

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**Plan de Investigación de fin de carrera titulado:**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK”**

**Realizado por:**

**GERMAN JOAHAN GARCIA RAMOS**

**Director del proyecto:**

**Ing. ANA LUCIA RODRIGUEZ**

**Como requisito para la obtención del título de:**

**INGENIERO QUIMICO INDUSTRIAL**

**AÑO 2013 - 2014**

## DECLARACION JURAMENTADA

Yo, GERMÁN JOAHÁN GARCÍA RAMOS, con cédula de identidad #040124605-3, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por normativa institucional vigente.



Germán Joahán García Ramos

C.C.: 040124605-3

## DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK”**

Realizado por:

**JOAHÁN GERMÁN GARCÍA RAMOS**

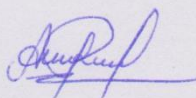
Como requisito para la obtención del Título de:

**INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL**

Ha sido dirigido por el/la Profesor (a)

**Ing. ANA LUCIA RODRIGUEZ**

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Ing. ANA LUCIA RODRIGUEZ

DIRECTOR (A)

**LOS PROFESORES INFORMANTES**

Ms.C. ORLANDO FELICITA

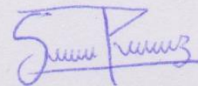
Ms.C. SULY RODRIGUEZ

Después de revisar el trabajo presentado por el alumno JOAHÁN  
GERMÁN GARCÍA RAMOS

Lo han calificado como apto para su defensa ante el tribunal examinador



Ms.C. ORLANDO FELICITA



Ms.C. SULY RODRIGUEZ

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de fin de carrera a mis padres Germán y Miriam por su fortaleza, su apoyo incondicional, y amor hacia mi persona; a mi retoño Isaac por ser mi motor de existencia, a mis hermanos Cris y Yaha por darme la fuerza para seguir adelante; a mi novia Debie, esta tesis la sufrimos juntos gracias amor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento más profundo para Dios y la Virgen por sus bendiciones a lo largo de mi vida, nunca me dejan solo.

A mis padres por brindarme un hogar muy unido y lleno de amor, son los pilares en mi vida y ejemplo a seguir, a mi doctorcita Yaha por ser como mi segunda madre, Cris mi mejor amigo por siempre, me han dado todo lo que soy como persona.

A mi tutora Ana Rodríguez por su dedicación y apoyo para llevar a cabo este proyecto, su espíritu desinteresado hacia sus alumnos es el claro ejemplo que: “Antes que ser Ingenieros/as tenemos que aprender a ser personas”.

Ing Orlando Felicita e Ing. Suly Rodríguez íntegros profesionales, un agradecimiento especial por su colaboración, su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

Agradezco a mis amigos que formaron parte de mi vida estudiantil Antonio, Gino, Felipe, Gabriel, Andrés, Fernando, Danilo, Iván, Sole, Dani, Gaby, Dianita, Mary, Rakke y Ale los momentos vividos los recordaré por siempre, gracias por formar parte de mi vida.

Joahán García Ramos

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

m	Metro
P	Presión (psi)
F	Fuerza ejercida por el área
A	Área transversal (m <sup>2</sup> )
$\frac{L}{h}$	Litro por hora
<i>spgr</i>	Densidad relativa
$P_s$	Presión de succión
$\frac{d\mu}{dy}$	Gradiente de velocidad
$\mu$	Viscosidad absoluta
$\eta$	Viscosidad del fluido
$\tau$	Esfuerzo de corte
Y	Velocidad de corte
$P_s$	Presión de succión
Z	Altura
$\sum h_{TOTAL}$	Pérdidas por fricción
$P_d$	Presión de descarga (psi)
$P_{RD}$	Presión de recipiente de descarga (psi)
$\sum h_{TOTAL}$	Pérdidas totales (m)
Q	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
$D_i$	Diámetro interno de tubería (mm)
$P_{Shut\ off}$	Presión de Shut off (psi)
$P_{atm}$	Presión atmosférica (psi)
$P_h$	Potencia hidráulica (Hp)
$\Delta P$	Variación de presión
m	Masa (kg)
V =	Volumen (m <sup>3</sup> , L).

$\gamma$	Peso específico
$E_c$	Energía cinética
$E_{total}$	Energía de elevación
$\rho_r$	Densidad relativa
$h_G$	Pérdida por fricción (m, lb-pie/lb o pies)
$L$	Longitud del trayecto del flujo
$v$	Velocidad media del flujo del fluido (m/s o pies/s)
$f$	Factor de fricción
$h_L$	Pérdidas menores o secundarias
$\emptyset$	Viscosidad cinemática
$K$	Coefficiente de resistencia
$g$	Gravedad (m/s <sup>2</sup> )
$Q_v$	Cabeza del sistema de bombeo
$Q_v$	Caudal volumétrico
$C_d$	Coefficiente de descarga
$\frac{m^3}{s}$	Metro cúbico por segundo
$Re$	Número de Reynolds
$\rho$	Densidad
$HP$	Caballos de fuerza
$(NPSH)_D$	Altura neta positiva de succión
$kPa$	Kilopascal
$kw$	Kilovatio
$\frac{lbf}{ft^3}$	Libra fuerza por pie cúbico
$\frac{lb}{pulg^2}$	Libra pulgada cuadrada
$\frac{N}{m^2}$	Pascal
$g$	Gramos
Psi	Libra pulgada cuadrada
N	Newton



NPSH	Carga neta positiva de succión
ON	Encendido
OFF	Apagado
S.A.M.A	Asociación de fabricantes de aparatos científicos
I.S.A	Sociedad de instrumentistas de América
A.S.M.E	Sociedad americana de ingenieros mecánicos
I.E.E.E	Instituto de ingenieros electrónicos y eléctricos
A.N.S.I	Instituto nacional americano de medidas

# INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1.1.1. Diagnóstico del problema .....	1
1.1.1.2. Pronóstico .....	2
1.1.1.3. Control de pronóstico .....	2
1.1.1.4. Formulación del problema .....	2
1.1.2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.1.3. OBJETIVO GENERAL .....	3
1.1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.1.5. JUSTIFICACIONES .....	4
1.2. MARCO TEÓRICO .....	4
1.2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA .....	4
1.2.2. ADOPCIÓN DE UNA PERSPECTIVA TEÓRICA .....	5
1.2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	6
1.2.3.1. Fluidos .....	6
1.2.3.1.1. Propiedades de los fluidos .....	6
1.2.3.1.2. Condiciones de flujo .....	9
1.2.3.2. Caudal .....	13
1.2.3.3. Ecuaciones básicas para flujo en tuberías .....	14
1.2.3.3.1. Número de Reynolds .....	14
1.2.3.3.2. Ecuación general de conservación de la energía .....	16
1.2.3.4. Pérdidas de energía en un sistema hidráulico .....	17
1.2.3.4.1. Pérdidas por fricción .....	17
1.2.3.4.1.1. Ecuación de Darcy-Weisbach .....	18
1.2.3.4.1.2. Factor de fricción ( $f$ ) .....	19
1.2.3.4.1.3. Diagrama de Moody .....	20
1.2.3.4.2. Pérdidas menores .....	21
1.2.3.5. Banco de pruebas .....	21
1.2.3.6. Sistemas de bombeo .....	22
1.2.3.6.1. Terminología en el sistema de bombeo .....	22
1.2.3.7. Clasificación de bombas hidráulicas .....	24
1.2.3.8. Potencia hidráulica (PU) .....	28

1.2.3.9. Formas de conexión de las bombas.....	30
1.2.3.10. Cebado de una bomba.....	32
1.2.3.11. Curvas características de una bomba.....	33
1.2.3.12. Cavitación.....	34
1.2.3.13. Carga de succión.....	35
1.2.3.14. Tipos de válvulas.....	36
1.2.4. HIPÓTESIS.....	37
CAPÍTULO II.....	38
MÉTODO.....	38
2.1. TIPO DE MÉTODO.....	38
2.2. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION.....	39
2.2.1. Experimentación:.....	39
2.2.2. Pruebas Piloto:.....	39
2.3. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS.....	39
2.4. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	40
2.5. RECURSOS MATERIALES Y TÉCNICOS.....	40
2.5.1. Equipos.....	40
2.5.2. Materiales.....	40
CAPÍTULO III.....	42
RESULTADOS.....	42
3.1. DISEÑO – CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS.....	42
3.1.1. Generalidades.....	42
3.1.1.1. Sistema de tuberías para Bomba N°1 - centrífuga PEDROLLO modelo PKm60-1	43
3.1.1.2. Sistema de tuberías para Bomba N°2 periférica TRUPER de 186W – 1/4HP..	43
3.1.2. Selección de fluidos.....	47
3.1.3. Uniones y accesorios del banco de pruebas.....	47
3.1.3.1. Accesorios -Tramo 1.....	47
3.1.3.2. Tramo 2.....	48
3.1.3.3. Tramo 3.....	48
3.1.3.4. Tramo 4.....	49
3.1.3.5. Tramo 5.....	50
3.1.4. Montaje de banco de pruebas.....	51
3.1.5. Cálculos.....	52
3.1.5.1. Cálculo de velocidad, número de Reynolds, factor de fricción para bomba N°152	
3.1.5.1.1. Cálculos para tramo 1.....	52
3.1.5.1.2. Cálculos para tramo 2.....	55
3.1.5.1.3. Cálculos para Tramo 3.....	56

3.1.5.1.4.	Cálculos para Tramo 4 .....	57
3.1.5.1.5.	Cálculos para Tramo 5 .....	58
3.1.5.2.	Cálculo de velocidad, número de Reynolds, factor de fricción para bomba N°259	
3.1.5.2.1.	Cálculos para tramo 6 .....	59
3.1.5.2.2.	Cálculo para el tramo 7 .....	61
3.1.5.2.3.	Cálculos para tramo 8 .....	61
3.1.5.2.4.	Cálculos para el tramo 9 .....	62
3.1.5.2.5.	Cálculos para el tramo 10 .....	62
3.1.5.3.	Cálculo de pérdidas por fricción .....	62
3.1.5.3.1.	Bomba PEDROLLO PKm-060-1 .....	62
3.1.5.3.1.1.	Pérdidas por fricción para tramo 1 .....	63
3.1.5.3.1.2.	Pérdidas por fricción para tramo 2 .....	63
3.1.5.3.1.3.	Pérdidas por fricción para tramo 3 .....	63
3.1.5.3.1.4.	Pérdidas por fricción para tramo 4 .....	64
3.1.5.3.1.5.	Pérdidas por fricción para tramo 5 .....	64
3.1.5.3.1.6.	Pérdidas por fricción totales para BOMBA PEDROLLO .....	64
3.1.5.3.2.	Pérdidas por fricción para Bomba N°2 TRUPER .....	64
3.1.5.3.2.1.	Pérdidas por fricción para tramo 6 .....	64
3.1.5.3.2.2.	Pérdidas por fricción para tramo 7 .....	65
3.1.5.3.2.3.	Pérdidas por fricción para tramo 8 .....	65
3.1.5.3.2.4.	Pérdidas por fricción para tramo 9 .....	65
3.1.5.3.2.5.	Pérdidas por fricción para tramo 10 .....	66
3.1.5.3.2.6.	Pérdidas por fricción totales para BOMBA TRUPER .....	66
3.1.5.4.	Cálculo de pérdidas por accesorios en tuberías lisas .....	66
3.1.5.4.1.	Cálculo del Coeficiente “K” en accesorios utilizados .....	66
3.1.5.4.1.1.	Codo HH .....	66
3.1.5.4.1.2.	Unión Tee .....	67
3.1.5.4.1.3.	Reductor .....	67
3.1.5.4.1.4.	Niple - 6cm corrido .....	69
3.1.5.4.1.5.	Unión universal .....	69
3.1.5.4.1.6.	Adaptador para tanque c/junta .....	70
3.1.5.4.2.	Pérdidas secundarias bomba 1 – PEDROLLO .....	71
3.1.5.4.2.1.	Pérdidas menores para tramo 1 .....	71
3.1.5.4.2.2.	Pérdidas menores para tramo 2 .....	72
3.1.5.4.2.3.	Pérdidas menores para tramo 3 .....	72
3.1.5.4.2.4.	Pérdidas menores para tramo 4 .....	73
3.1.5.4.2.5.	Pérdidas menores para tramo 5 .....	73
3.1.5.4.2.6.	Pérdidas menores para BOMBA PEDROLLO .....	74

3.1.5.4.3.	Pérdidas secundarias bomba 2 – TRUPER.....	74
3.1.5.4.3.1.	Pérdidas menores para tramo 6 .....	74
3.1.5.4.3.2.	Pérdidas menores para tramo 7 .....	74
3.1.5.4.3.3.	Pérdidas menores para tramo 8 .....	75
3.1.5.4.3.4.	Pérdidas menores para tramo 9 .....	75
3.1.5.4.3.5.	Pérdidas menores para tramo 10.....	76
3.1.5.4.3.6.	Cálculo Pérdidas menores totales para BOMBA TRUPER.....	77
3.1.5.4.3.7.	Cálculo para las pérdidas totales para bomba 1 - PEDROLLO .....	77
3.1.5.4.3.8.	Cálculo para las pérdidas totales para bomba 2 - TRUPER.....	77
3.1.6.	Cálculo de presión de succión para bomba 1 y bomba 2.....	77
3.1.7.	Cálculo de presión de descarga para bomba 1 PEDROLLO pkm 60-1 .....	80
3.1.7.1.	Cálculo para altura Z.....	81
3.1.7.2.	Cálculo de pérdidas totales de bomba 1:.....	81
3.1.8.	Cálculo de presión de descarga para bomba n°2 TRUPER .....	82
3.1.9.	Cálculo de potencia hidráulica bomba n°1 PEDROLLO.....	83
3.1.10.	Cálculo de potencia hidráulica bomba n°2 TRUPER .....	84
3.1.11.	Cálculo de la presión de SHUT OFF .....	85
CAPÍTULO IV .....		88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		88
4.1.	CONCLUSIONES .....	88
4.2.	RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....		92
ANEXOS.....		94
ANEXO-1: Ficha técnica Bomba PEDROLLO Kkm 60-1 .....		94
ANEXO-1.1: Curva de funcionamiento a n= 2900 L/m .....		95
ANEXO-1.2: Tabla de dimensiones .....		95
Anexo – 1.2: Ficha técnica Bomba TRUPER.....		96
ANEXO – 3: Propiedades Físicas del Agua.....		98
ANEXO – 4: Tabla de pérdidas por cada 100 metros lineales de tubería.....		99

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Régimen de flujo por Reynolds .....	15
Tabla 2: Mediciones y equipos para realizar curvas características de una bomba .....	33
Tabla 3: Especificaciones para cada diámetro de tubería .....	44
Tabla 4: Accesorios instalados en tramo 1 .....	48
Tabla 5: Accesorios instalados en tramo 2.....	48
Tabla 6: Accesorios instalados en tramo 3.....	49
Tabla 7: Accesorios instalados en tramo 4.....	50
Tabla 8: Accesorios instalados en tramo 4.....	50
Tabla 9: Cálculo del coeficiente k para tramo 1.....	71
Tabla 10: Cálculo del coeficiente k para tramo 2.....	72
Tabla 11: Cálculo del coeficiente k para tramo 3.....	72
Tabla 12: Cálculo del coeficiente k para tramo 4.....	73
Tabla 13: Cálculo del coeficiente k para tramo 4.....	73
Tabla 14: Cálculo del coeficiente k para tramo 6.....	74
Tabla 15: Cálculo del coeficiente k para tramo 7.....	75
Tabla 16: Cálculo del coeficiente k para tramo 8.....	75
Tabla 17: Cálculo del coeficiente k para tramo 9.....	76
Tabla 18: Cálculo del coeficiente k para tramo 10.....	76

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Régimen de flujo por Reynolds .....	15
Gráfico 2 - Dirección del signo de pérdidas en la carga .....	18
Gráfico 3 - La cabeza a través de una bomba .....	24
Gráfico 4. Bombas periféricas.....	26
Gráfico 5 - Elementos de bomba centrífuga.....	27
Gráfico 6 - Bomba centrífuga PEDROLLO.....	28
Gráfico 7 - Conexión de bombas en serie .....	31
Gráfico 8 - Conexión de bombas en paralelo .....	32
Gráfico 9 - Efecto de la Cavitación en una bomba centrífuga .....	35
Gráfico 10 - Válvula de bola .....	37
Gráfico 11 - Diagrama de Equipo bomba N.1 .....	45
Gráfico 12 - Diagrama Equipo Bomba N. 2.....	46
Gráfico 13 - Accesorios Tramo 1 .....	47
Gráfico 14 - Accesorios tramo 2 .....	48
Gráfico 15 - Accesorios tramo 3 .....	49
Gráfico 16 - Accesorios tramo 4 .....	49
Gráfico 17 - Accesorio tramo 5.....	50
Gráfico 18 - Accesorios para bomba N.2.....	51
Gráfico 19 - Codo HH 90° .....	67
Gráfico 20 - Unión Tee .....	67
Gráfico 21 - Reductor HH.....	68
Gráfico 22 - Niple - 6cm corrido.....	69
Gráfico 23 - Unión universal.....	70
Gráfico 24 - Adaptador para tanque c/junta. ....	70
Gráfico 25 - Tramo de succión.....	79
Gráfico 26 - Altura del sistema .....	81
Gráfico 27 - Tramo de succión del sistema.....	86

## **RESUMEN**

El presente trabajo se realizó con la finalidad de diseñar y construir un banco de pruebas para el Laboratorio de operaciones unitarias de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK. El equipo consta de dos tipos diferentes de bombas monofásicas: la primera bomba centrífuga de 1/2Hp y la segunda bomba periférica 1/4Hp. La succión de las dos bombas va acoplado a tubería de 1" de diámetro respectivamente, instalado a un tanque de polipropileno de 50L de capacidad, posterior a esto, se instaló sistemas de tuberías en PVC cédula 80 con diferentes diámetros. Se acoplaron varios accesorios: niples, Teé, uniones universales, codos, reductores, y finalmente manómetros de 0-100 psi para medir las presiones en cada tramo. El sistema consta de una línea de recirculación adicionalmente. El fluido seleccionado fue agua a temperatura ambiente, en vista que las bombas antes mencionadas no trabajan con fluidos más viscosos. Se diseñó el flujo del fluido en forma de serpentín para darle mayor versatilidad al equipo al tener diversos diámetros de tubería y facilitar su desmontaje para el mantenimiento. Debido a que la finalidad de este equipo es de uso didáctico, el equipo permite medir; el caudal, la presión, pérdidas por fricción, pérdidas secundarias o menores, potencia de la bomba y presión de Shut off.

Las pruebas experimentales se realizaron calculando el caudal en función del tiempo, luego con la medición de la presión en cada tramo se calculó las pérdidas del sistema, con los datos obtenidos se concluyó que la bomba centrífuga en vista que posee mayor potencia, existen menos pérdidas en su sistema de tuberías. Se puede concluir que el uso de este equipo ayudará eficientemente en el aprendizaje de la cátedra de mecánica de fluidos.

