



UNIVERSIDAD NACIONALAUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ELECTROVÁLVULAS PARA  
CONTROL DE FLUJO DE AGUA POTABLE EN EL EDIFICIO HABITACIONAL “A”  
UBICADO EN LA AVENIDA I. ZARAGOZA 1902 COL. BENITO JUÁREZ NORTE  
EN LA CIUDAD DE COATZACOALCOS, VERACRUZ.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

JOSÉ ALEJANDRO LÓPEZ VÁZQUEZ

ASESOR: M. EN I. RICARDO ALBERTO DELGADILLO TORRES

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Diseño e implementación de un sistema de electroválvulas para control de flujo de agua potable en el edificio habitacional "A" ubicado en la avenida I. Zaragoza 1902 Col. Benito Juárez Norte en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz

Que presenta el pasante: **JOSÉ ALEJANDRO LÓPEZ VÁZQUEZ**

Con número de cuenta: **41302665-9** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 09 de noviembre de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. José Antonio Sánchez Gutierrez	
<b>VOCAL</b>	Ing. Bernardo Gabriel Muñoz Martínez	
<b>SECRETARIO</b>	M. en I. Ricardo Alberto Delgadillo Torres	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Ing. Víctor Martínez Tovar	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Ing. Luis Javier Castañeda Ramírez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127)

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar conmigo cada día de mi vida.

A la memoria de mi padre que en donde quiera que se encuentre, el que me dio el valor y ánimos para salir adelante y con su amor y cariño soy lo que soy hoy en día. ¡Que la fuerza te acompañe!

A mi madre y a mi hermano por todo el apoyo incondicional brindado toda la vida.

A mi novia que creyó en mí en todo momento y me apoyo incondicionalmente que me alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.

A mi asesor que creyó en mí cada momento y me impulso a concluir de buena manera este trabajo profesional.

A mi profesora Nidia Mendoza que sin su apoyo y ánimos el trabajo no sería lo que es y agradecerle por el apoyo incondicional en todo momento.

Al señor Gonzalo y a la señora Alma y a su hijo Gonzalo por todo el apoyo y consejos brindados en los años de mis estudios.

A Alber en especial por apoyarme con conceptos técnicos en los cuales mi papá le había transmitido el conocimiento y así poder culminar la instalación física del mismo.

A todos mis amigos, compañeros y maestros de la FESC, formaron parte de mi vida, son y serán parte importante de mi carrera por todo el apoyo recibido.

NO ES QUIEN SEAS EN EL INTERIOR,  
TUS ACTOS SON LOS QUE TE DEFINEN.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN .....	6
1.1. -RESUMEN .....	6
1.2. -MARCO TEÓRICO.....	6
1.3. -OBJETIVO GENERAL.....	8
1.4. -HIPÓTESIS.....	8
1.5. -METODOLOGÍA .....	9
CAPÍTULO 2 INGENIERÍA BÁSICA .....	9
2.1. -FLUIDO .....	10
2.2. -PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.....	10
2.3. -VISCOSIDAD .....	10
2.3.1. -VISCOSIDAD DINÁMICA.....	11
2.3.2. -VISCOSIDAD CINEMÁTICA .....	11
2.4. -PESO Y MASA .....	12
2.5. -DENSIDAD, PESO ESPECÍFICO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	12
2.6. -VOLUMEN ESPECÍFICO .....	13
2.7. -PRESIÓN DE UN FLUIDO .....	13
2.7.1. -PRESIÓN.....	13
2.7.2. -DIFERENCIA DE PRESIONES .....	13
2.8. -COMPRESIBILIDAD .....	14
2.9. -TENSIÓN SUPERFICIAL .....	14
2.10. -PRESIÓN DE VAPOR.....	15
2.11. -LEY DE LOS GASES IDEALES.....	15
2.12. -FLUJO DE FLUIDOS .....	15
2.13. -FLUJO PERMANENTE.....	16
2.14. -FLUJO UNIFORME.....	16
2.15. -LÍNEAS DE CORRIENTE.....	17
2.16. -TUBOS DE CORRIENTE.....	17
2.17. -ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD .....	18
2.18. -RED DE CORRIENTE.....	18
2.19. -ECUACIÓN DE LA ENERGÍA.....	19
2.20. -ALTURA DE VELOCIDAD.....	19

2.21. -LÍNEA DE ENERGÍAS O ALTURAS TOTALES .....	20
2.22. -APLICACIÓN DEL TEOREMA DE BERNOULLI .....	20
2.23. -LÍNEA DE ALTURAS PIEZOMETRICAS .....	21
2.24. -POTENCIA.....	21
2.25. -NÚMERO DE REYNOLDS.....	22
2.26. -NÚMEROS DE REYNOLDS CRÍTICOS .....	23
2.27. -ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH .....	23
2.28. -COEFICIENTE DE FRICCIÓN.....	24
2.29. -PÉRDIDA POR FRICCIÓN EN EL FLUJO LAMINAR.....	25
2.30. -PÉRDIDA DE FRICCIÓN EN EL FLUJO TURBULENTO .....	26
2.31. -DIAGRAMA DE MOODY .....	27
2.32. -ECUACIONES PARA EL FACTOR DE FRICCIÓN.....	28
2.33. -PÉRDIDAS SECUNDARIAS .....	29
2.34. -PRIMER MÉTODO: ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LAS PÉRDIDAS.....	29
SECUNDARIAS.....	29
2.35. -EL COEFICIENTE $\lambda$ DE LA ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS.....	30
2.36. -VÁLVULAS .....	30
2.37. -ACCESORIOS.....	30
2.38. -COEFICIENTE TOTAL DE PÉRDIDAS $\lambda$ .....	31
2.39. -SEGUNDO METODO: LONGITUD DE TUBERIA EQUIVALENTE.....	31
2.40. -CONCEPTOS TEÓRICOS SOBRE ELECTRICIDAD.....	32
2.40.1. - ELECTRICIDAD .....	32
2.40.2.-VOLTAJE .....	33
2.40.3. -INTENSIDAD DE CORRIENTE.....	33
2.40.4. -CORRIENTE CONTINUA (DC) Y CORRIENTE ALTERNA (AC).....	33
2.40.5. -RESISTENCIA ELÉCTRICA .....	34
2.40.6. -LEY DE OHM.....	34
2.40.7. -POTENCIA ELECTRICA.....	34
2.40.8. -SEÑALES DIGITALES Y SEÑALES ANALÓGICAS.....	35
2.40.9. -CIRCUITOS ELÉCTRICOS BÁSICOS .....	35
2.40.9.1. -REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE CIRCUITOS .....	35
2.50. -COMPONENTES ELECTRICOS.....	35

2.50.1. -RESISTENCIAS.....	35
2.50.2. -POTENCIÓMETROS.....	36
2.50.3. -DIODOS Y LEDS.....	36
2.50.4. -CONDENSADORES.....	37
2.50.5. -TRANSISTORES .....	37
2.50.6. -PULSADORES.....	38
2.50.7. -REGULADORES DE TENSIÓN.....	38
CAPÍTULO 3 BOMBAS.....	39
3.1. -DEFINICIÓN.....	39
3.2. -CLASIFICACIÓN .....	39
3.3. -BOMBAS CENTRIFUGAS .....	39
3.4. -SELECCIÓN DE UNA BOMBA.....	40
3.5. -FACTORES PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA .....	40
3.6. -VELOCIDAD ESPECÍFICA.....	41
3.7. -CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	42
3.8. -VELOCIDADES VARIABLES .....	43
3.9. -APLICACIONES BOMBAS CENTRIFUGAS .....	44
3.10. -VENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	45
CAPÍTULO 4 INSTRUMENTACIÓN .....	45
4.1. -EL USO DE LOS INSTRUMENTOS EN LA INDUSTRIA.....	45
4.2. -INSTRUMENTACIÓN DE NIVELES LÍQUIDOS Y SECOS.....	46
4.3. -INSTUMENTOS MECÁNICOS PARA MEDIR NIVELES.....	47
4.4. -SISTEMAS DE FLOTADORES PARA MEDICIÓN DE NIVELES .....	47
4.6. -INSTRUMENTOS ELÉCTRICOS PARA MEDIR NIVELES .....	47
4.7. -INSTRUMENTOS ELECTRO-ELECTRÓNICOS PARA MEDIR NIVELES .....	48
4.8. -MEDICIÓN AUTOMÁTICA, CONCEPTOS DE CONTROL Y SISTEMAS.....	48
4.9. -CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL CONTROL AUTOMÁTICO.....	49
4.9.1. -CONTROL POR FLOTACIÓN .....	49
4.9.2. -CONTROL PROPORCIONAL.....	49
4.9.3. -SISTEMA ELECTRÓNICO.....	50
4.10. -MICROCONTROLADOR .....	50
4.11. -ARDUINO .....	51

4.11.1. -ARDUINO COMO “SOFTWARE LIBRE” .....	51
4.11.2 ARDUINO COMO “HARDWARE LIBRE” .....	52
4.11.3. - ¿POR QUÉ ELEGIR ARDUINO? .....	52
4.11. 4. -CARACTERÍSTICAS DEL MICRO DE LA PLACA ARDUINO UNO .....	53
4.11.5. -OTRAS PLACAS ARDUINO.....	53
4.11.6. -ARDUINO MEGA 2560 .....	53
4.12. -PLACAS DE PROTOTIPADO .....	54
4.13. -ELECTROVÁLVULAS.....	55
4.13.1. -ELECTROVÁLVULAS MONOESTABLES .....	55
4.13.2. -ELECTROVÁLVULAS BIESTABLES (TIPO LATCH) .....	55
CAPÍTULO 5 DESARROLLO DE PROYECTO.....	56
5.1. -CÁLCULOS .....	56
5.2 PLANOS .....	75
5.2.1 PLANO HIDRÁULICO.....	75
5.2.2 PLANO ELÉCTRICO.....	76
5.3 GRÁFICAS BOMBA CENTRÍFUGA .....	77
5.3.1 GRÁFICA HQ.....	77
5.3.2 DATOS TÉCNICOS .....	78
5.4. -ARDUINO .....	79
5.4.1. -DATOS TÉCNICOS.....	79
5.4.2. -PROGRAMA.....	80
Código programado para la tarjeta Arduino Mega2560.....	80
Fotos de placa Arduino conectada a la corriente.....	81
5.4 FOTOS .....	81
CAPITULO 6 COSTO Y BENEFICIOS.....	85
6.1 COSTO DEL PROYECTO.....	85
6.2 BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	87
6.2.1 BENEFICIOS SOCIALES.....	87
6.2.2 BENEFICIOS TÉCNICOS .....	87
6.2.3 BENEFICIOS ECONÓMICOS .....	87
CAPITULO 7 COMENTARIOS FINALES.....	88
ANEXO.....	89

REFERENCIAS.....	95
BIBLIOGRAFIA .....	96

## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1. -RESUMEN

En este trabajo se describe la metodología para implementar un sistema de control por electroválvulas; que tiene como fin, extender el aprendizaje y concretar los conocimientos de la carrera con el fin de usarlos para su implementación. Ayudar en base al ahorro del tiempo invertido en visualizar el llenado de tinaco de distribución y tinaco de mezanine y con esto tener un mejor control del agua que se está suministrando por parte de la cisterna y además visualizar el apoyo que se tiene en cuestión a que dejaría de ser una preocupación que la bomba trabaje de más o esté trabajando sin líquido.

### 1.2. -MARCO TEÓRICO

Se sabe que el interés en el comportamiento de los fluidos se remonta a las civilizaciones antiguas. Debido a la necesidad había un interés práctico sobre la manera en que las lanzas y flechas podían impulsarse a través del aire, en el desarrollo del abastecimiento de agua y en los sistemas de irrigación. Por supuesto, estos desarrollos fueron hechos con base en procedimientos de ensayo y error, sin ningún conocimiento matemático o mecánico. Sin embargo, fue la acumulación de conocimientos empíricos lo que constituyó la base para el desarrollo ulterior durante el surgimiento de la antigua civilización griega y el posterior auge del imperio romano [6].

Con el inicio del periodo del Renacimiento (alrededor del siglo XV) comenzó una serie de contribuciones continuas que constituyeron la base de lo que hoy se considera la ciencia de la mecánica de fluidos. Leonardo de Vinci (1452-1519) describió mediante bocetos y escritos muchos tipos distintos de fenómenos de flujo. El trabajo de Galileo Galilei (1564-1642) marcó el

inicio de la mecánica experimental. A continuación del Renacimiento y durante los siglos XVII y XVIII se efectuaron varias contribuciones importantes. Durante el siglo XIX se realizaron contribuciones y refinamientos adicionales tanto a la hidrodinámica teórica como a la hidráulica experimental, se convirtió más en una ciencia y muchos de los resultados de experimentos efectuados durante el siglo XIX siguen usándose al día de hoy [6].

En esta última parte del siglo XX, el agua potable constituye uno de los líquidos más preciados. Con el constante aumento de la población y el agotamiento de los recursos naturales cercanos agravan el problema. Por ello aumentan constantemente los caudales de líquido que se necesita bombear lugares cada vez más distantes [6].

Desde los tiempos más remotos el agua ha constituido un factor fundamental en el desarrollo y la estructuración política, social y económica de los pueblos, considerando que el agua es uno de los elementos fundamentales para la vida, gracias a ella el hombre puede desarrollarse y transformarse [3].

En el día a día el hombre usa grandes cantidades de agua para sus actividades cotidianas. Al inminente aumento de la población hoy en día es muy necesario saber administrar mejor los recursos naturales por esto la optimización de procesos ha alcanzado una gran importancia en la vida del ser humano. En el caso particular del agua es un elemento que requiere mucha atención en su optimización de abastecimiento ya que en un futuro no muy lejano se puede tener grandes problemas al ser un elemento escaso [3].

El agua con diferentes usos:

- Como un servicio en industria:

En mucho tiempo ha sido un medio auxiliar para la producción o realización de servicios en segundo término gracias a la fácil obtención y bajo costo de la misma.

- Como materia básica:

En algunas industrias el agua es la principal materia prima de trabajo, podríamos decir que es indispensable.

- El agua como vehículo:

En otras industrias el agua es utilizada como medio para transportar o ser intermediario con otras materias primas y así obtener un producto final

### 1.3. -OBJETIVO GENERAL

Conocer el gasto y pérdidas por fricción para implementar un sistema de automatización para establecer un régimen de suministro de agua y así poder ahorrar tanto agua como luz al bajarle el consumo de la energía eléctrica al usar la bomba.

### 1.4. -HIPÓTESIS

Al aumentar el control del despacho de agua potable en el edificio, se tendrá un mejor manejo de la bomba centrífuga y así tanto poder alargar su vida útil como poder aumentar la productividad humana al no estar pendientes de si la bomba centrífuga trabaja adecuadamente por un periodo de tiempo largo.

### 1.5. –METODOLOGÍA

Se resuelve el estado del arte mediante la consulta de libros y artículos para así llevar a la práctica el conocimiento, entender la realidad del problema y con ayuda del sistema de control poder obtener los resultados deseados.

## CAPÍTULO 2 INGENIERÍA BÁSICA

El primer cuestionamiento de manera inmediata por resolver es ¿Qué es un fluido? O bien hacer la diferencia entre un sólido y un fluido. Se tiene conocimiento en cuanto a que un fluido es suave se puede deformar con facilidad dependiendo de sus propiedades y un sólido es duro y no se deforma. Una observación más próxima de la estructura molecular de los materiales revela que la materia, la cual se considera como un sólido (acero, concreto, etc.), posee moléculas muy poco espaciadas con grandes fuerzas intermoleculares de cohesión que permiten que el sólido mantenga su apariencia y no se deforme fácilmente. Sin embargo, en la materia a la que se considera líquido (agua, aceite, etc.), las moléculas están más espaciadas, las fuerzas intermoleculares son menores que en los sólidos y las moléculas poseen más libertad de movimiento. Así, los líquidos se pueden deformar fácilmente (pero no se comprimen con facilidad) y es posible verterlos en excipientes o forzarlos a través de un ducto. Los gases (aire, oxígeno, etc.) poseen espacios moleculares aún más grandes y libertad de movimiento con fuerzas intermoleculares de cohesión insignificantes, por lo que se deforman (y comprimen) fácilmente y ocupan por completo el volumen de cualquier recipiente en que se coloquen [2].

## 2.1. -FLUIDO

Los fluidos son sustancias capaces de fluir y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Cuando están en equilibrio, los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma. Los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases. Las diferencias esenciales entre líquidos y gases son: a) los líquidos son prácticamente incompresibles y los gases son compresibles, por lo que en muchas ocasiones hay que tratarlos como tales, y b) los líquidos ocupan un volumen definido y tienen superficies libres, mientras que una masa dada de gas se expande hasta ocupar todas las partes del recipiente que lo contenga [4].

## 2.2. -PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Como todos los materiales, los fluidos tienen sus respectivas propiedades físicas con las cuales podemos determinar y saber su comportamiento como para poder distinguir un fluido de otro. Las características que tienen mayor prioridad sobre las demás, sin demeritar las propiedades, son la viscosidad y la densidad, ya que son utilizadas para conocer el comportamiento de fluidos a través de escurrimientos en diferentes tipos de conductos. Las propiedades como, la masa específica, el peso específico y la densidad son propiedades de cualquier materia [5].

## 2.3. -VISCOSIDAD

La viscosidad es la propiedad que expresa la facilidad que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta, o simplemente la viscosidad absoluta de un fluido, es una medida de su resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas [8].

### 2.3.1. -VISCOSIDAD DINÁMICA

Se consideran dos placas planas y paralelas de grandes dimensiones. separadas una pequeña distancia  $y$ , con el espacio entre ellas lleno de un fluido. Se supone que la placa superior se mueve a una velocidad constante  $U$  al actuar sobre ella una fuerza  $F$ , también constante. Por tanto, debe existir una interacción viscosa entre la placa y el fluido, que se manifiesta por un arrastre sobre la primera y de una fuerza cortante sobre el fluido. El fluido en contacto con la placa móvil se adhiere a ella moviéndose a la misma velocidad  $U$ , mientras que el fluido en contacto con la placa fija permanecerá en reposo. Si la separación  $y$  y la velocidad  $U$  no son muy grandes, la variación de las velocidades (gradiente) vendrá dada por una línea recta. La experiencia ha demostrado que la fuerza  $F$  varía con el área de la placa, con la velocidad  $U$  e inversamente con la separación  $y$ . Como por triángulos semejantes.  $U/y = dV/dy$ , tenemos [4]:

$$F \propto \left( \frac{AU}{y} = A \frac{dV}{dy} \right) \text{ o } \left( \frac{F}{A} = \tau \right) \propto \frac{dV}{dy}$$

donde  $\tau = F/A =$  tensión o esfuerzo cortante. Al introducir la constante de proporcionalidad  $\mu$  llamada viscosidad absoluta o dinámica [7].

$$\tau = \mu \frac{dV}{dy} \quad \text{o} \quad \mu = \frac{\tau}{du/dy} \dots (2.1)$$

### 2.3.2. -VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Se define viscosidad cinemática a la relación entre viscosidad dinámica o absoluta y la densidad  $\rho$  [4].

