



TECNM  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE  
MEXICO

# Tecnológico Nacional de México



## Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

**Informe técnico de residencia  
profesional.**

**“Automatización de líneas de tratamiento de agua  
para maquinaria de proceso”**

**Ing. Mecánica.**

**Alumnos**

Luis Miguel Gutiérrez Vázquez - 14270014

Pedro Carlos Guzmán Álvaro - 14270015

**Periodo**

Enero – Junio 2018

**M.E.R. Fernando Alfonso May  
Arriola**

**Ing. Cutberto de Jesús Vásquez  
Valdiviezo**

---

**Asesor Interno**

---

**Asesor Externo**

## INTRODUCCIÓN

El estado de Chiapas representa el 19 % del total de la producción nacional de leche, la actividad económica predominante en el estado es la ganadería y la agricultura con una participación del 49% del resto de las actividades económicas, así mismo cuenta con las condiciones agras climatológicas para incrementar las cuencas lecheras.

Lácteos de Chiapas es una empresa que se encarga de la pasteurización de la leche, empresa a la que se lograron sumar a más de mil productores ganaderos de las distintas regiones lecheras del estado de Chiapas.

El proyecto a desarrollar consiste en automatizar las líneas de tratamiento de agua para maquinaria de proceso; actualmente este proceso se hace manualmente por el personal y lo que la empresa requiere es que esto se haga automáticamente.

Este proceso es necesario ya que el agua potable que viene proveniente de la ciudad de Berriozábal, no está 100% tratada y el agua que se utiliza dentro de la planta para la pasteurización de la leche necesita estar tratada.

El agua durante el tratamiento es llevada por medio de una bomba a un primer deposito donde se elimina solidos suspendidos en el agua, después se lleva a un segundo deposito en donde queda libre de cualquier partícula, una vez que el agua haya pasado por los dos depósitos es llevada por medio de otra bomba dentro de la planta en donde ya es utilizada para la pasteurización de la leche.

# Contenido

<b>CAPÍTULO 1: Generalidades del proyecto.</b> .....	9
1.1 Justificación.....	9
1.1.1 Impacto ambiental.....	10
1.2 Caracterización de la zona de trabajo.....	11
1.3 Ubicación. ....	12
1.4 Política de la empresa.....	14
1.4.1 Misión.....	14
1.4.2 Visión. ....	14
1.5 Objetivos. ....	15
1.5.1 Objetivo general.....	15
1.5.2 Objetivos específicos. ....	15
1.6 Problemas a resolver. ....	16
1.7 Alcances y limitaciones. ....	17
1.7.1 Alcances. ....	17
1.7.2. Limitaciones. ....	17
<b>CAPITULO 2: Marco teórico.</b> .....	18
2.1 Bombas.....	18
2.2 Aplicaciones.....	18
2.3 Clasificación de bombas. ....	18
2.3.1 Bombas de desplazamiento positivo.....	19
2.3.2 Bombas rotodinámicas.....	22
2.4 Bombas centrífugas. ....	23
2.4.1 Bombas centrífugas de un solo salto o etapa. ....	25
2.4.2 Bombas acopladas directamente.....	25
2.4.3 Bombas de múltiples saltos o etapas.....	25
2.4.4 Principio de funcionamiento. ....	26
2.5 Bombas sumergibles.....	26
2.5.1 Características y funcionamiento. ....	26
2.6 Caudal.....	27
2.7 Numero de Reynolds. ....	28
2.7.1 Números de Reynolds críticos. ....	29

2.7.2 Pérdidas primarias en tuberías. ....	29
2.7.3 Pérdidas secundarias en tuberías.....	34
2.7.4 Ecuación para perdidas de altura en filtro de arena.....	36
2.8 Tuberías de PVC.....	37
2.8.1 Tubería de PVC hidráulico. ....	37
2.8.1.1 Tubería Hidráulica de PVC – cedula 40 CEMENTAR .....	37
2.8.1.2 Tubería hidráulica de PVC – Serie Inglesa CEMENTAR .....	39
2.8.1.3 Tubería hidráulica de PVC – serie inglesa RD, RD26, RD32.5, RD41 .....	41
2.8.1.4 Tubería hidráulica de PVC – serie métrica sistema.....	43
2.9 Sensores.....	45
2.9.1 Medidor De Nivel De Flotador.....	45
2.9.1.1 Modelo de regla.....	45
2.9.1.2 Modelo de unión magnética.....	46
2.9.1.3 Interruptor de nivel tipo flotador.....	46
2.9.2 Sensor de caudal.....	48
2.9.2.1 Medidores de presión diferencial.....	48
2.9.2.2 Placas de orificio.....	49
2.9.2.3 Tubos Venturi.....	50
2.10 Electroválvulas.....	51
2.10.1 Terminología electroválvula.....	54
2.11 Controladores de lógica programable (PLC).....	55
2.11.1 Estructura de un PLC.....	55
2.11.1.1 Características del hardware.....	55
<b>CAPITULO 3: Proceso de cálculo, selección de tuberías y válvulas adecuadas..</b>	<b>60</b>
3.1 Descripción de la etapa de distribución.....	61
3.2 Cálculos de pérdidas en todo el sistema.....	67
3.3 Instrumentos para la automatización del sistema de tratamiento de agua... 74	
3.3.1 Selección de tuberías.....	74
3.3.2 Selección de válvulas.....	75
3.3.3 Medición de nivel de la cisterna.....	76
3.3.4 Selección del sistema de control.....	77
3.3.5 Selección del medidor de caudal.....	78

3.4 Diseño de la estrategia de control PLC.....	80
<b>CAPITULO 4: Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>90</b>
4.1 Conclusiones.....	90
4.2 Recomendaciones. ....	90
Anexos .....	91
Bibliografía. ....	99

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Entrada de Lácteos de Chiapas S.A de C.V.....	11
<b>Figura 2.</b> Macro localización de la empresa. ....	12
<b>Figura 3.</b> Ubicación exacta de la empresa.....	13
<b>Figura 4.</b> Sistema de tratamiento de agua utilizada actualmente. ....	16
<b>Figura 5.</b> Clasificación de las bombas. ....	19
<b>Figura 6.</b> Bomba de desplazamiento positivo. ....	20
<b>Figura 7.</b> Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo. ....	20
<b>Figura 8.</b> Bomba reciprocante. ....	21
<b>Figura 9.</b> Bomba rotatoria. ....	21
<b>Figura 10.</b> Clasificación de las bombas rotodinámicas.....	22
<b>Figura 11.</b> Bombas rotodinámicas. ....	22
<b>Figura 12.</b> Tipos de bombas centrífugas. ....	23
<b>Figura 13.</b> Bomba centrífuga. ....	25
<b>Figura 14.</b> Diagrama de Moody. ....	33
<b>Figura 15.</b> Tubería hidráulica de PVC - cedula 40.....	38
<b>Figura 16.</b> Tubería hidráulica de PVC - Serie Inglesa ....	40
<b>Figura 17.</b> Tubería hidráulica de PVC - serie inglesa RD, RD26, RD32.5, RD41.....	42
<b>Figura 18.</b> Tubería hidráulica de PVC - serie métrica sistema.....	43
<b>Figura 19.</b> Medidores de flotador y cinta. ....	45
<b>Figura 20.</b> Medidor con flotador de unión magnética.....	46
<b>Figura 21.</b> Interruptor de nivel tipo flotador. ....	47
<b>Figura 22.</b> Placas de orificio. ....	49
<b>Figura 23.</b> Perfiles de orificios. ....	49
<b>Figura 24.</b> Tomas de presión alternativa. ....	50
<b>Figura 25.</b> Tubo Venturi. ....	50
<b>Figura 26.</b> Electroválvulas. ....	51
<b>Figura 27.</b> Normalmente cerrada (N.C) ....	52
<b>Figura 28.</b> Normalmente abierta (N.A).....	52
<b>Figura 29.</b> Acción Indirecta.....	53

<b>Figura 30.</b> Terminología electroválvula.....	54
<b>Figura 31.</b> Características y estructura hardware del PLC .....	55
<b>Figura 32.</b> Diagrama bloques funcionales. ....	56
<b>Figura 33.</b> Interfaz de entrada lógica (1 bit).....	58
<b>Figura 34.</b> Interfaz de salida lógica (1 bit).....	58
<b>Figura 35.</b> Proceso de adaptación de las señales de E/S analógicas. ....	59
<b>Figura 36.</b> Diagrama actual de la línea de tratamiento de agua. ....	61
<b>Figura 37.</b> Deposito para regenerar los suavizadores. ....	62
<b>Figura 38.</b> Filtro de arena. ....	63
<b>Figura 39.</b> Filtro de carbón activado. ....	64
<b>Figura 40.</b> Suavizador 1. ....	65
<b>Figura 41.</b> Suavizador 2. ....	65
<b>Figura 42.</b> Sensor de nivel NIVELCO .....	76
<b>Figura 43.</b> PLC marca Siemens S7 - 200 .....	77
<b>Figura 44.</b> Caudalimetro OPITIFLUX.....	78
<b>Figura 45.</b> Diagrama de conexión de los elementos.....	79
<b>Figura 46.</b> Diagrama de escaleras de nivel de la cisterna. ....	80
<b>Figura 47.</b> Sensor nivel bajo y alto. ....	81
<b>Figura 48.</b> Conexión de los elementos de control en PLC.....	81
<b>Figura 49.</b> Diagrama de escaleras del tramo 1.....	82
<b>Figura 50.</b> Válvulas del tramo 1.....	82
<b>Figura 51.</b> Conexión en el PLC.....	83
<b>Figura 52.</b> Diagrama de escaleras del tramo 2.....	83
<b>Figura 53.</b> Válvulas del tramo 2. ....	84
<b>Figura 54.</b> Diagrama de escaleras de selección de suavizadores.....	84
<b>Figura 55.</b> Válvulas de selección de suavizadores. ....	85
<b>Figura 56.</b> Válvulas de selección de suavizadores. ....	85
<b>Figura 57.</b> Diagrama de escaleras del tramo 3.....	86
<b>Figura 58.</b> Válvulas del tramo 3. ....	86
<b>Figura 59.</b> Diagrama de escaleras del tramo 4.....	87
<b>Figura 60.</b> Válvulas del tramo 4.....	87

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Rugosidad promedio de tuberías. ....	33
<b>Tabla 2.</b> Valor del coeficiente de K en pérdidas singulares. ....	37
<b>Tabla 3.</b> Dimensiones de tubería de PVC. ....	41
<b>Tabla 4.</b> Dimensiones de tubería de PVC – serie inglesa. ....	43
<b>Tabla 5.</b> Dimensiones de tuberías de PVC – serie inglesa RD, RD26, RD32.5, RD41....	45
<b>Tabla 6.</b> Dimensiones de tuberías de PVC – serie métrica sistema ANGER C5, C7, C1...47	
<b>Tabla 7.</b> Tubería de PVC .....	78
<b>Tabla 8.</b> Selección de válvulas según el fluido de proceso. ....	79
<b>Tabla 9.</b> Elementos de instalación. ....	92



# **CAPÍTULO 1: Generalidades del proyecto.**

## **1.1 Justificación.**

La problemática presentada, por la cual se realiza este proyecto es en automatizar las líneas de tratamiento de agua para maquinaria de proceso, ya que un operador tiene que abrir o cerrar las válvulas para que se haga el tratamiento del agua.

El abastecimiento del agua se hace con pozos profundos de 50 metros de profundidad aproximadamente, pero debido que el agua residual era desechada a una laguna artificial atrás de los depósitos de agua y estando cerca un pozo profundo, incrementaron los problemas de contaminación.

Actualmente debido a esta contaminación solo se está utilizando un pozo profundo pero debido a la gran demanda fue necesario de traer agua de otra parte.

Es de suma importancia hacer el tratamiento del agua, ya que el agua que se abastece en la planta no está tratada y por ello es necesario eliminar todas las impurezas como la sal y el cloro.

Este diseño o diagrama ayudaría al buen funcionamiento tanto para la empresa como para los trabajadores, para la empresa sería de gran ayuda ya que si lo llevaran a cabo sería de gran ayuda para la producción en este caso de la leche, porque sería mucho más eficientes y aumentaría la producción.

### 1.1.1 Impacto ambiental.

Toda actividad industrial supone la producción indirecta de una serie de residuos. En cualquiera de sus formas son emitidos hacia el ambiente produciendo degradación en las características originales del suelo, agua o aire.

Son las aguas provenientes de procesos post – industriales; es decir que han sido utilizadas en los diferentes sistemas de fabricación, producción o manejo industrial y que para ser desechadas necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su ubicación en las respectivas redes de vertido, depuradoras o sistemas naturales como ríos o embalses.

- **Agua de Proceso:** es el agua que interviene en el proceso de fabricación y que entra en contacto con el producto a transformar.
- **Agua de Limpieza de equipos e instalaciones:** Indispensable para la industria de alimentos para garantizar la higiene general requerida.
- **Agua de Servicios:** son las necesarias para el funcionamiento de equipos de refrigeración, purgas de calderas, etc.
- **Agua Sanitaria:** Proveniente de los servicios sanitarios de personal que trabaja en la industria.

## 1.2 Caracterización de la zona de trabajo.

La unión ganadera regional del estado representada por el ingeniero agrónomo Sergio Zuarth Rojas llevo a cabo convocatorias a las asociaciones ganaderas de la entidad para solucionar los bajos precios de comercialización de la leche fresca y de acuerdo al estudio de viabilidad comercial con precios estables y con incrementos en el consumo de la leche ultra pasteurizada, nace el proyecto Lácteos de Chiapas, S.A. de C.V. que se constituye el 22 de septiembre del año 2000.

Empresa a la que se lograron sumar a más de mil productores ganaderos de las distintas regiones lecheras del estado de Chiapas y conformar la tenencia accionaria de la sociedad. Actualmente somos 1,200 socios.

La planta ultra pasteurizadora inicio operaciones el 4 de julio del año 2003, con la producción de leche semidescremada y con la presentación del envase tetra brik de un litro.

El equipo y maquinaria instalada es tecnología de alta calidad y es considerada una de las plantas más tecnificadas actualmente en el país, ya que el 100% del proceso esta automatizado. La capacidad instalada de producción es de 6,000 litros por hora (figura 1).



**Figura 1. Entrada de Lácteos de Chiapas S.A de C.V**

### 1.3 Ubicación.

Lácteos de Chiapas, se localiza al Sureste de la República Mexicana en el estado de Chiapas, se localiza al sureste de México, colindando al norte con el estado de Tabasco, al oeste con Veracruz y Oaxaca, al sur con el Océano Pacífico y al este de la República de Guatemala como se observa en la figura 2.



**Figura 2. Macro localización de la empresa.**

En el estado de Chiapas, “Pradel” se encuentra ubicada en el Kilómetro 3.5 en la carretera de Berriozábal-Ocozocoautla al sureste del municipio de Berriozábal, Chiapas, México. Esta aproximadamente a 20 minutos de la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas (Figura 3).



**Figura 3. Ubicación exacta de la empresa.**

## **1.4 Política de la empresa.**

Promover en todos los niveles el desarrollo en dirección a la calidad total a través de la capacitación constante y la actualización tecnológica.

### **1.4.1 Misión.**

“Ser un medio de comercialización de la leche de los socios productores para darle un valor agregado al trabajo en el campo a través del crecimiento y rentabilidad de la planta ultrapasteurizadora, produciendo alimentos de alta calidad y logrando la absoluta satisfacción de los clientes y el desarrollo de nuestra gente” (Pradel, 2014).

### **1.4.2 Visión.**

“Ser la planta de Ultra pasteurización que surta la mayor demanda de productos de larga vida en el sureste del país con calidad y rentabilidad” (Pradel, 2014).

## **1.5 Objetivos.**

### **1.5.1 Objetivo general.**

Automatizar el control de tratamientos de aguas para maquinaria de procesos, para hacer de fácil manejo para el operador y la comunicación con computadoras remotas a través de una red, lo cual hace que se pueda llevar a cabo un control adecuado.

### **1.5.2 Objetivos específicos.**

- Realizar un estudio del funcionamiento de los sistemas que actualmente se encuentran instalados y en operación para hacer una evaluación y proponer las mejoras necesarias.
- Diseño conceptual del sistema de automatización.
- Elaboración de la ingeniería básica del sistema de automatización.
- Elaboración de la ingeniería de detalle del sistema de automatización.
- Aplicar los conceptos de diferentes modos de control automático de equipos y procesos a un sistema de tratamiento de agua.

## 1.6 Problemas a resolver.

Existe la necesidad de diseñar un sistema de línea de tratamiento de agua para maquinaria de proceso, incluyendo todas las etapas de pre-tratamiento de agua, completamente automatizado, en donde se aumente la producción de las plantas al máximo, se generen las mayores ganancias posibles.

Es importante mencionar que las plantas mecánicas o semiautomáticas desarrolladas actualmente generan una pérdida de tiempo para el operario encargado y una ineficiencia en el proceso para la empresa, es allí donde se hace latente la necesidad de desarrollar plantas completamente automatizadas.

Un operador tiene que estar pendiente a que todo el proceso de tratamiento del agua se lleve adecuadamente, el operador tiene que activar la bomba para que el agua fluya en las tuberías, pasando por el primer depósito para eliminar la arena que tenga el agua, después tiene que pasar por un depósito que es el suavizador (Figura 4).



**Figura 4. Sistema de tratamiento de agua utilizada actualmente.**



## **1.7 Alcances y limitaciones.**

Como es común en toda industria en proceso de crecimiento, tal es el caso de LÁCTEOS DE CHIAPAS S.A. DE C.V., los problemas en los procesos de producción son frecuentes por lo que en ocasiones se buscan soluciones provisionales o improvisadas; el desarrollo de este proyecto impacta de manera positiva como se muestra en el siguiente apartado.

### **1.7.1 Alcances.**

Se realizará la automatización de la línea de tratamiento de agua para hacer más eficiente el proceso tomando en cuenta lo siguiente:

- El proyecto de residencia profesional pretende un diseño capaz de modernizar y mejorar el sistema de automatización de línea de tratamiento de agua para maquinaria de proceso que opera en Lácteos Chiapas S.A de C.V, para la óptima operación, mejorar y facilitar las labores del personal mecánico, ya sea en rutinas como en mantenimientos.
- También se pretende mantener las condiciones adecuadas de los equipos que lo rodean y así evitar contratiempos y mayor durabilidad de los mismos.
- Uno de los aspectos principales sería el reutilizar el mayor equipo posible que se encuentre instalado para evitar gastos innecesarios, siempre y cuando los equipos se encuentren en buen estado para seguir operando.

### **1.7.2. Limitaciones.**

Para el desarrollo del proyecto de la automatización de la línea de tratamiento de agua y el informe de residencia se establecerá que el diseño de la línea de tratamiento de agua será la que actualmente cuenta la planta, tomando en cuenta lo siguiente:

- Debido a que al proyecto corresponde únicamente a la automatización de línea de tratamiento de agua para maquinaria de proceso el presente trabajo únicamente se limita a recomendar un diseño para la operación óptima del mismo todo esto respecto a una base de cálculos realizados.
- Los datos obtenidos en los cálculos, son aproximados debido a que la planta no cuenta con el plano de instalación de la línea de tratamiento de agua que actualmente se está utilizando.
- La puesta en marcha, utilización de los resultados, los datos propuestos y obtenidos será decisión únicamente de Lácteos de Chiapas S.A de C.V.

## **CAPITULO 2: Marco teórico.**

### **2.1 Bombas.**

Es una maquina generadora, que absorbe energía mecánica y la restituye en energía hidráulica al fluido que la transita; desplazando el fluido de un punto a otro.

### **2.2 Aplicaciones.**

Se emplean para bombear toda clase de fluidos como agua, aceite de lubricación, combustibles, ácidos; algunos otros líquidos alimenticios, como son cerveza y leche; también se encuentran los sólidos en suspensión como pastas de papel, mezclas, fangos y desperdicios.

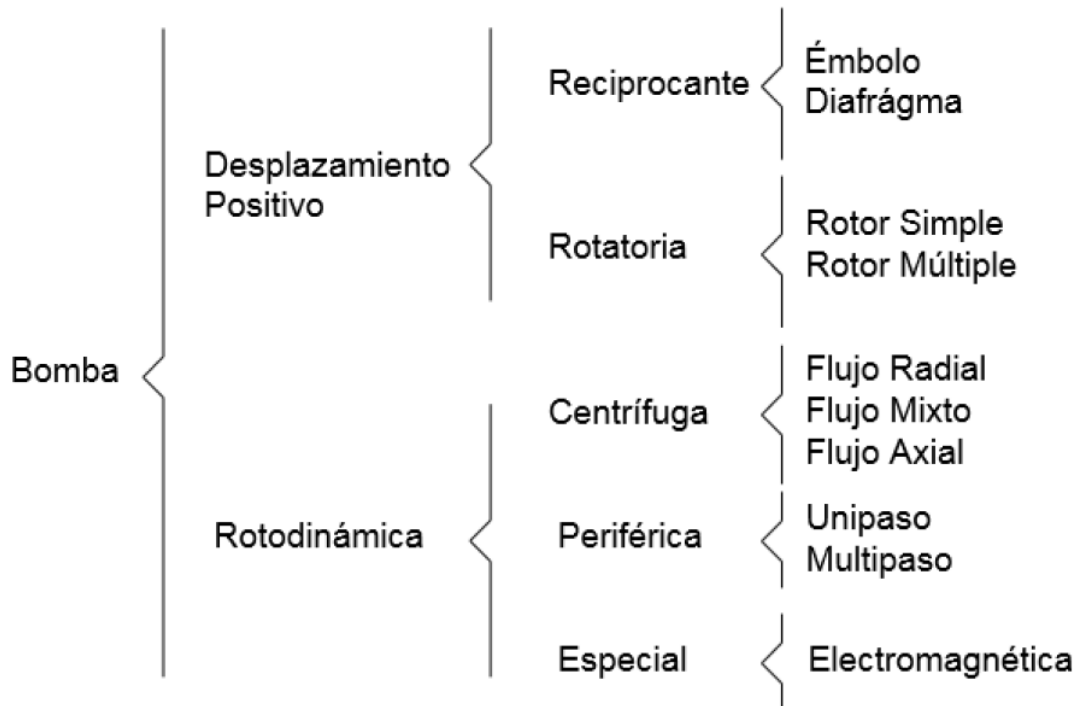
### **2.3 Clasificación de bombas.**

Las bombas se clasifican con base en una gran cantidad de criterios, que van desde sus aplicaciones, materiales de construcción, hasta su configuración mecánica.

Algunas bombas funcionan con un movimiento alternativo y otras con movimiento de rotación continuo, aunque el sistema de movimiento no permite su clasificación desde el punto de vista rotacional, por el contrario, su modo de accionar si permite clasificarlas.

Un criterio básico que incluye una clasificación general, es el que se basa en el principio por el cual se adiciona energía al fluido, bajo este criterio las bombas se clasifican en 2 grupos (Figura 5).

- a) Bomba de desplazamiento positivo
- b) Bomba rotodinámica.



**Figura 5. Clasificación de las bombas.**

### **2.3.1 Bombas de desplazamiento positivo.**

A este tipo pertenecen no solo las bombas alternativas, sino también las rotativas llamadas rotoestáticas; en ellas el rodete comunica energía al fluido en forma de presión. Su funcionamiento se basa en el principio de desplazamiento positivo.

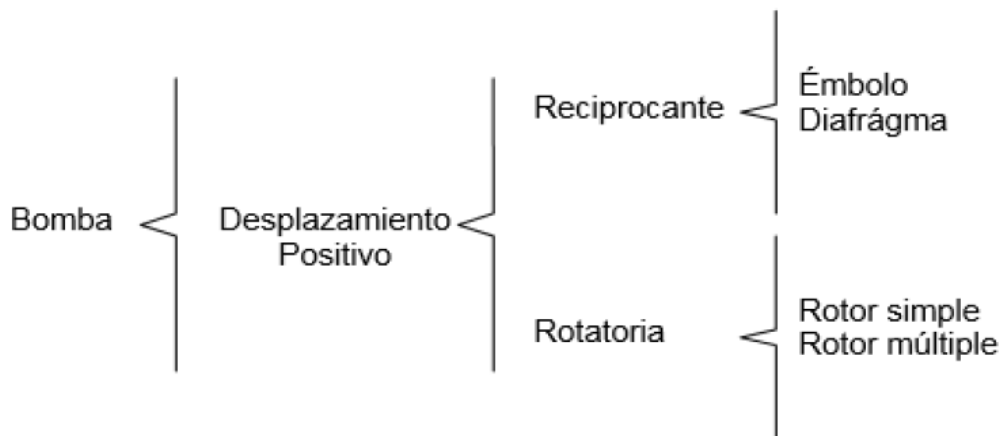
En una bomba de desplazamiento positivo, la cavidad de la máquina, cuyo volumen varía periódicamente, va unida de forma alternativa al orificio de aspiración o al de descarga. El desplazamiento del líquido se efectúa por volúmenes de engendrados.

Las bombas volumétricas pueden ser de movimiento alternativo o rotativo continuo (Figura 6).



**Figura 6. Bomba de desplazamiento positivo.**

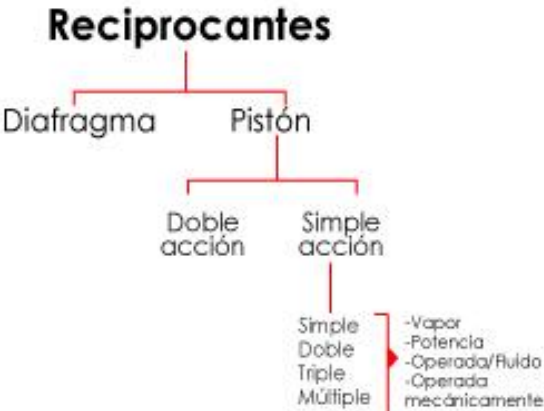
En la siguiente imagen se muestra la clasificación de las bombas de desplazamiento positivo (Figura 7).



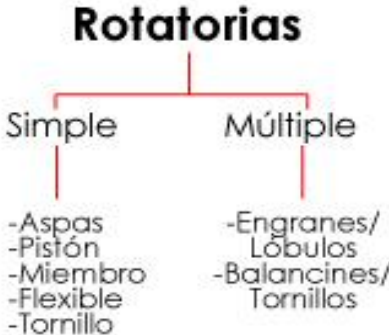
**Figura 7. Clasificación de las bombas de desplazamiento positivo.**

**Bomba recíproca:** Es un dispositivo mecánico de desplazamiento positivo, es decir, recibe un volumen fijo de líquido en condiciones casi de succión, lo comprime a la presión de descarga y lo expulsa por la boquilla de descarga (Figura 8).

**Bomba rotatoria:** Este tipo de movimiento es el que traslada el fluido desde la aspiración hasta la salida de presión. Según el elemento que transmita tal movimiento (Figura 9).



**Figura 8. Bomba recíproca.**

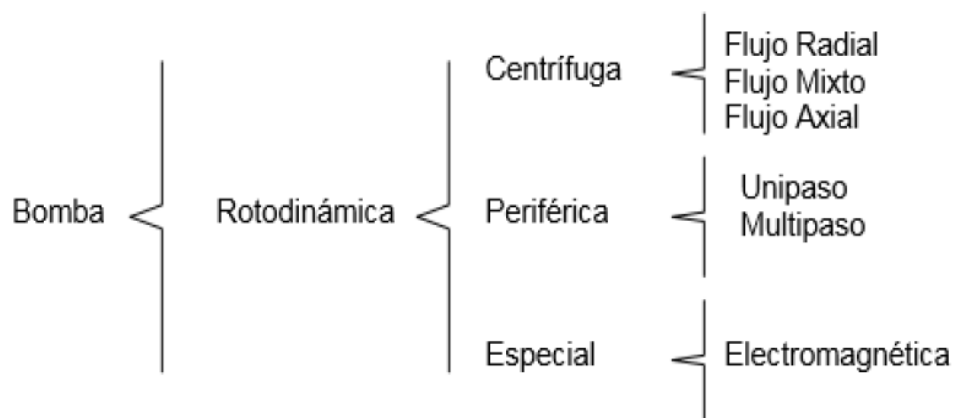


**Figura 9. Bomba rotatoria.**

### 2.3.2 Bombas rotodinámicas.

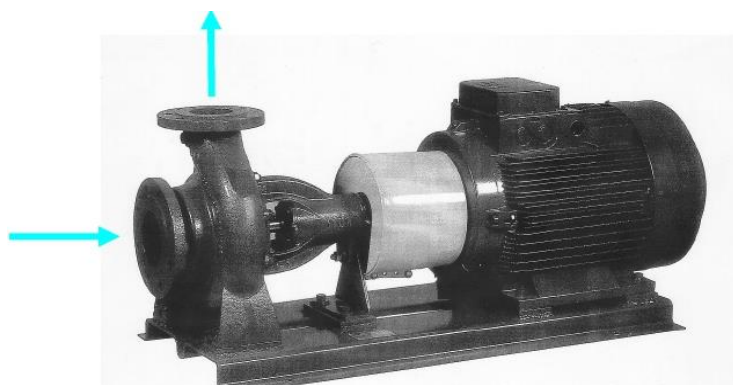
Son rotativas, su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler, su órgano de transmisión de energía se llama rodete.

Se llaman rotodinámicas (Figura 10) por que su movimiento es rotativo y el rodete comunica energía al fluido en forma de energía cinética. La energía mecánica que recibe puede ser de un motor eléctrico, térmico, etc. Y posteriormente la convierte en energía hidráulica, que el fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.



**Figura 10. Clasificación de las bombas rotodinámicas.**

La principal forma de clasificación de las bombas rotodinámicas (Figura11) es separarlas en bombas axiales, mixtas y radiales, según la dirección de salida del flujo con respecto al eje. El nombre común para las radiales es bombas centrífugas (Tyler, 1976).



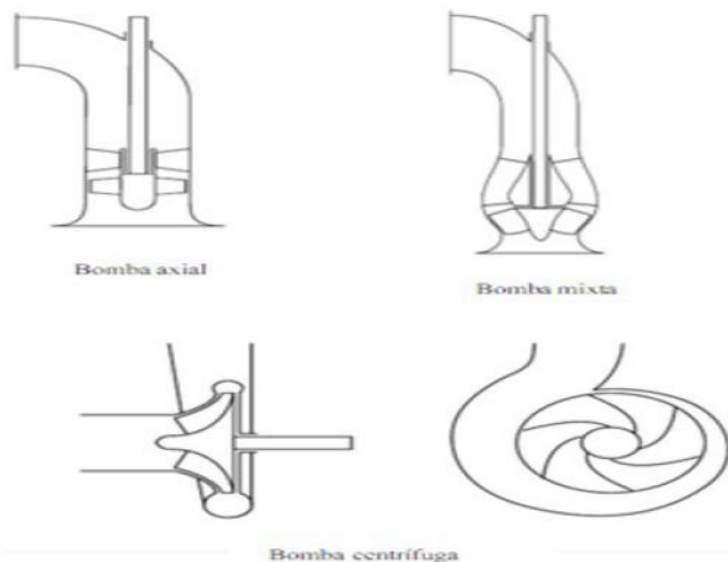
**Figura 11. Bombas rotodinámicas.**

## 2.4 Bombas centrífugas.

La bomba centrífuga, también denominada bomba rotodinámica, es actualmente la máquina más utilizada para bombear líquidos en general. Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible. El fluido entra por el centro del rodete o impulsor que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente impulsor. Son máquinas basadas en la ecuación de Euler.

Las Bombas Centrífugas se pueden clasificar de diferentes maneras (Figura 12).

- Por la dirección del flujo en: radial, axial y mixto.
- Por la posición del eje de rotación o flecha en: horizontales, verticales e inclinados.
- Por el diseño de la coraza (forma) en: voluta y las de turbina.
- Por el diseño de la mecánico coraza en: axialmente bipartidas y las radialmente bipartidas.
- Por la forma de succión en: sencilla y doble.



**Figura 12. Tipos de bombas centrífugas.**

Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido. Por tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, en pascales (Pa), metros de columna de agua (m. c. a), es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad. Tradicionalmente la presión proporcionada por la bomba en metros de columna de agua o pie-lb/lb se expresa en metros o en pies y por ello que se denomina genéricamente como “altura”, y aún más, porque las primeras bombas se dedicaban a subir agua de los pozos desde una cierta profundidad o altura.

Las bombas centrífugas tienen un uso muy extendido en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier uso. Las más comunes son las que están construidas bajo normativa DIN 24255 (en formas e hidráulica) con un único impulsor, que abarcan capacidades hasta los 500 m<sup>3</sup>/h y alturas manométricas hasta los 100 metros con motores eléctricos de velocidad normalizada. Estas bombas se suelen montar horizontales, pero también pueden estar verticales y para alcanzar mayores alturas se fabrican disponiendo varios impulsores sucesivos en un mismo cuerpo de bomba. De esta forma se acumulan las presiones parciales que ofrecen cada uno de ellos. En este caso se habla de bomba multifásica o multietapa, pudiéndose lograr de este modo alturas del orden de los 1200 metros para sistemas de alimentación de calderas.

Constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para mover más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

No hay válvulas en las bombas de tipo centrífugo; el flujo es uniforme y libre de impulsos de baja frecuencia.

Los impulsores convencionales de bombas centrífugas se limitan a velocidades en el orden de 60 m/s.



## Tipos de bombas centrífugas:

### 2.4.1 Bombas centrífugas de un solo salto o etapa.

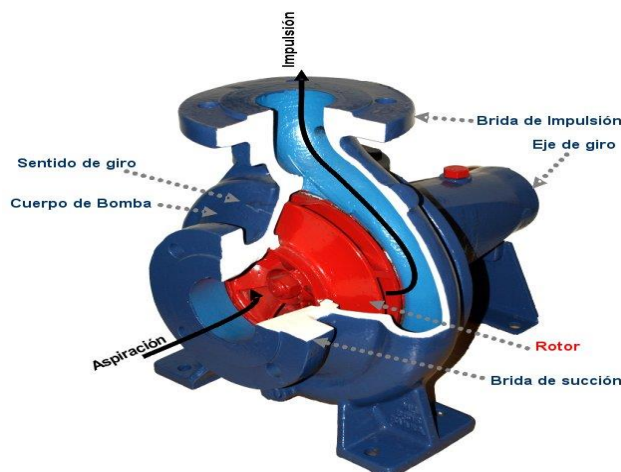
El término bombas para compuestos químicos se suele aplicar a las de un salto y de diseño simple. Estas bombas se construyen de modo que resulte fácil desmontarlas, que sean accesibles y con prensaestopas especiales para manejar líquidos corrosivos. Se emplean para servicios generales de abastecimiento y circulación de agua y para manipular compuestos químicos que no corroan el hierro ni el bronce.

### 2.4.2 Bombas acopladas directamente.

Estas unidades, en las que el motor eléctrico, o a veces una turbina de vapor, está montado directamente sobre el mismo eje que el rodete, son sumamente compactas y apropiadas para una gran variedad de servicios cuando es posible emplear en su construcción hierro y bronce.

### 2.4.3 Bombas de múltiples saltos o etapas.

Estas bombas se usan en general para los servicios que exigen cargas (presiones) mayores que las que se consiguen con las bombas de un solo salto. Estos servicios incluyen las bombas de alta presión para abastecimientos de agua, las bombas para combatir los incendios, las de alimentación de calderas y las de carga para las refinerías. Las bombas de múltiples saltos, o varios rodetes, pueden ser de voluta o de difusor (Figura 13).



**Figura 13. Bomba centrífuga.**

#### **2.4.4 Principio de funcionamiento.**

Las bombas centrífugas son máquinas denominadas “receptoras” o “generadoras” que se emplean para hacer circular un fluido en contra de un gradiente de presión. Para que un fluido fluya desde donde hay mayor presión hasta donde hay menos presión no se necesita ningún gasto de energía (Por ejemplo: un globo desinflándose, o un líquido desplazándose desde donde la energía potencial es mayor hasta donde es menor) pero, para realizar el movimiento inverso, es necesaria una bomba, la cual le comunica al fluido energía, sea de presión, potencial o ambas. Para esto, necesariamente se tiene que absorber energía de alguna máquina motriz, ya sea un motor eléctrico, uno de combustión interna, o una turbina de vapor o gas.

#### **2.5 Bombas sumergibles.**

Una bomba sumergible es una bomba que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.

##### **2.5.1 Características y funcionamiento.**

Un sistema de sellos mecánicos se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor cause un cortocircuito. La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible o bajar debajo de los carriles o de los alambres de guía de modo que la bomba sienta en “un acoplador del pie de los platos”, de tal forma conectándola con la tubería de salida.

Las bombas sumergibles tienen muchas utilidades, las bombas de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de aguas residuales, el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Las bombas sumergibles se colocan habitualmente en la parte inferior de los depósitos de combustible y también se utilizan para la extracción de agua de pozos de agua (Igor, 1989).

## 2.6 Caudal.

El caudal volumétrico es el volumen del líquido que fluye a través de un tubo en un tiempo definido. En la hidráulica se emplea el símbolo  $Q$  para denominar el caudal volumétrico y se emplea la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{V}{T} \quad (2-1)$$

$Q$  = Caudal volumétrico ( $m^3/s$ )

$V$  = Volumen ( $m^3$ )

$T$  = Tiempo (s)

O también se puede emplear la ecuación (2-2):

$$Q = A \times V \quad (2-2)$$

Donde:

$Q$  = Caudal

$A$  = Área del orificio

$V$  = Velocidad

## 2.7 Numero de Reynolds.

El comportamiento de un fluido, particularmente con respecto a las pérdidas de energía, depende bastante de si el flujo es laminar o turbulento. Por esta razón se desea tener medios para predecir el tipo de flujo sin la necesidad de observarlo. La observación directa es imposible para fluidos que se encuentran en conductos opacos. Se pueden mostrar experimentalmente y verificar analíticamente que el carácter del flujo en un conducto redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido  $\rho$ , la viscosidad del fluido  $\mu$ , el diámetro del conducto  $D$  y la velocidad promedio del flujo,  $V$ .

Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que un flujo laminar o turbulento puede ser predicho si se conoce la magnitud de un número adimensional, conocido ahora como el número de Reynolds ( $N_R$ ,  $Re$ ). La siguiente ecuación (2-3) muestra la definición básica del número de Reynolds.

$$N_R = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \quad (2-3)$$

Si  $N_R \leq 2000$ , el flujo es laminar.

Si  $N_R \geq 4000$ , el flujo es turbulento.

$N_R$  = número de Reynolds.

$v$  = velocidad promedio del flujo.

$D$  = diámetro del conducto.

$\rho$  = densidad del fluido.

$\mu$  = viscosidad del fluido.

$\nu$  = viscosidad cinemática.  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

Los flujos que tienen un número de Reynolds grande, típicamente debido a una alta velocidad o a una baja viscosidad, o a ambas, tienen a ser turbulentos. Aquellos fluidos que poseen una alta viscosidad y/o que se mueven a bajas velocidades tendrán un número de Reynolds pequeño y tendrán a ser laminares.

### 2.7.1 Números de Reynolds críticos.

Para aplicaciones prácticamente en flujos de conductos, tenemos que si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, el flujo será laminar.

Tenemos también que si el número de Reynolds es mayor que 4000, se puede suponer que el flujo es turbulento. En el intervalo de número de Reynolds comprendido entre 2000 y 4000, es imposible predecir qué tipo de flujo existe; por consiguiente, este intervalo se conoce como región crítica. Si se encuentran que el flujo de un sistema está en la región crítica, la práctica normal consiste en cambiar la rapidez de flujo o el diámetro del conducto para hacer que el flujo sea claramente laminar o turbulento. Esto hace un análisis más preciso.

### 2.7.2 Pérdidas primarias en tuberías.

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en flujo uniforme, por tanto principalmente en los tramos de tubería de sección constante

La pérdida de carga (m) ecuación de Hagen-Poiseuille.

$$m = \frac{32\mu lV}{\gamma d^2} \quad \text{ó} \quad (2-4)$$

$$h_f = \frac{32LV\vartheta}{gd^2}$$

También la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2-5)$$

Dónde:

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

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

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

$V$  = velocidad promedio del flujo (m/s o pies/s)

$f$  = factor de fricción (adimensional)

La ecuación (2-4) de Poiseuille se aplica únicamente para flujo laminar mientras que la ecuación (2-5) de Darcy se utiliza para flujos laminares y turbulentos.

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento. La diferencia entre los dos flujos está en la evaluación del factor de fricción adimensional  $f$ .

Cuando hay flujo turbulento en tuberías es más conveniente usar la ecuación de Darcy para calcular la pérdida de energía debido a la fricción.

El flujo turbulento es caótico y varía en forma constante. Por estas razones, para determinar el valor de  $f$  debemos recurrir a los datos experimentales.

Las pruebas han demostrado que el número adimensional  $f$  depende de otras dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. La rugosidad relativa es la relación del diámetro de la tubería  $D$  a la rugosidad promedio de la pared  $\epsilon$ . La condición de la superficie de la tubería depende sobre todo del material de que está hecho el tubo y el método de fabricación. Debido a que la rugosidad es algo irregular, con el fin de obtener su valor global tomaremos valores promedios.

Se ha determinado el valor  $\epsilon$  de la rugosidad promedio de la pared de tuberías y tubos existentes comercialmente. Estos son sólo valores promedios para tuberías nuevas y limpias tabla 1 es de esperarse cierta variación. Una vez que una tubería ha estado en servicio durante algún tiempo, la rugosidad cambia debido a la corrosión y a la formación de depósitos en la pared.

**Tabla 1.- Rugosidad promedio de tuberías (Mott, 2006).**

<b>RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES</b>			
<b>Material</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>	<b>Material</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>
Plástico (PE, PVC)	0.0015	Fundición asfaltada	0.06-0.18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01	Fundición	0.12-0.60
Tubos estirados de acero	0.0024	Acero comercial y soldado	0.03-0.09
Tubos de latón o cobre	0.0015	Hierro forjado	0.03-0.09
Fundición revestida de cemento	0.0024	Hierro galvanizado	0.06-0.24
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024	Madera	0.18-0.90
Fundición centrífuga	0.003	Hormigón	0.3-3.0

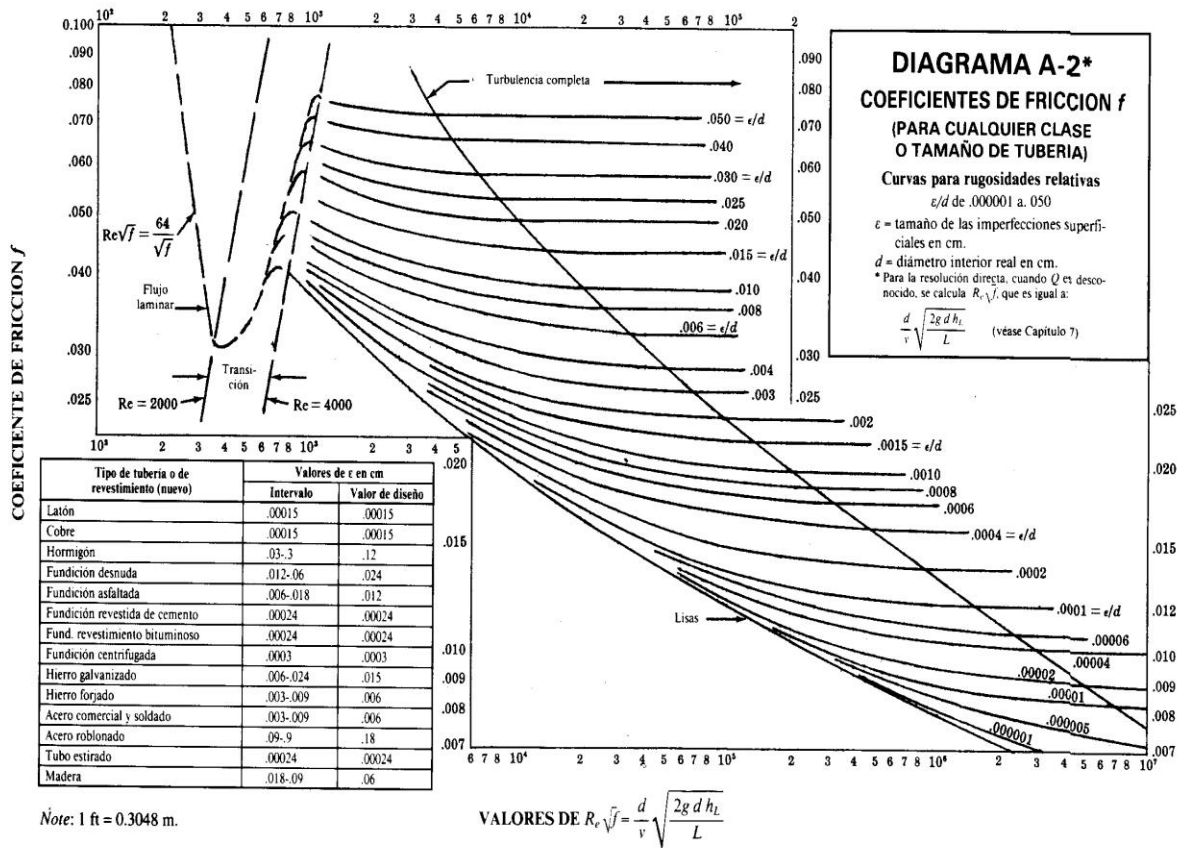
Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody que se presenta en la (Figura 14), el diagrama muestra la gráfica del factor de fricción  $f$  versus el número de Reynolds NR con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa  $\frac{\epsilon}{D}$ . estas curvas las generó L.F. Moody.

Se grafica en escalas logarítmicas tanto a  $f$  como  $NR$ , debido al rango tan amplio de valores que se obtienen. A la izquierda de la gráfica, para número de Reynolds menores de 2000, la línea recta muestra la relación  $f = 64/NR$  para el flujo laminar.

Para  $2000 < NR < 4000$  no hay curvas, debido a que ésta es la zona crítica entre el flujo laminar y el flujo turbulento, y no es posible predecir cuál de ellos ocurrirá. El cambio de flujo laminar a turbulento da como resultado valores para los factores de fricción dentro de la zona sombreada. Más allá de  $NR = 4000$ , se grafica la familia de curvas para distintos valores de  $\frac{\varepsilon}{D}$ . Se hacen algunas observaciones importantes acerca de estas curvas:

1. Para un flujo con número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa  $\frac{\varepsilon}{D}$ , el factor de fricción  $f$  disminuye.
2. Para una rugosidad relativa  $\frac{\varepsilon}{D}$ , el factor de fricción  $f$  disminuye con el aumento del número de Reynolds, hasta que se alcanza la zona de turbulencia completa.
3. Dentro de la zona de turbulencia completa, el número de Reynolds no tiene ningún efecto sobre el factor de fricción.
4. Conforme se incrementa la rugosidad relativa  $\frac{\varepsilon}{D}$ , también se eleva el valor del número de Reynolds donde comienza la zona de turbulencia completa.





**Figura 14. Diagrama de Moody.**

### 2.7.3 Pérdidas secundarias en tuberías.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechamiento o expansiones de la corriente), codos, válvulas y en toda clase de accesorios de tubería. Para encontrar las pérdidas por accesorios tenemos.

$$h_a = K \frac{V^2}{2g} \quad (2-6)$$

Dónde:

$h_a$  = pérdida de carga secundaria.

$K$  = coeficiente de adimensional de pérdida de carga secundaria.

$V$  = velocidad media en la tubería, si se trata de codos, válvulas, etc.

Si se trata de un cambio de sección como contracción o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad en la sección menor. Lo correcto será indicar junto al valor de  $K$  la velocidad  $V$  que hay que tomar en cada caso. La tabla 2 muestra los valores del coeficiente  $K$ .

Pérdidas localizadas en un estrechamiento brusco de sección.

$$h_a = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (2-7)$$

**Tabla 2.- Valores del coeficiente K en pérdidas singulares (GILES).**

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PÉRDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2,5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0,2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1,15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5,6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1,80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0,90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0,75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0,60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0,45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0,40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0,35	-

Finalmente la pérdida de carga total se da con:

$$h_T = h_L + h_a \quad (2-8)$$

Dónde:

$h_T$  = pérdida de carga total en metros.

$h_L$  = pérdida de carga por tubería.

$h_a$  = pérdida de carga por accesorios.

## 2.7.4 Ecuación para pérdidas de altura en filtro de arena.

Ecuación para pérdidas de altura:

La ecuación de Fair y Hatch para pérdida de carga en lechos filtrantes no estratificados (M. Carranza, 2006)

$$h_f = F \frac{l\mu}{g} v \frac{(1 - p_o)^2}{p_o^3} \left(\frac{6}{c_e D_c}\right)^2 \quad (2-9)$$

Donde:

$h_f$  = pérdida total de carga de los filtros.

$V$  = velocidad de filtración.

$F$  = coeficiente de fricción.

$G$  = gravedad

$L$  = Altura del lecho.

$p_o$  = porosidad

$\mu$  = viscosidad cinemática

$c_e$  = coeficiente de esfericidad

$D_c$  = diámetro de la arena (cm)

## **2.8 Tuberías de PVC.**

El PVC o Policloruro de Vinilo (del inglés polyvinyl chloride) es un polímero termoplástico de origen petroquímico. Fue utilizado por primera vez para la fabricación de tuberías en Alemania en la década de 1930 y fue introducido a México a principios de la década de 1960. Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C. Cabe mencionar que es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroetileno. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama.

Desde sus inicios en la aplicación de tuberías ha dado magníficos resultados en instalaciones hidráulicas de diferentes tipos desde casas habitación hasta extensas redes de distribución de agua potable y alcantarillado en grandes ciudades.

### **2.8.1 Tubería de PVC hidráulico.**

La Tubería de PVC es un sustituto indiscutible de las tuberías metálicas por su resistencia al ataque de productos químicos y corrosivos, por su bajo costo, por la facilidad de instalación y por su durabilidad.

La Tubería Hidráulica de PVC cumple con las normas mexicanas de calidad NMX-E-145 y las normas americanas ASTM D-2241 y ASTM D-1785 y cuentan con la certificación NSF y ASTM.

### **Tipos de tuberías hidráulicas de PVC.**

#### **2.8.1.1 Tubería Hidráulica de PVC – cedula 40 CEMENTAR / ASTM y transparente**

La Tubería Hidráulica de PVC Cedula 40 cementar (Schedule 40 Pipe) se fabrica en Sistema Ingles dimensiones IPS (Iron, Pipe, Size), se fabrica bajo la norma americana ASTM D-1785 y la norma nacional NMX-E-145/1, se fabrica con Resina (materia prima) virgen 12454-b de acuerdo a la norma americana ASTM D-1784, la longitud de esta Tubería Hidráulica de PVC son de 6.0 metros en tubería Nacional y 20 pies (6.10 ) metros en tubería de importación.

La Temperatura máxima que se recomienda es de 140 °F (60 °C), cuenta con un abocinado (Campana) en un extremo de la tubería el otro extremo es espiga, su fabricación es de Color Blanco y esta listada por el NSF-PW Standard 61 & Standard 14, se puede conectar con cualquier conexión de sistema Ingles la más recomendada sería Cedula 40, incluso la conexión de Cedula 80 es compatible para esta tubería.

La temperatura de operación no debe de exceder los 60 °C y en temperaturas de más de 23 °C se tiene que aplicar un factor de corrección para la presión de Trabajo.



**Figura 15. Tubería hidráulica de PVC - cedula 40**

Algunas ventajas que tienen las tuberías de PVC – cedula 40:

- **Durabilidad:** Para aplicaciones en donde se requiere de resistencia química las tuberías de PVC son la mejor opción es por eso que el tiempo de vida útil es el de mayor durabilidad.
- **Abocinado:** Representa un ahorro de un cople ya que le permite ir uniando las tuberías en un tendido lineal sin necesidad de coples adicionales.
- **Economía:** El uso de PVC representa un ahorro significativo en el costo final de la instalación.
- **Resistencia Química:** Las Tubería Hidráulica de PVC no permiten la corrosión e incrustación de los elementos que conducen, Bajo Peso el PVC es ligero y facilita las maniobras de almacenaje, transporte e instalación.

**Tabla 3. Dimensiones de tuberías de PVC.**

DIAMETRO NOMINAL (PULG.)	DIAMETRO EXTERIOR		DIAMETRO INTERIOR		ESPESOR DE PARED		PRESIÓN A 23°C		PESO APROX KG/M
	(PULG)(OD)	(MM)	(PULG)(ID)	(MM)	(PULG)(T)	(MM)	(PSI)	(KG/CM2)	
½"	0.840	21.3	0.609	15.5	0.109	2.8	600	42.0	0.24
¾"	1.050	26.7	0.810	20.6	0.113	2.9	480	33.6	0.32
1"	1.135	33.4	1.033	26.2	0.133	3.4	450	31.5	0.47
1¼"	1.680	42.2	1.363	34.6	0.140	3.6	370	25.9	0.63
1½"	1.900	48.3	1.593	40.5	0.145	3.7	330	23.1	0.76
2"	2.375	60.3	2.049	52.0	0.154	3.9	280	19.6	1.01
2½"	2.875	73.0	2.455	62.1	0.023	5.2	300	21.0	1.60
3"	3.500	88.9	3.042	77.3	0.216	5.5	260	18.2	2.10
4"	4.500	114.3	3.989	101.5	0.237	6.0	220	15.4	2.98
6"	6.625	168.3	6.031	153.2	0.280	7.1	180	12.6	5.26
8"	8.625	219.1	7.942	201.7	0.322	8.2	160	11.2	7.89
10"	10.750	273.1	9.976	253.4	0.365	9.3	140	9.8	11.20
12"	12.750	323.9	11.889	302.0	0.406	10.3	130	9.1	14.80
14"	14.000	355.5	13.073	332.1	0.437	11.1	130	9.1	17.56
16"	16.000	406.4	14.940	379.5	0.500	12.7	130	9.1	22.93
18"	18.000	457.2	16.809	426.9	0.552	14.3	130	9.1	29.91
20"	20.000	508.0	18.743	476.1	0.593	15.1	120	8.4	35.13
24"	24.000	609.6	25.544	572.6	0.687	17.4	120	8.4	48.89

### 2.8.1.2 Tubería hidráulica de PVC – Serie Inglesa CEMENTAR – RD26

La Tubería Hidráulica de PVC cementar (Solvent Weld Pressure Rated Pipe) se fabrica en Sistema Ingles dimensiones IPS (Iron Pipe Size), bajo las normas americanas ASTM D-2241 y ASTM D-1785 y la norma nacional NMX-E-145/2, las longitudes de estas Tuberías son de 6.0 metros en tubería Nacional y 20 pies (6.10) Metros.

En tubería de Importación, cuenta con un abocinado (Campana) en un extremo de la tubería el otro extremo es espiga, la temperatura máxima que se recomienda es de 140 °F (60 °C), su fabricación es de Color Blanco y esta listada por el NSF-PW Standard 61 & Standard 14, se puede conectar con cualquier conexión de sistema Ingles la más recomendada sería Cedula 40, incluso la conexión de Cedula 80 es compatible para esta tubería Conex PVC Cedula 40.

La temperatura de operación no debe de exceder los 60 °C y en temperaturas de más de 23 °C se tiene que aplicar un factor de corrección para la presión de Trabajo.



**Figura 16. Tubería hidráulica de PVC - Serie Inglesa**

Algunas ventajas que tienen las tuberías de PVC – Serie Inglesa:

- **Economía:** El uso de Tubería Hidráulica de PVC representa un ahorro significativo en el costo final de la instalación.
- **Resistencia Química:** La Tubería Hidráulica de PVC no permite la corrosión e incrustación de los elementos que conducen.
- **Bajo Peso:** El PVC es ligero y facilita las maniobras de almacenaje, transporte e instalación.
- **Durabilidad:** Para aplicaciones en donde se requiere de Resistencia Química la Tubería Hidráulica de PVC es la mejor opción es por eso que el tiempo de vida útil es el de mayor durabilidad.
- **Instalación:** Debido a su ligereza en peso, facilidad de corte y rapidez de instalación no se requiere de herramientas especializadas.



**Tabla 4. Dimensiones de tuberías de PVC – serie inglesa.**

DIAMETRO NOMINAL (PULG.)	RD	DIAMETRO EXTERIOR		DIAMETRO INTERIOR		ESPESOR DE PARED		PRESIÓN A 23°C		PESO APROX KG/M
		(PULG)(OD)	(MM)	(PULG)(ID)	(MM)	(PULG)(T)	(MM)	(PSI)	(KG/CM2)	
½"	13.5	0.840	21.3	0.709	18.0	0.062	1.6	315	22.1	0.15
¼"	21	1.050	26.7	0.923	23.4	0.060	1.5	200	14.0	0.15
1"	21	1.135	33.4	1.181	30.0	0.063	1.6	200	14.0	0.30
1¼"	26	1.660	42.2	1.524	38.7	0.064	1.6	160	11.2	0.30
1½"	26	1.900	48.3	1.745	44.3	0.073	1.9	160	11.2	0.45
2"	26	2.375	60.3	2.182	55.4	0.091	2.3	160	11.2	0.59
2½"	26	2.875	73.0	2.624	67.1	0.110	2.8	160	11.2	0.89
3"	26	3.500	88.9	3.214	81.6	0.135	3.4	160	11.2	1.34
4"	26	4.500	114.3	4.133	105.0	0.173	4.4	160	11.2	2.23
6"	26	6.625	168.3	6.084	154.5	0.255	6.5	160	11.2	5.06
2"	41	2.375	60.3	2.257	57.3	0.059	1.5	100	7.0	0.45
2½"	41	2.875	73.0	2.733	69.4	0.071	1.8	100	7.0	0.64
3"	41	3.500	88.9	3.300	84.6	0.085	2.2	100	7.0	0.89
4"	41	4.500	114.3	4.280	108.7	0.110	2.8	100	7.0	1.49

### 2.8.1.3 Tubería hidráulica de PVC – serie inglesa RD, RD26, RD32.5, RD41

La Tubería Hidráulica de PVC Campana y Anillo (Ring Tite) se fabrica en Sistema Ingles dimensiones IPS (Iron Pipe Size), se fabrica bajo la norma americana ASTM D-2241 y la norma nacional NMX-E-145/1, se fabrica con Resina (materia prima) virgen 12454-B las longitudes de estas tuberías son de 6.0 metros.

En tubería Nacional y 20 pies ( 6.10 ) metros en tubería de Importación, la temperatura máxima que se recomienda es de 140 °F ( 60 °C ), su fabricación es de campana tipo RIEBER o tipo ANGER en uno de sus extremos y el otro es terminación espiga, el color es en Blanco en la tubería Nacional y de color Azul en la tubería de Importación, esta listada por el NSF-PW Standard 61 Standard 14, se puede conectar con cualquier conexión de sistema Ingles la más recomendada seria la conexión Fabricada de campana y anillo, incluso la conexión Cedula 40 es compatible para esta tubería. Conex. PVC Sist. Ingles Fabricadas.

La temperatura de operación no debe de exceder los 60 °C y en temperaturas de más de 23 °C se tiene que aplicar un factor de corrección para la presión de Trabajo. Factor de Corrección.



**Figura 17. Tubería hidráulica de PVC - serie inglesa RD, RD26, RD32.5, RD41**

Algunas ventajas que tienen las tuberías de PVC – Serie Inglesa:

- **Olor y Sabor:** La Tubería Hidráulica de PVC esta listada por NSF y está permitida para instalaciones de conducción de fluidos de agua potable ya que no contamina ni comunica olor ni sabor.
- **Coefficiente de Fricción:** La superficie interior de la Tubería Hidráulica de PVC es tersa por lo que reduce en un 10% las pérdidas por fricción respecto a las demás tuberías.
- **Durabilidad:** Para aplicaciones en donde se requiere de Resistencia Química la Tubería Hidráulica de PVC es la mejor opción es por eso que el tiempo de vida útil es el de mayor durabilidad.
- **Economía:** El uso de PVC representa un ahorro significativo en el costo final de la instalación.
- **Química:** La Tubería Hidráulica de PVC no permite la corrosión e incrustación de los elementos que conducen.
- **Peso:** El PVC es ligero y facilita las maniobras de almacenaje, transporte e instalación.
- **Instalación:** Debido a su ligereza en peso, facilidad de corte y rapidez de instalación no se requiere de herramientas especializadas.

**Tabla 5. Dimensiones de tuberías de PVC – serie inglesa RD, RD26, RD32.5, RD41.**

DIAMETRO NOMINAL (PULG.)	1½"	2"	2½"	3"	4"	6"	8"	10"	12"
	48.3	60.3	73.0	88.9	114.3	168.3	219.1	273.1	323.9
Espesores de Pared Minimos (mm)									
RD-41	1.3	1.5	1.8	2.2	2.8	4.1		6.7	7.9
RD-32.5	1.5	1.8	2.2	2.7	3.5	5.1		8.4	10
RD-26	1.9	2.3	2.8	3.4	4.4	6.5	8.4	10.5	12.4
RD-21	2.3	2.9	3.5	4.2	5.4	8	10.4	13	15.4
Peso Aproximado en Kgs. por longitud estándar									
RD-41	1.8	2.72	3.86	5.42	9.05	20.12	34.1	53.18	74.87
RD-32.5	2.14	3.23	4.73	7.05	11.59	24.41	42.72	66.81	94.22
RD-26	2.55	3.95	5.82	8.68	14.32	31.27	53.18	82.9	117.13
RD-21	3.09	4.86	7.18	10.63	17.59	38.41	65.32	101.82	143.82

#### 2.8.1.4 Tubería hidráulica de PVC – serie métrica sistema ANGER C5, C7, C1

La Tubería Hidráulica de PVC Campana y Anillo Sistema METRICO se fabrica bajo la norma nacional NMX-E-143/1, se fabrica con Resina ( materia prima ) virgen 12454-B, la longitud de esta tubería es de 6.0 mts; la temperatura máxima que se recomienda es de 140 °F ( 60 °C ), su fabricación es de campana tipo RIEBER o tipo ANGER en uno de sus extremos y el otro es terminación espiga, el color es en Blanco, esta listada por el NSF-PW Standard 61 Standard 14, se puede conectar con cualquier conexión de sistema Métrico la más recomendada sería la conexión Fabricada de campana y anillo métrica (Valvulas y Termoplasticos Industriales , 2016)



**Figura 18. Tubería hidráulica de PVC - serie métrica sistema ANGER C5, C7, C1**

Algunas ventajas que tienen las tuberías de PVC – serie métrica.

- **Instalación:** Debido a su ligereza en peso, facilidad de corte y rapidez de instalación no se requiere de herramientas especializadas, es por eso que la Tubería Hidráulica de PVC de Campana y Anillo es la sustituta indiscutible de las tuberías metálicas y de asbesto cemento.
- **Coefficiente de Fricción:** La superficie interior de la Tubería Hidráulica de PVC es tersa por lo que reduce en un 10% las pérdidas por fricción respecto a las demás tuberías.
- **Durabilidad:** Para aplicaciones en donde se requiere de resistencia química la Tubería Hidráulica de PVC es la mejor opción es por eso que el tiempo de vida útil es el de mayor durabilidad.
- **Economía:** El uso de PVC representa un ahorro significativo en el costo final de la instalación.
- **Resistencia Química:** Las Tubería Hidráulica de PVC no permiten la corrosión e incrustación de los elementos que conducen.

**Tabla 6. Dimensiones de tuberías de PVC – serie métrica sistema ANGER C5, C7, C1.**

DIAMETRO NOMINAL (PULG.)	CLASE	Diametro Exterior (mm)	Diametro Interior(mm)	Espesor de Pared (mm)	Presión a 23° (psi)	Presión a 23° (Kg/cm2)
6"	3.5	160	156.0	2.0	50	3.5
8"	3.5	200	195.0	2.5	50	3.5
10"	3.5	250	243.8	3.1	50	3.5
6"	5	160	154.4	2.8	71	5.0
8"	5	200	193.0	3.5	71	5.0
10"	5	250	241.2	6.1	71	5.0
12"	5	315	303.8	7.7	71	5.0
14"	5	355	342.6	8.7	71	5.0
16"	5	400	386.0	9.8	71	5.0
18"	5	450	434.0	11.0	71	5.0
6"	7	160	152.2	3.9	100	7.0
8"	7	200	190.2	4.9	100	7.0
10"	7	250	237.8	6.1	100	7.0
12"	7	315	299.6	7.7	100	7.0
14"	7	355	337.6	8.7	100	7.0
16"	7	400	380.4	9.8	100	7.0
18"	7	450	428.0	11.0	100	7.0
6"	10	160	149.0	5.5	144	10
8"	10	200	186.2	6.9	144	10
10"	10	250	232.2	8.6	144	10
12"	10	315	293.2	10.9	144	10
14"	10	355	330.6	12.2	144	10
16"	10	400	372.4	13.8	144	10
18"	10	450	419.0	15.5	144	10

## 2.9 Sensores.

Los sensores de medición de nivel son parte integral del control de proceso en muchas industrias y caen en dos tipos principales. Los sensores de medición de nivel puntuales se usan para marcar una sola altura de líquido separada: una condición de nivel preestablecida. En general, este tipo de sensor funciona con una alarma alta, y señala una condición de desbordamiento, o un marcador para una condición de alarma baja.

Los sensores de nivel continuos son más sofisticados y pueden proporcionar monitoreo de nivel para todo un sistema. Miden el nivel de fluido dentro de un rango, en lugar de un punto, y producen una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente. Para crear un sistema de administración de nivel, la señal de salida se vincula con un ciclo de control de proceso y un indicador visual.

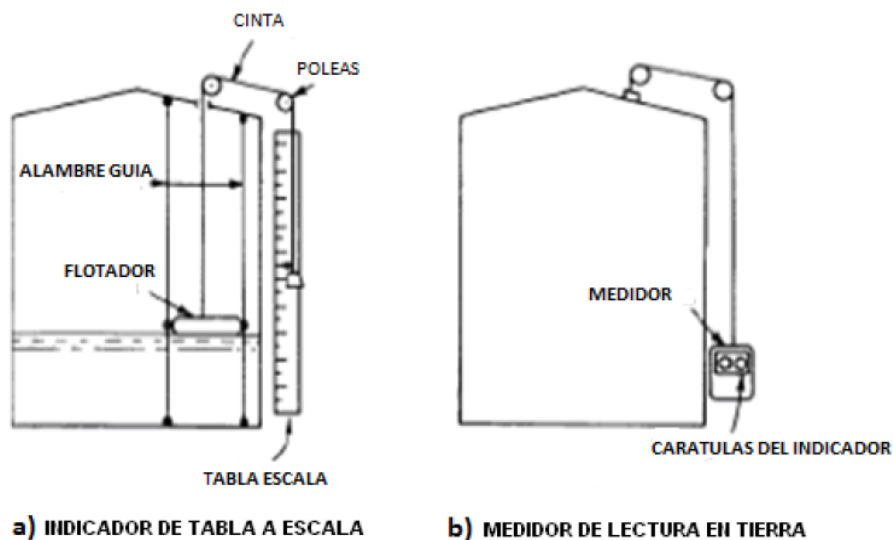
### 2.9.1 Medidor de nivel de flotador.

Consta de un flotador ubicado en contacto con el fluido y conectado al exterior del depósito indicando directamente el nivel sobre una escala graduada.

A continuación se muestran algunos modelos de medidores tipo flauta son:

#### 2.9.1.1 Modelo de regla.

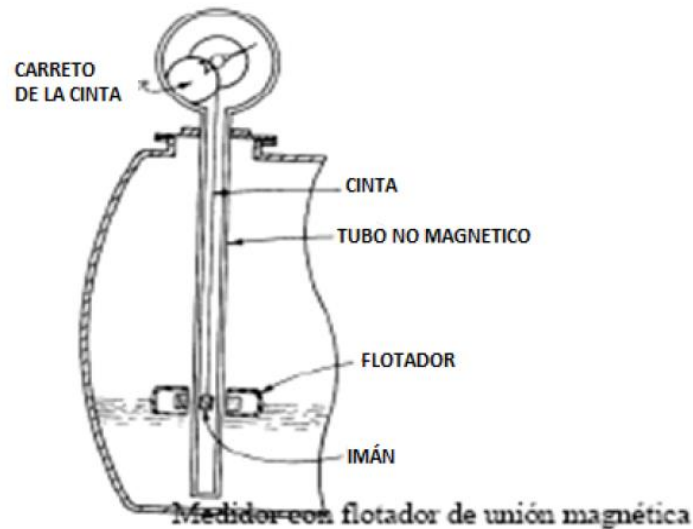
El contrapeso se mueve en sentido contrario al flotador por una regla calibrada Figura (19).



**Figura 19. Medidores de flotador y cinta.**

### 2.9.1.2 Modelo de unión magnética.

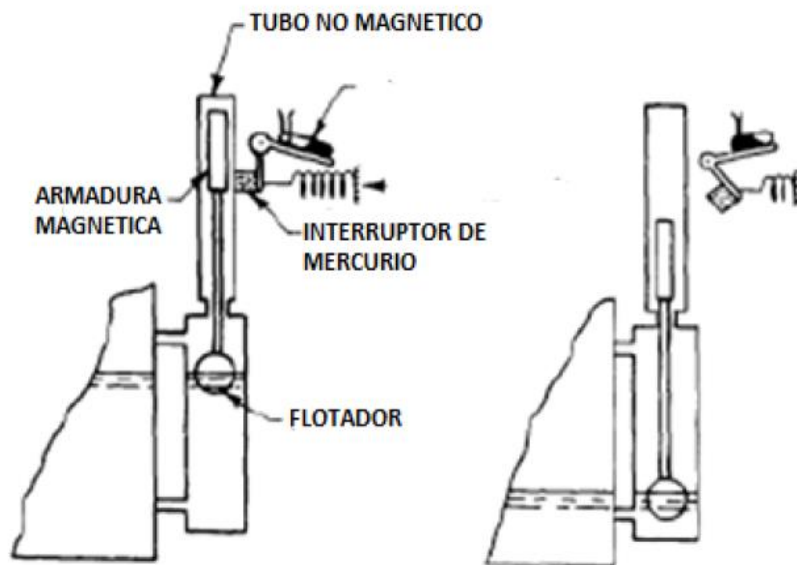
El flotador hueco que lleva en su interior un imán, se desplaza a lo largo de un tubo guía vertical no magnético (Figura 20).



**Figura 20. Medidor con flotador de unión magnética.**

### 2.9.1.3 Interruptor de nivel tipo flotador.

- Consta de un flotador pendiente del techo del depósito por una barra a través de la cual transmite su movimiento a un ampolla de mercurio (la hace bascular) con un interruptor.
- Si el nivel alcanza al flotador lo empuja en sentido ascendente, ascendiendo si la fuerza supera al peso del flotador.
- Este movimiento es transmitido por la barra y el interruptor cambia de posición.
- La ampolla es de acero inoxidable no magnético.
- Señal del tipo todo-nada (Figura 21).



**Figura 21. Interruptor de nivel tipo flotador.**

**Ventajas:**

Estos instrumentos tienen una precisión de 0.5%

Son adecuados en la medida de niveles en depósitos abiertos y cerrados.

Son independiente del peso específico del fluido.

**Inconvenientes:**

El flotador es susceptible de agarrotamientos por eventuales depósitos de sólidos que el líquido pueda contener.

## **2.9.2 Sensor de caudal.**

La selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del medidor, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiera medir.

Cuando la medida del caudal se utiliza con el propósito de facturar un consumo, deberá ser lo más precisa posible, teniendo en cuenta el valor económico del fluido que pasa a través del medidor, y la legislación obligatoria aplicable en cada caso.

### **2.9.2.1 Medidores de presión diferencial.**

La medida de caudal en condiciones cerradas, consiste en la determinación de la cantidad de masa o volumen que circula por la conducción por unidad de tiempo.

Los instrumentos que llevan a cabo la medida de un caudal se denominan, habitualmente, caudalímetro o medidores de caudal, constituyendo una modalidad particular los contadores, los cuales integran dispositivos adecuados para medir y justificar el volumen que ha circulado por la conducción.

Los medidores de caudal volumétrico pueden determinar el caudal de volumen de fluido de dos formas:

- Directamente, mediante dispositivos de desplazamiento positivo.
- Indirectamente, mediante dispositivos de: presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, etc.

Esta clase de medidores presenta una reducción de la sección de paso del fluido, dando lugar a que el fluido aumente su velocidad, lo que origina un aumento de su energía cinética y por consiguiente, su presión tiende a disminuir en una proporción equivalente, de acuerdo con el principio de la conservación de la energía, creando una diferencia de presión estática entre las secciones aguas arriba y aguas abajo del medidor.

#### **Principales medidores de presión diferencial:**

Entre los principales tipos de medidores de presión diferencial se pueden destacar los siguientes:

- Placas de orificio.
- Toberas.
- Tubos venturi.
- Tubos pitot.
- Tubos annubar.
- Codos.
- Medidores de área variable.
- Medidores de placa.

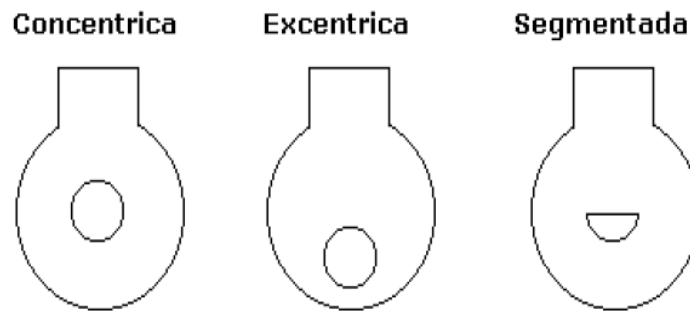


### 2.9.2.2 Placas de orificio.

La placa de orificio consiste en una placa perforada que se instala en la tubería. El orificio de la placa, como se muestra en la figura 22 puede ser concéntrico, excéntrico y segmental.

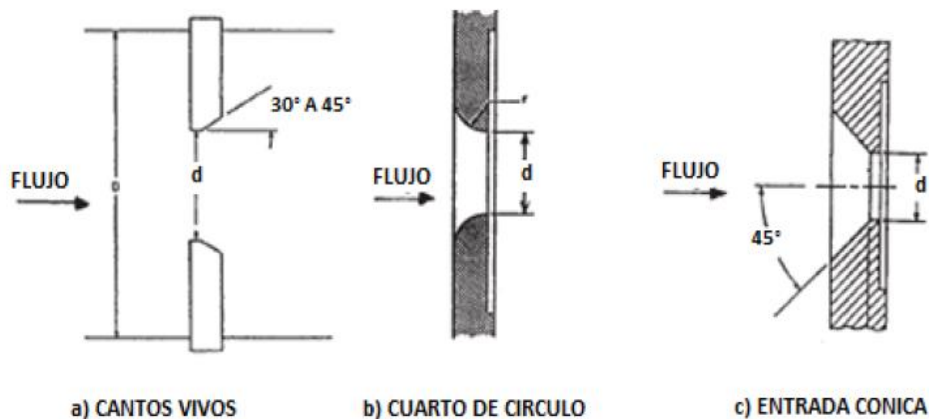
Con el fin de evitar arrastres de sólidos o gases que pueda llevar el fluido, la placa incorpora normalmente un pequeño orificio de purga.

Entre los diversos perfiles de orificios que se utilizan, se pueden destacar los siguientes: de cantos vivos, de cuarto de círculo y de entrada cónica (Figura 23).



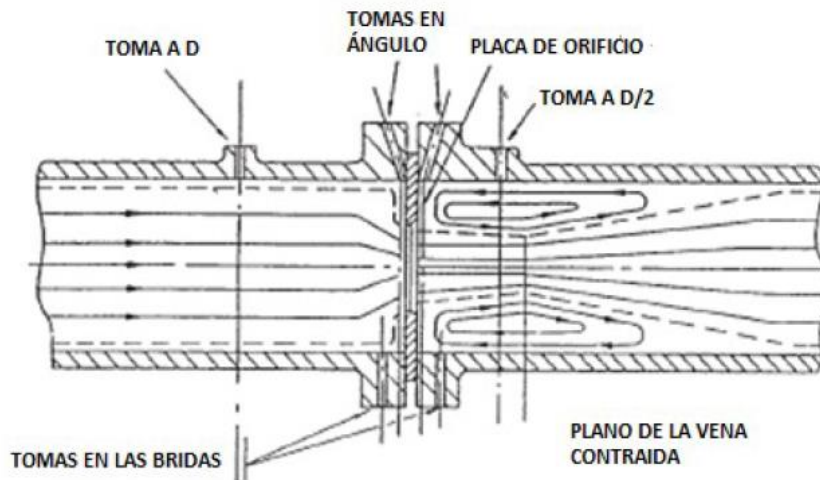
**Figura 22. Placas de orificio.**

El más utilizado es el de cantos vivos, aunque también se usan las placas de cuarto de círculo y las de entrada cónica, especialmente cuando el fluido es viscoso.



**Figura 23. Perfiles de orificios.**

Para captar la presión diferencial que origina la placa de orificio, es necesario conectar dos tomas, una en la parte anterior y otra en la parte posterior de la placa. La disposición de las tomas, según se muestra en la figura 24, puede ser, en la bridas, en la vena contraída, y en la tubería.



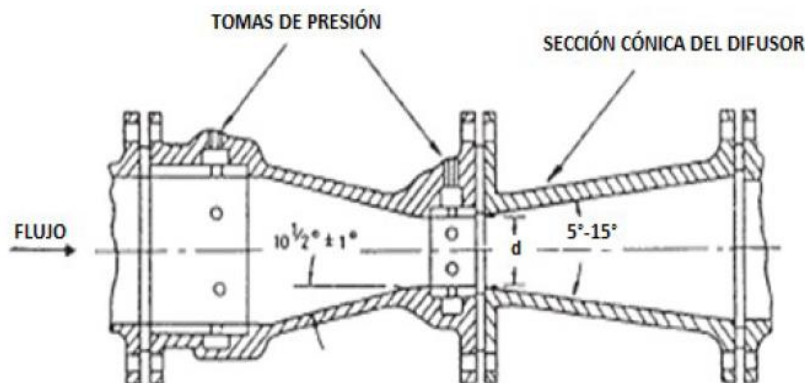
**Figura 24. Tomas de presión alternativa.**

Las tomas en la brida se usan para tamaños de tuberías de 50,8 mm o superiores. En el caso de las tomas en la vena contraída, la toma antes de la placa se sitúa a 25,4 mm de distancia de la placa, mientras que la toma posterior se debe situar en el punto de mínima presión, donde la vena alcanza su diámetro más pequeño.

Las tomas en la tubería se sitúan a  $2 \frac{1}{2}$  y 8 diámetros de tubería respectivamente, antes y después de la placa de orificio.

### 2.9.2.3 Tubos Venturi.

En la figura 25, se observa el perfil de un tubo Venturi clásico, donde se puede apreciar la disposición de las tomas de presión para la determinar la presión diferencial (Gutiérrez, 2011).



**Figura 25. Tubo Venturi.**

## 2.10 Electroválvulas.

Las electroválvulas o válvulas solenoides (Figura 26) son dispositivos diseñados para control de flujo ON/OFF de un fluido. Están diseñadas para utilizarse con aire, agua, gas, aire entre otros. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o PVC, esto depende del fluido en el que se vayan a utilizar de acuerdo con eso es el material de la válvula.



**Figura 26. Electroválvulas.**

Estas válvulas pueden ser de dos hasta cinco vías. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o PVC. Dependiendo del fluido en el que se vayan a utilizar es el material de la válvula.

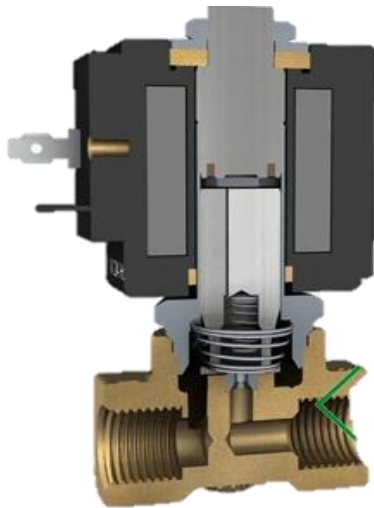
En las válvulas de 2 vías, normalmente se utilizan las que funcionan con tres modalidades diferentes, dependiendo del uso que están destinadas a operar; pueden ser de acción directa, acción indirecta y acción mixta o combinada, además cada una de estas categorías puede ser Normalmente Cerrada (N.C.) o Normalmente Abierta (N.A.), esto dependiendo de la función que va a realizar ya sea que esté cerrada y cuando reciba la señal a la solenoide abra durante unos segundos, o que esté abierta y cuando reciba la señal la solenoide corte el flujo.

## Acción directa

El comando eléctrico acciona directamente la apertura o cierre de la válvula, por medio de un embolo.

La diferencia entre la válvula (N.C.) a la (N.A.) de acción directa es que, cuando la válvula (N.C.) no está energizada el embolo permanece en una posición que bloquea el orificio de tal manera que impide el flujo del fluido, y cuando se energiza la bobina el embolo es magnetizado de tal manera que se desbloquea el orificio y de esta manera fluye el fluido (Figura 27).

La (N.A.) cuando la bobina no está energizada mediante la acción de un resorte el embolo se mantiene en tal posición que siempre está abierta y cuando se energiza la bobina la acción es hacia abajo empujando el resorte haciendo que cierre el orificio e impida que fluya el fluido (Figura 28).



**Figura 27. Normalmente cerrada (N.C)**



**Figura 28. Normalmente abierta (N.A)**

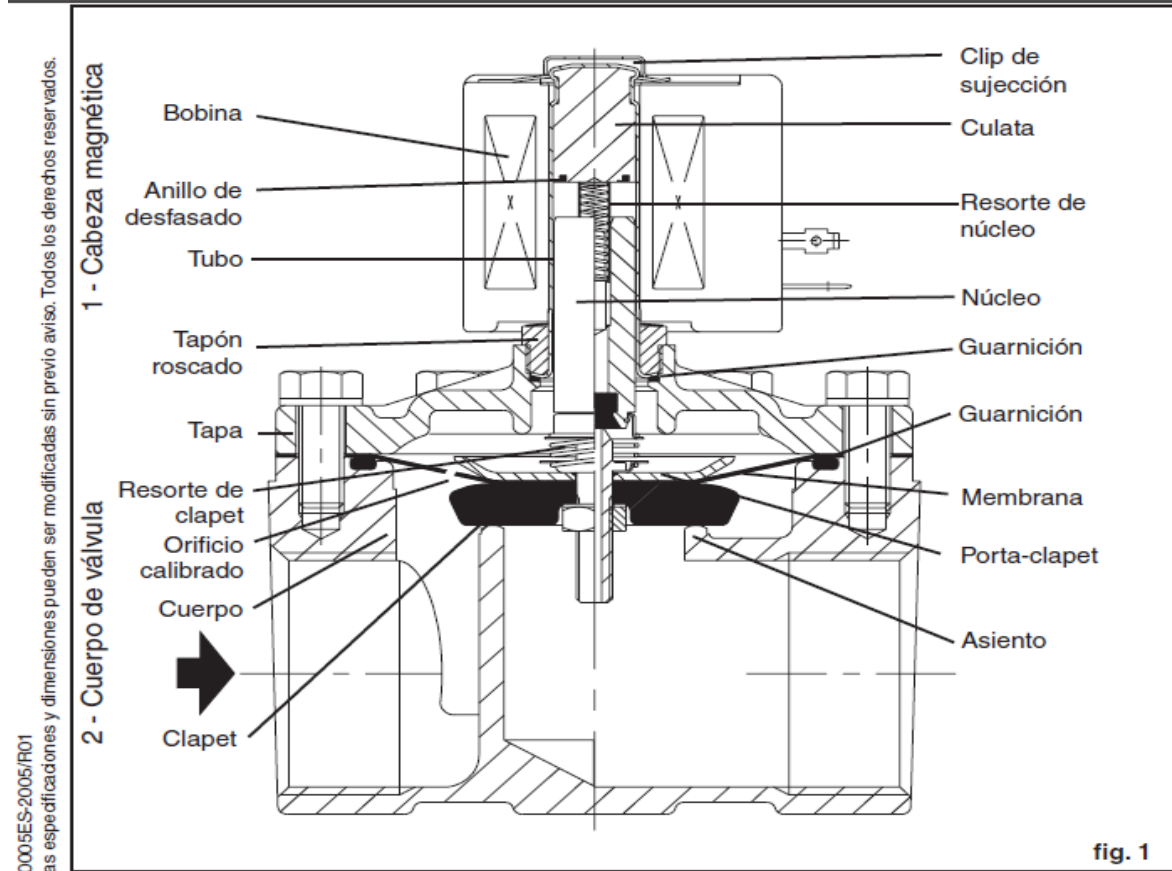
### **Acción Indirecta.**

La característica principal de la válvula del tipo acción indirecta (Figura 29) es que cuando recibe el comando eléctrico se acciona el embolo el cual permite a su vez como segunda acción, o acción indirecta, que el diafragma principal se abra o se cierre, en una acción indirecta. Esta serie de válvulas necesita una presión mínima para poder funcionar correctamente. También en esta serie de comando indirecto tenemos válvulas normalmente cerradas y válvulas normalmente abiertas (Mattarollo, 2014).



***Figura 29. Acción Indirecta***

## 2.10.1 Terminología electroválvula



**Figura 30. Terminología electroválvula**

**Anillo de desfasado:** Anillo situado en la parte inferior de la culata por encima del núcleo móvil y que sirve en corriente alterna para limitar las vibraciones.

**Clapet:** Provisto de una guarnición de estanquidad, su función es cerrar el orificio principal.

**Tapón roscado:** Pieza intermedia generalmente atornillada que contiene la cabeza magnética y permite la adaptación directa en una tapa o en un cuerpo de válvula.

**Culata:** Peso metálico situado en el extremo del tubo que tiene como función mejorar el campo magnético durante el funcionamiento.

**Asiento:** Parte del cuerpo de válvula en la que la guarnición del clapet asegura la estanquidad.

**Bobina:** Parte eléctrica, destinada a crear un campo magnético, compuesta por un cilindro de hilos de cobre enrollado y aislado.

**Núcleo:** Cilindro, de bajo magnetismo residual, desplazado por la fuerza electromagnética.

**Tapa:** Gualdera fijada con tornillos en ciertos cuerpos de válvula para recibir el conjunto cabeza magnética y sujeta las piezas internas.

**Orificio calibrado:** Asegura el cierre de la electroválvula mediante presencia permanente de la presión de entrada o entrada por encima de la membrana o del pistón.

**Resorte de clapet:** Se monta sobre el núcleo y asegura un cierre positivo del clapet.

## 2.11 Controladores de lógica programable (PLC).

Por lógica programable se entiende a los mecanismos con capacidad de realizar las principales funciones lógicas necesarias para la conducción de una maquina o un proceso, de acuerdo a un determinado programa memorizado y con un grado de flexibilidad extremadamente elevado.

El avance de la tecnología y el descenso de los costos permitieron el desarrollo de controladores capaces de suplantar en los sistemas de automatización de contactos, la lógica cableada por la lógica programada (Programmable Logic Controller).

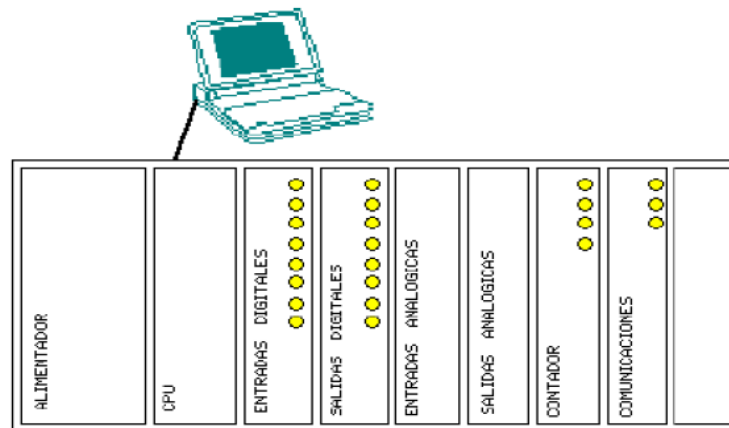
### 2.11.1 Estructura de un PLC.

El PLC es un computador especialmente diseñado para el entorno industrial, para ocupar el lugar de la unidad de mando del proceso productivo.

Consta sustancialmente de dos partes fundamentales, el hardware y el software.

#### 2.11.1.1 Características del hardware.

El PLC se compone esencialmente de algunas partes comunes a todos los modelos, y otras que dependen de la envergadura del mismo y la aplicación en la cual será utilizado (Figura 31).



**Figura 31. Características y estructura hardware del PLC**

- Fuente de alimentación.
- CPU.
- Módulos de entrada/salida.
- Modulo contador.
- Modulo comunicaciones.
- Módulos inteligentes.
- Consola de programación.

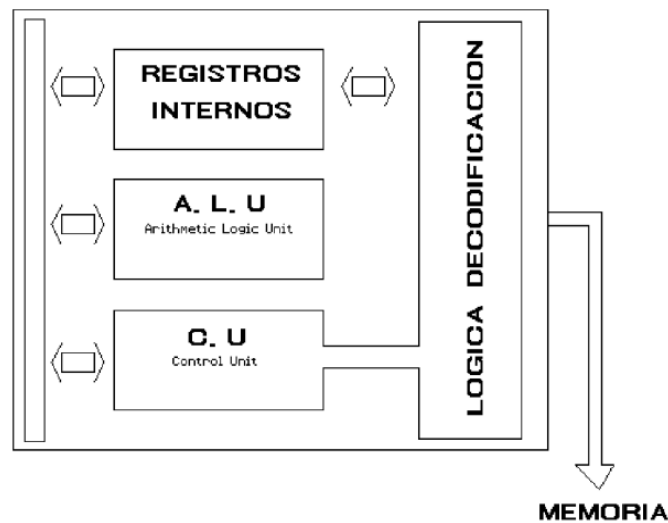
Se puede identificar dos tipos de autómatas de acuerdo a su estructura, pueden ser compactos o modulares. En el primer caso las interfaces de E/S son limitadas y el autómata no permite expansiones, generalmente son dispositivos de bajo costo. Para el segundo caso, el PLC admite la configuración de hardware que esté disponible para su gama de productos correspondientes, y puede ser reconfigurado por medio de la incorporación o eliminación de módulos extraíbles.

- **Fuente de alimentación.**

Los alimentadores cumplen una tarea fundamental en la modulistica ya que deben adaptar los niveles de alimentación de todo el rack, suministrada por la red.

- **Unidad de procesos (CPU).**

Diagrama de bloques funcionales (Figura 32).



**Figura 32. Diagrama bloques funcionales.**

Esta unidad asume la coordinación y el control de todas las funciones que realiza el controlador programable.

En la mayor parte de los casos, los PLC's disponen de una única CPU, controlando un proceso a la vez, pero actualmente se dispone en el mercado de PLC's con más CPU en condiciones de controlar procesos en multitarea.

Dispone al menos de un microprocesador, y la capacidad de cálculo de la CPU está vinculada a su arquitectura y frecuencia de trabajo, así como también del set de instrucciones que dispone para la programación y la capacidad de direccionamiento.

Es importante destacar que cada microprocesador tiene su propio lenguaje de programación (lenguaje de maquina), pero este no es accesible al usuario.



- **Sistema de memoria.**

Como cualquier sistema informático el PLC dispone de una memoria de programa, donde se almacenan los códigos encargados de ejecutar las funciones programadas para controlar el proceso. Las instrucciones serán almacenadas en bytes y la cantidad que pueden ser almacenadas dependen de la cantidad de memoria que la CPU puede direccionar.

Los diferentes tipos de módulos serán los encargados de conectarse con el campo para obtener y prever la información necesaria para el control.

- **La memoria del sistema.**

Es la que contiene el sistema operativo, donde se encuentra el intérprete de instrucciones y todas las rutinas indispensables para el funcionamiento del PLC. El sistema operativo desarrolla tareas de primera importancia, como es el control de los periféricos, transferencias de datos, comunicaciones, se encuentra almacenado en ROM y es modificable únicamente por el constructor (propiedad intelectual).

La memoria del usuario es la que utiliza quien proyecta la aplicación a fin de satisfacer las necesidades de la misma, es indispensable que el contenido sea modificable para producir modificaciones en la aplicación por lo que se encuentra en RAM.

- **Módulos de entrada/salida.**

Los dispositivos de entrada/salida conectan el controlador con el proceso, se denominan también interfaces o adaptadores I/O, aseguran el ajuste de las señales en términos de corriente o tensión de los diferentes circuitos. Provee además aislación galvánica entre el control y el campo así como filtrado de las perturbaciones eléctricas.

Las señales una vez interpretadas y/o procesadas, se registran habitualmente en un área de la memoria del sistema denominada registro-imagen de entrada/salida.

- **Interfaces de entrada y salidas.**

Las interfaces establecen la comunicación entre la unidad central y el proceso, filtrando, adaptando y codificando de forma comprensible para dicha unidad las señales procedentes de los elementos de entrada, y decodificando y amplificando las señales generadas durante la ejecución del programa antes de enviarlas a los elementos de salida. Es importante debido a:

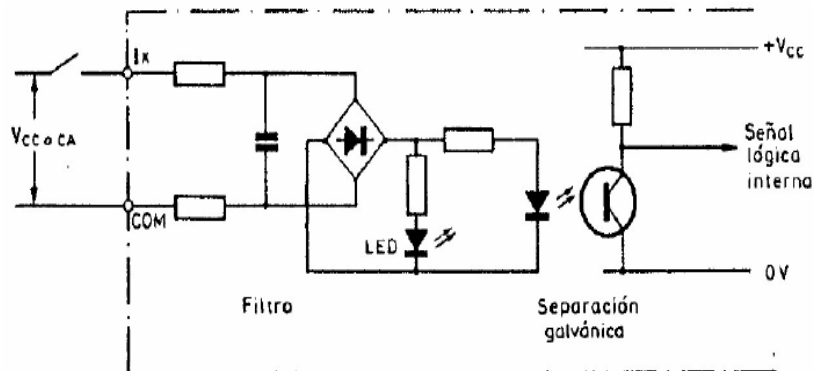
- Conexión directa a sensores y actuadores del proceso.
- 90% fallas en circuitos E/S.

## Clasificación por tipo de señales:

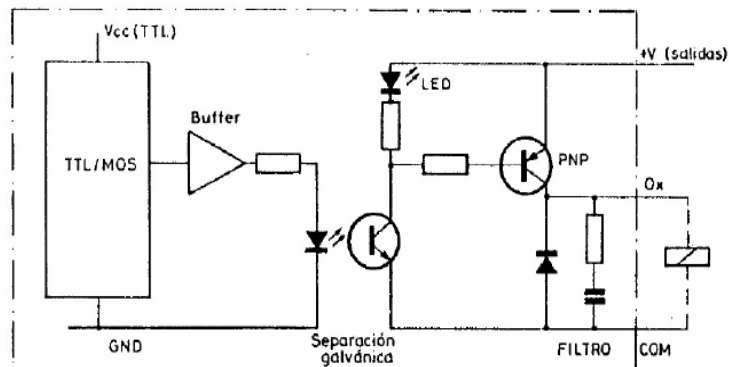
- Digitales de 1 bit: lógicas o binarias.
- Digitales de varios bits: palabras.
- Analógicas.

## Entradas/salidas digitales.

- Distinción entre otros sistemas de control (robótica, maquinas, herramientas, etc.).
- Entradas (todo-nada) proceden de contactos electromecánicos.
- Salidas a la alimentación de bobinas de relés.
- Alimentación externa 24 a 220 Vac o 24 a 11<sup>o</sup> Vcc.
- Alimentación interna 5Vcc.
- Interfaz: adapta niveles de tensión y aísla galvánicamente (inmunidad al ruido y robustez contra sobretensiones).
- Fuentes de alimentación distintas provistas por el PLC o no (Figura 33 y 34).



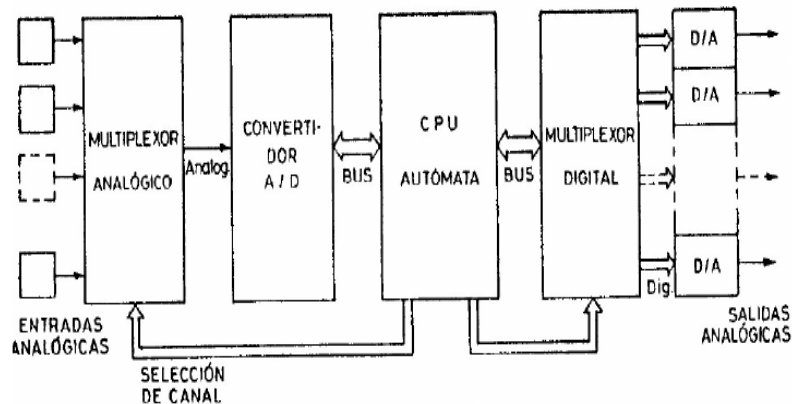
**Figura 33. Interfaz de entrada lógica (1 bit)**



**Figura 34. Interfaz de salida lógica (1 bit)**

## Entradas/salidas analógicas.

- Módulos de ampliación (compactos) o tarjetas analógicas.
- Instrucciones específicas: comparación, cálculos aritméticos y hasta algoritmos de regulación (PID).
- Variables analógicas se codifican en binario o BCD (Figura 35).



**Figura 35. Proceso de adaptación de las señales de E/S analógicas.**

- Un conversor A/D con entradas multiplexadas.
- Señales normalizadas 4 a 20ma o de 0 a 10V.
- Tarjetas específicas (termopares, encoders).
- Ajustes de ganancia (opcional).
- Multiplexor analógico.

## Parámetros principales:

- Márgenes de corriente y/o tensión de entrada.
- Impedancia de entrada.
- Nivel de aislamiento.
- Resolución (número de bits).
- Tipo de conversión.
- Polaridad de la señal de entrada.
- Tiempo de adquisición del dato.
- Precisión o margen de error.

Las interfaces establecen la comunicación entre la unidad central y el proceso, filtrando, adaptando y codificando de forma comprensible para dicha unidad las señales procedentes de los elementos de entrada, y decodificando y amplificando las señales generadas durante la ejecución del programa antes de enviarlas a los elementos de salida (linux0, 2008).

### **CAPITULO 3: Proceso de cálculo, selección de tuberías y válvulas adecuadas.**

En esta propuesta de automatización para el sistema de tratamiento se requiere un cambio total en la parte tecnológica y de control, teniendo en cuenta que las diferentes acciones que se ejecutan se hacen de manera manual y a ojo por los operarios de turno. Las válvulas que actúan en esta etapa son completamente manuales, para cerrar o abrir la válvula correspondiente.

Los filtros y la cisterna no tienen ningún tipo de control en su nivel, afectando el proceso en cuanto al despilfarro de líquido.

Actualmente la línea de tratamiento de agua cuenta con una bomba de 7 o 7.5 HP a decir del personal porque la placa de identificación de la bomba no es legible, para poder transportar el agua a todo el sistema.

Para ello este estudio y solución presentada se llevara a cabo con este parámetro ya adquirido.

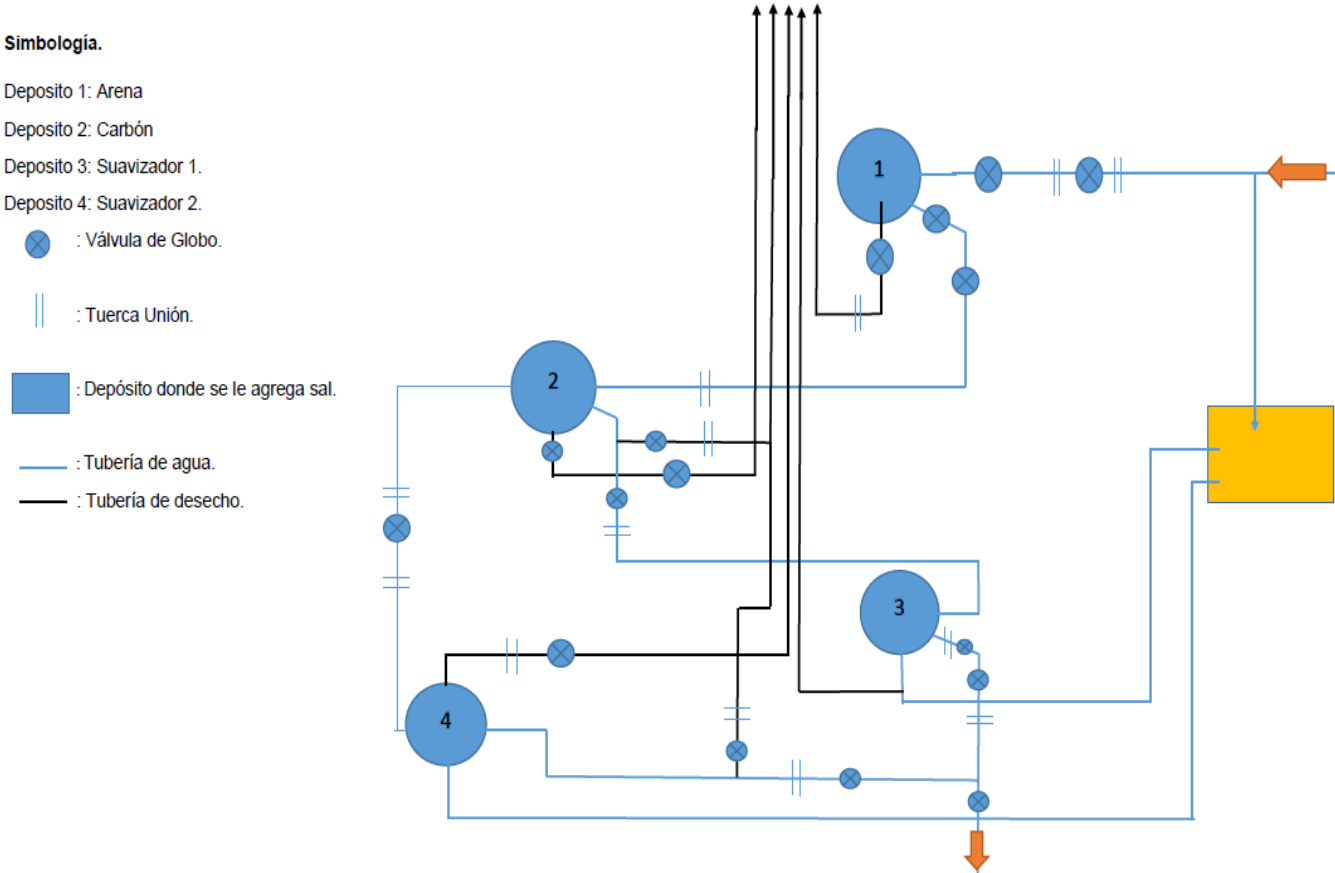
Para la selección adecuada y óptima de los accesorios se tiene:

- a) Descripción de la etapa de distribución.
- b) Cálculos.
- c) Selección de tuberías.
- d) Selección de las electroválvulas.

### 3.1 Descripción de la etapa de distribución

En la figura 36, se representa el diagrama actual del sistema de la planta de tratamiento de agua.

Teniendo en cuenta que todo el proceso de tratamiento de agua se hace de forma manual, el nivel de los cuatro (4) depositos, el nivel de la cisterna no tienen ningún tipo de control automático, al igual que la bomba y las válvulas que hacen parte de este proceso.



**Figura 36. Diagrama actual de la línea de tratamiento de agua.**

La etapa de distribución empieza en la cisterna, teniendo en cuenta que el agua que llega a él proviene de un pozo y es llevada a la cisterna por medio de una bomba.

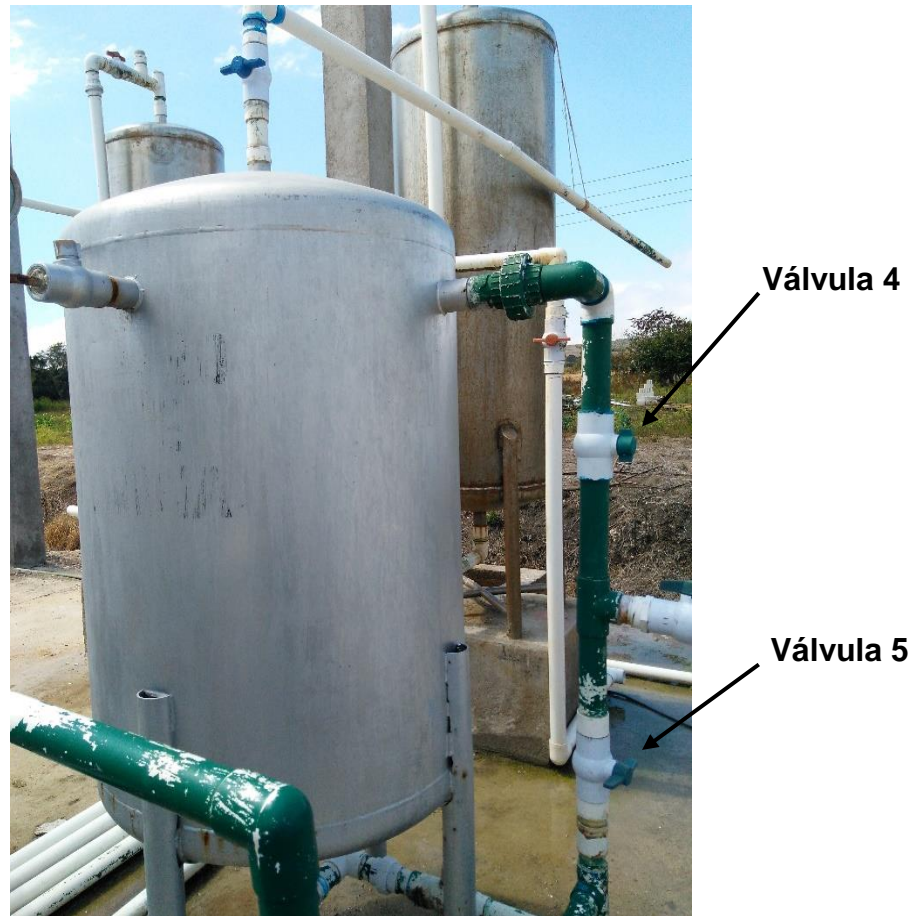
El agua se traslada al primer deposito (filtro 1), en la tubería cisterna-deposito 1 cuenta con tres válvulas, la válvula 1 sirve para llenar el tanque, este tanque sirve para hacer una mezcla de agua y sal, para regenerar los depósitos (3 y 4), esta mezcla sirve para bajar la dureza que contiene el agua y así poder ser utilizado en la planta (Figura 37).



**Figura 37. Deposito para regenerar los suavizadores.**

En el deposito 1 corresponde al filtro de arena, se encarga de purificar el agua. El agua entra por la parte superior del filtro y desciende a través del lecho filtrante de arena.

Los filtros de arena tiene la finalidad de remover solidos suspendidos en el agua de tamaños de hasta 10 micrómetros lo que quiere decir que todo solido en suspensión (tierra, polen, basuras pequeñas, etc.) mayor a 10 micrómetros quedaran retenidos en el filtro para después ser desechado y de esta forma no permitir que los sólidos pasen a la siguiente etapa (Figura 38).



**Figura 38. Filtro de arena.**

Cuando el agua llega a la parte inferior se recoge en un colector de salida. El lecho filtrante de arena queda retenido dentro del filtro gracias a unas crepinas o brazos filtrantes con pequeñas ranuras de paso de agua. Una vez que el agua pasa por el deposito 1 es llevado por la misma presión que ejerce la bomba al deposito 2.

En el deposito 2, que corresponde al filtro de carbón, este tipo de carbón es de origen vegetal activado de palma de coco, una vez que el agua allá pasado por el primer filtro en donde queda libre de cualquier partícula que pudiera contener el agua (Figura 39).



**Figura 39. Filtro de carbón activado.**

Este filtro remueve el cloro y la materia orgánica que es la causante del mal olor, color y sabor en el agua. La activación del carbón produce una excelente superficie de filtración y le permite al carbón activado tener una gran capacidad de absorción de impurezas del agua. La absorción es el proceso mediante el cual la materia se adhiere a la superficie de un absorbente, en este caso el carbón.

En el deposito 3 y 4, que corresponden a los suavizadores, una vez que el agua allá pasado por el deposito 2 es llevada al deposito 3 para otro proceso.

La suavización o ablandamiento del agua es la eliminación de calcio y magnesio del agua dura. El agua entra al suavizador en un orificio que se encuentra en la parte superior pasando por un lecho de resina catiónica cargada con cloruro de sodio que atrae y atrapa las partículas de carbonato de calcio y magnesio (intercambio iónico) reteniéndolas hasta que la resina se satura, evita incrustaciones en equipos y tuberías por lo que aumenta su tiempo de vida. La suavización del agua se logra generalmente usando resinas de intercambio iónico.



Es decir, son específicamente intercambiadores de iones que eliminan los iones de “dureza” principalmente Calcio  $Ca_2+$  y Magnesio  $Mg_2+$ , que son intercambiados por iones de sodio. Es decir reducir la dureza mediante la sustitución de magnesio y calcio ( $Mg_2+$  y  $Ca_2+$ ) por sodio o iones de potasio ( $Na+$  y  $K+$ ).



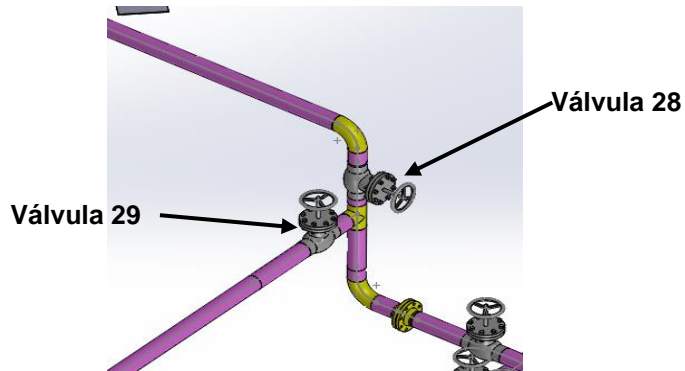
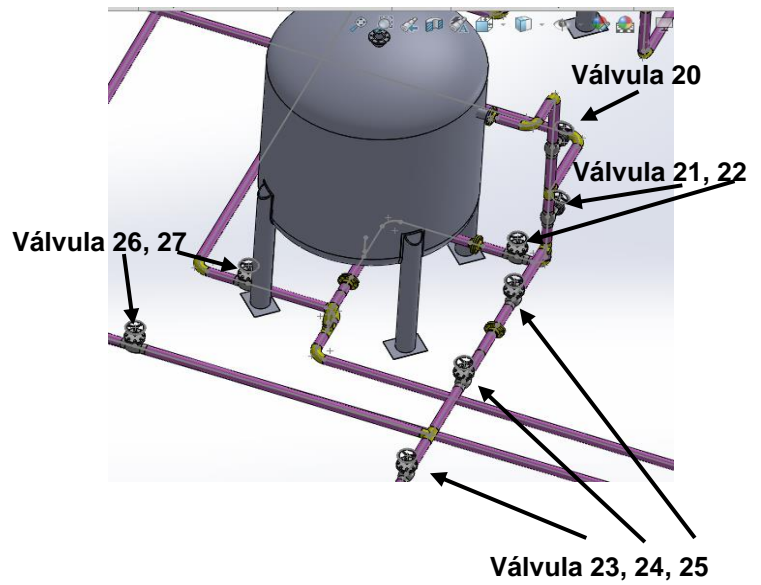
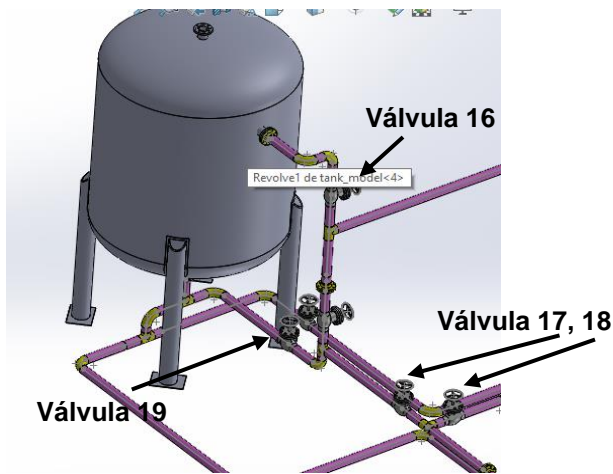
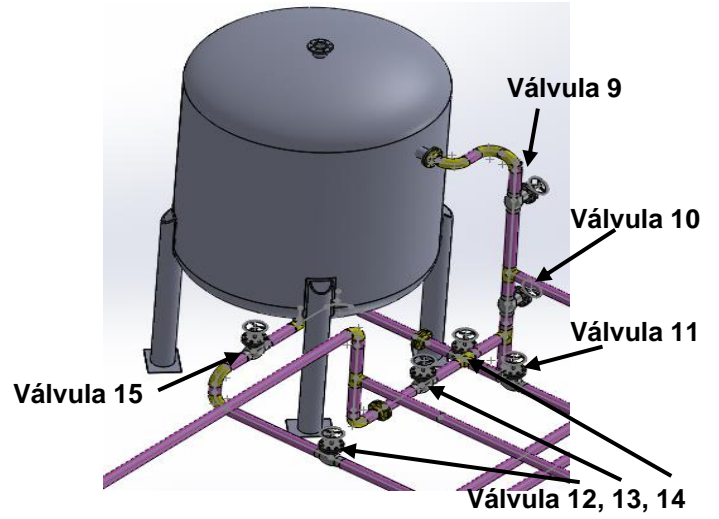
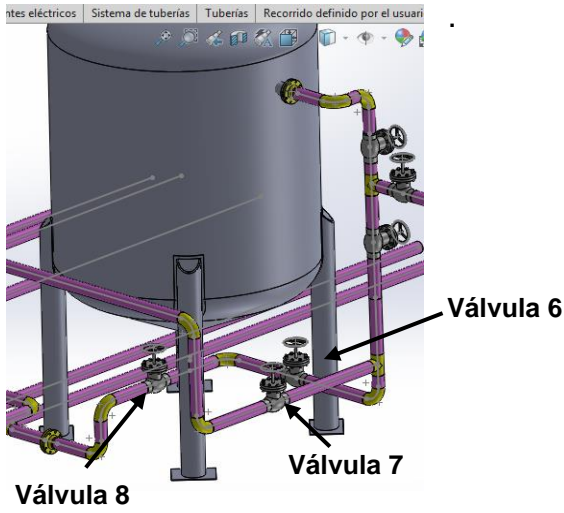
**Figura 40. Suavizador 1.**



**Figura 41. Suavizador 2.**

El sistema de tratamiento de agua cuenta con dos suavizadores (deposito 3 y 4), la razón porque hay que estar regenerando cada una, cuando el suavizador 1 esté en funcionamiento el suavizador 2 debe estar regenerándose.

Se realizó el dibujo de todo el sistema en 3D con el software SolidWorks 2016, para enumerar todas las válvulas del sistema de tratamiento de agua.



**Enumeración de las válvulas de todo el sistema.**

### 3.2 Cálculos de pérdidas en todo el sistema.

Datos de entrada:

$$Q = 0.00556 \frac{M^3}{S}$$

$$D_{1ext} = 2 \text{ in}$$

$$d_{1int} = 0.0052 \text{ m (Anexo 5)}$$

$$D_{2ext} = 2.5 \text{ in}$$

$$d_{2int} = 0.065 \text{ in (Anexo 5)}$$

$$G = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

Para encontrar la velocidad se obtiene mediante esta ecuación (2-2).

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

Para calcular las pérdidas por tubería recta se utilizara la ecuación (2-5).

$$h_L = f \frac{L v^2}{d 2g}$$

Perdidas por accesorios se utilizara la ecuación (2-6).

$$h_a = \Sigma k \frac{v^2}{2g}$$

Finalmente la pérdida de carga total se da con:

$$Hf = f_s \frac{l_s (v_s)^2}{d_s * 2 * g} + \Sigma k \frac{(v_s)^2}{2 * g} + f_d * \frac{l_d * (v_d)^2}{d_d * 2 * g} + \Sigma k \frac{(v_d)^2}{2 * g}$$

#### Calculo para el tramo 1 de succión.

**Datos:**

**Longitud del tramo.**

$$L = 2.40 \text{ m}$$

**Diámetro de succión.**

$$d_2 = 0.065 \text{ m}$$

Por lo tanto, sustituyendo en la ecuación (2-2) obtenemos:

$$v_1 = \frac{4(0.00556)}{\pi(0.065)^2} = 1.675 \frac{m}{s}$$

Buscando el número de Reynolds con la ecuación (2-3) utilizando la velocidad 1 obtenemos.

Para encontrar la viscosidad cinemática (Ver anexo 4).

$$Re = \frac{v * d}{\mu} \qquad \frac{\epsilon}{d}$$

$$Re = \frac{(1.675)(0.065)}{(0.897 \times 10^{-6})} = 121.3769 \times 10^3 \qquad \frac{0.0015mm}{65mm} = 0.000023$$

Con los resultados obtenidos se utiliza la tabla de coeficiente de fricción (Ver anexo 3).

$$f = 0.017$$

Tomando la ecuación (2-5) se tiene perdidas por tubería recta:

$$h_L = 0.017 \frac{2.40}{0.065} * \frac{(1.675)^2}{2(9.81)} = 0.089759 \text{ m.c.a}$$

Para las perdidas (Ver anexo 2).

Tipos de accesorios	Perdidas (k)
2 codo de 90	1.8
1 de tubería a deposito	0.5
$\Sigma k$	2.3

Tomando la ecuación (2-6) se obtiene.

$$h_a = 2.3 \frac{(1.675)^2}{2 * (9.81)} = 0.328896$$

## Tramo 2: Tubería de descarga de la bomba al filtro de arena.

**Datos:**

**Longitud de descarga.**

$$L = 30 \text{ m}$$

**Diámetro de descarga**

$$d_2 = 0.052 \text{ m}$$

Por lo tanto, sustituyendo en la ecuación (2-2) obtenemos.

$$v_2 = \frac{4(0.00556)^2}{\pi(0.052)^2} = 2.61805 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Buscando el número de Reynolds con la ecuación (2-3) utilizando la velocidad 2 se obtiene.

Para encontrar la viscosidad cinemática (Ver anexo 4).

$$Re = \frac{v * d}{\mu} \qquad \frac{\epsilon}{d}$$

$$Re = \frac{(1.675)(0.052)}{(0.897 \times 10^{-6})} = 151.768 \times 10^3$$

$$\frac{0.0015 \text{ mm}}{65 \text{ mm}} = 0.000023$$

Con los resultados obtenidos se utiliza la tabla de coeficiente de fricción. (Ver anexo 3)

$$f = 0.017$$

Tomando la ecuación (2-5) se tiene pérdidas por tubería recta.

$$h_L = 0.017 \frac{30}{0.052} * \frac{(2.61805)^2}{2(9.81)} = 3.4258 \text{ m. c. a}$$

Para las pérdidas (Ver anexo 2).

Tipos de accesorios	Pérdidas (k)
3 válvulas de bola	30
7 codos de 90	6.3
2 te	3.6
2 de depósito a tubería	2
$\Sigma k$	41.9

Tomando la ecuación (2-6) se obtiene.

$$h_a = 41.9 \frac{(2.61805)^2}{2(9.81)} = \mathbf{14.6376 \text{ m. c. a}}$$

Para encontrar la pérdida total de carga en los filtros se obtiene mediante la ecuación (2-8).

$$h_f = 5 \frac{5 * 8.97 \times 10^{-3}}{981} * 0.1561 \frac{(1 - 0.52)^2}{0.52^3} \left( \frac{6}{0.95 * 0.1} \right)^2 = \mathbf{0.23 \text{ cm}}$$

$$h_f = \mathbf{23 \text{ m. c. a}}$$

### Tramo 3: Tubería de filtro de área al carbón activado.

#### Datos:

En la entrada del filtro de carbón activado lleva una velocidad de  $v_2 = 2.61805 \frac{m}{s}$

$$\epsilon = 0.0015 \text{ mm}$$

$$\mu = 0.897 \times 10^{-6}$$

$$L = 0.53362 \text{ m}$$

Buscando el número de Reynolds con la ecuación (2-3) utilizando la velocidad 2 se obtiene:

Para encontrar la viscosidad cinemática (Ver anexo 4).

$$Re = \frac{v * d}{\mu} \qquad \frac{\epsilon}{d}$$

$$Re = \frac{(1.675)(0.052)}{(0.897 \times 10^{-6})} = \mathbf{151.768 \times 10^3}$$

$$\frac{0.0015 \text{ mm}}{65 \text{ mm}} = \mathbf{0.000023}$$

Con los resultados obtenidos se utiliza la tabla de coeficiente de fricción (Ver anexo 3).

$$f = 0.017$$

Tomando la ecuación (2-5) se tiene pérdidas por tubería recta.

$$h_L = 0.017 \frac{0.53363}{0.052} * \frac{(2.61805)^2}{2(9.81)} = \mathbf{0.0609 \text{ m. c. a}}$$

Para las pérdidas (Ver anexo 2).

Tipos de accesorios	Perdidas(k)
5 codos de 90°	4.5
$\Sigma k$	4.5

Tomando la ecuación (2-6) se obtiene.

$$h_a = 4.5 \frac{(2.61805)^2}{2(9.81)} = \mathbf{1.5720 \text{ m. c. a}}$$

Tomando la ecuación (2-7) de ensanchamiento brusco.

$$\frac{(1.675 - 2.61805)^2}{2 * 9.81} = \mathbf{0.04532 \text{ m. c. a}}$$

### **Analizando el tramo de la entrada del suavizador (1 y 2) con ensanchamiento brusco**

$$L = 0.7189 \text{ m}$$

$$v_2 = 2.61805 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$d = 0.052 \text{ m}$$

$$f = 0.017$$

Tomando la ecuación (2-5)

$$h_l = 0.017 \frac{0.7189}{0.052} \frac{(2.61805)^2}{2 * 9.81} = \mathbf{0.08209 \text{ m. c. a}}$$

Para las pérdidas (Ver anexo 2).

Tipos de accesorios	Perdidas(k)
5 codos de 90°	4.5
1 de tubería a deposito	1
$\Sigma k$	5.5

Tomando la ecuación (2-6) se obtiene.

$$h_a = 5.5 \frac{(2.61805)^2}{2 * 9.81} = \mathbf{1.9214 \text{ m. c. a}}$$

Tomando la ecuación (2-7) de ensanchamiento brusco.

$$\frac{(1.675 - 2.61805)^2}{2 * 9.81} = \mathbf{0.045328 \text{ m. c. a}}$$

Pérdidas totales de succión en metros columnas de agua (m.c.a).

$$0.0089759 + 0.3288 = \mathbf{0.337776 \text{ m. c. a}}$$

Pérdidas totales de descarga en metros columnas de agua (m.c.a).

$$3.4258 + 14.6376 + 23 + 0.0609 + 1.5720 + 0.04532 + 0.08209 + 1.921 + 0.04532 = \mathbf{21.7904 \text{ m. c. a}}$$

Suma total de las pérdidas de descarga y succión:

$$h_T = 0.337776 + 21.7904 = \mathbf{22.1282 \text{ m. c. a}}$$



### Aplicando la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{p_1}{\mu} + \frac{v_1^2}{2 * g} + Z_1 + E_a = \frac{P_2}{\mu} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 + \text{perdidas}$$

Calculando la potencia de la bomba en kW para el sistema, si el caudal es de 333.6 LPM para el agua a 30° y una presión de succión 1.5 kpa.

Calculando la eficiencia de la bomba:

Despejamos la  $E_a$  de la ecuación de Bernoulli.

$$E_a = \frac{P_1}{\delta} - \frac{V_1^2}{2 * g} - Z_1 + Z_2 + \text{perdidas}$$

Sustituimos los datos:

$$E_a = \frac{1.5 \times 10^3}{9810} - \frac{(1.675)^2}{2 * 9.81} - 2.40 + 1.40 + 22.1282 = \mathbf{21.1384 \text{ m}}$$

Calculamos la potencia de la bomba:

$$\text{watts} = \frac{\delta * Q * E_a}{n}$$

Sustituimos los datos:

$$\text{watts} = \frac{9810 * 0.00556 * 21.1384}{0.25} = \mathbf{4611.86 \text{ kw}}$$

La potencia requerida convertida en hp sería de 6.18461 hp

Para una mejor eficiencia del sistema se recomienda una bomba de potencia con capacidad de 7 a 7.5 hp o de mayor capacidad si la empresa tiene un mayor crecimiento.

### 3.3 Instrumentos para la automatización del sistema de tratamiento de agua.

#### 3.3.1 Selección de tuberías.

De acuerdo a la tabla de especificaciones que anteriormente les mostramos, la tubería a utilizar y que actualmente usa el sistema es, tubería hidráulica de PVC - cedula 40.

**Tabla 7. Tubería de PVC (Valvulas y Termoplasticos Industriales , 2016).**

DIAMETRO NOMINAL (PULG.)	DIAMETRO EXTERIOR		DIAMETRO INTERIOR		ESPESOR DE PARED		PRESIÓN A 23°C		PESO APROX KG/M
	(PULG)(OD)	(MM)	(PULG)(ID)	(MM)	(PULG)(T)	(MM)	(PSI)	(KG/CM2)	
½"	0.840	21.3	0.609	15.5	0.109	2.8	600	42.0	0.24
¼"	1.050	26.7	0.810	20.6	0.113	2.9	480	33.6	0.32
1"	1.135	33.4	1.033	26.2	0.133	3.4	450	31.5	0.47
1¼"	1.680	42.2	1.363	34.6	0.140	3.6	370	25.9	0.63
1½"	1.900	48.3	1.593	40.5	0.145	3.7	330	23.1	0.76
2"	2.375	60.3	2.049	52.0	0.154	3.9	280	19.6	1.01
2½"	2.875	73.0	2.455	62.1	0.023	5.2	300	21.0	1.60
3"	3.500	88.9	3.042	77.3	0.216	5.5	260	18.2	2.10
4"	4.500	114.3	3.989	101.5	0.237	6.0	220	15.4	2.98
6"	6.625	168.3	6.031	153.2	0.280	7.1	180	12.6	5.26
8"	8.625	219.1	7.942	201.7	0.322	8.2	160	11.2	7.89
10"	10.750	273.1	9.976	253.4	0.365	9.3	140	9.8	11.20
12"	12.750	323.9	11.889	302.0	0.406	10.3	130	9.1	14.80
14"	14.000	355.5	13.073	332.1	0.437	11.1	130	9.1	17.56
16"	16.000	406.4	14.940	379.5	0.500	12.7	130	9.1	22.93
18"	18.000	457.2	16.809	426.9	0.552	14.3	130	9.1	29.91
20"	20.000	508.0	18.743	476.1	0.593	15.1	120	8.4	35.13
24"	24.000	609.6	25.544	572.6	0.687	17.4	120	8.4	48.89

### 3.3.2 Selección de válvulas.

Para seleccionar una válvula adecuada tenemos que tomar en cuenta varios factores, como el fluido de trabajo, que tipo de accionamiento, y conforme a eso seleccionamos el adecuado.

**Tabla 8. Selección de válvulas según el fluido de proceso** (Valvulas y Termoplasticos Industriales , 2016).

MODELOS RECOMENDADOS			MATERIALES						Fluido	
			CUERPO			JUNTAS				
accionamiento directo	mando asistido	accionamiento neumático	ACERO INOXIDABLE	LATÓN/BRONCE/HIERRO	ALUMINIO	NBR	FPM	EPR	PTFE	
VCA, VDW	VXD, VXZ	VNB		○	○	○	○			Aire
VX, VCA	VXZ	VNB		○	○	○	○			Bajo vacío (1 torr)
VDW	VXZ	VNB		○		○	○			Vacío
VX	VXD, VXZ	VNB	○	○			○	○		Alcohol etílico (2)
VX	VXD, VXZ	VNB		○				○		Glicol de etileno
VX	VXD, VXZ	VNB	○	○			○			Tricloroetano
VX	VXD, VXZ	VNB	○	○			○			Tricloroetileno
VX	VXD, VXZ	VNB	○	○		○	○			Percloruro de etileno
VX	VXD, VXZ	VNB	○					○		Sosa cáustica (25%)
VX	VXD, VXZ	VNB	○	○			○			Argón
VX	VXD, VXZ	VNB					○			Helio
VCA	VXD, VXZ	VNB		○	○	○	○	○		Gas de nitrógeno
VX	VXD, VXZ	VNB		○		○		○		Dióxido de carbono
VCL	VXD, VXZ	VNB		○			○			Aceite ligero
VCL	VXD, VXZ	VNB		○			○			Aceite de silicona (1)
VX	VXD, VXZ	VNB		○				○		Líquido de frenos
VX	VXD, VXZ	VNB		○			○			Fueloil
VCL	VXD, VXZ	VNB		○			○			Aceite pesado (1)
VCL	VXD, VXZ	VNB	○	○		○				Queroseno
VX	VXD, VXZ	VNB		○			○			Nafta
VCW, VDW	VXD, VXZ	VNB	○	○			○	○	○	Agua desionizada
VCW, VDW	VXD, VXZ	VNB		○		○				Agua
VCB	VXD, VXZ	VNB		○			○	○		Agua a alta temperatura (hasta 99 °C)
	SGC	SGCA		○			○			Refrigerantes
VCS		VND	○	○					○	Vapor

Conforme a la tabla 8 podemos especificar el tipo de materia de la electroválvula, en este caso por el fluido a trabajar el cuerpo debe ser de Latón/Bronce/Hierro y la junta de ser de goma de Nitrilo Butadieno (por sus siglas en inglés, NBR).

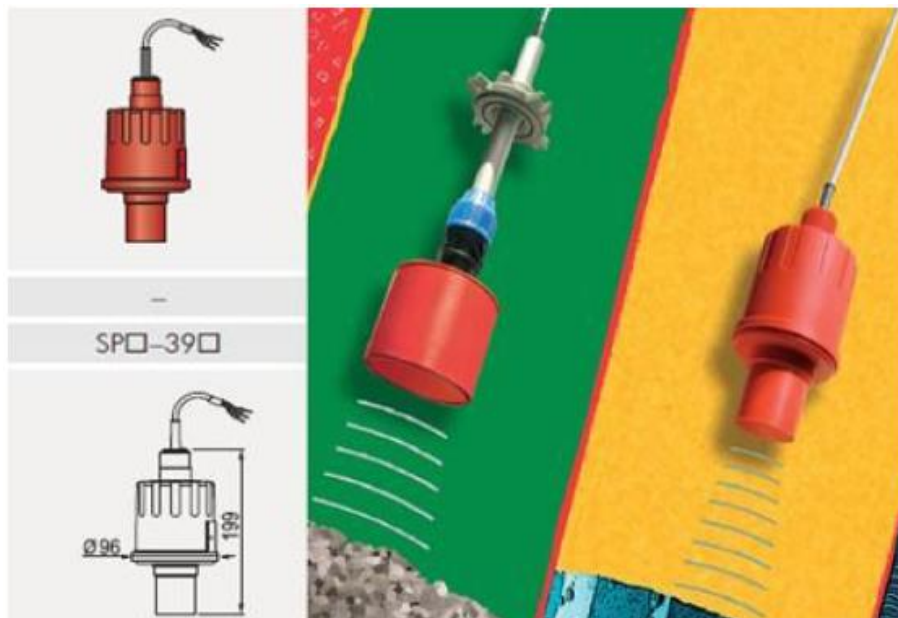
Según la tabla 8 el tipo de accionamiento más adecuado es el de accionamiento neumático.

### 3.3.3 Medición de nivel de la cisterna.

El equipo que se propone instalar en la cisterna es un transmisor de nivel por ultrasonido (Figura 42) marca NIVELCO modelo EasyTrek, con referencia SP-39, con un rango de medición de 0.2 a 4 metros y una señal análoga de salida de 4 a 20mA (Ver anexo 6).

Propiedades del producto

- Transmisor compacto de 2 hilos.
- Medición de nivel sin contacto.
- Estrecho ángulo de haz de 5 °.
- Excelente procesamiento de señales a través del software QUEST.
- Temperatura compensada.
- Protección secundaria contra rayos.
- Vivienda de PP, PVDF, PTFE.
- Comunicación HART.
- Modelos a prueba de explosiones.



**Figura 42. Sensor de nivel NIVELCO**

### 3.3.4 Selección del sistema de control.

Para una posible automatización se requiere la instalación como sistema de control en este caso se recomienda usar PLC, el equipo SIEMENS S7-200 (Figura 43).

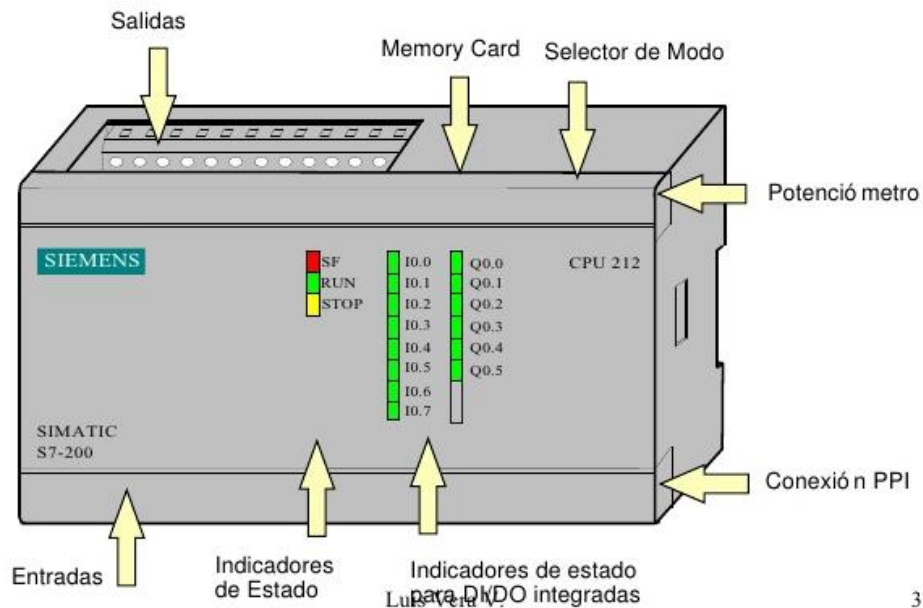
El equipo S7-200 tiene las siguientes características y funciones:

Características:

- Precio económico.
- Software propio (MicroWin).
- Posibilidad de expansión de hasta siete módulos.
- "Paquete total" el equipo contiene fuente de alimentación, CPU y entradas/salidas.

Funciones:

- Forzado de entradas y salidas.
- Acceso directo a entradas y salidas.
- Contadores de alta velocidad integrados.
- Reloj en tiempo real.



37

**Figura 43. PLC marca Siemens S7 - 200**

### 3.3.5 Selección del medidor de caudal.

Para la posible adaptación y automatización lo que se requiere es la instalación de un medidor de caudal en la tubería que va desde la salida de la cisterna y otro en la tubería que va a la planta, esto para poder tener una información de cuanto liquido se está entregando.

Este medidor puede ser el caudalímetro (Figura 44) electromagnético OPTIFLUX 1300 de la marca KROHNE. Este transmisor tiene señales de salida de 4 a 20mA. (Ver anexo 6).



**Figura 44. Caudalímetro OPTIFLUX**

Características destacadas del producto:

- Medida de caudal bidireccional en un amplio rango dinámico (rangeabilidad: 1000:1)
- Versión "sandwich" ligera y compacta para una instalación que no requiere mucho espacio
- Precisión de medida estándar:  $\pm 0,3\%$  o  $\pm 1$  mm/s del valor medido
- Recubrimiento de PFA reforzado: superficie lisa, resistencia química excelente
- Sección transversal del tubo sin estrangulamientos para lodos con partículas sólidas no abrasivas
- Sin mantenimiento

A continuación se presenta el diagrama conexión final de los instrumentos y elementos de control al PLC (Figura 45).

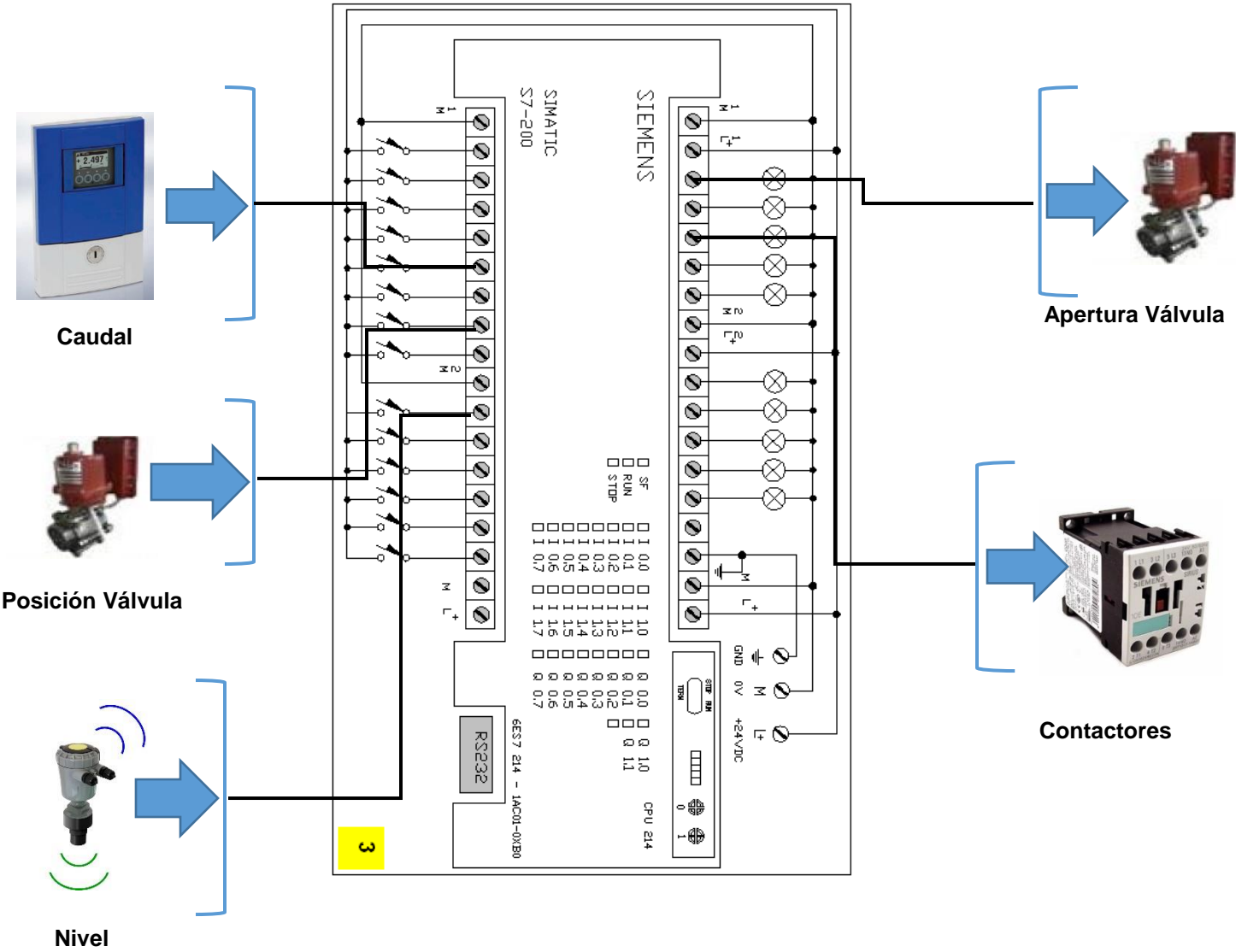


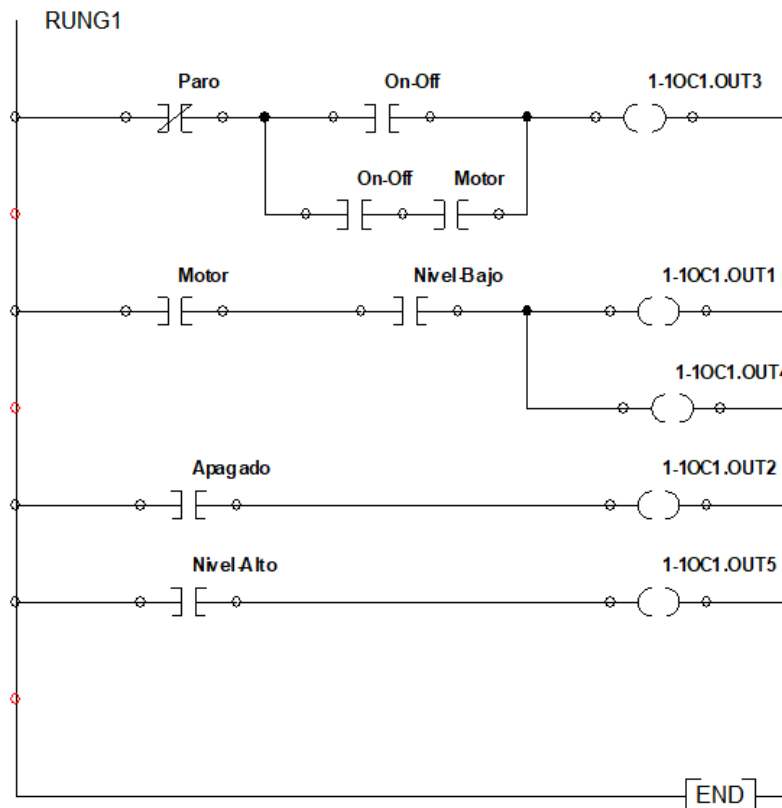
Figura 45. Diagrama de conexión de los elementos.

### 3.4 Diseño de la estrategia de control PLC.

La estrategia de control se realizó teniendo en cuenta cada una de las variables a controlar dentro de la etapa de distribución. Esta etapa se segmentó en dos sub-etapas, éstas se definen de la siguiente manera: control de nivel de la cisterna y el control de las válvulas de todo el sistema.

- **Diseño de la estrategia de control del nivel de la cisterna.**

El control del nivel de la cisterna se realizó un diagrama de escaleras, esto nos permite controlar la bomba para llenar la cisterna, cuenta con dos niveles: nivel Bajo y nivel Alto.



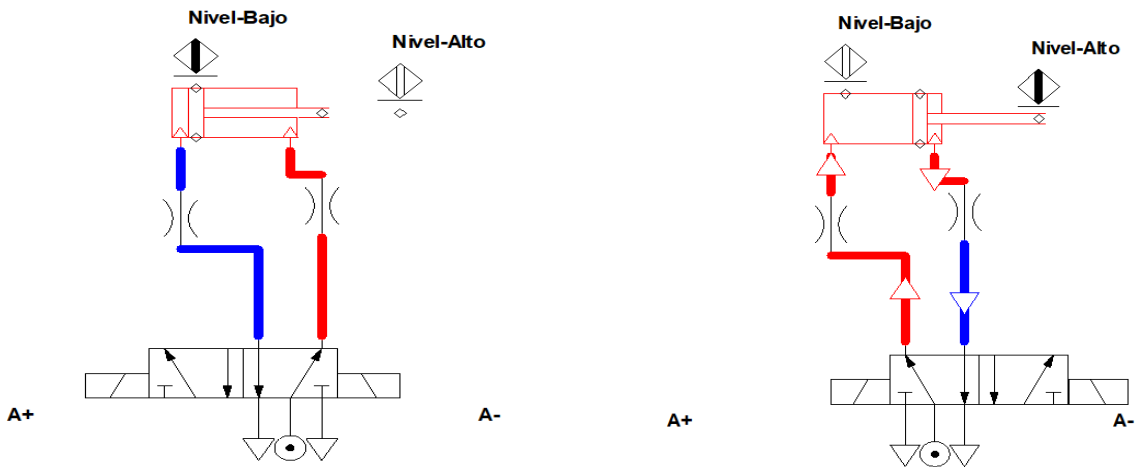
**Figura 46. Diagrama de escaleras de nivel de la cisterna.**

Como podemos observar en la figura 46 podemos controlar el llenado de la cisterna de forma automática.

Para lograr una simulación adecuada, se tuvo que usar unos pistones para poder visualizar como sería el llenado de la cisterna, esto debido a que el Software que se utilizó.

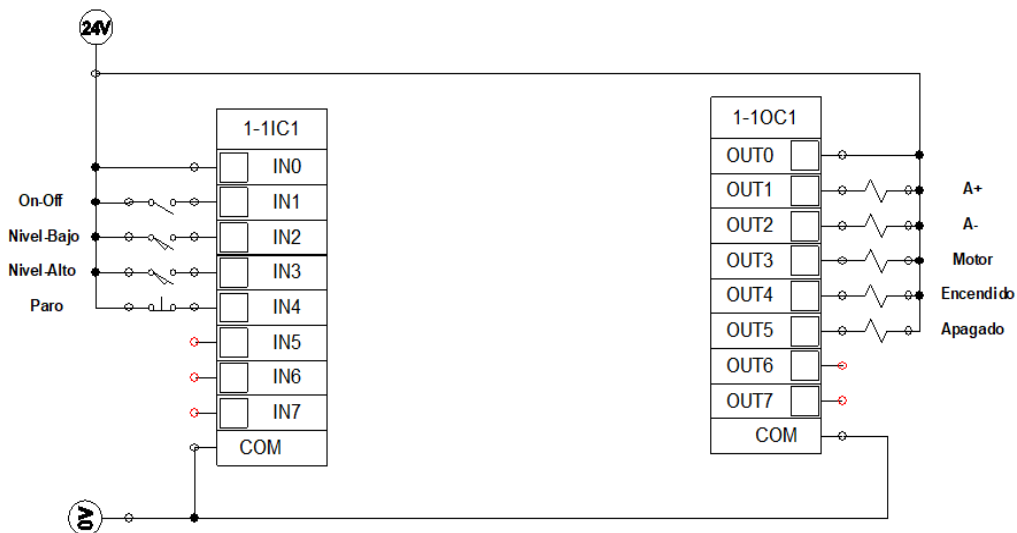


Como podemos observar en la figura 47, el pistón cuando esté en su P.M.I (Punto Muerto Inferior) está en nivel bajo. Cuando el pistón cuando esté en su P.M.S (Punto Muerto Superior) está en el nivel alto.



**Figura 47. Sensor nivel bajo y alto.**

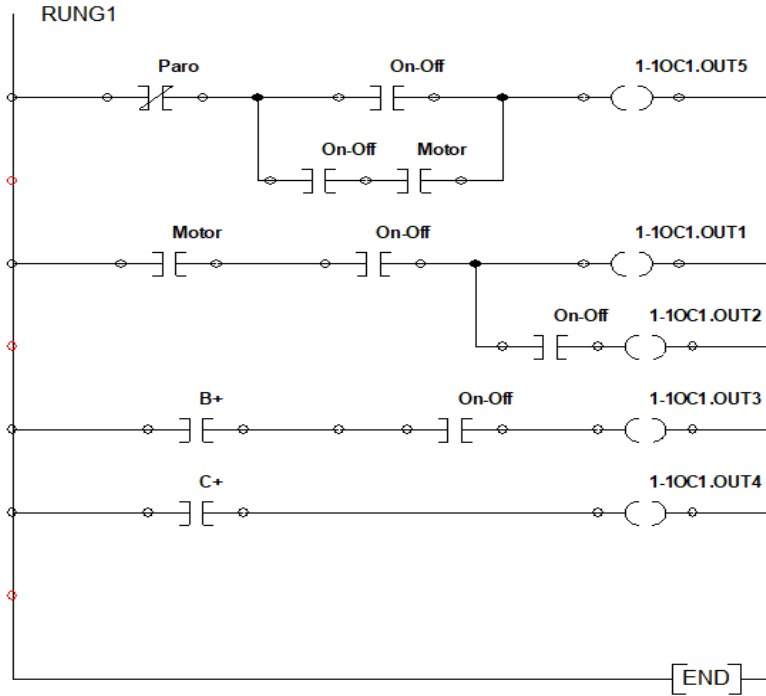
Como se observa en la figura 48, se muestra las conexiones de los sensores de nivel y de bomba en el PLC, se le colocó un botón de encendido así como también un paro de emergencia.



**Figura 48. Conexión de los elementos de control en PLC.**

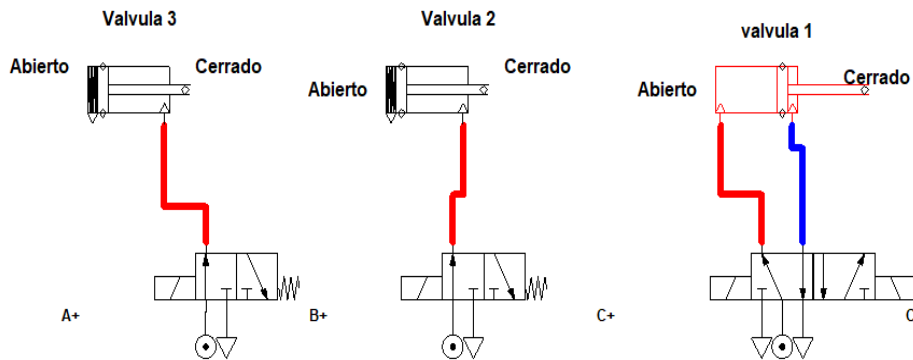
- **Diseño de la estrategia de control del tramo 1.**

El tramo uno corresponde de la cisterna al depósito 1 o bien filtro de arena, se realizó un diagrama de escaleras, esto nos permite controlar las válvulas. Como se observa en la figura 49, este diagrama de escaleras permite cerrar o abrir las válvulas.



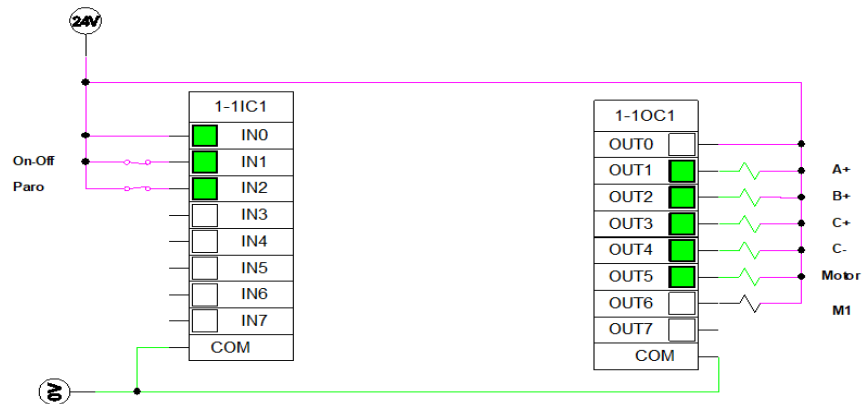
**Figura 49. Diagrama de escaleras del tramo 1.**

En la figura 50, se observa que cuando pulsamos el botón de encendido se abren las válvulas 3 y 2 y se cierra la válvula 1, esto para que el agua circule al primer deposito.



**Figura 50. Válvulas del tramo 1.**

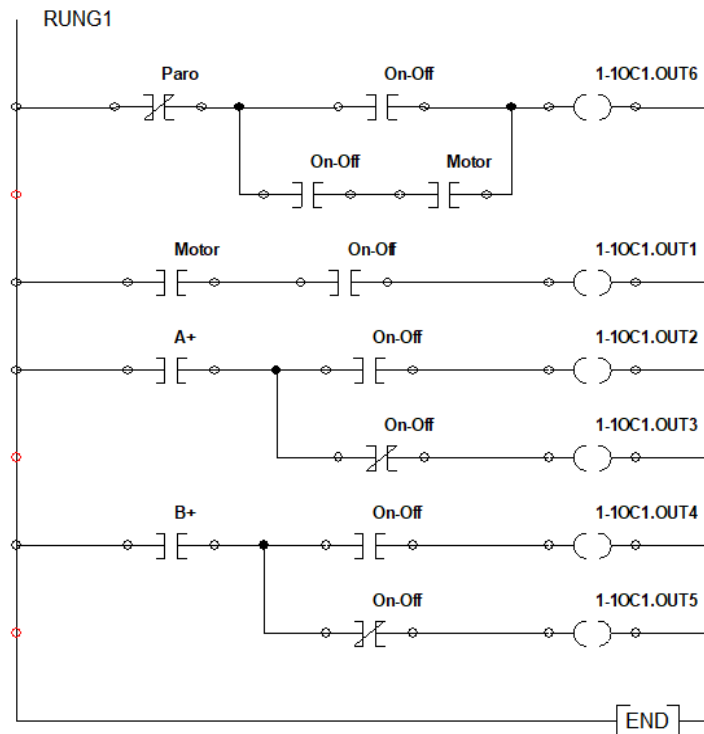
La conexión en el PLC se muestra en la siguiente figura 51, se colocó un botón de encendido así como también un paro de emergencia.



**Figura 51. Conexión en el PLC.**

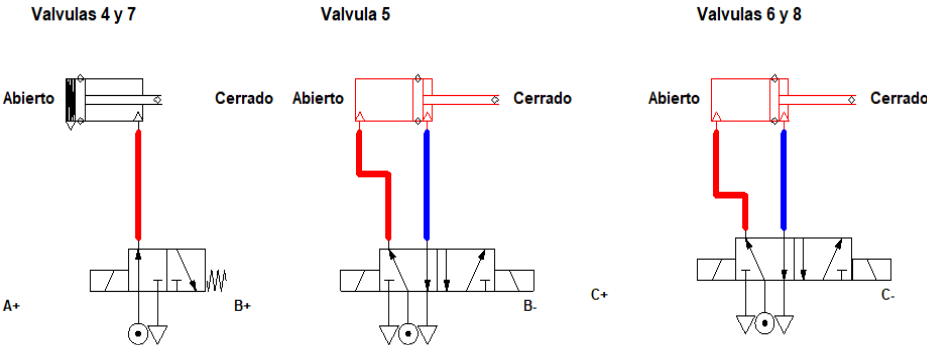
- **Diseño de la estrategia de control del tramo 2.**

El tramo dos corresponde del deposito 1 al deposito 2, se realizó un diagrama de escaleras, esto nos permite controlar las válvulas. Como se observa en la figura 52, este diagrama de escaleras permite cerrar o abrir las válvulas.



**Figura 52. Diagrama de escaleras del tramo 2.**

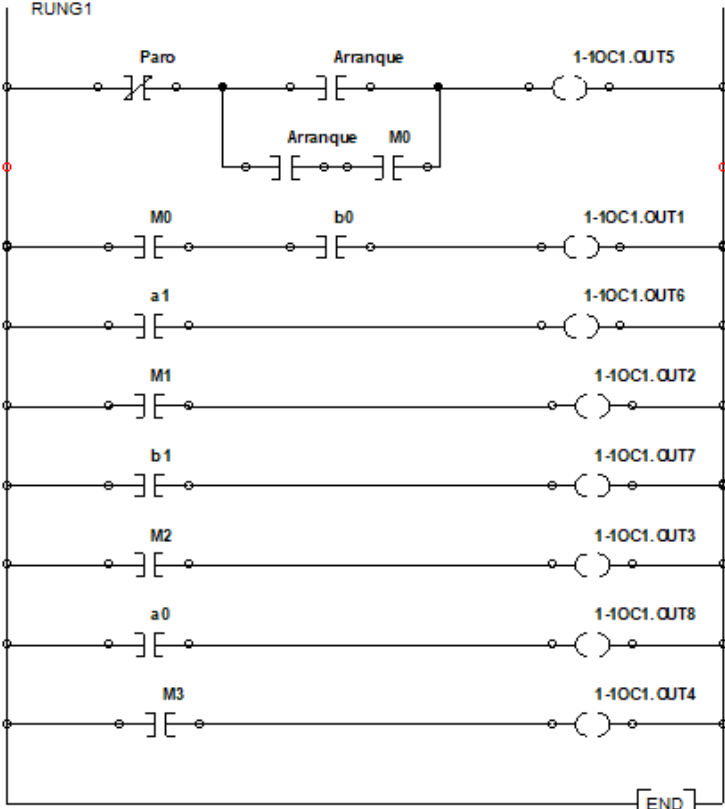
En la figura 53, se observa que cuando encendemos el sistema se abren las válvulas 4 y 7 y se cierran las válvulas 5, 6 y 8, esto para que el agua circule al primer deposito.



**Figura 53. Válvulas del tramo 2.**

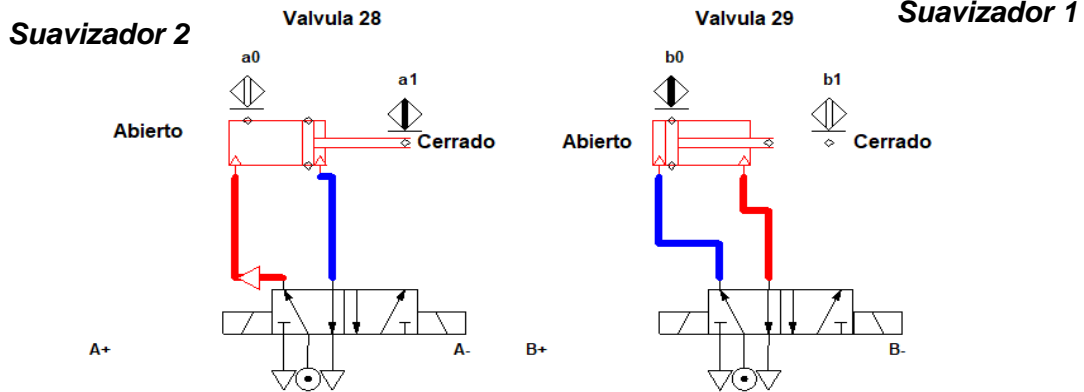
- **Diseño de la estrategia de control de selección de suavizadores.**

En esta parte nos permite seleccionar uno de los dos suavizadores, se realizó un diagrama de escaleras. Como se observa en la figura 54, este diagrama de escaleras permite seleccionar cuál de los dos suavizadores de forma automática se utilizara.



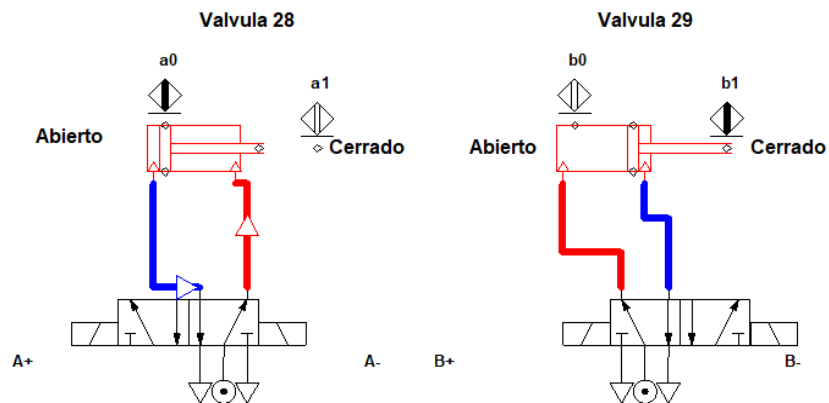
**Figura 54. Diagrama de escaleras de selección de suavizadores.**

En la figura 55, las válvulas permanecen NA cuando el sistema está apagado, se observa que cuando encendemos el sistema se abre la válvula 29 y se cierra la válvula 28, esto para que el agua circule a uno de los dos suavizadores. En este caso el agua circulara en el suavizador 1.



**Figura 55. Válvulas de selección de suavizadores.**

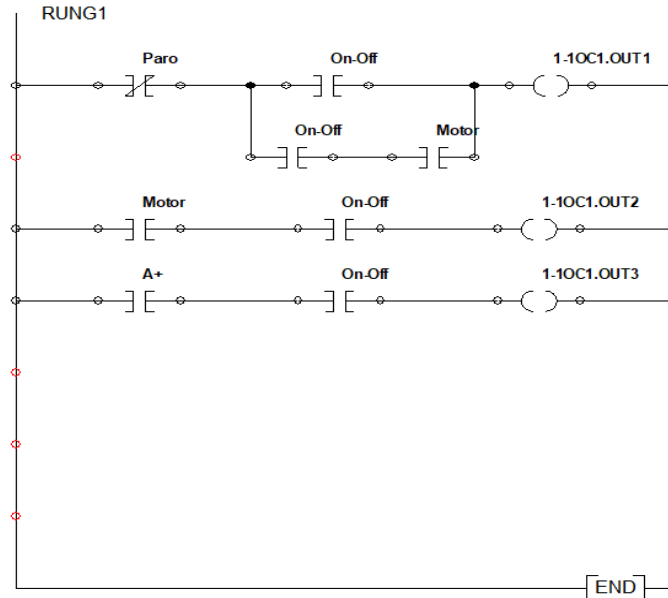
En la siguiente figura 56, se muestra cuando la válvula 29 se cierra y la válvula 28 se abre, lo cual permite el paso del agua al suavizador 2.



**Figura 56. Válvulas de selección de suavizadores.**

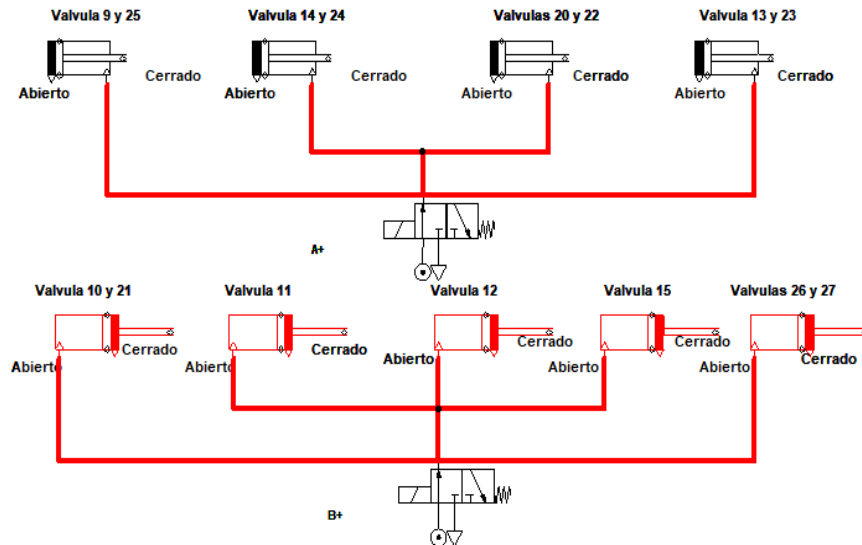
- **Diseño de la estrategia de control del tramo 3.**

El tramo tres corresponde del deposito 2 al suavizador 1, se realizó un diagrama de escaleras, esto nos permite controlar las válvulas en este tramo. Como se observa en la figura 57, este diagrama de escaleras permite cerrar o abrir las válvulas.



**Figura 57. Diagrama de escaleras del tramo 3.**

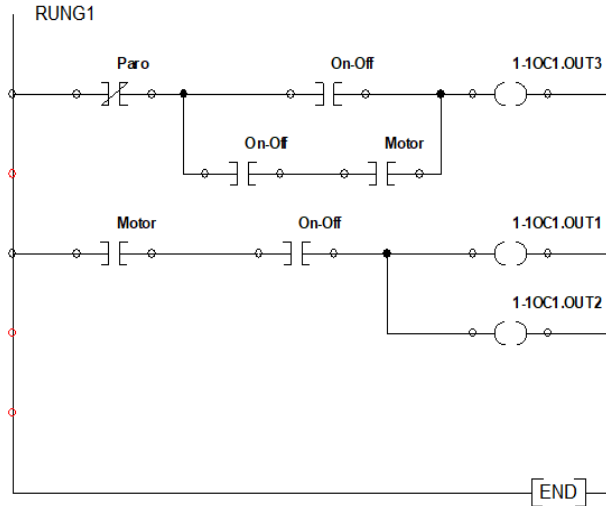
En la figura 58, se observa que cuando encendemos el sistema se abren las válvulas 9, 13, 14, 20, 22, 23, 24, 25 y se cierra las válvulas 10, 11, 12, 15, 21, 26, 27, esto para que el agua circule del filtro 2 al suavizador 1.



**Figura 58. Válvulas del tramo 3.**

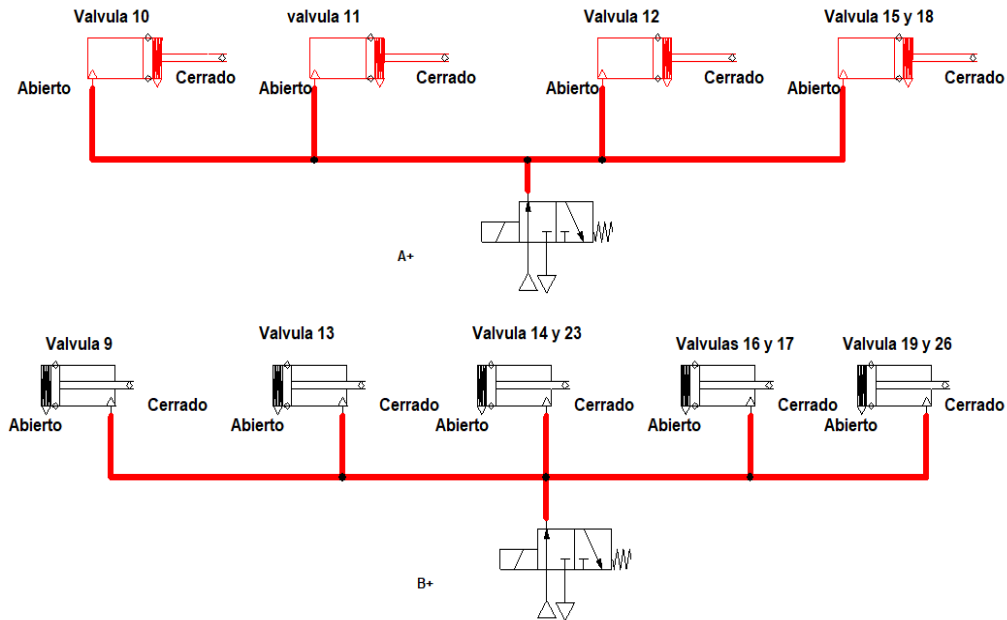
- **Diseño de la estrategia de control del tramo 4.**

El tramo cuatro corresponde del deposito 2 al suavizador 2, se realizó un diagrama de escaleras, esto nos permite controlar las válvulas en este tramo. Como se observa en la figura 59, este diagrama de escaleras permite cerrar o abrir las válvulas.



**Figura 59. Diagrama de escaleras del tramo 4.**

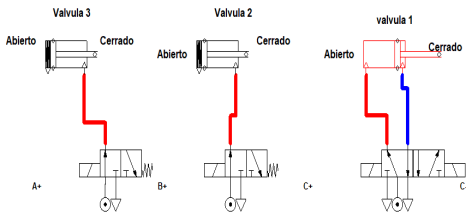
En la figura 60, se observa que cuando encendemos el sistema se abren las válvulas 9, 13, 14, 16, 17, 19, 23, 26 y se cierra las válvulas 10, 11, 12, 15, 18, esto para que el agua circule del filtro 2 al suavizador 1.



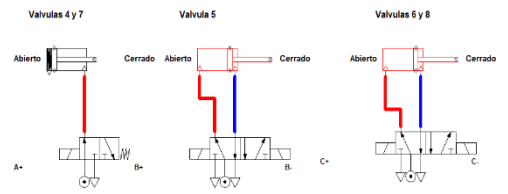
**Figura 60. Válvulas del tramo 4.**

- Diagrama final del sistema de tratamiento de agua.

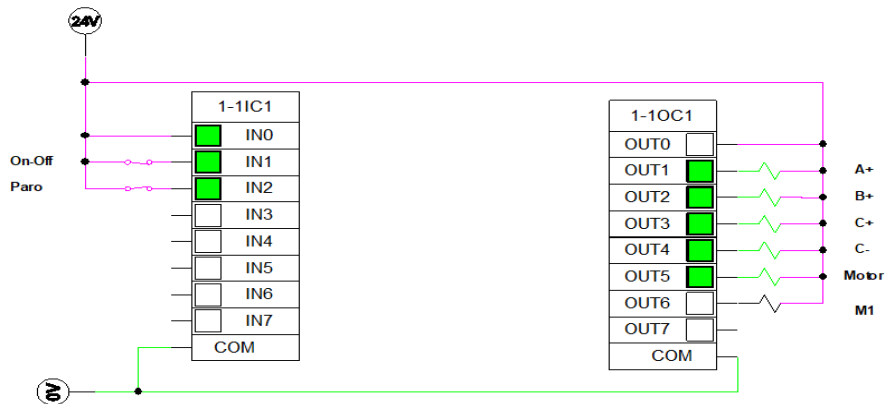
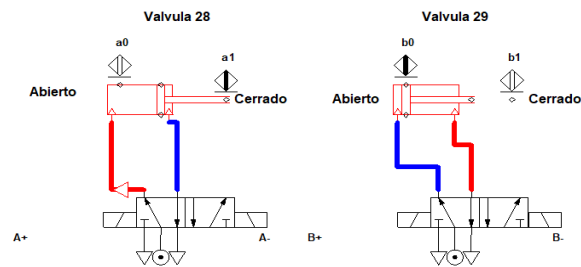
### Tramo 1



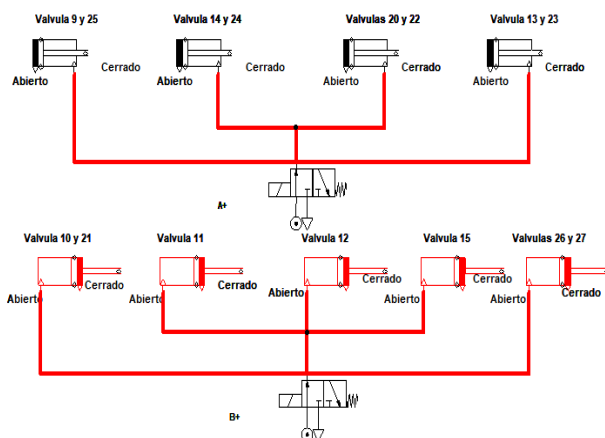
### Tramo 2



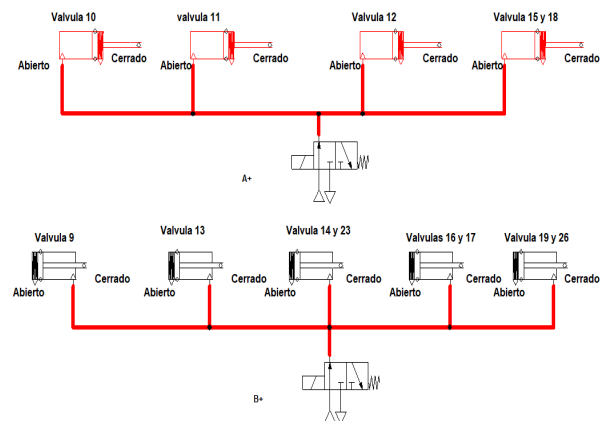
### Selección de suavizadores



### Tramo 3



### Tramo 4





- Elementos para la instalación.

**Tabla 9. Elementos de instalación.**

<b>Válvulas</b>	<b>Elementos de instalación</b>	<b>Características</b>
1, 2, 3, 4, 7, 9, 25, 14, 24, 20, 22, 13, 23, 16, 17, 19, 26	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvula 3/2 vías NC - control eléctrico con muelle de recuperación.</li> <li>• PLC – Salida de intensidad de 0 a 20 mA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje de la bobina: 120/60,110/50.</li> <li>• PLC 24, 48, 120, 230 VCD – 85 a 265 V CA.</li> </ul>
5, 6, 8, 28, 29,	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvula 5/2 vías NC – control eléctrico.</li> <li>• PLC – Salida de intensidad de 0 a 20 mA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje de la bobina: 120/60,110/50.</li> <li>• PLC 24, 48, 120, 230 VCD – 85 a 265 V CA.</li> </ul>
10, 21, 11, 12, 15, 26, 27, 18,	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Válvula 3/2 vías NA - control eléctrico con muelle de recuperación.</li> <li>• PLC – Salida de intensidad de 0 a 20 mA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje de la bobina: 120/60,110/50.</li> <li>• PLC 24, 48, 120, 230 VCD – 85 a 265 V CA.</li> </ul>

## **CAPITULO 4: Conclusiones y recomendaciones**

### **4.1 Conclusiones.**

En base a lo mostrado a lo largo del desarrollo del presente informe, podemos resaltar los siguientes puntos:

- En este proyecto lo que se logró fue reunir la información necesaria para llevar a cabo un análisis detallado para poder implementar un sistema más eficiente en el proceso de tratamiento del agua.
- En base a los resultados obtenidos se determina que la bomba con la que cuenta el sistema de tratamiento de agua en la planta para la implementación de éste proyecto, es de la capacidad requerida para el agua circule por cada uno de los filtros instalados del sistema. Lo anterior garantiza salvaguardar la integridad tanto del personal como de los equipos adicionales instalados en el sitio, aún en situaciones de contingencia.
- Es necesario mencionar, que este tipo de proyecto puede ser aplicado en cualquier otra empresa que requiera de un tratamiento de aguas duras y de aumentar su producción en menor tiempo.
- Con la implementación de los dispositivos propuestos para este proyecto como lo son sensores de nivel, válvulas de control y su caracterización automática, se garantiza que no habrá despilfarro de agua en la planta.

### **4.2 Recomendaciones.**

- En lo que respecta a la selección del sistema de arranque y paro automático, se da una sugerencia, dado que ese aspecto es facultad de la empresa, tanto para la adquisición, instalación y operación.
- Rediseñar el sistema de tratamiento de agua para hacerlo aún más eficaz, reduciría el tiempo de regeneración de los filtros de resina, un mejor aprovechamiento del espacio de trabajo, la aportación de nuevos elementos para eliminar microorganismos en el agua.
- Hacer el lavado de las resinas de los filtros suavizadores con ácido una vez por semana esto para preparar la resina para el intercambio iónico pues con el continuo uso se forma suciedad a la superficie de la resina lo cual hace imposible el trabajo adecuado.
- El retro lavado es muy importante para homogenizar el lecho de resina y que cuando fluya el agua no se forme canalización o rutas preferenciales del agua en su paso por la resina. También para tener una regeneración más eficiente.

## Anexos

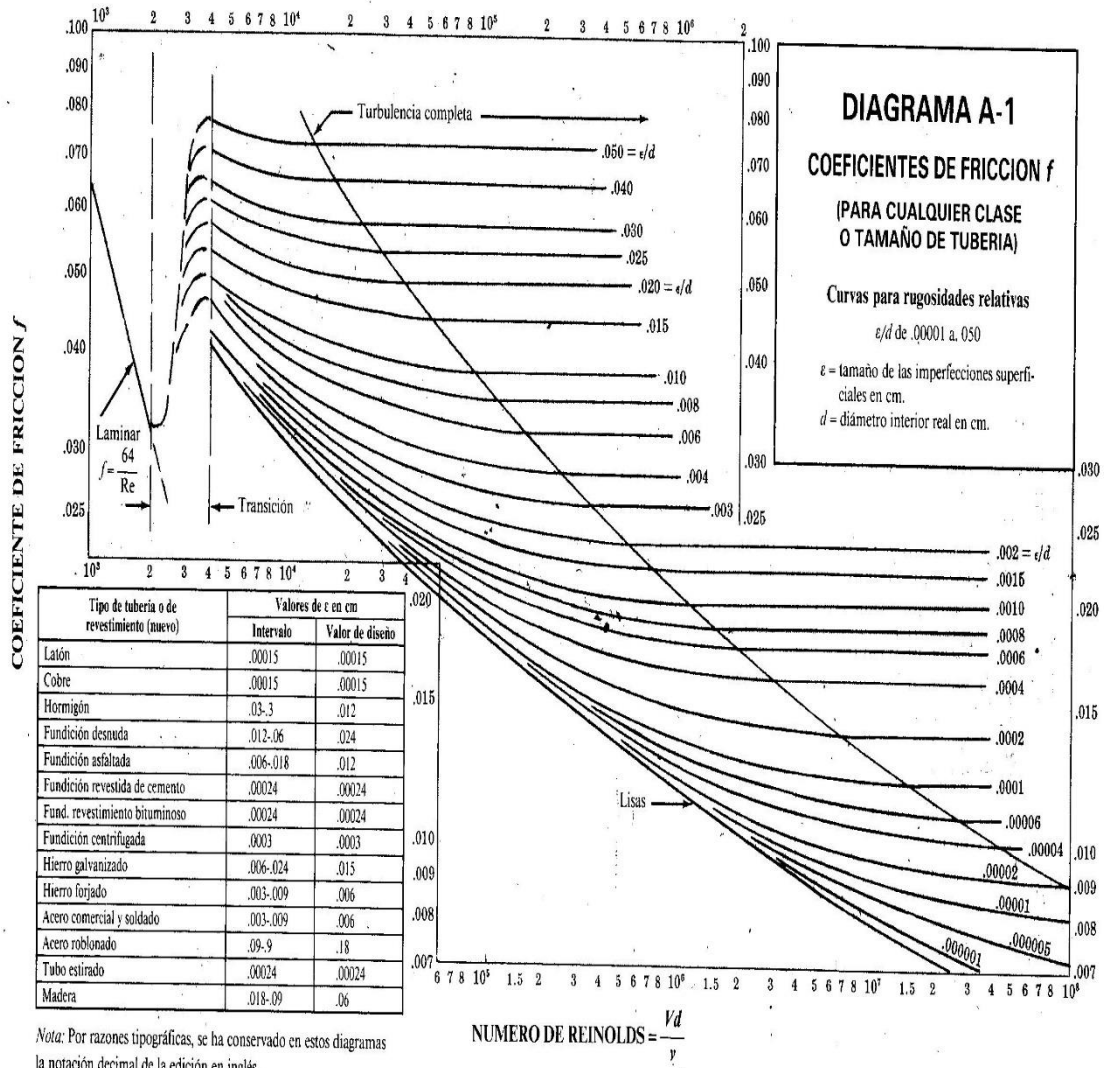
### ANEXO (1) Tabla de rugosidad absoluta de materiales.

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

**ANEXO (2)** Tabla de valores de pérdidas para los accesorios en las tuberías.

<b>Accesorios</b>	<b>K</b>
Válvula de globo completamente abierto	10
Válvula de ángulo completamente abierta	5
Válvula de retención de columpio abierta	2.5
Válvula de compuerta abierta	0.19
Conexión en U	2.2
Codo en T estándar	1.8
Codo estándar	0.9
Codo de radio medio	0.75
Codo de radio largo	0.60
Codo de 45 grado	0.45
Válvula de control abierta	3.0
De depósito a tubería a ras	0.50
De tubería a depósito (pérdida a la salida)	1.00

**ANEXO (3) Diagrama para encontrar coeficientes de fricción de Darcy-Weisbach.**



**ANEXO (4)** Tabla de densidad relativa y viscosidad cinemática de algunos líquidos.

(Viscosidad cinemática = valor de la tabla · 10<sup>-6</sup>)

Temp (° C)	Agua**		Disolvente comercial		Tetracloruro de carbono		Aceite lubricante medio	
	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)
5	1,000	1,520	0,728	1,476	1,620	0,763	0,905	471
10	1,000	1,308	0,725	1,376	1,608	0,696	0,900	260
15	0,999	1,142	0,721	1,301	1,595	0,655	0,896	186
20	0,998	1,007	0,718	1,189	1,584	0,612	0,893	122
25	0,997	0,897	0,714	1,101	1,572	0,572	0,890	92
30	0,995	0,804	0,710	1,049	1,558	0,531	0,886	71
35	0,993	0,727	0,706	0,984	1,544	0,504	0,883	54,9
40	0,991	0,661	0,703	0,932	1,522	0,482	0,875	39,4
50	0,990	0,556					0,866	25,7
65	0,980	0,442					0,865	15,4

Temp (° C)	Aceite a prueba de polvo*		Fuel-oil medio*		Fuel-oil pesado*		Gasolina*	
	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)
5	0,917	72,9	0,865	6,01	0,918	400	0,737	0,749
10	0,913	52,4	0,861	5,16	0,915	290	0,733	0,710
15	0,910	39,0	0,857	4,47	0,912	201	0,729	0,683
20	0,906	29,7	0,855	3,94	0,909	156	0,725	0,648
25	0,903	23,1	0,852	3,44	0,906	118	0,721	0,625
30	0,900	18,5	0,849	3,11	0,904	89	0,717	0,595
35	0,897	15,2	0,846	2,77	0,901	67,9	0,713	0,570
40	0,893	12,9	0,842	2,39	0,898	52,8	0,709	0,545

**Algunos otros líquidos**

Líquido y temperatura	Densid. relat.	Visc. cinem. (m <sup>2</sup> /s)
Turpentina a 20° C	0,862	1,73
Aceite de linaza a 30° C	0,925	35,9
Alcohol etílico a 20° C	0,789	1,53
Benceno a 20° C	0,879	0,745
Glicerina a 20° C	1,262	661
Aceite de castor a 20° C	0,960	1.031
Aceite ligero de máq. a 16,5° C	0,907	137

\* Kessler y Lenz, Universidad de Wisconsin, Madison.

\*\* ASCE Manual 25.

## ANEXO (5) Catalogo de tubería de PVC hidráulico.



# TUBERÍA DE PVC CÉDULA 40

### FUNCIONAMIENTO Y DURABILIDAD GARANTIZADOS

**EMMSA se esfuerza** constantemente en ofrecer la más alta calidad en todos sus productos, y en este constante esfuerzo, procuramos proporcionar a nuestros clientes respuestas prácticas y efectivas a cada una de sus necesidades. Por ello, ofrecemos nuestra tubería de PVC Cédula 40.

La tubería de PVC Cédula 40 se fabrica de acuerdo a ASTM D1785 en diámetros de 3/8" hasta 16" y se suministra con un extremo con boquilla para cementar, ahorrándose así un cople para su instalación. La longitud suministrada es de 6.0 metros y viene en color blanco, con lo cual se puede asegurar su fabricación con materia prima de primera calidad.

La tubería Cédula 40 cuenta además con la aprobación de NSF 61 (National Sanitation Foundation) para su aplicación en agua potable incluso en presencia de pH menores a 5. Por lo anterior la tubería Cédula 40 no se oxida ni se corroe, garantizando así un sistema de alto rendimiento a través del tiempo y con un mínimo mantenimiento.

CERTIFICADO POR 

### APLICACIONES:

Ideal para aplicaciones Semi-Industriales, Riego Residencial y de Invernaderos, Albercas, Parques Acuáticos, Hidromasajes, Procesos Químicos, Plantas de Tratamiento, entre otras.

Diámetro Nominal (Pulg)	Diámetro Exterior Promedio (mm)		Diámetro Interior Promedio (Pulg) (mm)		Espesor Mínimo de Pared (Pulg) (mm)		Presión de Trabajo a 25°C (PSI) (kg/cm <sup>2</sup> )		Peso Aproximado (libras/pie) (kg/m)	
	(Pulg)	(mm)	(Pulg)	(mm)	(Pulg)	(mm)	(PSI)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(libras/pie)	(kg/m)
3/8"	0.840	21.3	0.680	15.5	0.100	2.8	400	42.1	0.157	0.23
1/2"	1.050	26.7	0.870	20.6	0.110	2.9	480	33.7	0.270	0.37
3/4"	1.315	33.4	1.030	26.2	0.130	3.4	650	37.6	0.370	0.46
1 1/8"	1.680	42.2	1.260	31.6	0.140	3.6	770	26.0	0.400	0.42
1 1/2"	1.980	48.3	1.580	40.5	0.145	3.7	730	23.2	0.504	0.75
2"	2.375	60.3	2.040	52.0	0.154	3.9	280	19.7	0.626	1.00
2 1/2"	2.875	73.0	2.440	62.1	0.200	5.2	330	21.1	1.070	1.58
3"	3.500	88.9	3.040	77.3	0.216	5.5	260	18.3	1.610	2.30
4"	4.500	114.3	3.980	101.5	0.237	6.0	220	15.6	2.000	2.87
6"	6.625	168.3	6.030	153.2	0.280	7.1	180	12.6	3.520	5.20
8"	8.625	219.1	7.940	201.7	0.322	8.2	160	11.2	5.380	8.00
10"	10.750	273.1	9.870	251.4	0.365	9.3	140	9.8	7.550	11.20
12"	12.750	323.9	11.880	301.0	0.406	10.3	120	8.1	10.070	14.87
14"	14.800	375.6	13.736	348.6	0.437	11.1	100	6.1	11.800	17.53
16"	16.800	426.4	15.500	391.0	0.500	12.7	70	6.1	15.470	22.80

\* Se vende sobre pedido Color: Blanco Longitud: 20 pies (6.10 mts) Extremo: Abocinado



**Indicación importante**

### PRECAUCIÓN

No se recomienda el uso de tuberías de PVC en sistemas de conducción y/o almacenamiento de aire o gas. Tampoco se recomienda llevar a cabo la prueba de hermeticidad del sistema con aire o cualquier tipo de gas comprimido, ya que puede generarse una sobre-presión excesiva y causar fallas explosivas que pueden dañar al personal.

Código IT-0403-748

**EMPRESA MEXICANA DE MANUFACTURAS, S.A. DE C.V.**

### OFICINAS GENERALES

Priv. San Ignacio No. 705  
Col. Santa Marta  
Monterrey, N.L., México 64650  
Tel: (81) 8753-0070  
Fax: (81) 8753-0005  
dl@emmsa.com.mx

### SUCURSALES

MONTERREY  
GUADALAJARA  
MÉXICO  
LEÓN  
HERMOSILLO  
MÉRIDA  
CD. JUÁREZ  
VERACRUZ  
TULUANA  
CULIACÁN  
CANCÚN  
LOS CABOS  
MÉXICO NORTE  
TAMPICO  
MORELIA  
AGUASCALIENTES  
MONTERREY NORTE  
CHIHUAHUA  
ACAPULCO  
TURTILA GUTIÉRREZ  
PUERTO VALLARTA  
TORREÓN  
PUEBLA  
LOS MOCHES  
QUERÉTARO

**EMMSA**

Sistemas de Tubería

# Amplia gama de aplicaciones

## Válvulas de accionamiento neumático

### Válvula de 2 vías para filtros de mangas (accionamiento neumático)

Serie VXFA21/22

Para aire



Material Cuerpo	Junta	Material de válvula	Tamaño conexión	Diám. orificio mm
AL	NBR	N.C.	3/4 a 1 1/2	20 a 40

### Válvula de accionamiento neumático de 2/3 vías

Serie VXA21/22, VXA31/32

Para aire, vacío, agua, aceite



Modelo	Material de válvula	Tamaño conexión	Diám. orificio mm
VXA21/22	N.C./N.A.	1/8 a 1/2	3 a 10
VXA31/32	C.A.	1/8 a 3/8	1.5 a 4

### Válvula de proceso para aire

Serie VNA

Para aire comprimido, control del circuito de aire comprimido



Material de válvula	Tamaño conexión	Diám. orificio mm
N.C. N.A. C.A.	1/8 a 2	10 a 50

### Válvula de proceso

Serie VNB

Válvula de 2 vías para el control de fluidos diversos



Modelo de válvula	Tamaño conexión	Diámetro orificio mm
N.C. N.A. C.A.	1/8 a 2 32 A a 50 A	7 a 50

### Válvula para vapor

Serie VND

Válvula de 2 vías para el control de vapor



Modelo de válvula	Tamaño conexión	Diámetro orificio mm
N.C. N.A.	1/8 a 2 32 A a 50 A	7 a 50

### Válvula refrigerante

Serie SGCA

Aceite de corte, líquido refrigerante para máquinas herramientas, etc.

0.5 MPa  
1.0 MPa  
1.6 MPa

Pot. lanzamiento  
3.0 MPa



**NUEVO**

Modelo de válvula	Tamaño conexión	Diámetro orificio mm
N.C. N.A.	3/8 a 1	9 a 25



## ANEXO (6) Catalogo de sensores de nivel ultrasónico.

NIVELIN











### EasyTREK – THE COST SAVER FOR LIQUIDS METERING

**EasyTREK** is a rugged, high performance ultrasonic level measurement transducer, having transmitter and processing electronics incorporated in one single housing.

**EasyTREK SAVES COSTS** – EasyTREK is a new, low cost transmitter unit from Nivelin, it has all the sophisticated echo detection features of the well accepted EchoTREK measurement systems, packaged into the 2 or 4 wire EasyTREK sense housing.

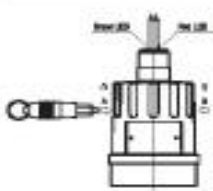
For single tank applications the 4-wire version provides a simple transmitter, with a power relay set of contacts; this can be programmed using a magnetic key. For multiple tank applications 2-wire transmitters are recommended using HART multi-drop systems linked to the Nivelin Multisense controller, or a modem plus PC. Both styles of transmitters can be programmed via HART.

**LIQUID MEASUREMENT** – whether for liquid level measurement in tanks or trucks, for tank contents measurement, or open channel flow measurement, EasyTREK transmitters provide the answer. All EasyTREK transmitters use the same processing electronics and components, the transmitter itself varies only to give different ranges. All 5 models are available in 2-wire and 4-wire versions for run and drainage (including lifting shafts).

EasyTREK level transmitters for liquids					
4-wire series	–	UCD-280	–	UCD-340	UCD-340
2-wire series	SPD-280	SPD-280	SPD-310	SPD-340	SPD-340
Dimensions (mm)					
Range (m / feet)	0.3 ... 4.7 (0.95 ... 15.4)*	0.35 ... 6.7 (0.95 ... 20.7)*	0.35 ... 6.7 (1.0 ... 24.3)*	0.35 ... 10.7 (1.2 ... 35.1)*	0.45 ... 15.7 (1.5 ... 49.9)*
Total beam angle	6°	6°	7°	6°	6°
Allowed temperatures	SR: -30 °C ... +60 °C   DC: -20 °C ... +40 °C				
Process pressure (absolute)	0.93 ... 0.3 MPa (0.3 ... 2 bar)				
Process connection	1" or 1 1/2" BSP / JPT	1" or 1 1/2" BSP / JPT	1" or 1 1/2" BSP / JPT	1" BSP	1" BSP
Mounting	Hanging RP or PVC cable ending, EPDM, cable isolation PVC				
Accuracy*	± 0.3 % of measured distance + 0.25 % of range				
Resolution (dep. on distance)	± 2 m: 1 mm   ± 3 m: 2 mm   0 ... 10 m: 3 mm   ± 18m: 10 mm				
Ingress protection	IP 65				
ATEX approval	ATEX 113, I, II, III, II, III, II, III (available for 2-wire SP series only)				
Outputs	2-wire: Standard 4-20 mA +HART, max. 500 ohm, Relay (SPDT 30 V DC / 1 A DC) 4-wire: Standard 4-20 mA +HART, max. 500 ohm, Relay (SPDT), Cerwin, HART 85400 (instead of 4-20 mA)				
Power supply	2-wire: 11.8 ... 34 V DC / 4A ... 800 mW 4-wire: 11.4 ... 48 V DC / 3.6 W   13.4 ... 28 V AC / 4 VA				
Connecting cable	2-wire: 1/2" x 2 x 0.5 mm <sup>2</sup> shielded cable, Ø 8 mm, standard length 3 m (can be ordered max. 30 m)				
4-wire cable	1/2" x 4 x 0.5 mm <sup>2</sup> shielded cable, Ø 7.5 mm, standard length 3 m (can be ordered max. 30 m)				

\* Under optimal circumstances of reflection and stabilized transmitter temperature

**Technical features:** All the Nivelin experience over many years of design and manufacture of over 50,000 ultrasonic sensors is built in to the EasyTREK. This includes the narrow beam angle, Solidonic technique plus echo transducer, and QUIST + software, using process adaptive signal processing, temperature compensation and secondary lighting protection. The physical appearance of the 4-wire and 2-wire sensors with the same frequency is the same: all are positioned above the liquid surface to be measured.



**Programming the 4-wire unit via magnetic key:**

- Set level for 4mA output
- Set level for 20mA output
- Error indication output current value
- Power relay switch points
- Damping
- Narrow beam angle

Programming the 4-wire EasyTREK via the magnetic key:

**Programmable features via HART communication:**

- All features listed available via the magnetic key
- Relay functions (differential, flow pulse etc)
- Measurement configuration (Units, function, blanking, range)
- Measurement operations (Damping, tracking speed, ignoring blank etc)
- Tank contents profiles: 1 & 4 different shapes
- Open Channel Flow Metering: 21 different profiles
- 32 point transmitter
- Interlocks/diagnostics (Echo map and signal test)

97

## ANEXO (6) Catalogo de medidor de caudal.



### IFC 300 Hoja de datos técnica

#### Convertidor de señal para caudalímetros electromagnéticos

- Convertidor de señal completo apto para prácticamente cualquier requisito de aplicación
- Medidas fiables con diagnóstico exhaustivo del equipo y de la aplicación
- Amplia gama de opciones de comunicación incluso PROFINET



La documentación sólo está completa cuando se usa junto con la documentación relevante del sensor de caudal.

© KROHNE 06/2017 - 4081324200 - TD IFC 300 R07 es

**KROHNE**

## Bibliografía.

- COMEVAL. (10 de Agosto de 2011). Obtenido de Valvulas industriales, glosario y definiciones: [http://www.comeval.es/formacion\\_glosario\\_2007.htm](http://www.comeval.es/formacion_glosario_2007.htm)
- *Departamento de diseño mecanico.* (05 de Agosto de 2011). Recuperado el 10 de Abril de 2018, de Instrumentos industrial sensor de nivel: [http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores-parte\\_IV.nivel.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores-parte_IV.nivel.pdf)
- GILES, R. V. (s.f.). *Mecanica de los fluidos e hidraulicas.* (Segunda ed.). Mc Graw Hill.
- Gutiérrez, L. G. (10 de Agosto de 2011). *Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado.* Recuperado el 22 de Marzo de 2018, de Medida y evaluación de las extracciones de agua subterránea. : [http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2\\_TH/art2/pdf/teoria.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/art2/pdf/teoria.pdf)
- Igor, k. (1989). *Bombas Centrifugas.* Mexico: CECOSA.
- linux0, S. a. (17 de Octubre de 2008). *Universidad nacional de san luis argentina.* Recuperado el 17 de Abril de 2018, de Interface de entrada y salida.: <http://linux0.unsl.edu.ar/~rvilla/c3m10/tema5.pdf>
- Mattarollo, Y. (09 de Enero de 2014). *Altec Alta Tecnología de Vanguardia, SA de CV.* Recuperado el 16 de Abril de 2018, de Cómo funcionan las electroválvulas o válvulas solenoides de uso general: <http://www.altecdust.com/blog/item/32-como-funcionan-las-electrovalvulas-o-valvulas-solenoides-de-uso-general>
- Mott, R. L. (2006). *Mecanica de fluidos* (Sexta ed.). (P. M. Rosas, Ed., & J. E. Brito, Trad.) Mexico: Pearson Educación.
- *Sefiltra.* (22 de Noviembre de 2012). Recuperado el 01 de Mayo de 2018, de <http://www.sefiltra.com/filtros-de-arena.php>
- Tyler, H. (1976). *Bombas, seleccion y aplicacion.* Mexico: Continental.
- *Universidad Autonoma de Nuevo Leon.* (05 de Septiembre de 2002). Recuperado el 08 de Mayo de 2018, de Programacion de un PLC: <http://eprints.uanl.mx/919/1/1020148252.pdf>
- *Valvulas y Termoplasticos Industriales .* (2016). Obtenido de Tuberia Hidraulica de PVC: <http://www.tuberiadepvc.mx/Tuberia-Hidraulica-de-PVC-Cedula-40.html>