**Descriptor:** *bombas hidráulicas, transporte de fluidos, pérdidas del sistema.*



## ABSTRACT

This work was carried out with the aim to design and build a test bench for the unit operations Laboratory of the Faculty of Environmental Sciences at the UISEK. The apparatus consists of two different types of pumps monophasic: the first centrifugal pump 1/2Hp and the second pump peripheral 14HP. The sucking line of the two pumps is attached to 1" diameter respectively installed a tank of polypropylene capacity of 50L, after this, was installed piping systems in PVC document 80 with different diameters. Various accessories were coupled: nipples, tee, universal coupling, elbows reducers and finally pressure gauge of 0-100PSI to measure pressures within each tier. The system consists of a recirculation line additionally. The selected fluid was water at ambient temperature, given that the above pumps do not work with more viscous fluids. In design the flows of the fluid in the form of coil to give more versatility to the apparatus have various pipe diameters and facilitate disassembly for maintenance. Because the purpose of this team is didactic use, equipment to measure; flow, pressure, friction loss, secondary or minor losses, pump power and finally Shut off pressure.

Experimental tests were performed by calculating the flow rate with time after the measurement of the pressure in each stage the loss of the system, with the data obtained is calculated is found that the centrifugal pump in view that has a higher power, there are fewer losses in your plumbing system. It can be concluded that the use of this equipment will help in learning efficiently professor of fluid mechanics.

Descriptors: *hydraulic pumps, fluid transport, system losses.*

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

##### *1.1.1.1. Diagnóstico del problema*

Debido al proceso de mejora continua en la educación superior, es interés de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK, el equipar sus laboratorios con el fin de que sus estudiantes puedan poner en práctica los fundamentos recibidos, construyendo bases firmes en su conocimiento.

La Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK siempre se ha caracterizado por formar personas competentes y profesionales socialmente responsables para el desarrollo sustentable del país, es por esto el afán de implementar equipos indispensables para la formación de sus ingenieros, ya que, a través de los laboratorios se puede evidenciar de una manera más clara lo aprendido en las aulas y reforzar conocimientos, específicamente en el campo de la mecánica de fluidos, con el conocimiento del comportamiento de dispositivos como las bombas impulsadoras de fluidos, accesorios ampliamente usados tanto a nivel doméstico como a nivel industrial.

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

### 1.1.1.2. *Pronóstico*

El banco de pruebas esta implementado con un fin didáctico para los estudiantes, por medio del cual podrán realizar prácticas de laboratorio y de esta manera aprender de una forma sencilla las cátedras de: fenómenos de transporte, mecánica de fluidos, termodinámica, que son cátedras fundamentales en la vida profesional de un ingeniero químico industrial.

### 1.1.1.3. *Control de pronóstico*

Para cumplir con este objetivo anteriormente mencionado, se diseñó un banco de pruebas, el cual consta de varios sistemas de tuberías que transportan fluido. En el cual se puede denotar las principales variables controladas que son presión y caudal y por medio de estas variables se logrará determinar el comportamiento del fluido a distintas velocidades, flujos, diámetros o trayectorias de la tubería del sistema; en vista de que el transporte del fluido ocasionará pérdidas de carga en tuberías y en accesorios, las que serán calculadas por medio de la teoría que se imparte en las aulas de clase; para obtener los datos se realizaran pruebas de laboratorio que permitan comprobar los datos teóricos que provee el fabricante de las bombas seleccionadas: centrífuga y periférica.

### 1.1.1.4. *Formulación del problema*

¿Es importante que el laboratorio de Operaciones Unitarias cuente con un banco de bombas, en la Facultad de Ciencias Ambientales, como mecanismo que permita

## **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

mejorar las prácticas de laboratorio y suplir las dudas de los estudiantes para formar bases sólidas para ingeniería?

### **1.1.2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Cómo se construirá el banco de bombas?
- ¿Por qué la necesidad de que el estudiante afiance sus conocimientos de mecánica de fluidos?
- ¿Es importante que el Laboratorio de Operaciones Unitarias cuente con un banco de bombas?
- ¿Los estudiantes deben tener la capacidad de tomar decisiones en cuanto a eficiencia de diferentes tipos de bombas?
- ¿Cuáles serán las condiciones de operación del banco de bombas?

### **1.1.3. OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y construir un banco de pruebas en forma de serpentín e implementarlo en el laboratorio de operaciones unitarias de la UISEK

### **1.1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el funcionamiento del banco de bombas.
- Incentivar y facilitar el conocimiento y uso de las bombas centrífugas y del flujo de fluidos.
- Implementar prácticas de laboratorio para las clases de mecánica de fluidos.

## **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

- Incentivar y facilitar el conocimiento y uso de las bombas centrífugas.
- Calcular la presión de Shut off para cada bomba.
- Determinar la potencia de cada bomba.

### **1.1.5. JUSTIFICACIONES**

En la industria el conocimiento de sistema de tuberías y el transporte de fluidos, es muy importante en el ámbito laboral, por esta razón la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK ha visto la necesidad de construir un banco de pruebas usando dos tipos de bombas que sean de fácil manejo, fácil mantenimiento y bajo costo y que permitirá a los estudiantes estar familiarizados con el manejo de bombas, sistemas de flujo de fluidos comprobar mediante prácticas y aplicar los conocimientos teóricos impartidos en las aulas con el fin de formar profesionales competentes que puedan vincularse en el sector industrial.

Para cumplir con este objetivo, se diseñó un banco de pruebas el cual está conformado por un sistema de tuberías que tiene diversos accesorios, por los cuales va a circular agua que será impulsada por dos diferentes tipos de bombas, este proceso se va a llevar a cabo por medio de dos variables controladas que van a ser: presión y caudal.

## **1.2. MARCO TEÓRICO**

### **1.2.1. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA**

Partiendo del concepto principal de dinámica de fluidos, que es el estudio de la difusión y distribución de fluidos y sus propiedades, así como el movimiento de los fluidos a través de las tuberías. Partiendo de este concepto general cabe mencionar la estrecha

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

relación que existe con: cantidad de movimiento, transferencia de materia y energía, entre otras propiedades (James W., Donald R. 1975).

Con referencia a lo anterior la ingeniería de mecánica de fluidos estudia el comportamiento de los fluidos que se pueden presentar en dos fases; ya sea líquido o gaseoso y a su vez pueden estar en reposo (hidrostática) o en movimiento (dinámica de fluidos); es fundamental tener los conocimientos básicos ya que de esta manera podemos comprender claramente el comportamiento de los fluidos que circulan dentro de las tuberías, tomando en cuenta las pérdidas de energía que ocasionan los accesorios del sistema de bombeo, lo que permitirá establecer el rendimiento de este sistema (Mott, 1996).

Partiendo de estos conocimientos generales es necesario hablar de la Hidráulica que es una aplicación de la mecánica de fluidos, mediante la construcción de equipos cuyo funcionamiento es a base de líquidos como el agua o aceite a diferentes condiciones de operación para fines específicos, esto nos permite solucionar todos los problemas de la industria como el flujo de fluidos por conductos a los cuales los operadores están expuestos; estos equipos antes mencionados son: bombas hidráulicas, válvulas, medidores ya sean de caudal, de presión, de temperatura, de acuerdo a las condiciones de operación, que se encargan del control de líquidos que están circulando dentro de las tuberías (Mott, 1996).

### 1.2.2. ADOPCIÓN DE UNA PERSPECTIVA TEÓRICA

La gran variedad de bombas hidráulicas que existen en la actualidad nos permite escoger el tipo de bomba que se necesita para el estudio planteado anteriormente, y en vista de que es un equipo didáctico para los estudiantes se ha decidido utilizar dos

diferentes tipos de bombas hidráulicas, la primera es un tipo de bomba centrífuga de flujo axial y la segunda es una bomba centrífuga con rodete periférico, las dos bombas hidráulicas son de diferente potencia lo que nos permitirá tener diferentes condiciones de operaciones en sistemas alternos de tuberías similares.

### 1.2.3. MARCO CONCEPTUAL

#### 1.2.3.1. *Fluidos*

Un fluido es una sustancia que toma diferentes formas siempre y cuando este expuesta a un esfuerzo cortante, sin importar cuan pequeño sea este esfuerzo cortante, este esfuerzo ejerce una fuerza tangente a la superficie; esta fuerza está dividida por el área de la superficie. (Streeter, 1975)

Los fluidos en movimiento son una parte importante dentro de la industria, por ello al ingeniero químico le compete el tratamiento adecuado de la conducción de flujos bajo conceptos de optimización energética.

#### 1.2.3.1.1. Propiedades de los fluidos

Las propiedades de un fluido son magnitudes cuyos valores definen el estado en el que se encuentra el fluido, estos valores se encuentran definidos en tablas. Previo al diseño de banco de pruebas de bombas es necesario puntualizar las propiedades físicas del fluido, esto nos permite entender las aplicaciones de las leyes de la mecánica y termodinámica.

#### a) **Viscosidad de un fluido**

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

Esta propiedad del fluido es la más importante en cuanto al estudio del movimiento del fluido, representan la “pesadez” de un fluido y la facilidad que posee el fluido para circular cuando se le aplica una fuerza externa (Munson, 1999).

$$\eta = \frac{\tau}{Y}$$

*Ec. 1.2.3 – 1*

Donde:

$\eta$  = Es la viscosidad del fluido (Poise o Pa)

$\tau$  = Esfuerzo de corte

$Y$  = Velocidad de corte

Cabe agregar que la viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a fluir, por la interacción de sus moléculas, este efecto de corte se produce por las diferentes capas del fluido con respecto a otro; la ley de viscosidad de Newton, establece que para la deformación angular del fluido, el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la viscosidad de la siguiente manera:

$$\tau = \mu \frac{d\mu}{dy}$$

*Ec. 1.2.3 – 2*

Donde:

$\mu$  = Es la constante de proporcionalidad o viscosidad absoluta

$\frac{d\mu}{dy}$  = Es la gradiente de velocidad (cte)

Estos fluidos donde el esfuerzo cortante está directamente relacionado con la razón de deformación se les denomina “Fluidos Newtonianos” y los fluidos donde el esfuerzo cortante no está relacionado con la razón de deformación se les denomina “Fluidos no Newtonianos”. (Munson, 1999)



## b) Densidad

La densidad de un líquido se expresa como la masa por unidad de volumen a una determinada temperatura la cual varía de acuerdo con este cambio. Si un líquido se encuentra a altas temperaturas se torna menos denso debido a sus moléculas que se mueven más rápido y por tal razón se distancian unas a otras, ocasionando vacíos, lo que aumenta su volumen y en consecuencia disminuye su densidad (Perry, 2001).

Atendiendo a estas consideraciones, cuando se efectúa el transporte se puede suponer que las densidades de los líquidos no varían con la temperatura sino se presentan cambios de fase; de tal forma los cambios de presión no afectan en la densidad, en consecuencia reciben el nombre de fluidos incompresibles (Sotelo, 1985).

$$\rho = \frac{m}{V}$$

*Ec. 1.2.3 – 10*

Donde:

m = masa (kg)

V = volumen (m<sup>3</sup>).

La densidad tiene como unidades el kilogramo (kg) por metro cúbico en el sistema internacional de unidades SI.

- **Densidad relativa**

La mecánica de fluidos relaciona la masa y el peso con un volumen dado, debido que los fluidos circulan de forma circular por las tuberías. Se relaciona entre el peso de la sustancia y el peso del volumen del agua a condiciones normales, es un número

adimensional y se define como la relación entre su densidad o peso específico y el agua, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$spgr = \frac{\rho \text{ sustancia}}{\rho \text{ agua}} = \frac{\gamma \text{ sustancia}}{\gamma \text{ agua}}$$

Ec. 1.2.3 – 11

Condiciones normales del agua (H<sub>2</sub>O) son: temperatura a 20°C, presión absoluta 1 atm y densidad 1000kg/m<sup>3</sup> (Perry, 1997).

### c) **Peso específico**

Es la cantidad de peso por unidad de volumen del fluido se lo representa con la letra griega gamma, así:

$$\gamma = \frac{w}{V}$$

Ec. 1.2.3 – 12

Las unidades para el peso específico son Newtons sobre metro cubico (N/m<sup>3</sup>) mediante el sistema internacional de unidades S.I. (Mataix, 1982).

#### 1.2.3.1.2. Condiciones de flujo

##### a) **Presión**

Está definida como la fuerza que ejerce sobre el área o superficie del fluido; los fluidos constantemente se encuentran a diferentes variaciones de presión, en función de un sistema. Ejemplo; Tomemos como referencia un vaso con leche, se encuentra a la misma presión que ejerce el aire sobre ella. Teniendo en cuenta que el fluido que se va a utilizar en el banco de bombas es el agua potable, este fluido va a estar a mayor presión

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

que la atmosférica, para que salga con mayor rapidez por la fuerza que ejercen las bombas hidráulicas.

Se define por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{A}$$

*Ec. 1.2.3 – 3*

Donde:

P = Presión

F = Fuerza ejercida sobre el área

A = Área del fluido (Mott, 1996)

- **Presión atmosférica**

La presión atmosférica es el peso ejercido por la atmosfera o aire sobre la Tierra, cuyas condiciones son: presión atmosférica normal y temperatura ambiente, ésta presión contiene  $2 \times 10^{25}$  moléculas en movimiento a una velocidad de 1.600 kilómetros por hora, esta presión varía indirectamente en la tierra según la altitud, es decir, a mayor altitud, menor presión atmosférica. (Mott, 1996)

- **Presión manométrica**

Esta presión es la que se produce por un medio diferente a la presión atmosférica.

Ejemplo: La presión que ejerce el gas de una botella de agua mineral. (Mott, 1996)

- **Presión absoluta**

La presión absoluta se refiere a la superficie que resulta de la sumatoria de la presión atmosférica y manométrica. (Mott, 1996)

- **Presión de Succión**

Es la presión que se mide en el puerto de entrada de la bomba en el sistema de bombeo, interviene la presión del sistema de bombeo, la altura y las pérdidas por fricción del sistema, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$P_s = P + Z + \sum h_{TOTAL}$$

*Ec. 1.2.3 – 4*

Donde:

$P_s$  = Presión de succión (psi)

$P$  = Presión atmosférica (psi)

$Z$  = Altura (m)

$\sum h_{TOTAL}$  = Pérdidas por fricción o fricción (m) (Mott, 1996).

- **Presión de Descarga**

Se refiere a la presión promedio en la salida de la bomba durante la operación. Rige la siguiente ecuación:

$$P_d = P_{RD} + h_s + \sum h_{TOTAL}$$

*Ec. 1.2.3 – 5*

Donde:

$P_d$  = Presión de descarga (psi)

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

$P_{RD}$  = Presión de recipiente de descarga (psi)

$\sum h_{TOTAL}$  = Pérdidas totales del sistema (m) (Mott, 1996).

- **Presión de Shut Off**

La máxima presión diferencial que genera la bomba, se produce a flujo cero, entonces la presión de Shut off es la máxima presión que puede generar una bomba antes que el motor se quemara debido a la falta del fluido. La presión es importante para el diseño de la línea de tubería. Esta presión está regida por la siguiente ecuación:

$$P_{Shut\ off} = P_{S_{max}} + 1.2 * \Delta P$$

*Ec. 1.2.3 – 6*

$$P_{atm} = P_{max} + Z_{max} - \sum h_{total}$$

*Ec. 1.2.3 – 7*

Donde:

$P_{atm}$  = Presión atmosférica

$Z_{max}$  = Altura máxima

$\Delta P$  = Diferencial de presiones

$P_{max}$  = Presión máxima del sistema

$\Delta P$  = Diferencial de presión (Mataix, 1982).

**b) Velocidad de flujo**

Para un fluido dinámico, la velocidad límite es la velocidad máxima que va alcanzar un cuerpo en movimiento en el seno de un fluido infinito que se rige por la acción de una

fuerza constante. La ecuación que rige esta variable dentro de un sistema hidráulico es la siguiente:

$$v = \frac{4Q}{\pi D_i^2}$$

*Ec. 1.2.3 – 8*

Donde:

$Q$  = caudal ( $m^2/s$ )

$D_i$  = diámetro interno de la tubería (m) (Mott, 1996).

### c) **Altura o carga de presión**

La altura de presión  $h$  se define como la altura de una columna de una sustancia homogénea que dé un valor presión, de la siguiente manera:

$$z = \frac{P}{w}$$

*Ec. 1.2.3 – 9*

La altura tiene como unidades el metro (m). (Mott, 1996)

#### 1.2.3.2. *Caudal*

Se define como el volumen por unidad de tiempo el cual atraviesa una sección transversal de la tubería, se representa con la siguiente ecuación:

$$Q = A * v$$

*Ec. 1.2.3.2 – 1*

Las unidades para el caudal son:  $m^3/s$ ;  $lt/s$ , GPM. (Mataix, 1982)

### 1.2.3.3. Ecuaciones básicas para flujo en tuberías

#### 1.2.3.3.1. Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) sirve para determinar cómo es un flujo, y su fórmula universal es la siguiente:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_i}{\mu}$$

Ec. 1.2.3.4 – 1

Donde:

$\rho$  = Densidad

$v$  = Velocidad media, Se define como la velocidad uniforme sobre toda la sección de la tubería, en teoría la velocidad media se define como la velocidad total dividida para 2.

$D_i$  = Diámetro de la tubería

$\mu$  = Viscosidad absoluta. (Shaum, 1995)

Con referencia al concepto anteriormente mencionado también se puede expresar el número de Reynolds teniendo como referencia la viscosidad cinemática con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{vD_i}{\nu}$$

Ec. 1.2.3.4 – 2

El flujo de fluidos puede dividirse en varias formas ya sean estas: permanente o no permanente, en igual forma puede ser uniforme o no uniforme y finalmente de flujo laminar o turbulento.

- **Régimen laminar, turbulento e inestable**

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

Estos tipos de flujo de fluidos dependen de la gradiente de velocidad, si el gradiente de velocidad es bajo y el desplazamiento de las partículas sigue la misma trayectoria se denomina flujo laminar que fue descubierto por O. Reynolds en otras palabras a manera de resumen su trayectoria es en forma de capas o laminas. Este flujo se caracteriza por tener número de Reynolds menor a 2100. (Streeter, 1970).

Ahora bien, si su gradiente de velocidad aumenta y sus partículas adquieren energía rotatoria, la viscosidad pierde su efecto, por lo cual las partículas todo el tiempo tomaran trayectorias distintas y chocaran entre sí, a este tipo de flujo se denomina turbulento y su número de Reynolds es mayor a 3000.

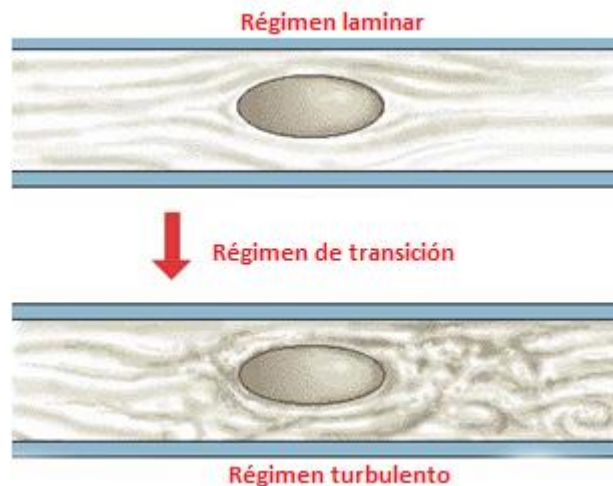
Finalmente si el flujo del fluido se encuentra en el rango: 2000 y 3000 se dice que este es un fluido inestable (Shames, 1995).