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots (2.2)$$

#### 2.4. -PESO Y MASA

El peso es una fuerza y la masa es la cantidad de una sustancia. Ambos términos se relacionan por medio de la aplicación de la ley de la gravitación de Newton, que dice que la fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración. Al hablar del peso  $w$ , implica que la aceleración es igual a  $g$ , que es la aceleración de la gravedad. Entonces, la ley de Newton se transforma en [1]:

$$w = m * g \dots(2.3)$$

Donde:

$m$ = masa.

$g$ =aceleración de la gravedad.

#### 2.5. -DENSIDAD, PESO ESPECÍFICO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA.

La densidad de un fluido, designada por la letra griega  $\rho$  (rho), se define como la masa por unidad de volumen. La densidad se usa para caracterizar la masa de un sistema fluido [2].

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.4)$$

El peso específico de un fluido, designado por la letra griega  $\gamma$  (gamma), se define como su peso por unidad de volumen. Así, el peso específico está relacionado con la densidad por medio de la ecuación [2].

$$\gamma = \rho g \dots (2.5)$$

Se define gravedad específica (g.e.) a la relación entre la masa (o el peso) de un cierto volumen del fluido y la masa (o el peso) del mismo volumen de agua.

Se verifica [2]:

$$g. e. = \frac{\rho}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{agua}}} \dots (2.6)$$

## 2.6. -VOLUMEN ESPECÍFICO

El volumen específico,  $V_s$ , es el volumen por unidad de masa y, en consecuencia, es el recíproco de la densidad; es decir [2],

$$V_s = \frac{1}{\rho} \dots (2.7)$$

## 2.7. -PRESIÓN DE UN FLUIDO

La presión de un fluido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y actúa normalmente a cualquier superficie plana. En el mismo plano horizontal, el valor de la presión en un líquido es igual en cualquier punto. Las medidas de presión se realizan con los manómetros, que pueden ser de diversas formas. De no advertir lo contrario, a través de todo el libro las presiones serán las presiones relativas o manométricas. La presión manométrica representa el valor de la presión con relación a la presión atmosférica [4].

### 2.7.1. -PRESIÓN

Viene expresada por una fuerza dividida por una superficie. En general:

$$P = \frac{dF}{dA}$$

Cuando la fuerza  $F$  está uniformemente distribuida sobre la superficie, se tiene [4]:

$$P = \frac{F}{A} \dots (2.8)$$

### 2.7.2. -DIFERENCIA DE PRESIONES

La diferencia de presiones entre dos puntos a distintos niveles en un líquido viene dada por:

$$p_2 - p_1 = \gamma(h_2 - h_1) \dots (2.9)$$

donde  $\gamma$  = peso específico del líquido y  $h_2 - h_1$  = diferencia en elevación.

Si el punto 1 está en la superficie libre del líquido y  $h$  es positiva hacia abajo, la ecuación anterior se transforma en:

$$P = \gamma h \dots (2.10)$$

Estas ecuaciones son aplicables en tanto  $\gamma$  se mantenga constante (o varíe tan ligeramente con  $h$  que no introduzca un error significativo en el resultado) [4].

## 2.8. -COMPRESIBILIDAD

La compresibilidad se refiere al cambio de volumen ( $V$ ) que sufre una sustancia cuando se le sujeta a un cambio de presión. La cantidad usual que se emplea para medir este fenómeno es el módulo volumétrico de elasticidad, o sencillamente módulo volumétrico, ( $E$ ) [1]:

$$E = \frac{\Delta p}{(\Delta V)/V} \dots (2.11)$$

## 2.9. -TENSIÓN SUPERFICIAL

La tensión superficial actúa como una película en la interfaz entre la superficie del agua líquida y el aire sobre ella. Las moléculas de agua por debajo de la superficie se ven atraídas una por la otra y por aquellas que están en la superficie. En forma cuantitativa, la tensión superficial se mide como el trabajo por unidad de área que se requiere para llevar las moléculas de la parte inferior hacia la superficie del líquido. Las unidades resultantes son la fuerza por unidad de longitud, como N/m [1].

## 2.10. -PRESIÓN DE VAPOR

Cuando se alcanza una condición de equilibrio de modo que el número de moléculas que abandonan la superficie es igual al número de moléculas que entran, se dice que el vapor está saturado y la presión ejercida por el vapor sobre la superficie del líquido se denomina presión de vapor. Como la presión de vapor está estrechamente relacionada con la actividad molecular, el valor de la presión de vapor para un líquido particular depende de la temperatura [2].

## 2.11. -LEY DE LOS GASES IDEALES

Los gases son bastante comprensibles en comparación con los líquidos, donde los cambios en la densidad del gas están relacionados directamente con los cambios en la presión y temperatura por medio de la ecuación [2].

$$p = \rho RT \dots (2.11)$$

Donde  $p$  es la presión absoluta,  $\rho$  es la densidad,  $T$  es la temperatura absoluta, y  $R$  es una constante del gas. La ecuación 2.11 se denomina ley de los gases ideales o perfectos, o bien, ecuación de estado para un gas ideal. Se sabe que aproxima con bastante exactitud el comportamiento de los gases reales en condiciones normales cuando los gases no tienden a la licuefacción [2].

## 2.12. -FLUJO DE FLUIDOS

El flujo de los fluidos puede ser permanente o no permanente; uniforme o no uniforme; laminar o turbulento; unidimensional, bidimensional o tridimensional, y rotacional o irrotacional [4].

Verdaderamente, el flujo unidimensional de un fluido incomprensible tiene lugar cuando el módulo dirección y sentido de la velocidad en todos los puntos son idénticos. No obstante, el análisis con flujo unidimensional es aceptable cuando al tomar como única dimensión espacial, de

la que dependen todas las características, la línea de corriente central del flujo pueden considerarse como despreciables las variaciones de las velocidades y aceleraciones en dirección normal a dicha línea de corriente. En tales casos, se consideran como representativas del flujo completo los valores medios de la velocidad, la presión y la elevación, despreciando las variaciones menores [4].

Un flujo bidimensional tiene lugar cuando las partículas fluidas se mueven en planos o en planos paralelos de forma que la configuración de las líneas de corriente es idéntica en cada plano [4].

Para un fluido ideal en que no existen tensiones cortantes no pueden transmitirse pares y no tienen lugar movimientos rotacionales de las partículas fluidas alrededor de su propio centro de gravedad. Tales flujos ideales, que admiten una representación muy intuitiva mediante la red de corriente, se llama flujos rotacionales [4].

### 2.13. -FLUJO PERMANENTE

Tiene lugar cuando, en un punto cualquiera, la velocidad de las sucesivas partículas que ocupan ese punto en los sucesivos instantes es la misma. Por tanto, la velocidad es constante respecto del tiempo o bien  $\frac{dv}{dt} = 0$ , pero puede variar de un punto a otro, es decir, ser variable respecto de las coordenadas espaciales. Este supuesto da por sentado que las otras variables o magnitudes del fluido y del flujo no varían con el tiempo o  $\frac{dp}{dt} = 0$ ,  $\frac{dQ}{dt} = 0$ , etc. La mayoría de los problemas técnicos prácticos implican condiciones permanentes del flujo [4].

### 2.14. -FLUJO UNIFORME

El flujo uniforme tiene lugar cuando el módulo, la dirección y el sentido de la velocidad no varían de un punto a otro del fluido, es decir  $\frac{dV}{ds} = 0$ . Este supuesto implica que las otras magnitudes

específicas del fluido no varían con las coordenadas espaciales o bien,  $\frac{dy}{ds} = 0$ ,  $\frac{dp}{ds} = 0$ ,  $\frac{dp}{ds} = 0$  etc.

El flujo de líquidos bajo presión a través de tuberías de diámetro constante y gran longitud es uniforme tanto si el régimen es permanente como si es no permanente [4].

El flujo es no uniforme cuando la velocidad, la profundidad, la presión, etc. Varían de un punto a otro en la región del flujo, es decir  $\frac{dv}{ds} \neq 0$ , etc. [4].

### 2.15. -LÍNEAS DE CORRIENTE

Las líneas de corriente son curvas imaginarias dibujadas a través de un flujo en movimiento y que indican la dirección de éste en los diversos puntos del flujo fluido. La tangente en un punto de la curva representa la dirección instantánea de la velocidad de las partículas fluidas en dicho punto. Las tangentes a las líneas de corriente pueden representar de esta forma la dirección media de la velocidad. Como la componente de la velocidad normal a la línea de corriente es nula, queda claro que no existe en ninguno de sus puntos flujo perpendicular a la línea de corriente [4].

### 2.16. -TUBOS DE CORRIENTE

Un tubo de corriente está constituido por una región parcial del flujo fluido delimitada por una familia de líneas de corriente, que lo confinan. Si la sección recta del tubo de corriente es suficientemente pequeña, la velocidad en el punto medio de una sección cualquiera puede considerarse como la velocidad media en dicha sección [4].

### 2.17. -ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD

La ecuación de la continuidad es una consecuencia del principio de conservación de la masa. Para un flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo, es constante. Esta puede calcularse como sigue:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{constante} \dots (2.12)$$

$$\gamma_1 A_1 V_1 = \gamma_2 A_2 V_2 \dots (2.13)$$

Para fluidos incomprensibles y para todos los casos prácticos en que  $\gamma_1 = \gamma_2$ , la ecuación se transforma en

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \text{constante}$$

Donde  $A_1 V_1$  son, respectivamente, el área de la sección recta en  $m^2$  y velocidad media de la corriente en m/s. El caudal se mide en  $m^3/s$  o bien en l/min.

La ecuación de continuidad para un flujo permanente incomprensible bidimensional es

$$A_{n1} V_1 = A_{n2} V_2 = A_{n3} V_3 = \text{constante} \dots (2.14)$$

Donde las magnitudes  $A_n$  representan las áreas normales a los respectivos vectores velocidad [4].

### 2.18. -RED DE CORRIENTE

Las redes de corriente se dibujan para representar la configuración del flujo en casos de flujos bidimensionales y en algunos casos también en tridimensionales. La red de corriente está formada por a) una familia de líneas de comente espaciadas de tal forma que el caudal  $Q$  es el mismo entre cada dos pares de líneas, y b) otra familia de curvas ortogonales a las líneas de corriente, y espaciadas de tal forma que la separación entre ellas es igual a la separación entre las líneas de corriente adyacentes. Para describir completamente un flujo, con condiciones de contorno dadas

se requiere un número infinito de líneas de corriente. No obstante, el número de líneas de corriente empleadas prácticamente es el mínimo necesario para obtener la precisión deseada [4].

### 2.19. -ECUACIÓN DE LA ENERGÍA

Se obtiene la ecuación de energía al aplicar al flujo fluido el principio de conservación de la energía. La energía que posee un fluido en movimiento está integrada por la energía interna y las energías debidas a la presión, a la velocidad y a su posición en el espacio. En la dirección del flujo, el principio de la energía se traduce en la siguiente ecuación, al hacer el balance de la misma:

Energía de la sección 1 + energía añadida – energía perdida – energía extraída = energía sección 2

Esta ecuación, en los flujos permanentes de fluido incomprensibles, con variaciones en su energía interna despreciables, se reduce a

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1\right) + H_A - H_L - H_E = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2\right) \dots (2.15)$$

La ecuación anterior se conoce con el nombre de Bernoulli.

### 2.20. -ALTURA DE VELOCIDAD

La altura de velocidad representa la energía cinética por unidad de peso que existe en un punto en particular. Si la velocidad es una sección recta fuera uniforme, la altura de velocidad calculada con esa velocidad uniforme (o velocidad media) daría la energía cinética correcta por unidad de peso del fluido. Pero, en general, la distribución de velocidades no es uniforme. La energía cinética verdadera se determina por integración de las energías cinéticas diferenciales de una a otra línea de corriente. El factor de corrección de la energía cinética, por el que hay que multiplicar el término

$\frac{V_{av}^2}{2g}$  viene dado por la expresión [4].

$$\alpha = \frac{1}{A} \int \left(\frac{v}{V}\right)^3 dA \dots (2.16)$$

Donde:

V= velocidad media en la sección recta.

v = velocidad en un punto genérico de la sección recta.

A= área de la sección recta.

### 2.21. -LÍNEA DE ENERGÍAS O ALTURAS TOTALES

La línea de alturas totales es la representación gráfica de la energía de cada sección. Para cada sección representativa puede representarse, respecto de un plano de referencia, la energía total y la línea obtenida de esta forma es de gran ayuda en muchos problemas. La línea de energías totales tiene una pendiente decreciente (cae) en el sentido del flujo [4].

### 2.22. -APLICACIÓN DEL TEOREMA DE BERNOULLI

La aplicación del teorema de Bernoulli debe hacerse de forma racional y sistemática. El procedimiento sugerido es el siguiente:

1. Dibujar un esquema del sistema, seleccionando y marcando cada una de las secciones rectas de la corriente bajo consideración.
2. Aplicar la ecuación de Bernoulli en la dirección del flujo. Seleccionar el plano o cota de referencia para cada una de las ecuaciones escritas. Se escoge para esto el punto de menor elevación para que no existan signos negativos, reduciendo así el número de errores.
3. Calcular la energía. La energía se mide en kpm /kp (o N m /N), que se reducen en definitiva a metros de fluido.

4. Añadir, en metros de fluido, toda energía adicionada al fluido mediante cualquier dispositivo mecánico, tal como bombas.
5. Restar, en metros de fluido, cualquier energía perdida durante el flujo.
6. Restar, en metros de fluido, cualquier energía extraída mediante dispositivos mecánicos, tal como turbinas.
7. Igualar la anterior suma algebraica a la suma de las alturas de presión, de velocidad y topográfica, o elevación.
8. Si las dos alturas de velocidad son desconocidas, relacionarlas mediante la ecuación de continuidad [4].

### 2.23. -LÍNEA DE ALTURAS PIEZOMETRICAS

La línea de alturas piezométricas está situada debajo de la línea de alturas totales en una cantidad igual a la altura de velocidad en la sección correspondiente. Las dos líneas son paralelas para todos los tramos en que las secciones rectas tienen la misma área. La ordenada entre el eje de la corriente y la línea de alturas piezométricas es igual a la altura de presión en la sección en cuestión [4].

### 2.24. -POTENCIA

La potencia se calcula multiplicando el caudal en peso, ( $\gamma Q$ ) por la energía  $H$  [4]. Así resulta la ecuación:

$$P = \gamma Q H \dots (2.17)$$

$$CV = Q \frac{H}{75} \dots (2.18)$$

## 2.25. -NÚMERO DE REYNOLDS

El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento. Por esta razón, se necesita un medio para predecir el tipo de flujo sin tener que observarlo en realidad. Más aún, la observación directa es imposible para fluidos que van por tubos opacos. Se demuestra en forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido  $\rho$ , su viscosidad  $\mu$ , el diámetro del tubo  $D$  y la velocidad promedio del flujo  $v$ . Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que es imposible pronosticar el flujo laminar o turbulento si se conoce la magnitud de un número adimensional, al que hoy se le denomina número de Reynolds ( $N_R$ ). La ecuación siguiente muestra la definición básica del número de Reynolds [1]:

$$N_R = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \dots (2.19)$$

Donde:

$V$ = velocidad media

$D$ = diámetro de la tubería en metros.

$\nu$  =Viscosidad cinemática del fluido.

$\rho$ =densidad del fluido.

$\mu$  = viscosidad absoluta o dinámica del fluido.

El número de Reynolds es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa. La fuerza de inercia se desarrolla de la segunda ley del movimiento de Newton  $F= ma$ . La fuerza viscosa se relaciona con el producto del esfuerzo del esfuerzo cortante por el área [1].

Los flujos tienen números de Reynolds grandes debido a una velocidad elevada y/o una viscosidad baja, y tienden a ser turbulentos. Aquellos fluidos con viscosidad alta y/o que se mueven a

velocidades bajas, tendrán números de Reynolds bajos y tendrán a comportarse en forma laminar [1].

## 2.26. -NÚMEROS DE REYNOLDS CRÍTICOS

Para aplicaciones prácticas del flujo en tuberías, encontramos que, si el número de Reynolds para el flujo es menor que 2000, éste será laminar. Si el número de Reynolds es mayor que 4000, el flujo será turbulento. En el rango de número de Reynolds entre 2000 y 4000 es imposible predecir qué el flujo existe; por tanto, le denominaremos región crítica. Las aplicaciones prácticas involucran flujos que se encuentran bien dentro del rango laminar o bien dentro del turbulento, por lo que la existencia de dicha región de incertidumbre no ocasiona demasiadas dificultades.

Con la minimización cuidadosa de las perturbaciones externas es posible mantener el flujo laminar para números de Reynolds tan grandes como 50 000. Sin embargo, cuando  $N_R$  es mayor que 4000, una perturbación pequeña en la corriente ocasionará que el flujo cambie de forma súbita de laminar a turbulento. Por esta razón, suponemos lo siguiente [1]:

Si  $N_R < 2000$ , el flujo es laminar.

Si  $N_R > 4000$ , el flujo es turbulento.

## 2.27. -ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH

La ecuación de Darcy-Weisbach 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 [1].

$$\sum H_{f1} = (f) \left(\frac{L}{D}\right) \left(\frac{v^2}{2g}\right) \dots (2.20)$$

Donde

$H_{f1}$  = pérdida de energía debido a la fricción.

$L$  = longitud de la corriente de flujo

$D$  = diámetro de la tubería

$v$  = velocidad promedio del flujo

$f$  = factor de fricción.

## 2.28. -COEFICIENTE DE FRICCIÓN

El factor o coeficiente de fricción  $f$  puede deducirse matemáticamente en el caso del régimen laminar, más en el caso de flujo turbulento no se dispone de relaciones matemáticas sencillas para obtener la variación de  $f$  con el número de Reynolds. El valor de  $f$  también influye la rugosidad relativa de la tubería (igual a la relación de la altura de las imperfecciones superficiales  $\varepsilon$  al diámetro interior de la tubería) [4].

a) Para flujo laminar la de pérdida de carga, puede ordenarse como sigue:

$$\text{Pérdida de carga} = 64 \frac{v}{va} \left(\frac{L}{d}\right) \left(\frac{V^2}{2g}\right) = \frac{64}{N_R} \left(\frac{L}{d}\right) \left(\frac{V^2}{2g}\right) \dots (2.21a)$$

Por tanto, para régimen laminar en todas las tuberías y para cualquier fluido, el valor de  $f$  viene dado por:

$$f = \frac{64}{N_R} \dots (2.21b)$$

$N_R$  tiene un valor práctico máximo de 2.000 para que el flujo sea laminar.

b) Para flujo turbulento, muchos ingenieros hidráulicos e investigadores se han esforzado en el cálculo de  $f$  tanto a partir de sus propios resultados como de los resultados obtenidos por otros investigadores [4].

