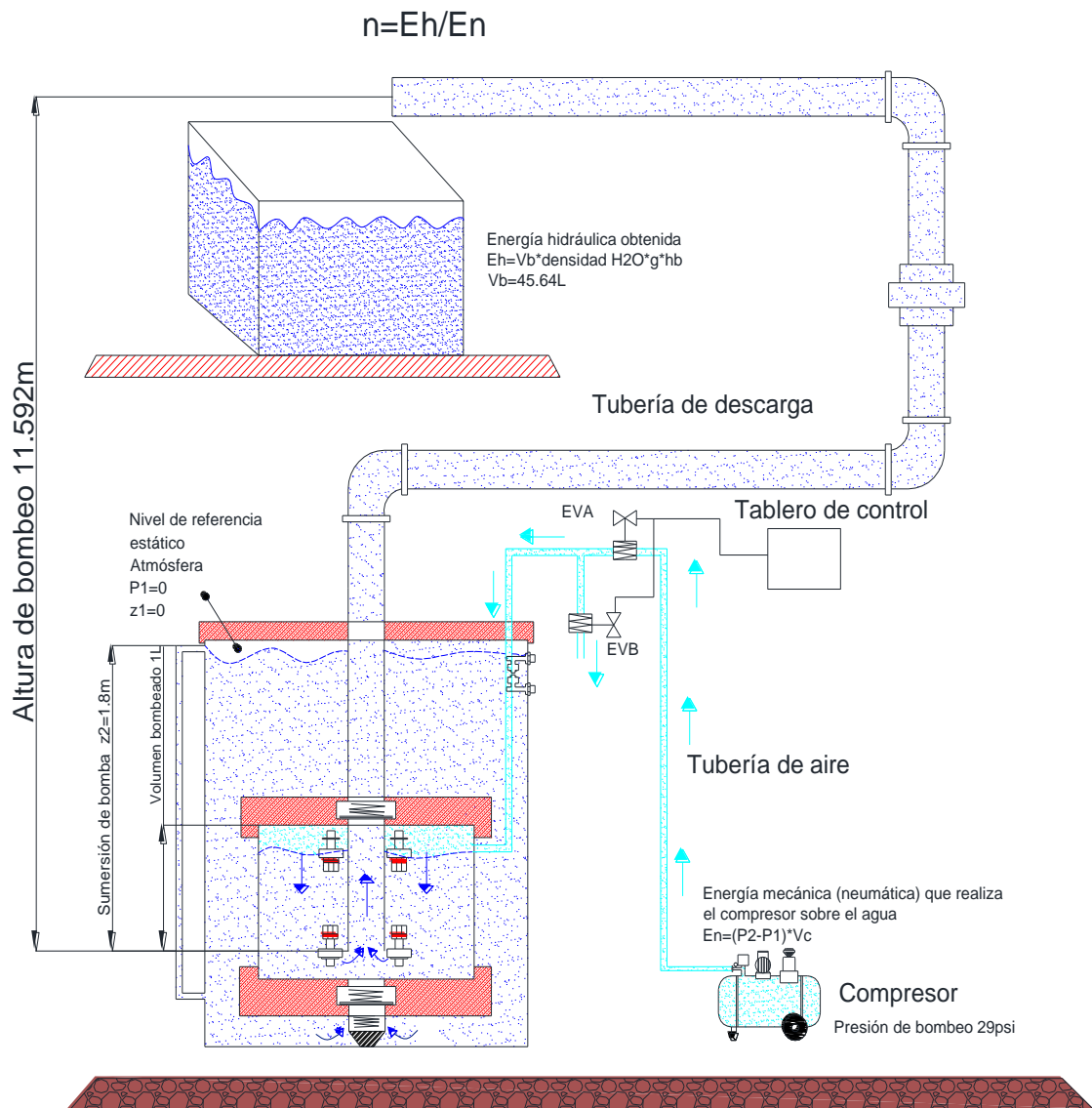


Figura 53. Rendimiento del prototipo. Fuente: Autor

#### 6.4.2. Cálculo del rendimiento total del sistema

Una vez que el compresor ha llegado a su presión mínima se carga nuevamente hasta llegar a su presión máxima, el tiempo que tarda en cargar es de  $t_{c,c} = 2.78\text{min}$ , en este tiempo se midió la corriente (A) y el voltaje (V) por cada 10 segundos luego se determinó una potencia media  $\hat{P}_e$  que ingresa al sistema.

Tabla 14. Intensidad y voltaje del compresor por cada 10 segundos de funcionamiento.

Tiempo (s)	Intensidad (A)	Voltaje (V)	Potencia (w)
0	0	0	0
10	8,94	113,1	1011,114
20	8,92	113,1	1008,852
30	8,92	113,1	1008,852
40	8,89	113,2	1006,348
50	8,86	113,2	1002,952
60	8,79	113,3	995,907
70	8,65	113,4	980,91
80	8,6	113,5	976,1
90	8,43	113,5	956,805
100	8,35	113,5	947,73
110	8,29	113,6	941,744
120	8,21	113,5	931,835
130	8,26	113,5	937,51
140	8,28	113,5	939,78
150	8,36	113,4	948,024
160	8,36	113,4	948,024
167	8,37	113,4	949,158

Fuente: Autor.

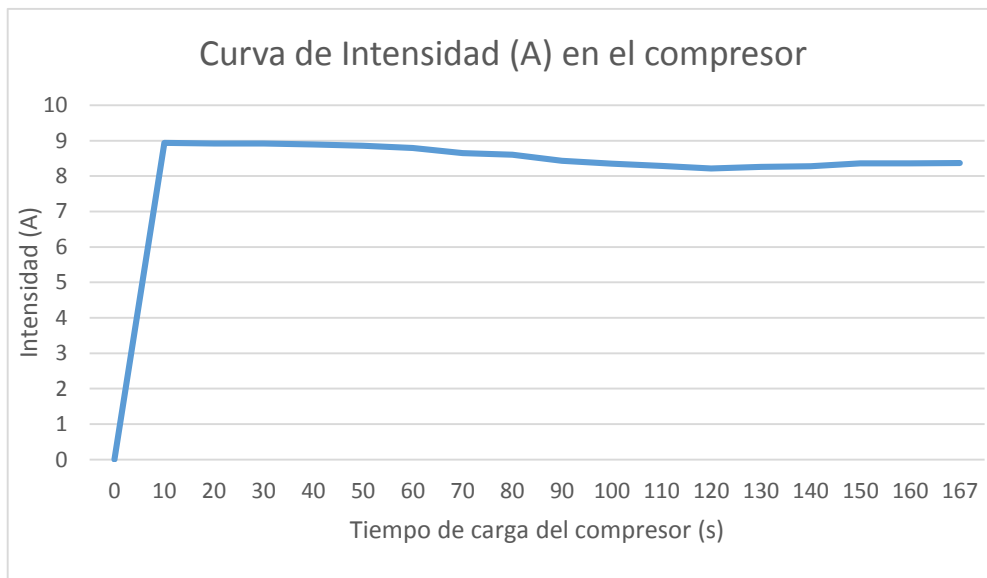


Figura 54. Curva de intensidad en el funcionamiento del compresor.

La potencia media que ingresa al sistema es la sumatoria de todas las potencias calculadas por cada intervalo de tiempo dividido para el número de datos realizados.



$$\hat{P}_e = \frac{\sum P}{17} = \frac{164991.64}{17} = 970.096 \text{ w}$$

Una vez obtenida la potencia se determina la energía media que ingresa al sistema.

$$\hat{E}_e = \hat{P}_e * t_{c_c} = 970.096 \text{ w} * 167 \text{ seg} = 162006.032 \text{ J}$$

El rendimiento total del sistema de bombeo neumático se divide la Energía que ingresa al sistema para la Energía obtenida.

$$\eta_T = \frac{E_{hidráulica}}{\hat{E}_e} = \frac{5185.83 \text{ J}}{162006.032 \text{ J}} = 0.032 = 3.20\%$$

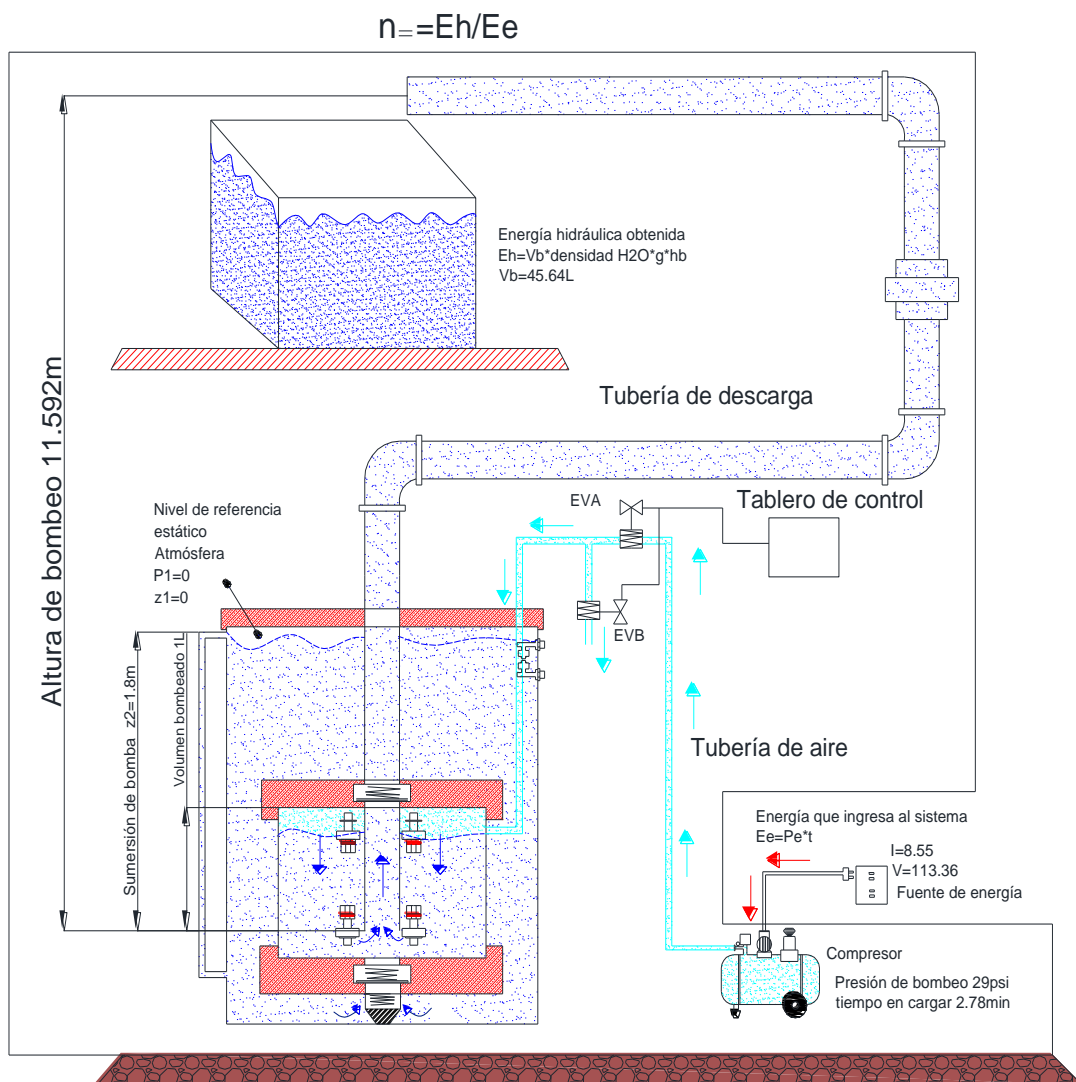


Figura 55. Rendimiento total del sistema de bombeo. Fuente: Autor

### 6.4.3. Consumo de energía en las horas de servicio que presta este sistema de bombeo comparados con una bomba tradicional

Las horas de servicio que presta este sistema de bombeo neumático es de 8 horas al día.

Primero se determinó cuántos arranques hace el compresor en 1 hora de trabajo.

En las pruebas realizadas se observó que el compresor se tarda en cargar desde la presión mínima 29 psi hasta la presión máxima 116 psi 2.78min y en descargar lo que es el proceso de bombeo 7.86 min, en estos intervalos de tiempo se determinó que la fuente de aire comprimido hace 6 arranques en una hora, por lo tanto, la máquina está operando 16.68 min en 1 hora.

Entonces en 8 horas de servicio el compresor trabaja 113.44 min (2.224 horas) y se obtiene un volumen de 2.2m<sup>3</sup>.

Ahora se calcula el consumo de energía en kwh.

Anteriormente se obtuvo la potencia media que ingresa al sistema, esta se multiplica por las horas de trabajo realizadas.

$$CE = \hat{P}_e * tiempo\ de\ trabajo = \frac{970.096w * 2.224h}{1000} = 2.15749kwh$$

El coste de este consumo de energía al mes es de:

Precio de la Energía 0.09\$/kwh según (ARCONEL, 2018)

$$Coste = 2.15749kwh * \frac{0.09\$}{1kwh} * 30 = 5.82\$$$

Comparando con una bomba centrífuga de capacidad 2.4 m<sup>3</sup>/h y altura manométrica 13.5m (Pedrollo, 2018) ver anexo 22 .

Se determina el tiempo de esta bomba para obtener la demanda requerida de 2.2 m<sup>3</sup>:

$$Q = \frac{V}{t} \text{ se despeja } t;$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{2.2\ m^3}{2.4\ m^3/h} = 0.917\ h$$

Esta bomba va a trabajar 0.917 horas al día.

La potencia de esta máquina es de:

$$P_{e\_bt} = 0.37kw$$

El consumo de energía en kwh es de:

$$CE = P_{e\_bt} * tiempo\ de\ trabajo = 0.37kw * 0.917h = 0.339kwh$$

El coste de este consumo de energía al mes es de:

$$Coste = 0.339kwh * \frac{0.09\$}{kwh} * 30 = 0.91\$$$

#### **6.4.4. Guía de usuario para el funcionamiento del prototipo.**

Se desarrolló una guía de usuario para el correcto funcionamiento del prototipo, donde los alumnos se informarán acerca de este sistema de bombeo no tradicionales a nivel de la carrera de Ingeniería Electromecánica, los componentes que lo conforman y como utilizar cada uno de ellos, además podrán vincular la teoría dictada en clases con la práctica para más detalle de la guía ver anexo 23.

#### **6.5. Propuesta de prácticas para el laboratorio.**

Se planteó tres prácticas con el fin de fomentar el estudio sobre este tipo de bombas ver anexo 24.

##### **6.5.1. Caracterizar la bomba bajo condiciones de nivel de agua de reserva constante.**

Se desarrolló este tema con el fin de fomentar el estudio de esta bomba a un nivel constante en la reserva de agua, como varía el caudal a diferentes alturas de bombeo, además poder interpretar la curva característica caudal vs altura de la bomba neumática y observar que tipo de curva se obtiene.

##### **6.5.2. Caracterizar la bomba bajo condiciones de nivel de agua de reserva variable.**

Este tema se planteó para observar como varia el caudal bombeado por la bomba neumática a diferentes sumergencias en la reserva, interpretar la curva característica caudal vs altura que se encuentra por encima de la bomba observar que tipo de curva se obtiene a diferencia de otras bombas, en esta práctica se puede observar también la variación del tiempo de llenado en la cámara y cómo afecta a este punto cada vez que disminuye el agua en la reserva.

### **6.5.3. Obtener el rendimiento de la bomba.**

Esta práctica es importante ya que se va a conocer el rendimiento del sistema neumático y como varía este a diferentes alturas de descarga, así se podrá verificar con el rendimiento de otros tipos de bombas, observar si el rendimiento obtenido es satisfactorio, o recomendar alguna sugerencia para mejorar el rendimiento del sistema propuesto.

## 7. DISCUSIÓN

En la presente tesis se ha logrado diseñar y construir un prototipo de mini bomba neumática para extracción de agua. La misma se planteó para los siguientes datos propuestos: 11.8 m.c.a y un caudal de 5 l/min, este diseño se basó en observaciones de modelos de bombas existentes que cumplan con características similares a la requerida.

A través de la metodología utilizada se compiló información sobre los diferentes tipos de bombeo neumático, en donde se pudo evidenciar información relevante sobre los componentes, dimensionamiento, parámetros, modelos matemáticos entre otros, que conforman el sistema propuesto para el diseño de la misma. Los elementos hidráulicos y neumáticos del sistema de bombeo fueron diseñados seleccionados y construidos conforme a su demanda funcional y a los datos propuestos. El tiempo de descarga de la bomba se determinó mediante la selección de la válvula TR2 basada en la información que brinda estas bombas ZM de alta fiabilidad, en cuanto al tiempo de recuperación de la cámara de la bomba se realizó utilizando una metodología analítica bajo condiciones de reserva estática y experimental bajo condiciones de reserva variable obteniendo un tiempo promedio, debido a que este varía cuando la columna de agua por encima de la bomba disminuye.

Este proceso es controlado mediante sensores de nivel y accesorios de control manuales para accionar a los dispositivos electromecánicos, siendo necesario una persona para su operación.

En cierta forma se alcanzó lo requerido un caudal máximo de 4.9 l/min de acuerdo a lo propuesto 5 l/min, marcando un porcentaje de diferencia del 2%.

El sistema de bombeo neumático logrado posee un rendimiento de 3.2%, esto se debe a que parte del aire comprimido se libera a la atmósfera luego de cada proceso de bombeo para permitir el llenado de la cámara en la bomba neumática, también a las transformaciones energéticas que realiza el motor del compresor, por tal motivo para futuros estudios se puede mejorar el rendimiento de este tipo de bombas neumáticas, con la posible implementación de una recirculación del aire comprimido utilizado, precargando otro tanque o realimentando al mismo tanque.

Sin embargo, este prototipo realizó un trabajo factible, lo cual se evidencio un correcto funcionamiento obteniendo buenos resultados y validando la propuesta funcional.

La construcción del sistema de bombeo es factible ya que el material se lo puede encontrar en la localidad también no existieron piezas mecánicas ni partes complejas lo que reduce costos, implementación, instalación y mantenimiento en forma considerable, frente a las bombas tradicionales.

## 8. CONCLUSIONES

- Mediante consultas bibliográficas de internet tales como: Repositorio bibliográfico institucional de la UNL, artículos de tesis, libros, informes y videos, adicionalmente consultas a docentes de la carrera Ingeniería Electromecánica, se logró sistematizar el principio de funcionamiento, la metodología para el dimensionamiento de la bomba neumática, partiendo del caudal requerido, los ciclos de bombeo y la altura de bombeo como parámetros operativos principales que posteriormente permitieron analizar los componentes que conforman este sistema, como son la parte hidráulica, neumática y control automático entre otros, indicados en el primer capítulo.
- Se configuró un prototipo de bombeo neumático la cual pertenece a las máquinas elevadoras especiales para líquidos diseñado para el laboratorio de Energía y fluidos de la UNL, donde va a bombear agua desde la planta baja hasta la terraza del bloque, generando una altura de bombeo  $h_b = 11.52 \text{ m}$  y un caudal de operación de  $5 \frac{\text{l}}{\text{min}}$ , se diseñó los planos para la construcción de la bomba y seleccionó los componentes adecuados para la elaboración del prototipo, la cual está compuesta por una bomba neumática sumergida con una cámara de diámetro 3", un compresor de pistón de capacidad 24L, un tanque para la sumersión de la bomba de 2 m.c.a., un sistema de tuberías hidráulico para la descarga del agua de  $\frac{1}{2}$ ", un sistema neumático de 3/16" para el trabajo del aire comprimido y un sistema de control semiautomático mediante sensores de nivel tipo flotador para la descarga y carga de agua en la cámara.
- Aplicando la tecnología local y los planos que se obtuvieron en el diseño se pudo construir el prototipo, además se logró validar el funcionamiento de la misma lo que permitió elevar 11.52 m.c.a., con un caudal obtenido de 4.9 l/min diferenciándose en un 2% en lo propuesto 5 l/min, con un rendimiento de 3.2%, debido a la energía que se pierde cuando se libera el aire comprimido a la atmósfera y a las transformaciones energéticas que realiza el sistema.

- Se plantearon tres prácticas académicas (ver anexo 24) de acuerdo al formato institucional establecido en el laboratorio de Energía y fluidos de la UNL, los cuales permiten brindar condiciones para fomentar el estudio sobre este tipo de bombas no tradicionales, en cuanto a características de la bomba bajo condiciones de nivel de agua de reserva constante y de reserva variable, así como el cálculo de su rendimiento operativo.



## 9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios sobre este tipo de bombeo no tradicionales, en la carrera de ingeniería electromecánica, donde los estudiantes puedan desarrollar el uso de nuevos tipos de bombas.
- Se recomienda hacer estudios sobre el sistema de bombeo, con el fin de mejorar el sistema de control ya sea en los sensores de nivel tipo flotador para la carga y descarga de agua en la parte interna de la cámara, también para mejorar los tiempos de llenado y descarga de agua mediante las electroválvulas.
- Para estudios posteriores se recomienda trabajar con acero inoxidable para evitar problemas de corrosión, en la construcción de la bomba neumática.
- Se recomienda hacer estudios sobre el dimensionamiento de la cámara, si se trabaja con sensores de nivel en la parte interna evaluar acorde la geometría de ellos para mayor facilidad de instalar, además para la instalación de la tubería de aire verificar bien hasta donde va hacer el llenado de agua en la cámara ya que la instalación de esto afecta al volumen que se requiere evacuar.
- Proponer tipos de prácticas adicionales para este sistema de bombeo, con el fin de fomentar el estudio sobre este tipo de bombas no tradicionales.
- Adicionar nuevos objetos de estudios neumáticos para aprovechar la energía que se libera a la atmósfera.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- [INAMHI], I. N. (2015). *Boletín climatológico Anual 2015*. Quito-Ecuador: Iñaquito N36-14 Corea.
- ARCONEL, A. d. (2018). *Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de distribución*. Obtenido de <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>
- CAMSCO. (2018). *Camsco, Relés de protección*. Obtenido de <https://www.camsco.com.tw/spa/phase-voltage-protection-relay/relay-MY-LY-MK.html>
- Electric, F. (2010). *Frecuencia de Arranques*. Obtenido de <https://franklinlinkmx.wordpress.com/2010/09/28/frecuencia-de-arranques/>
- HENRRYASH. (2016). *Tuberías de hierro galvanizado*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/311843796/Tuberias-de-Hierro-Galvanizado>
- INAMHI. (2019). *Condiciones actuales del tiempo para las últimas 24 horas*. Obtenido de <http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>
- Jorge Di Gennaro, V. R. (2000). *Bomba de aire comprimido para la extracción de aguas subterráneas en la zona de villa Mercedes (San Luis)*. San Luis - Argentina.
- Jorge Di Gennaro, V. R. (2002). *Bomba de aire comprimido para la extracción de aguas subterráneas en la zona de Villa Mercedes (San Luis)*. San Luis-Argentina.
- L. Huisman, J. d. (1988). *Sistema de Abastecimiento de agua para pequeñas comunidades*. La Haya, Países Bajos: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), OPS/OMS. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-11.pdf>
- Maquidraz. (2019). *Tubería de hierro galvanizado*. Obtenido de <http://maquidraz.com/tuberias/tuberia-hierro-galvanizado-astm/>
- Mataix, C. (1982). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Madrid: Ediciones del Castillo S.A.

- Mataix., C. (1978). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Happer & Row publishers INC.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación sexta edición .
- Ortega., C. (2016). *Diseño y validación de un prototipo de micro bombeo de agua accionado con energía solar térmica*. Loja-Ecuador.
- Pedrollo. (2018). *Electrobombas con rodete periférico*. Obtenido de [https://www.pedrollo.com/public/allegati/PK\\_ES\\_60Hz.pdf?fbclid=IwAR2Fp1JR8HM1ZkTthHvLdBqM7iEu4PvRmHixoNb-G3m13VtwhhB4PIZ\\_h4](https://www.pedrollo.com/public/allegati/PK_ES_60Hz.pdf?fbclid=IwAR2Fp1JR8HM1ZkTthHvLdBqM7iEu4PvRmHixoNb-G3m13VtwhhB4PIZ_h4)
- PFCIQ., A. V. (2014). *Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las Bombas*. Obtenido de <https://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>
- Plastigama. (s.f.). *Tuberías de pvc plastigama*. Obtenido de [http://www.academia.edu/37479637/PLASTIGAMA\\_Tuber%C3%ADa\\_de\\_Polipropileno](http://www.academia.edu/37479637/PLASTIGAMA_Tuber%C3%ADa_de_Polipropileno)
- PORTEN. (2019). *Catálogo Técnico de compresores*. Obtenido de [http://www.portentools.com/detalle\\_producto.php](http://www.portentools.com/detalle_producto.php)
- Productos/TIGRE. (s.f.). *Válvulas de pie PVC*. Obtenido de <http://www.tigre.com.ar/valvula-de-retencion-con-canasto-roscable>
- REHCO.SA. (2015). *Mangueras para aire*. Obtenido de Manguera marca flexco.: <http://www.rehcosa.com/producto/manguera-gas-natural/#>
- Rodrigo, D. J. (2000). *Provisión de agua mediante bomba neumática accionada con energía solar a una población rural*. San Luis-Argentina.
- Rodrigo, V. D. (2002). *Provisión de agua mediante bomba nneumática accionada con energía solar a una población rural dispersa*. Villa Mercedes, San Luis, Argentina.
- SlideShare. (2012). *Hidráulica en tuberías*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/bocha76/hidraulica-en-tuberias-13662585>
- Solé, A. C. (2007). *Neumática e Hidráulica*. Espana: MARCOMBO, S.A.

- Victor Rodrigo, J. C. (2006). *Dispositivo neumático para extracción de aguas profundas mediante energías alternativas*. Obtenido de <http://www.fica.unsl.edu.ar/~lea/publicaciones/2006/1%20Congreso%20Internacional%20sobre%20Gestion%20y%20Tratamiento%20del%20Agua-Cordoba%202006/Poster5-%20bomba.pdf>
- Villanueva Martinez, M., & Alfredo, I. L. (1984). *Pozos y Acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. España.
- Villavicencio, A. R. (2017). *Diseño de un sistema semiautomático para lavado de botellas de vidrio tipo III, de 750 ml de capacidad*. Loja.
- Villavicencio, S. S. (2013). *"Diseño e implementación de un sistema semiautomático de desgranado y pesaje de maíz para la comunidad moshqueros de la parroquia rural buenavista del cantón Chaguarpamba, provincia de Loja."*. Loja.
- WEG. (2017). *WEG. Mando y señalización-Línea CSW*. Obtenido de [https://www.weg.net/catalog/weg/EC/es/Controls/Mando-y-Se%C3%B1alizaci%C3%B3n/Mando-y-Se%C3%B1alizaci%C3%B3n-%28L%C3%ADnea-22-mm%29/Selectores-CSW-%28C3%9822-mm%29/Selectores/p/MKT\\_WDC\\_GLOBAL\\_SELECTOR\\_SWITCHES\\_CSW\\_22MM](https://www.weg.net/catalog/weg/EC/es/Controls/Mando-y-Se%C3%B1alizaci%C3%B3n/Mando-y-Se%C3%B1alizaci%C3%B3n-%28L%C3%ADnea-22-mm%29/Selectores-CSW-%28C3%9822-mm%29/Selectores/p/MKT_WDC_GLOBAL_SELECTOR_SWITCHES_CSW_22MM)
- Yunes A Çengel, M. A. (2009). *Termodinámica*. Mexico.
- ZM, B. (s.f.). *Válvulas ZM MAXXI*. Obtenido de <http://www.zmbombas.com/manual-bombas.pdf>

## 11. ANEXOS

**Anexo 1:** Tabla de ecuaciones para el cálculo del factor de fricción según el régimen del fluido.

Régimen	Fórmula	Autor
<b>Laminar:</b> Valores por debajo de 2000	$f = \frac{64}{NR}$	Poiseulle
<b>Turbulento:</b> Por encima de 4000 $\frac{d_i}{\varepsilon}$ , de 100 a $1(10)^6$ NR: de $5(10)^3$ a $1(10)^8$	$f = \frac{0,25}{\left(\log_{10} \left( \frac{\varepsilon}{3,7 * d_i} + \frac{5,74}{NR^{0,9}} \right)\right)^2}$	P.K. Swamee y A.K. Jain

Fuente: (Mott, 2006)

**Anexo 2:** Coeficiente de resistencia (k) para acoplamientos:

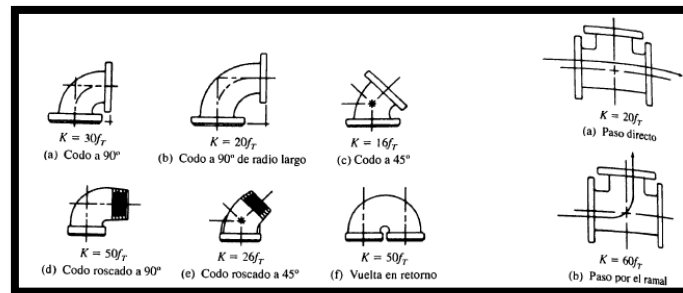


TABLA 10.3 Coeficiente de resistencia-contracción súbita.

$D_1/D_2$	Velocidad $v_2$								
	0.6 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	1.8 m/s 6 pies/s	2.4 m/s 8 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.29	0.27
2.0	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.36	0.33
4.0	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.37	0.34
5.0	0.48	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
$\infty$	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.45	0.44	0.41	0.38

Fuente: (Mott, 2006)

Nº de diámetros (L/D) y coeficientes K para diferentes accesorios

Accesorios	L/D	Diámetro nominal (en pulgadas)												
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2,3	4	6	8-10	12-16	18-24	
		Valores de K												
Válv.de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1	
Válv.de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1	
Válv.de retención horizontal(check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6	
Válv.de pie de disco(de huso)con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0	
Válv.de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	
Codós estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72	

Adaptación de: Cameron Hydraulic data

Longitud equivalente = L/D x D

Fuente: (SlideShare, 2012)

Anexo 3: Presión promedio atmosférica del sector Loja.

Datos Principales							
(hora)	(%) INST	(%) MAX	(%) MIN	(mmHg) SUM	(hPa) INST	(°C) INST	
2019-11-23 11:00:00	53				788.2	19.5	
2019-11-23 10:00:00	56	64	47	0	788.6	18.8	
2019-11-23 09:00:00	66	75	54	0	788.6	17.3	
2019-11-23 08:00:00	79	83	65	0	788.3	15.5	
2019-11-23 07:00:00	94	96	78	0	787.5	12.8	
2019-11-23 06:00:00	99	100	95	0	786.9	12	
2019-11-23 05:00:00	99	100	97	0	786.6	12.1	
2019-11-23 04:00:00	93	100	92	0	786.6	12.7	
2019-11-23 03:00:00	87	97	86	0	786.5	12.6	
2019-11-23 02:00:00	83	94	81	0	786.9	13	
2019-11-23 01:00:00	90	93	81	0	787.7	12.8	
2019-11-23 00:00:00	94	94	86	0	788.3	13.3	
2019-11-22 23:00:00	93	95	90	0	789.3	14.3	
2019-11-22 22:00:00	86	94	83	0	787.9	15.1	
2019-11-22 21:00:00	78	86	74	0	788.5	15.4	
2019-11-22 20:00:00	80	82	77	0	788	15.5	
2019-11-22 19:00:00	78	82	78	0	787.2	15.8	
2019-11-22 18:00:00	73	80	73	0	786.3	16.7	
2019-11-22 17:00:00	67	73	64	0	785.7	17.9	
2019-11-22 16:00:00	57	67	56	0	785	19.6	
2019-11-22 15:00:00	47	58	45	0	784.9	23.3	
2019-11-22 14:00:00	56	59	45	0	785.7	21.6	
2019-11-22 13:00:00	57	63	54	0	786.6	21.7	


Fuente: (INAMHI, 2019)

**Anexo 4:** Tabla de Diámetros de tuberías PVC.

Tipo de tubería	Diámetro (pulgadas)	Longitud (m)
Presión PVC roscable	1/2	6
	3/4	
	1	
	1 1/4	
	1 1/2	
	2	

**Fuente:** (Plastigama., s.f.)

**Anexo 5:** Selección de válvulas para la bomba neumática.

ZM 51 MAXXI						
Curso	20 rpm	30 rpm	40 rpm	50 rpm	Altura mca	Imagen
Extra	10600	16000	21000	26600	140	
Normal	9000	13000	18000	22200	160	
A	8000	11700	15600	20000	170	
B	6800	10000	13700	17000	180	
C	5700	8300	11200	14000	190	
D	3600	5800	7800	10000	200	

**Fuente:** (ZM, s.f.)

**Anexo 6:** Selección de válvula de pie para la bomba neumática.



**ESPECIFICACIONES**

DIÁMETRO	CÓDIGO	EMBALAJE
3/4"	27957366	5
01"	27957374	5
1.1/4"	27957382	2
1.1/2"	27957390	2
02"	27957404	2

**Fuente:** (Productos/TIGRE, s.f.)

**Anexo 7:** Catálogo de tuberías HG para la cámara.

Dimensión y designación	Diámetro nominal – $\varnothing$ dn	Diámetro exterior. $\varnothing$ ext.
3/8 "	10	17,2
1/2 "	15	21,3
3/4 "	20	26,9
1 "	25	33,7
1 1/4 "	32	42,4
1 1/2 "	40	48,3
2 "	50	60,3
2 1/2 "	65	76,1
3 "	80	88,9
4 "	100	114,3
5 "	125	139,7
6 "	150	165,1

**Fuente:** (Maquidraz, 2019)

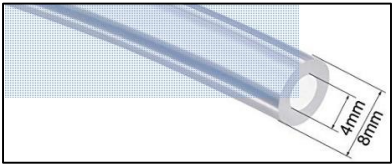
**Anexo 8:** Tabla de Rugosidades de materiales.

Material	Rugosidad $\varepsilon$ (m)	Rugosidad $\varepsilon$ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$
Tubo extruido: cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$
Concreto bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1,8 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-3}$

**Fuente:** (Mott, 2006)



**Anexo 9:** Tabla de tuberías flexible para aire. **Fuente:** Autor

DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO INTERNO (pulgadas)	DIÁMETRO EXTERNO (Pulgadas)	PRESIÓN (psi)	IMAGEN
Manguera transparente para aire	3/16	5/16	300	

**Fuente:** Autor

**Anexo 10:** Selección del conector rápido (rosca-manguera).



**Fuente:** Autor

**Anexo 11:** Ecuación general de los gases.

$$n = \frac{P_r * V}{T * R};$$

Donde:

$$R = 8.31447 \frac{J}{mol.K}$$

**Fuente:** (Yunes A Çengel, 2009).

**Anexo 12:** Tabla de número de Arranques de un motor en un periodo de 24 horas.

Capacidad del motor		Arranques Máximos en 24 horas	
HP	KW	Monofásico	Trifásico
Hasta 0.75	Hasta 0.55	300	300
1 a 5.5	0.75 a 4	100	300
7.5 a 30	5.5 a 22	50	100
40 y más	30 y más	-	100


**Fuente:** (Electric, 2010)

**Anexo 13:** Características técnicas del compresor seleccionado




**Fuente:** (PORTEN, 2019)

**Anexo 14:** Tabla de descripción de Electroválvula (A & B).

Presión(min-max) Bar	Voltaje DC (V)	Conexión (pulg)	Potencia (kW)	Tipo	Imagen
0.3-10	12/24	1/4	0.008	Acción directa 2/2	

**Fuente:** Autor

**Anexo 15:** Características de la electroválvula (C), para nivel estático en la reserva.

Presión(min-max) kgf/cm <sup>2</sup>	Voltaje AC (V)	Conexión (pulg)	Potencia (kW)	Tipo	Imagen
0.5-7	110	1/2	0.06	Acción directa 2/2	

**Fuente:** Autor

## **Anexo 16: ENSAYO PARA DETERMINAR EL TIEMPO PROMEDIO DE RECUPERACIÓN PRÁCTICO EN LA CÁMARA.**

### **INTRODUCCIÓN**

El presente ensayo se efectúa para determinar el tiempo de recuperación práctico al llenar la cámara de agua a diferentes columnas de agua, para así ser evaluado junto con el tiempo teórico y determinar un tiempo promedio para condiciones de nivel estático y variable sobre el nivel de la bomba.

### **OBJETIVO**

Determinar el tiempo promedio de recuperación práctico bajo condiciones de reserva variable.

### **MATERIALES**

- Bomba neumática
- Tanque de agua de 2m.
- Cronómetro
- Tubería de descarga de 1.5m.
- Tubería de aire de 2m.
- Válvula de pie

### **PROCEDIMIENTO**

- Llenar totalmente de agua el tanque.
- Ensamblar la válvula de pie, tubería de descarga y tubería de aire a la bomba neumática.
- Realizar tres pruebas manualmente a diferentes columnas de agua y recolectar 5 datos por cada prueba.
- Realizar la primera prueba con la bomba sumergida a una columna de agua por encima de la bomba de 1.435m
- Realizar la segunda prueba a una columna de agua 0.935m
- La tercera prueba se realiza a una columna de agua de 0.435m
- Calcular el tiempo promedio de recuperación práctico, sumar todos los datos obtenidos de cada prueba y dividir para el número de datos realizados.

## RESULTADOS

Primera prueba, columna de agua a 1.435m.

- 3.8 seg
- 3.83 seg
- 3.85 seg
- 3.89 seg
- 3.9 seg

Segunda prueba, columna de agua a 0.935m.

- 4.8 seg
- 4.85 seg
- 4.85 seg
- 4.85 seg
- 4.8 seg

Tercera prueba, columna de agua a 0.435m.

- 7.2 seg
- 7.24 seg
- 7.24 seg
- 7.25 seg
- 7.25 seg

Se determinó un promedio de las mediciones realizadas en cada prueba para el tiempo práctico.

$$\hat{t}_{pr\acute{a}ctico} = \frac{\sum \text{tiempos medidos}}{\# \text{ de datos}} = \frac{79.6 \text{ seg}}{15} = 5.3 \text{ seg}$$

## CONCLUSIÓN

Mediante el ensayo se pudo demostrar que a mayor sumergencia de la bomba el tiempo de llenado disminuye y a menor sumergencia el tiempo aumenta, lo cual se determinó un tiempo promedio de 5.3 seg. Para esta condición de reserva variable.

## Anexos



Figura 56. Partes de la bomba neumática: cámara, tapa superior, tapa inferior, línea de descarga interna.  
Fuente: Autor




Figura 57. Bomba neumática ensamblada. Fuente: Autor




Figura 58. Tanque de reserva de agua para la sumersión de la bomba neumática. Fuente: Autor

**Anexo 17:** Características del sensor de nivel de líquidos vertical.

<b>Tensión Max</b>	0-100 VDC o 0-220 VAC	
<b>Carga máxima</b>	10W	
<b>Max corriente de conmutación</b>	0.5A	
<b>Temperatura de Operación</b>	-30 a 125 °C	

**Fuente:** Autor

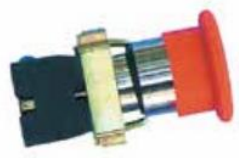
**Anexo 18:** Características del sensor de nivel de líquidos horizontal.

<b>Tensión Max</b>	0-100 VDC o 0-220 VAC	
<b>Carga máxima</b>	10W	
<b>Max corriente de conmutación</b>	0.5A	
<b>Temperatura de Operación</b>	-30 a 125 °C	

**Fuente:** Autor

**Anexo 19:** Características del botón de emergencia.






Características Generales	
Conformidad con las normas	IEC/EN60947-5-1
Corriente térmica nominal	10A
Voltaje nominal de aislamiento	600V
Carga inductiva AC-15	3A 240V AC
Carga inductiva DC-13	0.27A 250V DC
Temperatura ambiente	-25°C/70° C
Vida mecánica	Un millón de operaciones

 <p>LMB-BS MUSHROOM HEAD PUSH BUTTON LATCHING TURN TO RELEASE</p>	<p>ITEM NO. : LMB-BS4 ∅30mm ITEM NO. : LMB-BS5 ∅40mm ITEM NO. : LMB-BS6 ∅60mm CONTACT CONFIGURATION : 1 N/C</p>	<p>● RED</p>
--	---	--------------

Fuente: (WEG., 2017)

**Anexo 20:** Características del selector de dos posiciones.

**Perilla Corta<sup>1)</sup>**

Foto ilustrativa	Actuación	Diagrama	Ángulo del selector	Color <sup>1)</sup>		Referencia	Código	Peso (kg)	
		Fija	1	45°	●	Negro	CSW-CK2F45 WH	12882307	0,025
		Retorno	1	45°	●	Negro	CSW-CK2R45 WH	12882309	
		Fija	1	90°	●	Negro	CSW-CK2F90 WH	12882308	
			2	90°	●	Negro	CSW-CK2F90W WH	12904656	
		Retorno	1	90°	●	Negro	CSW-CK2R90 WH	12882310	

Bloques de Contactos				
Normas aplicables	IEC 60947-5-1, VDE 0660, UL 508, CENELEC EN 50007, ISO 13850 (EN 418), IEC 60947-5-5			
Certificaciones	CE, cULus, BV, IRAM, PCT, RCC, ICONTEC			
Tensión nominal de aislamiento $U_i$	690 V			
Tensión nominal de impulso $U_{imp}$	4 kV			
Grado de protección (IEC 60529)	IP20			
Corriente térmica convencional $I_{th}$	10 A			
Desempeño eléctrico conforme IEC 60947-5-1				
Categoría de empleo AC-15	BC....-CSW		BCM01-CSW	
	$U_e$ (V ca)	$I_e$ (A)	$U_e$ (V ca)	$I_e$ (A)
	24	10	24	6
	48	10	48	6
	60	10	60	6
	110	6	110	6
	220	3	220	3
	380	2	380	2
Categoría de empleo DC-13	BC....-CSW		BCM01-CSW	
	$U_e$ (V cc)	$I_e$ (A)	$U_e$ (V cc)	$I_e$ (A)
	24	2,5	24	2,5
	48	1,4	48	1,4
	60	1	60	1
	110	0,55	110	0,55
	220	0,27	220	0,27
	300	0,2	300	0,2
600	0,1	600	0,1	
Desempeño de acuerdo con la UL e CSA	AC / Heavy Duty (A600) e DC / Standard Duty (Q600)		-	
Resistencia de los contactos (IEC 60255)	$\leq 25m\ \Omega$			

Fuente: (WEG., 2017)

## Anexo 21: Características del Relé.



### ► MY-4

External dimension : L27.6 x W21.5 x H34 (mm)

Contact form : 4A4B

Contact capacity : 28V DC / 220V AC 3A

Coil voltage : DC 6, 12, 24, 36, 110V / AC 6, 12, 24, 36, 110, 220V

Contact resistance :  $\leq 50m\Omega$

Insulation resistance :  $\geq 1000m\Omega$

Dielectric strength : 1000V AC 50/60Hz

Service life : Mechanical 10,000,000 / Electrical 100,000

Terminal : Outlet and printed-circuit board

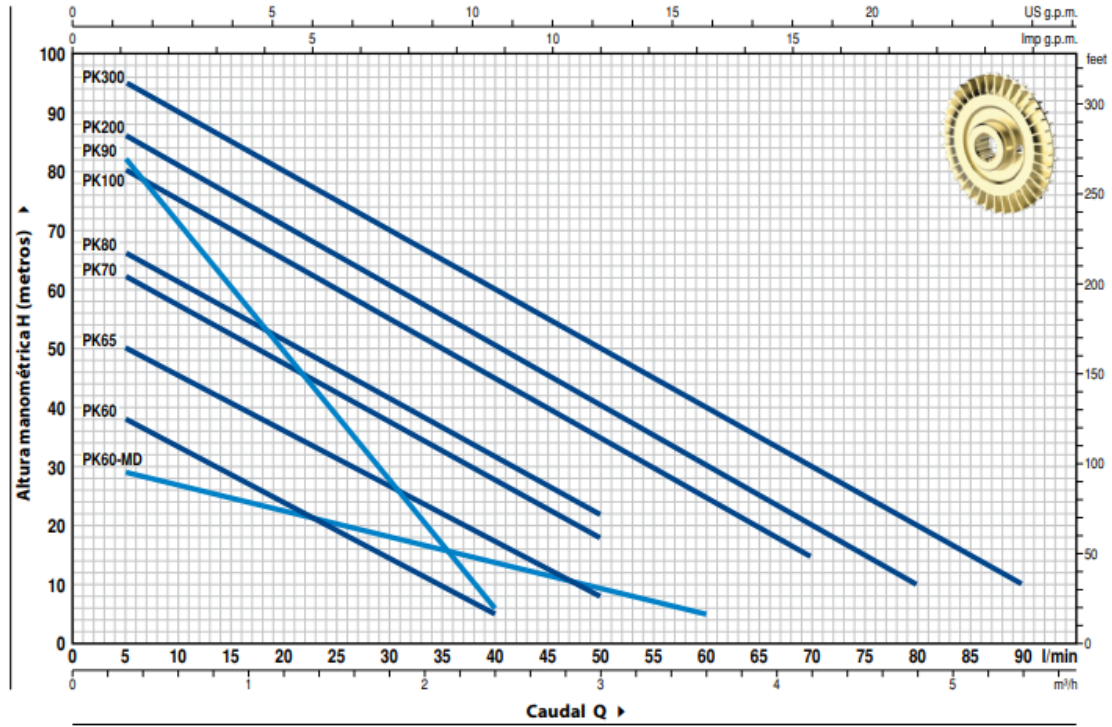
(CAMSCO, 2018)



## Anexo 22: Parámetros de la bomba Pedrollo PK 60-MD

### CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min<sup>-1</sup> HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		▲	Q	m <sup>3</sup> /h																
Monofásica	Trifásica	kW	HP			0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4			
					l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90			
PKm 60*	PK 60*	0.37	0.50	IE2	H metros	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 60*-MD	PK 60*-MD	0.37	0.50			30	29	26.5	24.5	22.5	20.5	18	16	13.5	9.5	5						
PKm 65	PK 65	0.55	0.75	55		50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8								
PKm 70	PK 70	0.60	0.85	65		62	57	52	47	42	37	32	27	18								
PKm 80	PK 80	0.75	1	70		66	61	56	51	46	41	36.5	31	22								
PKm 90	PK 90	0.75	1	90		82	71	60	49	38	27	17	5									
PKm 100	PK 100	1.1	1.5	85		80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15						
PKm 200	PK 200	1.5	2	90		86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10					
PKm 300	PK 300	2.2	3	100		95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10				

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Fuente: (Pedrollo, 2018)

**Anexo 23.** Guía de usuario para el funcionamiento de la bomba.

**MANUAL DE USUARIO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO  
DE PRUEBAS (SISTEMA DE BOMBEO NEUMÁTICO).**

**INTRODUCCIÓN**

En este documento se describirá el objetivo y la información clara y concisa de cómo utilizar el sistema de bombeo neumático y su funcionamiento.

Este documento trata sobre el diseño de un sistema de bombeo neumático, es una propuesta nueva en el laboratorio de mecánica de fluidos de la carrera Ingeniería Electromecánica para el estudio de nuevas bombas no tradicionales fue creado por Álvaro Alonso Yaguana Apolo previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, con el objetivo de que los estudiantes de la carrera puedan desarrollar un vínculo directo entre la teoría dictada en clases y la práctica.

La bomba neumática, es un tipo de bomba que pertenece a las máquina elevadoras especiales para líquidos, aprovecha la presión del aire comprimido, o de cualquier otro gas compatible con el uso, su principal ventaja es la de no tener partes complejas o móviles sumergidas, no requiere demasiado mantenimiento, se puede bombear cualquier tipo de flujo, no mantiene costos por combustible, lo que reduce los gastos de un sistema eléctrico de bombeo tradicional (L. Huisman, 1988).

## **OBJETIVO DE ESTE MANUAL**

El objetivo primordial de éste manual es ayudar y guiar al estudiante a utilizar el banco de pruebas (sistema de bombeo neumático), obteniendo información deseada para poder despejar las dudas existentes.

## **REQUERIMIENTOS**

Los conocimientos mínimos que deben tener los estudiantes para operar este sistema de bombeo neumático son:

- Conocimientos básicos acerca de mecánica de fluidos.
- Conocimientos básicos acerca de hidráulica.
- Conocimientos básicos de control automático.
- Conocimientos básicos de taller eléctrico II.
- Conocimientos básicos acerca de neumática.

## **MATERIALES**

### **Materiales de seguridad:**

- Overol o mandil
- Calzado de cuero
- Guantes

### **Materiales de mediciones:**

- Banco de pruebas (Bomba Neumática, reservorio para bomba neumática, base para el banco, sensores de nivel horizontal y vertical, electroválvulas para aire y agua, equipos de control.
- Tubería de descarga diseñada para el bloque de laboratorio.
- Compresor.
- Esquema de conexión.
- Cinta teflón.
- Llave de tubo.
- Balde para medir el volumen
- Jarra con indicador de volumen
- Cronómetro

- Agua potable.

## **INSTRUCCIONES**

- Colocar las mochilas en los casilleros.
- Prohibido consumo de alimentos.
- Prohibidos equipos de diversión, celulares, etc.
- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las prácticas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil u overol.
- Mantener buen comportamiento en el desarrollo de las prácticas.

## **ACTIVIDADES A DESARROLLAR PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO**

- a) Instalar la tubería de descarga diseñada para la altura del bloque de laboratorio al banco de pruebas como indica la figura 59.



Figura 59. Tubería de descarga para cada altura (2m, 4m, 6m, 8m, 10m). Fuente: Autor.

- b) Revisar la válvula de cierre rápido que esté cerrada, se encuentra instalada en la parte inferior de la reserva de agua para el llenado de la misma, en caso de evacuar el agua abrir y ubicar la manguera en un lugar apropiado como indica la figura 60.



Figura 60. Válvula de cierre rápido para purgar el agua de la reserva. Fuente: Autor.

- c) Conectar la manguera que se encuentra en la línea de carga de agua a la reserva a una red de agua en el laboratorio como indica la figura 61.



Figura 61. Conexión de la línea de carga de agua hacia la reserva a una red en el laboratorio.

Fuente: Autor

- d) Energizar el tablero de control del banco de pruebas, tensión de trabajo 110V.
- e) Conectar los sensores SND1, SND2 y la electroválvula EVC al tablero de control para el llenado automático de agua en la reserva como indica la figura 62.

*Nota: En la línea de carga de agua a la reserva se encuentra una cortadora de cierre rápido, esta llave fue instalada para emergencia ya que si por alguna razón se deterioren los sensores o la electroválvula de agua se pueda cerrar manualmente para que no rebote el agua cuando la reserva este llena, caso contrario mantenerla abierta para el llenado automático como indica la figura 63.*



Figura 62. Conexión de sensores SND1, SND2 y electroválvula de agua EVC al tablero de control. Fuente: Autor.



Figura 63. Válvula de cierre rápido de emergencia para sensores SND1 SND2 Y EVC. Fuente:

Autor.

- f) Poner en marcha el sistema (ON) mediante el selector de 2 posiciones solo para llenar la reserva después apagar el sistema en (OFF) para las demás conexiones.
- g) Conectar al tablero de control los sensores SNA1, SNA2, SNB1 y SNB2 que se encuentran ubicados en la parte interna de la cámara de la bomba para accionar las electroválvulas como indica la figura 64.



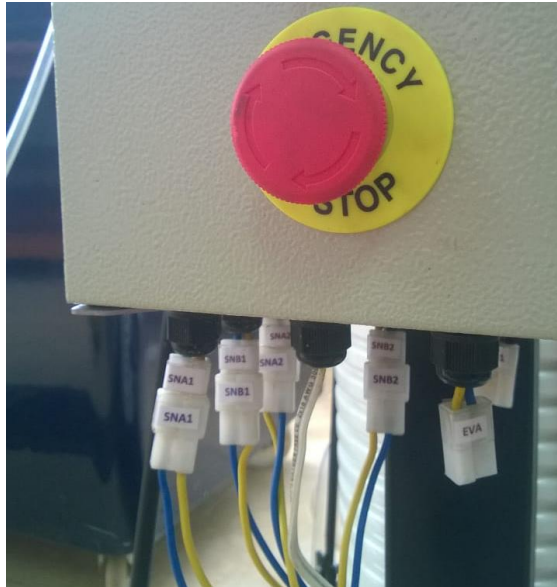


Figura 64. Conexión de sensores SNA1, SNA2, SNB1, SNB2 que se encuentran en la parte interna de la cámara al tablero de control. Fuente: Autor

- h) Conectar las electroválvulas para aire EVA y EVB al tablero de control para el estado de carga y descarga de la bomba como indica la figura 65.

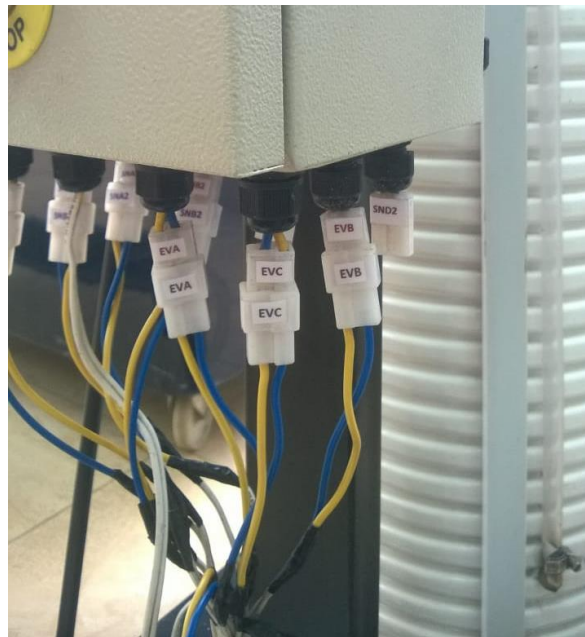


Figura 65. Conexión de las electroválvulas para el paso de aire comprimido. Fuente: Autor.

- i) Energizar la fuente de aire comprimido (compresor), tensión de trabajo 110V.
- j) Conectar la tubería de aire del compresor a la electroválvula (EVA) ver figura 66.





Figura 66. Conexión de la tubería de aire del compresor a la electroválvula EVA. Fuente: Autor.

- k) Regular la presión de aire para el proceso de bombeo 29 psi.
- l) Poner en marcha el sistema (ON) mediante el selector de 2 posiciones, ver figura 67.



Figura 67. Puesta en marcha el tablero de control para el funcionamiento del sistema de bombeo.

Fuente: Autor.

- m) Una vez cumplido todas las actividades para empezar el funcionamiento de la bomba pulsar el botón de reset.

*Nota: para cada vez que el estudiante apague el sistema de bombeo y para dar funcionamiento nuevamente siempre se pulsa el botón (reset). Ver figura 68.*



Figura 68. Pulsador NO para resetear el sistema de bombeo y reanudar los ciclos. Fuente: Autor.

n) Medir el caudal en litros/min, el volumen por cada ciclo, y el volumen total respecto a la carga del compresor.

## ESQUEMA DEL SISTEMA DE BOMBEO

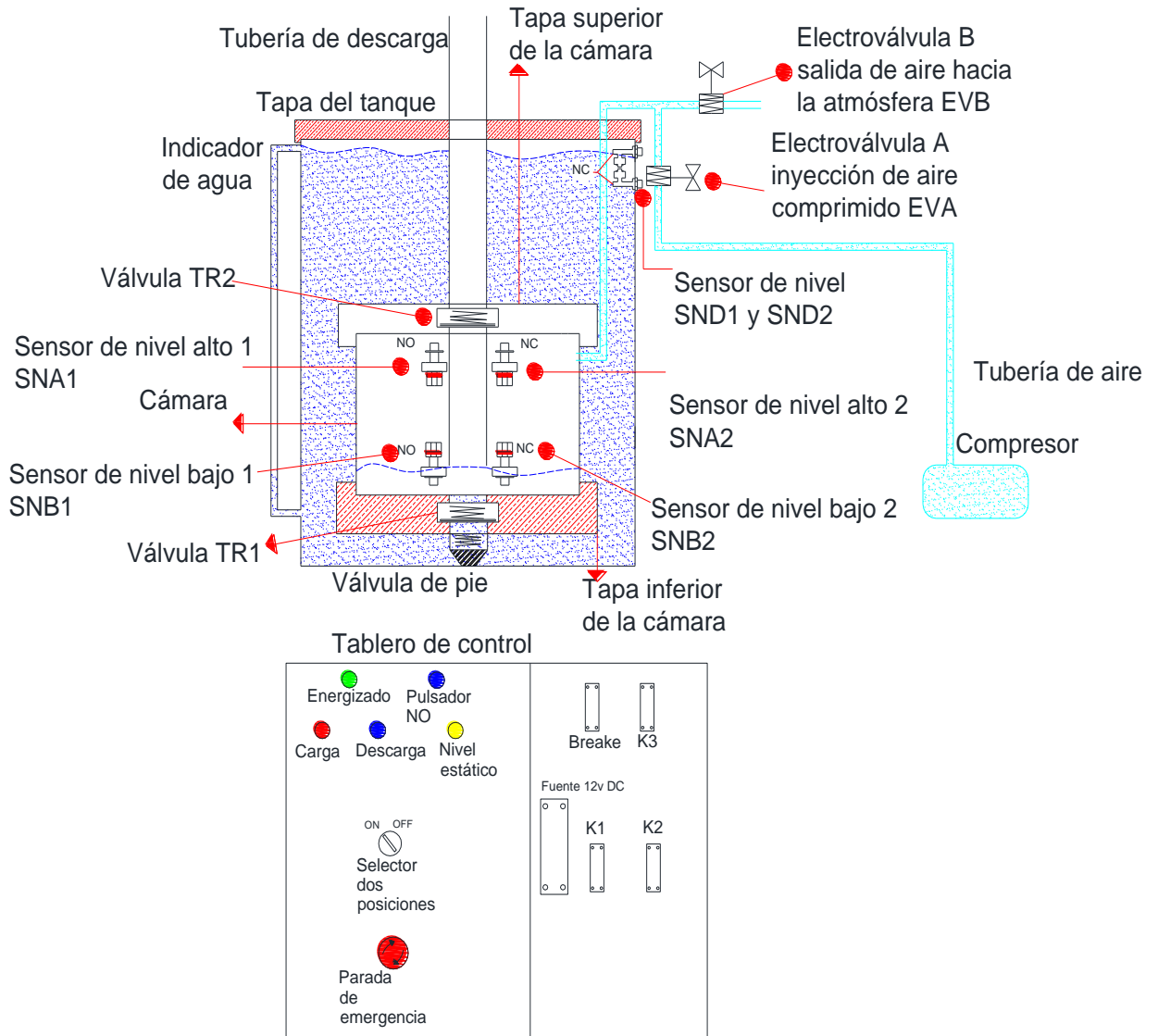


Figura 69. Esquema de los componentes que conforma el sistema de bombeo. Fuente: Autor.

## DIAGRAMA DE FUERZA Y MANDO

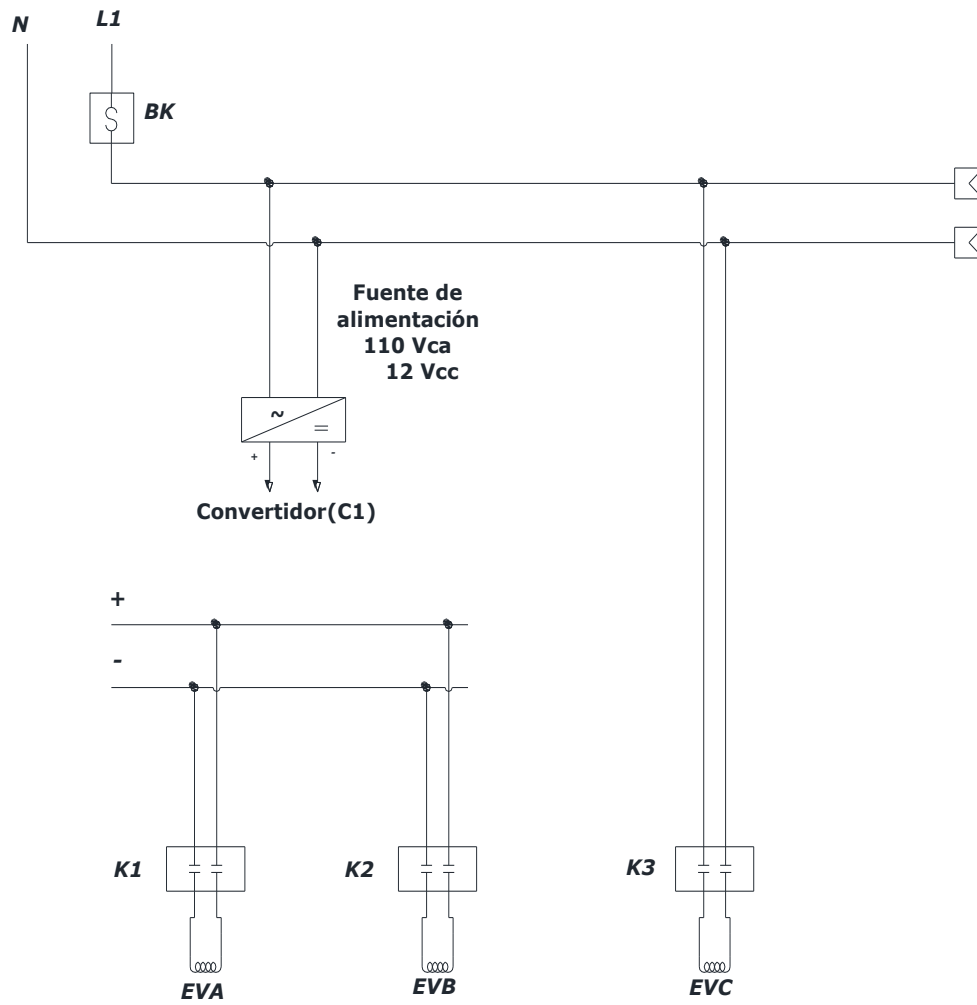
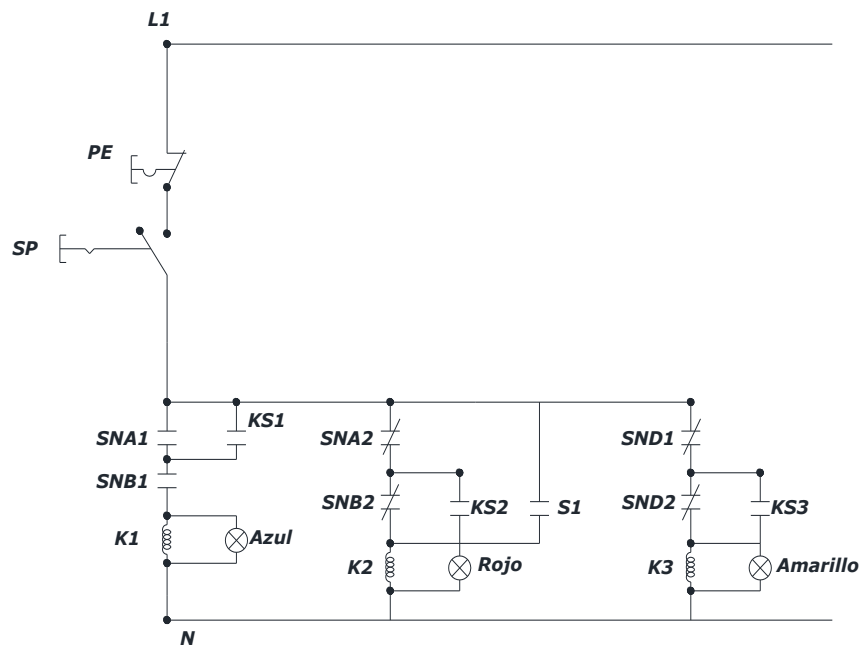


Figura 70. Diagrama de fuerza del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor.



Item	Acrónimo	Tipo de contacto	
		NA	NC
Míni relé sensor SNA1	KS1	x	
Míni relé sensor SNB2	KS2	x	
Míni relé sensor SND2	KS3	x	
Sensor de nivel Alto 1	SNA1	x	
Sensor de nivel Alto 2	SNA2		x
Sensor de nivel Bajo 1	SNB1	x	
Sensor de nivel Bajo 2	SNB2		x
Parada de Emergencia	PE		x
Selector de dos Posiciones	SP	x	
Sensor de nivel estático 1	SND1		x
Sensor de nivel estático 2	SND2		x
Pulsador	S1	x	

<b>K1: Relé para el encendido de electroválvula EVA</b>
<b>K2: Relé para encendido de electroválvula EVB</b>
<b>K3: Relé para encendido de electroválvula EVC</b>

Figura 71. Diagrama de mando del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor

## Anexo 24. GUÍAS PRÁCTICAS

### Práctica #1

<b>CARRERA: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
<b>ASIGNATURA:</b>	Máquinas de fluidos.
<b>RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA:</b>	Observar como varia el caudal bombeado por la bomba neumática a diferentes alturas de descarga. Interpretar la curva característica caudal vs altura de una bomba neumática.
<b>TIEMPO DE PRÁCTICA POR GRUPO DE ESTUDIANTES:</b>	2 hora
<b>NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO:</b>	Máximo 3 personas

#### TEMA

CARACTERIZAR LA BOMBA BAJO CONDICIONES DE NIVEL DE AGUA DE RESERVA CONSTANTE

#### OBJETIVOS

- Medir el caudal bombeado a diferentes alturas de descarga.
- Obtener la curva característica caudal vs altura de la bomba bajo condiciones de carga constante.

#### MATERIALES

##### Materiales de oficina:

- Computadora
- Materiales bibliográficos
- Internet
- Cuaderno, lápiz, esfero, calculadora
- Paquete office, entre otros.

##### Materiales de seguridad:

- Overol o mandil
- Calzado de cuero
- Guantes

##### Materiales de mediciones:

- Banco de pruebas (Bomba Neumática, reservorio para bomba neumática, base para el banco, sensores de nivel horizontal y vertical, electroválvulas para aire y agua, equipos de control.
- Tubería de descarga diseñada para cada altura.
- Compresor.
- Esquema de conexión.
- Cinta teflón.
- Llave de tubo.
- Balde para medir el volumen
- Jarra con indicador de volumen
- Cronómetro
- Flexómetro
- Agua potable.

## **INSTRUCCIONES**

- Colocar las mochilas en los casilleros.
- Prohibido consumo de alimentos.
- Prohibidos equipos de diversión, celulares, etc.
- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las prácticas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil u overol.
- Mantener buen comportamiento en el desarrollo de las prácticas.

## ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- a) Instalar la tubería de descarga diseñada para cada altura al banco de pruebas como indica la figura 72.



Figura 72. Tubería de descarga para cada altura (2m, 4m, 6m, 8m, 10m). Fuente: Autor.

- b) Revisar la válvula de cierre rápido que esté cerrada, se encuentra instalada en la parte inferior de la reserva de agua para el llenado de la misma, en caso de evacuar el agua abrir y ubicar la manguera en un lugar apropiado como indica la figura 73.





Figura 73. Válvula de cierre rápido para purgar el agua de la reserva. Fuente: Autor.

- c) Conectar la manguera que se encuentra en la línea de carga de agua a la reserva a una red de agua en el laboratorio como indica la figura 74.



Figura 74. Conexión de la línea de carga de agua hacia la reserva a una red en el laboratorio.

Fuente: Autor

- d) Energizar el tablero de control del banco de pruebas, tensión de trabajo 110V.  
e) Conectar los sensores SND1, SND2 y la electroválvula EVC al tablero de control para el llenado automático de agua en la reserva como indica la figura 75.

*Nota: En la línea de carga de agua a la reserva se encuentra una cortadora de cierre rápido, esta llave fue instalada para emergencia ya que si por alguna razón se deterioren los sensores o la electroválvula de agua se pueda cerrar manualmente para que no rebote el agua cuando la reserva este llena, caso contrario mantenerla abierta para el llenado automático como indica la figura 76.*



Figura 75. Conexión de sensores SND1, SND2 y electroválvula de agua EVC al tablero de control. Fuente: Autor.



Figura 76. Válvula de cierre rápido de emergencia para sensores SND1 SND2 Y EVC. Fuente: Autor.

- f) Poner en marcha el sistema (ON) mediante el selector de 2 posiciones solo para llenar la reserva después apagar el sistema en (OFF) para las demás conexiones.
- g) Conectar al tablero de control los sensores SNA1, SNA2, SNB1 y SNB2 que se encuentran ubicados en la parte interna de la cámara de la bomba para accionar las electroválvulas como indica la figura 77.

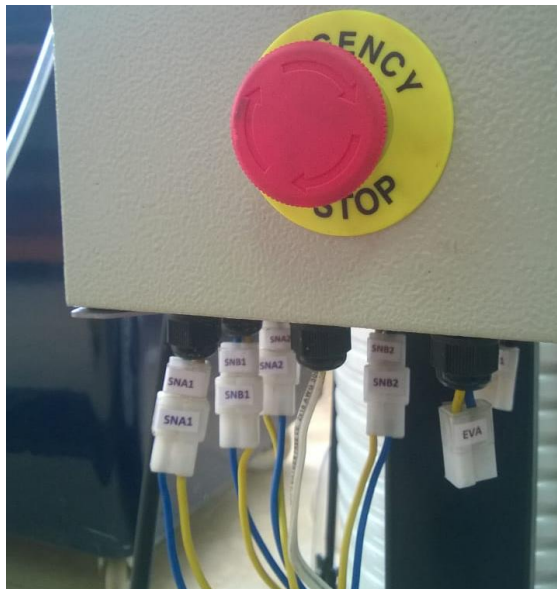


Figura 77. Conexión de sensores SNA1, SNA2, SNB1, SNB2 que se encuentran en la parte interna de la cámara al tablero de control. Fuente: Autor

- h) Conectar las electroválvulas para aire EVA y EVB al tablero de control para el estado de carga y descarga de la bomba como indica la figura 78.

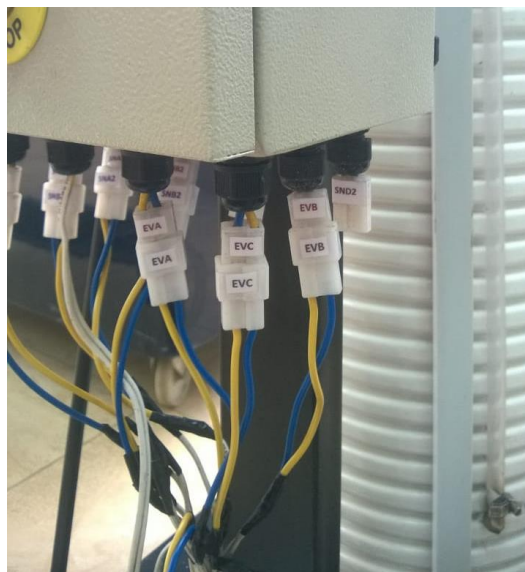


Figura 78. Conexión de las electroválvulas para el paso de aire comprimido. Fuente: Autor.

- i) Energizar la fuente de aire comprimido (compresor), tensión de trabajo 110V.
- j) Conectar la tubería de aire del compresor a la electroválvula (EVA) ver figura 79.



Figura 79. Conexión de la tubería de aire del compresor a la electroválvula EVA. Fuente: Autor.

- k) Regular la presión de aire para el proceso de bombeo, esta presión va hacer de 15 psi para las pruebas de 2 y 4 metros de altura porque a mayor presión interrumpe el ciclo de bombeo en la parte interna de la cámara y para las siguientes pruebas la presión va hacer igual a la de bombeo 29 psi.
- l) Poner en marcha el sistema (ON) mediante el selector de 2 posiciones, ver figura 80.



Figura 80. Puesta en marcha el tablero de control para el funcionamiento del sistema de bombeo.

Fuente: Autor.

- m) Una vez cumplido todas las actividades para empezar el funcionamiento de la bomba pulsar el botón de reset.

*Nota: para cada vez que el estudiante apague el sistema de bombeo y para dar funcionamiento nuevamente siempre se pulsa el botón (reset). Ver figura 81.*



Figura 81. Pulsador NO para resetear el sistema de bombeo y reanudar los ciclos. Fuente: Autor.

- n) Para medir el caudal que entrega la bomba, el grupo tiene que dividirse para abrir y cerrar las válvulas que se encuentran en la tubería de descarga diseñada para cada altura dada.

*Nota: para empezar a medir el caudal de cada altura se ceba la bomba hasta que comience a salir el agua por la tubería de descarga, una vez que salió el agua de la tubería tomar en cuenta el nuevo ciclo a realizarse para empezar a tomar la medida del caudal en un minuto.*

- o) Recolectar los datos obtenidos y graficar la curva Caudal vs altura.

## ESQUEMA DEL SISTEMA DE BOMBEO

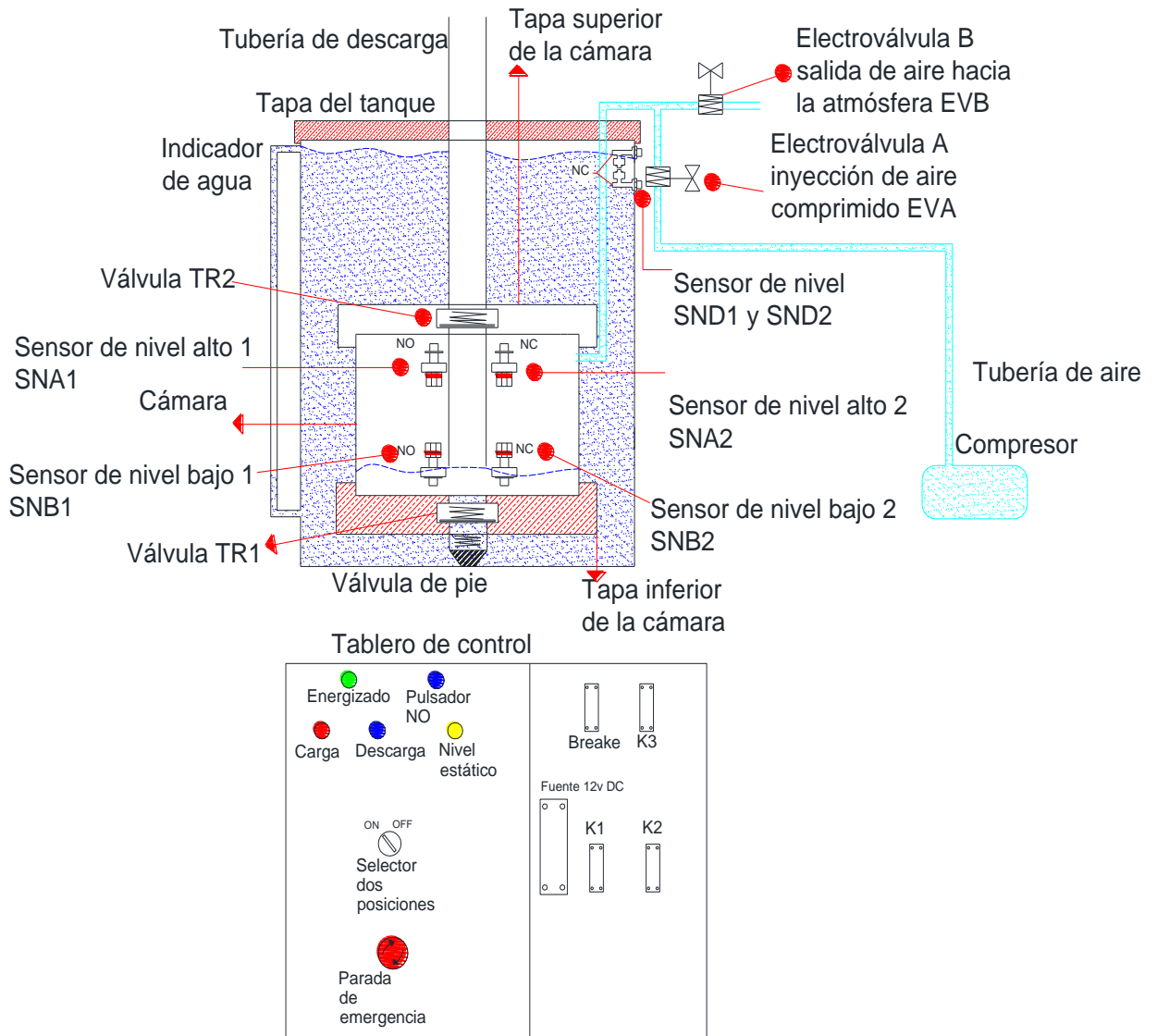


Figura 82. Esquema de los componentes que conforma el sistema de bombeo. Fuente: Autor.

## DIAGRAMA DE FUERZA Y MANDO

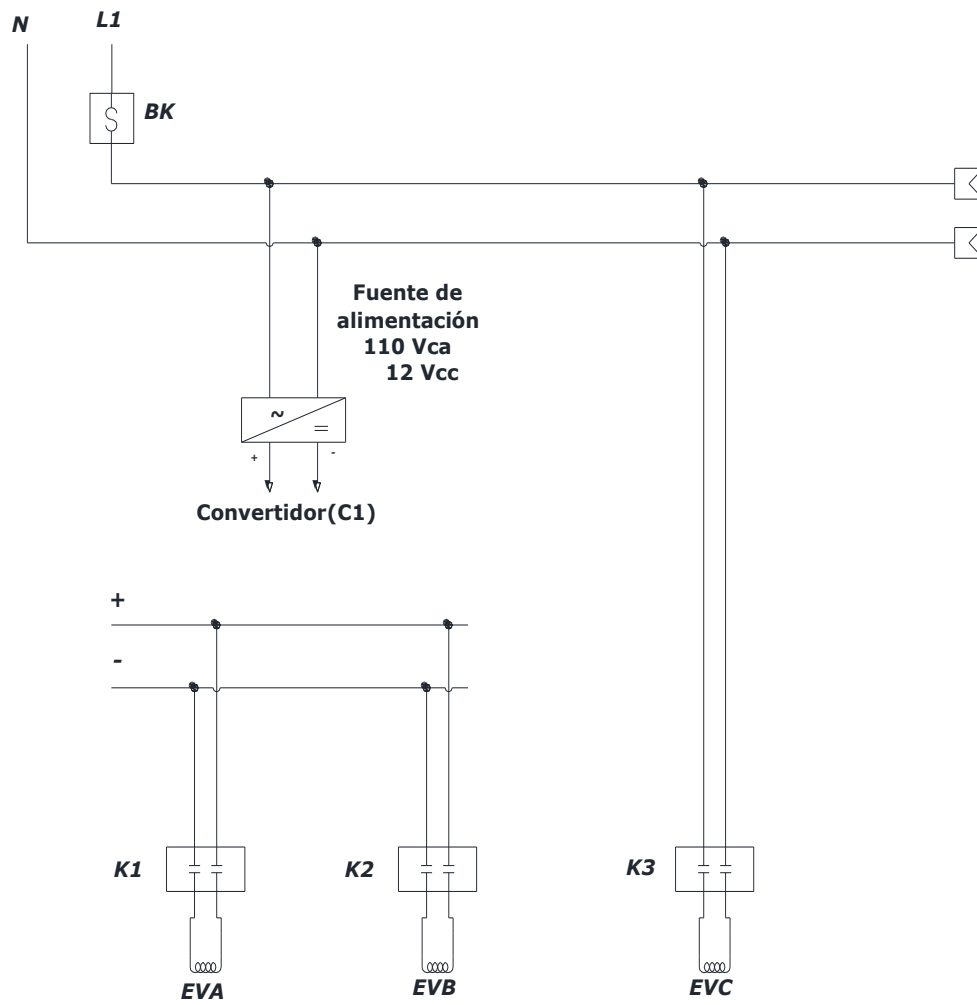
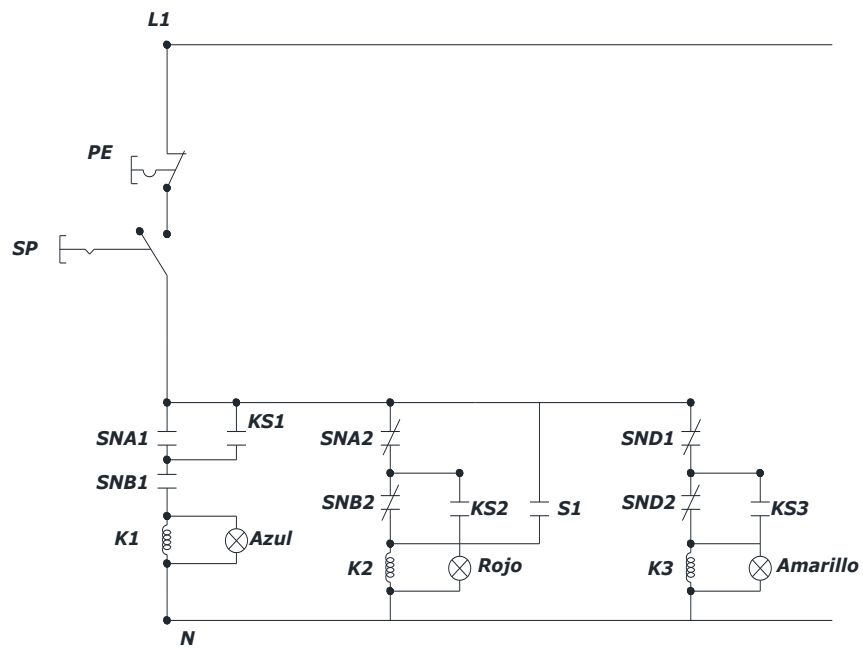


Figura 83. Diagrama de fuerza del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor.



Item	Acrónimo	Tipo de contacto	
		NA	NC
Míni relé sensor SNA1	KS1	x	
Míni relé sensor SNB2	KS2	x	
Míni relé sensor SND2	KS3	x	
Sensor de nivel Alto 1	SNA1	x	
Sensor de nivel Alto 2	SNA2		x
Sensor de nivel Bajo 1	SNB1	x	
Sensor de nivel Bajo 2	SNB2		x
Parada de Emergencia	PE		x
Selector de dos Posiciones	SP	x	
Sensor de nivel estático 1	SND1		x
Sensor de nivel estático 2	SND2		x
Pulsador	S1	x	

<b>K1: Relé para el encendido de electroválvula EVA</b>
<b>K2: Relé para encendido de electroválvula EVB</b>
<b>K3: Relé para encendido de electroválvula EVC</b>

Figura 84. Diagrama de mando del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor



## **MARCO TEÓRICO**

- **Bombas accionadas por aire.**
- **Fundamentación de mecánica de fluidos.**
- **Fundamentación de neumática.**
- **Fundamentación de sistemas de control.**

## **RESULTADOS DE LA PRÁCTICA**

*El estudiante deberá realizar un resumen de las actividades desarrolladas en la práctica deberá incluir fotos personales del proceso, tomar datos de la práctica y graficar la curva caudal vs altura.*

## **DISCUSIÓN**

*Explique qué diferencias encontraría en el bombeo neumático de la presente práctica, si fuera realizada en otro tipo de bombas tradicionales.*

*Explique qué modificaciones realizaría al banco de pruebas para optimizar el sistema de bombeo neumático.*

*Interpretar la curva de la bomba neumática con otros tipos de bombas.*

## **CONCLUSIONES**

*El estudiante debe elaborar las conclusiones sobre lo que aprendió con la práctica desarrollada.*

## **RECOMENDACIONES**

*El estudiante debe redactar alguna recomendación que pueda dar a otros alumnos para desarrollar bien la práctica y de forma segura.*

## **PREGUNTAS DE CONTROL**

¿Cómo afecta la variación de altura al caudal de bombeo?

¿Cuál fue el caudal máximo alcanzado por la bomba explique por qué?

¿Qué sucede si se aumenta la presión de bombeo en la mayor altura de diseño, se obtiene mayor caudal o menor caudal de agua explique por qué?

¿Cuál es el volumen por cada ciclo de bombeo en cada altura propuesta?

¿Qué tipo de curva se obtuvo de esta bomba, lineal, cuadrática entre otras?

## BIBLIOGRAFÍA

*El estudiante debe citar los textos investigados de acuerdo a la norma APA sexta edición*

### Práctica # 2

<b>CARRERA: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
<b>ASIGNATURA:</b>	Máquinas de fluidos.
<b>RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA:</b>	Observar como varía el caudal bombeado por la bomba neumática a diferentes sumergencia en la reserva de agua. Observar como varía los ciclos de la bomba en cada nivel de sumergencia. Interpretar la curva característica caudal vs la altura que se encuentra sobre la bomba neumática.
<b>TIEMPO DE PRÁCTICA POR GRUPO DE ESTUDIANTES:</b>	2 hora
<b>NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO:</b>	Máximo 3 personas

## TEMA

CARACTERIZAR LA BOMBA BAJO CONDICIONES DE NIVEL DE AGUA DE RESERVA VARIABLE

## OBJETIVOS

- Definir el caudal bombeado a diferentes niveles de agua de reserva.
- Obtener la curva caudal vs la altura que se encuentra sobre la bomba neumática para definir las características de la misma.

## MATERIALES

### Materiales de oficina:

- Computadora
- Materiales bibliográficos
- Internet
- Cuaderno, lápiz, esfero, calculadora
- Paquete office, entre otros.

### Materiales de seguridad:

- Overol o mandil
- Calzado de cuero
- Guantes

**Materiales de mediciones:**

- Banco de pruebas (Bomba Neumática, reservorio para bomba neumática, base para el banco, sensores de nivel horizontal y vertical, electroválvulas para aire y agua, equipos de control
- Agua potable
- Compresor
- Esquema de conexión
- Cinta teflón
- Llave de tubo
- Balde para medir el volumen
- Jarra con indicador de volumen
- Cronómetro
- Flexómetro
- Tubería de descarga diseñada para la altura del bloque de laboratorio.

**INSTRUCCIONES**

- Colocar las mochilas en los casilleros.
- Prohibido consumo de alimentos.
- Prohibidos equipos de diversión, celulares, etc.
- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las prácticas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil u overol.
- Mantener buen comportamiento en el desarrollo de las prácticas.

## ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- a) Instalar la tubería de descarga diseñada para la altura del bloque de laboratorio 9.8m al banco de pruebas como indica la figura 85.



Figura 85. Tubería de descarga. Fuente: Autor.

- b) Revisar la válvula de cierre rápido que esté cerrada, se encuentra instalada en la parte inferior de la reserva de agua para el llenado de la misma, en caso de evacuar el agua abrir y ubicar la manguera en un lugar apropiado como indica la figura 86.



Figura 86. Válvula de cierre rápido para purgar el agua de la reserva. Fuente: Autor.

- c) Conectar la manguera que se encuentra en la línea de carga de agua a la reserva a una red de agua en el laboratorio como indica la figura 87.



Figura 87. Conexión de la línea de carga de agua hacia la reserva a una red en el laboratorio.

Fuente: Autor

- d) Energizar el tablero de control del banco de pruebas, tensión de trabajo 110V.  
e) Conectar los sensores SND1, SND2 y la electroválvula EVC al tablero de control para el llenado automático de agua en la reserva como indica la figura 88.

*Nota: En la línea de carga de agua a la reserva se encuentra una cortadora de cierre rápido, esta llave fue instalada para emergencia ya que si por alguna razón se deterioran los sensores o la electroválvula de agua se pueda cerrar manualmente para que no rebote el agua cuando la reserva este llena, caso contrario mantenerla abierta para el llenado automático como indica la figura 89.*



Figura 88. Conexión de sensores SND1, SND2 y electroválvula de agua EVC al tablero de control. Fuente: Autor.



Figura 89. Válvula de cierre rápido de emergencia para sensores SND1 SND2 Y EVC. Fuente: Autor.

- f) Poner en marcha el sistema (ON) mediante el selector de 2 posiciones solo para llenar la reserva después apagar el sistema en (OFF) para las demás conexiones.
- g) Conectar al tablero de control los sensores SNA1, SNA2, SNB1 y SNB2 que se encuentran ubicados en la parte interna de la cámara de la bomba para accionar las electroválvulas como indica la figura 90.

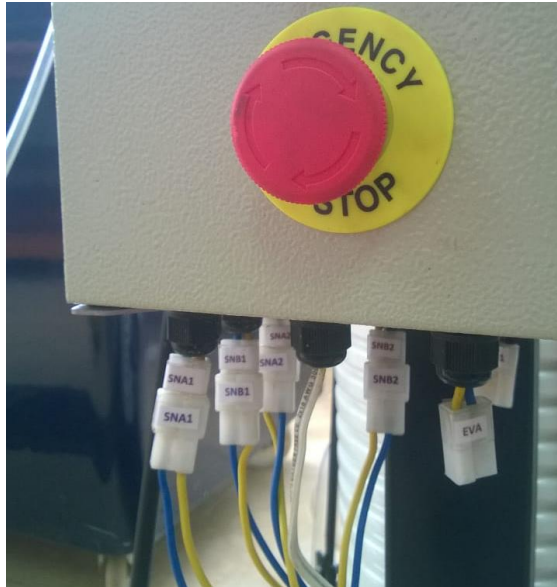


Figura 90. Conexión de sensores SNA1, SNA2, SNB1, SNB2 que se encuentran en la parte interna de la cámara al tablero de control. Fuente: Autor

- h) Conectar las electroválvulas para aire EVA y EVB al tablero de control para el estado de carga y descarga de la bomba como indica la figura 91.

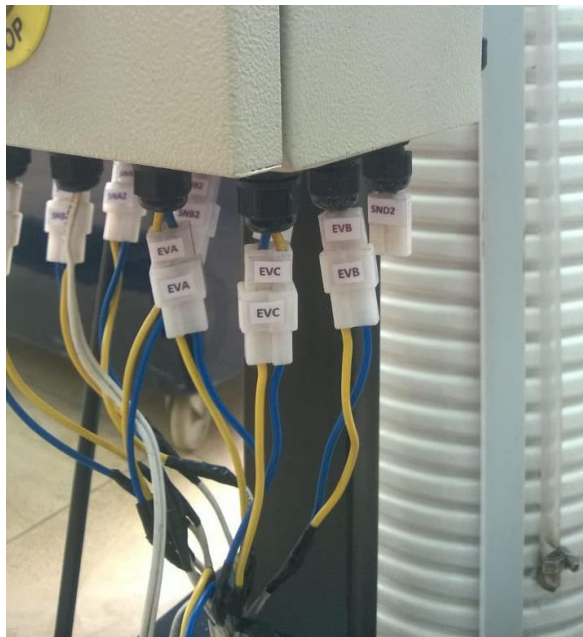


Figura 91. Conexión de las electroválvulas para el paso de aire comprimido. Fuente: Autor.

- i) Energizar la fuente de aire comprimido (compresor), tensión de trabajo 110V.  
j) Conectar la tubería de aire del compresor a la electroválvula (EVA) ver figura 92.





Figura 92. Conexión de la tubería de aire del compresor a la electroválvula EVA. Fuente: Autor.  
k) Regular la presión de aire para el proceso de bombeo 29 psi, ver figura 93.

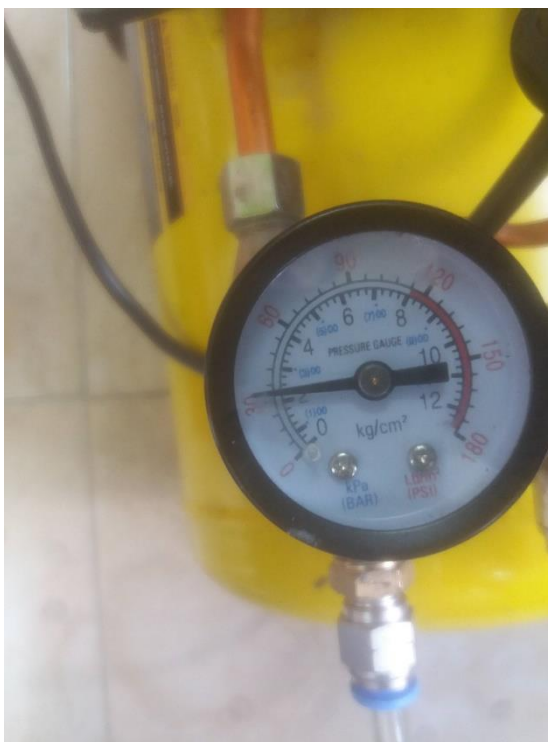




Figura 93. Manómetro del compresor regulado a 29 psi. Fuente: Autor.

- l) Poner en marcha el sistema (ON) mediante el selector de 2 posiciones, ver figura 94.



Figura 94. Puesta en marcha el tablero de control para el funcionamiento del sistema de bombeo.

Fuente: Autor.

- m) Una vez cumplido todas las actividades para empezar el funcionamiento de la bomba pulsar el botón de reset.

*Nota: para cada vez que el estudiante apague el sistema de bombeo y para dar funcionamiento nuevamente siempre se pulsa el botón (reset). Ver figura 95.*



Figura 95. Pulsador NO para resetear el sistema de bombeo y reanudar los ciclos. Fuente: Autor.

- n) Para medir el caudal que entrega la bomba al primer nivel de sumergencia que es de 1.42 m (142cm) se lo realiza con el llenado automático de la reserva cada vez que disminuye el nivel, después para las siguientes sumergencias de 1.065m (106.5cm), 0.71m (71cm), y 0.355m (35.5cm) se pone en off el sistema de bombeo y evacuar el agua hasta llegar al otro nivel, va a quedar activada la electroválvula para el paso de agua hacia la reserva y para mantener el nivel de

agua cerrar y abrir la válvula de cierre rápido que se encuentra en esa misma línea de la electroválvula (EVC) para dejar pasar el flujo de agua y mantener estático a dicho nivel

*Nota: para empezar a medir el caudal de cada sumergencia se ceba la bomba hasta que comience a salir el agua por la tubería de descarga, una vez que salió el agua de la tubería tomar en cuenta el nuevo ciclo a realizarse para empezar a coger la medida del caudal en un minuto.*

- o) Recolectar los datos obtenidos y graficar la curva Caudal vs la altura que se encuentra sobre la bomba.

### ESQUEMA DEL SISTEMA DE BOMBEO

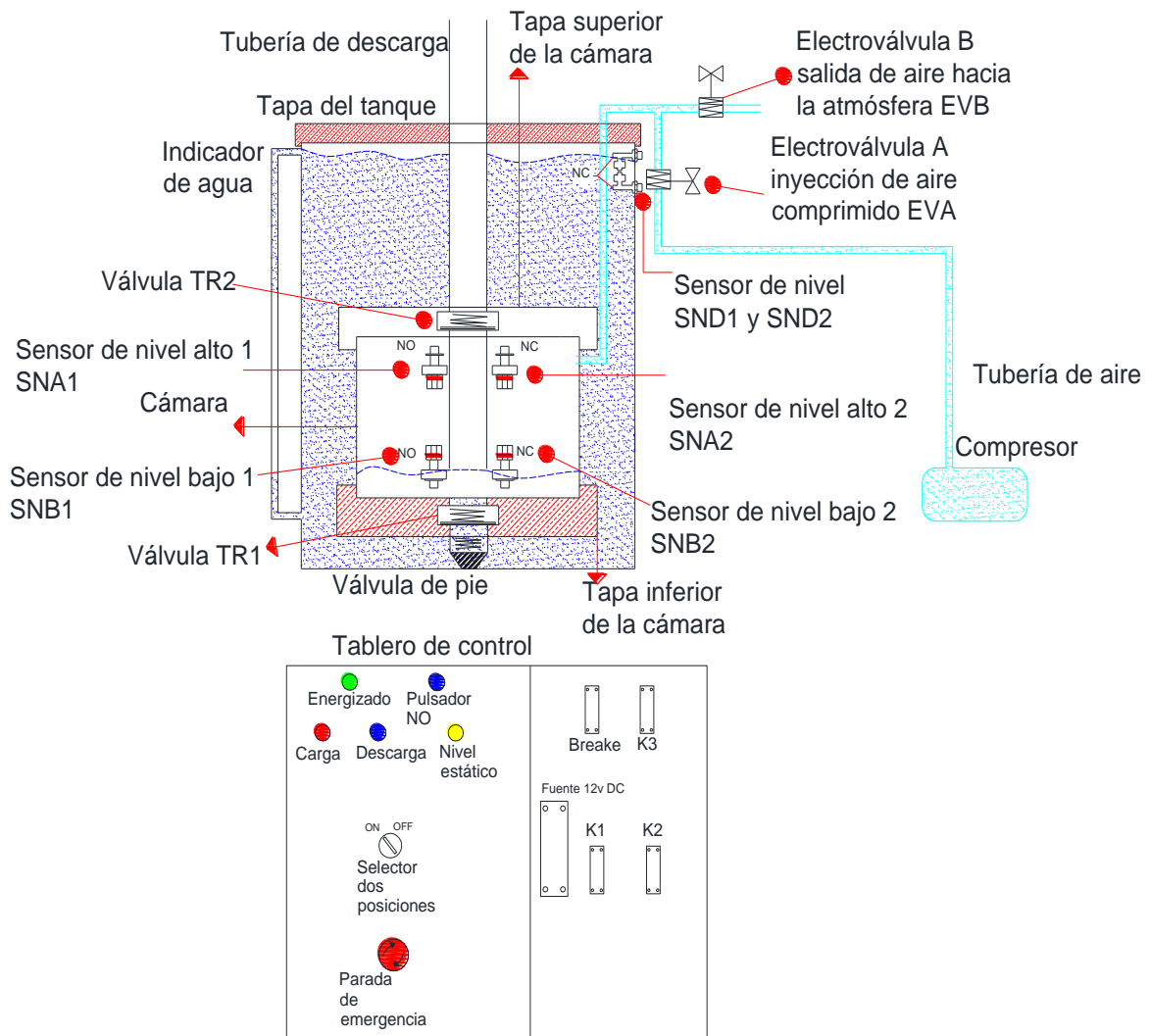


Figura 96. Esquema de los componentes que conforma el sistema de bombeo. Fuente: Autor.

## DIAGRAMA DE FUERZA Y MANDO

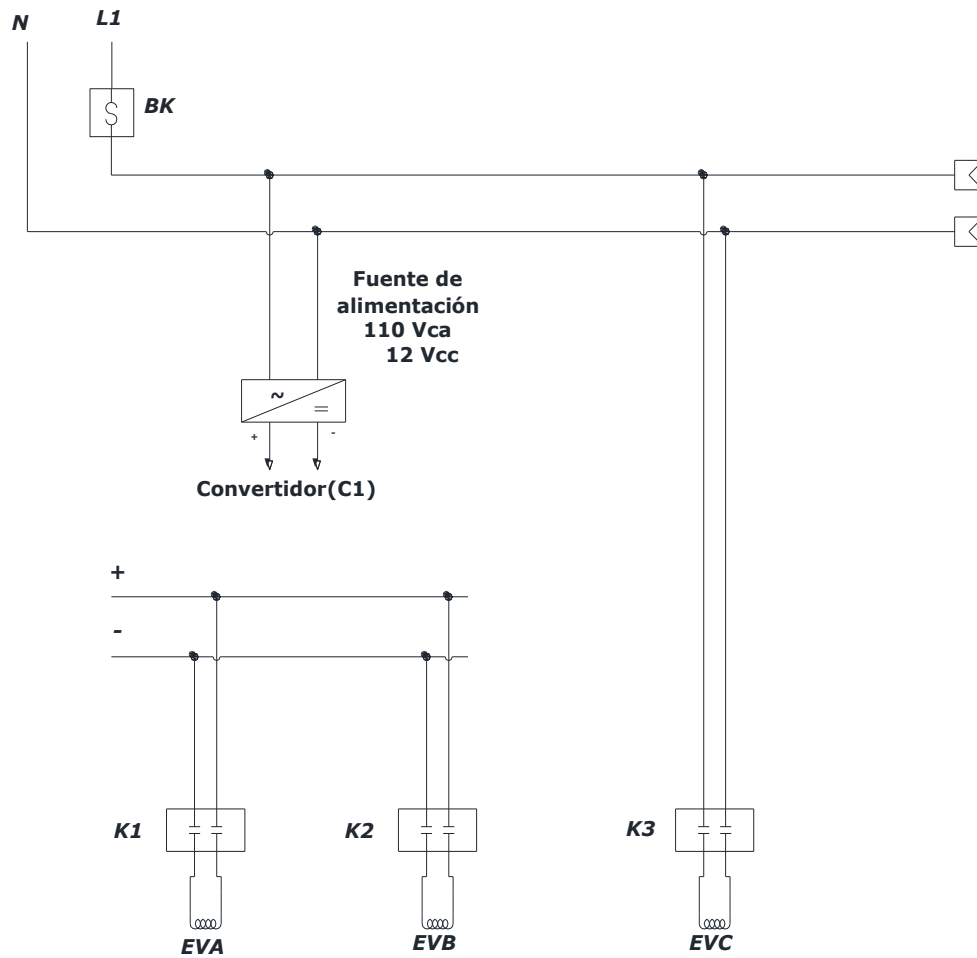
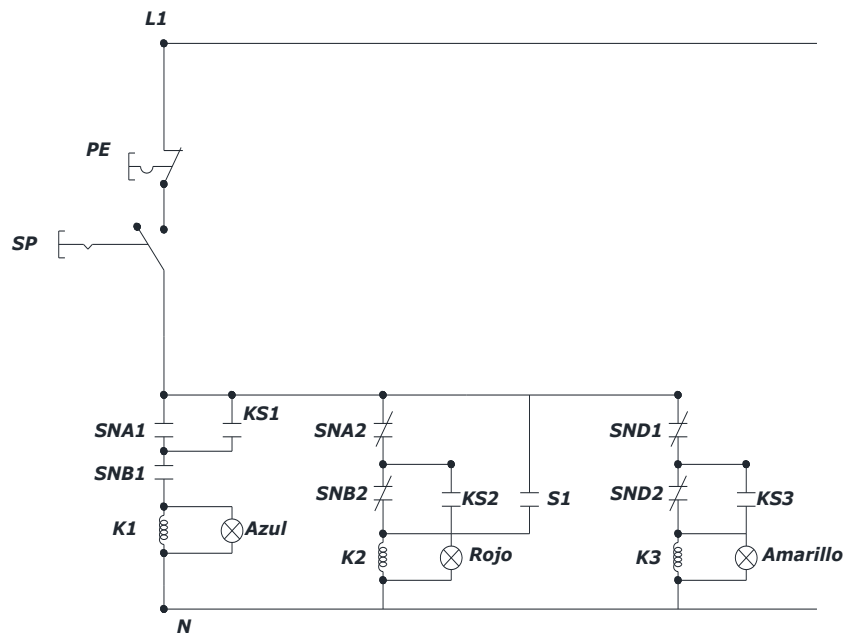


Figura 97. Diagrama de fuerza del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor.



Item	Acrónimo	Tipo de contacto	
		NA	NC
Mini relé sensor SNA1	KS1	x	
Mini relé sensor SNB2	KS2	x	
Mini relé sensor SND2	KS3	x	
Sensor de nivel Alto 1	SNA1	x	
Sensor de nivel Alto 2	SNA2		x
Sensor de nivel Bajo 1	SNB1	x	
Sensor de nivel Bajo 2	SNB2		x
Parada de Emergencia	PE		x
Selector de dos Posiciones	SP	x	
Sensor de nivel estático 1	SND1		x
Sensor de nivel estático 2	SND2		x
Pulsador	S1	x	

<b>K1: Relé para el encendido de electroválvula EVA</b>
<b>K2: Relé para encendido de electroválvula EVB</b>
<b>K3: Relé para encendido de electroválvula EVC</b>

Figura 98. Diagrama de mando del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor

## **MARCO TEÓRICO**

- **Bombas accionadas por aire.**
- **Fundamentación de mecánica de fluidos.**
- **Fundamentación de neumática.**
- **Fundamentación de sistemas de control.**

## **RESULTADOS DE LA PRÁCTICA**

*El estudiante deberá realizar un resumen de las actividades desarrolladas en la práctica deberá incluir fotos personales del proceso, recolectar los datos y obtener la curva caudal vs altura que se encuentra por encima de la bomba (sumergencia).*

## **DISCUSIÓN**

*Explique los resultados que obtuvo de la práctica y si utilizó alguna metodología de cálculo para la interpretación de la curva caudal vs la altura que se encuentra sobre la bomba.*

## **CONCLUSIONES**

*El estudiante debe elaborar las conclusiones sobre lo que aprendió con la práctica desarrollada.*

## **RECOMENDACIONES**

*El estudiante debe redactar alguna recomendación que pueda dar a otros alumnos para desarrollar bien la práctica y de forma segura.*

## **PREGUNTAS DE CONTROL**

¿Cómo afecta la sumergencia de la bomba al caudal bombeado?

¿Qué sucede con el tiempo de carga de la bomba cada vez que baja el nivel de la reserva?

¿Cuántos ciclos va a realizar el sistema de bombeo en un minuto cuando este en el último nivel de prueba, comparar con el primer nivel y cuál es el motivo que afecta a este punto explique por qué?

¿Cuál es el volumen bombeado por cada ciclo en cada nivel de prueba?

## BIBLIOGRAFÍA

*El estudiante debe citar los textos investigados de acuerdo a la norma APA sexta edición.*

### Práctica #3

<b>CARRERA: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
<b>ASIGNATURA:</b>	Máquinas de fluidos.
<b>RESULTADO DE APRENDIZAJE DE LA PRÁCTICA:</b>	Observar como varia el rendimiento del sistema de bombeo a diferentes alturas de descarga Verificar cuanta energía neumática se necesita para bombear, cuanta energía hidráulica se obtiene y cuanta energía se pierde. Interpretar la curva característica rendimiento vs altura. Observar que tipo de curva se obtiene si es cuadrática, lineal entre otras.
<b>TIEMPO DE PRÁCTICA POR GRUPO DE ESTUDIANTES:</b>	2 hora
<b>NÚMERO DE ESTUDIANTES POR GRUPO:</b>	Máximo 3 personas

### TEMA

OBTENER EL RENDIMIENTO ( $\eta$ ) DE LA BOMBA

### OBJETIVO

- Calcular la energía hidráulica necesaria para elevar la unidad de peso de agua de la bomba por cada altura de descarga
- Obtener la energía neumática utilizada para evacuar el fluido
- Obtener el rendimiento
- Graficar la curva rendimiento vs altura.

### MATERIALES

#### Materiales de oficina:

- Computadora
- Materiales bibliográficos
- Internet
- Cuaderno, lápiz, esfero, calculadora
- Paquete office, entre otros.

#### Materiales de seguridad:

- Overol o mandil
- Calzado de cuero
- Guantes

**Materiales de mediciones:**

- Banco de pruebas (Bomba Neumática, reservorio para bomba neumática, base para el banco, sensores de nivel horizontal y vertical, electroválvulas para aire y agua, equipos de control.
- Compresor.
- Esquema de conexión.
- Cinta teflón.
- Llave de tubo.
- Balde para medir el volumen
- Jarra con indicador de volumen
- Cronómetro
- Flexómetro
- Tubería de descarga diseñada para la altura del bloque de laboratorio.

**INSTRUCCIONES**

- Colocar las mochilas en los casilleros.
- Prohibido consumo de alimentos.
- Prohibidos equipos de diversión, celulares, etc.
- Prohibido jugar.
- Prohibido mover o intercambiar los equipos de los bancos de trabajo.
- Prohibido sacar los equipos del laboratorio sin autorización.
- Ubicar los equipos y accesorios en el lugar dispuesto por el responsable del laboratorio, luego de terminar las prácticas.
- Uso adecuado de equipos.
- Uso obligatorio del mandil u overol.
- Mantener buen comportamiento en el desarrollo de las prácticas.

## ACTIVIDADES A DESARROLLAR

- a) Instalar la tubería de descarga diseñada para cada altura al banco de pruebas como indica la figura 99.



Figura 99. Tubería de descarga para cada altura (2m, 4m, 6m, 8m, 10m). Fuente: Autor.

- b) Revisar la válvula de cierre rápido que esté cerrada, se encuentra instalada en la parte inferior de la reserva de agua para el llenado de la misma, en caso de evacuar el agua abrir y ubicar la manguera en un lugar apropiado como indica la figura 100.





Figura 100. Válvula de cierre rápido para purgar el agua de la reserva. Fuente: Autor.

- c) Conectar la manguera que se encuentra en la línea de carga de agua a la reserva a una red de agua en el laboratorio como indica la figura 101.



Figura 101. Conexión de la línea de carga de agua hacia la reserva a una red en el laboratorio.

Fuente: Autor

- d) Energizar el tablero de control del banco de pruebas, tensión de trabajo 110V.  
e) Conectar los sensores SND1, SND2 y la electroválvula EVC al tablero de control para el llenado automático de agua en la reserva como indica la figura 102.

*Nota: En la línea de carga de agua a la reserva se encuentra una cortadora de cierre rápido, esta llave fue instalada para emergencia ya que si por alguna razón se deterioren los sensores o la electroválvula de agua se pueda cerrar manualmente para que no rebote el agua cuando la reserva este llena, caso contrario mantenerla abierta para el llenado automático como indica la figura 103.*



Figura 102. Conexión de sensores SND1, SND2 y electroválvula de agua EVC al tablero de control. Fuente: Autor.



Figura 103. Válvula de cierre rápido de emergencia para sensores SND1 SND2 Y EVC. Fuente: Autor.

- f) Poner en marcha el sistema (ON) mediante el selector de 2 posiciones solo para llenar la reserva después apagar el sistema en (OFF) para las demás conexiones.
- g) Conectar al tablero de control los sensores SNA1, SNA2, SNB1 y SNB2 que se encuentran ubicados en la parte interna de la cámara de la bomba para accionar las electroválvulas como indica la figura 104.

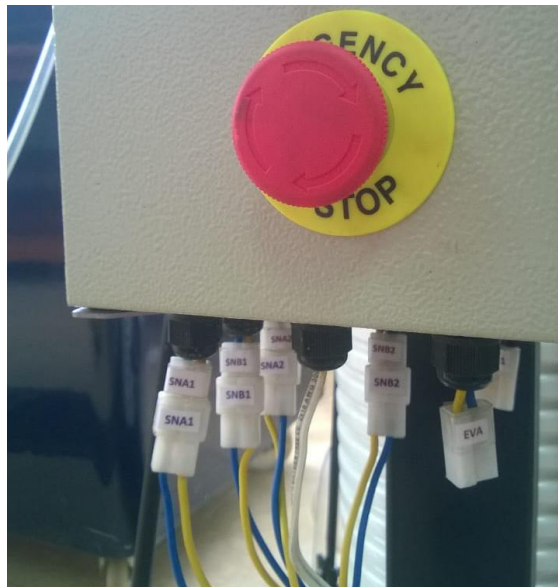


Figura 104. Conexión de sensores SNA1, SNA2, SNB1, SNB2 que se encuentran en la parte interna de la cámara al tablero de control. Fuente: Autor

- h) Conectar las electroválvulas para aire EVA y EVB al tablero de control para el estado de carga y descarga de la bomba como indica la figura 105.

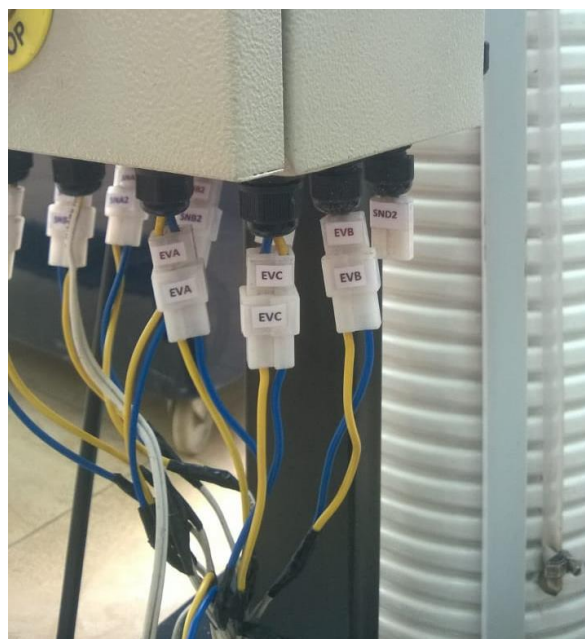


Figura 105. Conexión de las electroválvulas para el paso de aire comprimido. Fuente: Autor.

- i) Energizar la fuente de aire comprimido (compresor), tensión de trabajo 110V.
- j) Conectar la tubería de aire del compresor a la electroválvula (EVA) ver figura 106.



Figura 106. Conexión de la tubería de aire del compresor a la electroválvula EVA. Fuente: Autor.

- k) Regular la presión de aire para el proceso de bombeo 29 psi.
- l) Poner en marcha el sistema (ON) mediante el selector de 2 posiciones, ver figura 107.



Figura 107. Puesta en marcha el tablero de control para el funcionamiento del sistema de bombeo. Fuente: Autor.

- m) Una vez cumplido todas las actividades para empezar el funcionamiento de la bomba pulsar el botón de reset.

*Nota: para cada vez que el estudiante apague el sistema de bombeo y para dar funcionamiento nuevamente siempre se pulsa el botón (reset). Ver figura 108.*



Figura 108. Pulsador NO para resetear el sistema de bombeo y reanudar los ciclos. Fuente: Autor.

- n) Una vez puesta en marcha el sistema de bombeo se procede a tomar las medidas para el rendimiento del sistema neumático, se divide la energía hidráulica obtenida para el trabajo mecánico realizado sobre el agua (energía neumática utilizada.)

La energía hidráulica se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$E_{hidráulica} = v_b * \gamma_{H2O} * h_{bombeo}$$

Donde:

- $v_b$  Es el volumen bombeado que se encuentra en la tubería de descarga para cada altura,
- El diámetro interno de la tubería es 13.54mm.
- $\gamma_{H_2O}$  Es el peso específico del agua 9802 N/m<sup>3</sup>.
- $h_{bombeo}$  Es la altura de bombeo

El trabajo mecánico que se utiliza para bombear es la diferencia de presión del compresor  $\Delta P = P_{max} - P_{min}$  la presión máxima es cuando el compresor apaga cuando está totalmente cargado y la presión mínima es cuando el agua a llegado hasta la salida de la tubería del nivel de prueba ya sea (2m, 4m, 6m, 8m, 10m) en ese entonces apagar el sistema de bombeo.

*Nota: Una vez terminada la primera prueba evacuar el agua que se encuentra en la tubería de descarga para poder iniciar con la segunda y así sucesivamente.*

$$E_{neumática} = \Delta P * v_{compresor}$$

Donde:

$v_{compresor}$  Es la capacidad del tanque del compresor (24L)

o) Recolectar los datos obtenidos y graficar la curva rendimiento vs altura.

## ESQUEMA DEL SISTEMA DE BOMBEO

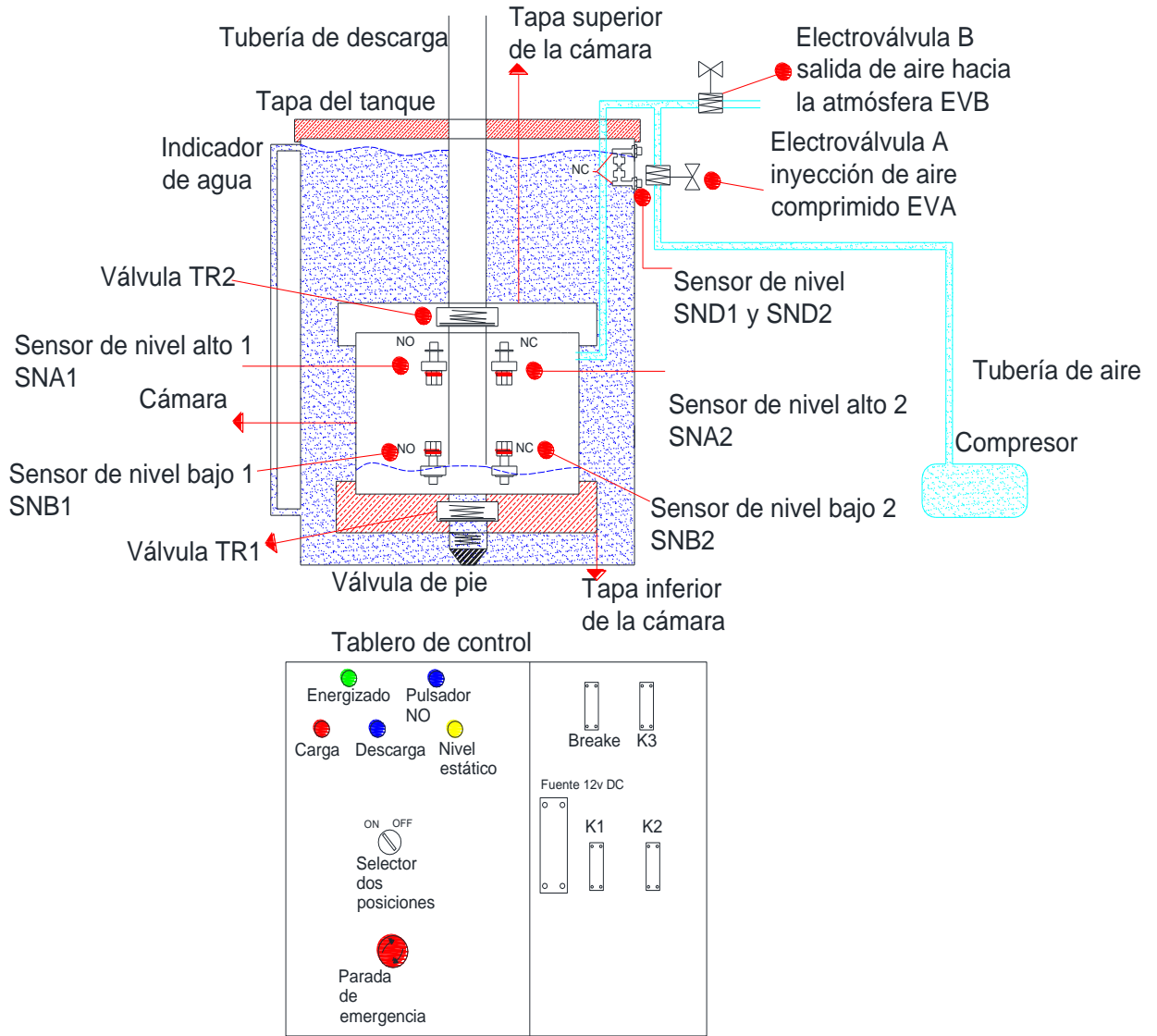


Figura 109. Esquema de los componentes que conforma el sistema de bombeo. Fuente: Autor.

## DIAGRAMA DE FUERZA Y MANDO

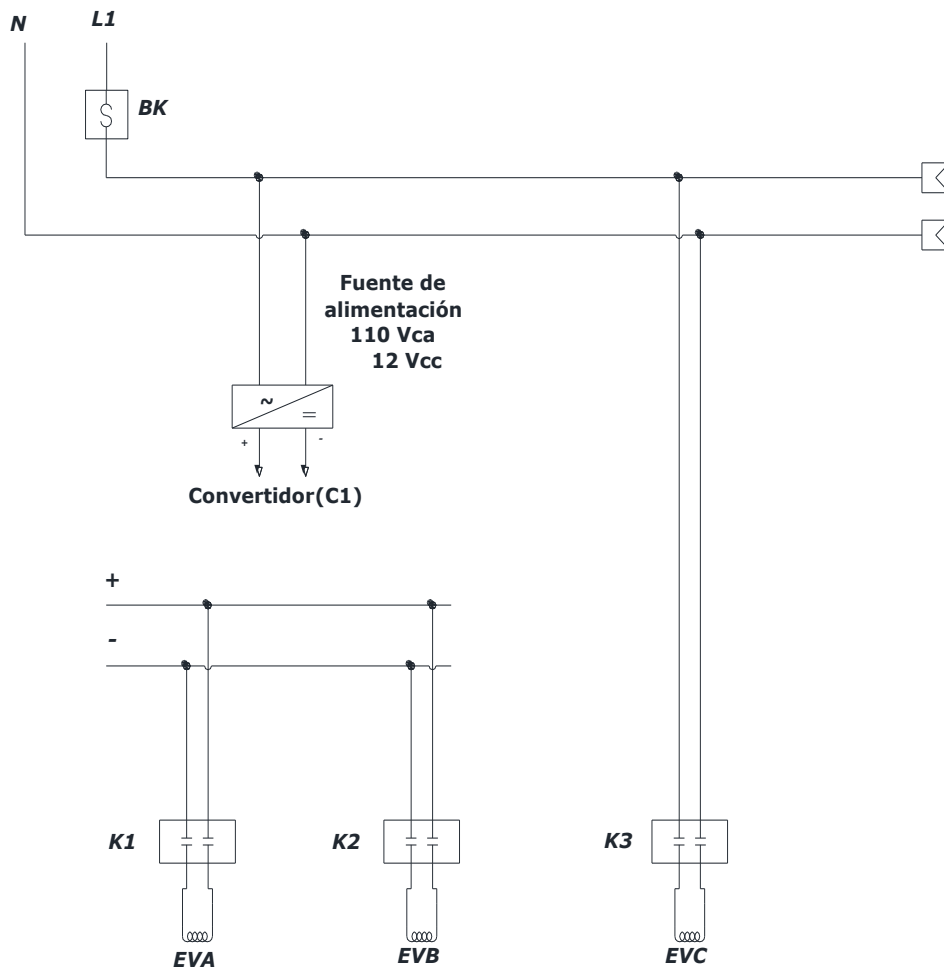
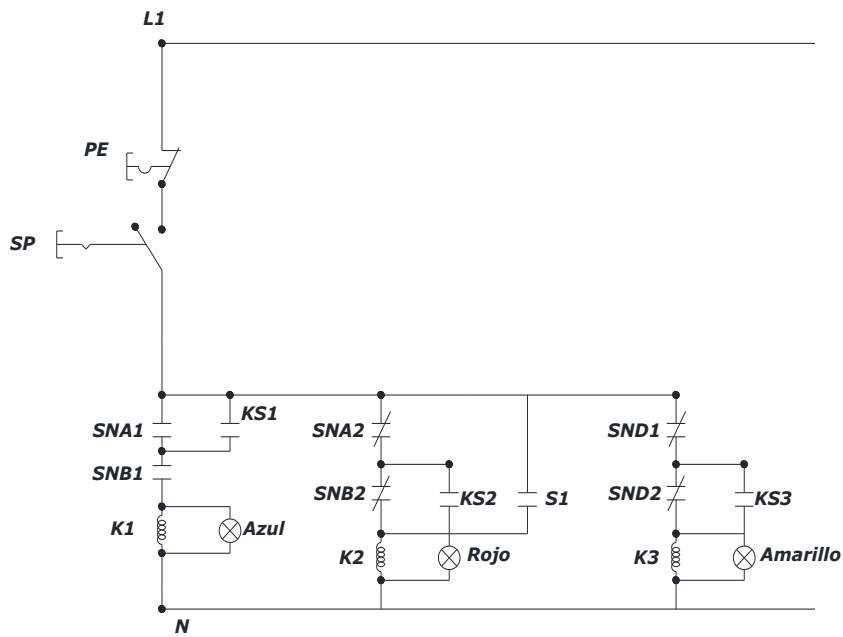


Figura 110. Diagrama de fuerza del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor.





Item	Acrónimo	Tipo de contacto	
		NA	NC
Mini relé sensor SNA1	KS1	x	
Mini relé sensor SNB2	KS2	x	
Mini relé sensor SND2	KS3	x	
Sensor de nivel Alto 1	SNA1	x	
Sensor de nivel Alto 2	SNA2		x
Sensor de nivel Bajo 1	SNB1	x	
Sensor de nivel Bajo 2	SNB2		x
Parada de Emergencia	PE		x
Selector de dos Posiciones	SP	x	
Sensor de nivel estático 1	SND1		x
Sensor de nivel estático 2	SND2		x
Pulsador	S1	x	

<b>K1: Relé para el encendido de electroválvula EVA</b>
<b>K2: Relé para encendido de electroválvula EVB</b>
<b>K3: Relé para encendido de electroválvula EVC</b>

Figura 111. Diagrama de mando del sistema semiautomático a controlar. Fuente: Autor

## **MARCO TEÓRICO**

- **Bombas accionadas por aire.**
- **Fundamentación de mecánica de fluidos.**
- **Fundamentación de neumática.**
- **Fundamentación de sistemas de control.**

## **RESULTADOS DE LA PRÁCTICA**

*El estudiante deberá realizar un resumen de las actividades desarrolladas en la práctica deberá incluir fotos personales del proceso, recolectar los datos obtenidos para graficar la curva rendimiento vs altura.*

## **DISCUSIÓN**

*Explique los resultados que obtuvo de la práctica y como varían si fueran realizadas en otros tipos de bombas tradicionales.*

*Explique qué modificaciones haría para mejorar el rendimiento del sistema neumático.*

*Explique la diferencia del rendimiento obtenido del sistema neumático con otros tipos de bombas.*

## **CONCLUSIONES**

*El estudiante debe elaborar las conclusiones sobre lo que aprendió con la práctica desarrollada.*

## **RECOMENDACIONES**

*El estudiante debe redactar alguna recomendación que pueda dar a otros alumnos para desarrollar bien la práctica y de forma segura.*

## **PREGUNTAS DE CONTROL**

¿Cuál es el rendimiento de una máquina?

¿Qué mejoras haría al sistema para aumentar la eficiencia?

¿Qué aspectos cree usted que afecta a la eficiencia del sistema de bombeo?

¿Qué tipo de curva se obtuvo del sistema de bombeo, lineal, cuadrática, entre otras?

## **BIBLIOGRAFÍA**

*El estudiante debe citar los textos investigados de acuerdo a la norma APA sexta edición*

## **Anexo 25. PLANOS**