**Tabla 1: Régimen de flujo por Reynolds**

<b>Régimen de Flujo</b>	<b>Re</b>
Laminar	$Re < 2.100$
Transición	$2.100 \leq Re \leq 3.000$
Turbulento	$Re > 3.000$

Fuente: Shames, 1995

**Gráfico 1: Régimen de flujo por Reynolds**



Fuente: LVMF



1.2.3.3.2. Ecuación general de conservación de la energía

La primera ley de la termodinámica acerca de la variación de energía total, de un fluido es el trabajo por unidad de tiempo, que es ejercido por fuerzas externas, siendo estas fuerzas másicas y de superficie sobre el volumen del fluido, a esto se le suma el calor que aporta desde el exterior a este volumen del fluido. A continuación la formula general de la ecuación de conservación de la energía:

$$E_{\text{Total}} = E_{\text{Cinética}} + E_{\text{Potencial}} + E_{\text{Elevación}}$$

Ec. 1.2.3.4 – 3

- **Energía cinética**

Se refiere a la energía que poseen los cuerpos en movimiento, la magnitud se expresa en unidades de energía por unidad de peso; cuya fórmula esta expresada:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Ec. 1.2.3.4 – 5

Esta fórmula determina que el producto de la masa de la partícula por el cuadrado de la velocidad se denomina también “fuerza viva”. (Mott, 1996)

- **Energía potencial**

Los cuerpos que se encuentran sometidos a un campo gravitatorio posee energía potencial, esta energía se transforma con mucha facilidad en energía cinética. La energía potencial viene expresada en unidades de energía por unidad de peso.

$$E_p = \frac{P}{\gamma}$$

Ec. 1.2.3.4 – 6

Donde:

P = Presión en una sección establecida de la tubería (m)

$\gamma$  = Peso específico del fluido (N/m<sup>3</sup>). (Mott, 1996)

- **Energía de elevación**

Esta energía se mide tomando como referencia una altura o un plano, se define como la energía necesaria para elevar un fluido a dicho punto de referencia se representa con la letra Z.

Pues bien, teniendo claros los conceptos se reemplaza en la energía total, quedando la expresión siguiente:

$$E_{\text{Total}} = \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z$$

Ec. 1.2.3.4 – 7

Esta ecuación de la energía total se expresa en metros de columna de agua (m.c.a) (Mott, 1996).

#### 1.2.3.4. *Pérdidas de energía en un sistema hidráulico*

Las pérdidas de carga en el transporte de un fluido se refiere a la pérdida de energía de un flujo a lo largo del sistema hidráulico que lo contiene, las pérdidas de carga en tubería se dividen en dos tipos: pérdidas fricción y pérdidas secundarias.

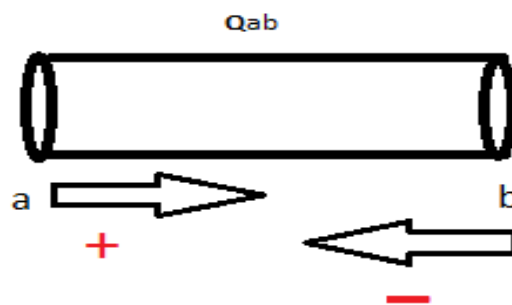
##### 1.2.3.4.1. Pérdidas por fricción

Para realizar el cálculo para las pérdidas de carga por fricción del fluido cuando está en contacto con las paredes de la tubería, esto ha ocasionado pérdidas importantes en la

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

industria, estas pérdidas dependen de la longitud de la tubería y varios factores que se mencionarán en el transcurso del capítulo.

En el caso que tengamos una pérdida de energía por rozamiento entre dos puntos de la sección de la tubería, como por ejemplo tendiendo dos puntos a y b el valor del sentido que va a tener el caudal varía de acuerdo a la dirección que tome, es decir, será positivo en el supuesto que el caudal tome la dirección a al punto b de la sección y el signo del caudal será negativo si la dirección que tome el caudal va desde el punto b al punto a, como se muestra en el siguiente gráfico.



**Gráfico 2 - Dirección del signo de pérdidas en la carga**

Fuente: Joahán García, 2014

### 1.2.3.4.1.1. Ecuación de Darcy-Weisbach

Esta ecuación fue diseñada para calcular las pérdidas fricción que ocurren por fricción de un fluido en tuberías, es un elemento de las pérdidas de energía que se producen en un sistema de tuberías circulares en tramos rectos: “la fricción es proporcional a la carga de la velocidad y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente”. (Mott, 1996). Se representa de la siguiente ecuación matemática:

$$h_G = f \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Ec. 1.2.3.5 – 1

Donde:

$h_G$  = Energía perdida por fricción (N.m/N), m, lb-pie/lb o pies)

L = longitud del trayecto del flujo

D = Diámetro de la sección de la tubería (m o pies)

$v$  = Velocidad media del flujo del fluido (m/s o pies/s)

$f$  = factor de fricción (adimensional) (Mott, 1996).

Esta fórmula se utiliza tanto para régimen laminar como turbulento. Estas pérdidas se producen por el contacto del fluido con las paredes internas de la tubería. Para el caso de pérdidas de carga en tubos rectos la ecuación que se emplea para este tipo de cálculos en un tramo de la tubería recta.

#### 1.2.3.4.1.2. Factor de fricción ( $f$ )

De acuerdo con Giles Schaum menciona que: “el factor de fricción ( $f$ ) en régimen laminar es fácilmente deducible con factores matemáticos, ya que este tipo de flujo se caracteriza por circular en forma de láminas facilita el cálculo, de modo que el problema viene dado por el régimen turbulento que no se puede aplicar relaciones matemáticas por lo que no se puede obtener la variación del factor de fricción con el número de Reynolds.”

Por otro lado para el presente estudio se han venido aportando con investigaciones para el cálculo del factor de fricción, como es el caso del ingeniero Nikuradse y otros investigadores, afirmando que el factor de fricción no solo tiene relación con el número de Reynolds, también interviene (Shaum, 1995).

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

De la explicación anterior es imperioso explicar cada uno de los regímenes de flujo de fluidos antes mencionados. Para el régimen laminar viene dado por la ecuación:

$$f = \frac{64}{Re}$$

*Ec. 1.2.3.5 – 2*

La siguiente es una ecuación explícita para el factor de fricción desarrollada para P. Swamee y A. Jain (1976) que se utiliza exclusivamente para régimen turbulento expresada de la siguiente manera:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3.7 * \left( \frac{D_i}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

*Ec. 1.2.3.5 – 3*

Donde:

$f$  = factor de fricción

$D_i$  = diámetro de la tubería (m)

$\varepsilon$  = espesor de la tubería (mm)

$Re$  = número de Reynolds

#### 1.2.3.4.1.3. Diagrama de Moody

Por medio de valores experimentales realizados por F. Moody diseño este diagrama que relaciona el factor de fricción ( $f$ ) con el número de Reynolds ( $Re$ ) y el diámetro de la tubería, mediante curvas experimentales en función de la rugosidad relativa ( $\varepsilon$ ). (Véase Anexo-2)

#### 1.2.3.4.2. Pérdidas menores

Este tipo de pérdidas se deben a los accesorios que se han implementado en el sistema hidráulico, o a su vez sean válvulas o dispositivos de cierre colocados en tramos donde existan diferentes alturas o diferentes condiciones de funcionamiento, esto ocasiona pérdidas de energía localizadas en los lugares donde se instalaron dichos accesorios, las pérdidas secundarias se calculan por medio de la siguiente ecuación:

$$h_L = k \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

Ec. 1.2.3.5 – 4

Donde:

$h_L$  = pérdidas secundarias (m)

$k$  = coeficiente de resistencia

$v$  = velocidad del flujo m/s

$g$  = gravedad m/s<sup>2</sup>

#### 1.2.3.5. Banco de pruebas

Los ensayos de las bombas que sirve para la obtención de sus curvas características en los laboratorios de operaciones unitarias se llevan a cabo en banco de pruebas, lo que permite tener acceso directo al proceso logrando de esta manera reproducir las condiciones de operación en las que estarán manipulando las turbomáquinas y a su vez las tuberías y accesorios en condiciones reales. (Mataix, 1982)

A continuación los elementos que contiene un banco de pruebas para un sistema de bombeo:

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

- Manómetro a la entrada y salida de la bomba, el cual sirve para medir la diferencia de presiones necesaria para el cálculo de la altura de la carga (Z).
- Medidor de caudal. Los procedimientos más utilizados son: tanques volumétricos llamado también medidor de caudal por volumen, tanques gravimétricos o medición de caudal por peso, utilizando tubo venturi, rotámetros, placa orificio, tubo pitón, etc. A pesar que en el banco de pruebas no se colocó medidor de caudal, se realizaron mediciones del caudal en función del tiempo, con el fin de que los estudiantes apliquen los conocimientos teóricos en el laboratorio.

Si las pruebas ameritan se utiliza también un termómetro, para medir la temperatura del líquido a transportar, pero no es el caso del banco de pruebas propuesto para este proyecto.

### 1.2.3.6. *Sistemas de bombeo*

La acción de bombeo es la adición entre energía cinética y potencial a un líquido con el fin de moverlo de un punto de la tubería hacia otro. Esta energía logrará que el líquido efectúe trabajo, ya sea haciendo circular este líquido por una tubería del sistema de bombeo o subiendo a una mayor altura. Este proceso se lleva a cabo por medio de máquinas hidráulicas llamadas bombas hidráulicas. (McNaughton, 2005)

Según su principio básico de funcionamiento se dividen en:

Bombas de desplazamiento positivo, su principio se basa en guiar el fluido que se desplaza a lo largo de su trayectoria y que experimenta variaciones de presión, debido a los desplazamientos de volumen en el órgano de retención. (Mataix, 1982)

#### 1.2.3.6.1. Terminología en el sistema de bombeo

Los siguientes términos más usados en el sistema de bombeo son los siguientes:

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

- Descarga
- Cabeza
- Eficiencia

**a) Descarga**

Se denomina también “capacidad de la bomba”, es el volumen de líquido bombeado por unidad de tiempo. La medición del caudal de fluidos, constituye uno de los aspectos más importantes del control de procesos industriales (Amendola, 1999).

El valor del caudal se obtiene midiendo la velocidad del fluido que pasa por una sección de la tubería específica (A). Por medio de este procedimiento se logra medir el caudal volumétrico ( $Q_v$ ) por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_v = v * A$$

*Ec. 1.2.3.7 – 1*

Donde:

A = sección transversal del tubo ( $m^2$ )

v= la velocidad lineal del fluido (m/s)

Atendiendo a estas consideraciones cabe mencionar el método más utilizado para la medición de caudal se basa en medir la caída de presión que se produce a través de una restricción que se coloca en la línea de un fluido en movimiento, esta caída de presión es proporcional al flujo, y se expresa de la siguiente forma:

$$Q_v = \frac{C_d A \sqrt{2 * \rho * dp_0}}{\rho}$$

*Ec. 1.2.3.7 – 2*

Donde:

Cd = coeficiente de descarga en el instrumento de medida

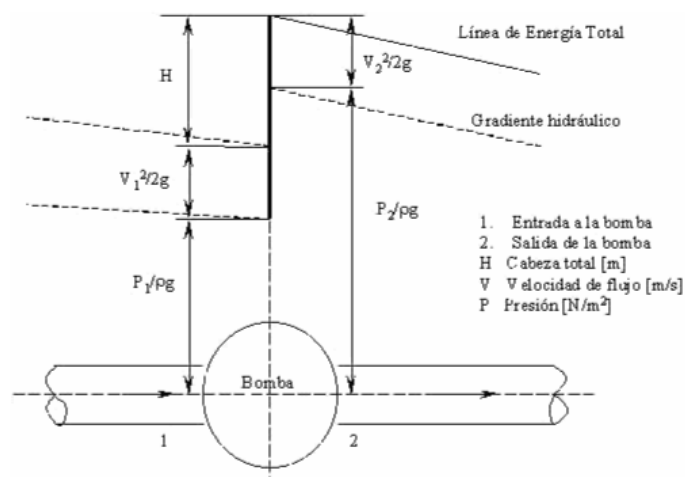
A = sección determinada de la tubería ( $m^2$ )



$dp_0$  = diferencial de presión medido por el instrumento ( $Pa$ )

### b) Cabeza

Este término se utiliza cuando se toma como referencia un área totalmente seca, por encima o a su vez, por debajo del dato de referencia generando energía al sistema de bombeo, esta energía se conoce como cabeza total de bomba. En otras pañabras la cabeza de la bomba es la diferencia de la energía que se genera a la salida, con la energía total generada a la entrada del sistema (Amendola, 1999).



**Gráfico 3 - La cabeza a través de una bomba**

Fuente: Armfield. "Manual de instrucción FM20"

Para el gráfico 3 la entrada y salida de la bomba se obtiene por medio del mismo sistema de referencia, es decir, la cabeza total de la bomba viene dado por la siguiente ecuación:

$$H = \left( \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) + \left( \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

Ec. 1.2.3.7 – 3

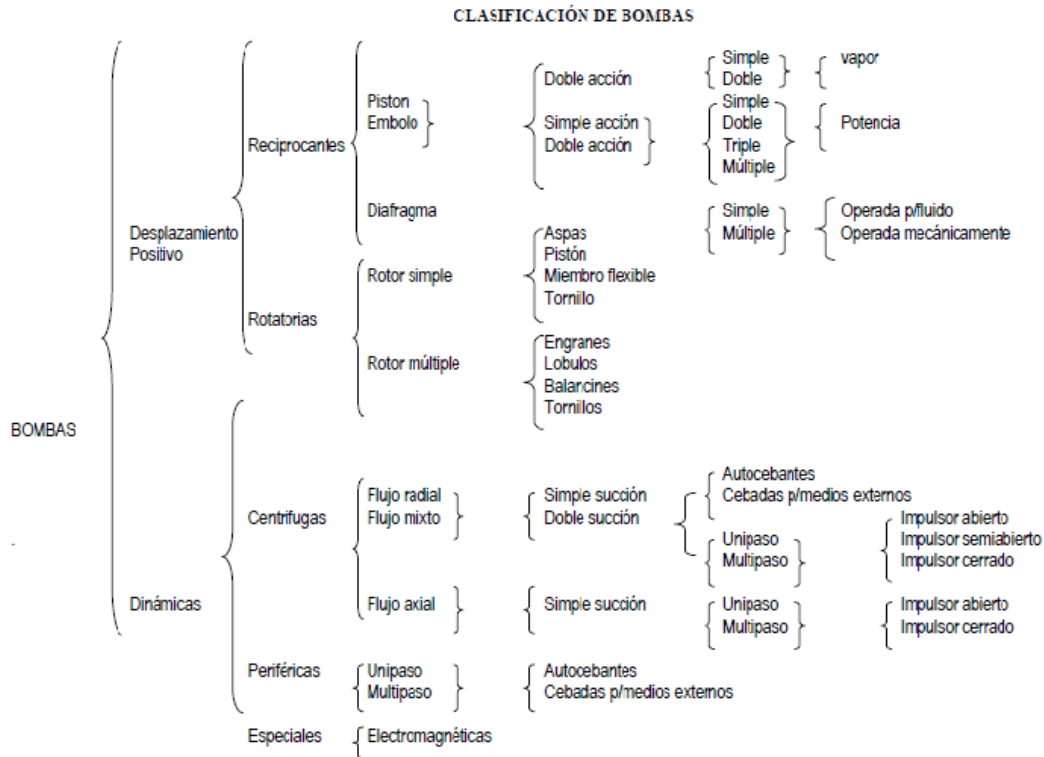
#### 1.2.3.7. Clasificación de bombas hidráulicas

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

Gráfico 4 – Clasificación de bombas Hidráulicas

Fuente: Mott Roberth, 1997

En vista que la clasificación es extensa, es importante especificar las características de los dos tipos de bombas seleccionadas y estudiar su funcionamiento, con el fin de evitar su mal uso y ocasionar daños irreversibles en estos equipos hidráulicos. A continuación sus características:



- **Bombas periféricas**

Las bombas periféricas son llamadas también bombas de tipo turbina, vértice y regenerativas, en esta clase se bombas originan torbellinos en el líquido mediante los alabes con abundante velocidad, dentro del canal anular donde gira el impulsor, existe

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

gran diferencia entre la bombas de tipo difusor de pozo profundo llamadas más comúnmente bombas turbinas y no debe compararse la bomba periférica. (Avallone, 1999)



**Gráfico 4. Bombas periféricas**

Fuente: [www.truper.com](http://www.truper.com) – Catálogo, 2014

### ➤ **Ventajas de bombas periféricas**

Las bombas a turbina o periféricas monofásicas ofrecen muchas ventajas frente a las bombas centrífugas, en la zona de bajo caudal y moderado a alta presión.

- ✓ Proveen mayor altura que las bombas centrífugas para el mismo diámetro de impulsor, es decir, menor tamaño para las mismas condiciones.
- ✓ Menor costo que las bombas centrífugas.
- ✓ Tienen mejor rendimiento. Significa: menor costo de funcionamiento.
- ✓ Mantienen un flujo suave y continuo, llegando a desarrollar alturas de hasta 170 m. con una sola etapa.
- ✓ Son bombas regenerativas, pueden manejar líquidos a temperatura de ebullición, apenas superior a la tensión de vapor.

### • **Bombas Centrífugas**

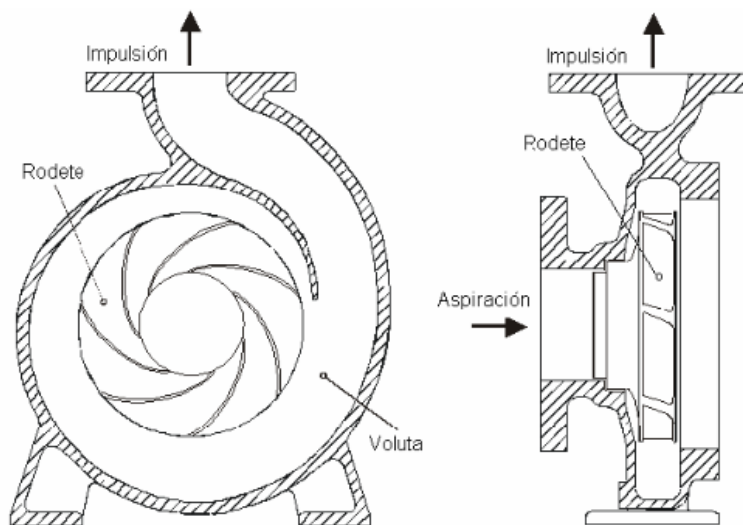
## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

La bomba centrífuga es la más usual entre la clasificación de la bombas dinámicas. Esta bomba es muy simple ya q solo se compone de impulsor y carcasa. Su funcionamiento se basa en que el líquido se absorbe en el centro el impulsor y se deposita en la circunferencia de la carcasa (Avallone, 1999).

### ➤ Ventajas de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas son las más usadas debido a que:

- ✓ Su precio es muy bajo
- ✓ El mantenimiento es muy sencillo
- ✓ Es liviana en comparación con otras como la bomba centrífuga
- ✓ Tiene elementos giratorios



**Gráfico 5 - Elementos de bomba centrífuga**

Fuente: Universidad de Cantabria, "Máquinas Hidráulicas"

Las bombas centrífugas se dividen a su vez en diversas categorías, de las cuales en su mayoría dependen del impulsor. Este impulsor se clasifica de acuerdo a la dirección principal del flujo con respecto al eje de rotación, en consecuencia las bombas centrífugas pueden tener impulsores de flujo radial, axial o mixto. (Avallone, 1999)



**Gráfico 6 - Bomba centrífuga PEDROLLO**

Fuente: Fuan Gain Motor Co., Ltd.