1. Para flujo turbulento en tuberías rugosas o lisas las leyes de resistencia universales pueden deducirse a partir de

$$f = 8 \frac{\tau}{\rho V^2} \dots (2.22)$$

2. Para tuberías lisas, Blasius ha sugerido, con el número de Reynolds comprendido entre 3.000 y 100.000.

$$f = 0.316/N_R^{0.25} \dots (2.23)$$

Para valores de  $Re$  hasta 3.000.000, aproximadamente, la ecuación de von Karman, Modificada por Prandtl, es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(N_R \sqrt{f}) - 0.8 \dots (2.24)$$

3. Para tuberías rugosas.  $\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(r_0/\epsilon) + 1.74 \dots (2.25)$

## 2.29. -PÉRDIDA POR FRICCIÓN EN EL FLUJO LAMINAR

Cuando existe flujo laminar en el fluido parece moverse como si fueran varias capas, una sobre la otra. Debido a la viscosidad del fluido, se crea un esfuerzo cortante entre sus capas. Se pierde energía del fluido por la acción de las fuerzas de fricción que hay que vencer, y que son producidas por el esfuerzo cortante. Debido a que el flujo laminar es tan regular y ordenado, es posible obtener una relación entre las pérdidas de energía y los parámetros mensurables del sistema de flujo. Dicha relación se conoce como ecuación de Hagen-Poiseuille [1]:

$$H_f = \frac{32\mu L V^2}{\gamma D^2} \dots (2.26)$$

Los parámetros que involucra son las propiedades del fluido en cuanto a viscosidad y peso específico, las características geométricas de longitud y diámetro de la tubería, y la dinámica del flujo caracterizada por la velocidad promedio.

A partir de la ecuación (2.26) se debe observar que la pérdida de energía en el flujo laminar es independiente [1].

de las condiciones de la superficie de la tubería. Son las pérdidas por fricción viscosa en el interior del fluido las que gobiernan la magnitud de la pérdida de energía. La ecuación de Hagen-Poiseuille es válida solo para el flujo laminar ( $NR < 2000$ ). Sin embargo, se dijo con anterioridad que también podía usarse la ecuación de Darcy-Weisbach (ecuación 2.20) para calcular la pérdida por fricción para el flujo laminar.

En resumen, la pérdida de energía debido a la fricción en el flujo laminar puede calcularse con la ecuación de Hagen-Poiseuille o con la ecuación de Darcy-Weisbach [1].

### 2.30. -PÉRDIDA DE FRICCIÓN EN EL FLUJO TURBULENTO

Cuando hay flujo turbulento en tuberías es más conveniente usar la ecuación de Darcy-Weisbach 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 mostrado 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 su pared  $\epsilon$ . En la sección de anexo, se muestra una tabla con valores de rugosidad [1].

### 2.31. -DIAGRAMA DE MOODY

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody. El diagrama muestra la gráfica del factor de fricción  $f$  contra el número de Reynolds  $N_R$ , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa  $\frac{\varepsilon}{D}$  [1].

Para  $2000 < N_R < 4000$  no hay curvas, debido a que esta 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  $N_R = 4000$ , se grafica la familia de curvas para distintos valores de  $\frac{\varepsilon}{D}$ . Podemos hacer algunas observaciones importantes acerca de estas curvas:

Podemos hacer 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 /disminuye.
2. Para una rugosidad relativa  $\frac{\varepsilon}{D}$ , el factor de fricción /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 tienen 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.

El diagrama de Moody se utiliza para ayudar a determinar el valor del factor de fricción para el flujo turbulento. Debe conocerse el valor del número de Reynolds y la rugosidad relativa. Por tanto, los datos básicos que se requieren son el diámetro interior de la tubería, el material de que

está hecho, la velocidad del flujo y el tipo de fluido y su temperatura, a partir de los cuales se determina la viscosidad [1].

### 2.32. -ECUACIONES PARA EL FACTOR DE FRICCIÓN

El diagrama de Moody mostrado en la sección de anexo es un medio exacto y conveniente, que basta para determinar el valor del factor de fricción al resolver problemas con cálculos manuales. Sin embargo, si los cálculos han de ser automáticos para llegar a la solución en una computadora o calculadora programable, necesitamos ecuaciones para el factor de fricción [1].

En la zona de flujo laminar, para valores por debajo de 2000,  $f$  se obtiene de la ecuación (2.21b),

$$\text{Factor de fricción para flujo laminar } f = \frac{64}{N_R} \dots (2.21b)$$

Por supuesto, para números de Reynolds entre 2000 y 4000, el flujo está en el rango crítico y es imposible de predecir el valor de  $f$ . La ecuación siguiente, que permite el cálculo directo del valor del factor de fricción para flujo turbulento, la desarrollaron P. K. Swamee y A. K. Jain [1]:

$$\text{Factor de fricción para flujo turbulento } f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \frac{\epsilon}{D}} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \dots (2.27)$$

La ecuación (2.23) produce valores de  $f$  que están  $\pm 1.0\%$  dentro del rango de rugosidad relativa  $\frac{\epsilon}{D}$ , de 100 a  $1 \times 10^6$  y para números de Reynolds de  $5 \times 10^3$  a  $1 \times 10^8$ . Esta es virtualmente toda la zona turbulenta del diagrama de Moody [1].

En resumen, para calcular el valor del factor de fricción  $f$  cuando se conoce el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se emplea la ecuación (2.21b) para el flujo laminar, y la ecuación (2.37) para el flujo turbulento [1].

### 2.33. -PÉRDIDAS SECUNDARIAS

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases: primarias y secundarias.

Las pérdidas primarias mencionadas con anterioridad son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluidos 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.

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 [4].

A pesar de llamarse pérdidas secundarias, pueden ser más importantes que las primarias, si la conducción es relativamente corta.

Las pérdidas secundarias se pueden calcular por dos métodos:

Primer método: por una fórmula especial y un coeficiente de pérdidas adimensional de pérdidas secundarias [4].

Segundo método: por la misma fórmula de las pérdidas primarias, sustituyendo en dicha fórmula la longitud de la tubería  $L$  por la longitud equivalente  $L_e$  [4].

### 2.34. -PRIMER MÉTODO: ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LAS PÉRDIDAS SECUNDARIAS

$$H_{f2} = \lambda \frac{v^2}{2g} \dots (2.28)$$

Donde:

$H_{f2}$  = pérdida de carga secundaria

$\lambda$  = coeficiente 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 [4].

### 2.35. -EL COEFICIENTE $\lambda$ DE LA ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS

El coeficiente  $\lambda$  depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds de la rugosidad y hasta de la configuración de la corriente antes del accesorio [4].

### 2.36. -VÁLVULAS

La variedad en diseños de válvulas dificulta una clasificación completa. Si las válvulas se clasificaran según su resistencia que ofrecen al flujo, las que presentan un paso directo del flujo, como las válvulas de compuerta, bola, macho y de mariposa pertenecen al grupo de baja resistencia; las que tienen un cambio en la dirección del flujo, como las válvulas de globo y angulares, están en el grupo de alta resistencia. En la sección de anexo se ilustran fotografías de algunos diseños de las válvulas más usadas como también se ilustran accesorios típicos, curvas de tuberías y válvulas [8].

### 2.37. -ACCESORIOS

Los acoplamientos o accesorios para conexión se clasifican en: de derivación, reducción, ampliación y desviación. Los accesorios como tes, cruces, codos con salida lateral, etc., pueden agruparse como accesorios de derivación. Los conectores de reducción o ampliación son aquellos que cambian la superficie de paso del fluido. Los accesorios de desvío, curvas, codos, curvas en

U, etc., son los que cambian la dirección de flujo. Se pueden combinar algunos de los accesorios de la clasificación general antes mencionada [8].

### 2.38. -COEFICIENTE TOTAL DE PÉRDIDAS $\lambda$

La ecuación fundamental de las pérdidas secundarias tiene la misma forma que la de las pérdidas primarias si se hace en esta última

$$f * \frac{L}{D} = \lambda \dots (2.29)$$

En una conducción las pérdidas primarias y secundarias se suceden unas a otras. Conviene, pues, definir el coeficiente total de pérdidas primarias y secundarias  $\lambda_T$

Las pérdidas primarias tendrán lugar en los tramos rectos de tuberías de diversos diámetros: pero todas se expresan por una ecuación de tipo:

Variando la velocidad media al variar el diámetro de la tubería.

Las pérdidas secundarias tendrán lugar en los distintos accesorios (codos, válvulas, etc.), pero se expresan por una ecuación de la forma:

Si la conducción es constante

Si la conducción no es de sección constante se procede análogamente, pero utilizando además la ecuación de continuidad, resultado:

### 2.39. -SEGUNDO METODO: LONGITUD DE TUBERIA EQUIVALENTE

Este segundo método consiste en considerar las pérdidas secundarias como longitudes equivalentes, es decir longitudes en metros de un trozo de tubería del mismo diámetro que produciría las mismas pérdidas de carga que los accesorios en cuestión. Así cada codo, medidor

de caudal, etcétera, se sustituirían por su longitud de tubería equivalente,  $L_e$ . A continuación, se aplica la ecuación fundamental de las pérdidas primarias en la siguiente forma [4]:

$$H_f = f * \frac{(L + \sum L_e)}{D} * \frac{v^2}{2g} \dots (2.30)$$

Donde

$H_f$  = Suma total de pérdidas primarias y secundarias

$f$  = Coeficiente de fricción.

$L$  = Longitud de los tramos rectos de tuberías.

$\sum L_e$  = Suma de todas las longitudes equivalentes a los accesorios diversos

$v$  = Velocidad media en la tubería [4].

El monograma ubicado en la parte de anexo es un ejemplo de aplicación de este método. Este monograma consta de tres escalas: uniendo con una recta el punto de la escala izquierda correspondiente al accesorio de que se trata con el punto de la escala derecha correspondiente al diámetro interior de la tubería, el punto de la intersección de esta recta con la escala nos da la  $L_e$  del accesorio.

## 2.40. -CONCEPTOS TEÓRICOS SOBRE ELECTRICIDAD

### 2.40.1. - ELECTRICIDAD

A la circulación de electrones por un material conductor se le llama “electricidad”. La electricidad existirá mientras no se alcance una compensación de cargas entre los dos polos del conductor [13].

#### 2.40.2.-VOLTAJE

En el estudio del fenómeno de la electricidad existe un concepto fundamental que es el de voltaje entre dos puntos de un circuito eléctrico (también llamado “tensión”, “diferencia de potencial” o “caída de potencial”). Este voltaje es el responsable de la generación del flujo de electrones entre los dos puntos del conductor. La unidad de medida del voltaje es el voltio (V) [13].

#### 2.40.3. -INTENSIDAD DE CORRIENTE

La intensidad de corriente (comúnmente llamada “corriente”) es una magnitud eléctrica que se define como la cantidad de carga eléctrica que pasa en un determinado tiempo a través de un punto concreto de un material conductor, su unidad de medida es el Amper (A) [13].

#### 2.40.4. -CORRIENTE CONTINUA (DC) Y CORRIENTE ALTERNA (AC)

Los circuitos de corriente continua (o circuitos DC, del inglés “Direct Current”) y los circuitos de corriente alterna (o circuitos AC, del inglés “Alternating Current”). La corriente continua es aquella en la que los electrones circulan a través del conductor siempre en la misma dirección (es decir, en la que los extremos de mayor y menor potencial –o lo que es lo mismo, los polos positivo y negativo– son siempre los mismos). La corriente alterna es aquella en la que la magnitud y la polaridad del voltaje varían cíclicamente. Esto último implica que los polos positivo y negativo se intercambian alternativamente a lo largo del tiempo y, por tanto, que el voltaje va tomando valores positivos y negativos con una frecuencia determinada. La corriente alterna es el tipo de corriente que llega a los hogares y empresas proveniente de la red eléctrica general. Esto es así porque la corriente alterna es más fácil y eficiente de transportar a lo largo de grandes distancias (ya que sufre menos pérdidas de energía) que la corriente continua [13].

#### 2.40.5. -RESISTENCIA ELÉCTRICA

La capacidad para oponerse al paso de la corriente eléctrica a través de él. Es decir, cuanto mayor sea la resistencia de ese componente, más dificultad tendrán los electrones para atravesarlo, hasta incluso el extremo de imposibilitar la existencia de electricidad. Esta característica depende entre otros factores del material con el que está construido ese objeto. La unidad de medida de la resistencia de un objeto es el ohmio ( $\Omega$ ) [13].

#### 2.40.6. -LEY DE OHM

La Ley de Ohm dice que si un componente eléctrico con resistencia interna,  $R$ , es atravesado por una intensidad de corriente,  $I$ , entre ambos extremos de dicho componente existirá una diferencia de potencial,  $V$ , que puede ser conocida gracias a la relación [13]:

$$V = I \cdot R \dots (2.31)$$

#### 2.40.7. -POTENCIA ELECTRICA

La energía consumida por un aparato en un segundo. Si, no obstante, estamos hablando de una fuente de alimentación, con la palabra potencia nos referiremos entonces a la energía eléctrica aportada por esta al circuito en un segundo. En ambos casos la potencia es un valor intrínseco propio del componente o generador, respectivamente.

Su unidad de medida es el vatio ( $W$ ), pero también podemos hablar de milivatios ( $1 \text{ mW} = 0,001 \text{ W}$ ), o kilovatios ( $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$ ) [13].

## 2.40.8. -SEÑALES DIGITALES Y SEÑALES ANALÓGICAS

Una de las clasificaciones posibles es distinguir entre señales digitales y señales analógicas.

La señal digital es aquella que solo tiene un número finito de valores posibles (lo que se suele llamar “tener valores discretos”).

Señal analógica es aquella que tiene infinitos valores posibles dentro de un rango determinado (lo que se suele llamar “tener valores continuos”).

La mayoría de más específicamente eléctricas porque todas ellas, de forma natural, pueden sufrir variaciones continuas sin saltos [13].

## 2.40.9. -CIRCUITOS ELÉCTRICOS BÁSICOS

### 2.40.9.1. -REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE CIRCUITOS

Para describir de una forma sencilla y clara la estructura y la composición de un circuito eléctrico se utilizan esquemas gráficos. En ellos se representa cada dispositivo del circuito mediante un símbolo estandarizado y se dibujan todas las interconexiones existentes entre ellos. Para las instalaciones que tengan más de un circuito, se debe mostrar un diagrama unifilar que tendrá numerados sus componentes que corresponden a las vistas físicas y listas de equipo [13].

El diagrama unifilar de la instalación se puede observar en el apartado de anexo.

## 2.50. -COMPONENTES ELECTRICOS

### 2.50.1. -RESISTENCIAS

Un resistor o resistencia es un componente electrónico utilizado simplemente para añadir, como su nombre indica, una resistencia eléctrica entre dos puntos de un circuito. De esta manera, y

gracias a la Ley de Ohm, podremos distribuir según nos convenga diferentes tensiones y corrientes a lo largo de nuestro circuito [13].

### 2.50.2. -POTENCIÓMETROS

Un potenciómetro es una resistencia de valor variable. Podemos darnos cuenta de su gran utilidad con un ejemplo muy simple: si suponemos que tenemos una fuente de alimentación que genera un determinado voltaje estable, y tenemos presente la Ley de Ohm, podemos ver que, si aumentamos de valor la resistencia  $R$ , a igual voltaje la intensidad de corriente que pasará por el circuito inevitablemente disminuirá. Y, al contrario: si disminuimos el valor de  $R$ , la corriente  $I$  aumentará. Si esta variación de  $R$  la podemos controlar nosotros a voluntad, podremos alterar como queramos la corriente que circula por un circuito. De hecho, un uso muy habitual de los potenciómetros es el de hacer de divisores de tensión progresivos, con lo que podremos, por poner un ejemplo, encender o apagar paulatinamente una luz a medida que vayamos cambiando el valor de  $R$  [13].

### 2.50.3. -DIODOS Y LEDS

El diodo es un componente electrónico con dos extremos de conexión (o “terminales”) que permite el paso libre de la corriente eléctrica solamente en un sentido, bloqueándolo si la corriente fluye en el sentido contrario. Este hecho hace que el diodo tenga dos posiciones posibles: a favor de la corriente (llamada “polarización directa”) o en contra (“polarización inversa”). Un “Light Emitting Diode” (LED) es, como su nombre indica, un diodo que tiene una característica peculiar: emite luz cuando la corriente eléctrica lo atraviesa. De hecho, lo hace de forma proporcional: a más intensidad de corriente que lo atraviesa, más luz emite [13].

#### 2.50.4. -CONDENSADORES

El condensador es un componente cuya función básica es almacenar carga eléctrica en cantidades limitadas, de manera que esta se pueda utilizar en ocasiones muy puntuales a modo de “fuente de alimentación alternativa”. La capacidad (C) de un condensador es su característica más importante y se puede definir como la relación que existe entre la cantidad de carga eléctrica (Q) que almacena en un momento determinado y el voltaje (V) que se le está aplicando en ese mismo momento. La capacidad se mide en faradios (F). Dependiendo del tamaño del condensador, puede ser que el valor de su capacidad no pueda ser serigrafiado tal cual sobre su cuerpo; en esos casos, se suele utilizar una secuencia de tres dígitos para indicar las dos primeras cifras del valor de la capacidad y luego su multiplicador. Un condensador completamente cargado, en circuitos de corriente DC, actúa como un interruptor abierto [13].

#### 2.50.5. -TRANSISTORES

Un transistor es un dispositivo electrónico que restringe o permite el flujo de corriente eléctrica entre dos contactos según la presencia o ausencia de corriente en un tercero. Puede entenderse como una resistencia variable entre dos puntos, cuyo valor es controlado mediante la aplicación de una determinada corriente sobre un tercer punto. Los transistores se suelen utilizar como amplificadores de corriente, ya que con una pequeña corriente recibida a través de su terminal de control permiten la circulación de una intensidad muy grande (proporcional a aquella, hasta un máximo) entre sus dos terminales de salida. Existen dos grandes categorías de transistores según su tecnología de fabricación y funcionamiento: los transistores de tipo bipolar (llamados comúnmente BJT, del inglés “Bipolar Junction Transistor”) y los transistores de tipo efecto de campo (llamados comúnmente FET, del inglés “Field Effect Transistor”) [13].

#### 2.50.6. -PULSADORES

Ya sabemos que un interruptor es un dispositivo con dos posiciones físicas: en la posición de “cerrado” se produce la conexión de dos terminales (lo que permite fluir a la corriente a través de él) y en la posición de “abierto” se produce la desconexión de estas dos terminales (y por tanto se corta el flujo de corriente a través de él). En definitiva, que un interruptor no es más que un mecanismo constituido por un par de contactos eléctricos que se unen o separan por medios mecánicos. Un pulsador (en inglés, “pushbutton”) no es más que un tipo de interruptor en el cual se establece la posición de encendido mediante la pulsación de un botón gracias a la presión que se ejerce sobre una lámina conductora interna. En el momento de cesar la pulsación sobre dicho botón, un muelle hace recobrar a la lámina su posición primitiva, volviendo a la posición de “abierto” [13].