- **Centrífugas o Radiales**

Se caracterizan por hacer uso de la fuerza centrífuga para impulsar líquidos, sobretodo agua, que se desplaza en forma perpendicular al eje del rodete. Las bombas radiales se caracterizan por que proporciona un flujo de agua uniforme (Avallone, 1999).

- **Bombas axiales o helicoidales**

las bombas helicoidales no usan fuerza centrífuga sino que transportan el líquido de la misma forma que lo hace un ventilador para mover aire, el agua sale en forma paralela al eje de rotación del impulsor. Se caracteriza por elevar grandes cantidades de caudal (11m<sup>3</sup>/s) a baja altura. (Avallone, 1999)

- **Bombas de flujo mixto**

La ventaja de este tipo de bombas centrífugas es que aprovechan la forma de los álabes brindándole fuerza centrífuga; de esta manera alcanzan su mayor rendimiento con caudales que oscilan entre 30 y 300 L/s y alturas de 3 a 18 mca. (Avallone, 1999)

#### 1.2.3.8. *Potencia hidráulica (PU)*

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

Es el trabajo requerido para transportar el fluido de un punto a otro en función de la presión diferencial de presión y el caudal del líquido

$$P_h = \frac{Q * \Delta P}{27}$$

*Ec. 1.2.3.8 – 1*

Donde:

Q = Caudal del líquido

$\Delta P$  = Variación de presión (Mott, 1996)

La potencia consumida (P) por el fluido al producir la cabeza total dinámica de la bomba H a la descarga, está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \rho . g . Q . H$$

*Ec. 1.2.3.7 – 2*

Donde:

$\rho$  = es la densidad del fluido ( $Kg/m^3$ )

g = gravedad ( $m/s^2$ )

Q = Caudal ( $m^3/s$ )

Partiendo de la anterior ecuación las pérdidas por fricción del fluido en la bomba dependen de la eficiencia hidráulica ( $E_h$ ) que se define a continuación:

$$E_h = \frac{\text{Potencia útil absorbida por el fluido } (P_u)}{\text{Potencia dada por el impulsor } (P_h)} * 100\%$$

*Ec. 1.2.3.7 – 3*

Existen pérdidas mecánicas que se refieren a una eficiencia mecánica ( $E_m$ ) se encuentra establecida por medio de la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{\text{Potencia dada por el impulsor } (P_h)}{\text{Potencia dada por el impulsor } (P_m)} * 100\%$$

Ec. 1.2.3.7 – 4

Existen pérdidas electromagnéticas en el motor definidas así:

$$E_e = \frac{\text{Potencia dada por el impulsor } (P_h)}{\text{Potencia dada por el motor } (P_h)} * 100\%$$

Ec. 1.2.3.7 – 5

Por consiguiente la eficiencia total se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$E_T = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{P_{gr}} * 100\%$$

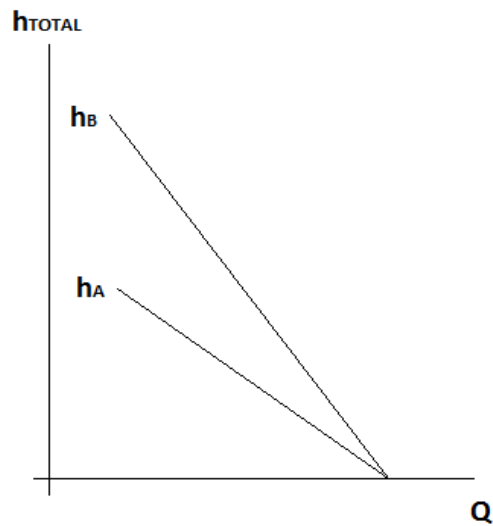
Ec. 1.2.3.7 – 6

#### 1.2.3.9. Formas de conexión de las bombas

Las bombas pueden conectarse a los sistemas de tuberías de distintas maneras, se pueden enlazar en serie y paralelamente dos o varias bombas para conseguir que aumente su cabeza o el volumen de caudal, esto va a depender de la clase de conexión que se realice.

##### a) Conexión de bombas en serie

Cuando más de dos bombas se conectan sucesivamente, el caudal va sufriendo constantemente una relevación de altura cuando están se encuentran separadas, por lo contrario cuando las válvulas se encuentran juntas sufren una relevación de presión. De esta manera la tubería de succión está fijada en la fuente de agua, mientras que la salida de la primera bomba se va a conectar a la entrada de la bomba consecutiva.



**Gráfico 7 - Conexión de bombas en serie**

Fuente: Joahàn García, 2014

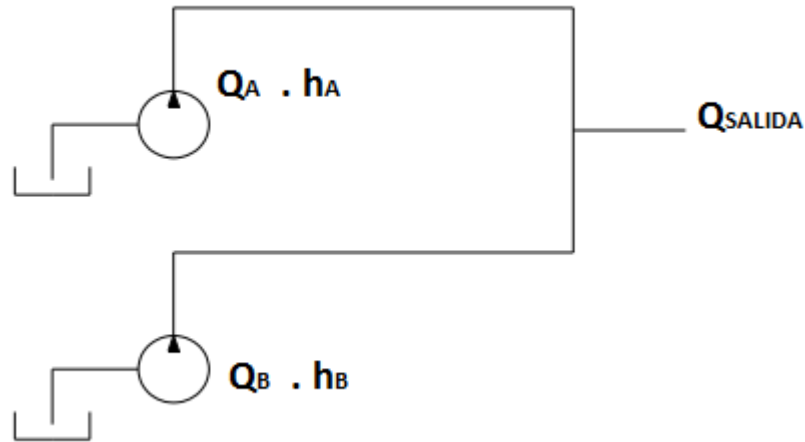
El gráfico 7 muestra el aumento de cabeza a determinado caudal, este argumento sirve para establecer la relación: el caudal disminuye aumenta la cabeza, superando a la operación de una sola bomba.

#### **b) Conexión de bombas en paralelo**

El propósito principal de la conexión en paralelo es lograr un aumento del caudal elevado, sin tener aumento de presión. Para este tipo de conexión cada bomba del sistema tiene la succión constante en la fuente del tanque de agua y se conectan todas las salidas a una común. Para el caso que exista 3 bombas en paralelo se tienen las siguientes expresiones:



CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK



$$Q_{SALIDA} = Q_A + Q_B$$

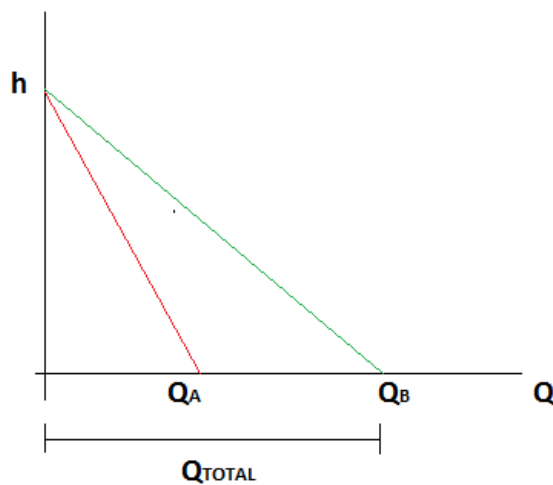


Gráfico 8 - Conexión de bombas en paralelo

Realizado por: Joahán García, 2014

Partiendo del gráfico 8 se puede denotar que el caudal a determinada cabeza; desarrolladas a partir de estas variables; mientras que; si disminuye la cabeza aumenta el caudal, de tal manera que se obtiene mayor eficiencia en una sola bomba

#### 1.2.3.10. Cebado de una bomba

Cuando se pone en funcionamiento por primera vez una bomba, las vías de agua se encuentran llenas de aire, por lo cual si el abastecimiento de succión está por encima de

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

la presión atmosférica, el cebado se realiza eliminando el contenido de aire atrapado por medio de una válvula provista para este propósito. (Rodella, 1994)

Al respecto si la bomba efectúa la succión de un suministro localizado debajo de ella, se debe evacuar el aire en la bomba con un dispositivo productor de vacío, colocando en tal forma una válvula de pie en la línea de succión, que la bomba y la tubería de succión puedan llenarse de líquido o dotando a la línea de succión de una cámara de cebado. (Rodella, 1994)

*1.2.3.11. Curvas características de una bomba*

Denominadas también curvas de bombeo, se refiere a la representación gráfica de una curva característica que especifica el rendimiento de una bomba hidráulica. Las curvas características permiten mantener en forma eficiente los sistemas de bombeo para lo cual es necesario analizar periódicamente el comportamiento de las bombas y las estaciones de bombeo. A continuación se presenta las mediciones y equipos recomendables para realizar las curvas características de una bomba:

**Tabla 2: Mediciones y equipos para realizar curvas características de una bomba**

<b>Literal</b>	<b>MEDICIÓN</b>	<b>EQUIPO RECOMENDABLE</b>
A	Caudal	Manómetro diferencial
B	Presión de succión	Manómetro diferencial con Mercurio
C	Presión de bombeo	Manómetro Bourdon
D	Velocidad de la bomba	Tacómetro y cronómetro
E	Voltaje del motor	Voltímetro
F	Amperaje del motor	Amperímetro
G	Factor de potencia	Medidor

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

H	Presión atmosférica	Barómetro
I	Temperatura del agua	Termómetro
J	Potencia eléctrica	Watímetro

Fuente: FERNANDEZ DIEZ, Pedro, Bombas centrífugas. Departamento de ingeniería eléctrica y energética. Universidad de Cantabria

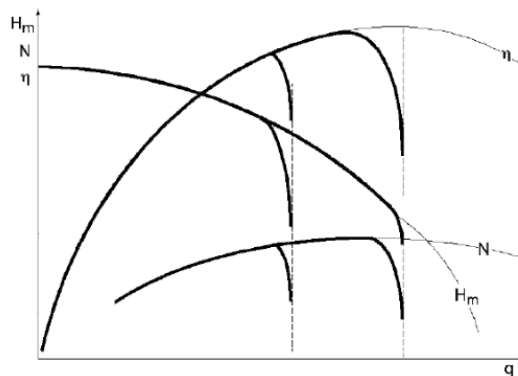
#### *1.2.3.12. Cavitación*

Las bombas centrífugas depende fundamentalmente de la presión absoluta a la entrada del rodete, su valor tiene que ser menor que el de la presión absoluta para su normal funcionamiento, cuando el líquido que se va a bombear se mueve en un región donde la presión es menor que su presión de vapor, vaporiza en forma de burbujas que son empujadas junto con el líquido hasta llegar a otro tramo de la tubería donde alcanza mayor presión y allí desaparecen, a este fenómeno se le denomina cavitación. La cavitación es un proceso que se debe evitar en las bombas hidráulicas ya que reduce el espacio donde va a pasar el fluido, otro factor que se tiene q evitar es que perturba el flujo del fluido debido que existe desprendimiento de vapores y gases disueltos por las tuberías. Y lo que ocasiona principalmente es que existe disminución del caudal, rendimiento de la bomba y disminución de la altura manométrica. (Shames, 2005).

La cavitación produce daños en los conductos de paso del fluido en la tubería de aspiración hasta llegar al área del rodete, produciendo mayor presión que la atmosférica en la que instantáneamente todas las fases de vapor cambian de fase a líquido bruscamente, el volumen de estas burbujas pasa a ser ocupado por el líquido, debido a la fuerza que ejerce ocasiona vibraciones y ruidos, que es un golpeteo sobre los álabes, que se transfiere al eje, cojinetes, cierres mecánicos, etc. (Fernandez, 2008)

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

Con referencia a los fenómenos citados anteriormente, en el caso que la bomba opere en esas condiciones y no exista un mantenimiento preventivo cada cierto tiempo la bomba se puede dañar, si el golpeteo es muy fuerte a medida que disminuye la presión absoluta a la entrada del rodete, se aprecia claramente en las curvas características de la bomba como se observa en el gráfico 17.



**Gráfico 9 - Efecto de la Cavitación en una bomba centrífuga**

Fuente: Mott, Robert, Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas, Universidad Cantabria

### 1.2.3.13. Carga de succión

Este tipo de carga presenta algunos inconvenientes que deben ser tomados en cuenta. Solo pueden ser aplicables para el agua, ya que se muestra la energía en la presión barométrica la que se presenta en metros de agua. Debido a la diferencia de clima o por la diferencia en altitud e presentan cambio en la presión barométrica. Además los cambios en la temperatura de bombeo que se encuentra se debe a que se altera la presión de vapor del líquido. Además a estos principios la carga neta positiva de succión NPSH sirve como referencia a las condiciones de succión, cuando está por arriba la presión de vapor del líquido.

Es necesario diferenciar entre la carga neta positiva de succión disponible ( $NPSH)_D$  y la requerida ( $NPSH)_R$ . La primera se emplea en la bomba centrífuga por las características

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

del sistema, va a simbolizar la diferencia que hay entre la presión de vapor a la temperatura prevaleciente y la carga absoluta de succión existente. La  $(NPSH)_R$  que es función del diseño de la bomba, el que indica el margen mínimo que se necesita entre la presión de vapor y la carga de succión.

La manera que se calcula la  $(NPSH)_D$  a una capacidad dada para los siguientes casos:

- ✓ Una instalación típica con altura de aspiración.
- ✓ Una bomba que tiene la succión en un tanque.
- ✓ Una bomba que maneja líquido en su punto de ebullición.

Se debe tomar en cuenta que la  $(NPSH)_D$  y la  $(NPSH)_R$  van a variar según la capacidad con una presión estático diferencia en elevación dadas en el lado que ocurre la succión de una bomba centrífuga, mientras que la  $(NPSH)_D$  disminuye cuando hay caudales grandes eso se da por las pérdidas por fricción en el tubo de succión. Mientras que la  $(NPSH)_R$  en función de la velocidad de los conductos de succión de la bomba de la entrada al impulsor, se va aumentar directamente con el cuadrado de la capacidad que tiene.

### 1.2.3.14. Tipos de válvulas

Los requerimientos en la industria son diversos, por lo que se ha ido desarrollando en el transcurso de los años incontables diseños, pero todas guardan una similitud cumplen con las características de controlar, retener, regular o dar paso a un fluido, por ende las válvulas pueden ser categorizadas en los siguientes grupos:

- Válvulas de compuerta
- Válvulas de globo
- Válvulas de bola
- Válvulas de mariposa

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

- Válvulas de ariete
- Válvulas de diafragma
- Válvulas macho
- Válvulas de retención
- Válvulas de desahogo. (Crane, 1976)

Unicamente se estudiará el tipo de válvula que se ha implementado en el banco de pruebas, para entender de mejor manera sus usos y aplicaciones:

- **Válvula de bola**

Este tipo de válvulas se ha usado en el equipo para controlar el flujo de retorno, ya que esta válvula logra un transporte del fluido directo cuando se encuentra en la posición abierta, se interrumpe el paso cuando se voltea la bola a 90° y se cierra el conducto, esto se consigue ya que la válvula de bola son de ¼ de vuelta por lo que la bola taladrada da vueltas entre asientos elásticos (Crane, 1976).



**Gráfico 10 - Válvula de bola**

Fuente: Crane. Mayk, (1976), Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías, pp2 -2

### 1.2.4. HIPÓTESIS

Centrado en la necesidad de crear un prototipo de naturaleza práctica y funcional, sobre un área donde ya existen diferentes opciones disponibles, de esta manera se pretende

incidir sobre las características del sistema, de modo que, la hipótesis sobre la cual se pretende obtener conclusión es la siguiente:

Empleando conocimientos básicos de ingeniería, así como material y equipos disponibles en el mercado: es posible el diseño y la construcción de un sistema de bombas centrífugas para una aplicación en la mecánica de fluidos, el cual; además de ser confiable, de fácil manejo y sobretodo didáctico para los estudiantes, coadyuve a perfeccionar sus conocimientos adquiridos en las aulas de clase.

## **CAPÍTULO II**

### **MÉTODO**

#### **2.1. TIPO DE MÉTODO**

- **Método Deductivo**

Mediante el cual se aplican los principios descubiertos a casos particulares, a partir de un enlace de juicios. Consiste en encontrar principios desconocidos, a partir de los conocidos.

- **Método Inductivo**

Es el razonamiento que, partiendo de casos particulares, donde se eleva a conocimientos generales. Este método permite la formación de hipótesis, investigación de leyes científicas, y las demostraciones.

Los pasos para el desarrollo y pruebas del banco de bombas experimental se ajusta a los siguientes lineamientos

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

- ✓ Búsqueda de la información
- ✓ Propuesta de diseño
- ✓ Especificaciones de las variables medibles
- ✓ Selección de instrumentos
- ✓ Construcción del banco de bombas
- ✓ Experimentación del prototipo
- ✓ Análisis de Resultados
- ✓ Conclusiones y Recomendaciones

### **2.2. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION**

#### **2.2.1. Experimentación:**

Se utilizará el laboratorio de la UISEK con la finalidad de llevar a cabo el objetivo de este proyecto, el cual se basa principalmente en equipar el laboratorio de Operaciones Unitarias construyendo un banco de bombas centrífugas.

#### **2.2.2. Pruebas Piloto:**

Posteriormente a la construcción del banco de bombas se procedió a realizar prácticas experimentales de laboratorio que demuestre la garantía y eficacia en cuanto a su funcionamiento y determinen los resultados esperados que vayan acorde a los propuestos por el proveedor, resultando así una práctica de laboratorio para los estudiantes

### **2.3. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS**

La utilización de instrumentos de fácil manejo hace posible validar el propósito de este proyecto, por medio del manejo de estos.



## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

En cuanto a las pruebas pilotos, son las más importantes, ya que, se puede evaluar los resultados del proyecto, y verificar su adecuado funcionamiento, afín a los resultados esperados.

### **2.4. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Los datos registrados, posterior a la construcción del banco de bombas, serán procesados mediante una base de datos en hojas electrónicas del programa Excel de Microsoft Office, los mismos que serán obtenidos en base a las pruebas de laboratorio a realizarse.

### **2.5. RECURSOS MATERIALES Y TÉCNICOS**

#### **2.5.1. Equipos**

- ✓ Bomba PKm60 0.5HP - 110V
- ✓ Bomba TRUPER 0.25HP - 210V

#### **2.5.2. Materiales**

- ✓ Tanques de polipropileno (2)
- ✓ Niple PVC 6cm (23)
- ✓ Unión universal PVC (11)
- ✓ Codo 90° PVC (26)
- ✓ Tee PVC (11)
- ✓ Manómetro 0-100psi (10)
- ✓ Taipe (2)
- ✓ Teflón (20)
- ✓ Sellante (1)

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

- ✓ Silicón en frio (1)
- ✓ Masilla epóxica (1)

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

#### 3.1. DISEÑO – CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS

##### 3.1.1. Generalidades

El presente capítulo tiene como finalidad el diseño y construcción del banco de bombas en paralelo con la tubería dispuesta en forma de serpentín el cual servirá para realizar las pruebas de laboratorio para conocer las pérdidas de carga para cada tramo de tuberías y accesorios correspondientes.

El equipo consta por dos tipos de bombas hidráulicas de diferente potencia y diferente modelo, siendo la primera bomba centrífuga de marca PEDROLLO modelo PKm60-1 (Véase ANEXO 1.1) con una potencia de 0.50HP, la siguiente es una bomba periférica de marca TRUPER de 0.25HP (Véase ANEXO 1.2) de potencia. Para el sistema de tuberías se decidió utilizar material PVC en todos los tramos pero a diferentes diámetros nominales en forma de serpentín logrando que el fluido recorra más longitud de tubería y esto permita tomar mediciones mas precisas.

Como se menciona anteriormente este banco de pruebas tiene conexión paralelo, lo que significa que cada bomba posee un sistema de tubería propio que está dividido en tramos como se explica a continuación:

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

*3.1.1.1. Sistema de tuberías para Bomba N°1 - centrífuga PEDROLLO modelo  
PKm60-1*

- Primer tramo de tubería: se instaló material PVC de 1" cédula 80 con una longitud de 2.46m.
- Segundo tramo de tubería: se instaló material PVC de 1" cédula 80 con una longitud de 2.48m.
- Tercer tramo de tubería: se instaló tubería en PVC de diámetro nominal ¾" cédula 80 cuya longitud es de 2.48m.
- Cuarto tramo de tubería: se instaló tubería en PVC de diámetro nominal ½" cédula 40 con una longitud 2.47m.
- Quinto tramo de tubería: se instaló tubería en PVC de diámetro nominal ½" cédula 40 con una longitud 2.47m.

*3.1.1.2. Sistema de tuberías para Bomba N°2 periférica TRUPER de 186W – 1/4HP*

- Sexto tramo de tubería: se instaló material PVC de 1" cédula 80 con una longitud de 2.47m.
- Séptimo tramo de tubería: se instaló material PVC de 1" cédula 80 con una longitud de 2.46m.
- Octavo tramo de tubería: se instaló tubería en PVC de diámetro nominal ¾" cédula 80 cuya longitud es de 2.47m.
- Noveno tramo de tubería: se instaló tubería en PVC de diámetro nominal ½" cédula 40 con una longitud 2.46m.
- Décimo tramo de tubería: se instaló tubería en PVC de diámetro nominal ½" cédula 80 con una longitud 2.47m.

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

De acuerdo a los diámetros nominales que ofrece el proveedor es importante conocer las especificaciones de cada tubería instalada y a su vez la rugosidad que posteriormente será un dato fundamental para los cálculos en el banco de pruebas como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3: Especificaciones para cada diámetro de tubería**

Diámetro nominal de la tubería	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interno (mm)	Rugosidad (m)
1" PVC	31.1	26.2	0.00000152
3/4 PVC	22.7	20.6	0.00000152
1/2 PVC	18.6	15.5	0.00000152

Fuente: Serie métrica PN 10 para tuberías y accesorios

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

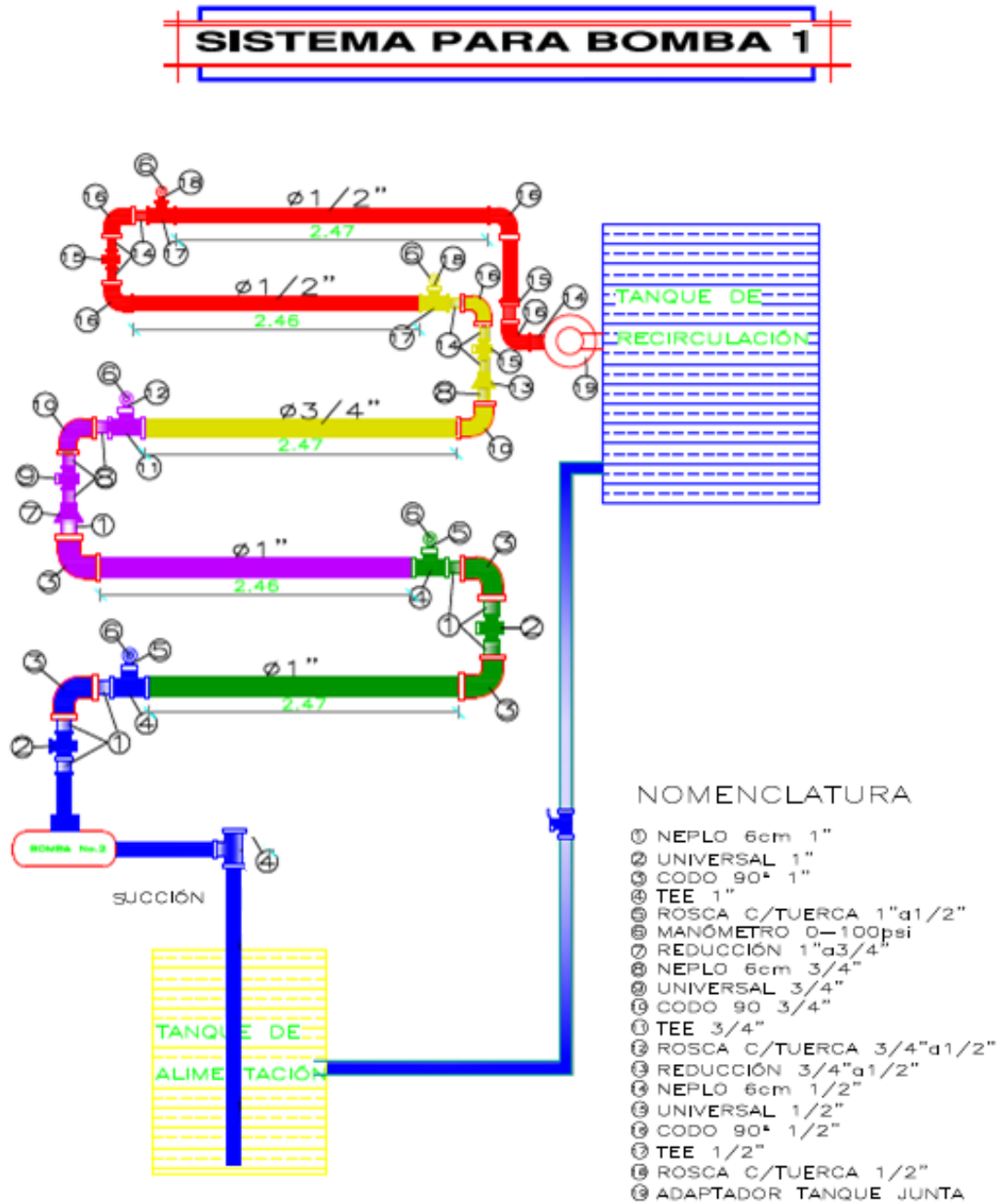


Gráfico 11 - Diagrama de Equipo bomba N.1

Realizado por: Joaquín García, 2014

**Donde:**

- Tramo 1
- Tramo 2
- Tramo 3
- Tramo 4
- Tramo 5

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

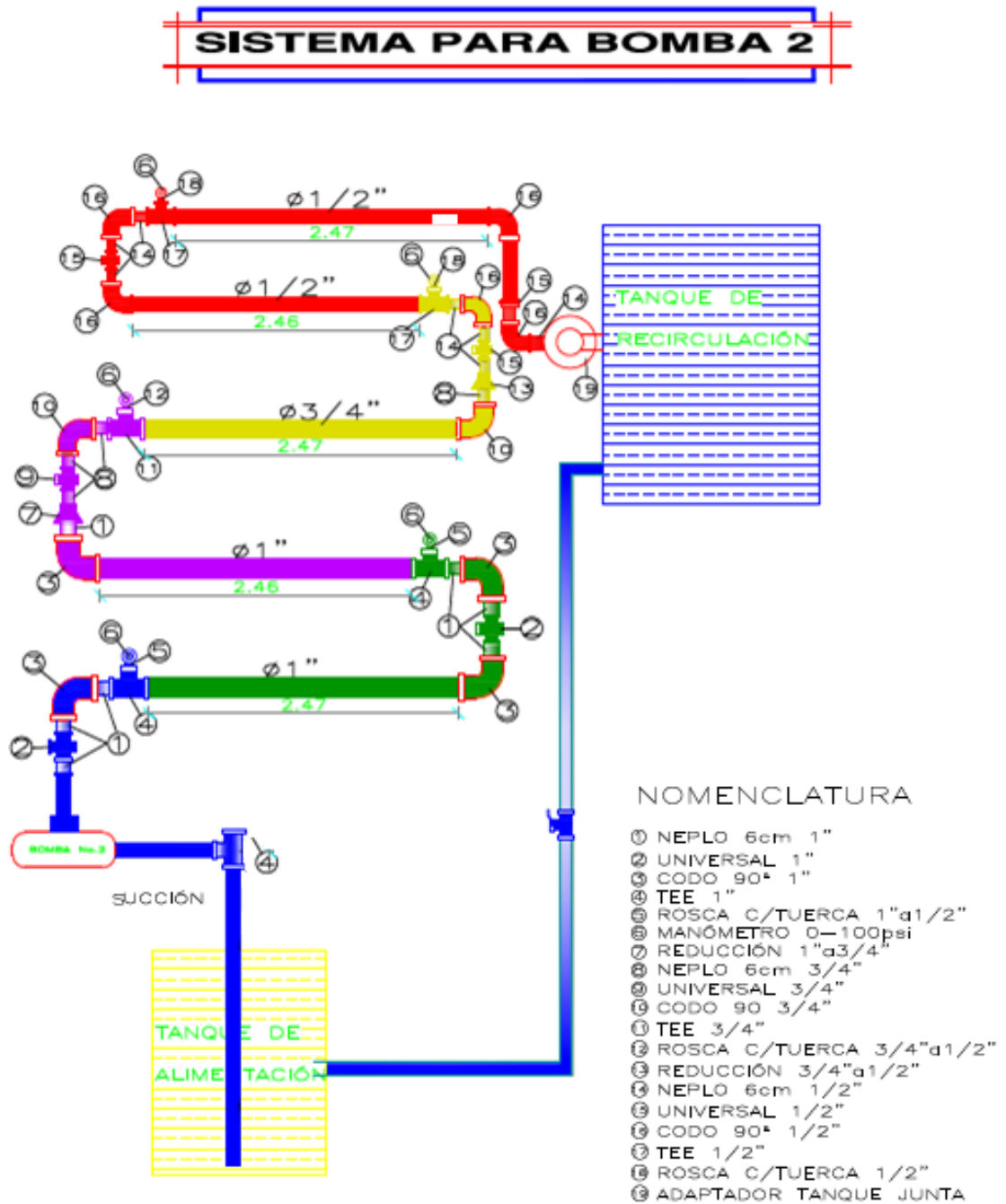


Gráfico 12 - Diagrama Equipo Bomba N. 2

Realizado por: Joahán García, 2014

- Tramo 6
- Tramo 7
- Tramo 8
- Tramo 9
- Tramo 10

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

### 3.1.2. Selección de fluidos

El banco de pruebas fue diseñado para que el fluido posea características específicas, es decir, el fluido tiene que estar a temperatura ambiente y su viscosidad sea baja, en vista que si se usare fluidos con viscosidad alta, podría taponar las bombas monofásicas ya que sus características de operación El fluido que se utilizó, fue agua (H<sub>2</sub>O) cuyas propiedades se obtiene de tablas para los cálculos requeridos.

### 3.1.3. Uniones y accesorios del banco de pruebas

Los accesorios utilizados para la bomba N°1 son los siguientes de acuerdo a cada tramo de tubería instalado:

#### 3.1.3.1. Accesorios -Tramo 1



Gráfico 13 - Accesorios Tramo 1

Realizado por: Joahán García, 2014



**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

**Tabla 4: Accesorios instalados en tramo 1**

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO
3	Niple 1"
1	Tee 1"
1	Universal 1"
1	Codo de 90° 1"
1	Manómetro PAOLO de 0-100PSi 1/2"
1	Bushing reductor 1" a 1/2"

Realizado por: Joahán García, 2014

**3.1.3.2. Tramo 2**



**Gráfico 14 - Accesorios tramo 2**

Realizado por: Joahán García, 2014

**Tabla 5: Accesorios instalados en tramo 2**

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO
3	Niple 1"
1	Tee 1"
1	Universal 1"
2	Codo de 90° 1"
1	Manómetro PAOLO de 0-100PSi 1/2"
1	Reductor 1" a 1/2"

Realizado por: Joahán García, 2014

**3.1.3.3. Tramo 3**

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**



**Gráfico 15 - Accesorios tramo 3**

Realizado por: Joahán García, 2014

**Tabla 6: Accesorios instalados en tramo 3**

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO
1	Niple 1"
3	Niple 3/4"
1	Tee 3/4"
1	Reductor 1" a 3/4"
1	Universal 3/4"
1	Codo de 90° 1"
1	Codo de 90° ¾"
1	Manómetro PAOLO de 0-100PSi 1/2"
1	Bushing reductor 3/4" a 1/2"

Realizado por: Joahán García, 2014

**3.1.3.4. Tramo 4**



**Gráfico 16 - Accesorios tramo 4**

Realizado por: Joahán García, 2014

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

**Tabla 7: Accesorios instalados en tramo 4**

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO
1	Niple 3/4"
3	Niple 1/2"
1	Tee 1/2"
1	Reducción 3/4" a 1/2"
1	Universal 1/2"
1	Codo de 90° 3/4"
1	Codo de 90° 1/2"
1	Manómetro PAOLO de 0-100PSi 1/2"
1	Niple 1/2"

Realizado por: Joahán García, 2014

**3.1.3.5. Tramo 5**



**Gráfico 17 - Accesorio tramo 5**

Realizado por: Joahán García, 2014

**Tabla 8: Accesorios instalados en tramo 4**

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO
3	Niple 1/2"
1	Tee 1/2"
1	Universal 1/2"
2	Codo de 90° 1/2"
1	Manómetro PAOLO de 0-100PSi 1/2"
1	Bushing 1/2"

Realizado por: Joahán García, 2014

NOTA: Cabe mencionar que los accesorios que se utilizaron para el sistema de tuberías para la bomba N°2 son los mismos que el sistema de tuberías para la bomba N°1, es

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

decir, tramo 6, tramo 7, tramo 8, tramo 9, tramo 10, contienen los mismos accesorios, con el propósito de comparar la eficiencia de cada bomba, ya que cada bomba trabaja por separado, y de igual manera comparar los resultados obtenidos.

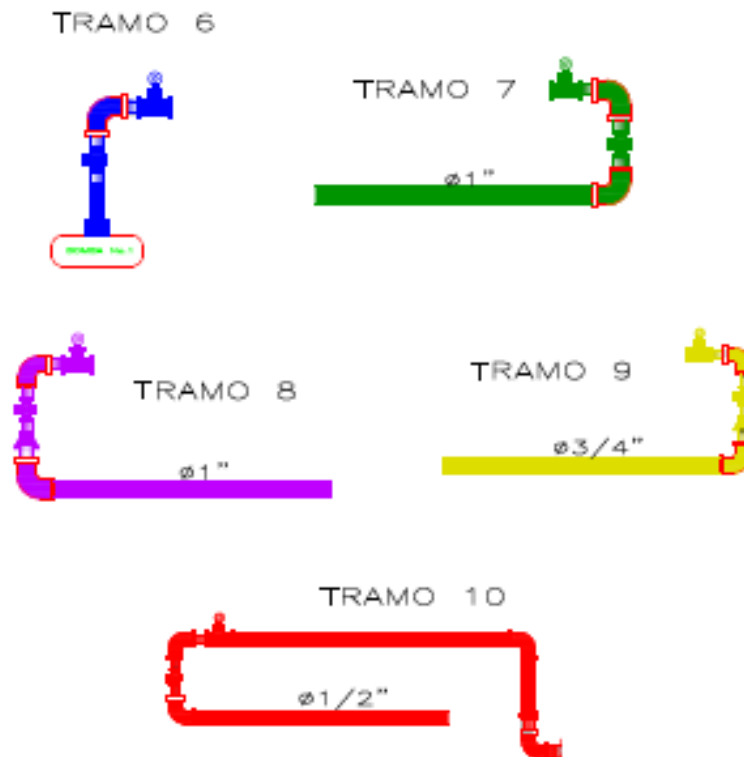


Gráfico 18 - Accesorios para bomba N.2

Realizado por: Joahán García, 2014

### 3.1.4. Montaje de banco de pruebas

El banco de pruebas posee dos tanques de 30 litros de capacidad, el primero de color amarillo para la alimentación de carga y el segundo de color azul para el retorno de la alimentación.

Se dividió en dos sistemas de tuberías y accesorios similares en forma de serpentín para cada bomba: centrífuga y periférica respectivamente, que a su vez se subdivide en 5 tramos con diferentes diámetros de tubería con la finalidad que los resultados obtenidos

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

varíen por la potencia de cada bomba y medir su eficiencia, de igual manera por los distintos diámetros de tubería obtener resultados de pérdidas de carga por accesorios y por fricción.

La tubería usada para el sistema de pruebas es de material PVC roscable, su fabricante PLASTIGAMA de su catálogo línea dorada para agua fría, cada uno de los tramos posee un medidor de presión llamado manómetro donde su rango va de 0 a 100 psi lo cual facilita su lectura para presiones relativamente bajas. En cuanto a los accesorios de igual forma que la tubería son de material PVC.

Se decidió colocar universales para cada tubería ya que de esta manera se puede desarmar el equipo con facilidad en caso se decida hacer un mantenimiento preventivo o a su vez exista algún problema con el correcto funcionamiento del mismo.

### 3.1.5. Cálculos

*3.1.5.1. Cálculo de velocidad, número de Reynolds, factor de fricción para bomba N°1*

*3.1.5.1.1. Cálculos para tramo 1*

Para el cálculo de velocidad se procedió primeramente a medir el caudal partiendo de la fórmula:

$$Q_1 = \frac{V_1}{t_1}$$

Donde:

V = volumen (L)

t= tiempo (s)

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

Para este valor de caudal y utilizando un cronómetro se midió el volumen que podía transportar durante 30 segundos el sistema de tuberías, este proceso se realizó para la bomba N°1 y bomba N°2, en este proceso arrojé los siguientes datos:

$$Q_1 = \frac{13 \text{ L}}{30 \text{ s}}$$

$$Q_1 = 0,43 \text{ L/s}$$

Este valor lo transformamos a m<sup>3</sup>/s

$$Q_1 = 4,33 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

De la ecuación 2.3.5-1 se tiene:

$$v = \frac{Q}{A}$$

**Donde:**

$v =$  velocidad m/s

$Q =$  caudal bomba 1

$A =$  área de la tubería en tramo 1

Para utilizar la fórmula para la velocidad se necesita conocer el área para el tramo 1 para este efecto se utilizó la expresión:

$$A = \frac{\pi * D_i^2}{4}$$

Donde:

$A_1 =$  área de la tubería

$\pi =$  número pi

$D_i =$  diámetro interno de la tubería

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

$$A_1 = \frac{\pi * (0,0232)^2 m^2}{4}$$

$$A_1 = 5,39 * 10^{-4} m^2$$

Obtenidos los valores de caudal y área de la tubería se reemplazaron en la ecuación de velocidad anteriormente mencionada:

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

Reemplazando queda así:

$$v_1 = \frac{4,33 * 10^{-4} m^3/s}{5,39 * 10^{-4} m^2}$$

$$v_1 = \mathbf{0,803 m/s}$$

De esta manera se ha obtenido el valor de la velocidad que está estimada en los rangos que proporciona el proveedor se precisa obtener el valor de número de Reynolds (Re) tomando como dato la viscosidad cinemática del fluido, (Véase ANEXO - 3) Como se mencionó anteriormente el fluido seleccionado es agua y se calcula con la ecuación *Ec. 2.4.1 – 2*

$$Re_1 = \frac{v_1 D_{i1}}{\varnothing}$$

Reemplazando los valores en la *Ec. 2.4.1 – 2*

$$Re_1 = \frac{0,803 \frac{m}{s} * 0,0262 m}{1,02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_1 = 20,626$$

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

Lo que se concluye que el flujo es turbulento, esto nos permite calcular el factor de fricción con la ecuación Ec. 2.5.2 – 2:

$$f_1 = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3,7 * \left( \frac{D_i}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Donde:

$\varepsilon =$  Rugosidad de conducto

$D_i =$  diámetro interno de la tubería

El valor de rugosidad para plástico se obtiene por medio de las tablas donde se puede apreciar un valor de  $3.0 \times 10^{-7}$ ; reemplazando los valores en la se obtuvo el siguiente resultado:

$$f_1 = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3,7 * \left( \frac{0,0262}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{20626^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_1 = 0,02564$$

**3.1.5.1.2. Cálculos para tramo 2**

En vista que el caudal es constante en el sistema de tuberías para la bomba N°1 y como se detalló anteriormente el tramo 1 y el tramo 2 se instalaron el mismo diámetro de tubería por este motivo el caudal, la velocidad del fluido transportado, número de Reynolds y el factor de fricción van a ser los mismos.

$$Q_2 = 4,33 \times 10^{-4} m/s$$

$$A_2 = 3,39 \times 10^{-4} m^2$$



$$Re_2 = 20.626$$

$$f_2 = 0,0256$$

### 3.1.5.1.3. Cálculos para Tramo 3

En este tramo del banco de pruebas se instaló tubería de  $\frac{3}{4}$  por lo cual el área va a variar por su diámetro interno, y por ende su velocidad y número de Reynolds y factor de fricción. Los valores obtenidos para el tramo 3 son los siguientes:

$$Q_3 = 4,33 * 10^{-4} m^3/s \text{ (valor constante)}$$

Para el cálculo de la velocidad se procede de la misma manera que el tramo 1 por consiguiente se calculó el área teniendo en cuenta el nuevo diámetro de tubería obteniéndose los valores que se presentan a continuación:

De la ecuación 2.3.5-1 se tiene:

$$A_3 = \frac{\pi * (0,0206)^2 m^2}{4}$$

$$A_3 = 3,33 * 10^{-4} m^2$$

Con el valor del área del tramo 3 se calculó la velocidad 3:

$$v_3 = \frac{4,33 * 10^{-4} m^3/s}{3,33 * 10^{-4} m^2}$$

$$v_3 = 1,312 m/s$$

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

Cálculo de Número de Reynolds para tramo 3

$$Re_3 = \frac{1.312 \frac{m}{s} * 0.0206m}{1.02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_3 = 26497$$

Se concluye que el valor obtenido del número de Reynolds para el flujo transportado en el tramo 3 es flujo turbulento.