#### 2.50.7. -REGULADORES DE TENSIÓN

Un regulador de tensión es un componente electrónico que protege partes de un circuito (o un circuito entero) de elevados voltajes o de variaciones pronunciadas de este. Su función es proporcionar, a partir de un voltaje recibido fluctuante dentro de un determinado rango (el llamado “voltaje de entrada”), otro voltaje (el llamado “voltaje de salida”) regulado a un valor estable y menor [13].

## CAPÍTULO 3 BOMBAS

### 3.1. -DEFINICIÓN

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o velocidad [6].

### 3.2. -CLASIFICACIÓN

Siendo tan variado los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una adecuada clasificación [6].

De acuerdo con la dirección del flujo:

Bombas de flujo radial (bombas centrifugas): presenta una presión relativamente alta con un caudal bajo.

Bombas de flujo mixto: tienen características que semejan algo intermedio a los casos.

Bombas de flujo axial: generan un caudal alto con una baja presión.

### 3.3. -BOMBAS CENTRIFUGAS

Las bombas se clasifican según dos consideraciones generales diferentes: (1) la que toma en consideración las características de movimiento de líquidos y (2) la que se basa en el tipo o aplicación específica para los cuales se ha diseñado la bomba. El uso de estos dos métodos de clasificación de bombas causa gran confusión entre los principiantes y aún entre los veteranos [10].

Hay tres clases de bombas en uso común al presente: centrífuga, rotatoria y reciprocante. Nótese que estos términos se aplican solamente a la mecánica de movimiento de líquido y no al servicio para el que se ha diseñado una bomba. Esto es importante porque muchas bombas se construyen y

venden para un servicio específico y, en el complejo problema de elegir la que tenga mejores detalles de diseño pueden perderse de vista los problemas básicos de clase y tipo [10].

### 3.4. -SELECCIÓN DE UNA BOMBA

La selección de una bomba para cualquier aplicación entre la multitud de estilos, tipos y tamaños puede ser difícil para el usuario o el contratista de construcción. El mejor método es hacer investigaciones preliminares, llegar a decisiones básicas y selecciones preliminares y analizar la aplicación con el proveedor de la bomba [9].

La clave para hacer la selección correcta de la bomba radica en el conocimiento del sistema en que trabajara la bomba. Si la bomba se va a instalar en un sumidero o en una fosa, los factores esenciales incluyen el tamaño correcto de la fosa, los requisitos del flujo cuando el líquido se aproxima a la bomba y a la ubicación de ella en la fosa, con espaciadores y placas desviadoras adecuadas, si se requieren [9].

El caballaje consumido por una carga más elevada se debe evaluar con cuidado, porque representará siempre costos más altos en toda la duración de la bomba [9].

### 3.5. -FACTORES PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA

Actualmente las bombas centrífugas también cubren el campo de las altas presiones, que se logran mediante las bombas de varios pasos accionadas a altas velocidades.

En cuanto a capacidades, las bombas centrífugas se han construido para gastos que van desde un galón por minuto a más de un millón de galones por minuto.

En virtud de que aproximadamente  $2/3$  partes de las bombas usadas hoy día son centrífugas.

### 3.6. -VELOCIDAD ESPECÍFICA

Este es un índice del tipo de bomba, que usa la capacidad de columna que se obtiene en el punto de eficiencia máxima. Determina el perfil o forma general del impulsor. En números, la velocidad específica es la velocidad, en revoluciones por minuto a la cual un impulsor deberá girar si su tamaño se reduce para dar un gasto de un litro por segundo contra una columna de un metro. Los impulsores para columnas altas tienen generalmente una velocidad específica baja. Los impulsores para columnas reducidas tienen generalmente una velocidad específica alta [10].

Según lo indica la fig. 3.1, cada diseño de impulsor tiene una región de velocidad específica para la cual está mejor adaptado. Estas regiones son aproximadas, sin divisiones bien definidas entre ellas. La fig. 3.1 da las relaciones generales entre la forma de impulsor eficiencia y capacidad en sistema internacional. Las limitaciones de succión para las diferentes bombas están relacionadas con la velocidad específica [10].

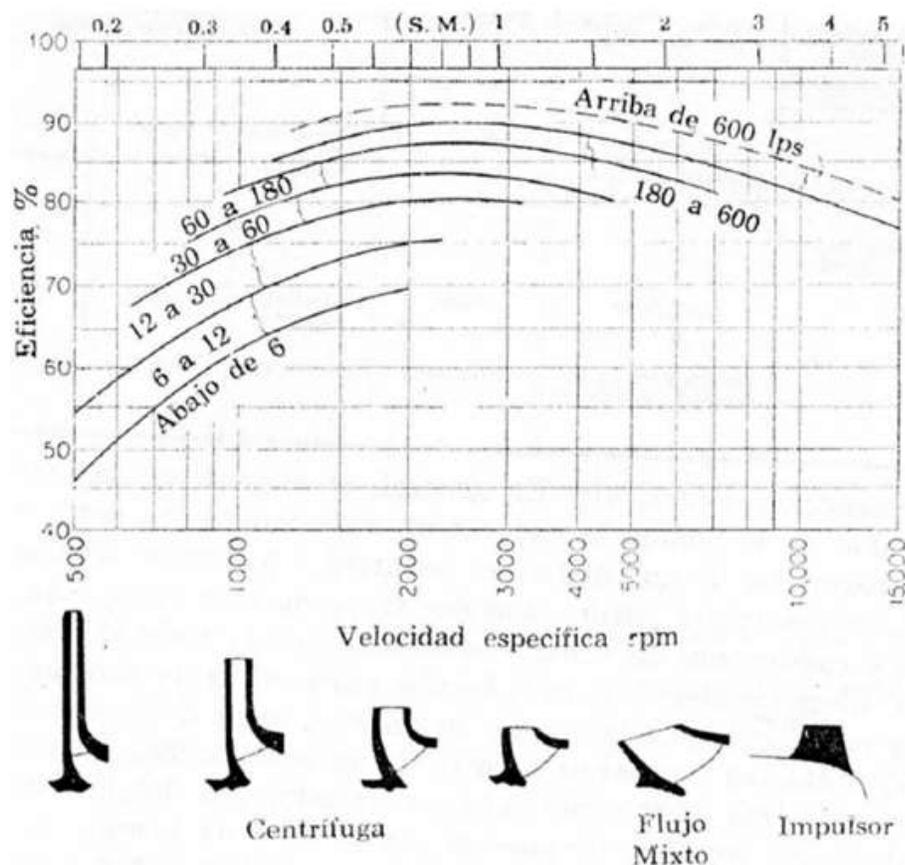


Figura 3.1 Relación aproximada entre velocidad específica, forma de impulsor y eficiencia. Cortesía de Bombas su selección y aplicación Primera edición. Tyler G. Hicks.

### 3.7. -CURVAS CARACTERÍSTICAS

Una bomba centrífuga que se opera a velocidad constante puede suministrar cualquier capacidad de cero a un máximo, dependiendo de la columna, diseño y succión. Las curvas características muestran la relación existente entre columna de bomba, capacidad, potencia y eficiencia para un diámetro de impulsor específico y para un tamaño determinado de carcasa. Es habitual dibujar la columna, potencia y eficiencia en función de la capacidad a velocidad constante, como en la fig. 3.2. Pero en casos especiales es posible señalar en las gráficas tres variables cualesquiera contra una cuarta. La curva de capacidad de columna, conocida como H-Q (fig. 3.2), muestra la relación

entre la capacidad de columna total, y puede ser creciente, decreciente, con gran inclinación o casi horizontal, dependiendo del tipo de impulsor usado y de su diseño [10].

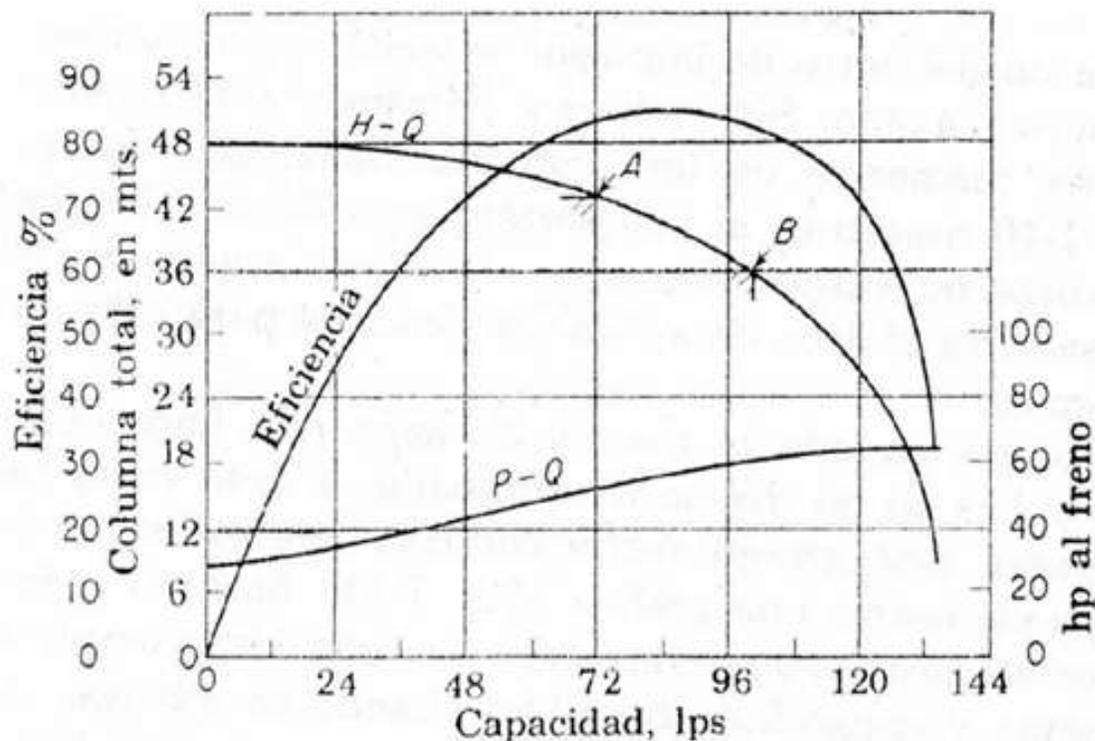


Figura 3.2 Curvas características típicas para una bomba centrífuga. Cortesía de Bombas su selección y aplicación Primera edición. Tyler G. Hicks.

### 3.8. -VELOCIDADES VARIABLES

Cuando una bomba se opera a varias velocidades, puede dibujarse una gráfica (fig. 3.3) que muestre el comportamiento completo para una elevación de succión dada. Para formar este tipo de gráfica, las curvas H-Q se trazan para las diferentes velocidades que se consideran. Luego sobreponen las curvas que tienen la misma eficiencia. Estas curvas de eficiencia constante, llamadas también curvas de isoeficiencia permiten encontrar la velocidad requerida y la eficiencia

para cualesquiera condiciones de columna capacidad de los límites de la gráfica [10].

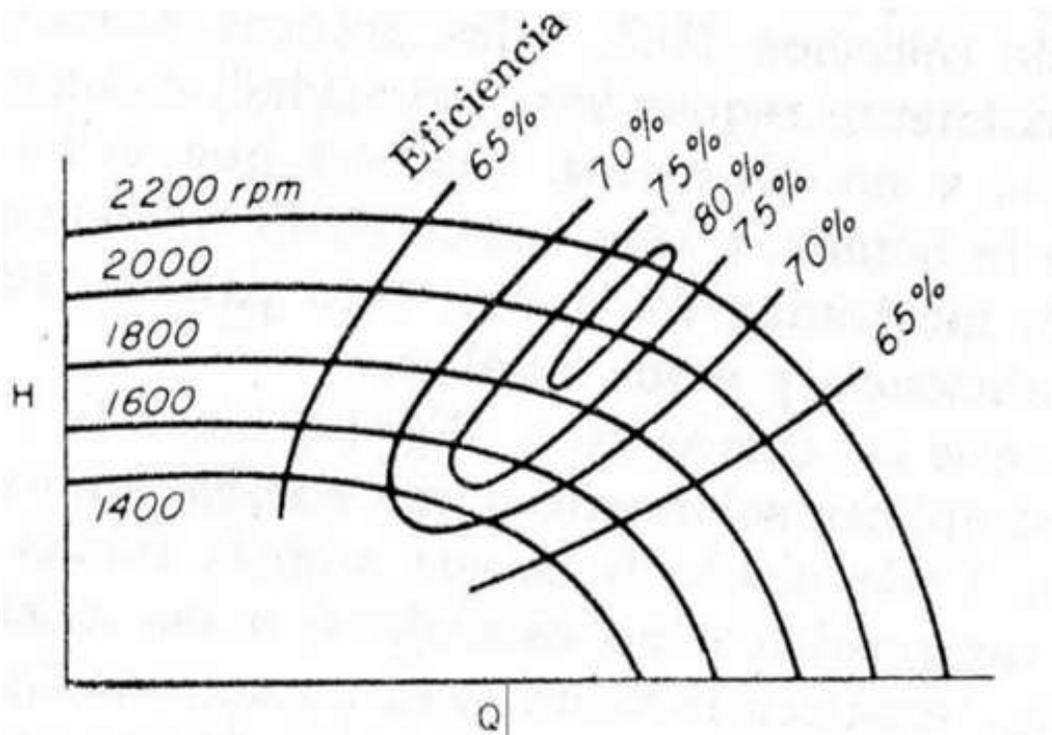


Figura 3.3 Curvas columna capacidad para distintas velocidades. Cortesía de Bombas su selección y aplicación Primera edición. Tyler G. Hicks.

### 3.9. -APLICACIONES BOMBAS CENTRIFUGAS

Las bombas centrífugas resultan un elemento indispensable en las instalaciones de abastecimientos de agua para poblaciones, industrias, edificios, etc. También son muy útiles en los sistemas de riego, en los sistemas de drenaje, en los alcantarillados de aguas residuales, en los sistemas de acumulación de las estaciones hidroeléctricas, en los sistemas de alta presión de alimentación de calderas, en las presas hidráulicas, en la circulación de agua para calefacción o plantas térmicas, en la incursión de toda clase de líquidos ya sea viscosos, corrosivos, jugos de frutas, leche, etc.

### 3.10. -VENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

- Su construcción es simple, su precio es bajo.
- El fluido es entregado a presión uniforme, sin variaciones bruscas ni pulsaciones.
- La línea de descarga puede interrumpirse, o reducirse completamente, sin dañar la bomba.
- Sin tolerancias muy ajustadas.
- Poco espacio ocupado.
- Económicas y fáciles de mantener.
- No alcanzan presiones excesivas aún con la válvula de descarga cerrada.
- Máxima profundidad de succión es 15 pulgadas.
- Impulsor y eje son las únicas partes en movimiento.
- No tiene válvulas ni elementos recíprocos.

## CAPÍTULO 4 INSTRUMENTACIÓN

La automatización y las operaciones de procesos continuos amplían el alcance y el uso de instrumentos tanto en forma individual como en sistemas de instrumentos para el control automático y la medición de las variables existentes en las instalaciones de fabricación de procesos [11].

### 4.1. -EL USO DE LOS INSTRUMENTOS EN LA INDUSTRIA

Los instrumentos son herramientas indispensables que sirven para conseguir y conservar la calidad con que se identifica el producto que se está manufacturando. Se utilizan para controlar las

variables de un proceso o sistema en forma tan exacta como se necesite para satisfacer las especificaciones del producto en lo que respecta a composición, forma, color o acabado [11].

El instrumento o el sistema de instrumentos puede ser mecánico, neumático, hidráulico, eléctrico, electrónico o una combinación de dos o más de estas formas básicas, por ejemplo, electromecánicos. Cada instrumento o sistema de instrumentos tiene tres funciones básicas que son [11]:

- Detector
- Dispositivo intermedio de transferencia
- Dispositivo final

El dispositivo de entrada debe captar la señal y transferirla a algún sistema de salida. El tipo de instrumento o sistema depende de las variables que se van a controlar o medir y de la rapidez y la precisión con que se debe efectuar la medición o el control [11].

La utilidad de un instrumento en cualquier sistema de medición y control depende de la medida en que se pueda poner en marcha con éxito un dispositivo de control y del grado de seguridad con que se logre reproducir la iniciación del control [11].

#### 4.2. -INSTRUMENTACIÓN DE NIVELES LÍQUIDOS Y SECOS

La medición del nivel de líquidos o materiales secos dentro de un recipiente puede parecer sencilla, pero puede convertirse en un problema un tanto difícil cuando el material es corrosivo o abrasivo, cuando se mantiene a altas presiones, cuando es radioactivo o cuando se encuentra dentro de un recipiente sellado en el que no conviene tener partes móviles o cuando es prácticamente imposible mantenerlas. Las dificultades se presentan cuando se requiere una gran precisión en mediciones dentro de recipientes muy pequeños o muy grandes, receptáculos abiertos y depósitos. El control

del nivel entre dos puntos previamente determinados, uno alto y otro bajo, es una de las aplicaciones más comunes de los instrumentos para controlar y medir el nivel [11].

#### 4.3. -INSTUMENTOS MECÁNICOS PARA MEDIR NIVELES

Los instrumentos mecánicos de medición y control de niveles o mediciones y control de carga hidrostática incluyen dispositivos visuales e indicadores. La forma del depósito determina con frecuencia el tipo de instrumento requerido para efectuar la medición del nivel. Un depósito alto y angosto permite mediciones de nivel más exactas con respecto al volumen que los depósitos bajos y anchos, pues un ligero cambio de nivel en estos últimos representa una mayor capacidad en un sistema controlado [11].

#### 4.4. -SISTEMAS DE FLOTADORES PARA MEDICIÓN DE NIVELES

Cuando se necesita una indicación o el registro de una medición de nivel, se puede emplear un sistema que tenga un flotador y una cinta o un flotador y una cadena al tratarse de depósitos abiertos. En depósitos cerrados, al vacío o bajo presión que se deben tener sellados, se acostumbra a usar flotadores con brazo de torsión, flotadores de jaula, flotadores magnéticamente acoplados y dispositivos hidráulicos operados con flotador. Los flotadores pueden tener cualquier forma redonda, cilíndrica o una combinación de ambas [11].

#### 4.6. -INSTRUMENTOS ELÉCTRICOS PARA MEDIR NIVELES

En líquidos conductores se pueden instalar electrodos en los puntos de alto y bajo nivel. Cuando el nivel del líquido se eleva hasta el electrodo superior, se completa un circuito eléctrico y la señal

se puede usar para activar válvulas o bombas al igual que luces indicadoras u otras clases de señales. Esta clase de sistema no se puede utilizar cuando existe un vapor sobre el líquido [11].

Cuando existe la necesidad de contar con un registro más o menos continuo del nivel, se pueden agregar más electrodos con salidas de señal independientes para cada uno [11].

Las ventajas de estos sistemas son que la señal se puede transmitir a cualquier lugar y es factible usarlos en depósitos a presión sin utilizar sellos de empaque o ejes. A demás sé que no son seguros en atmósferas explosivas, entre otras desventajas se incluye que se requiere un gran número de electrodos para las indicaciones continuas y que lo afectan los líquidos corrosivos ya que la carga eléctrica promueve la corrosión. Estos sistemas también pueden presentar dificultades cuando existe un vapor saturado por encima de la fase líquida y la medición o el control de nivel se pueden trastornar por unas cuantas gotitas de líquido que forman una trayectoria conductora entre los electrodos [11].