Cálculo del factor de fricción para tramo 3

$$f_3 = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3,7 * \left( \frac{0,0206}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{26497^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_3 = 0,2412$$

*3.1.5.1.4. Cálculos para Tramo 4*

El tramo 4 consta de una instalación de tubería en material PVC cédula 40 de ½” de diámetro nominal, partiendo del valor obtenido de caudal que es constante la expresión queda así:

$$Q_4 = 4,33 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo de área para la nueva tubería de ½”, se realizó por medio de la expresión:

$$A_4 = \frac{\pi * (0,0155)^2 m^2}{4}$$

$$A_4 = 1,89x10^{-4} m^2$$

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

Reemplazando los valores de caudal (Q) y velocidad (v) para el tramo 4 la expresión resulta:

$$v_4 = \frac{4,33 * 10^{-4} m^3/s}{1,89 * 10^{-4} m^2}$$

$$v_4 = 2,29 m/s$$

Cálculo del número de Reynolds para el tramo 4:

$$Re_4 = \frac{2.291 \frac{m}{s} * 0.0155m}{1.02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_4 = 34814$$

El fluido para el tramo 4 posee un flujo turbulento mayor que el tramo 3, este fenómeno se debe a que el diámetro interno de la tubería es menor y por ende la trayectoria del fluido va a ser más brusca.

Cálculo del factor de fricción para tramo 4

$$f_4 = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3,7 * \left( \frac{0,0155}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{34814^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_4 = 0,0226$$

**3.1.5.1.5. Cálculos para Tramo 5**

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

La tubería instalada es la misma que en el tramo 4 por esta razón y tomando en cuenta que el valor del caudal y el área son los mismos, el valor de velocidad queda así:

$$v_5 = 2,29m/s$$

El valor del número de Reynolds para el tramo 5 es:

$$Re_5 = 34814$$

Resultado del factor de fricción para tramo 5 es:

$$f_5 = 0,0226$$

*3.1.5.2. Cálculo de velocidad, número de Reynolds, factor de fricción para bomba N°2*

*3.1.5.2.1. Cálculos para tramo 6*

Es importante denotar que el nuevo caudal se realizó con el mismo procedimiento que en la bomba N°1 con la diferencia que los valores que registró el cronómetro fueron distintos, a continuación se detalla los valores registrados:

- Cálculo del caudal para bomba N°2 TRUPER

$$Q_6 = \frac{V_6}{t_6}$$

Reemplazando:

$$Q_6 = \frac{12,72 L}{19,71 s}$$

$$Q_6 = 6,42 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

Los valores obtenidos por medio de mediciones en el laboratorio se obtuvieron en función del volumen con respecto al tiempo de llegada del fluido al tanque de descarga.

El mismo procedimiento que en los tramos anterior, se calculó el área del tubo:

$$A_6 = \frac{\pi * (D_{i6})^2}{4}$$

Reemplazando:

$$A_6 = \frac{\pi * (0,0262m)^2}{4}$$

$$A_6 = 5,39 \times 10^{-4}$$

- Cálculo para la velocidad del fluido en el tramo 6

$$v_6 = \frac{6,42 * 10^{-4} m^3/s}{5,39 * 10^{-4} m^2}$$

$$v_6 = 1,91 m/s$$

De la ecuación Ec. 2.4.1 – 2

$$Re_6 = \frac{v_7 D_{i7}}{\gamma}$$

Reemplazando los valores en la Ec. 2.4.1 – 2

$$Re_6 = \frac{1,191 \frac{m}{s} * 0,0262m}{1,02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_6 = 30592$$

El flujo del fluido es turbulento > 5000 (Shames, 2005)

- Cálculo para factor de fricción por el método expuesto por (P. Swamee y A. Jain, 1976). De la ecuación Ec. 2.5.2 – 2:

$$f_6 = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3,7 * \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Reemplazando:

$$f_6 = \frac{0.25}{\left[ \log_{10} \left( \frac{1}{3,7 * \left( \frac{0,0262}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{(30592)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f_6 = 0,0233$$

#### 3.1.5.2.2. Cálculo para el tramo 7

El valor del caudal en todo el sistema de tuberías para la bomba N°2 es constante, además a esto, el diámetro de la tubería es el mismo que en el tramo 6, siendo así los mismos resultados obtenidos:

$$Q_7 = 6,42 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$A_7 = 1,89 \times 10^{-4}$$

$$v_7 = 1,91m/s$$

$$Re_7 = 30592$$

$$f_7 = 0,0233$$

#### 3.1.5.2.3. Cálculos para tramo 8

La tubería instalada fue de ¾", los resultados obtenidos por medio de las mismas fórmulas anteriormente usadas, fueron:

$$Q_8 = 6,42 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$A_8 = 3,33 \times 10^{-4}$$

$$v_8 = 1,92 m/s$$

$$Re_8 = 38776$$

$$f_8 = 0,0225$$

#### 3.1.5.2.4. Cálculos para el tramo 9

El diámetro de tubería para esta sección es de ½", los resultados son los siguientes:

$$Q_9 = 6,42 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$A_9 = 1,89 \times 10^{-4}$$

$$v_9 = 3,39 m/s$$

$$Re_9 = 51514$$

$$f_9 = 0,0207$$

#### 3.1.5.2.5. Cálculos para el tramo 10

$$Q_{10} = 6,42 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$A_{10} = 1,89 \times 10^{-4}$$

$$v_{10} = 3,39 m/s$$

$$Re_{10} = 51514$$

$$f_{10} = 0,0207$$

#### 3.1.5.3. Cálculo de pérdidas por fricción

##### 3.1.5.3.1. Bomba PEDROLLO PKm-060-1

Para el cálculo de pérdidas fricción se utiliza la ecuación Ec. 2.5.1.1.-1

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

$$h_G = f \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$h_G$  = Energía perdida por fricción (N.m/N), m, lb-pie/lb o pies)

$L$  = longitud del trayecto del flujo

$D$  = Diámetro de la sección de la tubería (m o pies)

$v$  = Velocidad media del flujo del fluido (m/s o pies/s)

$f$  = factor de fricción (adimensional)

$g$  = gravedad

**3.1.5.3.1.1. Pérdidas por fricción para tramo 1**

Reemplazando los datos obtenidos para este tramo se obtiene:

$$h_{G1} = (0.025) \left( \frac{2.465}{0.0262} \right) \times \left( \frac{0.803^2}{19.6} \right)$$

$$\mathbf{h_{G1} = 0.077m}$$

**3.1.5.3.1.2. Pérdidas por fricción para tramo 2**

$$h_{G2} = (0.02523) \left( \frac{2.48}{0.0262} \right) \times \left( \frac{0.803^2}{19.6} \right)$$

$$\mathbf{h_{G2} = 0.078m}$$

**3.1.5.3.1.3. Pérdidas por fricción para tramo 3**

$$h_{G3} = (0.02412) \left( \frac{2.48}{0.0206} \right) \times \left( \frac{1.312^2}{19.6} \right)$$

$$\mathbf{h_{G3} = 0.23m}$$



3.1.5.3.1.4. Pérdidas por fricción para tramo 4

$$h_{G4} = (0.0226) \left( \frac{2.47}{0.0155} \right) \times \left( \frac{2.291^2}{19.6} \right)$$

$$\mathbf{h_{G4} = 0.96m}$$

3.1.5.3.1.5. Pérdidas por fricción para tramo 5

$$h_{G5} = (0.0226) \left( \frac{2.47}{0.0155} \right) \times \left( \frac{2.291^2}{19.6} \right)$$

$$\mathbf{h_{G5} = 0.94m}$$

**NOTA:** Vale recalcar que el tramo 5 posee las mismas características del tramo 4 en longitud y diámetro por lo cual el valor no va a diferir.

3.1.5.3.1.6. Pérdidas por fricción totales para BOMBA PEDROLLO

$$\sum h_G = h_{G1} + h_{G2} + h_{G3} + h_{G4} + h_{G5}$$

$$\sum h_G = 0.77 + 0.78 + 0.23 + 0.96 + 0.94$$

$$\sum h_G = \mathbf{2.90m}$$

3.1.5.3.2. Pérdidas por fricción para Bomba N°2 TRUPER.

3.1.5.3.2.1. Pérdidas por fricción para tramo 6

Reemplazando los valores se obtiene:

$$h_{G6} = (0.0233) \left( \frac{2.47}{0.0262} \right) \times \left( \frac{1.912^2}{19.6} \right)$$

$$h_{G6} = \mathbf{0.37m}$$

#### 3.1.5.3.2.2. Pérdidas por fricción para tramo 7

$$h_{G6} = (0.0233) \left( \frac{2.465}{0.0262} \right) \times \left( \frac{1.912^2}{19.6} \right)$$

$$h_{G7} = \mathbf{0.36m}$$

#### 3.1.5.3.2.3. Pérdidas por fricción para tramo 8

$$h_{G8} = (0.0225) \left( \frac{2.47}{0.0206} \right) \times \left( \frac{1.922^2}{19.6} \right)$$

$$h_{G8} = \mathbf{0.48m}$$

#### 3.1.5.3.2.4. Pérdidas por fricción para tramo 9

$$h_{G9} = (0.0207) \left( \frac{2.47}{0.0155} \right) \times \left( \frac{3.391^2}{19.6} \right)$$

$$h_{G9} = \mathbf{1.91m}$$

NOTA: De acuerdo con el resultado en las pérdidas del tramo 9, son considerables en vista que la velocidad es mayor por lo cual existe mayor fricción por tubería lisa y de esta manera se concluye el resultado obtenido.

3.1.5.3.2.5. Pérdidas por fricción para tramo 10

$$h_{G10} = (0.00207) \left( \frac{2.46}{0.0155} \right) \times \left( \frac{3.39^2}{19.6} \right)$$

$$h_{G10} = 1.92m$$

3.1.5.3.2.6. Pérdidas por fricción totales para BOMBA TRUPER

$$\sum h_G = h_{G6} + h_{G7} + h_{G8} + h_{G9} + h_{G10}$$

$$\sum h_G = 0.37 + 0.36 + 0.48 + 1.91 + 1.92$$

$$\sum h_G = 5.4m$$

3.1.5.4. *Cálculo de pérdidas por accesorios en tuberías lisas.*

Llamadas también pérdidas menores, para calcular estas pérdidas es necesario conocer el factor “K” de los accesorios utilizados a lo largo de cada uno de los tramos, estos valores se pueden obtener por medio del proveedor o por cálculo de fórmula como se detalla a continuación para los accesorios más comunes:

3.1.5.4.1. Cálculo del Coeficiente “K” en accesorios utilizados.

3.1.5.4.1.1. Codo HH

Para el sistema de bombeo se utilizó codos estándar de 90° de 1”, ¾”, ½” en PVC para ciertos tramos de las tuberías.

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK



**Gráfico 19 - Codo HH 90°**

Fuente: Catálogo línea roscable – Plastigama

Los factores “K” de cada codo son:

- Codo de 1”, factor K= 0.61
- Codo de ¾”, factor K= 0.73
- Codo de ½”, factor K= 0.81

### 3.1.5.4.1.2. Unión Tee

Para la unión de cada sección del banco de pruebas se utilizó uniones de Tee de 1”, ¾”, ½” en PVC



**Gráfico 20 - Unión Tee**

Fuente: Catálogo línea roscable – Plastigama

El factor “K” de la unión en T es:

Unión en T cuando el flujo circula en línea recta, Factor K= 0.54

Unión en T cuando el flujo circula en forma perpendicular, Factor k= 1.62

### 3.1.5.4.1.3. Reductor

Se utilizó reductores de 1” a ¾”, de igual manera se utilizó reductores de ¾” a ½”, la función de los reductores es que en la misma línea de la tubería para cada bomba

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

hidráulica se utilizó diferentes diámetros por lo cual el reductor sirve para empatar dos tuberías de diferentes diámetros como se mencionó anteriormente para cada tramo. Donde se requiera su utilización.



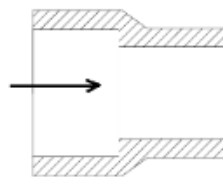
plg	mm
1/2x3/8	20x16
3/4x1/2	25x20
1x3/4	32x25
1x1/2	32x20

**Gráfico 21 - Reductor HH**

Fuente: Catálogo línea roscable – Plastigama

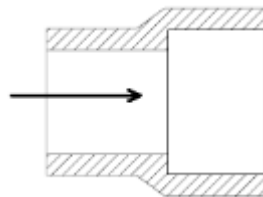
El factor “K” de los reductores depende de la dirección que tome el flujo.

- Cálculo para reductor de 1” a ¾”,  $d_1 = 25.4\text{mm}$   $d_2 = 32.1\text{mm}$



$$K = 0.5 \left( 1 - \frac{d_1^2}{d_2^2} \right) \quad K = 0.5 \left( 1 - \frac{23.4^2}{29.9^2} \right)$$

$$\mathbf{K = 0.21}$$

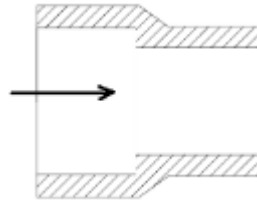


$$K = \left( 1 - \frac{d_1^2}{d_2^2} \right)^2 \quad K = \left( 1 - \frac{23.4^2}{29.9^2} \right)^2$$

$$\mathbf{K = 0.15}$$

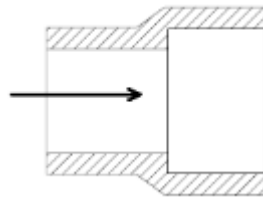
- Cálculo para reductor de ¾” a ½”,  $d_1 = 17.9\text{mm}$ :  $d_2 = 23.4\text{mm}$

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK



$$K = 0.5 \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right) \quad K = 0.5 \left(1 - \frac{17.9^2}{23.4^2}\right)$$

$$K = 0.21$$



$$K = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2 \quad K = \left(1 - \frac{17.9^2}{23.4^2}\right)^2$$

$$K = 0.17$$

3.1.5.4.1.4. Niple - 6cm corrido



plg	mm
1/2	20
3/4	25
1	32
1 1/4	40
1 1/2	50
2	63

**Gráfico 22 - Niple - 6cm corrido**

Fuente: Catálogo línea roscable – Plastigama

Valor k para el niple corresponde el valor del coeficiente es;  $K = 0,24$  está dado por el proveedor, este valor es  $K = 0.72$

3.1.5.4.1.5. Unión universal

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**



**Gráfico 23 - Unión universal**

Fuente: Catálogo línea roscable – Plastigama

El coeficiente “K” para la unión universal es el mismo para todos los diámetros  $K=0.78$

**3.1.5.4.1.6. Adaptador para tanque c/junta**

Es un adaptador que se utiliza para unir el tanque de retroalimentación con la tubería el material PVC.



**Gráfico 24 - Adaptador para tanque c/junta.**

Fuente: Catálogo línea roscable – Plastigama

El coeficiente “K” del adaptador para tanque es:

- 
- Salida del tanque de 1”, coeficiente  $K = 0.78$
- Entrada del tanque de 1/2”, coeficiente  $K = 1,03$

Conociendo el factor “K” de todos los accesorios que intervienen en los tramo de la tubería procedemos a calcular las pérdidas secundarias por accesorios en tuberías por medio de la siguiente ecuación Ec. 2.5.2-1

$$h_L = K \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

Donde:

$h_L$  = pérdidas secundarias (m)

$K$  = coeficiente de resistencia

$v$  = velocidad del flujo m/s

$g$  = gravedad m/s<sup>2</sup>

3.1.5.4.2. Pérdidas secundarias bomba 1 – PEDROLLO

3.1.5.4.2.1. Pérdidas menores para tramo 1

Tabla 9: Cálculo del coeficiente k para tramo 1

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
3	Niple macho corrido 1"	0,72
2	Tee hembra 1"	1,08
1	Universal 1"	0,78
1	Codo de 90° 1"	0,61
1	Tapón macho 1"	0,11
1	Bushing reductor 1" a ½"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>3,41</b>

Realizado por: Joahán García, 2014

$$h_L = k \left( \frac{v_1^2}{2g} \right)$$

$$h_{L1} = 3,41 \left( \frac{0,803^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L1} = 0,11m$$



CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

3.1.5.4.2.2. Pérdidas menores para tramo 2

Tabla 10: Cálculo del coeficiente k para tramo 2

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
3	Niple 1"	0,72
1	Tee 1"	0,54
1	Universal 1"	0,78
2	Codo de 90° 1"	0,61
1	Bushing reductor 1" a 1/2"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>2,76</b>

Realizado por: Joahán García, 2014

$$h_{L2} = 2,76 \left( \frac{0,803^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L2} = 0,091m$$

3.1.5.4.2.3. Pérdidas menores para tramo 3

Tabla 11: Cálculo del coeficiente k para tramo 3

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
1	Niple 1"	0,24
3	Niple 3/4"	0,24
1	Tee 3/4"	0,54
1	Reductor 1" a 3/4"	0,21
1	Universal 3/4"	0,78
1	Codo de 90° 1"	0,61
1	Codo de 90° 3/4"	0,73
1	Bushing reductor 3/4" a 1/2"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>3,46</b>

Realizado por: Joahán García, 2014

$$h_{L3} = 3,46 \left( \frac{1,312^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L3} = 0,303m$$

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

3.1.5.4.2.4. Pérdidas menores para tramo 4

Tabla 12: Cálculo del coeficiente k para tramo 4

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
1	Niple 3/4"	0,24
3	Niple 1/2"	0,72
1	Tee 1/2"	0,54
1	Reductor 3/4" a 1/2"	0,21
1	Universal 1/2"	0,78
1	Codo de 90° ¾	0,73
1	Codo de 90° ½	0,81
1	Bushing 1/2"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>4,14</b>

Realizado por: Joahán García, 2014

$$h_{L4} = 4,14 \left( \frac{1,312^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L4} = 1,107m$$

3.1.5.4.2.5. Pérdidas menores para tramo 5

Tabla 13: Cálculo del coeficiente k para tramo 4

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
3	Niple 1/2"	0,72
1	Tee 1/2"	0,54
1	Universal 1/2"	0,78
2	Codo de 90° 1/2	0,81
1	Bushing 1/2"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>2,96</b>

Realizado por: Joahán García, 2014

$$h_{L5} = 2,96 \left( \frac{2,29^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L5} = 0,79m$$

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

3.1.5.4.2.6. Pérdidas menores para BOMBA PEDROLLO

$$\sum h_L = h_{L1} + h_{L2} + h_{L3} + h_{L4} + h_{L5}$$

$$\sum h_L = 0.11 + 0.09 + 0.30 + 1.10 + 0.79$$

$$\sum h_L = 2.39m$$

3.1.5.4.3. Pérdidas secundarias bomba 2 – TRUPER

3.1.5.4.3.1. Pérdidas menores para tramo 6

Tabla 14: Cálculo del coeficiente k para tramo 6

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
3	Niple 1"	0,72
2	Tee 1"	1,08
1	Universal 1"	0,78
1	Codo de 90° 1"	0,61
1	Tapòn 1"	0,11
1	Bushing reductor 1" a ½"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>3,41</b>

Realizado por: Joahán García, 2014

$$h_{L6} = k \left( \frac{v_1^2}{2g} \right)$$

$$h_{L6} = 3,41 \left( \frac{1.191^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L6} = 0,634m$$

3.1.5.4.3.2. Pérdidas menores para tramo 7

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

Tabla 15: Cálculo del coeficiente k para tramo 7

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
3	Niple 1"	0,72
1	Tee 1"	0,54
1	Universal 1"	0,78
2	Codo de 90° 1"	0,61
1	Bushing reductor 1" a 1/2"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>2,76</b>

$$h_{L7} = 2,76 \left( \frac{1,91^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L7} = 0,513m$$

3.1.5.4.3.3. Pérdidas menores para tramo 8

Tabla 16: Cálculo del coeficiente k para tramo 8

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
1	Niple 1"	0,24
3	Niple 3/4"	0,24
1	Tee 3/4"	0,54
1	Reductor 1" a 3/4"	0,21
1	Universal 3/4"	0,78
1	Codo de 90° 1"	0,61
1	Codo de 90° 3/4"	0,73
1	Bushing reductor 3/4" a 1/2"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>3,46</b>

Realizado por: Joahán García, 2014

$$h_{L8} = 3,46 \left( \frac{1,921^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L8} = 0,644m$$

3.1.5.4.3.4. Pérdidas menores para tramo 9

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

Tabla 17: Cálculo del coeficiente k para tramo 9

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
1	Niple 3/4"	0,24
3	Niple 1/2"	0,72
1	Tee 1/2"	0,54
1	Reductor 3/4" a 1/2"	0,21
1	Universal 1/2"	0,78
1	Codo de 90° ¾	0,73
1	Codo de 90° ½	0,81
1	Bushing 1/2"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>4,14</b>

Realizado por: Joahán García, 2014

$$h_{L9} = 4,14 \left( \frac{3 \cdot 39^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L9} = 2,42m$$

NOTA: De acuerdo los valores obtenidos en la tabla 16 del coeficiente K, se puede comprobar que las pérdidas por accesorios son mayores, en vista que la velocidad del fluido es mayor, además a esto, las uniones para acoplar tuberías de mayor diámetro a una tubería de menor diámetro, son mayores.

3.1.5.4.3.5. Pérdidas menores para tramo 10

Tabla 18: Cálculo del coeficiente k para tramo 10

CANTIDAD	NOMBRE ACCESORIO	"K"
3	Niple 1/2"	0,72
1	Tee 1/2"	0,54
1	Universal 1/2"	0,78
2	Codo de 90° 1/2	0,81
1	Bushing 1/2"	0,11
<b>TOTAL</b>		<b>2,96</b>

Realizado por: Joahán García, 2014

$$h_{L10} = 2,96 \left( \frac{3.39^2}{2(9,8)} \right)$$

$$h_{L10} = 1,73m$$

3.1.5.4.3.6. Cálculo Pérdidas menores totales para BOMBA TRUPER

$$\sum h_L = h_{L6} + h_{L7} + h_{L8} + h_{L9} + h_{L10}$$

$$\sum h_L = 0.634 + 0.513 + 0.64 + 2.42 + 1.73$$

$$\sum h_L = 5.93m$$

3.1.5.4.3.7. Cálculo para las pérdidas totales para bomba 1 - PEDROLLO

$$\sum h_{1TOTAL} = \sum h_G + \sum h_L$$

$$\sum h_{1TOTAL} = 2.39 + 2.90$$

$$\sum h_{1TOTAL} = 5.29m$$

3.1.5.4.3.8. Cálculo para las pérdidas totales para bomba 2 - TRUPER

$$\sum h_{2TOTAL} = \sum h_G + \sum h_L$$

$$\sum h_{2TOTAL} = 5.93 + 5.04$$

$$\sum h_{2TOTAL} = 10.97m$$

3.1.6. **Cálculo de presión de succión para bomba 1 y bomba 2**

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

- Para realizar el cálculo de presión de succión en el banco de pruebas se utiliza la ecuación Ec. 1.2.3.1.1-4

$$P_s = P + Z - \sum h_{TOTAL}$$

Consideración:

P= presión atmosférica por que el tanque de alimentación está abierto.

$Z_1 = Z_2$  son las mismas, se encuentran al mismo nivel.

$\sum h_{TOTAL}$ = de igual manera son las mismas pérdidas totales ya que tiene la misma longitud de tubería y el mismo accesorio, unión Tee que es despreciable la pérdida y no se toma en cuenta.

- Cálculo de Presión atmosférica (P):

Teniendo en cuenta que en el Ecuador nos encontramos a 0.7 atm de presión, a este valor se transforma a psi como unidad de presión para el presente cálculo.

$$\frac{0.7 \cancel{\text{atm}}}{1 \cancel{\text{atm}}} \left| \frac{14.7 \text{psi}}{1 \cancel{\text{atm}}} \right.$$

$$= \mathbf{10.40psi}$$

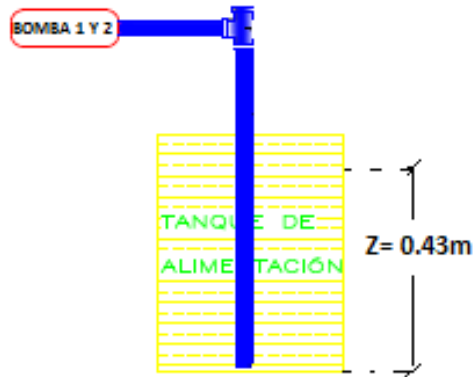
- Cálculo para altura se succión (Z)

El valor de la altura de succión se toma desde el piso hasta el nivel que se encuentra el fluido.

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

Consideración:

La altura de succión es la misma para la bomba 1 y 2, ya que se encuentran al mismo nivel, como se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 25 - Tramo de succión**

Realizado por: Joahán García, 2014

Transformando a psi:

$$\frac{0.43 \text{ m}}{1 \text{ m}} \quad \left| \quad \frac{3.28 \text{ fts}}{2.31 \text{ fts}} \quad \right| \quad \frac{1 \text{ psi}}{2.31 \text{ fts}}$$

$$\mathbf{Z = 0.61 \text{ psi}}$$

NOTA: El valor de 0.61m es negativo ya que la bomba hidráulica es de succión negativa como se explica en el Gráfico 41

Las pérdidas para este tramo de succión se toma valor constante 0.23m por cada 100m de tubería (Véase ANEXO – 4). La longitud de la tubería en el tramo de la succión es de 0.91m. A continuación se detalla el cálculo:

$$\frac{0.91 \text{ m tubería}}{100 \text{ m tubería}} \quad \left| \quad \frac{0.23 \text{ m}}{100 \text{ m tubería}} \quad \right|$$



**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

$$= 0.209m$$

Transformando a psi:

$$\frac{0.209 \cancel{m}}{1 \cancel{m}} \left| \frac{3.28 \cancel{fts}}{1 \cancel{m}} \right| \frac{1 \cancel{psi}}{2.31 \cancel{fts}}$$

$$\sum h_{TOTAL} = 0.296 \text{ psi}$$

De la ecuación Ec. 1.2.3.1.1-4, reemplazo los valores obtenidos anteriormente de presión atmosférica, altura, y pérdidas en el sistema:

$$P_s = P + Z - \sum h_{TOTAL}$$

$$P_s = 10.40\text{psi} - 0.61\text{psi} - 0.296\text{psi}$$

$$P_s = 9.49\text{psi}$$

### 3.1.7. Cálculo de presión de descarga para bomba 1 PEDROLLO pkm 60-1

De la ecuación Ec. 1.2.3.1.1-5

$$P_{d1} = P_{RD} + Z_1 + \sum h_{1TOTAL}$$

Consideraciones:

$P_{RD}$  = Presión atmosférica en Ecuador 10.40psi

$Z_1$  = valor tomado desde el piso hasta el tramo 5

$\sum h_{1TOTAL}$  = Pérdidas totales de bomba 1

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

3.1.7.1. Cálculo para altura Z

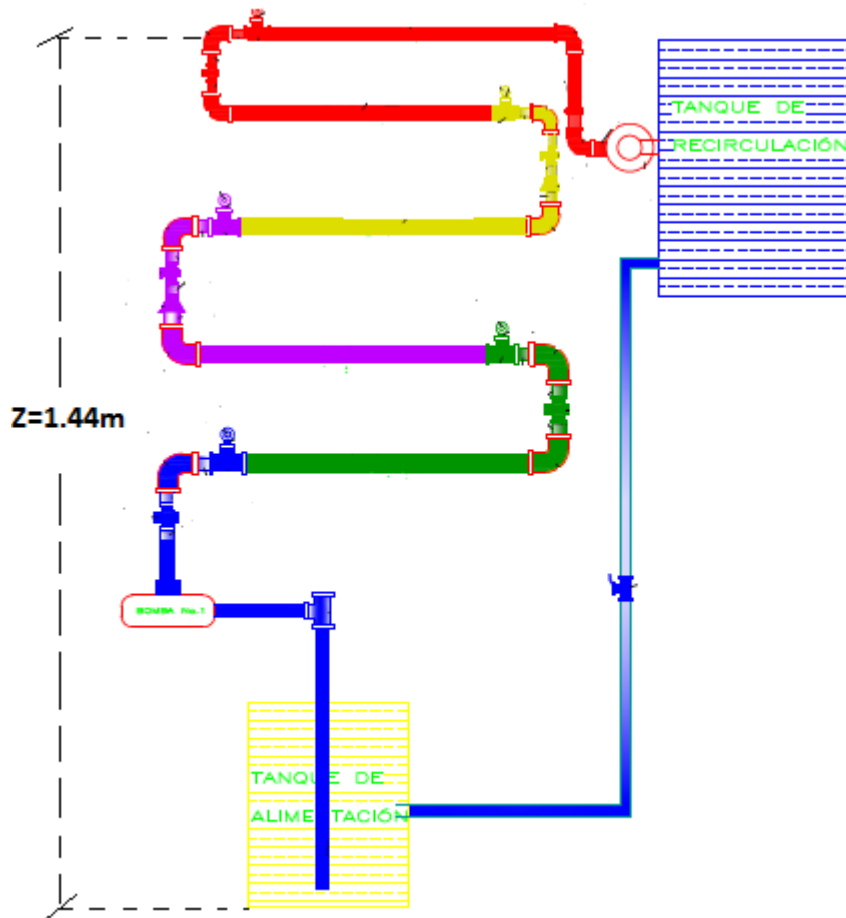


Gráfico 26 - Altura del sistema

Realizado por: Joahán García, 2014

Transformando a psi:

$$\frac{1.44 \cancel{\text{ m}}}{1 \cancel{\text{ m}}} \left| \frac{3.28 \text{ fts}}{2.31 \cancel{\text{ fts}}} \right| \frac{1 \text{ psi}}{2.31 \cancel{\text{ fts}}}$$

$$Z_1 = 2.045 \text{ psi}$$

3.1.7.2. Cálculo de pérdidas totales de bomba 1:

Del valor obtenido de las pérdidas totales en la bomba 1 que fue 5.29m, se transforma a psi:

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

$$\frac{5.29 \cancel{m}}{1 \cancel{m}} \quad \left| \quad \frac{3.28 \cancel{fts}}{1 \cancel{m}} \quad \right| \quad \frac{1 \text{ psi}}{2.31 \cancel{fts}}$$

$$\sum h1_{TOTAL} = 7.51 \text{ psi}$$

Reemplazando valores en la ecuación de presión de descarga Ec. 1.2.3.1.1-5 se obtiene:

$$P_d = P_{RD} + Z_1 + \sum h1_{TOTAL}$$

$$P_d = 10.40\text{psi} + 2.045\text{psi} + 7.51\text{psi}$$

$$P_{d1} = 19.95\text{psi}$$

Cálculo de la variación de presión ( $\Delta P$ ):

$$\Delta P_1 = P_{d1} - P_s$$

$$\Delta P_1 = 19.95\text{psi} - 9.49\text{psi}$$

$$\Delta P_1 = 10.46 \text{ psi}$$

### **3.1.8. Cálculo de presión de descarga para bomba n°2 TRUPER**

De la ecuación Ec. 1.2.3.1.1-5

$$P_{d2} = P_{RD} + Z_2 + \sum h2_{TOTAL}$$

Consideraciones:

$$P_{RD} = \text{Presión atmosférica en Ecuador } 10.40\text{psi}$$

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

Z<sub>2</sub> valor tomado desde el piso hasta el tramo 5

$$\sum h_{2\text{TOTAL}} = \text{Pérdidas totales de bomba 2}$$

Del valor obtenido de las pérdidas totales para la bomba N°2 se transforma a psi:

$$\frac{10.97 \text{ m}}{1 \text{ m}} \quad \left| \quad \frac{3.28 \text{ fts}}{1 \text{ m}} \quad \right| \quad \frac{1 \text{ psi}}{2.31 \text{ fts}}$$

$$\sum h_{2\text{TOTAL}} = 15.576 \text{ psi}$$

Reemplazando en la ecuación de presión de succión:

$$P_{d2} = P_{RD} + Z_2 + \sum h_{2\text{TOTAL}}$$

$$P_{d2} = 10.40\text{psi} + 2.045\text{psi} + 15.576\text{psi}$$

$$P_{d2} = 28.02\text{psi}$$

- Cálculo de la variación de presión ( $\Delta P$ ):

$$\Delta P_2 = P_{d2} - P_s$$

$$\Delta P_2 = 28.02\text{psi} - 9.49\text{psi}$$

$$\Delta P_2 = 18.53 \text{ psi}$$

### 3.1.9. Cálculo de potencia hidráulica bomba n°1 PEDROLLO

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

De la ecuación Ec. 1.2.3.3-1

$$Hp_1 = \frac{Q_1 * \Delta P_1}{27}$$

Del valor de caudal (Q) obtenido de las mediciones en el laboratorio se tiene:

$$Q = 0.43 \frac{L}{s}$$

Se transforma m<sup>3</sup>/h

$$\frac{0.43 \cancel{L}}{\cancel{s}} \quad \left| \begin{array}{l} 1 \text{ m}^3 \\ 1000 \cancel{L} \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{l} 3600 \cancel{s} \\ 1 \text{ h} \end{array} \right.$$

$$Q_1 = 1.55 \frac{m^3}{h}$$

Reemplazando valores en la ecuación Ec. 1.2.3.3-1:

$$Hp_1 = \frac{1.55 \frac{m^3}{h} * 10.46 \frac{Kg}{cm^2}}{27}$$

$$Hp_1 = 0.47Hp$$

### 3.1.10. Cálculo de potencia hidráulica bomba n°2 TRUPER

De la ecuación Ec. 1.2.3.3-1

$$Hp_2 = \frac{Q_2 * \Delta P_2}{27}$$

$$Q_2 = 0.48 \frac{L}{s}$$

Se transforma m<sup>3</sup>/h

$$\frac{0.48 \cancel{L}}{\cancel{S}} \quad \left| \begin{array}{c} 1 \text{ m}^3 \\ 1000 \cancel{L} \end{array} \right. \quad \left| \begin{array}{c} 3600 \cancel{s} \\ 1 \text{ h} \end{array} \right.$$

$$Q_2 = 1.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Reemplazando los valores en la ecuación Ec. 1.2.3.3-1:

$$Hp_2 = \frac{1.73 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 18.53 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{27}$$

$$Hp_2 = 1.18 Hp$$

### 3.1.11. Cálculo de la presión de SHUT OFF

Previamente para realizar el cálculo de la presión de Shut off es necesario calcular el valor de la presión máxima como se presenta en la ecuación Ec. 1.2.3.1.1-7:

$$P_{S_{max}} = P_{max} + Z_{max} - \sum h_{total}$$

Consideraciones:

$P_{max}$ : se toma la presión atmosférica

$Z_{max}$  = Altura hasta que se desborda el líquido del tanque de alimentación del sistema como se muestra en el gráfico

$\sum h$  = Pérdidas fricción del tramo de succión

- Cálculo de la altura máxima ( $Z_{max}$ )

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

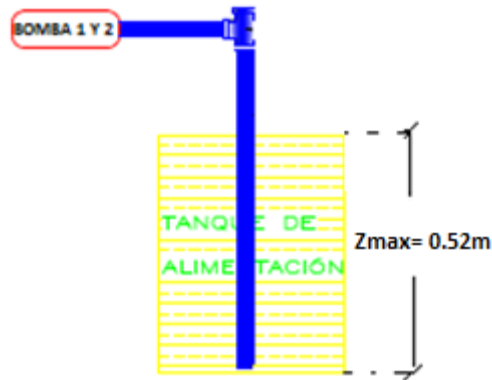


Gráfico 27 - Tramo de succión del sistema

Realizado por: Joahán García, 2014

<del>0.52 m</del>	<del>3.28 fts</del>	<del>1 psi</del>
	<del>1 m</del>	<del>2.31 fts</del>

$$Z_{max} = 0.73psi$$

- Cálculo para las pérdidas del sistema tomando como dato de tablas como se explicó anteriormente (Véase ANEXO – 4):

<del>0.91 m tubería</del>	<del>0.23m</del>
	<del>100m tubería</del>

$$= 0.209m$$

Transformando a psi:

<del>0.209 m</del>	<del>3.28 fts</del>	<del>1 psi</del>
	<del>1 m</del>	<del>2.31 fts</del>

$$\sum h_{TOTAL} = 0.296 psi$$

Reemplazando los valores en la ecuación Ec. 1.2.3.1.1-7:

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

$$P_{S_{max}} = 10.40\text{psi} - 0.738\text{psi} - 0.296\text{psi}$$

$$P_{S_{max}} = 9.36\text{psi}$$

NOTA: Después de realizar el cálculo de la presión máxima del sistema se procede a calcular la presión de Shut off; cabe recalcar que la presión máxima es la misma para los dos tipos de bombas ya que poseen las mismas dimensiones.

- Cálculo de la presión de Shut off para bomba N°1:

De la ecuación Ec. 1.2.3.1.1-6:

$$P_{Shut\ off} = P_{S_{max}} + 1.2 * \Delta P_1$$

$$P_{Shut\ off} = 9.36\text{psi} + 1.2 * 10.46\text{psi}$$

$$P_{Shut\ off} = 21.91\text{psi}$$

- Cálculo de la presión de Shut off para bomba N°2:

$$P_{Shut\ off} = P_{S_{max}} + 1.2 * \Delta P_2$$

$$P_{Shut\ off} = 9.36\text{psi} + 1.2 * 18.53\text{psi}$$

$$P_{Shut\ off} = 42.02\text{psi}$$



## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- ✚ Previo al diseño del equipo se realizó cálculos experimentales a fin de establecer las condiciones de operación para que sea un modelo didáctico para los estudiantes, en el cual se pueda realizar diversas pruebas de laboratorio basados en los fundamentos teóricos.
- ✚ El diseño del equipo en forma de serpentín, y los diferentes diámetros de tubería instalados en cada bomba, permitió que el fluido tarde más en llegar al tanque de recirculación, lo que arrojo resultados más precisos del caudal en función del tiempo.
- ✚ El material de tubería elegido es PVC por ser de menor costo total en comparación con otros, a su vez por mayor durabilidad y fácil maleabilidad.
- ✚ Se concluye que no hay diferencia significativa en los valores obtenidos del caudal a pesar que las bombas seleccionadas son diferente potencia, siendo los valores del caudal 1 es 0,43L/s y caudal 2 es 0,64L/s; adicionalmente es importante resaltar que los caudales en cada uno de los sistemas de tubería son constantes.
- ✚ Al ser transportando el fluido en el sistema de tuberías el manómetro en el primer tramo marca una presión de 17PSI y al llegar al quinto tramo el valor es

## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

4PSI, concluyendo que, a mayor longitud del tramo de tubería mayor será la caída de presión, por lo que se constató la proporcionalidad que existe entre las pérdidas de energía y la longitud como se expresa en la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_G = f \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

- ✚ Las pérdidas en el sistema de tuberías de la Bomba N°2 son el doble de las pérdidas de la bomba N°1, por lo que se concluye que cada tramo de tubería que se utilizaron para las pruebas experimentales, al ser ésta una bomba de menor potencia (TRUPER) requiere mayor trabajo para transportar el fluido, lo que ocasiona que existan mayores pérdidas en el sistema de tuberías.
- ✚ Como se detalló en el Capítulo III, en cuanto a la selección de la potencia de la Bomba PEDROLLO, se eligió de ½ Hp y realizado el cálculo de dimensionamiento del sistema de tuberías de esta bomba se logró concluir que es la potencia adecuada para las condiciones de operación establecidas, a diferencia de la bomba N° 2 TRUPER que está sobredimensionada ya que se necesitaría una bomba de 1Hp de potencia, como se expresa en los cálculos de potencia hidráulica requerida para cada bomba; esto no quiere decir que se escogió erróneamente, todo lo contrario, siendo el equipo un modelo didáctico, se estableció adquirir un bomba de menor potencia para observar su

funcionamiento en un sistema de tuberías similar al de una bomba con mayor potencia, de esta manera establecer diferencias entre ellas.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- ✚ Realizar limpieza periódica del equipo de igual manera cambiar el fluido con el que se trabaje, para minimizar los errores con los cálculos de fricción en tuberías.
  
- ✚ Implementar un medidor de caudal, ya sea un tubo venturi o un rotámetro, para obtener una mejor precisión para medir el caudal.
  
- ✚ Implementar válvulas globo para cada sistema, que sirven para regular o limitar el paso del fluido, a diferencia del caudal constante que se tiene en el equipo, se podrá obtener diferentes caudales y realizar curvas características de cada bomba.
  
- ✚ Se recomienda el uso de otro fluido de similares propiedades físicas y químicas que el agua, realizar las mismas pruebas de laboratorio y comparar los resultados obtenidos.
  
- ✚ Previo al encendido del equipo, asegurarse que cada bomba este cebada, caso contrario puede ocasionar daños severos en la bomba, en cálculos realizado por medio de la Presión de Shutt off, la bomba N°1 PEDROLLO puede llegar máximo a 21.91psi y la bomba N°2 a 42.02psi sin estar cebada para que se dañe totalmente sin estar cebada.

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

- ✚ Realizar mantenimientos preventivos a cada bomba.
  
- ✚ Para lograr trabajar con las dos bombas al mismo tiempo, es decir, en serie, se requiere la implementación de un tanque en material polipropileno de 80L de capacidad, de esta manera el equipo operaría todo el tiempo y se evitaría que ingrese aire a las bombas.
  
- ✚ Revisar el manual previo al uso del equipo, así mismo los estudiantes deben estar bajo la supervisión de un profesor para operarlo.

## BIBLIOGRAFÍA

- BROWN, George. “Operaciones Básicas de la Ingeniería Química”. España. Ed Mc Graw Hill, S.A (1.956), 381-432
- LEDESMA, M., “Diseño de un sistema experto para selección y especificación de bombas centrífugas según estándar API 610 con aplicaciones prácticas para la industria petrolera”. Barcelona (Venezuela, Trabajo Especial de Grado, U.D.O, Escuela de Ingeniería, Departamento de Mecánica. (1998), 355-369
- MOTT, L. Robert. “Mecánica de Fluidos Aplicada”. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México, 1996.
- MATAIX, C. “Mecánica de Fluidos y máquinas hidráulicas”. Segunda edición. Editorial Del Castillo. S.A. Madrid (1986).
- GONZÁLEZ, Y., “Automatización del sistema de adquisición de datos de una bomba recíproca tipo pistón”. Barcelona (Venezuela). Tesis de especialización en la Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería, Departamento de Eléctrica (2007).
- STREETER, Victor “Mecánica de fluidos”, 9ª Ed. Santafé de Bogotá. McGraw Hill, (1979). 621-624, 725, 740
- CRESPO, M., “Sistema de adquisición y tratamiento de datos del RICH-1 del Experimento COMPASS” Argentina. Tesis doctoral en la Universidad Nacional de San Luis, (2004).
- PASINATO, Darío, Hugo, “Fundamentos de Mecánica de Fluidos”, Regional Académica Confluencia, Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N., Marzo (2008), 65

**CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK**

- BELTRÁN P., Rafael. Introducción a la Mecánica de Fluidos. Bogotá-Colombia. McGraw Hill Uniandes, (1991), 344.
- FERNÁNDEZ Larrañaga, Bonifacio Introducción a la mecánica de fluidos, 2ª Ed. México, (1998), 377.
- HERNÁNDEZ Rodriguez, Julio. Problemas de mecánica de fluidos, máquinas hidráulicas. Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia, (1996), 297-300.
- POTTER, Merle C. y Wiggert, David C. Mecánica de fluidos, 3ª Edición. México. Thompson, (2002), 771-772.
- RODRÍGUEZ Díaz, Héctor Alfonso. Hidráulica experimental, 1ª Ed. Santafé de Bogotá Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería, (2001). 336.
- SHAMES, Irving H. “Mecánica de fluidos”. 3ª Edición. Santafé de Bogotá. McGraw Hill, (1998) 467, 745, 825-827
- SOTELO Gilberto. “Hidráulica General, Vol I, Fundamentos”. México Limusa, (1977). 537-541.

## ANEXOS

### ANEXO-1: Ficha técnica Bomba PEDROLLO KKm 60-1



#### CAMPO DE LAS PRESTACIONES

Caudal hasta 90 l/min (5.4 m<sup>3</sup>/h)  
Altura manométrica hasta 100 m

#### LIMITES DE UTILIZO

Altura de aspiración manométrica hasta 8 m  
Temperatura del fluido hasta + 60°C  
Máxima temperatura ambiente hasta + 40°C

#### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD:

EN 60 335-1	EN 60034-1
IEC 335-1	IEC 34-1
CEI 61-150	CEI 2-3

#### EMPLEOS E INSTALACIONES

Se aconsejan para bombear agua limpia que no contenga partículas abrasivas y/o líquidos químicamente agresivos para los materiales que constituyen la bomba.

GRACIAS A SU FIABILIDAD, SENCILLEZ DE EMPLEO Y ECONOMIA, SON PARTICULARMENTE APTAS PARA EL EMPLEO DOMESTICO Y ESPECIALMENTE PARA LA DISTRIBUCION AUTOMATICA DEL AGUA ACOPLADAS A PEQUEÑOS EQUIPOS HIDRONEUMATICOS, PARA RIEGOS DE HUERTAS Y JARDINES, PARA INCREMENTAR LA INSUFICIENTE PRESION DE LA RED DE ACUEDUCTOS.

La instalación se debe efectuar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

#### CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION

- **CUERPO BOMBA:**  
en hierro fundido, con bocas de aspiración e impulsión roscadas que UNI ISO 228/1.
- **SOPORTE MOTOR** patente n° 1282150:  
en aluminio con brújula de ajuste frontal en latón que reduce las dificultades de arranque causadas por el bloqueo del rodete tras largos periodos de inactividad.
- **RODETE:**  
en latón, del tipo aspas periféricas radiales, flotante respecto al eje.
- **EJE MOTOR:**  
en acero inoxidable AISI 430F (AISI 416 hasta 0.50 kW).
- **SELLO MECANICO:**  
cerámica y grafito.
- **MOTOR ELECTRICO:**  
las bombas están acopladas directamente a un motor eléctrico PEDROLLO expresamente dimensionado, de tipo sincrónico con elevado rendimiento, silencioso, cerrado, con ventilación externa, de forma constructiva "IM B3", apto para servicio continuo. AISLAMIENTO clase F (B hasta a 0.75 kW).  
El protector térmico (salvamosor) está incorporado en los motores monofásicos.  
Los motores trifásicos deben estar protegidos con un salvamosor exterior adecuado, por lo que se prevé una conexión conforme a las normas vigentes.
- **PROTECCION:** IP 44.
- **MODELO REGISTRADO** n° 72753





## CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

### Anexo – 1.2: Ficha técnica Bomba TRUPER

#### BOAC-1/4 HP



#### BOMBA PERIFÉRICA PARA AGUA 1/4 HP

##### ESPECIFICACIONES

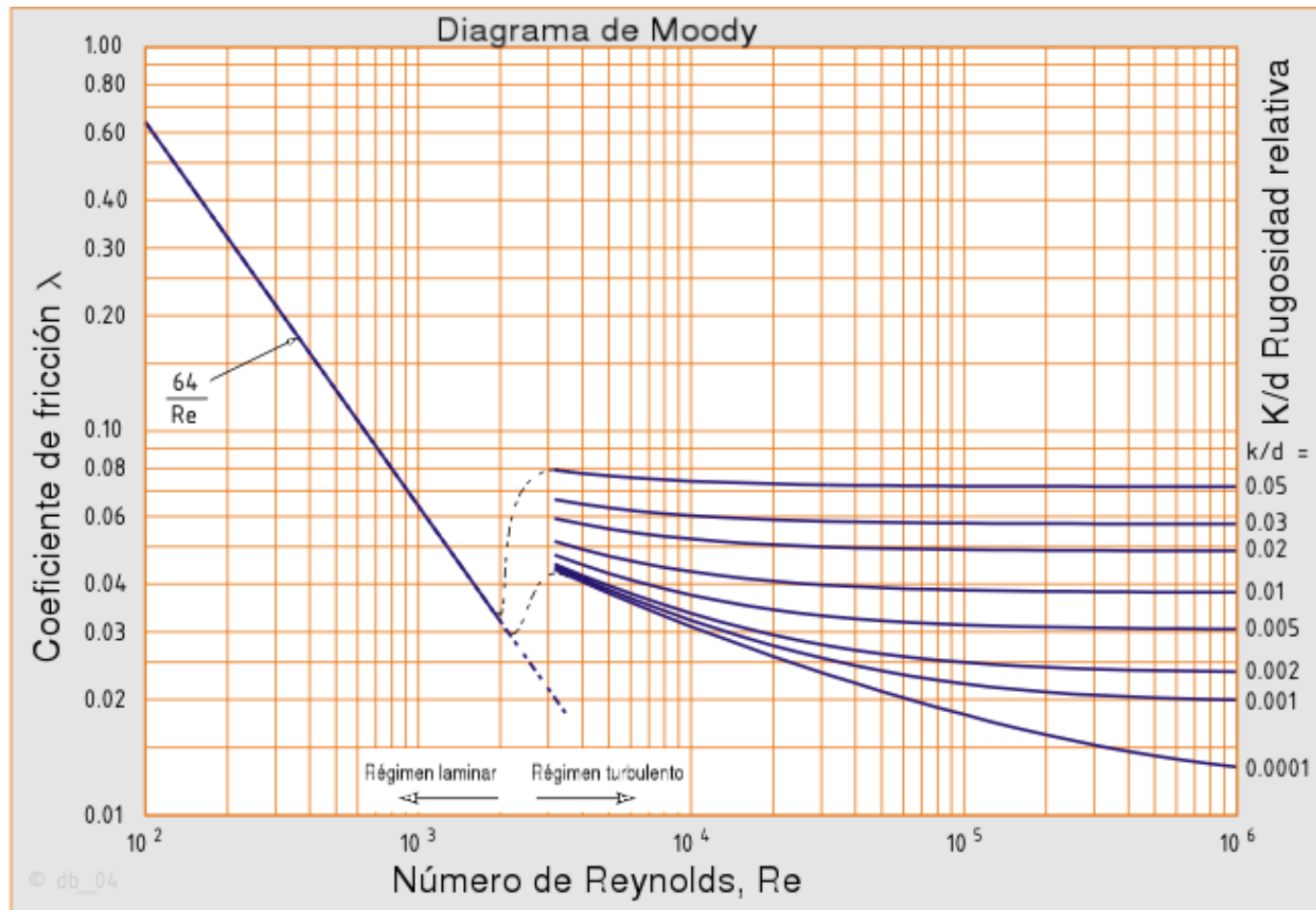
<u>Flujo máximo:</u>	70 L/min
Potencia:	186 W (1/4 HP)
Tensión / <u>Frecuencia:</u>	120V / 60Hz
Corriente:	3.5 A
<u>Velocidad:</u>	3450 rpm
<u>Altura máxima:</u>	16 m
Máxima profundidad:	8 m
Tipo:	Centrífuga
<u>Ciclo de trabajo:</u>	50 min. de trabajo x 20 min. de descanso
Máximo diario:	6 horas
Usos:	Ideal para el abastecimiento de agua en casas,

MODELO	POTENCIA	CORRIENTE	FLUJO MÁXIMO	ALTURA MÁXIMA	MÁXIMA PROFUNDIDAD DE SUCCIÓN	DIÁMETRO DE ENTRADA Y SALIDA	TIPO DE CONDUCTORES
BOAC-1A	186 W (1/4 Hp)	3,5A	70 l/min	16 m	8 m	1 NPT	18AWG
BOAC-1B	373 W (1/2 Hp)	5 A	90 l/min	23 m	8 m	1 NPT	18AWG
BOAC-3A	560 W (3/4 Hp)	7,6A	100 l/min	28 m	8 m	1 NPT	16AWG
BOAC-1	746 W (1 Hp)	11A	118 l/min	36 m	8 m	1 NPT	16AWG
BOAC-1 1/2	1 119 W (1-1/2 Hp)	15A	130 l/min	42 m	8 m	1 NPT	14AWG
BOAC-2	1 500 W (2 Hp)	18,5A	165 l/min	42 m	8 m	1-1/2 NPT / 1NPT	12AWG

Fuente: [www.truper.com](http://www.truper.com)

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

ANEXO - 2: Diagrama de Moody



### ANEXO – 3: Propiedades Físicas del Agua

Propiedades Físicas del agua				
Densidad, volumen específico, viscosidad dinámica y cinemática a $p_0 = 760$ Torr				
Temperatura [°C]	Densidad [kg / m <sup>3</sup> ]	Volumen específico [m <sup>3</sup> / kg]	Viscosidad Dinámica [Pa s] × 10 <sup>-4</sup>	Viscosidad Cinemática [m <sup>2</sup> / s] × 10 <sup>-6</sup>
0	0,99987	1,00013	1787	1,787
2	0,99997	1,00003		
4	1,00000	1,00000		
6	0,99997	1,00003		
8	0,99988	1,00012		
10	0,99973	1,00027	1305	1,305
20	0,99823	1,00177	1004	1,006
30	0,99567	1,00435	801	0,804
40	0,99224	1,00782	653	0,658
50	0,9881	1,0121	550	0,557
60	0,9832	1,0171	470	0,478
70	0,9778	1,0227	407	0,416
80	0,9718	1,0290	355	0,365
90	0,9653	1,0359	315	0,326
100	0,9584	1,0434	283	0,295

Módulo de compresibilidad cúbica [kp / m <sup>2</sup> ] × 10 <sup>6</sup>									
Presión [ata]	Temperatura [°C]								
	0	20	50	100	150	200	250	300	350
1	197,63	230,41	222,22	208,33					
50	201,24	235,29	227,79	210,97	168,92	120,19	71,74		
100	204,92	238,66	233,64	214,59	173,61	124,07	75,36	33,33	
150	208,33	240,96	239,23	217,39	177,94	128,04	79,37	37,74	
200	211,42	242,72	243,90	221,24	181,82	131,93	83,82	42,55	10,87
250	215,05	243,90	248,14	224,72	185,19	136,05	88,50	47,17	14,08
300	218,34	245,70	251,89	227,79	188,32	140,25	93,28	52,08	18,76
350	221,24	247,52	254,45	238,10	191,20	144,30	98,04	57,47	
450	227,27	251,26	260,42	259,74	195,69	152,91	108,11	70,42	
750	246,31	261,10	278,55	277,78					
1000	264,55	268,10	294,12						

Viscosidad dinámica del vapor de agua $\eta$ , en [Pa s] × 10 <sup>-6</sup>												
Temperatura [°C]	Presión del vapor [bar]											
	1	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	12,11											
150	14,15											
200	16,18	15,85										
250	18,22	18,05										
300	20,25	20,22	20,06									
350	22,3	22,3	22,7	23,6	25,4							
400	24,3	24,4	25,0	25,8	26,9	28,6	32,1	45,7	57,3	62,8	66,5	69,3
450	26,4	26,5	26,9	27,6	28,5	29,6	31,0	32,0	36,3	41,2	46,9	52,1
500	28,4	28,5	28,9	29,5	30,3	31,1	32,1	32,7	34,9	36,9	39,3	42,2
600	32,5	32,6	32,9	33,4	34,0	34,6	35,3	35,7	36,9	37,9	38,9	40,1
700	36,5	36,6	36,9	37,4	37,9	38,4	38,9	39,2	40,1	40,8	41,5	42,3

Tabla 2 - Cálculo de Mecánica de los Fluidos, Instituto de Ingeniería Mecánica, U.N.T.

Fuente. Cinética de Mecánica de Fluidos, Instituto de Ingeniería Mecánica. U.N.T.

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UISEK

ANEXO – 4: Tabla de pérdidas por cada 100 metros lineales de tubería