#### 4.7. -INSTRUMENTOS ELECTRO-ELECTRÓNICOS PARA MEDIR NIVELES

Los dispositivos detectores y de control de tipo electrónico incluyen los de conductancia, capacitancia, corriente parásita, ultrasónicos y radiofrecuencia, que normalmente emplean un mecanismo eléctrico de control, indicación y registro [11].

#### 4.8. -MEDICIÓN AUTOMÁTICA, CONCEPTOS DE CONTROL Y SISTEMAS

La medición y el control automáticos pueden ser parciales, totales o de alguna extensión intermedia. El control comprende siempre un valor preestablecido o predeterminado llamado punto fijo o de ajuste. El sistema se diseña para medir y controlar económicamente cualquier desviación de la variable dentro del alcance y rango de los controles, de manera que se mantenga

el valor predeterminado dentro de los límites escogidos con el objeto de producir un artículo de calidad [11].

#### 4.9. -CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático indica que la regulación de produce como una medida correctiva en respuesta a una señal y que se logra sin la intervención humana para efectuar la acción de control.

En otras palabras, esta acción se inicia automáticamente [11].

##### 4.9.1. -CONTROL POR FLOTACIÓN

El control por flotación mueve el elemento de regulación final a una velocidad constante en cualquier dirección, siempre que la variable controlada cambie en un valor predeterminado con relación al punto de ajuste. En contraste con un control de dos posiciones que cambia la ubicación del elemento de control final de encendido a apagado, el control por flotación cambia su velocidad de encendido y apagado [11].

En un sistema de control por flotación, el elemento de control final no se mueve mientras la variable controlada. Este movimiento continúa hasta que dicha variable regrese a la zona neutral o hasta que se active toda la entrada del elemento de control final, o bien, hasta que éste totalmente apagado, según la corrección que se necesite [11].

##### 4.9.2. -CONTROL PROPORCIONAL

En procesos que requieren un control más uniforme que el que pueden ofrecer un controlador de dos posiciones de encendido y apagado, o uno por flotación, se puede emplear el control proporcional. El control proporcional se diseñó para reducir el ciclaje a un nivel inferior al del

control de dos posiciones. Cuando se usa en las aplicaciones adecuadas, constituye una excelente forma de control. El control proporcional tiene su mejor desempeño en procesos que poseen una gran capacitancia, una velocidad de reacción relativamente lenta y un retardo en el proceso y tiempo muerto más o menos pequeños. Todas estas características favorecen la estabilidad y hacen posible contar con una banda proporcional angosta, lo cual permite una acción correctiva rápida y la mínima formación de ciclos [11].

#### 4.9.3. -SISTEMA ELECTRÓNICO

Un sistema electrónico es un conjunto de: sensores, circuitería de procesamiento y control, actuadores y fuente de alimentación. Los sensores obtienen información del mundo físico externo y la transforman en una señal eléctrica que puede ser manipulada por la circuitería interna de control. Existen sensores de todo tipo: de temperatura, de humedad, de movimiento, de sonido (micrófonos), etc.

#### 4.10. -MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado o “chip” (es decir, un dispositivo electrónico que integra en un solo encapsulado un gran número de componentes) que tiene la característica de ser programable. Es decir, que es capaz de ejecutar de forma autónoma una serie de instrucciones previamente definidas por nosotros. En el diagrama anterior, representativo de un sistema electrónico, el microcontrolador sería el componente principal de la circuitería de procesamiento y control. Por definición, un microcontrolador (también llamado comúnmente “micro”) ha de incluir en su interior tres elementos básicos CPU (Unidad Central de Proceso): es la parte encargada de ejecutar cada instrucción y de controlar que dicha ejecución se realice correctamente.

Normalmente, estas instrucciones hacen uso de datos disponibles previamente (los “datos de entrada”), y generan como resultado otros datos diferentes (los “datos de salida”), que podrán ser utilizados (o no) por la siguiente instrucción [13].

#### 4.11. -ARDUINO

Arduino forma parte del concepto de hardware y software libre y está abierto para uso y contribución de toda la sociedad. Es una plataforma de prototipos electrónicos, y consiste básicamente en una placa microcontrolador, con un lenguaje de programación en un entorno de desarrollo que soporta la entrada y salida de datos y señales [13].

Arduino fue creado con el propósito de ser una plataforma extremadamente fácil de usar en comparación con otras, lo que la hace ideal tanto para los desarrolladores más experimentados como para principiantes.

Así pues, la placa Arduino no es más que una PCB que implementa un determinado diseño de circuitería interna. No obstante, cuando hablamos de “placa Arduino”, deberíamos especificar el modelo concreto, ya que existen varias placas Arduino oficiales, cada una con diferentes características. Conviene conocer estas características para identificar qué placa Arduino es la que nos convendrá más en cada proyecto.

##### 4.11.1. -ARDUINO COMO “SOFTWARE LIBRE”

Organización encargada de fomentar el uso y desarrollo del software libre a nivel mundial, un software para ser considerado libre ha de ofrecer a cualquier persona u organización cuatro libertades básicas e imprescindibles [13]:

Libertad 0: la libertad de usar el programa con cualquier propósito y en cualquier sistema informático.

Libertad 1: la libertad de estudiar cómo funciona internamente el programa, y adaptarlo a las necesidades particulares. El acceso al código fuente es un requisito previo para esto.

Libertad 2: la libertad de distribuir copias.

Libertad 3: la libertad de mejorar el programa y hacer públicas las mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie.

El software Arduino es software libre porque se publica con una combinación de la licencia GPL (para el entorno visual de programación propiamente dicho) y la licencia LGPL (para los códigos fuente de gestión y control del microcontrolador a nivel más interno) [13].

#### 4.11.2 ARDUINO COMO “HARDWARE LIBRE”

El hardware libre (también llamado “open-source” o “de fuente abierta”) comparte muchos de los principios y metodologías del software libre. En particular, el hardware libre permite que la gente pueda estudiarlo para entender su funcionamiento, modificarlo, reutilizarlo, mejorarlo y compartir dichos cambios [13].

#### 4.11.3. - ¿POR QUÉ ELEGIR ARDUINO?

Existen muchas otras placas de diferentes fabricantes que, aunque incorporan diferentes modelos de microcontroladores, son comparables y ofrecen una funcionalidad más o menos similar a la de las placas Arduino. No obstante, la plataforma Arduino (hardware + software) ofrece una serie de ventajas: Arduino es libre y extensible: esto quiere decir que cualquiera que desee ampliar y mejorar tanto el diseño hardware de las placas como el entorno de desarrollo software y el propio

lenguaje de programación, puede hacerlo sin problemas. Esto permite que exista un rico “ecosistema” de extensiones, tanto de variantes de placas no oficiales como de librerías software de terceros, que pueden adaptarse mejor a nuestras necesidades concretas [13].

#### 4.11.4. -CARACTERÍSTICAS DEL MICRO DE LA PLACA ARDUINO UNO

Ya se ha comentado anteriormente que existen varios tipos de placas Arduino, cada una con características específicas que hay que conocer para poder elegir el modelo que más nos convenga según el caso. No obstante, existe un modelo “estándar” de placa, que es el más utilizado con diferencia y que es el que utilizaremos también nosotros en este libro en todos los proyectos: la placa Arduino UNO [13].

#### 4.11.5. -OTRAS PLACAS ARDUINO

Todas estas variantes están especializadas en trabajar dentro de circunstancias específicas donde la placa UNO estándar no nos ofrece soluciones a las necesidades que nos puedan surgir [13].

#### 4.11.6. -ARDUINO MEGA 2560

Placa basada en el microcontrolador ATmega2560. Como características más destacables diremos que tiene 54 pines de entrada/salidas digitales (de los cuales 14 pueden ser usados como salidas analógicas PWM), 16 entradas analógicas y 4 receptores/transmisores serie TTL-UART. Consta de una memoria Flash de 256 Kilobytes (de los cuales 8 están reservados para el bootloader), una memoria SRAM de 8 KB y una EEPROM de 4 KB. Su voltaje de trabajo es igual al del modelo UNO: 5 V. En la sección correspondiente a esta placa dentro de la web oficial de Arduino podemos descargarnos los ficheros del diseño esquemático de la placa en PDF, los ficheros del diseño de la

PCB en el formato propio del programa EAGLE y una imagen ilustrativa del mapeado de los pines del microcontrolador con relación a los pines de la placa. También nos podemos descargar la documentación oficial del microcontrolador ATmega2560 [13].

- Arduino Mega ADK
- Arduino Ethernet
- Arduino Fio
- Arduino Pro
- Arduino Lilypad
- Arduino Nano
- Arduino Mini
- Arduino Pro Mini
- Arduino Leonardo
- Arduino Micro
- Arduino Due

#### 4.12. -PLACAS DE PROTOTIPADO

Existen varios tipos de placas de prototipado. En este apartado estudiaremos solamente las llamadas “breadboards” (también conocidas como “protoboards”), las “perfboards” y las “stripboards”. Una breadboard es una placa perforada con conexiones internas en la que podemos insertar las patas de nuestros componentes electrónicos tantas veces como queramos, realizando así las conexiones de nuestros circuitos sin tener la necesidad de soldar nada. El objetivo es poder montar prototipos rápidos, pero completamente funcionales de nuestros diseños y poderlos modificar fácilmente cuando lo necesitemos [13].

#### 4.13. -ELECTROVÁLVULAS

Es una válvula electromecánica que está diseñada generalmente para controlar flujo que pasa a través de un tubo y la válvula se controla mediante corriente eléctrica por medio de una bobina solenoide. Este tipo de válvula es empleado para controlar fluidos como: gas y líquidos [12].

##### 4.13.1. -ELECTROVÁLVULAS MONOESTABLES

Este tipo de válvula puede ser normalmente abierta o normalmente cerrada. Al introducir un voltaje al solenoide se genera un campo magnético que atrae al núcleo de hierro permitiendo el paso del fluido. El regreso a la posición de reposo suele realizarse con un resorte [12].

##### 4.13.2. -ELECTROVÁLVULAS BIESTABLES (TIPO LATCH)

No cuenta con una posición de reposo estable, ya que tienen una alimentación independiente para cada estado; es decir tiene 2 solenoides. La electroválvula continuara enclavada en la misma posición hasta que se le dé una orden diferente. Solo hasta ese instante cambiara de posición [12].

## CAPÍTULO 5 DESARROLLO DE PROYECTO

### 5.1. -CÁLCULOS

Para establecer que equipo y materiales se necesitan para la realización del sistema, tenemos que conocer las pérdidas primarias y secundarias o como algunos autores les llaman, pérdidas mayores y menores.

Al conocer estas pérdidas sabremos si, la bomba es adecuada y el sistema de tubería que está instalado es el eficiente para el edificio, con esto podremos conocer si el fluido que se está succionando es lo que se está entregando y no estamos forzando de más al equipo de bombeo con el que contamos, para así definir que controlador de arduino utilizaremos y que componentes requerimos sin temor a equivocarnos.

Primeramente, se procede a calcular el caudal de la bomba instalada en el edificio “A”, con la relación siguiente.

$$Q = h_1 a_1 b_1 = X_1$$

$$Q = h_2 a_1 b_1 = X_2$$

Con estas ecuaciones se realiza una relación en la resta de volumen obtenido a partir de medir la altura de la bomba  $h_1$  por su ancho ( $a_1$ ) y largo ( $b_1$ ) antes de llenar el tinaco de distribución y la medida de la altura después de llenado el tinaco de distribución respectivamente.

Con esta relación que acabamos de obtener podemos conocer la diferencia de volumen sobre una unidad de tiempo medida.

$$Q = \frac{X_1 - X_2}{t}$$

Esto es:

$Q$ = caudal

$X_1 - X_2$ = diferencia de volumen en metros cúbicos ( $m^3$ )

$t$ = en segundos (s)

$$Q_1 = (1.65 \text{ m}) * (4.06 * 3.03)m^2 = 20.29797m^3$$

$$Q_2 = (1.61 \text{ m}) * (4.06 * 3.03)m^2 = 20.29797m^3$$

$$Q_T = 0.49208 \text{ m}^3$$

$$t = 25 \text{ min.} = 1500 \text{ seg.}$$

$$Q = \frac{0.49208 \text{ m}^3}{1500 \text{ s}} = 0.0003280533 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Así mismo podemos conocer la velocidad a la que el fluido fluye en la tubería con la relación

$$Q = V * A$$

Donde:

$Q$ = caudal

$V$ = velocidad (m)

$A$ = área  $\frac{m^2}{s}$

En donde el área es el área respectiva de la tubería de succión (diámetro de succión .03175  $m^2$ ).

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (.03175)^2}{4} = 0.0007917304 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{.00038033 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0007917304 \text{ m}^2} = .48037817 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Y así podremos realizar los cálculos para calcular los números de Reynolds de la sección de succión.

Para el cálculo de pérdidas de todo el sistema de tubería, se contemplarán todas las válvulas y accesorios correspondientes como completamente abiertos.

Los datos siguientes se obtienen de las tablas en el apartado de anexo, en donde las condiciones son constantes.

$$\varepsilon = 1.5 \times 10^{-6}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 1.005 \times 10^{-3} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

Usamos la ecuación 2.19 para poder así calcular el número de Reynolds.

$$N_R = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{1000 \cdot .48037817 \cdot 0.03175}{1.005 \times 10^{-3}} \dots (2.19)$$

Calculamos el  $N_R$  el cual nos da 15175.12627 por lo tanto es turbulento.

Procederemos a calcular la relación de rugosidad sobre diámetro para poder calcular el factor de fricción.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{1.5 \times 10^{-6} \text{ m}}{.03175 \text{ m}} = .00004724$$

Ya conociendo la rugosidad entre el diámetro, ocupamos el diagrama de Moody del anexo y podemos darnos cuenta de que el factor de fricción es .01

$$f = .01$$

Con esto, seleccionamos los tramos de tubería que conforman la tubería de succión para calcular las pérdidas y así llenaremos una tabla para poder sacar el total de pérdidas primarias y secundarias.

Los cálculos a la succión quedan de la siguiente manera

Para pérdidas primarias o mayores se usará la siguiente fórmula:

$$\sum Hf_1 = f * \frac{L}{D} * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

Para pérdidas secundarias o menores se usará la siguiente fórmula:

$$\sum Hf_2 = \lambda * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

Nota la variable  $\lambda$  se obtiene de las tablas agregadas en la sección de anexo.

Pichancha

$$\sum Hf_2 = \lambda * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

$$\lambda = 4.4$$

$$\frac{V_1^2}{2 * g} = \frac{(.48037817 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = .01176163 m$$

$$\sum Hf_2 = 4.4 * .01176163 m$$

$$\sum Hf_2 = .05175117 m$$

Tubería

$$\sum Hf_1 = f * \frac{L}{D} * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

$$\sum Hf_1 = .01 * \frac{1.7 m}{.03175 m} * .01176163 m$$

$$\sum Hf_1 = 0.006297565 m$$

Codo 90°

$$\sum Hf_2 = \lambda * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

$$\lambda = 30 * f$$

$$\sum Hf_2 = (30 * .01) * .01176163 \text{ m}$$

$$\sum Hf_2 = 0.003352848 \text{ m}$$

Tubería

$$\sum Hf_1 = f * \frac{L}{D} * \frac{V_1^2}{2 * g}$$

$$\sum Hf_1 = .01 * \frac{.15 \text{ m}}{.03175 \text{ m}} * .01176163 \text{ m}$$

$$\sum Hf_1 = 0.000555667 \text{ m}$$

A continuación, se muestra la tabla 5.1 con el resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas.

COMPONENTE	LONGITUD (m)	VALOR DE PÉRDIDA (m)
PICHNCHA 1 ¼"	---	.05175117
TUBERIA 1 ¼"	1.70	0.006297565
CODO 90° 1 ¼"	---	0.003352848
TUBERÍA 1 ¼"	.15	0.000555667

Tabla 5.1 Resultados de pérdidas en sección de descarga.

Suma de pérdidas a la descarga

$$\sum Hf_1 = 0.006853232 \text{ m}$$

$$\sum Hf_2 = 0.055104018 \text{ m}$$

$$\sum Hf_T = 0.06195725 \text{ m}$$

En la figura siguiente se muestra la sección del plano de succión.

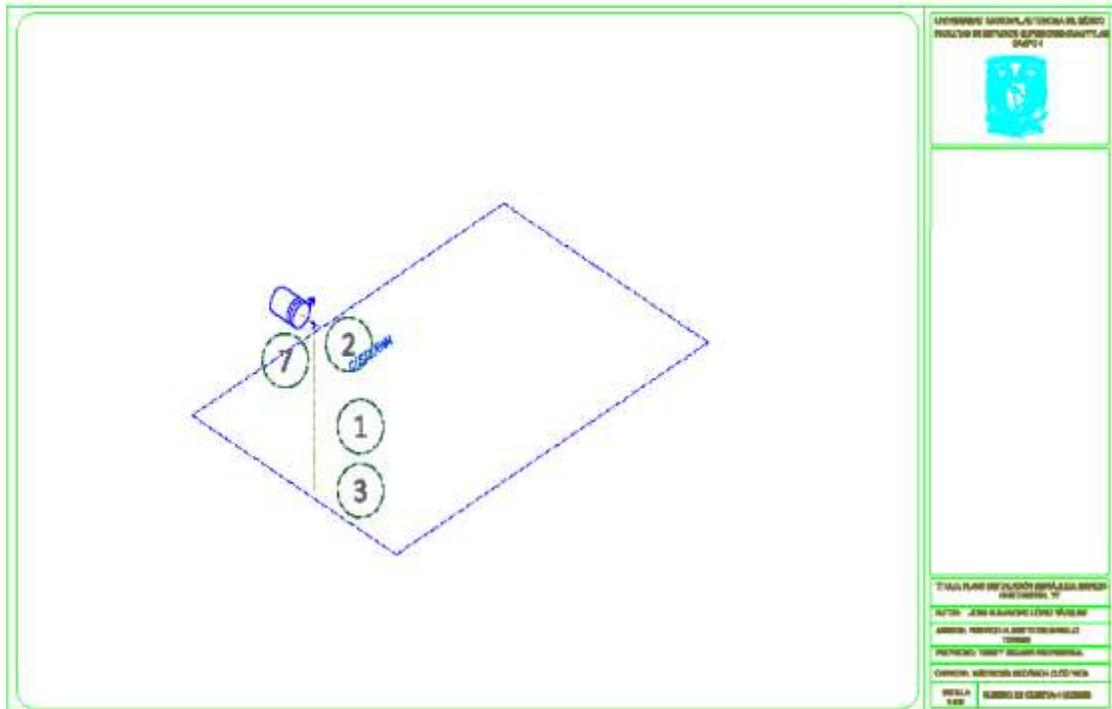


Figura 5.1 Plano hidráulico de sección de succión.

Fotos de ubicación de sección de succión.

- (a) Imagen 5.1 vista aérea de ubicación bomba centrífuga
- (b) Imagen 5.2 ubicación de bomba centrífuga.
- (c) Imagen 5.3 ubicación de tapa de cisterna.
- (d) Imagen 5.4 placa de datos de boba centrífuga.
- (e) Imagen 5.5 vista de bomba centrífuga.



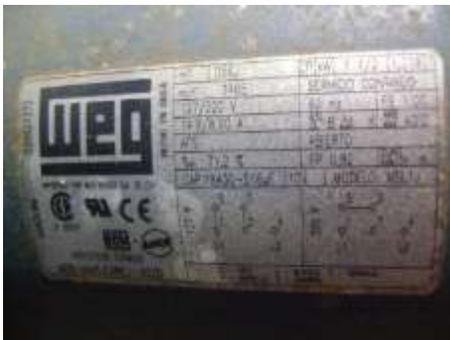
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

A continuación, se presentan los resultados de los cálculos a la descarga

Utilizamos el mismo caudal para succión, pero este se divide entre el diámetro de la tubería de descarga para obtener la velocidad.

$$D = 1'' = .025 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{.00038033 \frac{m^3}{s}}{0.0007917304 m^2} = .66830313 \frac{m}{s}$$

$$\varepsilon = 1.5 \times 10^{-6}$$

$$\rho = 1000 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\mu = 1.005 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$N_R = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{1000 \cdot .66830313 \cdot 0.025}{1.005 \times 10^{-3}} \quad (2.19)$$

Calculamos el  $N_R$  el cual nos da 16624.45597 por lo tanto es turbulento.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{1.5 \times 10^{-6} \text{ m}}{.03175 \text{ m}} = .00004724$$

Ya conociendo la rugosidad entre el diámetro, ocupamos el diagrama de Moody del anexo y podemos darnos cuenta de que el factor de fricción es 0.01.

Con esto, seleccionamos los tramos de tubería que conforman la tubería de descarga para calcular las pérdidas y así llenaremos una tabla para poder sacar el total de pérdidas primarias y secundarias.

A continuación, se muestra la tabla 5.2 con el resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas.

COMPONENTE	LONGITUD (m)	VALOR DE PÉRDIDA (m)
TUBERÍA 1"	0.18	0.001802906
TEE 1"	---	0.015024219
TUBERÍA 1"	0.3	0.003004843
CODO 90° 1"	---	0.007512109
TUBERÍA 1"	10.21	0.102264854
CODO 90° 1"	---	0.007512109
TUBERÍA 1"	2.95	0.029547631
CODO 45° 1"	---	0.004006458
TUBERÍA 1"	1.61	0.016125995
CODO 45° 1"	---	0.004006458
TUBERÍA 1"	5.46	0.054688159
CODO 45° 1"	---	0.004006458
TUBERÍA 1"	1.39	0.013922443
CODO 45° 1"	---	0.004006458
TUBERÍA 1"	3.5	0.035056512
CODO 90° 1"	---	0.007512109
TUBERÍA 1"	4.04	0.040465231
CODO 90° 1"	---	0.007512109
TUBERÍA 1"	0.7	0.007011302
CODO 45° 1"	---	0.004006458

Tabla 5.2 Resultados de pérdidas en sección de descarga.

Suma de pérdidas a la descarga

$$\sum H_{f_1} = 0.036699159852 \text{ m}$$

$$\sum H_{f_2} = 0.065104945 \text{ m}$$

$$\sum H_{f_T} = 0.101804104852 \text{ m}$$

En la figura siguiente se muestra la sección del plano de descarga.

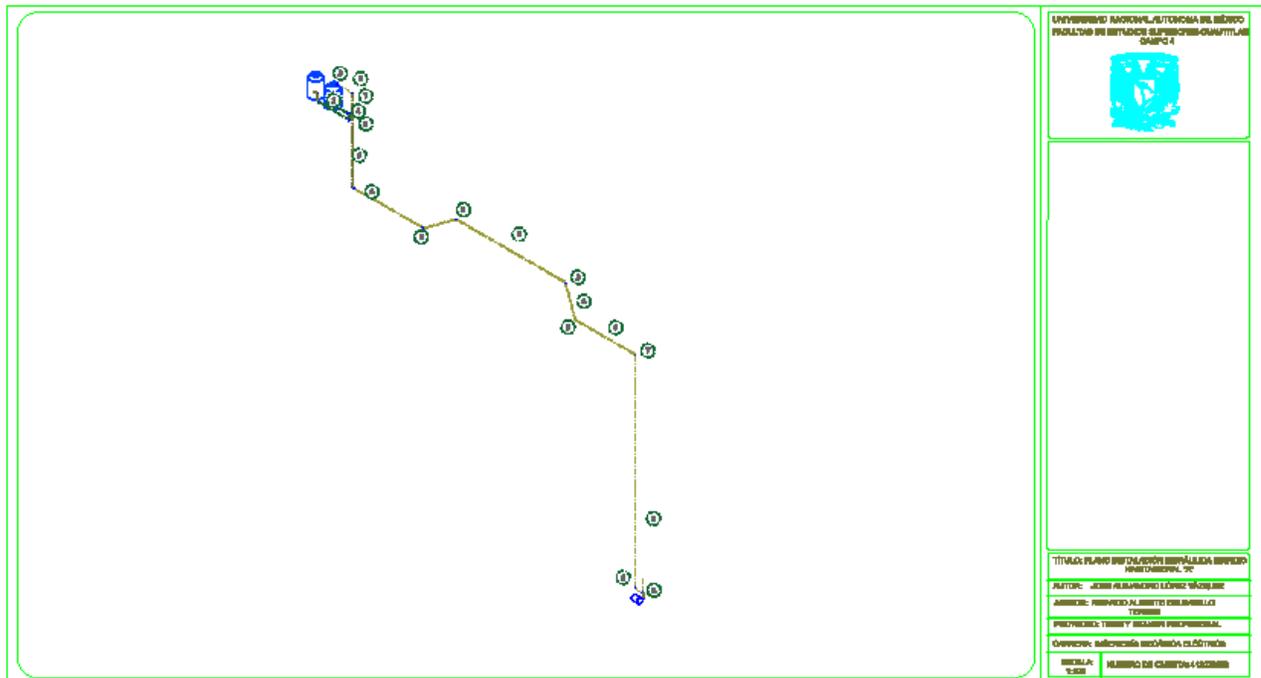


Figura 5.2 Plano hidráulico de sección de descarga.

Fotos de ubicación de sección de descarga.

(f) Imagen 5.6 vista de subida de tubería a azotea.

(g) Imagen 5.7 vista 1 camino de tubería en azotea.

(h) Imagen 5.8 vista 2 camino de tubería en azotea.

(i) Imagen 5.9 vista lateral de subida de tubería de cobre a tinaco de distribución.

(j) Imagen 5.10 vista frontal de subida de tubería de cobre a tinaco de distribución.



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

Una vez obtenidas las pérdidas por descarga, procederemos a calcular las pérdidas de descarga por gravedad de los tinacos de distribución al tinaco del mezanine.

Para esto se harán cálculos por tres partes.

La primera parte es calcular el caudal  $Q_1$

La segunda parte trata en calcular el  $Q_2$

La tercera parte trata en calcular las pérdidas al mezanine, pero en esta parte teniendo un caudal de servicio, diferente a los caudales anteriores.

A continuación, se presentan los resultados de los cálculos a la descarga por gravedad.

Para la primera parte se calcula con una diferencia de volúmenes como en los cálculos de succión.

Por lo tanto, la relación de caudal es igual

$$Q = \frac{.6637931 \text{ m}^3}{1800 \text{ s}} = .0003687739 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$D = 1 \frac{1}{4}'' = .03175 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{.0003687739 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0007917304 \text{ m}^2} = .4657821652421 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\varepsilon = 1.5 \times 10^{-6}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu = 1.005 \times 10^{-3} \frac{\text{N*s}}{\text{m}^2}$$

$$N_R = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{1000 * .4657821652421 * 0.03175}{1.005 \times 10^{-3}} \quad (2.19)$$

Calculamos el  $N_R$  el cual nos da 14715.0087 por lo tanto es turbulento.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{1.5 \times 10^{-6} \text{ m}}{.03175 \text{ m}} = .00004724$$

Ya conociendo la rugosidad entre el diámetro, ocupamos el diagrama de Moody del anexo y podemos darnos cuenta de que el factor de fricción es 0.011

Con esto, seleccionamos los tramos de tubería que conforman la tubería de descarga por gravedad para calcular las pérdidas y así llenaremos una tabla para poder sacar el total de pérdidas primarias y secundarias.

A continuación, se muestra la tabla 5.3 con el resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas para la sección  $Q_1$ .

COMPONENTE	LONGITUD (m)	VALOR DE PÉRDIDA (m)
TUBERÍA 1 1/4"	0.45	0.01723964
TEE 1 1/4"	---	0.007298115
TUBERÍA 1 1/4"	0.15	0.0005746547

Tabla 5.3 resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas para la sección  $Q_1$

A continuación, se muestra la tabla 5.4 con el resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas para la sección  $Q_2$ .

COMPONENTE	LONGITUD (m)	VALOR DE PÉRDIDA (m)
TUBERÍA 1 1/4"	0.1	0.0003831031
CODO 90° 1 1/4"	---	0.003649058
TUBERÍA 1 1/4"	0.25	0.0009577579
CODO 90° 1 1/4"	---	0.003649058
TUBERÍA 1 1/4"	1.5	0.005746547
TEE 1 1/4"	---	0.07298115
REDUCCIÓN 1 1/4"	---	0.000002432705

Tabla 5.4 resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas para la sección  $Q_2$

Suma de pérdidas a la descarga

$$\sum Hf_1 = 0.02490171 \text{ m}$$

$$\sum Hf_2 = 0.08757981 \text{ m}$$

$$\sum Hf_T = 0.11248152 \text{ m}$$

De acuerdo con la OMS una persona debe gastar como mínimo 5 litros de agua al día para cocinar y beber. Cada persona necesita 30 litros de agua al día para su aseo, sin embargo, por persona se gasta de manera inconsciente 700 litros. Para una oficina se gasta entre 100 y 150 litros por persona al día [14]

Mencionado lo anterior, utilizamos el caudal de servicio que es 300 lts a 12 horas y se divide entre el diámetro de la tubería de descarga para obtener la velocidad.

A continuación, se presentan los resultados de los cálculos a la descarga al tinaco del mezanine

$$D_1 = 1'' = .025 \text{ m}$$

$$D_2 = 1'' = .012 \text{ m}$$

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{6.944444 \frac{m^3}{s}}{.000490875 \text{ m}^2} = .014144707 \frac{m}{s}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{6.944444 \frac{m^3}{s}}{.0001130973 \text{ m}^2} = .0614019963 \frac{m}{s}$$

$$\varepsilon = 1.5 \times 10^{-6}$$

$$\rho = 1000 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\mu = 1.005 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$N_{R1} = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{1000 \cdot .014144707 \cdot 0.025}{1.005 \times 10^{-3}} \quad (2.19)$$

Calculamos el  $N_R$  el cual nos da 351.91 por lo tanto es laminar.

Al ser laminar el flujo podemos darnos cuenta de que el factor de fricción es igual a  $f = \frac{64}{N_{R1}} =$   
 .18186

$$N_{R2} = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{1000 * .0614019963 * 0.025}{1.005 \times 10^{-3}} \quad (2.19)$$

Calculamos el  $N_R$  el cual nos da 274.43 por lo tanto es laminar.

Al ser laminar el flujo podemos darnos cuenta de que el factor de fricción es igual a  $f = \frac{64}{N_{R1}} =$   
 .2332

Con esto, seleccionamos los tramos de tubería que conforman la tubería de descarga por gravedad al tinaco del mezanine para calcular las pérdidas y así llenaremos una tabla para poder sacar el total de pérdidas primarias y secundarias. A continuación, se muestra la tabla 5.5 con el resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas.

COMPONENTE	LONGITUD (m)	VALOR DE PÉRDIDA (m)
TUBERÍA 1"	0.03	$2.226141 \times 10^{-6}$
TEE 1"	---	.000111307
TUBERÍA 1"	0.03	$2.226141 \times 10^{-6}$
TEE 1"	---	.000111307
TUBERÍA 1"	0.03	$2.226141 \times 10^{-6}$
VÁLVULA COPUERTA 1"	---	$1.484094 \times 10^{-5}$
TUBERÍA 1"	2.49	.0001847697
CODO 90° 1"	---	$5.565352 \times 10^{-5}$
TUBERÍA 1"	2	.0001484094
TEE 1"	---	.000111307
TUBERÍA 1"	3.3	$2.448755 \times 10^{-5}$
REDUCCIÓN DE 1" A ½"	---	$2.04016 \times 10^{-7}$
TUBERÍA ½"	.03	$1.234574 \times 10^{-5}$
CODO 90° ½"	---	.0001604947
TUBERÍA ½"	.9	$3.703723 \times 10^{-7}$
VÁLVULA DE GLOBO ½"	---	$1.604947 \times 10^{-5}$
MEDIDOR ½"	6	0.002469149
TUBERÍA ½"	.4	0.0001646099
CODO 90° ½"	---	0.0001604997
TUBERÍA ½"	.22	$9.053546 \times 10^{-5}$
CODO 90° ½"	---	0.0001604997
TUBERÍA ½"	.9	0.0003703723
CODO 90° ½"	---	0.0001604997

Tabla 5.5 resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas.

Suma de pérdidas a la descarga

$$\sum H_{f_T} = 0.004497223 \text{ m}$$

En la figura siguiente se muestra la sección del plano del cuál procederemos a calcular las pérdidas.

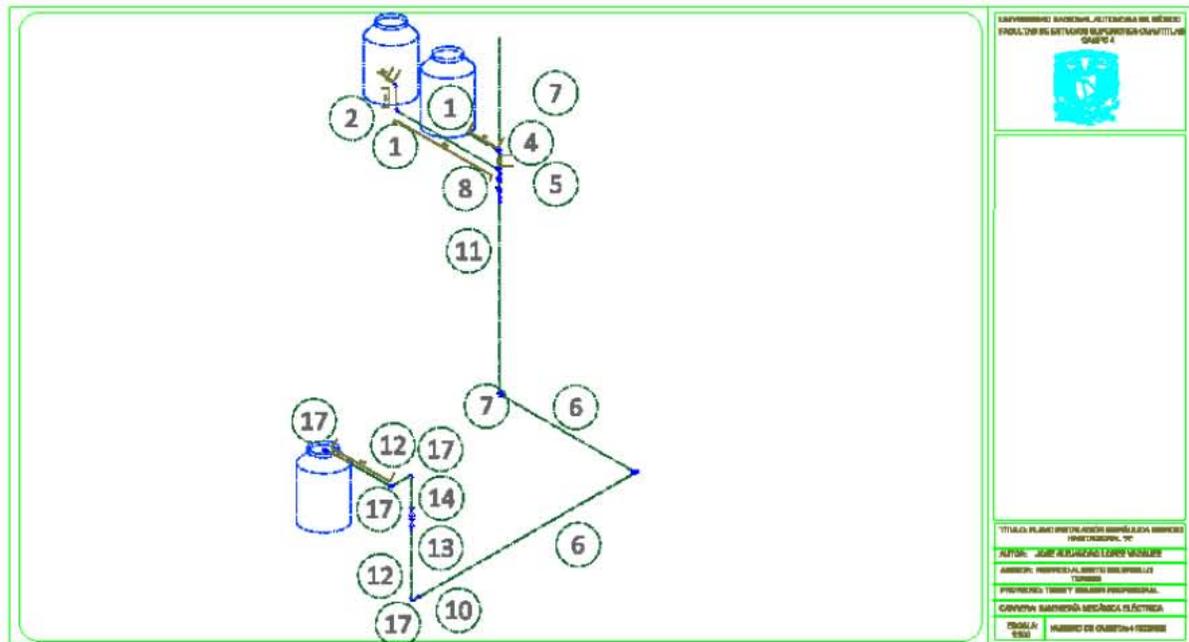


Figura 5.3 Plano hidráulico de sección de descarga de tinaco de distribución a tinaco de mezanine.

Fotos de ubicación de sección de descarga por gravedad.

(k) Imagen 5.11 vista lateral de baja de tubería.

(l) Imagen 5.12 vista frontal de tinaco de mezanine.

(m) Imagen 5.13 vista frontal de tubería en tinaco e instalación eléctrica de electroválvula.

(n) Imagen 5.14 vista de tinaco y tubería de instalación eléctrica.



(k)



(l)



(m)



(n)

Teniendo las pérdidas totales de cada sección, procedemos a sumar los resultados obtenidos para así conocer pérdidas totales de todo el sistema. A continuación, se muestra la tabla con el resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas.

Suma de pérdidas a la succión:	0.06195725 <i>m</i>
Suma de pérdidas a la descarga:	0.101804104852 <i>m</i>
Suma de pérdidas a la descarga por gravedad (1):	0.11248152 <i>m</i>
Suma de pérdidas a la descarga por gravedad (2):	0.004497223 <i>m</i>
Suma de pérdidas totales:	0.2807401 <i>m</i>

Tabla 5.6 resultado de la operación con las fórmulas de pérdidas

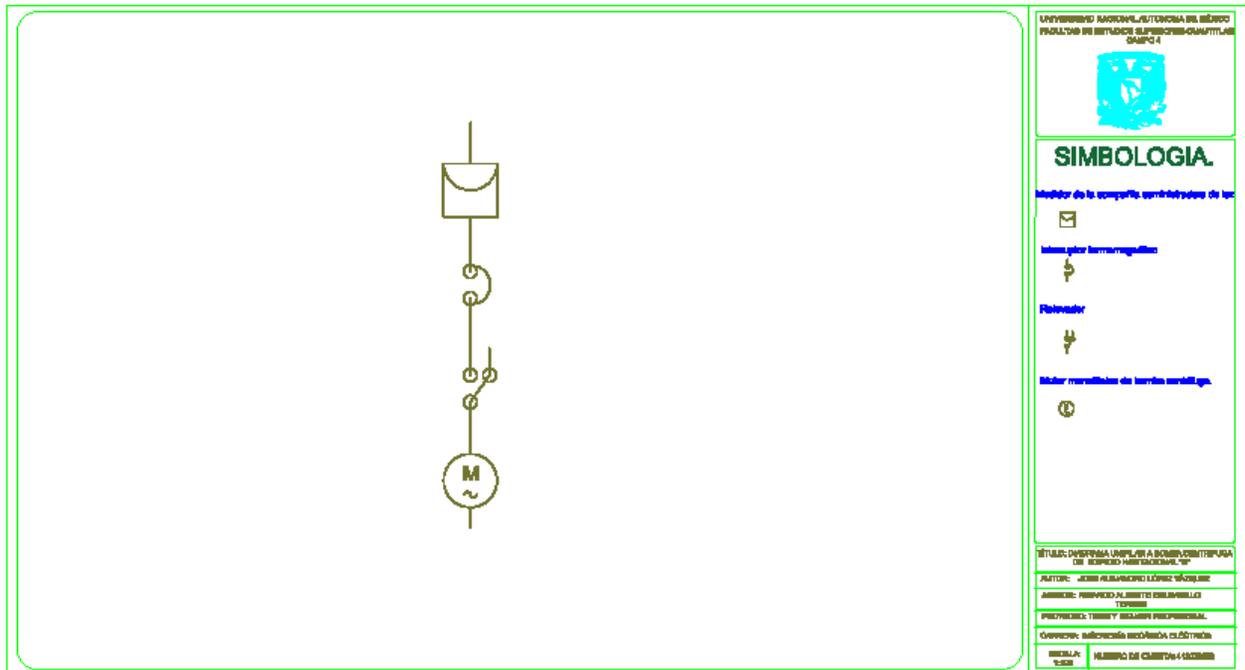
En conclusión, podemos ver que el sistema de tuberías que está instalado es eficiente y cumple perfectamente con su principal tarea de abastecer a los tinacos de los departamentos respectivamente.

Una vez conociendo los valores de voltaje y corriente, los cuales son a 5 V con los sensores de nivel, 12 V con la electroválvula y 117 V con el motor de la bomba centrífuga. Y los de corriente, corriente de arranque del motor de la bomba centrífuga 14.8 A, seleccionamos la tarjeta arduino Mega2560, ya que es la mejor para este tipo de casos en los cuales resiste mayor voltaje y corriente. Teniendo conocimiento de las partes hidráulicas y eléctricas, podemos definir que código necesitamos en Arduino para poder hacer funcionar el sistema.



## 5.2.2 PLANO ELÉCTRICO

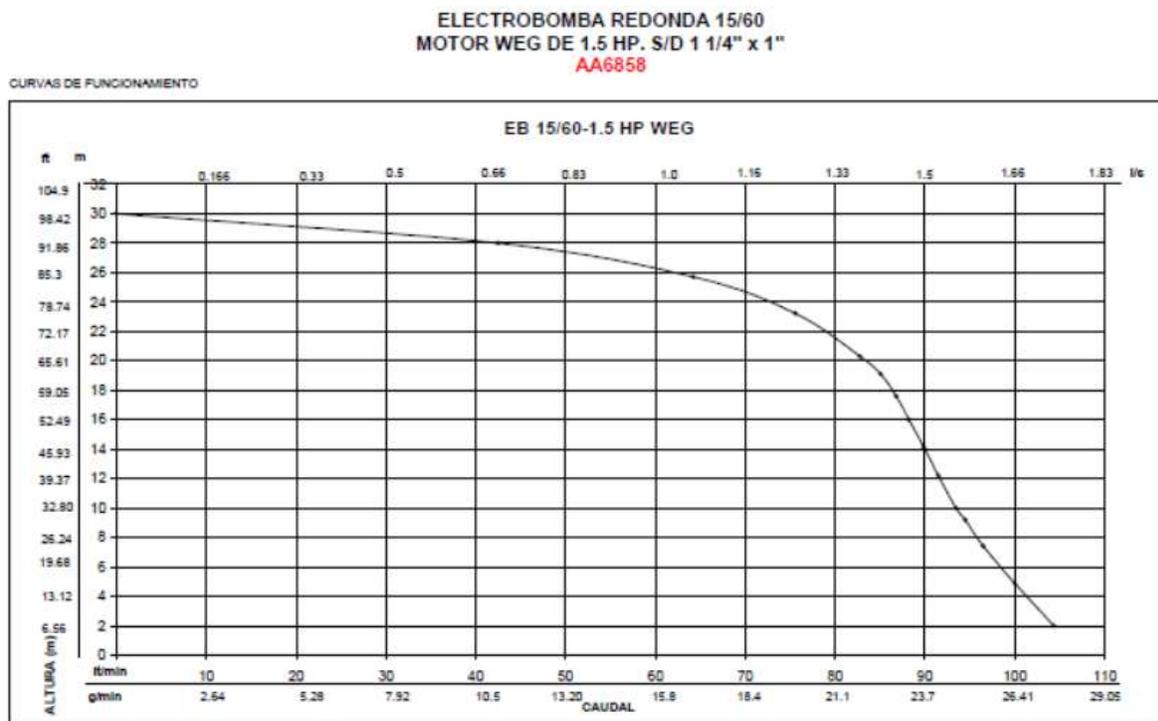
Diagrama unifilar de la instalación del motor monofásico de la bomba centrífuga del edificio habitacional “A”.



### 5.3 GRÁFICAS BOMBA CENTRÍFUGA

#### 5.3.1 GRÁFICA HQ

Representación gráfica de gasto sobre caudal de bomba centrífuga



EB 15/60	1 1/4" X 1"	Caudal		Altura															
		m	ft	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
		104	100	95	92	90	89	89	88	87	87	86	85	84	83	82	81	80	
		3.96	3.96	3.92	3.81	3.84	3.76	3.38	3.08	2.88	2.65	2.65	2.65	2.49	2.46	2.43	2.40		
		27.57	26.42	25.15	24.39	23.84	23.51	23.51	23.24	22.98	22.98	22.71	22.07	17.17	11.09	0.00			
		6.56	13.12	19.69	26.25	32.81	39.37	45.93	52.50	59.06	65.61	72.17	78.70	85.30	91.86	98.43			
		1.74	1.67	1.59	1.54	1.50	1.48	1.48	1.47	1.45	1.45	1.43	1.36	1.10	0.70	0.00			
		2.15	10.15	19.98	26.94	33.11	32.67	31.69	29.24	22.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			



## 5.3.2 DATOS TÉCNICOS

Datos técnicos eléctricos y mecánicos de motor Weg de bomba centrífuga. cortesía de Weg

## Datos Electricos

Potencia		Factor de Servicio	Polos	Armazon	Codigo de Referencia	Tension V	RPM min <sup>-1</sup>	Corriente Nominal A	Corriente a Factor de Servicio A	Clase KVA/HP	Eficiencia Nominal %	Factor de Potencia pu
HP	KW											
0,25	0,187	1,25	2	56	25360S1PA56	127/220	3510	6,28/2,35	6,50/2,70	R	52,5	0,44
		1,35	4	56	25180S1P56	127/220	1745	5,50/2,50	5,80/2,80	P	50,5	0,52
0,33	0,249	1,25	2	56	33360S1PA56	127/220	3510	7,21/2,70	7,40/3,10	P	56,0	0,57
		1,35	4	56	33180S1P56	127/220	1750	6,40/2,50	7,00/3,00	P	52,5	0,57
0,50	0,373	1,25	2	56	50060S1PA56	127/220	3515	9,10/3,70	9,70/4,60	N	59,5	0,58
		1,35	4	56	50180S1P56	127/220	1740	8,00/3,80	8,70/4,30	N	57,5	0,63
0,75	0,560	1,25	2	56	75360S1PA56	127/220	3500	11,50/5,00	12,55/5,85	M	62,0	0,61
		1,35	4	56	75180S1P56	127/220	1750	12,5/5,50	13,10/6,10	P	59,5	0,59
1,0	0,746	1,25	2	56	001360S1P56	127/220	3515	13,00/6,20	14,00/7,30	M	64,0	0,70
		1,15	4	56	001180S1P56	127/220	1730	15,00/7,50	17,50/9,62	M	62,0	0,63
1,5	1,119	1,15	2	56	001560S1P56	127/220	3500	16,50/8,80	18,90/10,10	L	68,0	0,78
		1,15	4	56	001580S1P56	127/220	1730	20,20/9,37	21,30/10,60	M	66,0	0,66
2,0	1,492	1,15	2	56H	002360S1P56	127/220	3520	20,0/10,5	22,0/11,5	M	72,0	0,81
		1,15	4	56H	002180S1P56	127/220	1735	29,00/13,50	32,3/15,50	M	70,0	0,57

## Datos Mecanicos

Potencia		Polos	Armazon	Codigo de Referencia	D	2E	2F	3A	H	U	N-W	R	ES Min.	S	C	P	O	X0 (°)
HP	KW																	
0,25	0,187	2	56	25360S1PA56	88,0	51,976	76,2	66,85	8,636	15,875	47,752	13,1318	26,814	4,7752	267	147	161	37,5
		[10,5]	[5,8]	[6,3]														
0,33	0,249	2	56	33360S1PA56	[3,50]	[2,44]	[3,00]	[2,75]	[0,34]	[0,5250]	[1,88]	[0,517]	[1,41]	[0,188]	277	147	161	[1,47]
		[10,9]	[5,8]	[6,3]														
0,50	0,373	2	56	50060S1PA56	[3,50]	[2,44]	[3,00]	[2,75]	[0,34]	[0,5250]	[1,88]	[0,517]	[1,41]	[0,188]	287	147	161	[1,47]
		[11,3]	[5,8]	[6,3]														
0,75	0,560	2	56	75360S1PA56	[3,50]	[2,44]	[3,00]	[2,75]	[0,34]	[0,5250]	[1,88]	[0,517]	[1,41]	[0,188]	297	147	161	[1,47]
		[11,3]	[5,8]	[6,3]														
1,0	0,746	2	56	001360S1P56	[3,50]	[2,44]	[3,00]	[2,75]	[0,34]	[0,5250]	[1,88]	[0,517]	[1,41]	[0,188]	312	166	171	[1,47]
		[12,2]	[6,5]	[6,7]														
1,5	1,119	2	56	001560S1P56	[3,50]	[2,44]	[3,00]	[2,75]	[0,34]	[0,5250]	[1,88]	[0,517]	[1,41]	[0,188]	322	166	171	[1,47]
		[12,6]	[6,5]	[6,7]														
2,0	1,492	2	56H	002360S1P56	[3,50]	[2,44]	[3,00]	[2,75]	[0,34]	[0,5250]	[1,88]	[0,517]	[1,41]	[0,188]	362	166	171	[1,47]
		[13,8]	[6,5]	[6,7]														
2,0	1,492	4	56H	002180S1P56	[3,50]	[2,44]	[3,00]	[2,75]	[0,34]	[0,5250]	[1,88]	[0,517]	[1,41]	[0,188]	362	166	171	[1,47]
		[14,2]	[6,5]	[6,7]														

## 5.4. -ARDUINO

### 5.4.1. -DATOS TÉCNICOS

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

## 5.4.2. -PROGRAMA

Código programado para la tarjeta Arduino Mega2560

```

int sabajo = 3; //sensor de nivel inferior de la cisterna
int tarriba = 4; //sensor de nivel superior del tinaco
int tabajo = 5; //sensor de nivel inferior del tinaco
int bomba = 6; //enciende el relevador que activa la bomba
int marriba = 7; //sensor de nivel superior mezanine
int mabajo = 8; //sensor de nivel inferior mezanine
int motor = 9; //enciende la electrovalvula

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(sabajo, INPUT);
  pinMode(tarriba, INPUT);
  pinMode(tabajo, INPUT);
  pinMode(bomba, OUTPUT);
  pinMode(marriba, INPUT);
  pinMode(mabajo, INPUT);
  pinMode(motor, OUTPUT);
  digitalWrite(motor, HIGH);
  digitalWrite(bomba, HIGH);
}

void loop()
{
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int estadoarribas=digitalRead(sarriba);
  int estadoabajos=digitalRead(sabajo);
  int estadoarribat=digitalRead(tarriba);
  int estadoabajot=digitalRead(tabajo);
  int estadoarribam=digitalRead(marriba);
  int estadoabajom=digitalRead(mabajo);

  while(digitalRead(sabajo)== LOW)
  {

    if(digitalRead(tarriba)== HIGH && digitalRead(tabajo)== HIGH )
    {
      while(digitalRead(tarriba)== HIGH && digitalRead(sabajo)== LOW)
      {
        digitalWrite(bomba, LOW);
      }

      digitalWrite(bomba, HIGH);
    }
    if(digitalRead(marriba)== HIGH && digitalRead(mabajo)== HIGH )
    {
      while(digitalRead(marriba)== HIGH && digitalRead(tabajo)== LOW)
      {
        digitalWrite(motor, LOW);
      }
      digitalWrite(motor, HIGH);
    }
  }
}

```

Fotos de placa Arduino conectada a la corriente.

(o) Imagen 5.15 conexiones en protoboard.

(p) Imagen 5.16 conexión de protoboard a regulador de voltaje.



(o)

(p)

#### 5.4 FOTOS

Fotos complementarias.

(q) Imagen 5.17 vista aérea de ubicación bomba centrífuga.

(r) Imagen 5.18 instalación de esqueleto en cisterna.

(s) Imagen 5.19 medición en tinaco de distribución.

(t) Imagen 5.20 armado de sensor de nivel de esqueleto.

(u) Imagen 5.21 unión tubo tuboplus.

(v) Imagen 5.22 unión de sensor de nivel con esqueleto tuboplus.

(x) Imagen 5.23 instalación eléctrica en tinaco mezanine.

(y) Imagen 5.24 soldadura de cobre para tubería de electroválvula.

(z) Imagen 5.25 vista de instalación eléctrica en tinaco mezanine.

(I) Imagen 5.26 vista tinaco mezanine y tinaco de distribución.

(II) Imagen 5.27 vista recorrido de instalación eléctrica.

(III) Imagen 5.28 vista recorrido de instalación eléctrica.

(IV) Imagen 5.29 instalación de bomba centrífuga en tinaco mezanine.

(V) Imagen 5.30 esqueleto de sensores de nivel en cisterna.

(VI) Imagen 5.31 vista recorrido de instalación eléctrica.

(VII) Imagen 5.32 vista de instalación eléctrica hacia tableta Arduino.

(VIII) Imagen 5.33 vista recorrido de instalación eléctrica.

(IX) Imagen 5.34 vista pasillo a tableta Arduino.

(X) Imagen 5.35 vista pasillo a tableta Arduino.

(XI) Imagen 5.36 vista conexiones tableta Arduino.

(XII) Imagen 5.37 vista llenado de tinaco de distribución.



(q)



(r)



(s)



(t)



(u)



(v)



(x)



(y)



(z)



(I)



(II)



(III)



(IV)



(V)



(VI)



(VII)



(VIII)



(IX)



(X)



(XI)



(XII)

## CAPITULO 6 COSTO Y BENEFICIOS

### 6.1 COSTO DEL PROYECTO

Cuando se ejecuta cualquier proyecto se entiende por presupuesto de una obra o proyecto la evaluación previa del capital necesario para la realización del mismo. Para realizar esa evaluación varía dependiendo de la función que se quiera llevar a cabo con determinado proyecto. Cuando únicamente solo se necesita puntualizar si el coste de cualquier proyecto, o bien si existen posibilidades para su ejecución, es suficiente con tener un presupuesto aproximado.

A continuación, se muestra la tabla con los costos del material ocupado para la realización del proyecto, así como el costo total.

Material	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tubo Conduit PVC 19 mm	10	\$ 24.50	\$ 245.00
Curvas Conduit 19 mm	25	\$ 4.40	\$ 110.00
Pegamento PVC	1	\$ 95.00	\$ 95.00
Limpiador PVC	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Lija plomero	1	\$ 22.50	\$ 22.50
Caja rectangular	5	\$ 72.00	\$ 360.00
Cinta aislante	1	\$ 13.50	\$ 13.50
Uña Conduit	25	\$ 1.90	\$ 47.50
Tapa ciega	5	\$ 35.00	\$ 175.00
Conector Conduit	14	\$ 3.29	\$ 46.06
Codo cobre tipo m 13 mm	1	\$ 11.00	\$ 11.00
Tubo cobre tipo m 13 mm	1	\$ 69.00	\$ 69.00
Tee cobre tipo m 13 mm	1	\$ 8.50	\$ 8.50
Codo cobre 90° tipo m 13 mm	1	\$ 5.00	\$ 5.00
Conector cobre tipo m 13 mm	2	\$ 10.00	\$ 20.00
Cinta teflón	1	\$ 4.90	\$ 4.90
Cordón calibre 20 AWG 100 mts	3	\$ 362.00	\$ 1086.00
Electroválvula 12V	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Relevadores Arduino	2	\$ 90.00	\$ 180.00
Sensores de nivel Arduino	5	\$ 30	\$ 150.00
Tarjeta Arduino mega	1	\$ 1000.00	\$ 1000.00
Protoboard	1	\$ 120.70	\$ 120.70
Cables DuPont 80 piezas	1	\$ 85.35	\$ 85.35
Gasto total	-----	-----	3920.01

Tabla 6.1 costos de proyecto.

## 6.2 BENEFICIOS DEL PROYECTO

### 6.2.1 BENEFICIOS SOCIALES

Son aquellos que mejoran un proyecto o la calidad de un servicio en cuanto a distribución y suministro de agua potable que impactan sensiblemente en la calidad de vida de las personas las cuales son dichosas de utilizarlo.

Cuando se logra proteger la bomba y asegurar que no habrá fuga en los tinacos de distribución y en el tinaco del mezanine, con los sensores de nivel se verifica que la bomba está en buen funcionamiento y que el fluido que succiona la bomba es el que entrega.

### 6.2.2 BENEFICIOS TÉCNICOS

Estos son los que hablan acerca de los materiales empleados y su funcionamiento estos abarcan lo concerniente a las instalaciones y equipo necesario para la extracción y distribución del fluido.

Al momento de elegir el material tubo plus del fabricante Rotoplas, se dio a la tarea de conocer que este material por su unión de termofusión es lo que necesitamos para cuidar el circuito eléctrico que irá dentro de los tinacos y la cisterna. Para el recubrimiento por fuera del material se utiliza tubo Conduit de PVC (cloruro de polivinilo).

Esta selección de materiales se puede hacer desde el proyecto, en donde son calculados y definidos los diámetros requeridos de la tubería, o bien en el curso de la construcción del mismo.

### 6.2.3 BENEFICIOS ECONÓMICOS

Son aquellos en los que se mencionan los costos de operación y mantenimiento del equipo e instalaciones propuestas en el proyecto. Cabe destacar que se utilizó tubo de cobre en la instalación

hidráulica y tubo plus para el sistema de control, pudiendo utilizar tubo de PVC ó CPVC, debido a sus mejores condiciones ya que el tubo plus tiene características especiales, al momento de unirlos, se unen por termofusión, haciendo así una excelente unión y evitar fugas de agua al interior del tubo para así proteger el sistema eléctrico que circula en el interior de los tubos tubo plus los cuales conectan los sensores de nivel con Arduino. Asimismo, la tubería de cobre no presenta ningún inconveniente ya que es usada únicamente para conducción de materiales no corrosivos como es el agua potable y la tubería de cobre no requiere de ningún mantenimiento y dura prácticamente toda la vida.

## CAPITULO 7 COMENTARIOS FINALES

AL finalizar este proyecto, se concluye que el objetivo inicial se cumplió de manera efectiva, el proyecto cumple con su función de controlar el llenado de flujo de los tinacos accionando correctamente la electroválvula de control.

Conforme la realización del trabajo profesional se tuvieron varios retos en los cuales se demostró que con lo aprendido durante toda la carrera de ingeniería mecánica y eléctrica se pudo concluir el proyecto y se reforzaron los conocimientos técnicos obtenidos durante la misma.

Al paso del proyecto se tuvieron que realizar modificaciones que así permitieron concluir adecuadamente el proyecto, además, se espera que este trabajo profesional elaborado con gran esfuerzo sea de utilidad en un futuro para compañeros de carrera o en carrera afín que estén interesados en las instalaciones hidráulicas, o en el estudio de mecánica de fluidos y claro está, que sientan un amor profundo por su carrera y por la ingeniería en general.

## ANEXO

	Densidad $\rho$		Peso específico $\gamma$		Gravedad específica $S$
	kg/m <sup>3</sup>	slug/ft <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	
Aire	1.23	0.0024	12.1	0.077	0.00123
Agua	1000	1.94	9810	62.4	1

Tabla de densidad, peso específico y gravedad específica de aire y agua en condiciones estandar, cortesía de Mecánica de fluidos Merle c. Potter, sexta edición.

Temperatura (°C)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Peso específico $\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	Viscosidad $\mu$ (N · s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Módulo volumétrico $E_v$ (Pa)	Tensión superficial $\sigma_s$ (N/m)	Presión del vapor (kPa)
0	999.9	9800	$1.792 \times 10^{-3}$	$1.792 \times 10^{-6}$	$204 \times 10^7$	$7.62 \times 10^{-2}$	0.610
5	1000.0	9810	1.519	1.519	206	7.54	0.872
10	999.7	9807	1.308	1.308	211	7.48	1.13
15	999.1	9801	1.140	1.141	214	7.41	1.60
20	998.2	9792	1.005	1.007	220	7.36	2.34
30	995.7	9768	0.801	0.804	223	7.18	4.24
40	992.2	9733	0.656	0.661	227	7.01	7.38
50	988.1	9693	0.549	0.556	230	6.82	12.3
60	983.2	9645	0.469	0.477	228	6.68	19.9
70	977.8	9592	0.406	0.415	225	6.50	31.2
80	971.8	9533	0.357	0.367	221	6.30	47.3
90	965.3	9470	0.317	0.328	216	6.12	70.1
100	958.4	9402	$0.284 \times 10^{-3}$	$0.296 \times 10^{-6}$	$207 \times 10^7$	$5.94 \times 10^{-2}$	101.3

Tabla de propiedades del agua (sistema ingles), cortesía de Mecánica de fluidos Merle c. Potter, sexta edición.

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-6}$
Tubo extruido; cobre, latón y acero	$1.5 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$	$6.0 \times 10^{-3}$

Tala de valores de diseño de la rugosidad de tubos, cortesía de Mecánica de fluidos Robert L. Mott, sexta edición.

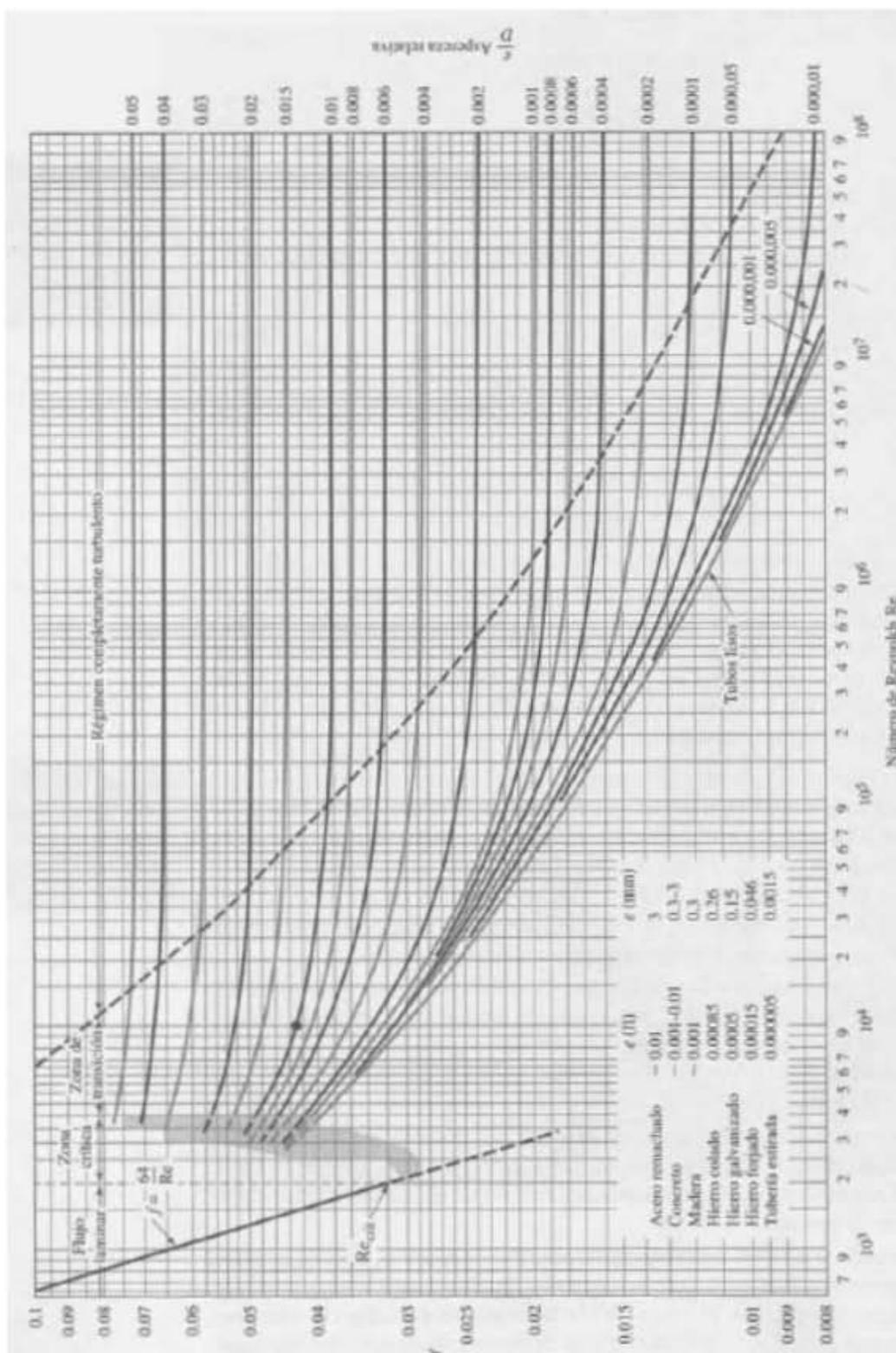


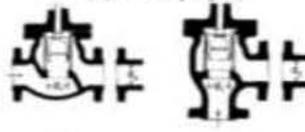
Diagrama de Moody, cortesía de Mecánica de fluidos Merle c. Potter, sexta edición.

**VÁLVULAS DE COMPUERTA**  
De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



Si:  $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 8 f_T$   
 $\beta < 1$  y  $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 5}$   
 $\beta < 1$  y  $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 6}$

**VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE**  
(Tipos recto y angular)



Si:  $\beta = 1 \dots \dots \dots K_1 = 400 f_T$       Si:  $\beta = 1 \dots \dots \dots K_1 = 200 f_T$   
 $\beta < 1 \dots \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$        $\beta < 1 \dots \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad crítica en la tubería para levantar totalmente el obturador  
 $v = \sqrt{g} = 70 \beta \sqrt{V}$       Velocidad crítica en la tubería para levantar totalmente el obturador  
 $v = \sqrt{g} = 95 \beta \sqrt{V}$

**VÁLVULAS DE GLOBO**



Si:  $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 3 f_T$   
 $\beta < 1$  y  $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 5}$   
 $\beta < 1$  y  $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_1 = \text{Fórmula 6}$

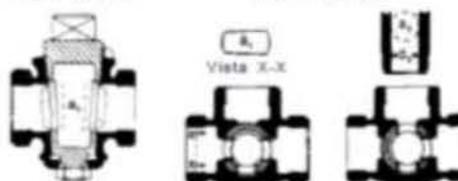
**VÁLVULAS DE MARIPOSA**



Díametro 50 mm (2") a 200 mm (8") .....  $K = 45 f_T$   
 Díametro 250 mm (10") a 350 mm (14") ...  $K = 35 f_T$   
 Díametro 400 mm (16") a 600 mm (24") ..  $K = 25 f_T$

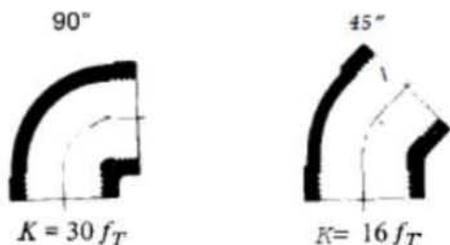
**VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES**

Paso directo      tres entradas



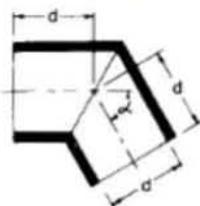
Si:  $\beta = 1, K_1 = 18 f_T$       Si:  $\beta = 1, K_1 = 30 f_T$       Si:  $\beta = 1, K_1 = 90 f_T$   
 Si:  $\beta < 1, K_1 = \text{Fórmula 6}$

**CODOS ESTÁNDAR**



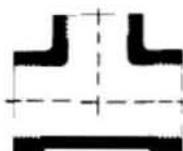
$K = 30 f_T$        $K = 16 f_T$

**CURVAS EN ESCUADRA O FALSA ESCUADRA**



$\omega$	$K$
0°	$2 f_T$
15°	$4 f_T$
30°	$8 f_T$
45°	$15 f_T$
60°	$25 f_T$
75°	$40 f_T$
90°	$60 f_T$

**CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"**



Flujo directo .....  $K = 20 f_T$   
 Flujo desviado a  $90^\circ$  ..  $K = 60 f_T$

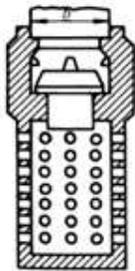
Coeficientes de resistencias para válvulas y accesorios, cortesía de. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías División de Ingeniería de CRANE, primera edición.

Contracción general	(ángulo de 30° incluido)	0.02
	(ángulo de 70° incluido)	0.07

Pérdidas localizadas en un estrechamiento gradual de sección, cortesía de Mecánica de fluidos Merle c. Potter, sexta edición.

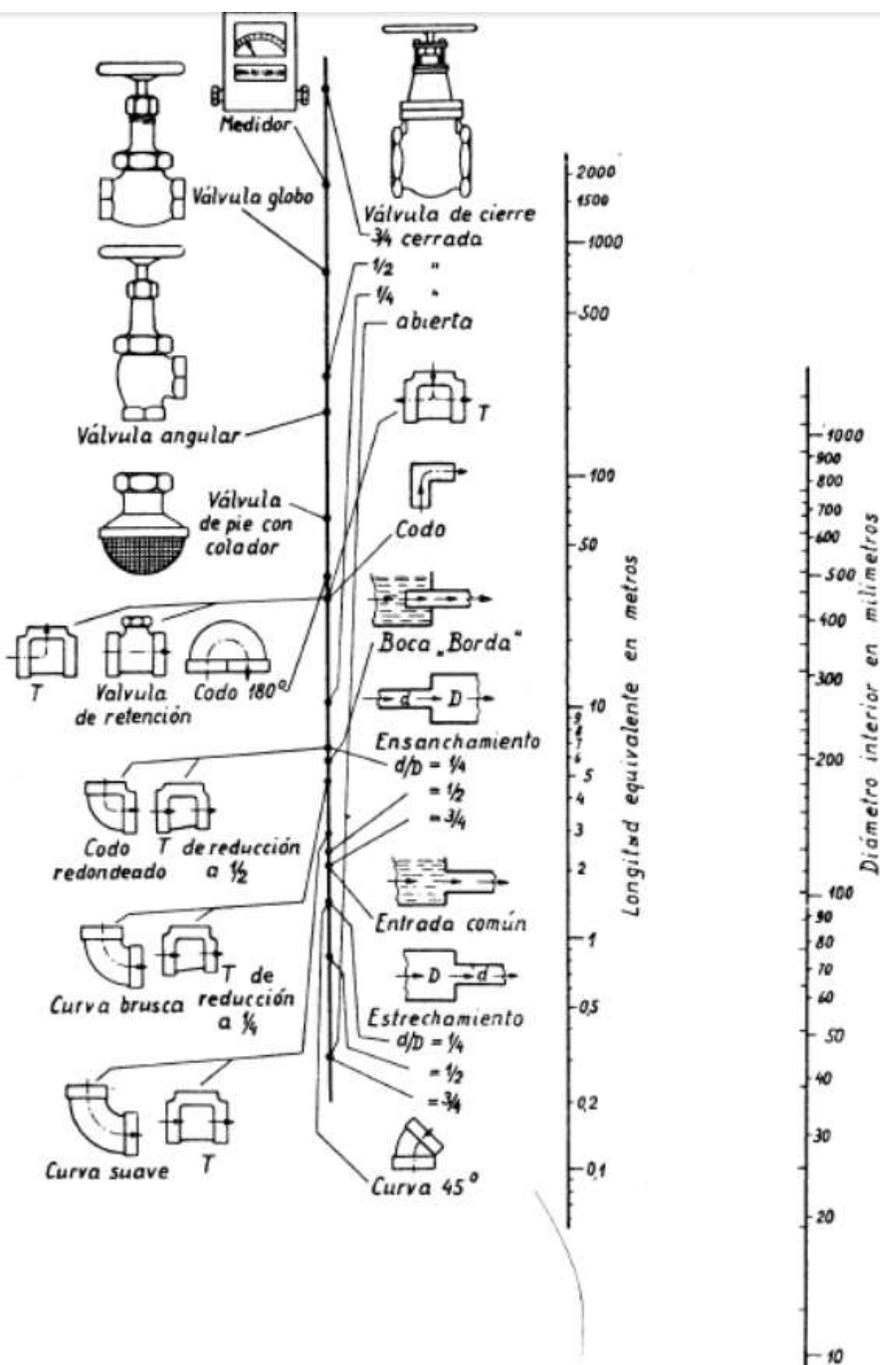
El coeficiente  $\lambda$  se toma de la tabla siguiente

$\varphi$	5°	10°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°	65°	70°	90°
$\lambda$	—	5,25	3,10	2,40	2,10	2,0	1,85	1,80	1,55	1,2	—	$\infty$

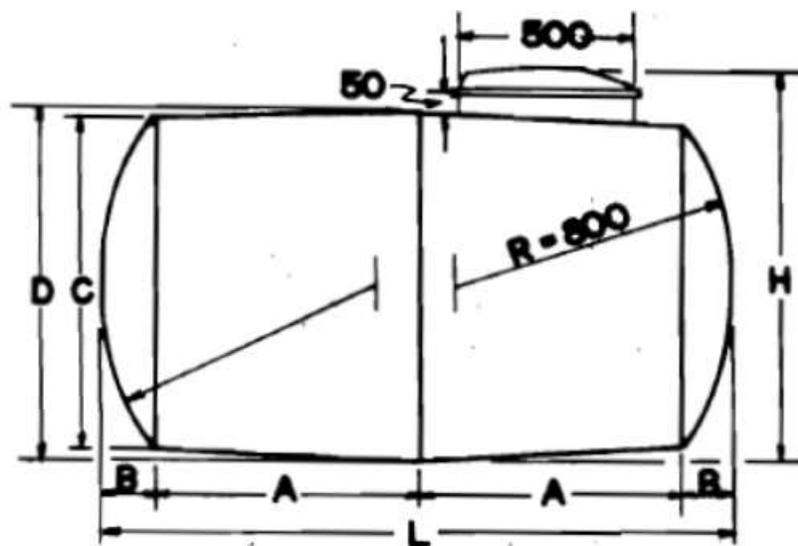


*Válvula de pie con alcachofa.*

válvula de pie con alcachofa, cortesía de Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas Claudio Mataix, segunda edición.



Nomograma de pérdida de carga secundaria de la firma Gould Pumps. U.S.A., en accesorios de tubería para agua, cortesía de Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas Claudio Mataix, segunda edición.



### TINACOS HORIZONTALES

CAP.	PESO	A	B	C	D	L	H
700	80	700	108	730	836	1016	936
1000	100	750	158	916	1016	1816	1116
1600							

MEDIDAS EN MM. PESO EN KGS.

Dimensiones de tinacos horizontales, cortesía de Datos prácticos e instalaciones hidráulica y sanitarias, Ing. Becerril L Diego Onésimo, segunda edición.

## REFERENCIAS

- [1] Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos. Pearson educación.
- [2] Bruce, R. M., DONALD, F. Y., & THEODORE, H. O. (1999). Fundamentos de Mecánica de fluidos. México. Ed Limusa SA.
- [3] RUIZ, P. R. (2001). Abastecimiento de agua.
- [4] Mataix, C. M., Giles, R. V. E., LIU, J. B., CHENG MONEVA MONEVA, J. A. I. M. E., Ranald, T. R.,
- [5] OLIVARES MORALES, D. A. V. I. D. (2008). CALCULO Y SELECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO PARA EL SUMINISTRO DE AGUA AL EDIFICIO DE INTERES SOCIAL UBICADO EN AVENIDA ERMITA IZTAPALAPA NO. 128 COL. XALPA DELEGACION IZTAPALA, DF (Doctoral dissertation).
- [6] Zubicaray, M. V. (2005). Bombas: teoría, diseño y aplicaciones. Editorial Limusa.
- [7] Giles, J. B. E., ... & Facorro Ruiz, L. A. (1982). Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Oxford University Press.
- [8] Crane. División de ingeniería. (1987). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías.
- [9] McNaughton, K. J. (1988). Bombas selección, uso y mantenimiento (No. 621.67 M3y).
- [10] Hicks, T. G. (1961). Bombas: su selección y aplicación (No. TJ900. H52 1963.). Continental.
- [11] Soisson, H. E. (1980). Instrumentación industrial. Limusa.
- [12] Marínez, A., David, J., & Peláez Marín, R. (2016). Diseño de tanques automatizados para la reserva de aguas lluvias (Bachelor's thesis, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira).
- [13] Artero, Ó. T. (2013). Arduino: curso práctico de formación. RC Libros.
- [14] Liponis, M. (2008). Ultralongevidad. Editorial Norma.
- [10] 3 Potter, M. C. W., David, C., & Navarro Salas, R. (2002). Mecánica de fluidos.

## BIBLIOGRAFIA

Duarte, C. A., & Niño, J. R. (2004). Introducción a la mecánica de fluidos. Univ. Nacional de Colombia.

Ortíz, J. E. D. (2006). Mecánica de los fluidos e hidráulica. Universidad del valle.

Prats, A. G., & Jordán, R. C. (2012). Fundamentos de mecánica de fluidos. Editorial Universitat Politècnica de València.

Streeter, V. L., Wylie, E. B., Bedford, K. W., & Saldarriaga, J. G. (1963). Mecánica de los fluidos (No. QA901. S87 1971.). Ediciones del Castillo.

-[https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Trans\\_hidr/Tema8.PDF](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF).