

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

ESTUDIO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA CON LA FINALIDAD DE OBTENER PARÁMETROS TÉCNICOS CON VARIACIÓN DE CAUDAL.

AUTOR:

Egdo. Edison Alejandro Ramírez Pozo

TUTOR

Ing. Alex Mayorga

AMBATO – ECUADOR

Mayo 2012

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, bajo el tema “ ESTUDIO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA CON LA FINALIDAD DE OBTENER PARAMETROS TÉCNICOS CON VARIACIÓN DE CAUDAL”, desarrollado por el estudiante Edison Alejandro Ramírez Pozo, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal examinador designado por el Consejo Directivo de esta Facultad.

Ambato, Abril del 2012

EL TUTOR

.....

Ing. Alex Mayorga

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada “ ESTUDIO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS Y SU FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA CON LA FINALIDAD DE OBTENER PARAMETROS TÉCNICOS CON VARIACIÓN DE CAUDAL”,, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuesta original es auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente investigación de grado.

Ambato, Abril del 2012

EL AUTOR

.....

Egdo. Edison Alejandro Ramírez Pozo

C.I. 050306906-4

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación está dedicado a Dios por ser mi luz y guía, por brindarme sabiduría y entendimiento.

A mis padres Héctor Ramírez y Mery Pozo que gracias a su amor, paciencia y esfuerzo diario han logrado hacer de mí una persona humilde y respetuosa.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por el esfuerzo realizado para darme la oportunidad de estudiar y poder culminar con los estudios de mi carrera; por el apoyo permanentemente que me brindaron durante toda mi vida estudiantil. A mis hermanos, y toda mi familia por impulsarme a culminar mis estudios.

Al Ing. Alex Mayorga tutor de la presente tesis por compartir sus conocimientos y brindar su apoyo en todo el tiempo del desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todos los profesores que con esfuerzo y dedicación impartieron todos sus conocimientos en cada clase impartida y por su amistad brindada.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

Página de portada.....	I
Página de aprobación por el tutor.....	II
Página de auditoría de la tesis.....	III
Página de dedicatoria.....	IV
Página de agradecimiento.....	V
Índice general de contenido.....	VI
Índice de tablas.....	XII
Índice de figuras y gráficas.....	XIV
Simbología.....	XIX
Resumen ejecutivo.....	XXII

B. TEXTO

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis Crítico.....	1

1.2.3 Prognosis.....	2
1.2.4 Formulación del problema.....	2
1.2.5 Preguntas directrices.....	2
1.2.6 Delimitación.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos.....	5
2.2 Fundamentación filosófica.....	6
2.3 Categoría fundamental.....	6
2.3.1 Sistema de bombeo hidráulico.....	6
2.3.2 Clasificación de las bombas.....	7
2.3.3 Parámetros de las bombas.....	14
2.3.4 Puntos de operación de las bombas.....	19
2.3.5 Cebado de bombas centrifugas.....	21
2.3.6 Cavitación.....	22

2.3.7 Propiedades de los fluidos.....	23
2.3.8 Dinámica de los fluidos.....	27
2.3.9 Ecuación de la continuidad.....	33
2.3.10. Flujo de fluidos en tuberías.....	36
2.3.11. Pérdidas secundarias por accesorios.....	43
2.3.12. Red de categorías fundamentales.....	48
2.4 Hipótesis.....	48
2.5 Señalamiento de variables.....	48
2.5.1 Variable independiente.....	48
2.5.2 Variable dependiente.....	48

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Enfoque.....	49
3.2 Modalidad básica de la investigación.....	49
3.2.1 Bibliográfica.....	49
3.2.2 Experimental.....	49
3.3 Nivel o tipo de investigación.....	49
3.3.1 Exploratorio.....	49
3.3.2 Descriptivo.....	50

3.4 Operacionalización de variables.....	50
3.5 Plan de recolección de la información.....	53
3.6 Plan de procesamiento de la información.....	53

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados.....	54
4.1.1 Tabla de comparación de datos.....	54
4.1.2 Cálculos teóricos de los parámetros de una bomba en succión.....	55
4.1.3 Cálculos teóricos de los parámetros de una bomba en carga.....	63
4.2 Interpretación de datos.....	66
4.2.1 Gráficas con los resultados teóricos de las bombas en succión.....	66
4.2.1 Gráficas con los resultados teóricos de las bombas en carga.....	68
4.3 Verificación de la hipótesis.....	69

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	72
5.2 Recomendaciones.....	73

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos.....	75
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	78
6.3 Justificación.....	79
6.4 Objetivos.....	79
6.5 Análisis de factibilidad.....	80
6.5.1 Análisis técnico.....	80
6.5.2 Análisis de costos.....	80
6.6. Fundamentación.....	85
6.6.1 Diseño del sistema de fluido.....	85
6.6.2 Diseño de los tanques de alimentación.....	90
6.6.3 Cálculo de pérdidas primarias y secundarias.....	92
6.6.4 Cálculos mecánicos.....	109
6.7 Metodología.....	111
6.7.1 Accesorios de instalación hidráulica.....	111
6.7.2 Accesorios de instalación eléctrica.....	116
6.7.3 Estructura.....	117
6.8 Administración.....	118

6.8.1 Planeación.....	118
6.8.1.1 Manual de mantenimiento.....	118
6.8.2 Organización.....	119
6.8.3 Dirección.....	119
6.8.4 Control.....	119
6.9 Previsión de la evaluación.....	119
6.9.1 Metodología para la toma de datos experimentales.....	119
6.9.2 Resultados de las pruebas.....	120
6.9.3 Conclusiones de la propuesta.....	141
6.9.4 Recomendaciones.....	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Unidades utilizadas en el cálculo del número de Reynolds.....	32
Tabla 2-2 Valores de diseño de la rugosidad de tubos.....	41
Tabla 4-1 Cálculo de pérdidas por accesorios y tubería.....	57
Tabla 4-2 Hoja de resultados del estudio de la bomba en succión.....	62
Tabla 4-3 Hoja de resultados del estudio de la bomba en carga.....	65
Tabla 6-1 Datos generales de la propuesta	75
Tabla 6-2 Costos de materiales mecánicos.....	81
Tabla 6-3 Costos de materiales para la instalación hidráulica.....	81
Tabla 6-4 Costos de materiales varios.....	82
Tabla 6-5 Costo directos.....	82
Tabla 6-6 Costos de utilización de la maquinaria.....	83
Tabla 6-7 Costos de mano de obra.....	84
Tabla 6-8 Cosos indirectos.....	84
Tabla 6-9 Costo total del banco experimental	85
Tabla 6-10 Costo total del banco.....	85
Tabla 6-11 Características de la bomba centrífuga PK60.....	86
Tabla 6-12 Características de la bomba centrífuga QB60.....	87
Tabla 6-13 Características de la bomba centrífuga PKm60.....	87

Tabla 6-14 Cálculo de pérdidas por accesorios y tubería.....	100
Tabla 6-15 Cálculo de pérdidas por accesorios y tubería.....	105
Tabla 6-16 Cálculo de pérdidas por accesorios y tubería.....	108
Tabla 6-17 Rotámetro (datos técnicos).....	111
Tabla 6-18 Manómetro.....	112
Tabla 6-19 Vacuómetro.....	113
Tabla 6-20 Válvula de esfera (datos técnicos).....	113
Tabla 6-21 Válvula de pie (datos técnicos).....	114
Tabla 6-22 Válvula de globo (datos técnicos).....	115
Tabla 6-23 Codo de 90° (datos técnicos).....	115
Tabla 6-24 Pulsador (datos técnicos).....	116
Tabla 6-25 Estructura metálica (datos técnicos).....	117
Tabla 6-26 Hoja de resultados del ensayo de la bomba pedrollo en succión.....	121
Tabla 6-27 Hoja de resultados del ensayo de la bomba pedrollo en carga.....	126
Tabla 6-28 Hoja de resultados del ensayo de la bomba Venecia en succión.....	130
Tabla 6-29 Hoja de resultados del ensayo de la bomba Venecia en carga.....	133
Tabla 6-30 Hoja de resultados del ensayo de la bomba Paolo en succión.....	136
Tabla 6-31 Hoja de resultados del ensayo de la bomba Paolo en carga.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 Esquema de la clasificación de las bombas.....	7
Fig.2.2 Voluta de una bomba centrífuga.....	8
Fig.2.3 Difusor de bomba centrífuga.....	8
Fig.2.4 Turbina de una bomba centrífuga.....	9
Fig.2.5 Partes de una bomba centrífuga.....	11
Fig.2.6 Altura efectiva de bombas.....	15
Fig.2.7 Altura efectiva de bombas	18
Fig.2.8 Altura efectiva de bombas	18
Fig.2.9 Curva característica de la bomba.....	19
Fig.2.10 Curva característica de la bomba con caudal constante.....	20
Fig.2.11 Curva característica de la bomba con caudal variable.....	21
Fig.2.12 Cebado de una bomba con válvula en la línea de succión.....	22
Fig.2.13 Cebado de una bomba con válvula de impulsión retención.....	22
Fig.2.14 Cebado de una bomba con un grifo de purga.....	22
Fig.2.15 Relación de presiones.....	26
Fig.2.16 Flujo de un fluido.....	28
Fig.2.17 Líneas de corriente.....	28
Fig.2.18 Tipos de flujo de tuberías.....	30

Fig.2.19 Ecuación de la continuidad.....	33
Fig.2.20 Balance energético en instalación hidráulica.....	36
Fig.2.21 Esquema de la ecuación de la energía considerando pérdidas.....	38
Fig.2.22 Rugosidad interna de la tubería.....	41
Fig.2.23 Diagrama de Moody.....	42
Fig.2.24 Válvulas de compuerta.....	44
Fig.2.25 Válvulas de globo.....	45
Fig.2.26 Válvulas de mariposa.....	46
Fig.2.27 Válvulas de aguja.....	46
Fig.2.28 Acoplamientos.....	47
Fig.4.1 Diagrama de la tubería de estudio.....	58
Fig.4.2 Esquema de la diferencia de elevación del fluido.....	60
Fig.4.3 Diagrama de la tubería en carga.....	63
Fig.4.4 Esquema de la diferencia de elevación del fluido.....	64
Fig.4.5 Caudal – Eficiencia de forma teórica de la bomba en succión.....	66
Fig.4.6 Caudal – Presión de forma teórica de la bomba en succión.....	67
Fig.4.7 Caudal – Altura de la bomba en succión.....	67
Fig.4.8 Caudal - Pérdidas de la bomba en succión.....	68
Fig.4.9 Caudal – Eficiencia de forma teórica de la bomba en carga.....	68

Fig.4.10 Caudal – Altura de la bomba en carga.....	69
Fig.4.11 Caudal – altura de la bomba catalogo pedrollo.....	70
Fig.4.12 Caudal – altura de la bomba experimental.....	70
Fig.6.1 Estructura del banco experimental para las bombas centrífugas.	76
Fig.6.2 Sistema de tubería del banco experimental para las bombas centrífugas.....	76
Fig.6.3 Dimensionamiento del tanque.	91
Fig.6.4 Red primaria de circulación del fluido.....	93
Fig.6.5 Red secundaria de circulación del fluido.	104
Fig.6.6 Tercera red de circulación del fluido.....	107
Fig.6.7 Diagrama de cuerpo libre de la columna.	110
Fig.6.8 Medidor de caudal (rotámetro).	112
Fig.6.9 Manómetro de presión.	112
Fig.6.10 Vacuómetro.	113
Fig.6.11 Válvula de esfera.	114
Fig.6.12 Válvula de pie.....	114
Fig.6.13 Válvula de globo.	115
Fig.6.14 Codo de 90°.	116
Fig.6.15 Pulsador on/off.	116
Fig.6.16 Estructura metálica.	117

Fig.6.17 Caudal - Eficiencia de la bomba pedrollo en succión.	122
Fig.6.18 Caudal -Presión de la bomba pedrollo en succión.	122
Fig.6.19 Caudal -Altura de la bomba pedrollo en succión.	123
Fig.6.20 Caudal -Pérdidas de la bomba pedrollo en succión.	123
Fig.6.21 Caudal –Potencia requerida de la bomba pedrollo en succión.	124
Fig.6.22 NPSH disponible -Altura de la bomba pedrollo en succión.	125
Fig.6.23 Caudal -Eficiencia de la bomba pedrollo en carga.	127
Fig.6.24 Caudal -Presión de la bomba pedrollo en carga.	127
Fig.6.25 Caudal –Potencia requerida de la bomba pedrollo en carga.	128
Fig.6.26 NPSH disponible -Altura de la bomba pedrollo en carga.	128
Fig.6.27 Caudal - Eficiencia de la bomba Venecia en succión.	131
Fig.6.28 Caudal -Presión de la bomba Venecia en succión.	131
Fig.6.29 Caudal –Potencia requerida de la bomba Venecia en succión.	132
Fig.6.30 Caudal -Eficiencia de la bomba Venecia en carga.	134
Fig.6.31 Caudal -Presión de la bomba Venecia en carga.	134
Fig.6.32 Caudal –Potencia requerida de la bomba Venecia en carga.	135
Fig.6.33 Caudal - Eficiencia de la bomba paolo en succión.	137
Fig.6.34 Caudal -Presión de la bomba paolo en succión.	137
Fig.6.35 Caudal –Potencia requerida de la bomba paolo en succión.	138

Fig.6.36 Caudal -Eficiencia de la bomba paolo en carga.	140
Fig.6.37 Caudal -Presión de la bomba paolo en carga.....	140
Fig.6.38 Caudal –Potencia requerida de la bomba paolo en carga.	141

SIMBOLOGÍA

A	Área transversal de la sección [m ²]
A_g	Área de la sección utilizada[m ²]
CD	Costo directo [usa]
CI	Costo indirecto [usa]
CM	Costo de materiales mecánicos [usa]
CMI	Costo de materiales instalación hidráulica [usa]
CTM	Costo de materiales [usa]
CMO	Costo de mano de obra [usa]
CMU	Costo de maquinaria utilizada [usa]
MCV	Costo de materiales varios [usa]
CT	Costo total [usa]
D	Diámetro interno de la tubería [m]
E_c	Energía cinética
E_e	Energía de elevación
E_p	Energía potencial
f	Factor de fricción [adimensional]
F_a	Presión permisible [MPa]

g	Gravedad $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$
h	Altura [m]
h_B	Energía que se agrega al fluido [m]
h_G	Pérdidas por fricción [m]
h_L	Pérdidas menores [m]
h_R	Energía que se remueve del fluido [m]
h_S	Diferencia de elevación del fluido [m]
h_{Sp}	Carga de presión estática en el fluido [KPa] ó $\left[\frac{\text{KN}}{\text{m}^2}\right]$
h_{vp}	Presión de vapor [m]
K	Coefficiente de resistencia
L	Longitud [m]
$\frac{L_e}{D}$	Relación de longitud equivalente
m	Masa [kg]
NPSH_A	Carga de succión neta positiva disponible [m]
NPSH_R	Carga de succión neta positiva requerida [m]
P	Presión [KPa] ó $\left[\frac{\text{KN}}{\text{m}^2}\right]$
P_A	Potencia transmitida al fluido $\left[\frac{\text{J}}{\text{s}}\right]$

P_i	Potencia de entrada a la bomba [hp]
$P_{\text{permisible}}$	Fuerza permisible [N]
P_{sp}	Presión estática (absoluta) sobre el fluido [KPa]
Q	Caudal $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right]$
R_e	Número de Reynolds [adimensional]
V	Velocidad promedio del flujo $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$
W	Peso [N]
z	Distancia desde el punto de referencia [m]

Letras griegas

ρ	Densidad $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$
θ	Diámetro interno [m]
η	Eficiencia [%]
γ	Peso específico del agua $[\text{N}/\text{m}^3]$
π	Pi
ε	Rugosidad interna del ducto [m]
ν	Viscosidad Cinemática $\left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right]$
μ	Viscosidad dinámica $\left[\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}\right]$

RESUMEN EJECUTIVO

Las bombas han tenido y tienen un papel decisivo en el laboratorio de la humanidad no es posible imaginar los modernos procesos industriales y la vida en las grandes ciudades sin la participación de estos equipos.

El presente trabajo de investigación se realiza con la finalidad de analizar el cambio de los parámetros de funcionamiento de una bomba centrífuga con la variación de caudal y el tipo de trabajo ya sea en carga o succión en forma teórica y en forma experimental.

Las características de funcionamiento de este trabajo de investigación es utilizar un método de campo para anotar y verificar los eventos físicos que sucedan, experimental para trabajar con datos reales obtenidos por medio un banco de pruebas y bibliográficos para hacer uso de la información disponible

La metodología utilizada permite incrementar un tipo de practica experimental en el laboratorio de hidráulica de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, esta implementación es eficiente capaz de comparar el comportamiento de las bombas, además la familiarización y manipulación de los instrumentos y equipos con los estudiantes.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema:

“Estudio de bombas centrífugas y su factibilidad de aplicación en la Facultad de Ingeniería Mecánica con la finalidad de obtener parámetros técnicos con variación de caudal.”

1.2. Planteamiento del problema.

1.2.1. Contextualización.

Desde hace mucho tiempo las universidades de nuestro continente ha evolucionado en el estudio de los parámetros técnicos que identifican a una bomba centrífuga, estas universidades mediante aplicaciones directas permiten el perfeccionamiento profesional de sus alumnos preparando a la par lo teórico con práctico, con miras a que en el ámbito profesional los estudiantes tengan la facilidad de seleccionar cualquier tipo de bomba centrífuga.

El estudio de los aspectos técnicos de bombas centrífugas es un ámbito que los estudiantes de ingeniería mecánica lo realizan dentro de la educación superior en Ecuador, en las universidades de la Politécnica Nacional y la Politécnica de Chimborazo constan con la ayuda de estudios experimentales con el objetivo de observar las variaciones de parámetros que tienen las bombas en diversas condiciones de funcionamiento.

1.2.2. Análisis crítico.

En la actualidad el problema que existe para un buen funcionamiento de una bomba centrífuga es no realizar un estudio previo de las condiciones a las cuales estas van a estar sometidas.

Estos estudios mediante una aplicación directa, permiten observar y obtener variaciones en sus parámetros, los cuales ayuda a verificar que el funcionamiento de las bombas va a ser el correcto.

1.2.3. Prognosis.

Si no se profundiza el nivel de investigación en lo referente al estudio de bombas centrífugas, como lo es el análisis de comportamiento con variaciones de caudal; no se podrá contribuir a la industria sobre la determinación de problemas que pueda suceder por el cambio de algún parámetro de funcionamiento de las mismas.

1.2.4. Formulación del problema.

¿Se podrá obtener mediante una forma experimental parámetros técnicos de bombas centrífugas en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica?

1.2.5. Preguntas directrices:

- ¿Mediante la investigación de los parámetros técnicos se podrá realizar una correcta selección de bombas?
- ¿Con la realización de variaciones de caudal se podrá verificar si la bomba esta apta para el trabajo a realizar?
- ¿Mediante la realización de este estudio se podrá evaluar los resultados teóricos con los experimentales?
- ¿Con la aplicación de bombas centrífugas en la Facultad de Ingeniería Mecánica se podrá obtener y verificar los parámetros técnicos que el fabricante proporciona?

1.2.6. Delimitación del problema.

1.2.6.1. Delimitación de contenido.

Las materias que serán necesarias para el estudio del tema de investigación son las siguientes: Mecánica de Fluidos, Ingeniería de Materiales, Diseño de Elementos Mecánicos y Proyectos Industriales.

1.2.6.2. Delimitación Espacial.

El estudio será realizado en la ciudad de Ambato sector Huachi Chico, en los predios de la Universidad Técnica de Ambato, en los laboratorios de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.2.6.3. Delimitación temporal.- Este estudio se lo realizará a partir del mes de Mayo del 2011 y se culminará en el mes de Abril del 2012.

1.3. Justificación.

Con el desarrollo de esta investigación se podrá estudiar la factibilidad de la aplicación de bombas centrífugas en los laboratorios de Energías de Ingeniería Mecánica para estudiar los parámetros técnicos con variaciones de caudal.

Este estudio tiene una relación de cómo un profesional puede seleccionar adecuadamente una bomba para un sistema ya sea industrial o agrícola, entender cómo va a incidir un cambio de sus parámetros para el correcto desempeño sin tener defecto alguno.

Por otra parte se podrá verificar las características de cada uno de los parámetros que proporciona el fabricante en condiciones normales de funcionamiento.

Al no tener conocimientos de una aplicación directa para la obtención de datos por medio de instrumentos de medición se generan desventajas en los diseños de sistemas de bombeo. Por ello, la necesidad de conocer los instrumentos de medición y control para saber su funcionamiento, rangos de aplicación, forma de

instalación, además parámetros que dan una importancia de la instrumentación industrial dentro de nuestra formación académica.

1.4. Objetivos:

1.4.1. Objetivo general.

Determinar la factibilidad de aplicación de bombas centrífugas en el laboratorio de Energías de la Facultad de Ingeniería Mecánica para obtener los parámetros técnicos con variaciones de caudal.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Investigar los parámetros técnicos de una bomba para realizar una correcta selección.
- Realizar variaciones de caudal para verificar si la bomba está trabajando en el rango adecuado.
- Evaluar los resultados obtenidos experimentalmente con los teóricos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos.

La primera bomba construida por el hombre fue la jeringa y se debe a los antiguos egipcios, quienes la utilizaron para embalsamar las momias. CTESIBIUS en el siglo II A.C., la convirtió en una bomba de doble efecto.

Con el pasar del tiempo están bombas fueron perfeccionando en base a los estudios realizados en pequeños ensayos prácticos.

En la actualidad el estudio que se realiza sobre los parámetros de bombas centrífugas no está basado solo en lo teórico, muchas instituciones educativas de nivel superior tienen la factibilidad de realizar dichos estudios de una forma aplicada para obtener y comprobar las características fundamentales de las bombas.

Universidades de países como Brasil, Colombia, España, E.E.U.U establecen que en base al estudio previo antes de una selección es importante conocer a qué condiciones la bomba va a estar funcionando esto se lo realiza para que el ingeniero encargado en seleccionar la bomba este totalmente seguro que esta no fallara en el momento de funcionamiento.

En nuestro país universidades como la Politécnica Nacional del Ecuador, Universidad Tecnológica Equinoccial y la Politécnica de Chimborazo, realizan de forma aplicada el estudio de parámetros característicos de bombas centrífugas, lo cual ayuda a la formación experimental de sus estudiantes y por ende ser competitivos en el área de campo.

2.2. Fundamentación filosófica.

El desarrollo de este estudio está orientado al entendimiento del funcionamiento de las bombas centrífugas las ventajas y desventajas, como incide el cambio de caudal ante los otros parámetros técnicos.

Categoría fundamental.

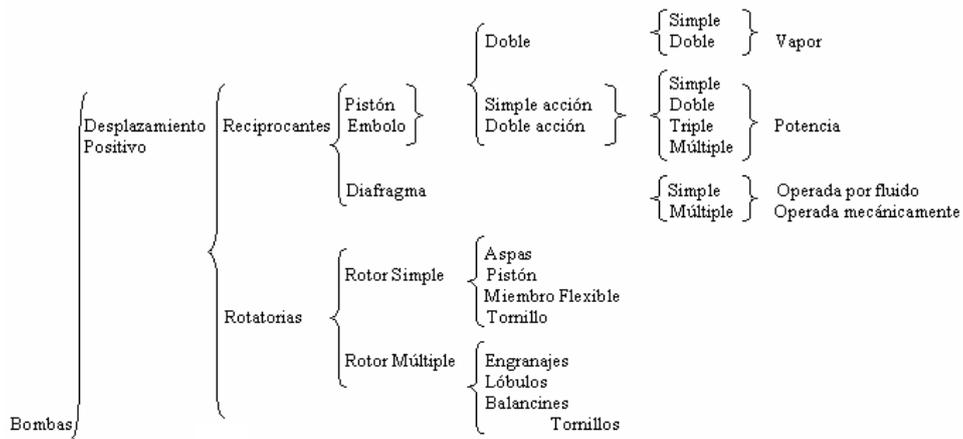
2.3. Categoría Fundamental.

2.3.1. Sistema de bombeo hidráulico.

Bombas hidráulicas.

Una bomba hidráulica es un dispositivo que recibe energía mecánica de un motor impulsor y transfiere esta energía a un fluido que la atraviesa. Las bombas son máquinas usadas para mover fluidos a través de tuberías mediante diferentes transformaciones de energía. La rotación del impulsor en el interior de la bomba crea un vacío dando lugar a una fuerza de succión que favorece la entrada del fluido en la bomba; dentro de la bomba se incrementa la velocidad del fluido. El fluido que trae velocidad y por tanto energía en forma de energía cinética es expandido en el difusor o en la voluta de la bomba transformando la energía cinética en energía de presión al reducirse la velocidad del líquido.

2.3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS



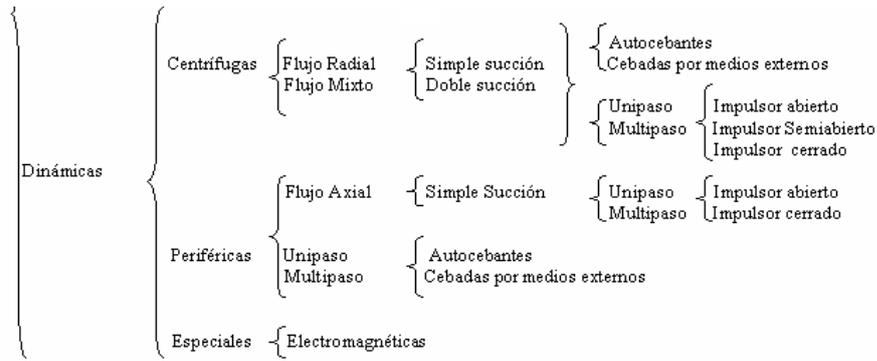


Fig.2.1. Esquema de la clasificación de las bombas.

(Fuente:http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/esquerre_aw.pdf)

Clasificación de las bombas centrífugas

Debido a la gran variedad de las bombas centrífugas, estas pueden clasificarse como:

Bomba centrífuga voluta.

El impulsor descarga en una caja espiral que se expande progresivamente, proporcionada en tal forma que la velocidad del líquido se reduce en forma gradual. Por este medio, parte de la energía de velocidad del líquido se convierte en presión estática.

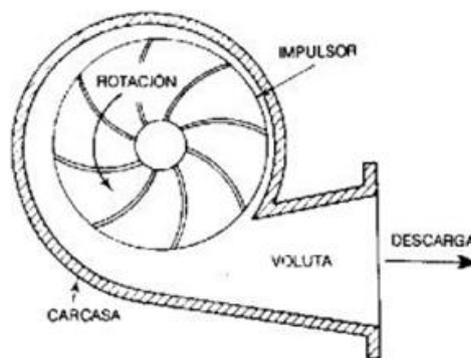


Fig.2.2 Voluta de una bomba centrífuga.

(Fuente: Mecánica de Fluidos de Yanus Cengel)

Bomba centrífuga difusor.

Los álabes (rueda perfilada) direccionales estacionarios rodean al rotor o impulsor en una bomba del tipo de difusor. Estos pasajes con expansión gradual cambian la dirección del flujo del líquido y convierten la energía de velocidad a columna de presión.

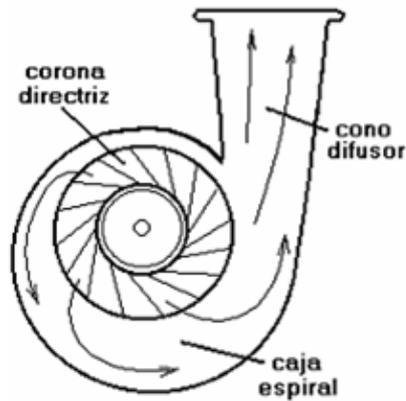


Fig.2.3 Difusor de bomba centrífuga.

(Fuente: Mecánica de fluidos de Yanus Cengel)

Bomba centrífuga turbina.

En este de tipo de bomba producen remolinos en el líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas dentro del canal anular en el que gira el impulsor.

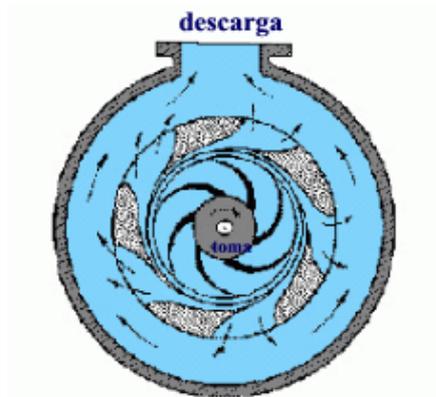


Fig.2.4 Turbina de un bomba centrífuga.

(Fuente: Mecánica de Fluidos de STREETER V.)

Principales características de la bomba centrífuga.

En la gran variedad de las bombas centrífuga encontramos las siguientes características:

- Elemento giratorio: Formados por un eje y uno o varios rodetes.
- Elemento estacionario (carcasa).
- Elementos de cierre.
- Aumenta la energía del fluido por la acción de la fuerza centrífuga.
- Se adapta a trabajos y a velocidades altas.
- El líquido sale perpendicular al eje de rotación del álabe o rodete.
- En bombas de alta presión pueden emplearse varios rotores en serie.
- En las bombas de baja presión, el difusor es un canal en espiral.
- En el caso de flujos bajos y altas presiones, la acción del rotor es en gran medida radial.
- En flujos más elevados y presiones de salida menores, la dirección de flujo en el interior de la bomba es más paralela al eje del rotor.
- Flujo mixto es cuando la transición de un tipo de condiciones a otro es gradual, y cuando las condiciones son intermedias.
- Las bombas centrífugas, al contrario que las de desplazamiento positivo, no son auto aspirantes y requieren de cebado previo al funcionamiento.

Ventajas principales de las bombas centrífugas.

Son más económicas que las bombas de émbolo equivalente. Las bombas centrífugas son muy versátiles en sus capacidades y presiones.

Algunas de sus ventajas son:

- Caudal constante.
- Presión uniforme.
- Sencillez de construcción.
- Tamaño reducido.
- Bajo mantenimiento.
- Flexibilidad de regulación.
- Vida útil prolongada.
- No tienen movimientos alternativos.

Campos de aplicaciones de las bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas son las bombas que más se aplican en diversas industrias, en las que destacan:

Industria alimenticia: Saborizantes, aceites, grasas, pasta de tomate, cremas, vegetales trozados, mermeladas, mayonesa, chocolate, levadura, etc.

Industria de cosméticos: Cremas y lociones, tintes y alcoholes, aceites, etc.

Industria farmacéutica: Pastas, jarabes, extractos, emulsiones. Bebidas: leche, cerveza, aguardientes, concentrados de fruta, jugos, etc.

Principio del funcionamiento de las bombas centrífugas.

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles y transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico.

La energía se comunica al líquido por medio de álabes en movimiento de rotación, a diferencia de las bombas de desplazamiento volumétrico o positivo, de las

rotativas (de engranajes, tornillos, lóbulos, levas, etc.) y alternativas de pistón, de vapor de acción directa o mecánicas.

Los elementos que forman una instalación con una bomba centrífuga.

- Una tubería de aspiración, que termina en la brida de aspiración.
- El rodete es el elemento rodante de la bomba que convierte la energía del motor en energía cinética. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete y este (alimentado por el motor) proyecta el fluido a la zona externa del cuerpo-bomba debido a la fuerza centrífuga producida por la velocidad del rodete. El líquido, de esta manera, almacena una energía (potencial) que se transformará en caudal y altura de elevación (o energía cinética).

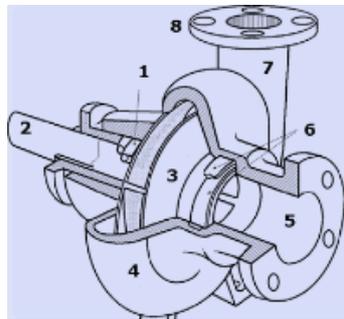


Fig.2.5 Partes de bomba centrífuga.

(Fuente: Mecánica de Fluidos de STREETER V.)

1. Empaque
2. Flecha
3. Rodete
4. Voluta
5. Entrada
6. Anillo de desgaste
7. Difusor
8. Flecha

- La voluta es una parte fija que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete a su salida.
- Una tubería de descarga conectada con la bomba, el líquido se encañalará fácilmente, llegando fuera de la bomba.

Principales tipos de las bombas centrífugas.

- En la gran variedad de las bombas centrífugas encontramos los siguientes principales tipos:
- Radiales, axiales y diagonales.
- De impulsor abierto, semiabierto y cerrado.
- Horizontales y verticales.

Bombas centrífugas radiales, axiales y diagonales.

El tipo de una bomba que atiende al diseño hidráulico del rodete impulsor, viene caracterizado por su velocidad específica, calculada en el punto de funcionamiento de diseño, es decir, en el punto de máximo rendimiento de la curva característica.

Bombas centrífugas radiales.

La corriente líquida se verifica en planos radiales. La energía se cede al líquido esencialmente mediante la acción de la fuerza centrífuga.

Bombas centrífugas axiales.

La corriente líquida se verifica superficies cilíndricas alrededor del eje de rotación. La energía se cede al líquido por la impulsión ejercida por los álabes sobre el mismo.

Bombas centrífugas diagonales.

La corriente líquida se verifica radial y axialmente, denominándose también de flujo mixto. La energía se cede al líquido mediante la acción de la fuerza centrífuga y la impulsión ejercida por los álabes sobre el mismo.

Bombas centrífugas con el impulsor abierto.

Un impulsor abierto tiene álabes unidos únicamente al eje de giro y se mueven entre dos paredes laterales fijas. Cuenta con tolerancias laterales lo más cerradas posibles para evitar fugas.

Estos impulsores cuentan siempre con una pequeña pared posterior para dar la rigidez necesaria a los álabes. Los impulsores abiertos se utilizan en algunas bombas radiales pequeñas y para el bombeo de líquidos abrasivos.

No hay distinciones entre impulsores abiertos y semiabiertos.

Bombas centrífugas con empuje axial en el impulsor abierto con álabes posteriores.

Aplicaciones principales de estas bombas centrífugas

- Aguas cargadas.
- Aguas arenosas.
- Fangos ligeros de depuración.
- Achique de canteras.
- Aceites de corte.
- Aceites ligeros, etc.

Las bombas centrífugas con el impulsor semiabierto.

Los impulsores con una sola pared lateral, que siempre es la posterior, se usan en las bombas de flujo mixto y todas las axiales. Para evitar fugas deben ser muy

cerradas las tolerancias laterales. Estas fugas son tanto mayores cuanto menos viscoso es el líquido. Son más apropiados que los abiertos para manejar líquidos a altas temperaturas. El desgaste del impulsor es proporcional a la velocidad relativa del líquido. No es radialmente uniforme, sino algo mayor en la periferia. Hay que cambiar el impulsor cuando el juego lateral se hace grande por el desgaste.

Para el manejo de líquidos abrasivos se colocan a veces placas laterales de desgaste. Están construidas con materiales especiales como el acero inoxidable.

La escasa tolerancia lateral del impulsor pueda tener graves consecuencias con una posible desviación del eje. Esto tiene mucha mayor importancia que en los impulsores cerrados. Las dilataciones o contracciones anormales tienen mucha mayor importancia que en los impulsores cerrados.

Ventajas del impulsor abierto sobre el cerrado en las bombas centrífugas.

Dentro de sus principales ventajas se encuentran:

- El impulsor abierto puede bombear líquidos corrosivos y abrasivos con sólidos.
- La menor tendencia a obstruirse que le hace adecuado para líquidos sucios.
- El menor roce hidráulico del disco, al tener sólo una pared girando, de lo que se deduce un buen rendimiento.
- Una mayor accesibilidad de los álabes para el mecanizado, lo que permite conseguir mejores acabados.

2.3.3. PARÁMETROS DE BOMBAS

Altura efectiva de bombeo

Una bomba debe vencer la resistencia de un sistema de bombeo para que el líquido pueda fluir completamente a través del mismo, la resistencia al flujo del fluido es conocido como Altura efectiva de bombeo.

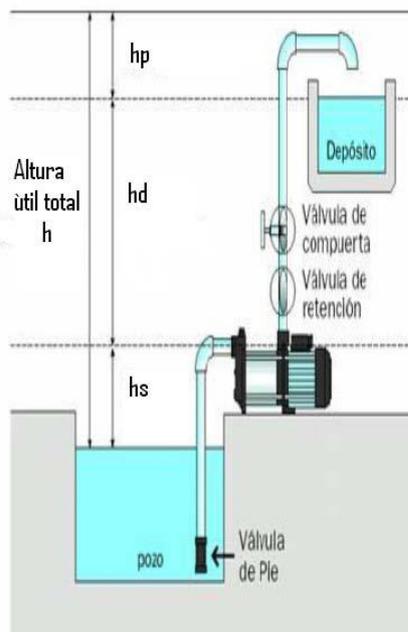


Fig.2.6. Altura efectiva de bombas.

(Fuente: Mecánica de Fluidos de STREETER V.)

Donde:

h : Es la columna o altura útil, total que debe vencer una bomba. [m]

h_s : Altura estática de succión. [m]

h_d : Altura estática de descarga. [m]

h_p : Altura de pérdidas. [m]

Potencia de bombeo.

Es la potencia suministrada por la bomba al fluido que la atraviesa y depende de la altura efectiva de bombeo. La potencia que se debe suministrar en el eje de la bomba es mayor a la potencia debido a las pérdidas que se producen en la bomba, que generalmente son de tres tipos:

Pérdidas volumétricas.

Debidas a corrientes secundarias, falta de hermeticidad, regreso de fluido, etc.

Pérdidas hidráulicas.

Debidas a choques, estrangulamientos, cambios de dirección, fricción, etc.

Pérdidas mecánicas

Debidas al rozamiento entre elementos mecánicos.

Amplitud de presión: Son los límites máximos de presión con los cuales una bomba puede funcionar adecuadamente. Las unidades son $[\frac{N}{m^2}]$.

Volumen: Es la cantidad de fluido que una bomba puede entregar a la presión de operación. Las unidades son $[\frac{m^3}{s}]$.

Amplitud de la velocidad: Se constituyen en los límites máximo y mínimo en los cuales las condiciones a la entrada y soporte de la carga permitirán a la bomba funcionar satisfactoriamente.

Eficiencia mecánica: Se puede determinar mediante la relación entre el caballaje teórico a la entrada, necesario para un volumen específico en una presión específica y el caballaje real a la entrada necesario para el volumen específico a la presión específica.

Eficiencia volumétrica: Se puede determinar mediante la relación entre el volumen teórico de salida y el volumen real a cualquier presión asignada.

Eficiencia total: Se puede determinar mediante el producto entre la eficiencia mecánica y la eficiencia volumétrica.

Altura neta de succión positiva (N.P.S.H)

Para que una bomba opere debe tener presión a la succión de manera que el líquido sea acelerado al interior del ojo del impulsor. Todas las bombas requieren una altura neta de succión positiva. El (N.P.S.H) es la presión requerida sobre la presión de vapor del fluido a bombearse para que el sistema trabaje correctamente

sin presencia del fenómeno de cavitación, problema frecuente en el transporte de fluidos por bombas.

Los fabricantes de bombas prueban cada diseño para determinar el nivel de la presión de succión que se requiere y reportan los resultados como la carga de succión positiva neta requerida ($NPSH_R$), de la bomba en cada condición de capacidad de operación (flujo volumétrico) y carga total sobre la bomba.

La carga de succión neta positiva disponible ($NPSH_A$), sea mayor que la requerida.

$$(NPSH_A) > (NPSH_R)$$

Cálculo de la ($NPSH_A$)

El valor de la ($NPSH_A$) depende de la presión de vapor del fluido que se bombea, las pérdidas de energía en el tubo de succión, la ubicación de almacenamiento del fluido y la presión que se aplica a este, esto se expresa como:

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Ecuación (2.1) Carga de succión neta positiva disponible.

Donde:

h_{sp} : Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento y se expresa en m de líquido. $h_{sp} = \frac{P_{sp}}{\gamma} [m]$

P_{sp} : Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito. $[\frac{N}{m^2}]$

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de la succión de la bomba. $[m]$

Si la bomba está abajo del depósito, h_s es positiva.

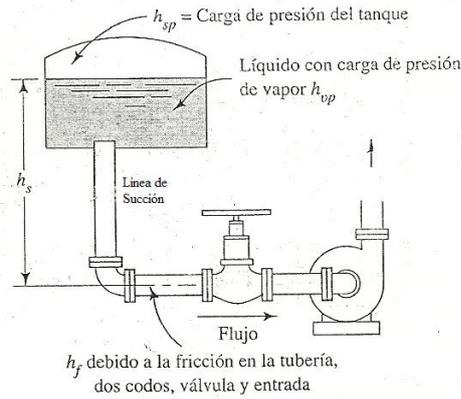


Fig.2.7. Altura efectiva de bombas.

(Fuente: Mecánica de Fluidos de Robert Mott.)

Si la bomba está arriba del depósito, h_s es negativa.

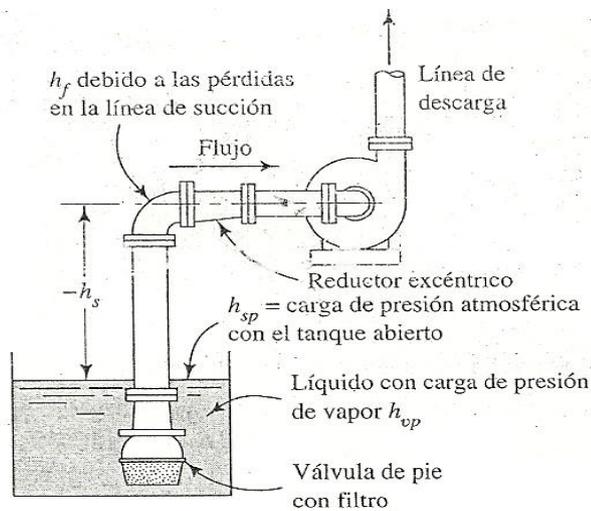


Fig.2.8. Altura efectiva de bombas.

(Fuente: Mecánica de fluidos de Robert Mott.)

h_{vp} : Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. [m]

Curva característica de la bomba.

Teniendo la información de los datos de placa de la bomba, se deben consultar los catálogos o información técnica del fabricante para obtener las curvas características de la bomba centrífuga; dichas curvas son aquellas que relacionan

las variables que intervienen en el funcionamiento de la misma. Las curvas características de las bombas presentan datos similares independientemente del fabricante y en general incluyen:

La curva de carga vs caudal.

La curva de NPSH vs caudal.

La curva de eficiencia vs caudal.

La curva de potencia vs caudal.

En caso de no contar con la información técnica del fabricante de la bomba que se desea evaluar, se podrán utilizar curvas de referencia que contengan características similares de la bomba, es decir: diámetro y tipo de impulsor, velocidad, tamaño, etc.

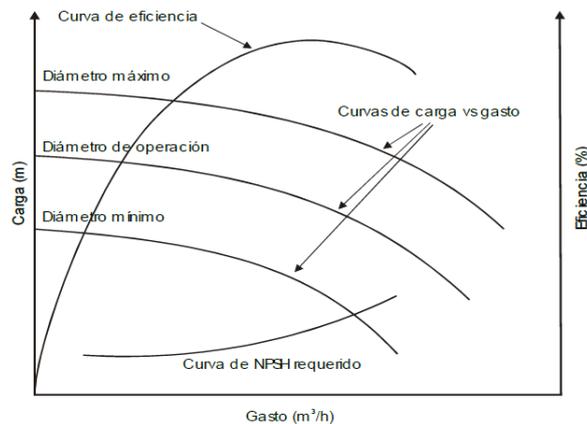


Fig.2.9. Curva característica de la bomba.

(Fuente: Mecánica de fluidos de STREETER V.)

2.3.4. PUNTOS DE OPERACIÓN DE LA BOMBA.

Caudal constante.

El punto de operación de una bomba se obtiene cuando la carga generada por la misma coincide con la que precisa el sistema de bombeo. El punto de operación se obtiene en la intersección de la curva (carga vs. caudal) de la bomba

correspondiente al diámetro de operación y la curva del sistema. Al trazar una línea horizontal y otra vertical que pase por este punto pueden obtenerse los valores de carga, caudal, eficiencia y NPSH requerido.

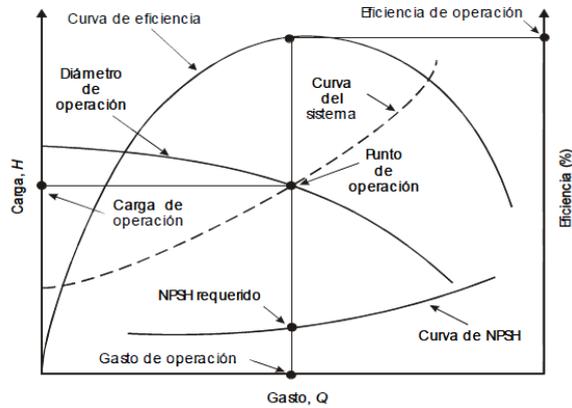


Fig.2.10. Curva característica de la bomba con caudal constante.

(Fuente: Mecánica de fluidos de STREETER V.)

Caudal variable.

En general los sistemas de bombeo requieren caudal variable, lo cual significa que una bomba trabaja con diferentes puntos de operación (carga, caudal).

Adicionalmente, en cada punto de operación se puede determinar el NPSH requerido y la eficiencia de la bomba.

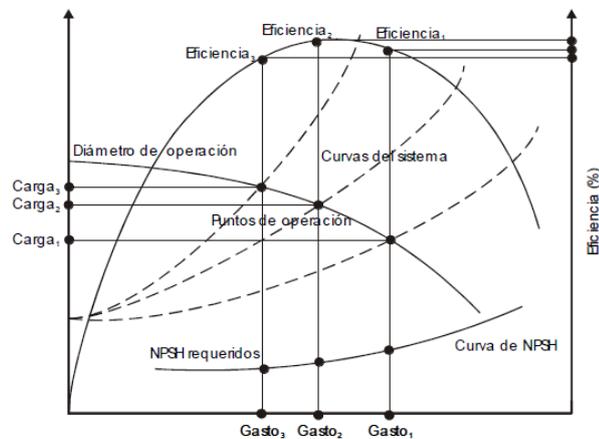


Fig.2.11. Curva característica de la bomba con caudal variable.

(Fuente: Mecánica de fluidos de STREETER V.)

2.3.5. CEBADO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.

Una bomba centrífuga se ceba cuando los conductos de la bomba se llenan con el líquido que se va a bombear. El líquido reemplaza al aire, gas o vapor en los conductos. La expulsión del aire, gas o vapor puede hacerse manualmente o automáticamente, dependiendo del tipo de equipo y controles usados.

Con una carga de succión positiva en la bomba, el cebado se logra escapando el aire atrapado al exterior de la bomba por una válvula provista para ese objeto. Si la bomba toma succión de un abastecimiento localizado debajo de la misma, el aire de la bomba debe evacuarse, ya sea con algún dispositivo que produzca vacío o instalando una válvula de pie en la línea de succión, de modo que la bomba y su tubería de succión puedan llenarse con agua, o teniendo una cámara de cebado en la línea de succión.

Esquema para el cebado de bombas centrífugas.

En la figura 2.12 la bomba se ceba abriendo la válvula dispuesta en la línea de succión (este esquema exige que la bomba esté instalada en carga: eje de la bomba por debajo por el nivel del dispositivo de aspiración.)

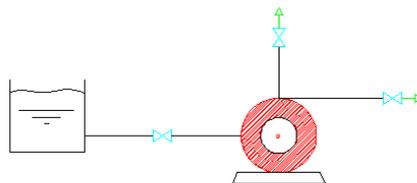


Fig.2.12. Cebado de una bomba con válvula en la línea de succión.

(Fuente: Mecánica de fluidos de Claudio Mataix.)

En la figura 2.13 la tubería de descarga en paralelo con una válvula de impulsión y de retención se dispone la válvula de cebado; gracias a la válvula de retención, la tubería retiene el líquido cuando la válvula se para.

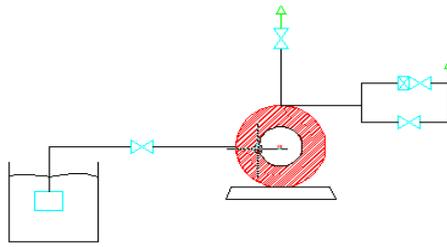


Fig.2.13. Cebado de una bomba con válvula de impulsión retención.

(Fuente: Mecánica de fluidos de Claudio Mataix.)

En la figura 2.14 la válvula situada a la izquierda es la válvula de cebado y la pequeña válvula situada verticalmente es un grifo de purga que deja escapar el agua durante el cebado.

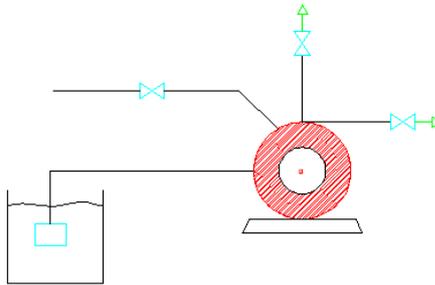


Fig.2.14. Cebado de una bomba con un grifo de purga.

(Fuente: Mecánica de fluidos de Claudio Mataix.)

2.3.6. CAVITACIÓN

Cuando un líquido en movimiento roza una superficie se produce una caída de presión local, y puede ocurrir que se alcance la presión de vaporización del líquido, a la temperatura que se encuentra dicho líquido. En ese instante se forman burbujas de vapor. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implotan. Este fenómeno recibe el nombre de cavitación.

La implosión causa ondas de presión que viajan en el líquido y las mismas pueden disiparse en la corriente del líquido o pueden chocar con una superficie. Si la zona donde chocan las ondas de presión es la misma, el material tiende a debilitarse metalúrgicamente y se inicia una erosión que además de dañar la

superficie provoca que ésta se convierta en una zona de mayor pérdida de presión y por ende de mayor foco de formación de burbujas de vapor.

Causas de cavitación.

- ✚ Altura demasiado alta para la succión.
- ✚ Longitud demasiado alta para la succión.
- ✚ Pérdidas secundarias elevadas en la succión.
- ✚ Exceso de accesorios y curvaturas en la succión.
- ✚ Diámetro de la tubería de succión muy pequeño.

Estas causas pueden producir en el interior de la bomba a la entrada del rodete el fenómeno de cavitación con la destrucción rápida del rodete.

2.3.7. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.

Los fluidos, como todos los materiales, tienen propiedades físicas que permiten caracterizar y cuantificar su comportamiento así como distinguirlos de otros. Algunas de estas propiedades son exclusivas de los fluidos y otras son típicas de todas las sustancias. Características como la viscosidad, tensión superficial y presión de vapor solo se pueden definir en los líquidos y gases. Sin embargo la masa específica, el peso específico y la densidad son atributos de cualquier materia.

Densidad.

La densidad es la cantidad de masa que hay en una unidad de volumen, entonces:

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Ecuación 2.2 Densidad

Donde:

m : Masa [Kg]

v : Volumen de la sustancia [m^3]

Peso Específico.

El peso específico de un fluido es el peso por unidad de volumen. Éste cambia con la gravedad, la cual depende del lugar de localización del producto. γ

$$\gamma = \rho * g \left[\frac{KN}{m^3} \right]$$

Ecuación 2.3 peso específico

Donde:

ρ : Densidad de la sustancia $\left[\frac{Kg}{m^3} \right]$

g : Aceleración de la gravedad $\left[\frac{m}{s^2} \right]$

Esta propiedad es útil cuando se trabaja con estática de fluidos o con líquidos con una superficie libre.

Para nuestro caso, el transporte del fluido (agua) se lo realiza en un sistema de tuberías cerrada, donde la gravedad no afecta al flujo de los fluidos.

Viscosidad.

Es la resistencia a fluir ofrecida por un líquido, resultante de los efectos combinados de la cohesión y la adherencia. La viscosidad se produce por el efecto de corte o deslizamiento resultante del movimiento de una capa de fluido con respecto a otro y es completamente distinta de la atracción molecular. La ley de viscosidad de Newton establece que para una tasa dada de deformación angular del fluido, el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la viscosidad y se la conoce como viscosidad absoluta o dinámica (μ)

La unidad más frecuente de viscosidad absoluta (μ) es el *POISE* = $\frac{gr}{cm * seg}$

Otra forma para expresar la viscosidad es calculando la *viscosidad cinemática* que es la relación de viscosidad absoluta con la densidad y la unidad de medida son

los *STOKE* = $\frac{cm^2}{seg}$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

Ecuación 2.4. Viscosidad.

Donde:

μ : Viscosidad Absoluta. $\left[\frac{N*s}{m^2} \right]$

ν : Viscosidad Cinemática.

Presión (P)

Es la fuerza por unidad de área a que está sometida una partícula de un fluido. La presión en una partícula de un fluido es igual en todas las direcciones. La diferencia de presión entre dos puntos de un conducto (tubería, canal) es la causa del movimiento (caudal) de un fluido (agua).

Presión atmosférica: Es la debida al peso del aire en un sitio particular de la superficie terrestre, por lo que su valor depende de la ubicación, altitud y latitud del lugar.

Presión absoluta: Es la presión que se mide con relación al cero absoluto de presión, donde no existe presencia de aire, o en su defecto es igual a la suma de la presión manométrica mas la atmosférica.

Presión barométrica: Es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro, a nivel del mar. Esta presión es próxima a 14,7 *PSI*

Presión manométrica: Es la determinada por cualquier instrumento que mide la diferencia entre cualquier presión absoluta por encima de la atmosférica y la presión atmosférica del lugar donde se efectúa la medición.

Vacío: El vacío es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta.

Relación de Presiones.

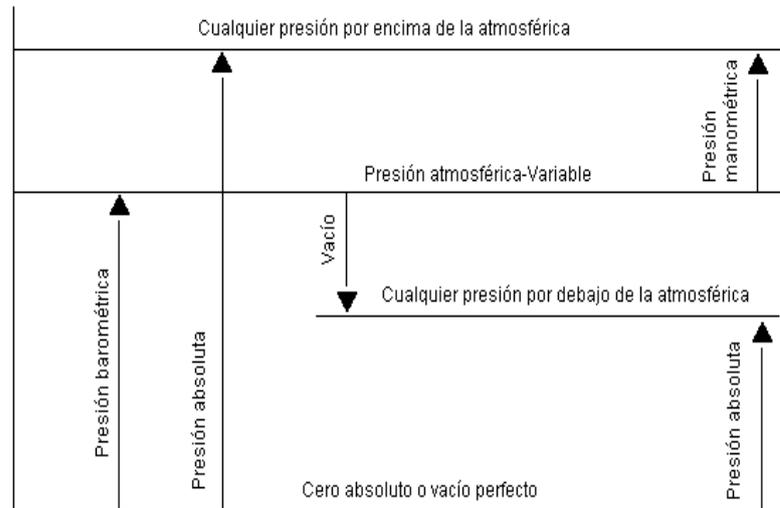


Fig.2.15. Relación de Presiones.

(Fuente: Mecánica de Fluidos de STREETER V.)

Las unidades más usadas de presión son: $PSI = \left[\frac{lib}{plg^2} \right]$ en el sistema Inglés y en el Sistema Internacional $\left[\frac{N}{m^2} \right]$.

Temperatura.

Se define la temperatura como la capacidad de un sistema para transferir calor. La diferencia de temperatura entre dos sistemas es la causa del intercambio de calor entre los mismos.

Existen escalas de temperatura relativas, que toman como referencia propiedades y estados de sustancias y asignan valores, entre ellas la escala Centígrada ($^{\circ}C$) o Celsius y la Fahrenheit ($^{\circ}F$).

También se han definido las escalas absolutas de temperatura las cuales no dependen de las propiedades de las sustancias.

En estas escalas se define el cero absoluto en el cual no existe vibración molecular en la materia, entre ellas se tiene la escala absoluta Rankine ($^{\circ}R$) y Kelvin ($^{\circ}K$).

Caudal.

Es el volumen por unidad de tiempo que atraviesa una sección transversal de un conducto. Se pueden relacionar el caudal (Q) con la velocidad (v).

$$Q = AV$$

Ecuación 2.5. Para calcular el caudal de una tubería

Donde:

Q = Caudal (m^3 / s)

V = Velocidad promedio del flujo (m / s)

A = Área transversal de la sección (m^2)

2.3.8. DINÁMICA DE LOS FLUIDOS.

Estudia las fuerzas que se desarrollan en un fluido en movimiento. Dos conceptos fundamentales se utilizan en la derivación de las ecuaciones del movimiento de los fluidos. Estos son el Principio de Conservación de la Masa y las tres leyes de Newton. Partiendo de la definición gramatical de fluido como una sustancia la cual se deforma bajo la acción de cualquier fuerza cortante y desde un punto de vista técnico como una sustancia que en estado de reposo no puede soportar esfuerzos cortantes, esto es, esfuerzos aplicados tangencialmente a la superficie donde la fuerza actúa.

Un fluido cambia sus propiedades físicas generales en pequeña escala de un punto a otro. Conforme la partícula se mueve, cambia su velocidad y su densidad de un instante a otro. Hay dos maneras de describir el movimiento de un fluido.

Tipos de flujo de fluidos.

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se le somete a fuerzas tangenciales.

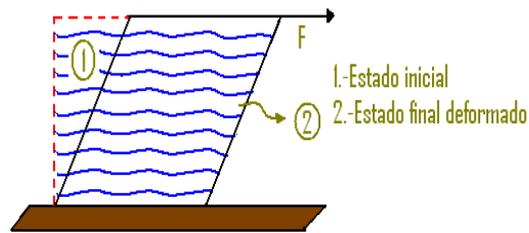


Fig.2.16. Flujo de un fluido

(Fuente: Mecánica de fluidos de Frank. White)

Para fines de análisis se puede considerar el flujo de un fluido en un conducto, dividido en "líneas de corriente".

Líneas de corriente.

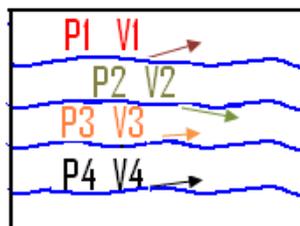


Fig.2.17. Líneas de corriente

(Fuente: Mecánica de fluidos de Frank. White)

Las líneas de corriente son la trayectoria por la cual circulan las partículas de fluido. Cada partícula de fluido dentro de una línea de corriente de un fluido en movimiento tiene una velocidad determinada tangente a la línea de corriente y una presión determinada. El flujo dentro de un conducto puede ser laminar o turbulento.

Flujo laminar.

Es esencialmente ordenado, las líneas de corriente (capas) son paralelas entre sí. En el flujo laminar el gradiente de velocidades es diferente de cero. El perfil de velocidad es una curva de forma suave y el fluido se mueve a lo largo de líneas de corriente de aspecto aislado. El flujo se denomina laminar porque aparece como una serie de capas delgadas de fluido (láminas) que se deslizan unas sobre otras.

En el flujo laminar las partículas de fluido se mueven a lo largo de las líneas de corriente fijas y no se desplazan de una a otra. El concepto de fricción en el fluido es una analogía adecuada para el esfuerzo cortante más aún es realmente el resultado de una transferencia de momento molecular, de fuerzas intermoleculares o de ambas cosas.

Flujo turbulento.

Es esencialmente caótico, las líneas de corriente se entrecruzan entre si y tienen formas diferentes.

El flujo turbulento es más comúnmente desarrollado debido a que la naturaleza tiene tendencia hacia el desorden y esto en términos de flujos significa tendencia hacia la turbulencia. Este tipo de flujo se caracteriza por trayectorias circulares erráticas, semejantes a remolinos. El flujo turbulento ocurre cuando las velocidades de flujo son generalmente muy altas o en fluidos en los que las fuerzas viscosas son muy pequeñas.

La turbulencia puede originarse por la presencia de paredes en contacto con el fluido o por la existencia de capas que se muevan a diferentes velocidades. Además, un flujo turbulento puede desarrollarse bien sea en un conducto liso o en un conducto rugoso.

También se presenta como tema de aplicación la turbulencia atmosférica y la dispersión de contaminantes.

Según la viscosidad del fluido, un flujo se puede clasificar en laminar o turbulento.

En el flujo turbulento las partículas se mueven sin seguir un orden establecido, en trayectorias completamente erráticas.

El flujo turbulento se caracteriza porque el fluido continuamente se mezcla, de forma caótica, como consecuencia de la ruptura de un flujo ordenado de vórtices, que afectan zonas en dirección del movimiento. El flujo del agua en los ríos o el

movimiento del aire cerca de la superficie de la tierra son ejemplos típicos de flujos turbulentos.

Tipos de flujo en la tubería.

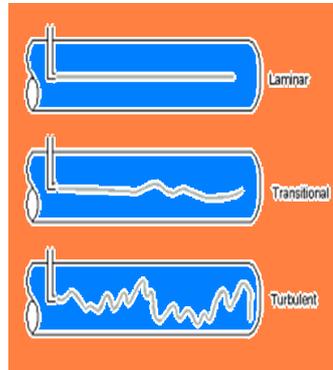


Fig.2.18. Tipos de flujo de tubería

(Fuente: <http://www.monografias.com/tipos-de-flujo.shtml>)

Se puede cuantificar numéricamente el tipo de flujo presente en un conducto mediante un coeficiente adimensional llamado "Número de Reynolds R_e ".

Número de Reynolds.

Reynolds (1874) estudió las características de flujo de los fluidos inyectando un trazador dentro de un líquido que fluía por una tubería. A velocidades bajas del líquido, el trazador se mueve linealmente en la dirección axial. Sin embargo a mayores velocidades, las líneas del flujo del fluido se desorganizan y el trazador se dispersa rápidamente después de su inyección en el líquido. El flujo lineal se denomina Laminar y el flujo errático obtenido a mayores velocidades del líquido se denomina Turbulento

Las características que condicionan el flujo laminar dependen de las propiedades del líquido y de las dimensiones del flujo. Conforme aumenta el flujo másico aumenta las fuerzas del momento o inercia, las cuales son contrarrestadas por la fricción o fuerzas viscosas dentro del líquido que fluye. Cuando estas fuerzas opuestas alcanzan un cierto equilibrio se producen cambios en las características del flujo. En base a los experimentos realizados por Reynolds en

1874 se concluyó que las fuerzas del momento son función de la densidad, del diámetro de la tubería y de la velocidad media. Además, la fricción o fuerza viscosa depende de la viscosidad del líquido. Según dicho análisis, el Número de Reynolds se definió como la relación existente entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas (o de rozamiento).

Este número es adimensional y puede utilizarse para definir las características del flujo dentro de una tubería.

El número de Reynolds proporciona una indicación de la pérdida de energía causada por efectos viscosos.

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande). Desde un punto de vista matemático el número de Reynolds de un problema o situación concreta se define por medio de la siguiente fórmula:

$$R_e = \frac{\text{Fuerzas Inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Ecuación 2.6. Número de Reynolds.

$$R_e = \frac{kg}{m^3} \times \frac{m}{s} \times m \times \frac{m \cdot s}{kg}$$

Donde:

R_e : Número de Reynolds.

ρ : Densidad del fluido. $[\frac{kg}{m^3}]$

v : Velocidad promedio del fluido $[\frac{m}{s}]$

D : Diámetro del ducto. $[m]$

μ : Viscosidad dinámica del fluido [$\frac{m^2}{s}$]

También podemos expresar el número de Reynolds en base a la viscosidad cinemática de la siguiente manera:

$$R_e = \frac{vD}{\nu} [\textit{adimensional}]$$

Ecuación 2.7. Número de Reynolds en función de la viscosidad cinemática.

Tabla 2-1. Unidades utilizadas en el cálculo del número de Reynolds

(Fuente: Mecánica de fluidos de Robert Mott)

Cantidad	Unidades del SI	Unidades del sistema Británico.
Velocidad	m/s	pie/s
Diámetro	m	pie
Densidad	kg/m ³ ó N.s ² /m ⁴	slugs/pie ³ ó lb.s ² /pie
Viscosidad Dinámica	N.s/m ² ó Pa.s ó kg/m.s	lb.s/pie ² ó slugs/pie.s
Viscosidad cinemática	m ² /s	pie ² /s

Números de Reynolds críticos:

- Para valores de $R_e \leq 2000$ el flujo se mantiene estacionario y se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan solo en base a esfuerzos tangenciales, por eso a este flujo se le llama flujo laminar.
- Para valores de $2000 \leq R_e \leq 4000$, este régimen se denomina de transición ó región crítica y es imposible predecir que flujo existe. Las aplicaciones prácticas involucran flujos que se encuentren bien dentro del rango laminar o bien dentro del rango turbulento, por lo que la existencia de dicha región de incertidumbre no ocasiona demasiadas dificultades.

- Para valores de $R_e \geq 4000$, este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y tridimensional.

2.3.9. ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD.

Esta ecuación se basa principalmente en el Principio de conservación de la Masa, es decir la materia que entra es la misma que la que sale. La ecuación de continuidad para los líquidos considera que el caudal será constante para las diferentes secciones de una instalación por la que atraviese el fluido

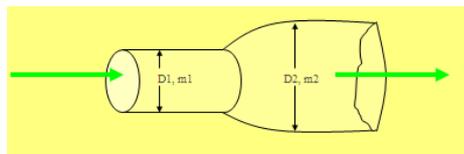


Fig.2.19. Ecuación de continuidad.

(Fuente: <http://www.monografias.com/tipos de flujo.shtml>)

$$m_1 = m_2$$

$$m = \rho AV$$

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V$$

Donde:

m : Masa [Kg]

ρ : Densidad del fluido $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

A : Área [m^2]

V : Velocidad promedio del fluido $\left[\frac{m}{s}\right]$

Cuando $\rho_1 = \rho_2$, que es el caso general tratándose de agua, y flujo en régimen permanente, se tiene:

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

Ecuación 2.8. Continuidad.

De otra forma que:

$$Q_1 = Q_2 \text{ (El caudal que entra es igual al que sale)}$$

Ecuación de energía.

El movimiento de fluidos en tuberías utiliza y transforma la energía. La mayor porción de esta energía está presente de tres principales maneras: energía cinética, energía potencial y energía de posición.

$$E_{total} = E_c + E_p + E_e$$

Donde:

E_c: Energía Cinética

E_p: Energía potencial

E_e: Energía de posición

Energía cinética.

La energía cinética de la masa del fluido (m) es la medida de la capacidad del fluido de hacer un trabajo en virtud de su velocidad (V).

Su magnitud es comúnmente expresada como:

$$E_c = \frac{1}{2}Vm$$

Ecuación 2.9. Energía cinética.

Y expresada en unidades de energía por unidad de peso tenemos

$$E_c = \frac{v^2}{2g}$$

Sus dimensiones son de longitud y representa la altura de una columna de fluido comúnmente conocida como altura de velocidad. Donde:

v : Velocidad de flujo del fluido. [m/s]

g : Valor de la aceleración de la gravedad. [$\frac{m}{s^2}$]

m : Masa total del fluido que pasa a través de la sección de tubería [Kg]

A : Área transversal de la tubería. [m^2]

Energía potencial.

La energía de presión es la medida del trabajo realizado por la fuerza debido a la presión en la masa del fluido.

Su magnitud es comúnmente expresada como:

$$E_p = PAV$$

Ecuación 2.10. Energía potencial

Y expresada en unidades de energía por unidad de peso tenemos.

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

Esta cantidad tiene también dimensiones de longitud y se la conoce como altura de presión. Donde:

P : Presión en una sección cualquiera de la tubería [KPa]

A : Área transversal de la tubería. [m^2]

v : Velocidad de flujo del fluido. [m/s]

γ : Peso específico del fluido [$\frac{KN}{m^3}$]

Energía de posición o elevación La energía de posición (elevación) contenida en la masa de un fluido en movimiento se mide respecto de un plano o altura de referencia. Es la energía requerida para elevar el fluido a esa posición. Si la masa del fluido es elevada a una posición Z arriba de la altura de referencia la energía requerida es:

$$E_e = WZ$$

Ecuación 2.11. Energía de posición o elevación.

Donde:

W : Peso [Kg]

z : Distancia medida desde el punto de referencia. [m]

Y expresada en unidades de energía por unidad de peso tenemos.

$$E_e = Z [m]$$

2.3.10. FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS

Teorema de Bernoulli.

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la Ley de Conservación de la Energía para el flujo de fluidos en un conducto. Esta ecuación es un balance energético entre dos secciones de flujo en un conducto.

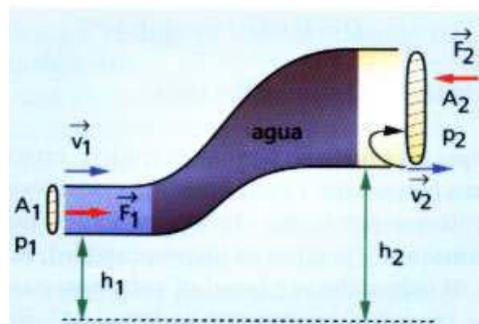


Fig.2.20. Balance energético en instalación hidráulica.

(Fuente: Mecánica de fluidos de Frank. White)

En cada sección de flujo existen energías correspondientes a la presión, velocidad (cinética) y a su posición (potencial), de tal manera que la energía total existente en una sección de flujo.

La ecuación de Bernoulli considera que la energía no se altera es decir se mantiene constante. Esto en un proceso sin pérdidas, significa que entre dos secciones cualquiera de un conducto se cumple.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Ecuación 2.12. Bernoulli

Donde:

P: Presión del fluido [KPa]

V: Velocidad del fluido $\left[\frac{m}{s}\right]$

z: Altura [m]

g: Aceleración de la gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

γ : Peso específico del fluido $\left[\frac{KN}{m^3}\right]$

La ecuación de Bernoulli toma en cuenta los cambios en la carga de elevación, carga de presión y carga de velocidad entre dos puntos en un sistema de flujo de fluido. Se supone que no hay pérdidas o adiciones de energía entre los dos puntos, por lo que la carga total permanece constante.

Restricciones de la ecuación de Bernoulli.

Aunque la ecuación de Bernoulli es aplicable a bastantes problemas prácticos, hay limitaciones que debemos conocer, a fin de aplicarla con propiedad.

- Es válida solo para fluidos incompresibles, porque se supone que el peso específico es el mismo en las dos secciones de interés.

- No puede haber dispositivos mecánicos que agreguen o retiren energía del sistema entre las dos secciones de interés, debido a que la ecuación establece que la energía en el fluido es constante.
- No puede haber transferencia de calor hacia el fluido o fuera de este.
- No puede haber pérdidas de energía debido a fricción.

Aplicaciones de la ecuación de Bernoulli.

La ecuación de Bernoulli es uno de los pilares fundamentales de la hidrodinámica; son innumerables los problemas prácticos que se resuelven con ella:

- Determina la altura a que debe instalarse una bomba.
- Es necesaria para el cálculo de la altura útil o efectiva en una bomba.
- Estudia el problema de la cavitación con ella.
- Estudia el tubo de aspiración de una turbina.
- Interviene en el cálculo de tuberías de casi cualquier tipo.

Balance energético considerando pérdidas de carga.

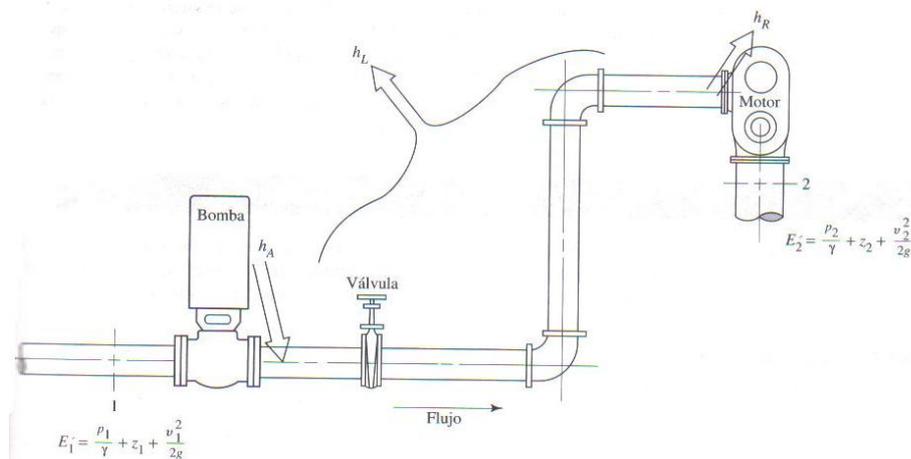


Fig.2.21. Esquema de la ecuación e la energía considerando pérdidas.

(Fuente mecánica de fluidos de Robert Mott)

Donde:

h_B : Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como una bomba.

h_R : Energía que se remueve del fluido por medio de un dispositivo mecánico como un motor.

h_L : Pérdidas de energía del sistema por la fricción en tuberías, o pérdidas menores por válvulas u otros accesorios.

Pérdidas de energía en la tubería.

La pérdida de carga que tiene lugar en el transporte de fluidos por tuberías representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma. Las pérdidas de carga en las tuberías se dividen en dos clases: pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

Pérdidas primarias.

Son las pérdidas que genera la superficie en contacto con el fluido en la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en un flujo uniforme, por lo tanto en los tramos de tubería de sección constante.

Ecuación de Darcy Weisbach.

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

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

Ecuación 2.13. Darcy Weisbach.

Donde:

h_G : Pérdidas de energía del sistema por la fricción.

L : Longitud de la corriente del fluido [m]

D : Diámetro de la tubería. [m]

v : Velocidad promedio del flujo. [m/s]

Factor de fricción.

El factor de fricción está en función de la rugosidad de la tubería y del Número de Reynolds:

$$f = \Phi(R_e, \epsilon)$$

Donde:

R_e : Número de Reynolds.

ϵ : Rugosidad. [m]

Factor de fricción para el flujo laminar.

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

Ecuación 2.14. Factor de fricción.

Donde:

El valor numérico es una constante en la ecuación.

f : Factor de fricción [*adimensional*]

R_e : Número de Reynolds. [*adimensional*]

Pérdidas por fricción en el flujo turbulento.

En este tipo de flujo es más conveniente usar la ecuación de Darcy. El flujo turbulento es caótico y varía en forma constante. Por estas razones, para determinar el valor de f debemos recurrir a datos experimentales.

El factor de fricción f depende de dos parámetros adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. La rugosidad relativa es la relación del diámetro de la tubería D a la rugosidad promedio de su pared ϵ (letra griega épsilon). En la siguiente figura se muestra la rugosidad de la pared de la tubería como la altura de los picos de las irregularidades de la superficie.

La condición de la superficie depende sobre todo del material del que está hecho el tubo y del método de fabricación. Debido a que la rugosidad es algo irregular se deberá tomar valores promedios.

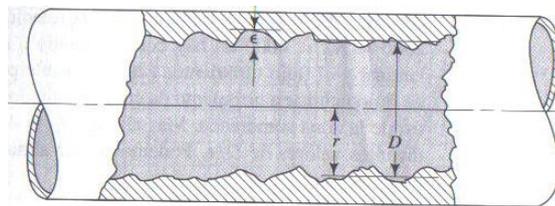


Fig.2.22. Rugosidad interna de la tubería.

(Fuente: Mecánica de fluidos; Robert L. Mott)

Tabla 2-2 Valores de diseño de la rugosidad de tubos

(Fuente: Mecánica de fluidos; Robert L. Mott)

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

Métodos para encontrar el factor de fricción.

Diagrama de Moody.

Es uno de los métodos utilizado para evaluar el factor de fricción, este método depende de los siguientes factores:

- Número de Reynolds. [R_e]
- Rugosidad Relativa. [ϵ]
- Diámetro Interno de la tubería. [D]

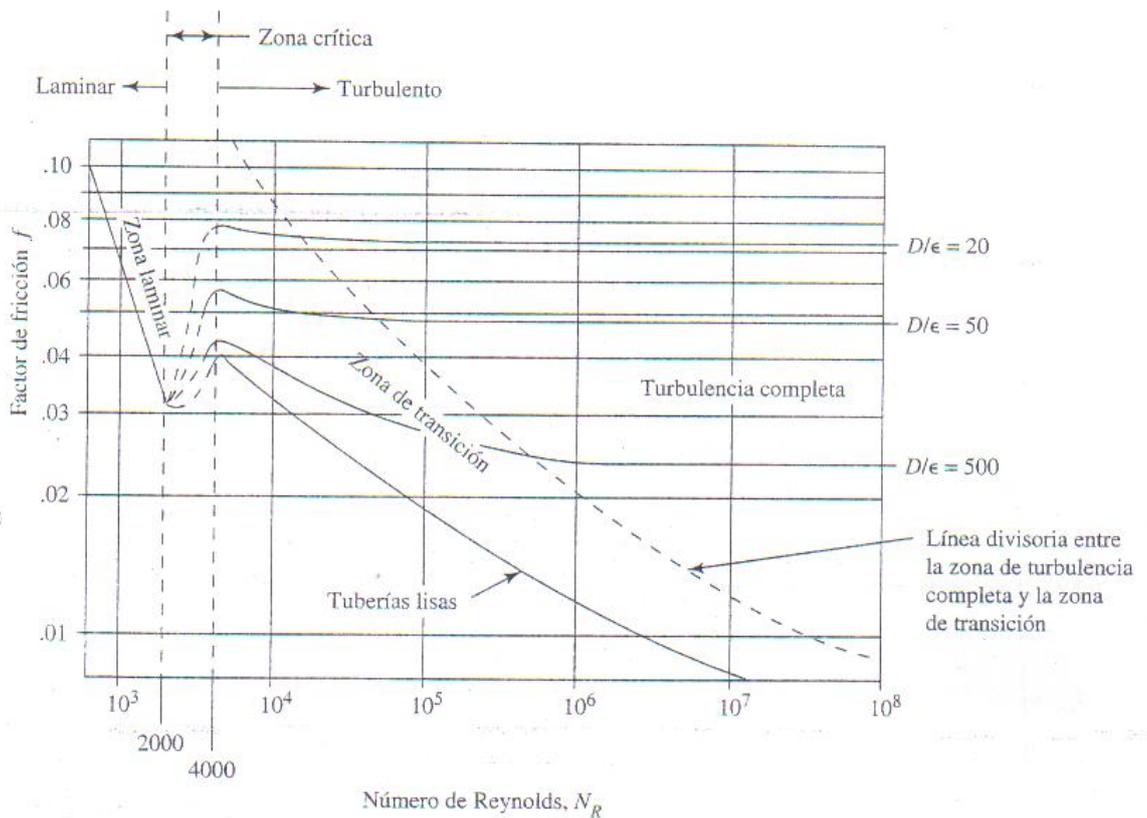


Fig. 2.23. Diagrama de Moody.

(Fuente: Mecánica de fluidos; Robert L. Mott)

El diagrama muestra la grafica del factor de fricción f versus el número de Reynolds R_e , con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa D/ϵ . Estas curvas las generó L. F. Moody a partir de datos experimentales.

Ecuación de P. k. Swamee y S. K. Jain.

Esta ecuación nos permite el cálculo directo del factor de fricción para un flujo turbulento.

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

Ecuación 2.15. Ecuación de P. k. Swamee y S. K. Jain.

2.3.11. PÉRDIDAS SECUNDARIAS POR ACCESORIOS (VÁLVULAS O DISPOSITIVOS DE CIERRE)

Las tuberías de conducción utilizadas en casos reales y prácticos de transporte de fluidos son sinuosas, compuestas de tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes geográficos del terreno, como también a los cambios que se presentan en la geometría de su sección y de los distintos dispositivos para el control de la descarga. Estos cambios ocasionan pérdidas de energía localizadas en el mismo sitio del cambio de geometría o de alteración del flujo. La magnitud del coeficiente de resistencia depende de la geometría del dispositivo que ocasiona la pérdida y algunas veces depende de la velocidad de flujo.

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

Ecuación 2.16. Pérdidas menores.

Donde:

h_L : Pérdidas Secundarias. [m]

K: Coeficiente de resistencia.

v: Velocidad de flujo del fluido. [$\frac{m}{s}$]

g: Valor de la aceleración de la gravedad. [$\frac{m}{s^2}$]

Las válvulas se emplean en los circuitos de tuberías con el propósito de controlar el caudal, estos dispositivos originan pérdidas de carga, la cual es inversamente proporcional al porcentaje de apertura de la válvula.

Una válvula puede ser una pérdida pequeña y despreciable cuando está totalmente abierta; sin embargo, cuando está parcialmente abierta puede ser la pérdida más importante del sistema.

Válvula de compuerta.

Es utilizada para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción.

Cuando la válvula está totalmente abierta, el área de flujo coincide con el diámetro nominal de la tubería, por lo que las pérdidas de carga son relativamente pequeñas.

Este tipo de válvula no es recomendable para regulación o estrangulamiento ya que el disco podría resultar erosionado. Parcialmente abierta puede sufrir vibraciones.

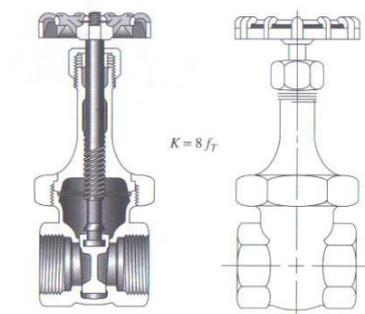


Fig.2.24.Válvula de compuerta

(Fuente: Internet <http://www.valvias.com/tipos-de-valvulas.php>)

Válvula de globo.

Las válvulas de globo son llamadas así por la forma esférica de su cuerpo. Si bien actualmente algunos diseños ya no son tan esféricos, conservan el nombre por el tipo de mecanismo. El obturador de la válvula se desplaza con un movimiento lineal.

La válvula de globo es muy utilizada en la regulación de fluidos. La geometría del obturador caracteriza la curva de regulación, siendo lineal para obturadores parabólicos.

Son de uso frecuente gracias a su poca fricción y pueden controlar el fluido con la estrangulación al grado deseado.

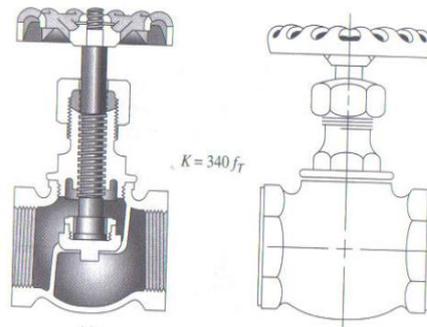


Fig.2.25. Válvula de globo

(Fuente: Internet <http://www.valvias.com/tipos-de-valvulas.php>)

Válvula de mariposa.

Las válvulas de mariposa son unas válvulas muy versátiles. Tiene una gran capacidad de adaptación a las múltiples solicitaciones de la industria, tamaños, presiones, temperaturas, conexiones, etc. a un costo relativamente bajo. El desarrollo de la válvula de mariposa es más reciente que en otro tipo de válvulas. Una mayor concienciación en el ahorro energético de las instalaciones favoreció su introducción, ya que su pérdida de carga es pequeña. El funcionamiento básico de las válvulas de mariposa es sencillo pues sólo requiere una rotación de 90° del disco para abrirla por completo.

El menor espacio que ocupan facilita su montaje en la instalación. En este sentido, las válvulas de compuerta y globo resultan muy pesadas y de geometría compleja. Por todo ello, las válvulas de mariposa son especialmente atractivas en grandes tamaños respecto otro tipo de válvulas. La pérdida de carga es pequeña. Cuando la válvula está totalmente abierta, la corriente circula de forma aerodinámica alrededor del disco, y aunque la pérdida de carga es ligeramente superior a las

válvulas esféricas o de compuerta, ya que éstas tienen la sección totalmente libre de obstáculos, es claramente inferior a la válvula globo.

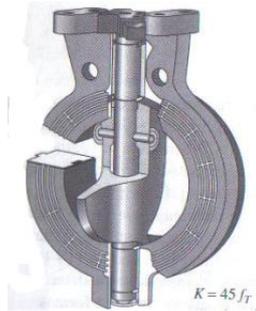


Fig.2.26. Válvula de mariposa

(Fuente: Internet <http://www.valvias.com/tipos-de-valvulas.php>)

Válvula de aguja.

La válvula de aguja es llamada así por el vástago cónico que hace de obturador sobre un orificio de pequeño diámetro en relación al diámetro nominal de la válvula. El desplazamiento del vástago, si es de rosca fina, es lento y el hecho de que hasta que no se gira un buen número de vueltas la sección de paso del fluido es mínima, convierte esta válvula en una buena reguladora de caudal, por su estabilidad, precisión y el diseño del obturador que facilita un buen sellado metálico, con poco desgaste que evita la cavitación a grandes presiones diferenciales.



Fig.2.27. Válvula de aguja

(Fuente: Internet <http://www.valvias.com/tipos-de-valvulas.php>)

Acoplamientos.

Los acoplamientos dirigen la trayectoria del flujo o hace que cambie su tamaño incluye codos de varios diseños, té, reductoras, boquillas y orificios.

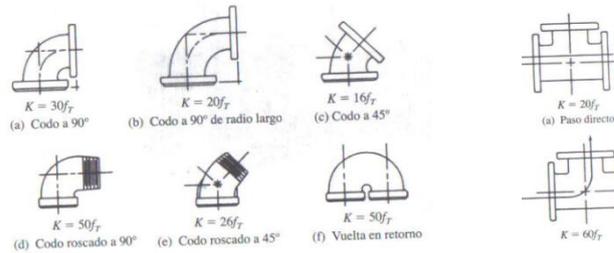


Fig.2.28. Acoplamientos

(Fuente: Mecánica de fluidos Robert Mott)

La pérdida de energía que tiene lugar cuando el fluido circula por una válvula o acoplamiento se calcula con la ecuación de pérdidas menores. Sin embargo, el método para determinar el coeficiente de resistencia f es diferente. El valor de K se reporta en la forma:

$$K = \left(\frac{L_e}{D}\right)f_T$$

Ecuación 2.17. Coeficiente de resistencia

Donde:

$\frac{L_e}{D}$: Relación de longitud equivalente y se considera constante para un tipo dado de válvula o acoplamiento.

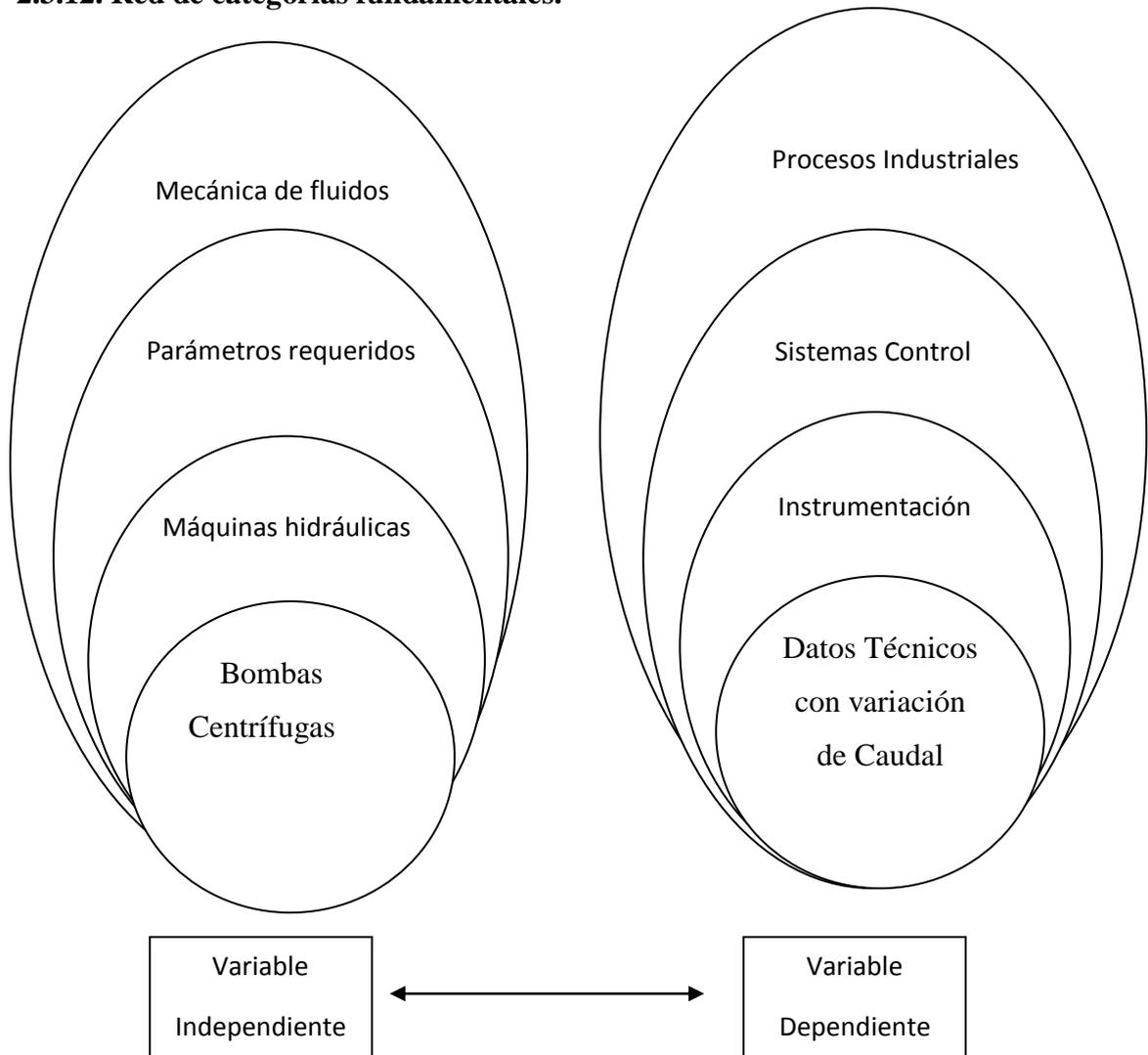
L_e : Longitud equivalente.

D : Diámetro interior real de la tubería.

f_T : Factor de fricción de la tubería.

Los valores de f_T varían según el tamaño de la tubería y la válvula lo que hace que el valor del coeficiente de resistencia K también varíe.

2.3.12. Red de categorías fundamentales.



2.4. Hipótesis:

El estudio de Bombas Centrífugas de manera aplicada permitirá obtener los datos técnicos con variación de caudal de las mismas.

2.5. Señalamiento de las Variables.

2.5.1 Variable Independiente.

Bombas Centrífugas.

2.5.2 Variable Dependiente.

Parámetros técnicos con variación de caudal.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Enfoque.

En el presente estudio a desarrollar utilizaremos variables cuantitativas continuas, ya que se puede obtener cualquier valor dentro de un cierto intervalo ya sea entero como fraccionario, estos valores permitirán verificar las variaciones de los parámetros técnicos de las bombas. Se utilizara variables cualitativas ya que se utilizará tablas para comparar valores obtenidos.

3.2. Modalidad básica de la investigación.

3.2.1. Bibliográfica.

La investigación que se va a realizar es bibliográfica por qué se va a recurrir a información de varios libros, revistas y en el Internet para obtener información referente al tema de investigación.

3.2.2. Experimental.

La investigación que se realizará es experimental ya que es necesario analizar y comparar los resultados obtenidos y poder redactar las conclusiones.

3.3 Nivel o Tipo de Investigación.

3.3.1 Exploratoria.

En este estudio se utilizara la investigación exploratoria ya que consiste en tener un conocimiento general o aproximativo de la realidad.de como afecta las condiciones de trabajo en una bomba para la eficiencia de la misma.

3.3.2. Descriptiva.

Mediante este tipo de investigación, que utiliza el método de análisis, se logra mejorar los conocimientos académicos para una relación teórico práctico así obtener ciertos criterios sobre el tema a investigar.

3.4 Operacionalización de Variables.

3.4.1. V.I. Bombas Centrífugas.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p>Una bomba centrífuga es un dispositivo que recibe energía mecánica de un motor impulsor y transfiere esta energía a una cierta cantidad de fluido que la atraviesa. Las bombas son máquinas usadas para mover fluidos a través de tuberías mediante la potencia disponible de la misma.</p>	<p>Caudal del fluido</p> <p>Potencia Transmitida al fluido</p>	<p>Mínimo</p> <p>Máximo</p> <p>Alta</p> <p>Baja</p>	<p>¿De acuerdo al caudal requerido por el sistema?</p> <p>¿Puede variar según la cantidad de fluido que circula?</p>	<p>Reportes</p> <p>Hoja de datos</p> <p>Practicas</p> <p>Hoja de datos</p>

3.4.2. V.D. Datos técnicos con variación de caudal.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Los datos técnicos de una bomba centrífuga son especificaciones en las cuales nos da los parámetros de funcionamiento de las mismas como es el caudal, altura neta, eficiencia y más especificaciones.	Eficiencia en el sistema	Óptima	$\eta \leq 95\%$	Experimentación Hoja de datos
		Baja	$\eta \leq 40\%$	
	flujo	Turbulento	$Re \geq 4000$	Libros Tablas
		Laminar	$Re \leq 2000$	
	Altura Neta	Optima	¿Varía según la cantidad de accesorios y longitud de tubería?	Experimentación Hoja de datos
		Normal		

3.5 Plan de recolección de la información.

En la recolección de datos se aplicó la técnica de observación directa y la de laboratorio, ya que fue necesario apreciar directamente cada uno de los caudales y presiones de las bombas.

3.6 Plan de procesamiento de la información.

- Análisis de pérdidas de energía de las bombas en unos sistemas de red.
- Obtención de la presión de salida de una bomba con diferentes medidas de caudal.
- Análisis del comportamiento de una bomba centrífuga en carga y succión.
- Representación gráfica de los datos y resultados del estudio obtenidos con diferentes medidas de caudal.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos en el estudio de las bombas centrífugas.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados.

Aquí se presentarán los datos obtenidos del estudio de bombas centrifugas de manera teórica, estos se presentarán en forma de tablas en las cuales se obtiene la eficiencia de las bombas con variación de caudal y con un trabajo en succión y en carga.

4.1.1. Tablas de comparación de datos.

En las siguientes tablas se muestra de forma ordenada los resultados obtenidos de forma teórica mediante datos proporcionados por catálogos de las bombas. La simbología utilizada en la tabla es la siguiente:

Q : Caudal que va a estar circulando por el sistema, este valor es observado directamente gracias al rotámetro.

P_E : Presión de entrada, obtenido por el vacuómetro.

P_S : Presión de salida, observada por medio del manómetro.

Z : Altura neta del sistema este valor es variable para todos los cálculos.

R_e : Reynolds, está en función del diámetro la velocidad y la viscosidad cinemática.

ν : Viscosidad Cinemática.

H_G : Pérdidas por fricción.

H_L : Pérdidas por accesorios.

4.1.2. Cálculos teóricos de los parámetros de una bomba en succión.

El fluido con el que se va a trabajar es el agua a temperatura ambiente lo cual tiene los siguientes parámetros, peso específico de $9.81 \frac{KN}{m^3}$, densidad $1000 \frac{Kg}{m^3}$, viscosidad cinemática de $1.02 \frac{m^2}{s}$, el fluido es transportado por medio de una bomba que tiene las siguientes especificaciones: altura máxima $40m$, caudal máximo $6,31E-4 \frac{m^3}{s}$. Y una potencia de $372,85 \frac{m^2Kg}{s^3}$ los diámetros de entrada y de salida de la bomba son de $32mm$.

La tubería es de PVC con un diámetro para la succión de $63mm$ este diámetro es mayor al indicado por la bomba debido a que debe tener la bomba una mejor aspiración del caudal y evitar la cavitación además que la velocidad es menor con este diámetro así se puede evitar moderadamente la formación de burbujas de aire debido a la turbulencia del fluido y un diámetro de $32mm$ indicado por la bomba para la descarga.

$\varnothing 63mm = 0,06m$ diámetro interno (Anexo 1)

$\varnothing 32mm = 0,0296m$ diámetro interno (Anexo 1)

El área de cada una de las tuberías es:

$$A_1 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Ecuación 4,1 Área de un cilindro

$$A_1 = \frac{\pi * (0,06m)^2}{4} = 2.827E - 3m^2$$

Por medio de la ecuación 2,5 la velocidad es:

$$V_1 = \frac{Q}{A}$$

$$V_1 = \frac{6.3E - 4 \frac{m^3}{s}}{2.827E - 3m^2} = 0.223 \frac{m}{s}$$

Para la obtención de Reynolds utilizamos la ecuación 2,7:

$$R_{e1} = \frac{vD}{\gamma}$$

$$R_{e1} = \frac{0.223 \frac{m}{s} * 0.06m}{1.02E - 6 \frac{m^2}{s}} = 13125$$

Para el cálculo de factor de fricción utilizamos la ecuación 2,15

$$f_1 = \frac{0.25}{[\log_{10}(\frac{1}{3.7(\frac{D}{\epsilon})} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}})]^2}$$

$$f_1 = 0.028$$

Utilizando las mismas fórmulas anteriores obtenemos los resultados con el diámetro interno de 0,0296m.

$$A_2 = 6.88E - 4m^2$$

$$V_2 = 0.9155 \frac{m}{s}$$

$$R_{e2} = 26552.94$$

$$f_2 = 0.024$$

Para el cálculo de pérdidas primarias y secundarias se utilizará las ecuaciones 2,13 y 2,16 el Coeficiente de resistencia de cada uno de los accesorios se obtiene del anexo 2.

En la siguiente tabla se puede observar las pérdidas de cada uno de los accesorios.

Tabla 4-1 Cálculo de pérdidas por accesorios y tubería

(Fuente: Realizada por el Autor de la Investigación)

CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS Y TUBERÍA							
ACCESORIOS	# de Accesorios	Le/D	L/D	F	K	$V^2/2g$	$HL=K*(V^2)/2g$
Accesorios 63mm.							
V. de Pie	1	75		0,028	2,12	0,0025	0,005
V.de Globo	1	340		0,028	9,62	0,0025	0,024
Te	1	60		0,028	1,70	0,0025	0,004
Codo de 90°	1	30		0,028	0,85	0,0025	0,002
Tubería			29,17	0,028	0,83	0,0025	0,002
Accesorios de 32mm.							
V. de esfera	2	340		0,024	8,06	0,0429	0,691
V. de Globo	1	8		0,024	0,19	0,0429	0,008
V. check	1	150		0,024	3,6	0,0429	0,154
Codo de 90°	2	30		0,024	0,71	0,0429	0,061
Codo de 45°	2	16		0,024	0,38	0,0429	0,033
Te	1	60		0,024	1,42	0,0429	0,061
Contracción Súbita					0,365	0,0429	0,016
Tubería			22,64	0,024	0,54	0,0429	0,023
						T. Accesorios	1,05m
						T. tubería	0.025m

Para encontrar la Energía que entrega la bomba planteamos la ecuación 2,12 de Bernoulli tomando las siguientes consideraciones:

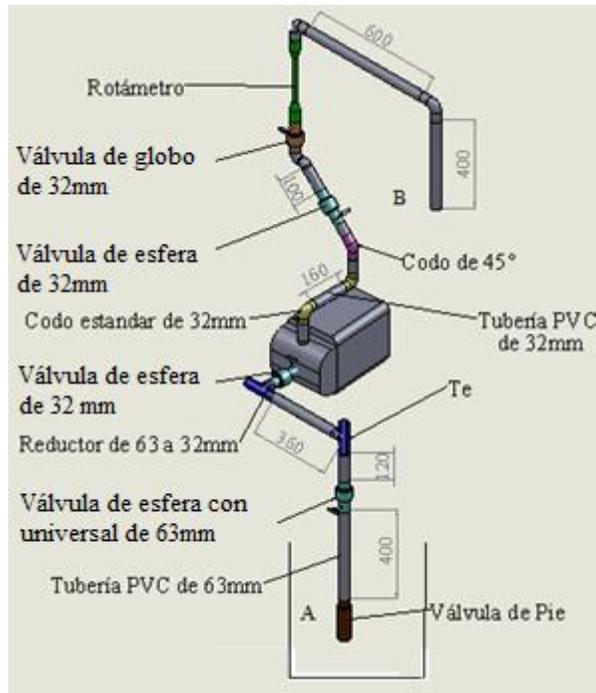


Figura 4.1. Diagrama de la tubería de estudio.

(Fuente: Dibujado por el Autor de la Investigación)

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A - H_G - H_L + H_B = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_b$$

1. Pérdidas de energía de la tubería y accesorios pese a ser menores.
2. La presión en el punto A es cero debido a que está expuesta a la atmosfera.
3. La velocidad en A es cero (ya que el fluido se encuentra en reposo).
4. Se toma el nivel de referencia en el punto A.
5. La velocidad en B es cero ya que el diámetro de la tubería el mismo que el diámetro de la tubería en el punto A.

$$H_B = \frac{P_B}{\gamma} + z_b + H_G + H_L$$

La presión de salida de la bomba la tomamos del catálogo con el caudal máximo que puede bombear y con la altura que puede llegar el mismo caudal.

$6,31E - 4 \frac{m^3}{seg}$ y $5m$ tenemos una presión de $34,45KPa$

$$H_B = \frac{34,45}{9,81} + 5 + 0,925$$

$$H_B = 9,51m$$

Para el cálculo de la Potencia Transmitida al Fluido utilizamos la siguiente ecuación.

$$P_A = H_B * \gamma * Q$$

Ecuación 4,2 Potencia transmitida al fluido.

$$P_A = 9,51 * 9,81 * 6,31E - 4$$

$$P_A = 0,0588 \text{ KW } \text{ ó } 58,8W$$

$$P_A = 0,0588 \text{ KW } \text{ ó } 58,8W$$

$$P_A = 0,0789HP$$

La eficiencia mecánica de la bomba se nota por la ecuación:

$$\eta = \frac{P_A}{P_I}$$

Ecuación 4,3 eficiencia de la bomba.

Donde

$\eta = \text{Eficiencia de la Bomba}$

$P_A = \text{Potencia Transmitida al Fluido}$

$P_I = \text{Potencia de Entrada a la Bomba}$

$$\eta = \frac{0,0789\text{HP}}{0,5\text{HP}} * 100$$

$$\eta = 15,78\%$$

El cálculo del $NPSH_A$ se la obtiene mediante la ecuación 2,1

El valor de la presión de vapor se obtiene de acuerdo a la temperatura que se encuentre el fluido. Observe el anexo 4.

El valor de h_s es negativo ya que se encuentra por debajo de la bomba

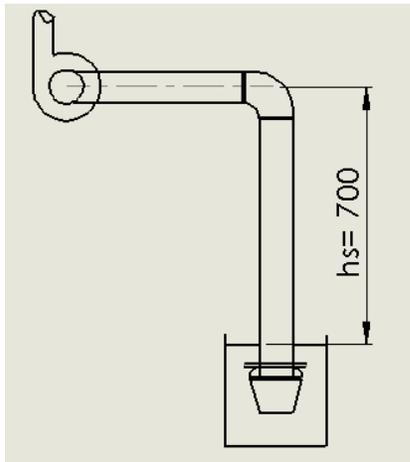


Figura 4.2. Esquema de la diferencia de elevación del fluido.

(Fuente: Dibujado por el Autor de la Investigación)

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

$$NPSH_A = 10,24 - 0,7 - 1,003 - 0,2388$$

$$NPSH_A = 8,29m$$

En la siguiente tabla se representan los resultados obtenidos con variación de caudal obtenidos

Tabla 4-2.Hoja de resultados del estudio de la bomba.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

HOJA DE ESTUDIO DE UNA BOMBA									
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Lugar: Laboratorio de Hidráulica				Nombre: EDISON RAMIREZ				Fecha:	
Temperatura del Agua	18°C								
Viscosidad Cinemática m^2/seg	1,02E-06			Semestre:				Paralelo:	
CONDICIÓN DE TRABAJO DE L BOMBA									
N°	Caudal (Q), $\frac{m^3}{s}$	Presión, [Kpa]		Altura [m]	Pérdida Total [m] H_T	Potencia para el sistema, [W]	Eficiencia [%]	Presión de vapor	$NPSH_A$
		P_E	P_S						
1	6,31E-04	0	34,45	5	0,925	58,38	15,65	0,2388	8,37
2	5,68E-04	0	68,9	10	0,774	99,1	26,58	0,2388	8,52
3	5,05E-04	0	96,46	14	0,655	121,24	32,51	0,2388	8,64
4	4,42E-04	0	179,14	18	0,539	159,48	42,77	0,2388	8,76
5	3,79E-04	0	234,26	24	0,429	179,51	48,14	0,2388	8,87
6	3,15E-04	0	248,04	25	0,321	156,29	41,92	0,2388	8,98
7	2,52E-04	0	275,6	28	0,212	139,12	37,31	0,2388	9,1
8	1,89E-04	0	316,94	32	0,121	119,39	32,02	0,2388	9,18
9	1,26E-04	0	344,5	35	0,0611	86,7	23,25	0,2388	9,24
10	6,31E-05	0	365,17	38	0,019	46,55	12,48	0,2388	9,28
11	6,31E-08	0	378,95	41	0	0,05	0	0,2388	9,30

4.1.3. Cálculos teóricos de los parámetros de una bomba en carga

Para estos cálculos se utilizará los resultados anteriores de velocidades, pérdidas, factores de fricción. la comparación de los resultados se notara en la diferencia de presiones y la potencia requerida en la bomba. Para este caso la ecuación de Bernoulli quede de la siguiente manera:

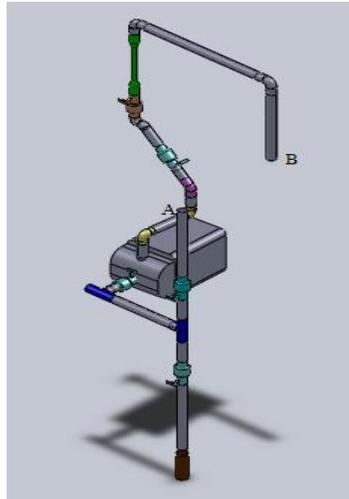


Figura 4.3. Diagrama de la tubería en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A - H_G - H_L + H_B = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_b$$

$$P_B - P_A = \gamma(H_B - H_T - (z_b - z_A))$$

$$H_B = \frac{P_A}{(\gamma * Q) * 1000}$$

$$P_A = \eta * P_i$$

El valor de la potencia de entrada a la bomba es de 0,5hp y con una eficiencia de 10% el valor de la eficiencia se va tomando según el catálogo de la bomba.

$$P_A = 0,1 * 0,5 \text{ hp}$$

$$P_A = 0,05 \text{ hp } \text{ ó } 37,28W$$

$$H_B = \frac{37,28}{(9,81 * 6,31E - 4) * 1000}$$

$$H_B = 6,02m$$

$$P_B - P_A = \gamma(H_B - H_T - (z_b - z_A))$$

$$P_B - P_A = 9,81(6,02 - 0,925 - (5 - 0,9))$$

$$P_B - P_A = 9,79KPa$$

Para el cálculo del NPSH el valor de h_s es positivo ya que se encuentra sobre la bomba.

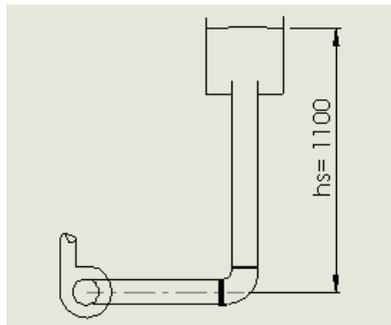


Figura 4.4. Esquema de la diferencia de elevación del fluido.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

$$NPSH_A = 10,24 - 0,7 - 1,003 - 0,2388$$

$$NPSH_A = 8,29m$$

A continuación se muestra una tabla con los resultados teóricos cuando la bomba esta en carga

Tabla 4.3.Hoja de resultados del estudio de la bomba en carga.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

hoja de estudio de la bomba								
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Lugar: Laboratorio de Hidráulica				Nombre: EDISON RAMIREZ			Fecha:	
Temperatura del Agua	18°C							
Viscosidad Cinemática m^2/seg	1,02E-06			Semestre:		Paralelo:		
CONDICION DE TRABAJO DE LA BOMBA		SUCCION						CARGA
N°	Caudal (Q), $\frac{m^3}{s}$	Altura[m]	Eficiencia [%]	Potencia Transmitida	Energía que entrega la bomba	Diferencia de Presiones	Presión de vapor [m]	$NPSH_A$
		$(z_B - z_A)$		$P_A [W]$	H_B			
1	6,31E-04	4,1	7	26,09	4,22	-7,93	0,2388	10,17
2	5,68E-04	9,1	25	93,21	16,7	67,2	0,2388	10,32
3	5,05E-04	13,1	36	134,22	27,1	131	0,2388	10,44
4	4,42E-04	17,1	39	145,41	33,5	156	0,2388	10,56
5	3,79E-04	23,1	41	152,86	41,1	173	0,2388	10,67
6	3,15E-04	24,1	37	137,95	44,6	198	0,2388	10,78
7	2,52E-04	27,1	34	126,76	51,3	235	0,2388	10,88
8	1,89E-04	31,1	29	108,12	58,3	266	0,2388	10,98
9	1,26E-04	34,1	21	78,29	63,3	286	0,2388	11,04
10	6,31E-05	37,1	11	41,01	66,3	286	0,2388	11,08
11	6,31E-08	40,1	0	0	0	-393	0,2388	11,34

4.2 Interpretación de datos

Con base en los valores establecidos en el numeral anterior (4.1 Análisis de resultados) se procede a realizar la gráfica de cada una de las bombas en forma teórica.

4.2.1 Gráficas con los resultados teóricos de las bombas en succión.

Para la obtención de las gráficas que se muestra a continuación se trabajó con la misma regulación de caudal.

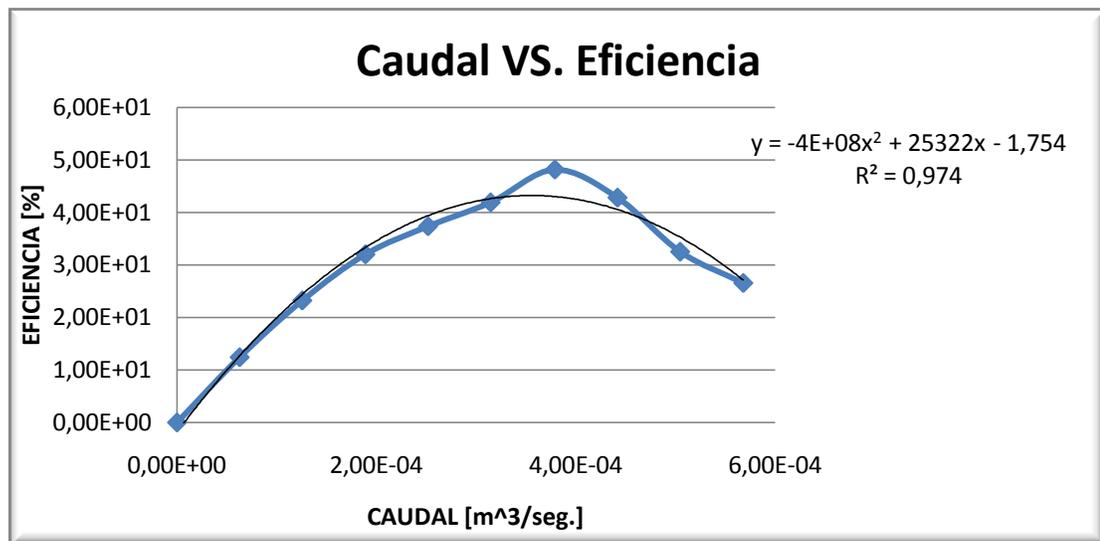


Figura 4.5. Caudal - Eficiencia de forma teórica la bomba en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la eficiencia en (Y) de la bomba tiene una tendencia creciente cuadrática con respecto al caudal (x) hasta un valor de $3,79E-4 \frac{m^3}{seg}$ con una eficiencia de 48,14% pasado este valor de caudal la tendencia de la curva es decreciente cuadrática. Las variables guardan una relación de determinación del 97,4%

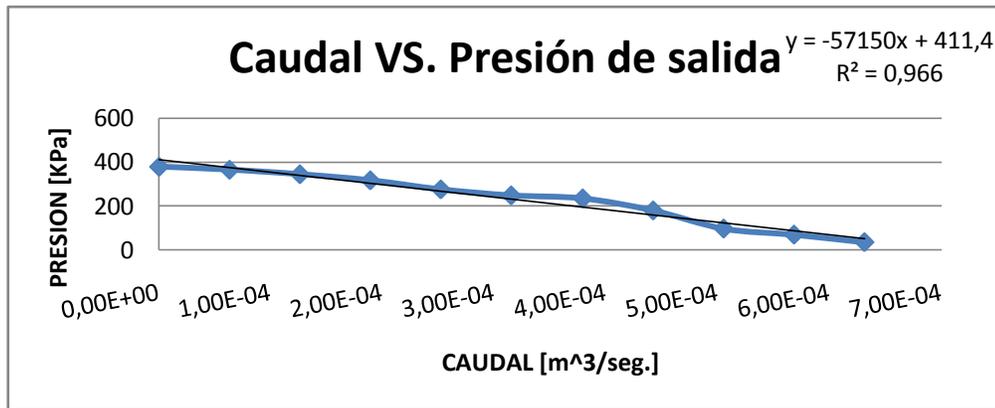


Figura 4.6. Caudal - Presión en forma teórica de la bomba en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la presión de la bomba en (Y) tiene una tendencia decreciente lineal con respecto al caudal (x). Las variables guardan una relación de determinación del 96,6%.

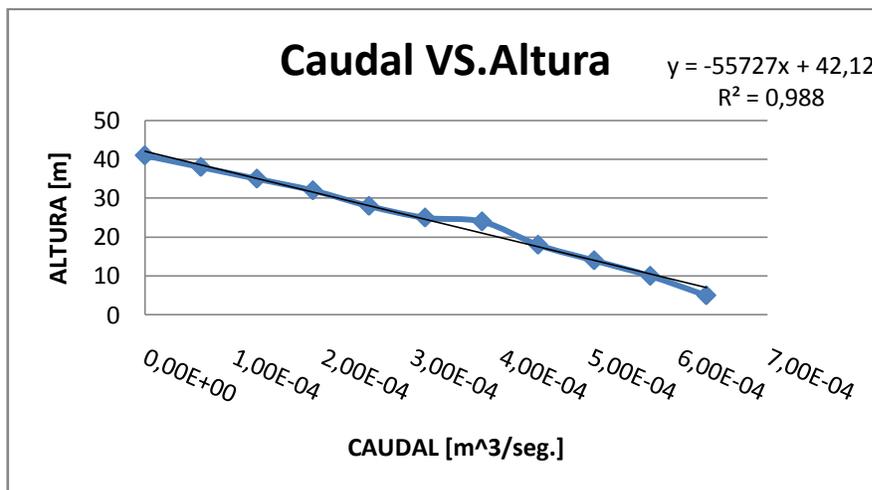


Figura 4.7. Caudal – Altura de la bomba en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la altura de la bomba en (y) tiene una tendencia decreciente lineal con respecto al caudal (x). Las variables guardan una relación de determinación del 98,8%.

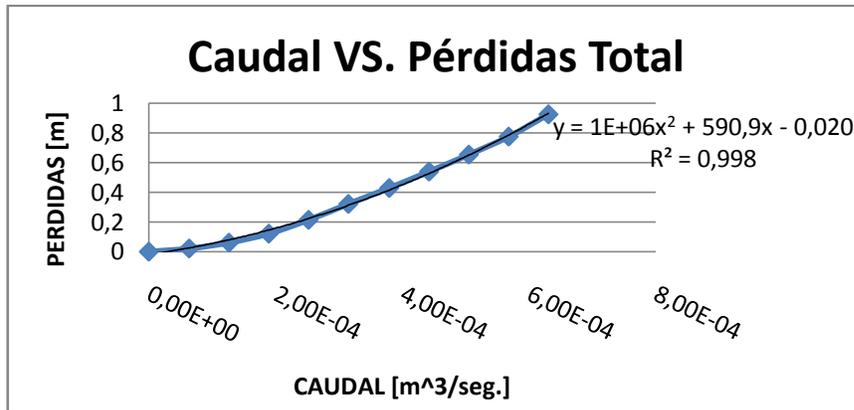


Figura 4.8. Caudal - Pérdidas de la bomba en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de las pérdidas totales de la bomba en (Y) tiene una tendencia creciente cuadrática con respecto al caudal (x). Las variables guardan una relación de determinación del 99.8%.

Esta curva es igual tanto para lo teórico como para lo experimental ya que se trabajó con el mismo sistema.

4.2.3 Gráficas con los resultados teóricos de las bombas en carga.

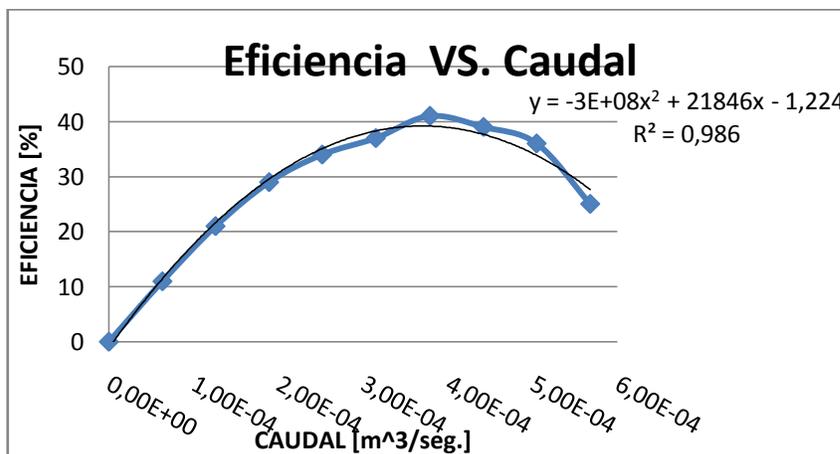


Figura 4.9. Caudal - Eficiencia de forma teórica de la bomba en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la eficiencia de forma experimental de la bomba en (y) tiene un tendencia creciente cuadrática hasta un valor de $3,79E-4 \frac{m^3}{seg}$ pasado este valor la tendencia de la curva es decreciente cuadrática. Las variables guardan una relación de determinación del 98,6%

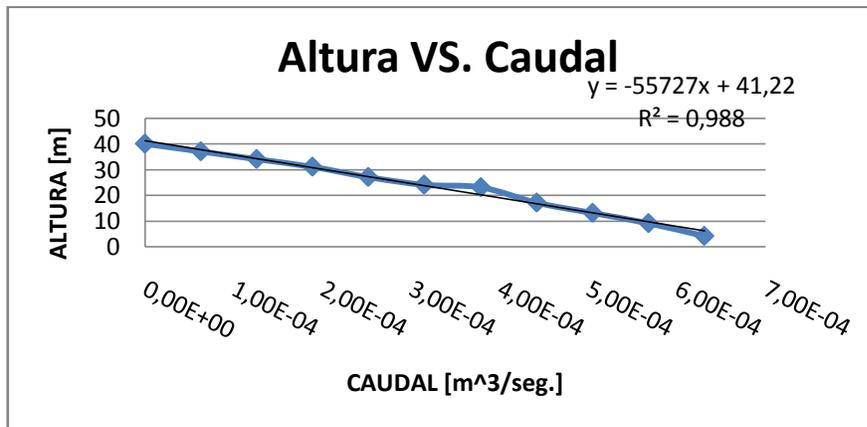


Figura 4.10. Caudal – Altura de la bomba en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la altura de la bomba en (y) tiene una tendencia decreciente lineal con respecto al caudal (x). Las variables guardan una relación de determinación del 98.8%.

4.3. Verificación de la hipótesis:

Hipótesis:

El estudio de Bombas Centrífugas de manera aplicada permitirá obtener los datos técnicos con variación de caudal de las mismas.

Comprobación:

Por medio del estudio realizado a las bombas centrifugas en forma teórica, se pudo determinar los parámetros de funcionamiento en las condiciones que éstas se encuentran trabajando, mediante la variación de la altura, todos los parámetros de

funcionamiento de las bombas varían como, el Caudal, Presión, Potencia requerida, Eficiencia, Reynolds y Pérdidas en el sistema. Estos cambios se notan porque se encuentran en función de la cantidad caudal que circula por el sistema. En el análisis e interpretación de los resultados de forma teórica se puede observar, que las gráficas son idénticas a las que proporcionan los catálogos.

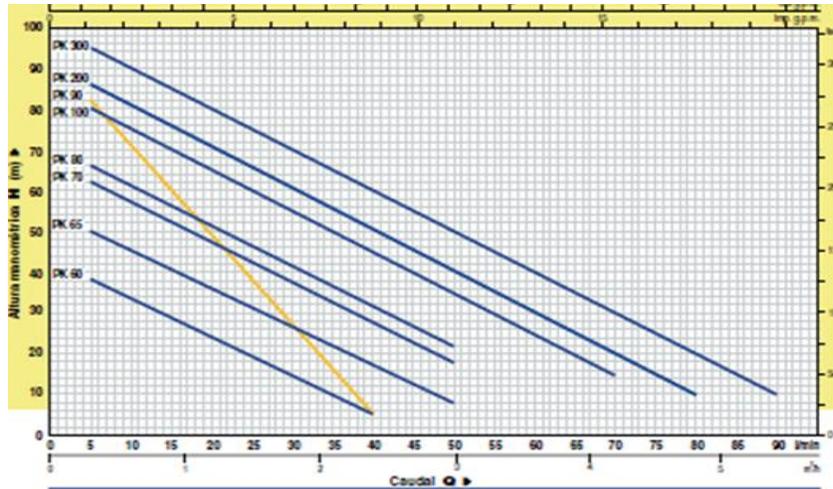


Figura 4.11. Caudal – Altura de la bomba.

(Fuente: Catálogo bombas pedrollo)

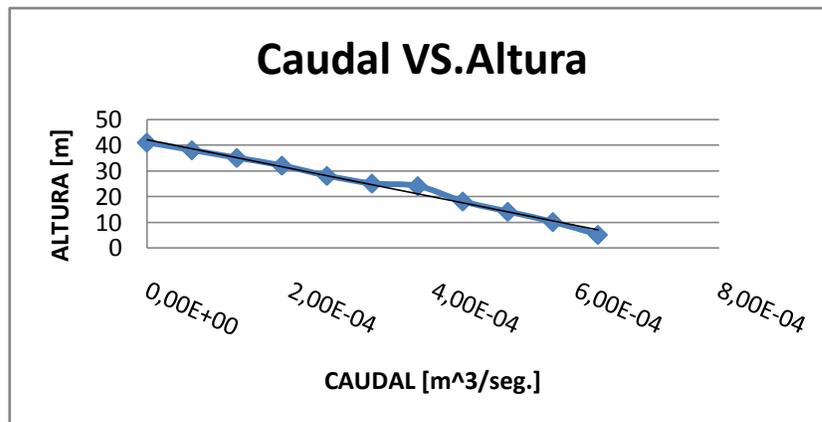


Figura 4.12. Caudal – Altura de la bomba.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

Los resultados que proporcionan los catálogos de cada una de las bombas son obtenidos en bancos experimentales con instrumentos altamente sofisticados para la lectura de datos.

Por medio de un sistema experimental aplicado en el laboratorio de Energías de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se podrá obtener, observar el funcionamiento, desempeño y condiciones de trabajo que se puede aplicar a cada una de las bombas que se encuentran en dicha aplicación. De las pruebas realizadas con las mismas condiciones de trabajo y con el mismo flujo aplicadas a las bombas Pedrollo, Paolo y Venecia, se determinó que las presiones, eficiencias y potencias requeridas son diferente a pesar que trabajan con la misma cantidad de flujo, dichos valores se puede observar en las tablas de resultados las cuales detalla cada uno de los parámetros de las bombas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones:

Estas conclusiones se basan en los resultados obtenidos en forma teórica del análisis e interpretación de los mismos, así como también del marco teórico en el cual se fundamenta dicha experimentación.

- De acuerdo al estudio de los parámetros y condiciones de trabajo de las bombas se podrá seleccionar correctamente una bomba centrífuga.
- Uno de los métodos más conocidos para la variación de caudal de las bombas es el estrangulamiento, mediante una válvula de globo situada en la tubería de descarga.
- Se obtuvo los resultados de los parámetros de funcionamiento de una bomba mediante la variación del caudal.
- Para cada resultado obtenido se determinó las pérdidas primarias y secundarias ya que estas están en función de la velocidad y está en función del caudal.
- En la determinación de la eficiencia de las bombas se puede observar que son más eficientes cuando trabajan en carga, esto se debe a que la línea de succión se encuentra sobre la bomba lo cual el esfuerzo es mínimo en el momento de succión
- El diámetro de la tubería de succión es recomendable que sea más grande que el indicado en la bomba ya que mejorará la aspiración y evitará la cavitación,

la longitud de la tubería de succión no tendrá que ser excesiva y reducir los accesorios para que las pérdidas secundarias sean mínimas.

- Para evitar el golpe de ariete en las bombas se debe cerrar lentamente la válvula de impulsión, así como escoger el diámetro de la tubería de impulsión grande, para que la velocidad del fluido en la tubería sea pequeña.
- En una bomba siempre hay pérdidas, por lo cual afecta a su eficiencia, siendo una de las más eficientes la bomba centrífuga.
- Las bombas más utilizadas son las centrífugas, por sus altas velocidades que puede alcanzar y porque son económicas.
- Se realizaron las curvas características de Presión, Eficiencia, Potencia requerida y Pérdidas en función del Caudal de cada una de las bombas tanto en carga como en succión.

5.2. Recomendaciones:

- Antes de encender las bombas estas deben ser previamente cebadas. Para que exista el correcto funcionamiento y no se produzca bolsas de aire y evite el golpe de ariete.
- Verificar que las válvulas tanto en la línea de succión como en la descarga se encuentren abiertas para evitar posibles daños de las bombas.
- Para la instalación de las bombas estas tienen que estar bien ancladas para que no tengan esfuerzos cuando el fluido circule.
- Evitar que no existan caídas de voltaje cuando la bomba este en funcionamiento así no se produce el golpe de ariete.
- Realizar periódicamente el mantenimiento de rodamientos de las bombas para un correcto funcionamiento y buena eficiencia.

- Verificar antes de usar la máquina que todos los instrumentos de medida estén encerrados.
- Seguir los pasos recomendados de la guía de funcionamiento del equipo.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1. Datos informativos:

La propuesta es el diseño y la construcción de un banco de pruebas de bombas centrífugas para la obtención de sus parámetros técnicos, el dispositivo experimental consta de dos recipientes de almacenamiento, El depósito contiene agua que inicialmente debe estar en reposo para evitar la introducción de turbulencia en el flujo, mediante la utilización de tres bombas centrífugas de las mismas características técnicas pero de diferente proveedor, el fluido será transportado por una tubería PVC, dicho fluido (agua) circula por medio de accesorios además el fluido ingresa a un dispositivo de medición de caudal el cual va a tener una variación por medio de una válvula reguladora. Los datos informativos del aparato son los siguientes:

Tabla 6-1 Datos generales de la propuesta.

(Fuente: Realizada por el Autor de la Investigación)

Ejecutor		Edison A. Ramírez P.
Descripción		Banco de pruebas para Bombas Centrífugas.
Lugar	Construcción	Taller particular
	Ensayos	Laboratorio de energía FICM
Beneficiarios		Estudiantes de la FICM
Tiempo de ejecución		(Julio - Mayo)2012
Costo		\$ 1247,7

- El dispositivo experimental se ha diseñado para efectuar los ensayos de bombas centrífugas.
- El dispositivo experimental permite el estudio de comportamiento de una bomba en carga y aspiración.
- Proporciona datos para graficar curvas de cada una de las bombas.
- Admite visualizar y reconocer instrumentos y accesorios instalados en el mismo.

A continuación mediante un esquema se enumeran los componentes del banco de pruebas:

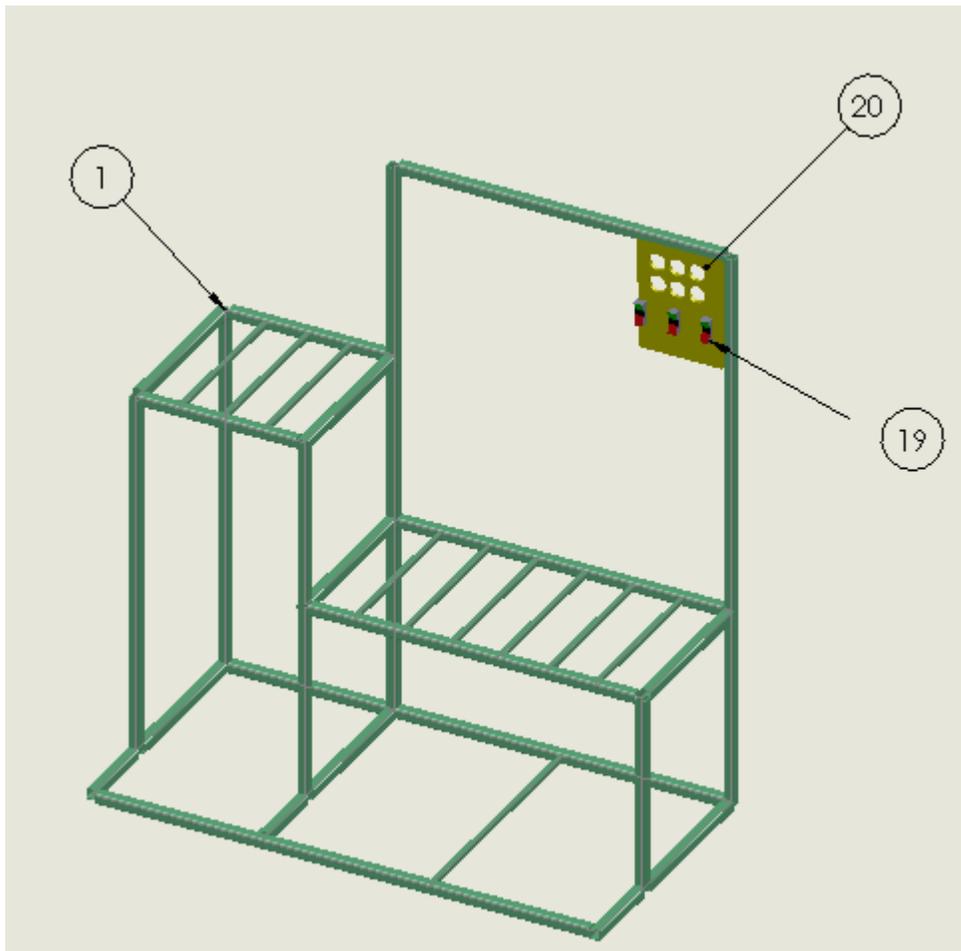


Figura 6.1 Estructura del banco experimental para bombas centrífugas.

(Fuente: dibujado por el autor de la investigación)

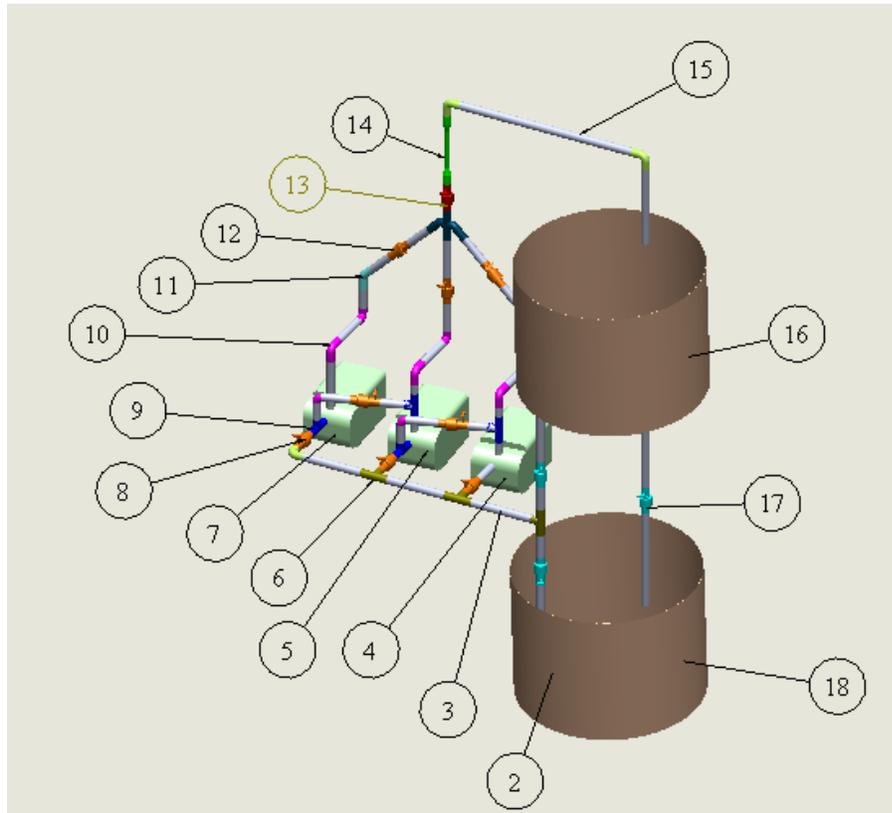


Figura 6.2 Sistema de tubería del banco experimental para bombas centrífugas

(Fuente: dibujado por el autor de la investigación)

- 1.- Estructura base (ASTM A 500 grado B); soporta todo el peso del banco.
- 2.- Válvula de pie; permite la retención del fluido en la tubería de succión.
- 3.- Tubería de succión (PVC); diámetro comercial 63mm.
- 4.- Bomba centrífuga Paolo (0.5 Hp)
- 5.- Bomba centrífuga Venecia (0.5 Hp)
- 6.- Te 63mm (PVC)
- 7.- Bomba centrífuga Pedrollo (0.5 Hp)
- 8.- Junta Universal (PVC).

- 9.- Te 32mm (PVC)
- 10.- Codo 90° (PVC)
- 11.- Codo 45° (PVC)
- 12.- Válvulas de esfera; permiten el cierre o paso del caudal.
- 13.- Válvula de globo; permite la regulación de caudal.
- 14.- Rotámetro; dispositivo de medición de caudal.
- 15.-Tubería de descarga (PVC)
- 16.- Tanque o depósito de alimentación.
- 17.- Válvula de esfera de 63mm (PVC)
- 18.- Tanque o depósito de succión.
- 19.- Pulsador on/of; paso de energía para el encendido de las bombas.
- 20.- Manómetros de presión.

6.2 Antecedentes de la propuesta

En facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la universidad técnica de Ambato en los laboratorios de Sistemas hidráulicos existe un banco de prueba de una bomba el cual se encuentra en condiciones no aptas para que los estudiantes realicen prácticas.

El manejo de instrumentos es fundamental y de uso normal en los procesos dentro de la industria, es por esto que el estudiante debe manipular, reconocerlos y familiarizarse con dichos instrumentos.

6.3. Justificación:

Uno de los motivos fundamentales que se propone el diseño y la construcción de un banco de pruebas para bombas centrífugas, es para observar el comportamiento de cada una de ellas, como también conocer los instrumentos de medición y control para saber su funcionamiento, rangos de aplicación, forma de instalación y además parámetros que nos dan una idea de la importancia de la instrumentación industrial dentro de la formación profesional, saber las posibles fallas que estas pueden llegar a tener y por ende la deficiencia en el área donde estas estén operando.

Con la aplicación de esta propuesta los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica podrán realizar ensayos experimentales en las materias del área de energía como lo son: Sistemas Hidráulicos I, Sistemas Hidráulicos II, lo cual ayudará a reforzar y tener un mejor entendimiento de los conocimientos teóricos adquiridos, así como también poder comparar los valores teóricos con los experimentales

6.4. Objetivos:

6.4.1. Objetivo general:

Implementar un banco de pruebas para bombas centrífugas en el laboratorio de Energías de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

6.4.2. Objetivos específicos:

- Construir un banco de pruebas para bomba centrífugas para los laboratorios de energías de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- Conocer las propiedades del fluido (agua) el cual va hacer bombeado.
- Calcular las pérdidas primarias y secundarias del sistema a realizar.
- Calcular la eficiencia de cada una de las bombas con la variación de caudal.

- Realizar las curvas características de Presión, Eficiencia, Potencia Requerida y Pérdidas totales de cada una de las bombas.

6.5. Análisis de factibilidad

6.5.1. Análisis técnico:

En lo que concierne al estudio de factibilidad desde el punto de vista técnico, se puede decir que es fundamental tener los conocimientos básicos de metalmecánica así como de contar con un taller metal mecánico adecuado, que conste con las siguientes herramientas y equipos: taladro, cortadora eléctrica, soldadora eléctrica, entenallas, así como herramientas manuales básicas como: instrumentos de medición, tarrajas, llaves, limas, arco de sierra, es necesario alquilar estos equipos y maquinarias ya que los talleres de la facultad no cuentan con todos estos aparatos mecánicos.

Para el diseño del banco de pruebas es fundamental la aplicación de conocimientos de: mecánica de fluidos, diseño de elementos mecánicos, procesos de manufactura.

Las pruebas de funcionamiento y toma de datos serán realizadas en el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

6.5.2. Análisis de costos

Para la construcción del banco experimental se presentara toda la información de los costos de: maquinaria, mano de obra y materiales.

6.5.2.1. Costos directos (CD):

- **Costos de materiales (CTM):**

Los costos de los materiales a utilizar en la construcción del banco de pruebas para bobas centrífugas se los detalla en la siguiente tabla:

Tabla 6-2. Costos de materiales mecánicos (CM)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

COSTOS DE MATERIALES MECANICOS (CM)					
CANTIDAD	DESCRIPCION	DIMENCIONES	PESO (Kg)	COSTO UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
1	Bomba Centrífuga Pedrollo PK 60	(247*148)mm	7,8	55	55
1	Bomba Centrífuga Venecia	(360*150)mm	10	60	60
1	Bomba Centrífuga Paolo PKm60	(250*150)mm	8	50	50
3	Tubo Cuadrado.	3/4 * !/16 pulg		6	18
2	Electrodos 6011		0,5	3	6
12	Pernos	M8 x 1,25mm x 15mm		0,15	1,8
12	Tuercas	M8 x 1,25mm x 15mm		0,1	1,2
TOTAL (\$)					192

Tabla 6-3. Costos de materiales para la instalación hidráulica (CMI)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

COSTOS DE MATERIALES PARA LA INSTALACION HIDRÁULICA (CMI)			
CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
1	Rotámetro	200	200
4	Tubo (PVC) 32mm	7	28
4	TEE 1 32mm	4	16
6	Universal 32mm	2	12
2	Codo 45° 32mm	2	4
5	Codo90° 63mm	2	10
2	TEE 63mm	2	4
1	Válvula de pie 63mm	5	5
6	Válvula de esfera 32mm	9	54
1	Válvula esfera 63mm	10	10

1	Válvula de globo 32mm	25	25
3	Conectores Tanque - Tubo 63mm	2	6
2	Teflón	0,5	1
2	Masilla para (PVC)	4	8
TOTAL (\$)			383

Tabla 6-4. Costos de Materiales Varios (CMV)

(Fuente: Realizada por el Autor de la Investigación)

COSTO DE MATERIALES VARIOS (CMV)			
CANTIDA D	DESCIPCION	PRECIO UNITARIO \$	PRECIO TOTAL (\$)
4	Espray de pintura antioxidante	3,5	14
3	Pliego de lija de agua # 120	0,5	1,5
1	Tiner	1,8	1,8
1	Masilla para fallas	2	2
TOTAL (\$)			19,3

Para la obtención de los costos directos sumamos todos los subtotales:

$$CD = CM + CMI + CMV$$

Ecuación 6.1. Costos directos.

Tabla 6.5. Costos directos:

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

COSTOS DIRECTOS	
DESCRIPCION	VALOR (\$)
CM	192
CMI	383
CMV	19,3
TOTAL (\$)	594,3

6.5.2.2. Costos indirectos (CI):

➤ Costos de maquinaria utilizada (CMU):

Los costos que giran por la utilización de maquinas y herramientas se la detalla en la siguiente tabla, estos valores están basados por la hora de ocupación de cada una de ellas.

Tabla 6-6. Costos de utilización de la maquinaria.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

COSTOS DE LA UTILIZACION DE LA MAQUINARIA (CMU)			
MAQUINA	TIEMPO DE UTILIZACION (h)	COSTO/HORA (\$)	COSTO TOTAL (\$\$)
Suelda Eléctrica	6	4	24
Cortadora Eléctrica	2	3	6
Taladro	1	3	3
Esmeril	1	3	3
Compresor	2	4	8
Herramientas			40
TOTAL (\$)			84

➤ Costos de mano de obra (CMO):

Para la construcción del banco de pruebas para bombas centrífugas es necesario la ayuda de un Técnico, maestro y un oficial, los cuales laboran 5 días a la semana durante 8 horas diarias.

El tiempo en el cual se estima que el banco experimental estará culminado es de 20 días.

Tabla 6-7. Costos de la mano de obra.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

COSTOS DE MANO DE OBRA (CMO)				
DESCRIPCION	COSTO HORA (\$)	COSTO DIARIO (\$)	TIEMPO CONSTRUCCION (días)	SALARIO OBRA
TÉCNICO	2	16	6	96
MAESTRO	1,5	12	18	216
OFICIAL	1	8	18	144
TOTAL (\$)				456

Para la obtención del valor de los costos indirectos sumamos los subtotales.

$$CI = CMU + CMO$$

Ecuación 6.2. Costos indirectos.

Tabla 6-8. Costos indirectos.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

COSTOS INDIRECTOS	
DESCRIPCION	VALOR (\$)
CMU	84
CMO	456
TOTAL (\$)	540

6.5.2.3. Costo total (CT) del banco experimental para bombas centrífugas:

Para obtener el valor total del banco experimental sumamos los costos directos y los indirectos obtenidos anteriormente:

$$CT = CD + CI$$

Ecuación 6.3. Costo total.

Tabla 6-9. Costo total del banco experimental.
(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

COSTO TOTAL	
DESCRIPCION	VALOR (\$)
CD	594,3
CI	540
TOTAL (\$)	1134,3

Previo al valor obtenido le aumentamos el 10% del valor total para imprevistos que pueden ocurrir mediante la elaboración.

Tabla 6-10. Costo total del banco experimental.
(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

COSTO TOTAL	
DESCRIPCION	VALOR (\$)
TOTAL	1134,3
10%	113,43
TOTAL (\$)	1247,7

El costo total es relativamente considerable tomando en cuenta las prácticas que puedan realizar los estudiantes con el equipo experimental.

6.6. Fundamentación:

6.6.1. Diseño del sistema de fluido.

El diseño de un sistema de fluido es de gran importancia dentro de la operación exitosa de una bomba centrífuga. Cada uno de los elementos como: Tanque de alimentación y descarga, Tubería de succión, descarga, y soportes deben considerarse con cuidado.

El diámetro de la tubería de succión nunca deberá ser menor que el diámetro de succión que tiene ya especificado la bomba, en la mayoría de los casos debería ser al menos un tamaño mayor, así mismo la tubería de succión deberá ser tan cortas como sea posible para una mejor aspiración y evitar que exista cavitación.

Selección de las bombas

Para una correcta selección de una bomba para el sistema se puede seleccionar de acuerdo a la altura neta, caudal requerido, presión, así como las pérdidas primarias y secundarias que producen en la tubería y accesorios.

Mediante la fig. 6.1 y 6.2 la altura total del banco es de 2,50 m, dicha altura es a la cual las bombas seleccionadas van a tener que funcionar correctamente, otro de los parámetros para la selección es el caudal que se requiere que exista al final de la tubería en este caso el caudal requerido es de 9 GPM.

Mediante estos parámetros y observando en el anexo 5, las curvas de cada una de las bombas Pedrollo; la curva del modelo PKm. 60 monofásica es la ideal para este sistema.

En la siguiente tabla se puede observar las características de de la bomba.

Tabla 6-11 Características de la bomba centrífuga PK60

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

PUMP PKm 60			
Q	5 / 40 lpm	H	38 / 5 m
Hmax	40 m	Hmin	5 m
V 110		Hz 60	3450 min-1
Kw 0.37	Hp 0.5	5,5 A	550Wmax
Kg	7.8	C	25µF

En el anexo 6 se tiene las curvas de las bombas centrífugas Venecia, la curva del modelo QB 60, cumple con los parámetros requeridos.

Tabla 6-12 características de la bomba centrífuga QB 60

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

PUMP QB 60			
Q	5 / 32	lpm	H 33 / 4 m
Hmax	35	m	Q. max 30 l. / min
V 110		Hz 60	3400 min-1
Kw 0.37	Hp 0.5	0,5 A	550Wmax
Kg	7	C	20 μ F

En el anexo 5 se tiene las curvas de las bombas centrífugas Paolo, la curva del modelo PKm 60, apta para los parámetros establecidos.

Tabla 6-13 características de la bomba centrífuga PKm 60

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

PUMP PKm 60			
Q	5 / 40	lpm	H 38 / 5 m
Hmax	40	m	Q.max 4 l. / min
V 110		Hz 60	3450 min-1
Kw 0.37	Hp 0.5	0,5 A	550Wmax
Kg	8	C	25 μ F

Selección de la tubería y accesorios.

La selección del diámetro de la tubería de succión y descarga para el banco experimental en general se lo va hacer según el diámetro especificado en cada una de las bombas tanto en la succión como en la descarga, Hemos seleccionado la tubería PVC ya que tiene ventajas mecánicas muy satisfactorias.

Ventajas de la tubería PVC.

- Con certificado de conformidad con sello INEN.
- Amplia gama de diámetros y presiones.

- No se produce corrosión galvánica y/o electrolítica, ni la formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores, conservando inalterable su sección hidráulica.
- Por la inercia química del compuesto de PVC y sus aditivos resisten al ataque de aguas y suelos agresivos y aplicación de fertilizantes.
- No favorecen la adherencia de algas, hongos, moluscos, etc.
- Trabajan a grandes presiones y con períodos de vida útil prolongados.
- Su módulo de elasticidad le permite una alta resistencia a las sobrepresiones hidrostáticas por golpe de ariete y a los esfuerzos producidos por cargas externas del material de relleno, de tráfico y sísmicas.
- Su bajo coeficiente de fricción con respecto a otros materiales, asegura una mayor capacidad de conducción.
- Su bajo peso facilita el transporte, manipuleo e instalación.
- Resisten asentamientos diferenciales y permiten deflexiones.

Selección de accesorios

Para formar la red de circulación del fluido es necesario la colocación de algunos accesorios los cuales facilitan y ayudan a dar la forma a la cual el diseñador desea obtener.

A continuación se detallará cada uno de los accesorios así como se definirá cual es la función que cumple en el banco de pruebas.

Válvula de pie.- Es colocada al extremo inferior del tubo de succión de las bombas, la función que desempeña este accesorio es dar el paso al fluido cuando la bomba está en funcionamiento, pero cuando esta deja de funcionar esta válvula se cierra a fin de

impedir que el fluido (agua) retorne al tanque de succión, así permitiendo que la bomba permanezca cebada para cuando se la encienda nuevamente.

Válvula de retención (check).- Es de gran utilización, evita el flujo invertido de la circulación. La circulación del fluido deseado abre la válvula y cuando el fluido se invierte la válvula se cierra.

Válvula de globo.- Son de cierre rápido se las utiliza para obstaculizar o dar paso al fluido.

Válvula de diafragma.- Se la coloca poco antes del final de la tubería de salida, tiene una fina regulación del caudal permitiendo el paso de la cantidad de fluido que el operario desea.

Junta universal.- Es colocada a la entrada y salida de la bomba, la principal función de esta es que facilita el desmontaje de la bomba cuando esta tenga que cambiarse, evita que el operario tenga que desarmar toda la red de circulación.

Codo de 90°, 45°.- Son utilizados para el cambio de dirección de la tubería se los coloca en cualquier parte de la red de circulación.

Rotámetro

Un rotámetro es un medidor de caudal en tuberías de área variable, de caída de presión constante.

Funcionamiento del rotámetro

El rotámetro consiste de un flotador (indicador) que se mueve libremente dentro de un tubo vertical ligeramente cónico, con el extremo angosto hacia abajo. El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo sea tal, que la caída de presión de este estrechamiento sea lo suficiente para equilibrar el peso del flotador. El tubo es de vidrio (para presiones

bajas; y de metal para presiones altas) y lleva grabado una escala lineal, sobre la cual la posición del flotador indica el gasto o caudal.

6.6.2. Diseño del tanque de alimentación y descarga

Existen algunas consideraciones en el dimensionamiento del tanque de alimentación y descarga. Es imperioso que se limite la cantidad de turbulencia y de aire transportado.

El aire transportado puede causar reducción de capacidad y eficiencia como también vibración, ruido, rotura del eje de la bomba, pérdidas primarias y corrosión acelerada.

Para determinar el volumen del tanque tomamos el caudal máximo de las bombas.

$$Q_{max} = 40 \text{ lpm}$$

A este caudal le aumentamos 35lt para reserva.

$$Q_{total} = 105 \text{ lt}$$

Calculamos el volumen y tenemos

$$V = 0.105m^3$$

Para el dimensionamiento de los tanques calculamos el área de un cilindro.

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

Donde:

$A = \text{Área del cilindro}$

$D = \text{Diámetro interno del cilindro}$

Con un diámetro de 0.42m entonces el área es:

$$A = 0.159m^2$$

Con el área encontramos el volumen del cilindro.

$$V = (A * h)m^3$$

Donde:

$$h = \text{altura del cilindro} . \quad 0.67m$$

$$V = 0.106m^3$$

Como podemos observar en el volumen del cilindro puede caber el volumen del caudal requerido para las bombas, con esto las dimensiones del tanque de succión y descarga son:

$$h = 0.67m$$

$$D = 0.42m$$

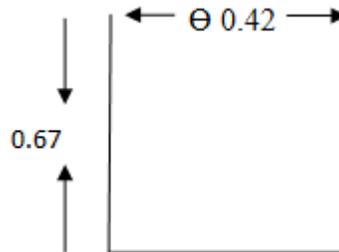


Figura 6.3 Dimensionamiento del tanque.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

Cálculo de la presión en el fondo del tanque.

La presión existente en el fondo del tanque es igual a la presión del fluido más la presión atmosférica.

Para el cálculo de la presión del fluido en el fondo de tanque aplicamos el principio de pascal.

$$P_{fluido} = \gamma * h$$

Donde:

γ : *Peso Especifico del agua a 20°C = 9.79KN/m³*

h : *altura del tanque*

El valor del peso específico se tomo de la tabla de las propiedades del agua anexo 7.

$$P_{fluido} = 6.55KPa$$

Con el valor de la presión del fluido más la presión Atmosférica obtenemos la presión total del tanque. La presión atmosférica en la ciudad de Ambato es de 1031.8Pa.

$$P_{tanque} = P_{fluido} + P_{Atmosferica}$$

$$P_{tanque} = 7591.1Pa$$

6.6.3. Cálculo de pérdidas primarias y secundarias.

A pesar que las pérdidas por fricción van a ser mínimas por la longitud que no es muy larga además que el material de la tubería es liza se calculara.

Para este cálculo hemos dividido en tres secciones al banco de pruebas cada una de estas corresponde a la red de circulación del fluido, estas secciones contienen las medidas que conforma en banco experimental.

En la figura 6.5 se representa la primera sección con las medidas correspondientes.

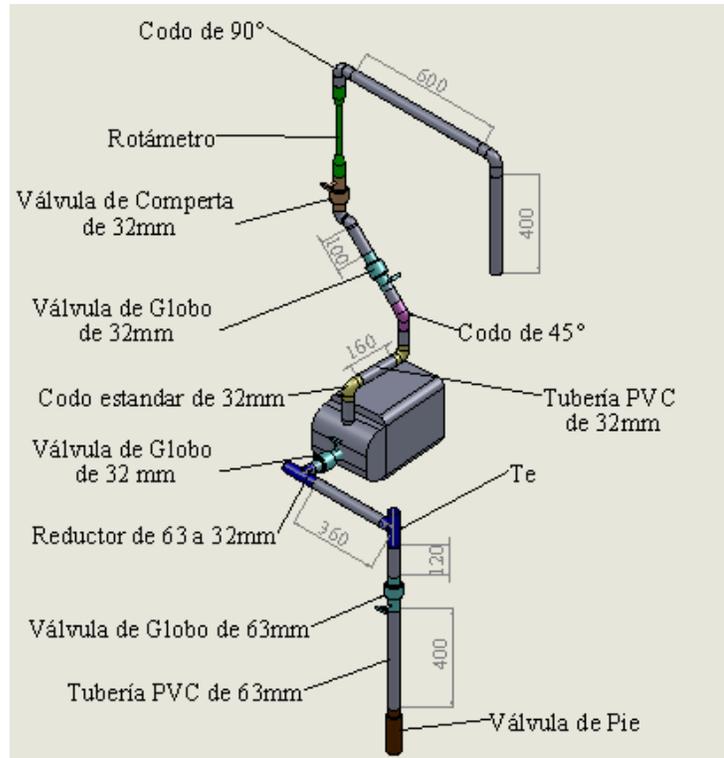


Figura 6.4 Red primaria de circulación del fluido.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

Cálculo por fricción.

Mediante la figura 6.5 podemos observar la distancia de la tubería, así como el material del cual está constituido.

Mediante la ecuación 2.12 de Darcy Weisbach.

$$HG = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$H_G = \text{Pérdidas por fricción}$

$f = \text{Factor de Fricción}$

$L = \text{Longitud de la Tubería}$

$D = \text{Diámetro de la tubería}$

$V = \text{Velocidad del Flujo}$

$g = \text{Gravedad}$

El caudal con el que se va a trabajar lo obtenemos de la placa de la bomba el cual es:

$$Q = 6.31E-4 \frac{m^3}{s}$$

El diámetro nominal de la tubería es de 32mm. y 63mm en tubería de PVC lo que es proporcional a 1 y 2 plg.

El fluido es agua a temperatura ambiente.

Con estos valores podemos obtener la velocidad a la cual el fluido está siendo transportado mediante la ecuación 2.4

$$Q = Av$$

Donde:

$Q = \text{Caudal } (m^3 / s)$

$V = \text{Velocidad promedio del flujo } (m / s)$

$A = \text{Área transversal de la sección } (m^2)$

El área de la tubería la obtenemos con la ecuación.

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

Ecuación 6.1. Área de un cilindro

El diámetro nominal de la tubería es de 32mm con este valor tomamos de tablas el diámetro interno.

$$D_{int} = 29.6 \text{ mm}$$

$$A = \frac{\pi * (0.0296\text{m})^2}{4}$$

$$A = 6.88E - 4\text{m}^2$$

Reemplazando en la ecuación del caudal tenemos.

$$V_1 = \frac{Q}{A}$$

$$V_1 = \frac{6.3E - 4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{6.8E - 4\text{m}^2}$$

$$V_1 = 0.9155 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con la velocidad podemos calcular el número de Reynolds mediante la ecuación 2.6.

$$R_e = \frac{vD}{\gamma}$$

Donde:

$\gamma = \text{Viscosidad Cinematica}$

El valor de la viscosidad Cinemática optemos de la tala del anexo 7 propiedades del agua

$$v_s = 1.02E - 6 \frac{m^2}{s}$$

$$R_e = \frac{0.9155 \frac{m}{s} * 0.0296m}{1.02E - 6 \frac{m^2}{s}}$$

$$R_e = 26552.94$$

El cálculo del factor por fricción lo realizaremos median te la ecuación de Ecuación 2.14 de P. k. Swamee y S. K. Jain

$$f = \frac{0.25}{[\log_{10}(\frac{1}{3.7(\frac{D}{\epsilon})} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}})]^2}$$

Donde:

$\epsilon =$ *Rugosidad de Conducto*

Este valor lo obtenemos del anexo 8, de la tabla de rugosidad de conducto para Diseño

$$\epsilon = 3.0E - 7m$$

Reemplazando estos valores en la ecuación de P. k. Swamee y S. K. Jain tenemos.

$$f = 0.024$$

Realizamos de igual forma para el cálculo de la velocidad, Reynolds y e factor de fricción con el diámetro nominal de 63mm

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

El diámetro nominal de la tubería es de 63mm con este valor tomamos de tablas el diámetro interno.

$$D_{int} = 60 \text{ mm}$$

$$A = \frac{\pi * (0.06m)^2}{4}$$

$$A = 2.827E - 3m^2$$

Entonces la velocidad es:

$$V_2 = \frac{Q}{A}$$

$$V_2 = \frac{6.3E - 4 \frac{m^3}{s}}{2.827E - 3m^2}$$

$$V_2 = 0.223 \frac{m}{s}$$

Donde:

$$R_{e2} = \frac{vD}{\nu}$$

$$R_{e2} = \frac{0.223 \frac{m}{s} * 0.06m}{1.02E - 6 \frac{m^2}{s}}$$

$$R_{e2} = 13125$$

$$f_2 = \frac{0.25}{[\log_{10}(\frac{1}{3.7(\frac{D}{\epsilon})} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}})]^2}$$

$$f_2 = 0.028$$

Para el cálculo de pérdidas en la tubería se utiliza la ecuación 2,12:

$$HG = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

H_G = Pérdidas por fricción

f = Factor de Fricción

L = Longitud de la Tubería

D = Diámetro de la tubería

V = Velocidad del Flujo

g = Gravedad

Para pérdidas por accesorios se utiliza la ecuación 2.15 y 2.16:

$$h_L = K * \frac{V^2}{2g}$$

$$K = f_T * \frac{L_e}{D}$$

Donde:

K : Coeficiente de resistencia

L_e/D = Longitud equivalente en diámetros de conducto (adimensional) este valor se

toma de tablas

$V =$ Velocidad promedio del flujo $\left(m/s \text{ o } \textit{pies}/s\right)$.

$f_T =$ Factor de fricción (adimensional).

El número de accesorios y la longitud de la tubería se puede observar en la figura 6.5

Las pérdidas por fricción y pérdidas en tubería se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 6-14 Cálculo de pérdidas por accesorios y tubería

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS Y TUBERÍA							
ACCESORIOS	# de Accesorios	Le/D	L/D	F	K	$V^2/2g$	$HL=K*(V^2)/2g$
Accesorios 63mm							
V. de pie	1	75		0,028	2,12	0,0025	0,005
V.de esfera	1	350		0,028	9,62	0,0025	0,024
Te	1	60		0,028	1,70	0,0025	0,004
Codo de 90°	1	30		0,028	0,85	0,0025	0,002
Tubería			29,17	0,028	0,83	0,0025	0,002
Accesorios de 32mm							
V. de esfera	2	350		0,024	8,06	0,0429	0,691
V. de globo	1	340		0,024	0,19	0,0429	0,008
V. check	1	150		0,024	3,6	0,0429	0,154
Codo de 90°	2	30		0,024	0,71	0,0429	0,061
Codo de 45°	2	16		0,024	0,38	0,0429	0,033
Te	1	60		0,024	1,42	0,0429	0,061
Contracción Súbita					0,365	0,0429	0,016
Tubería			22,64	0,024	0,54	0,0429	0,023
						T. Accesorios	0.106
						T. tubería	0.025
						TOTAL	1.085

Energía que entrega la bomba

Para encontrar la Energía que entrega la bomba planteamos la ecuación de Bernoulli en la figura 6.5 entre el punto A y B, tomando las siguientes consideraciones:

- 1.- Pérdidas de energía de la tubería y accesorios pese a ser menores.
- 2.- La presión en el punto A es cero debido a que está expuesta a la atmosfera.
- 3.- La presión en B es cero ya que es una corriente libre de fluido expuesta a la atmósfera.
- 4.- La velocidad en A es cero (ya que el fluido se encuentra en reposo).
- 5.- Se toma el nivel de referencia en el punto A.
- 6.-La velocidad en B es cero ya que el diámetro de la tubería el mismo que el diámetro de la tubería en el punto A.

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A - H_G - H_L + H_B = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + z_b$$

Ecuación de Bernoulli 2.11.

Donde:

P_A = Presión en el punto A.

P_B = Presión en el punto B.

V_A = Velocidad en el punto A.

V_B = Velocidad en el punto A.

z_A = Nivel del punto A.

z_B = Nivel del punto B.

H_G = Pérdidas por Fricción.

H_L = Pérdidas por Accesorios.

H_B = Energía que entrega la bomba

γ = Peso específico del fluido.

g = Gravedad.

Con las consideraciones tomadas la ecuación se reduce a:

$$H_B = z_b + H_{T1}$$

$$H_B = 2.5m + 1.085$$

$$H_B = 3.58m$$

Eficiencia de la bomba (η)

Mediante la ecuación:

$$\eta = \frac{P_A}{P_I}$$

Ecuación 6.2. Eficiencia de la bomba

Donde

η = *Eficiencia de la Bomba*

P_A = *Potencia Transmitida al Fluido*

P_I = *Potencia de Entrada a la Bomba*

Para el cálculo de la Potencia Transmitida al Fluido utilizamos la siguiente ecuación.

$$P_A = H_B * \gamma * Q$$

Ecuación 6.3. Potencia transmitida al fluido

$$P_A = 3.43m * 9.8KN/m^3 * 6.3E - 4 \frac{m^3}{s}$$

$$P_A = 21.2w$$

Este valor es la potencia que necesita la bomba para elevar el fluido a dicha altura, como 1Hp es igual a 745.7 W, pero como las bombas que se utilizaremos son de 0.5hp entonces tenemos 372.85W:

$$372.85 - 21.2 = 351.65W$$

Donde la eficiencia de la bomba en el sistema es:

$$\eta = \frac{351.65}{372.85}$$

$$\eta = 0.94$$

$\eta = 0.94$ entonces la eficiencia de la bomba en el sistema es 94%

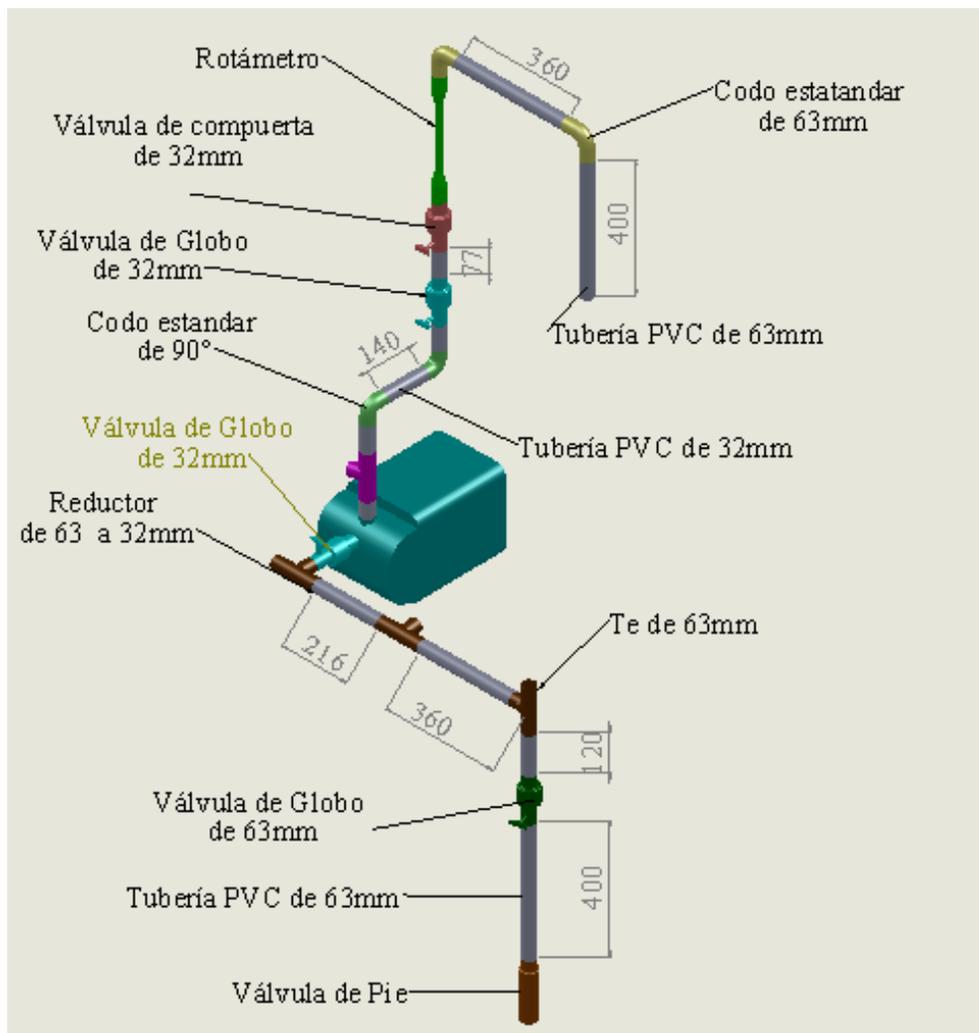


Figura 6.5 Red Secundaria de circulación del fluido

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

En esta red de igual manera se muestra las pérdidas por fricción y accesorios en la siguiente tabla:

Tabla 6-15 Cálculo de pérdidas por accesorios y tubería

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS Y TUBERÍA								
ACCESORIOS	# de accesorios	Le/D	L/D	F	K	V ² /2g	HL=K*(V ²)/2g	
Accesorios 63mm								
V. de Pie	1	75		0,028	2,12	0,0025	0,005	
V.de esfera	1	350		0,028	9,62	0,0025	0,024	
Te	2	60		0,028	1,70	0,0025	0,009	
Codo de 90°	2	30		0,028	0,85	0,0025	0,004	
Tubería			33,33	0,028	0,94	0,0025	0,002	
Accesorios de 32mm.								
V. de esfera	2	350		0,024	8,06	0,0429	0,691	
V. de globo	1	340		0,024	0,19	0,0429	0,008	
V. check	1	150		0,024	3,6	0,0429	0,154	
Codo de 90°	2	30		0,024	0,71	0,0429	0,061	
Codo de 45°	0	16		0,024	0,38	0,0429	0,000	
Te	2	60		0,024	1,42	0,0429	0,122	
Contracción Súbita					0,365	0,0429	0,016	
Tubería			22,64	0,024	0,54	0,0429	0,023	
							T. Accesorios	1.095
							T. Tubería	0.025
							TOTAL	1.12

Encontramos la energía entregada por la bomba

$$H_B = z_b + H_{T2}$$

$$H_B = 2.5m + 1.12m$$

$$H_B = 3.62m$$

Donde:

$$P_A = H_B * \gamma * Q$$

$$P_A = 3,62m * 9.8KN/m^3 * 6.30E - 4 \frac{m^3}{s}$$

$$P_A = 21.43W$$

$$\eta = \frac{351.42}{372.85}$$

$\eta = 0.94$ entonces la eficiencia de la bomba en el sistema es 94%

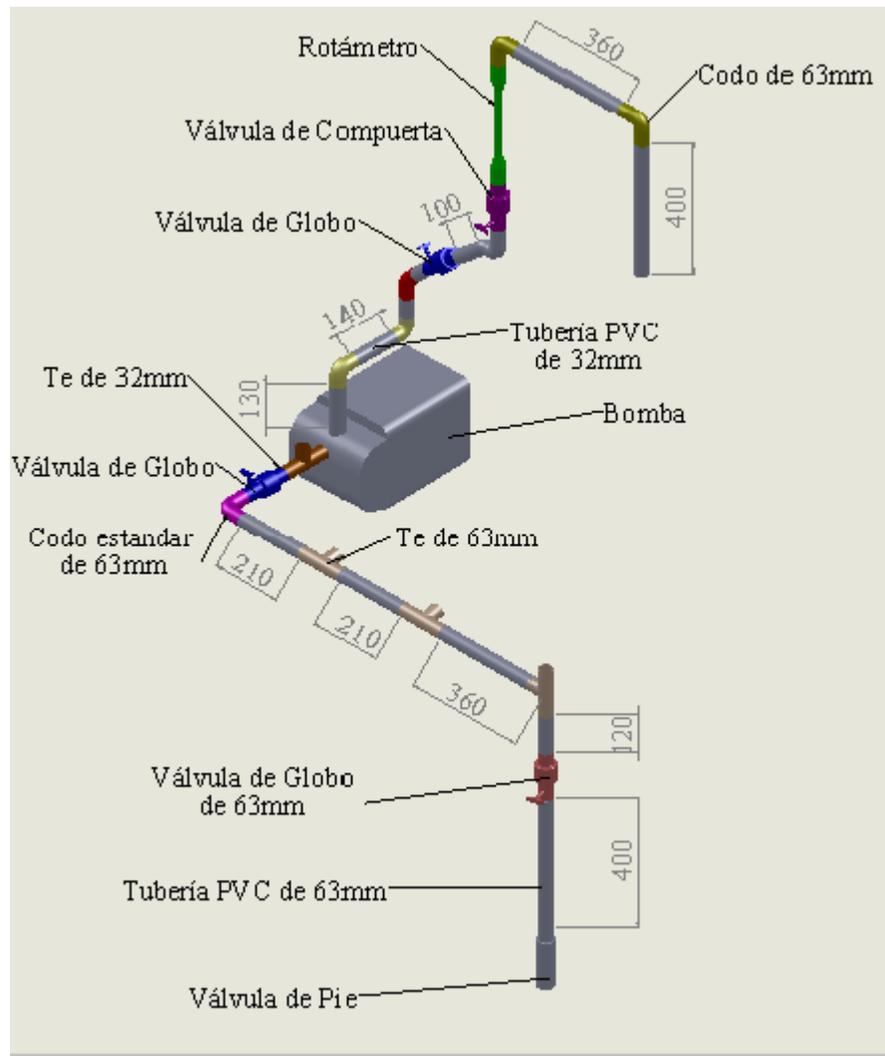


Figura 6.6 Tercera Red de circulación del fluido

(Fuente: Dibujado por el Autor de la Investigación)

Como se puede observar en la figura 6.7 la longitud de la tubería de succión aumento 30cm más que la fig. 6.6 de igual manera se realizara los cálculos ya realizados.

Tabla 6-16 Cálculo de pérdidas por accesorios y tubería

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR ACCESORIOS Y TUBERÍA							
ACCESORIOS	# de accesorios	Le/D	L/D	F	K	$V^2/2g$	$HL=K*(V^2)/2g$
Accesorios 63mm							
V. de pie	1	75		0,028	2,12	0,0025	0,005
V.de esfera	1	350		0,028	9,62	0,0025	0,024
Te	2	60		0,028	1,70	0,0025	0,009
Codo de 90°	3	30		0,028	0,85	0,0025	0,006
Tubería			36,67	0,028	1,04	0,0025	0,003
Accesorios de 1plg.							
V. de esfera	2	350		0,024	8,06	0,0429	0,691
V. de globo	1	360		0,024	8.64	0,0429	0,37
V. check	1	150		0,024	3,6	0,0429	0,154
Codo de 90°	2	30		0,024	0,71	0,0429	0,061
Codo de 45°	2	16		0,024	0,38	0,0429	0,033
Te	2	60		0,024	1,42	0,0429	0,122
Contracción Súbita					0,365	0,0429	0,016
Tubería			22,64	0,024	0,54	0,0429	0,023
						T. Accesorios	1.422
						T. Tubería	0.026
						TOTAL	1,448

Encontramos la energía entregada por la bomba

$$H_B = z_b + H_{T2}$$

$$H_B = 2.5m + 1.448m$$

$$H_B = 3.94m$$

Donde:

$$P_A = H_B * \gamma * Q$$

$$P_A = 3.94m * 9.8KN/m^3 * 6.30E - 4 \frac{m^3}{s}$$

$$P_A = 21.65W$$

$$\eta = \frac{351.2}{372.85}$$

$\eta = 0.94$ entonces la eficiencia de la bomba en el sistema es 94%

6.6.4 CÁLCULOS MECÁNICOS

Análisis de la estructura

Para el análisis de la estructura se procura a calcular la fuerza a la cual va a estar sometida. Esta fuerza se la obtendrá mediante el peso total que vaya a soportar dicha estructura, la masa total que va a soportar la estructura es de 90 Kg.

$$m_{Total} = 114Kg$$

Peso total

$$W_{Total} = m_{Total} * g$$

Ecuación 6.4. Peso total

$$W_{\text{Total}} = 114 * 9,81$$

$$P_{\text{Total}} = 1118,34 \text{ N}$$

Como este peso soporta 4 columnas entonces dividimos el peso total para 4.

$$W = \frac{1118,34}{4}$$

$$W = 279,585 \text{ N}$$

Cálculo de la columna de la estructura

En la construcción de la estructura se utilizó tubo cuadrado ASTM A 500 grado B, el esfuerzo de fluencia $F_y = 46 \text{ Kpsi}$ se tomó del anexo (9).

Análisis de la columna de 1,8 metros de longitud.

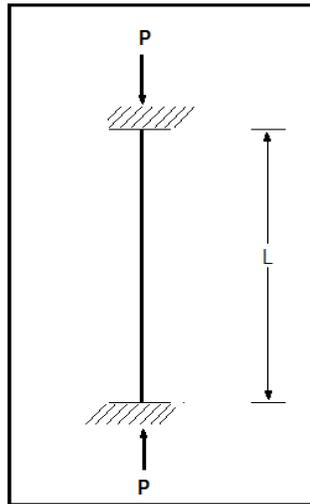


Figura 6-7. Diagrama de cuerpo libre de la columna.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

Los valores de K y de F_a fueron tomados de los anexos (10) y (11) respectivamente.

$$\frac{K * L}{r} = \frac{0,5 * 1,8}{(0,0095)} = 95$$

Con $\frac{K*L}{r} = 95$ tenemos que $F_a = 15.36 \text{ Kpsi} = 105.8304 \text{ KPa}$

$$P_{\text{Permisible}} = F_a * A_g$$

$$P_{\text{Permisible}} = 105,8304 * (135 * 10^{-6})$$

$$P_{\text{Permisible}} = 14,28 \text{ KN}$$

Como la carga permisible es mayor que la carga que actúa en cada columna, entonces la columna si soportara. Este tubo se ocupara para toda la construcción de la estructura.

6.7. Metodología

En base a la selección de materiales y los cálculos realizados se procedió a construir el banco de pruebas de bombas centrífugas, aquí se describe los elementos principales que conforman el mismo.

6.7.1. Accesorios de instalación hidráulica.

Rotámetro

Instrumento de medición de medición de caudal que transita por una tubería.

Tabla 6-17 Rotámetro (datos técnicos)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

ROTAMETRO LZC-50	
Longitud	40 cm
Temperatura máx.	70°C
Flujo	Agua
Caudal máx.	32GPM
Material	Polipropileno



Figura 6-8 Medidor de caudal (Rotámetro).

Fuente: Por el autor.

Manómetro de presión glicerina.

Están colocados en la tubería de descarga nos indica la presión con la que el fluido se transporta.

Tabla 6-18 Manómetro (datos técnicos)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

Manómetro glicerina	
Presión PSI	0 - 150
Presión bares	0 – 10
fluido interno	Glicerina
Material	acero inoxidable
Diámetro exterior	65 mm



Figura 6-9 Manómetro de presión

Fuente: Por el autor.

Vacuómetro.

Están situados en la tubería de succión este nos permite observar el vacío cuando las bombas trabajan en succión además la presión cuando trabajan en carga.

Tabla 6-19. Vacuómetro (datos técnicos)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

Vacuómetro	
Presión PSI	0 – 30
Presión bares	0 – 2
Vacio mHg	0 - -30
Material	acero inoxidable
diámetro exterior	65 mm



Figura 6-10 Vacuómetro.

Fuente: Por el autor.

Válvula de globo.

Accesorio que permite el paso y cierre del fluido, están colocadas en la red de la tubería en distintos puntos.

Tabla 6-20 Válvula de globo (datos técnicos)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

Válvula de esfera	
Diámetro nominal	32mm
Presión de trabajo	0.80MPa
Temperatura máx.	70 °C
Material	Polipropileno



Figura 6-11 Válvula de esfera.

Fuente: Por el autor.

Válvula de pie

Se la coloca en la parte de inicio de la tubería de succión este instrumento nos ayuda a retener el fluido cuando las bombas dejen de trabajar ayudando a que la bomba permanezca cebada.

Tabla 6-21 Válvula de pie (datos técnicos)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

Válvula de pie	
Diámetro nominal	63mm
Presión de trabajo	0.63MPa
Temperatura máx.	70 °C
Material	Polipropileno
Longitud	200mm



Figura 6-12 Válvula de pie.

Fuente: Por el autor.

Válvula de compuerta

Está situada a la parte posterior del rotámetro, es la que nos ayudara a regular el caudal que queramos que circule por la tubería.

Tabla 6-22 Válvula de globo (datos técnicos)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

Válvula de globo	
Diámetro nominal	32mm
Presión de trabajo	0.90MPa
Temperatura máx.	80 °C
Material	Bronce
Longitud	100mm



Figura 6-13 Válvula de globo.

Fuente: Por el autor.

Codo de 90° estándar: Permite el cambio de dirección en un ángulo de 90°

Tabla 6-23 Codo de 90° (datos técnicos)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

Codo de 90°	
Diámetro nominal	32mm
Presión de trabajo	0.80MPa
Temperatura máx.	70 °C
Material	Polipropileno
Longitud	50mm



Figura 6-14 Codo de 90°.

Fuente: Por el autor.

6.7.2 Accesorios instalación eléctrica

Pulsador on/off

Permite el paso y cierre de la energía mediante un pulsador, esta colocados uno para cada bomba.

Tabla 6-24 Pulsador (datos técnicos)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

Pulsador BS 230 B	
Voltaje	110 - 500 V
Amperaje	30 A
Potencia	7.5KW



Figura 6-15 Pulsador on/off

Fuente: Por el autor.

6.7.3 Estructura

La estructura está construida de tubo cuadrado de ancho de 2.5 * 1,5 mm de espesor y platina de 38 mm * 4 mm de espesor, la cual soporta el tanque que almacenamiento el agua.

Tabla 6-25 Estructura metálica (datos técnicos)

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

ESTRUCTURA	
Altura	2500 mm
Ancho	800 mm
Longitud	1680 mm
Materiales	Tubo Cuadrado ASTM A 500 GRADO B, Platina ASTM A 36



Figura 6-16 Estructura metálica.

Fuente: Por el autor.

6.8. Administración

Con la finalidad de conservar en óptimas condiciones el funcionamiento del dispositivo experimental y evitar el deterioro del mismo es fundamental presentar un plan de mantenimiento.

6.8.1. Planeación

6.8.1.1. Manual de mantenimiento para el banco de pruebas para bombas centrífugas:

Con el objeto de mantener en óptimas condiciones y una vida útil prolongada del Banco de Pruebas se debe realizar las siguientes instrucciones.

Se deberá realizar un mantenimiento continuo, esto quiere decir que después de cada práctica, los estudiantes procederán a realizar los siguientes pasos para el mantenimiento.

- 1.- Retirar el agua del tanque de alimentación y descarga, esto se lo debe realizar ya que con el pasar del tiempo en el interior de los tanques se forman impurezas que pueden ocasionar obstáculos en las tuberías, accesorios y bombas.
- 2.- Verificar que no quede agua en el interior de las bombas, puesto que puede acelerar el proceso de corrosión en el interior de las mismas.
- 3.- Observar que en las redes de tuberías no existan fisuras o averías por donde pueda escapar el fluido.
- 4.- Comprobar que los cables de las confecciones eléctricas no presenten desprendimiento del material aislante, ya que puede ocasionar un corto circuito el cual pueden quemarse las bombas.
- 5.- Limpiar adecuadamente el banco de pruebas después de cada práctica realizada.
- 6.- Cada 6 meses se debe engrasar el cojinete interno de cada una de las bombas.

7.- Verificar que no existan objetos extraños que pudieran obstruir el correcto funcionamiento de las bombas.

6.8.2. Organización

Para obtener resultados óptimos en las prácticas a realizar, tanto el profesor, ayudante de laboratorio y los estudiantes deben estar atentos en lo que se refiere a la toma de parámetros físicos y verificar que todos los instrumentos necesarios se encuentren en perfecto funcionamiento.

6.8.3 Dirección

Cada práctica que se realice aplicando el banco de pruebas, deberá ser dirigida y supervisada por una persona que conozca el funcionamiento del mismo, que para este caso puede ser el profesor de la materia y el ayudante de laboratorio

6.8.4. Control

Durante el desarrollo de la práctica se necesita controlar el funcionamiento de todo el sistema, en caso de presentarse algún inconveniente el ayudante de laboratorio deberá informar al profesor que dirigió la práctica.

6.9 Previsión de la evaluación

Previo al futuro se puede hacer avances en el banco de pruebas como análisis con la reducción de la velocidad de la bomba, conocer las presiones en distintos puntos de la tubería y análisis en serie y paralelo.

6.9.1. Metodología utilizada para la toma de datos experimentales

En cada ensayo se tomaron 10 muestras de caudales, las condiciones de trabajo de las bombas pueden ser en succión y carga.

6.9.2. Resultado de las pruebas

Los resultados de las pruebas que se realizaron en el banco de pruebas se muestran en las siguientes tablas, las cuales contienen la siguiente información: viscosidad cinemática, Caudal, Presión de Entrada y Salida, Altura, Pérdidas por Fricción y Accesorios, Potencia Requerida del sistema, NPSH y la Eficiencia.

Toma de datos experimentales.

Bomba Pedrollo en succión.

Tabla 6-26. Hoja de resultados del ensayo de la bomba Pedrollo en succión.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

HOJA DE ENSAYO DE LA BOMBA PEDROLLO									
UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				CARRERA DE INGENIERIA MECANICA					
Lugar: Laboratorio de Hidráulica				Nombre: EDISON RAMIREZ				Fecha:	
Temperatura del Agua	18°C								
Viscosidad Cinemática m^2/seg	1,02E-06			Semestre:				Paralelo:	
CONDICIÓN DE TRABAJO DE L BOMBA									
N°	Caudal (Q), $\frac{m^3}{s}$	Presión, [Kpa]		Altura [m]	Pérdida Total [m]	Potencia para el sistema, [W]	Eficiencia [%]	Presión de vapor [m]	$NPSH_A$ [m]
		P_E	P_S						
1	6,31E-04	0	0	5	0,925	36,64	9,82	0,2388	8,37
2	5,68E-04	0	55,12	10	0,774	91,28	24,48	0,2388	8,52
3	5,05E-04	0	110,24	14	0,655	128,1	34,35	0,2388	8,64
4	4,42E-04	0	137,8	18	0,539	141,6	37,83	0,2388	8,76
5	3,79E-04	0	172,25	24	0,429	155,96	41,83	0,2388	8,87
6	3,15E-04	0	206,7	25	0,321	143,21	38,41	0,2388	8,98
7	2,52E-04	0	227,37	28	0,212	1126,95	34,1	0,2388	9,1
8	1,89E-04	0	241,15	32	0,121	105,08	28,18	0,2388	9,18
9	1,26E-04	0	261,82	35	0,0611	76,28	20,46	0,2388	9,24
10	6,31E-05	0	275,6	38	0,019	39,04	10,47	0,2388	9,28

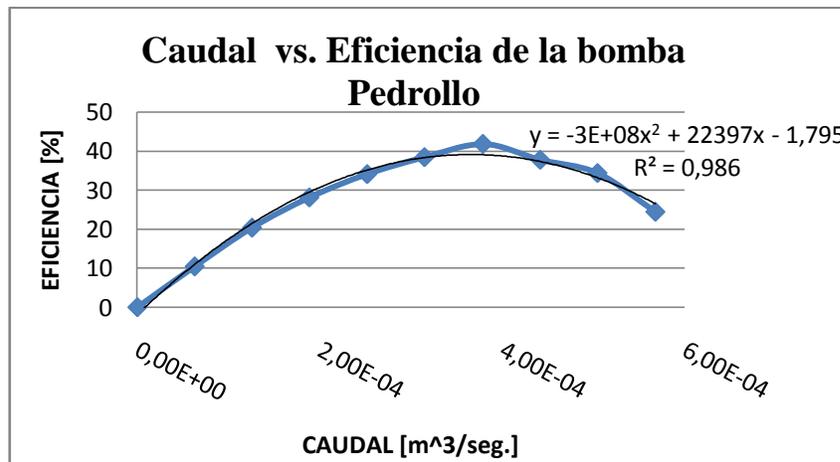


Figura 6.17. Caudal -Eficiencia de la bomba Pedrollo en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la eficiencia de la bomba Pedrollo trabajando en carga tiene una tendencia creciente con respecto al caudal, las variables guardan una relación de determinación de 98,6%.

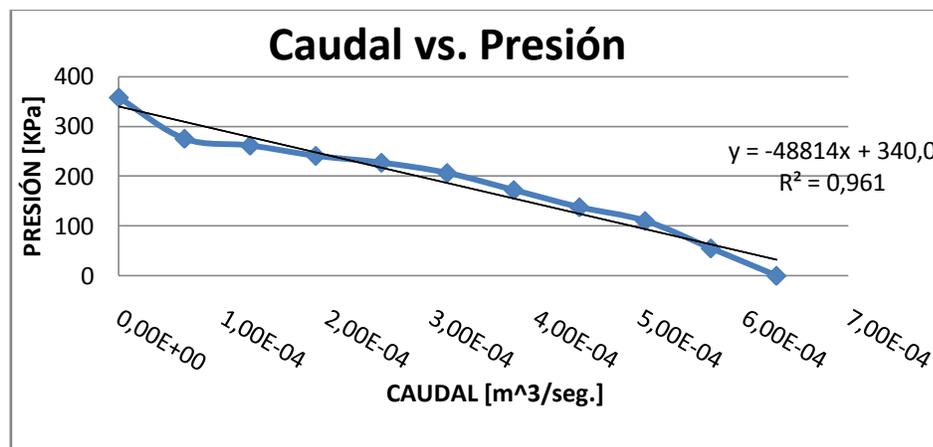


Figura 6.18. Caudal - Presión de la bomba Pedrollo en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la presión de la bomba Pedrollo en (y) tiene una tendencia decreciente con respecto al caudal (X), las variables guardan una relación de determinación de 98,6%.

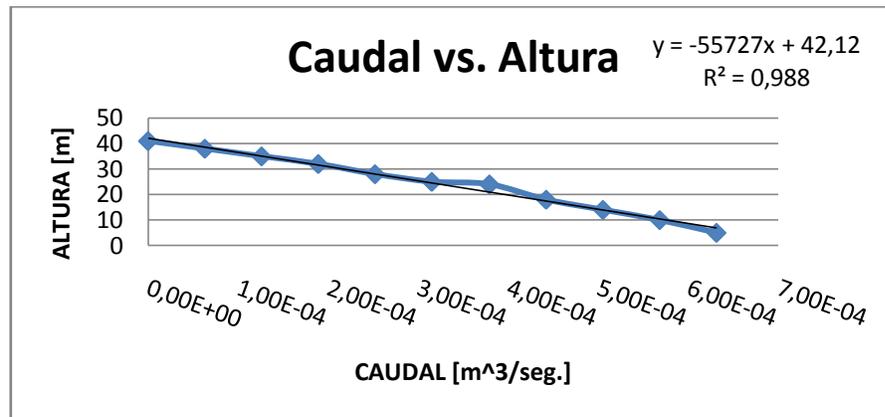


Figura 6.19. Caudal - Altura de la bomba Pedrollo en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la altura de la bomba en (y) tiene una tendencia decreciente lineal con respecto al caudal (x). Las variables guardan una relación de determinación del 98.8%.

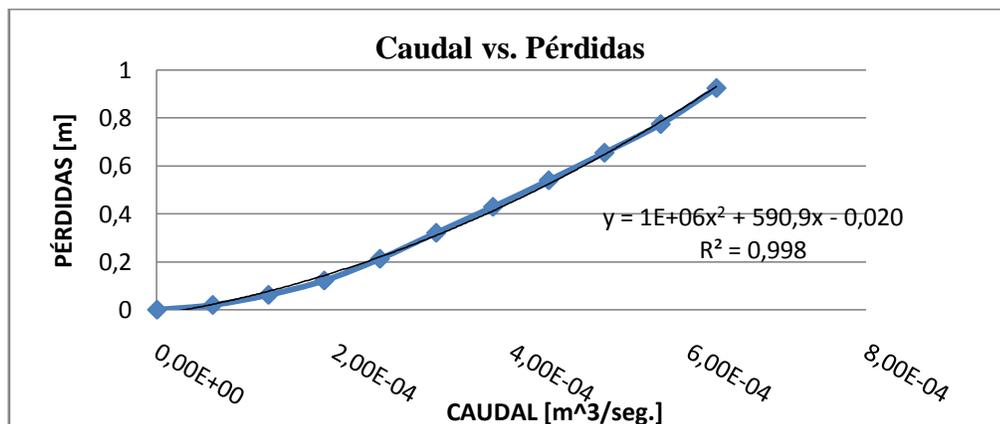


Figura 6.20. Caudal - Pérdidas de la bomba Pedrollo en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de las pérdidas totales de la bomba en (Y) tiene una tendencia creciente cuadrática con respecto al caudal (x). Las variables guardan una relación de determinación del 99.8%.

Esta curva es igual tanto para las tres bombas porque se trabajo con la misma variación de caudal y los mismos accesorios.

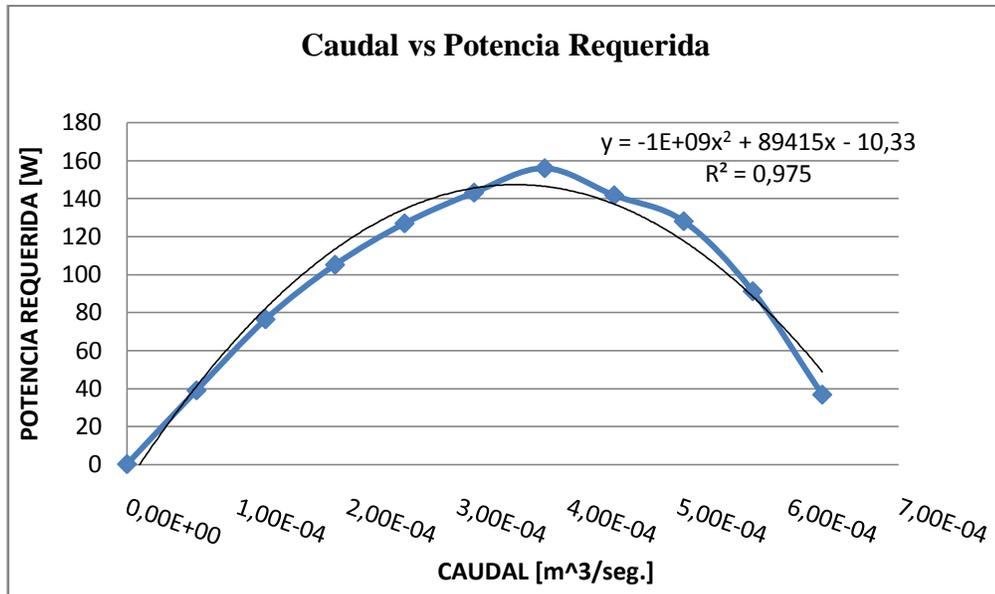


Figura 6.21. Caudal – Potencia requerida de la bomba Pedrollo en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la potencia en (Y) tiene una tendencia creciente con respecto al caudal hasta un caudal de 3,79 e-4 [m³/ seg.] pasado este valor la curva es decreciente. Las variables guardan una relación de determinación del 97,5%.

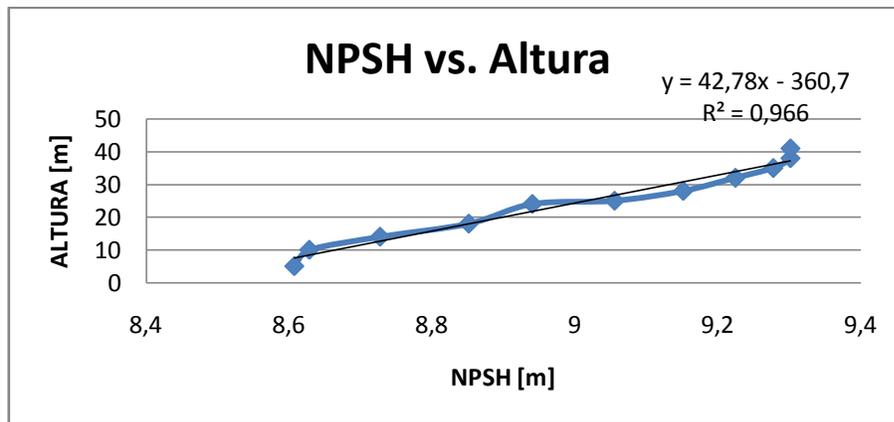


Figura 6.22. NPSH - Altura de la bomba Pedrollo en succión.

(Fuente: Dibujado por el Autor de la Investigación)

La variación de la altura de la bomba en (Y) tiene una tendencia lineal creciente con respecto al NPSH (X). Las variables guardan una relación de determinación del 98.3%.

Esta grafica será igual para todos los ensayos en succión ya que se trabajo con el mismo nivel de agua y las bombas están a la misma altura.

Bomba Pedrollo en carga.

Tabla 6-27.Hoja de resultados del ensayo de la bomba Pedrollo en carga.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

HOJA DE ENSAYO DE LA BOMBA PEDROLLO										
UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO										
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA				CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Lugar: Laboratorio de Hidráulica				Nombre: EDISON RAMIREZ				Fecha:		
Temperatura del Agua		18°C		Semestre:				Paralelo:		
Viscosidad Cinemática m^2/seg		1,02E-06								
CONDICION DE TRABAJO DE LA BOMBA		SUCCION		CARGA		Observaciones:				
N°	Caudal (Q), $\frac{m^3}{s}$	Presión, [Kpa]		Diferencia de Presiones	Altura [m]	Pérdida Total [m] H_T	Potencia para el sistema, [W]	Eficiencia [%]	Presión de vapor [m]	$NPSH_A$ [m]
		P_E	P_S	$(P_S - P_E)$	$(z_B - z_A)$					
1	6,31E-04	13,78	0	-13,78	4,1	0,925	22,38	6	0,2388	10,17
2	5,68E-04	13,78	82,68	68,9	9,1	0,774	94,1	25,23	0,2388	10,32
3	5,05E-04	13,78	137,8	124,02	13,1	0,655	130,59	35,02	0,2388	10,44
4	4,42E-04	13,78	166,37	152,59	17,1	0,539	143,78	38,56	0,2388	10,56
5	3,79E-04	13,78	192,92	179,14	23,1	0,429	155,18	41,62	0,2388	10,67
6	3,15E-04	13,78	220,48	206,7	24,1	0,321	140,40	37,65	0,2388	10,78
7	2,52E-04	13,78	248,04	234,26	27,1	0,212	126,45	33,91	0,2388	10,88
8	1,89E-04	13,78	261,82	248,04	31,1	0,121	104,71	28,08	0,2388	10,98
9	1,26E-04	13,78	275,6	261,82	34,1	0,0611	75,17	20,16	0,2388	11,04
10	6,31E-05	13,78	303,16	289,38	37,1	0,019	41,21	11,05	0,2388	11,08

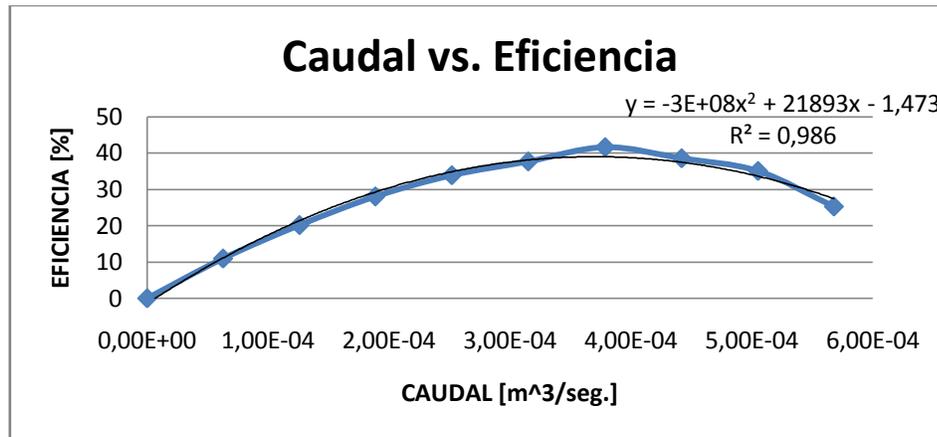


Figura 6.23. Caudal - Eficiencia de la bomba Pedrollo en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la eficiencia de la bomba Pedrollo trabajando en carga tiene una tendencia creciente con respecto al caudal, las variables guardan una relación de determinación de 98,6%.

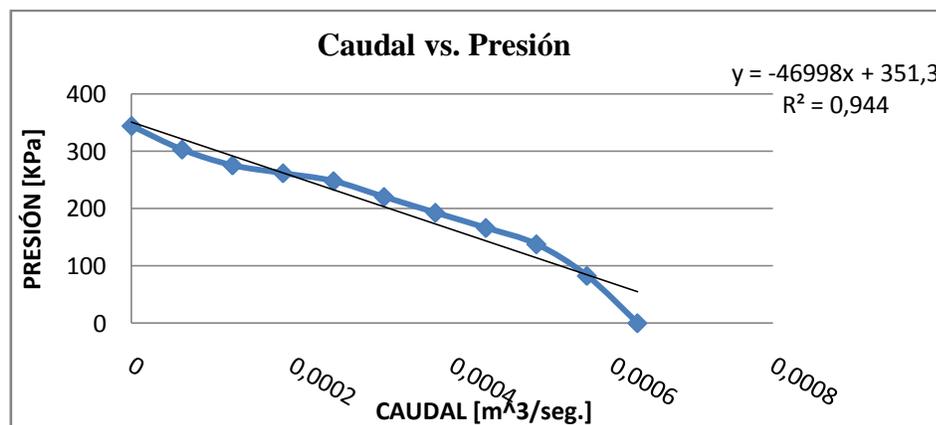


Figura 6.24. Caudal -Presión de la bomba Pedrollo en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la presión de la bomba Pedrollo en (y) tiene una tendencia decreciente con respecto al caudal (X), las variables guardan una relación de determinación de 94,4%.

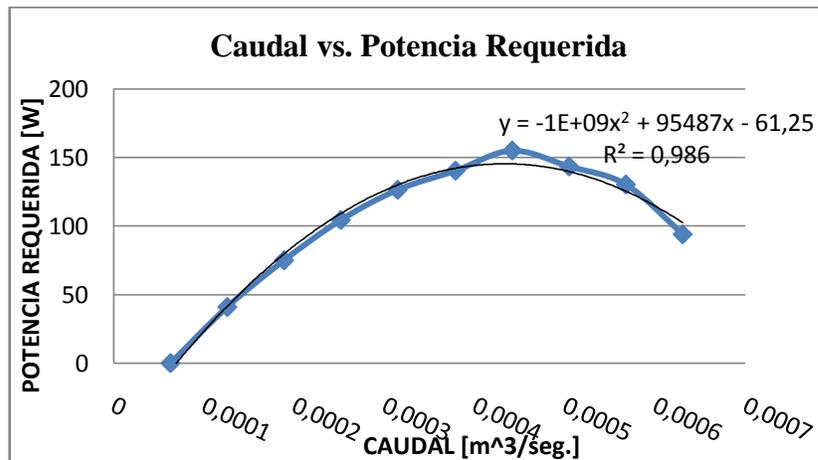


Figura 6.25. Caudal – Potencia requerida de la bomba Pedrollo en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la potencia en (Y) tiene una tendencia creciente con respecto al caudal hasta un caudal de $3,79 \times 10^{-4}$ [m³/seg.] pasado este valor la curva es decreciente. Las variables guardan una relación de determinación de 98,6%.

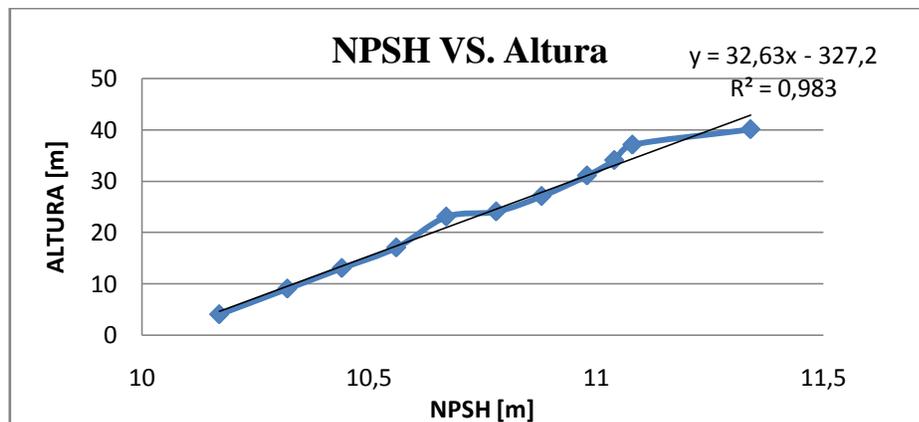


Figura 6.26 NPSH – Altura de la bomba Pedrollo en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la altura de la bomba en (Y) tiene una tendencia lineal creciente con respecto al NPSH (X). Las variables guardan una relación de determinación del 98.3%.

Esta grafica será igual para todos los ensayos en carga ya que se trabajó con el mismo nivel de agua y las bombas están a la misma altura.

Bomba Venecia en succión.

Tabla 6-28. Hoja de resultados del ensayo de la bomba Venecia en succión.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

HOJA DE ENSAYO DE LA BOMBA VENECIA									
UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				CARRERA DE INGENIERIA MECANICA					
Lugar: Laboratorio de Hidráulica			Nombre: EDISON RAMIREZ					Fecha:	
Temperatura del Agua	18°C								
Viscosidad Cinemática	1,02E-06		Semestre:					Paralelo:	
m^2/seg									
CONDICIÓN DE TRABAJO DE L BOMBA			SUCCION		CARGA		Observaciones:		
N°	Caudal (Q), $[\frac{m^3}{s}]$	Presión, [Kpa]		Altura [m]	Pérdida Total [m]	Potencia para el sistema, [W]	Eficiencia [%]	Presión de vapor	$NPSH_A$ [m]
		P_E	P_S						
1	5,68E-04	0	0	2	0,748	15,29	4,1	0,2388	8,55
2	5,05E-04	0	68,9	6	0,656	67,74	18,1	0,2388	8,64
3	4,42E-04	0	82,68	10	0,558	82,27	22,02	0,2388	8,74
4	3,79E-04	0	110,24	16	0,484	103	27,63	0,2388	8,81
5	3,15E-04	0	151,58	19	0,351	107,48	28,83	0,2388	8,95
6	2,52E-04	0	165,36	23	0,266	99,13	26,59	0,2388	9,03
7	1,89E-04	0	186,03	26	0,162	83,61	22,43	0,2388	9,14
8	1,26E-04	0	206,7	30	0,0858	63,19	16,95	0,2388	9,21
9	6,31E-05	0	220,48	34	0,0288	34,95	9,37	0,2388	9,27
10	6,31E-08	0	289,48	36	0	0,041	0	0,2388	9,30

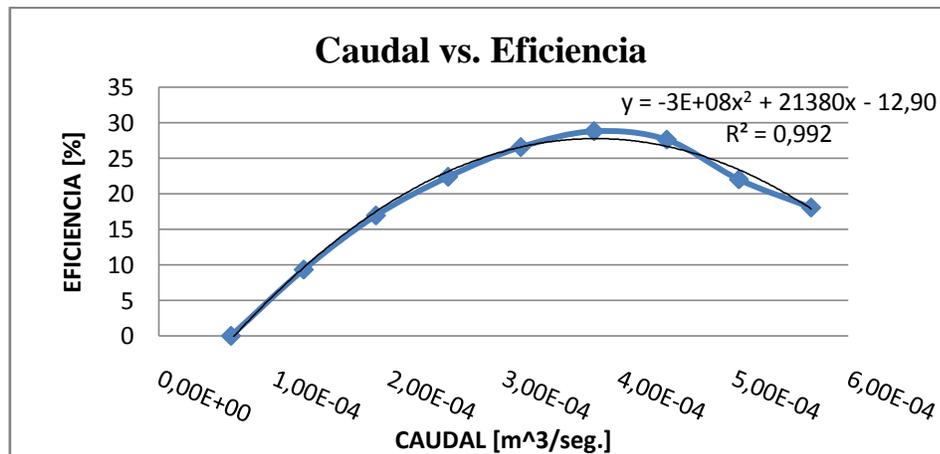


Figura 6.27 Caudal – Eficiencia de la bomba Venecia en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la eficiencia de la bomba Venecia tiene una tendencia creciente con respecto al caudal, las variables guardan una relación de determinación de 99,2%.

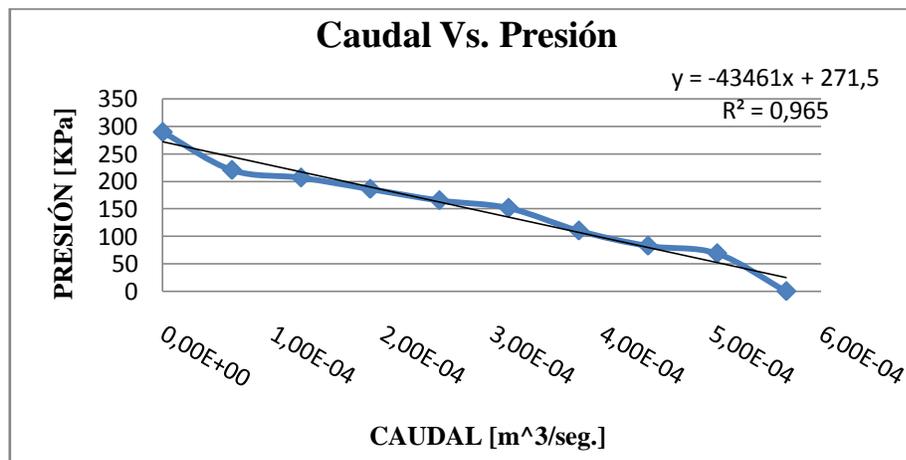


Figura 6.28 Caudal – Presión de la bomba Venecia en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la presión de la bomba Venecia en (Y) tiene una tendencia decreciente con respecto al caudal (X), las variables guardan una relación de determinación de 96,5%.

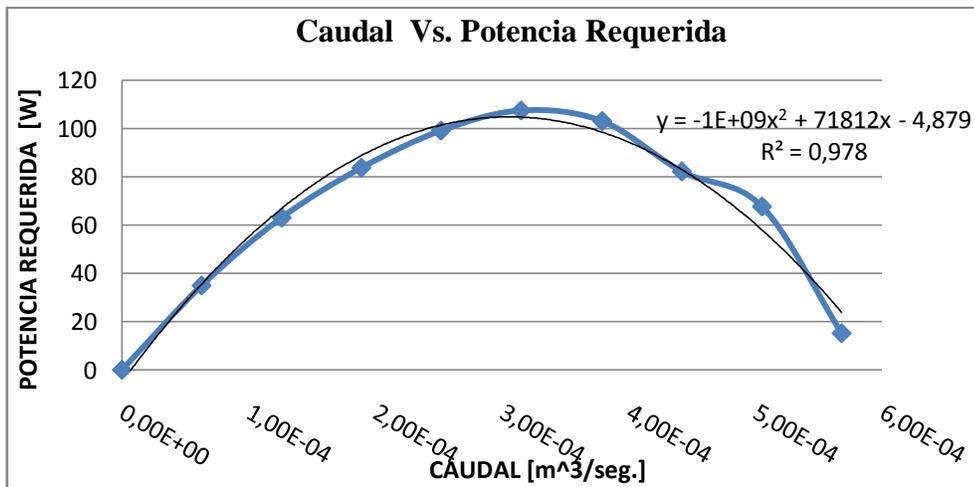


Figura 6.29 Caudal – Potencia requerida de la bomba Venecia en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la potencia en (Y) tiene una tendencia creciente con respecto al caudal hasta un caudal de 3,79 e-4 [m³/ seg.] pasado este valor la curva es decreciente. Las variables guardan una relación de determinación de 97,8%.

Bomba Venecia en carga.

Tabla 6-29. Hoja de resultados del ensayo de la bomba Venecia en carga.

(Fuente: Realizada por el Autor de la Investigación)

HOJA DE ENSAYO DE LA BOMBA VENECIA										
UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO										
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA				CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Lugar: Laboratorio de Hidráulica				Nombre: EDISON RAMIREZ				Fecha:		
Temperatura del Agua		18°C		Semestre:				Paralelo:		
Viscosidad Cinemática m^2/seg		1,02E-06								
CONDICION DE TRABAJO DE LA BOMBA		SUCCION		CARGA		Observaciones:				
N°	Caudal (Q), $\frac{m^3}{s}$	Presión, [Kpa]		Diferencia de Presiones $(P_S - P_E)$	Altura [m] $(z_B - z_A)$	Pérdida Total [m] H_T	Potencia para el sistema, [W]	Eficiencia [%]	Presión de vapor [m]	$NPSH_A$ [m]
		P_E	P_S							
1	6,31E-04	13,78	0	-13,78	2,1	0,895	9,21	2,4	0,2388	10,17
2	5,68E-04	13,78	45,47	31,69	5,1	0,748	55,56	14,9	0,2388	10,32
3	5,05E-04	13,78	82,68	68,9	9,1	0,656	87,42	23,44	0,2388	10,44
4	4,42E-04	13,78	110,24	96,46	15,1	0,558	114,28	30,65	0,2388	10,56
5	3,79E-04	13,78	137,8	124,02	18,1	0,484	119,21	31,97	0,2388	10,67
6	3,15E-04	13,78	172,3	158,52	22,1	0,351	121,96	32,71	0,2388	10,78
7	2,52E-04	13,78	192,92	179,12	25,1	0,266	109,92	29,47	0,2388	10,88
8	1,89E-04	13,78	206,7	192,92	29,1	0,162	92,28	24,75	0,2388	10,98
9	1,26E-04	13,78	213,59	199,81	33,1	0,085	67,25	18,03	0,2388	11,04
10	6,31E-05	13,78	227,37	213,59	35,1	0,0288	36,37	9,75	0,2388	11,08

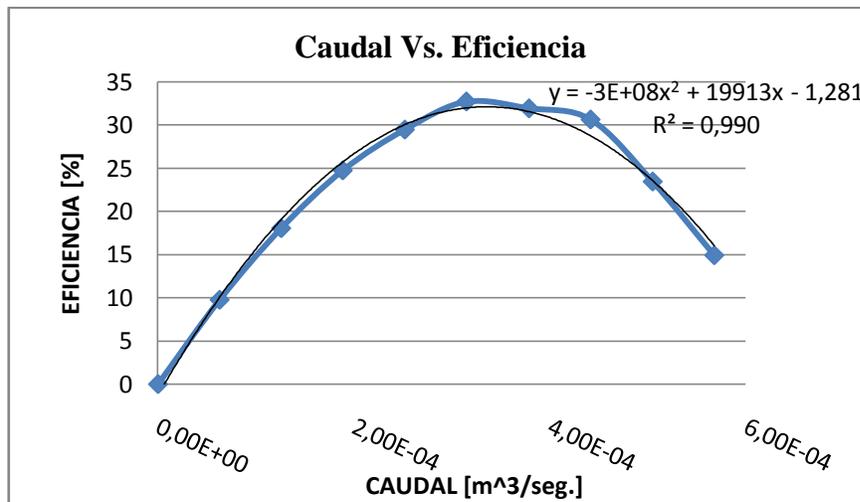


Figura 6.30 Caudal – Eficiencia de la bomba Venecia en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la eficiencia de la bomba Venecia trabajando en carga tiene una tendencia creciente con respecto al caudal, las variables guardan una relación de determinación de 99%.

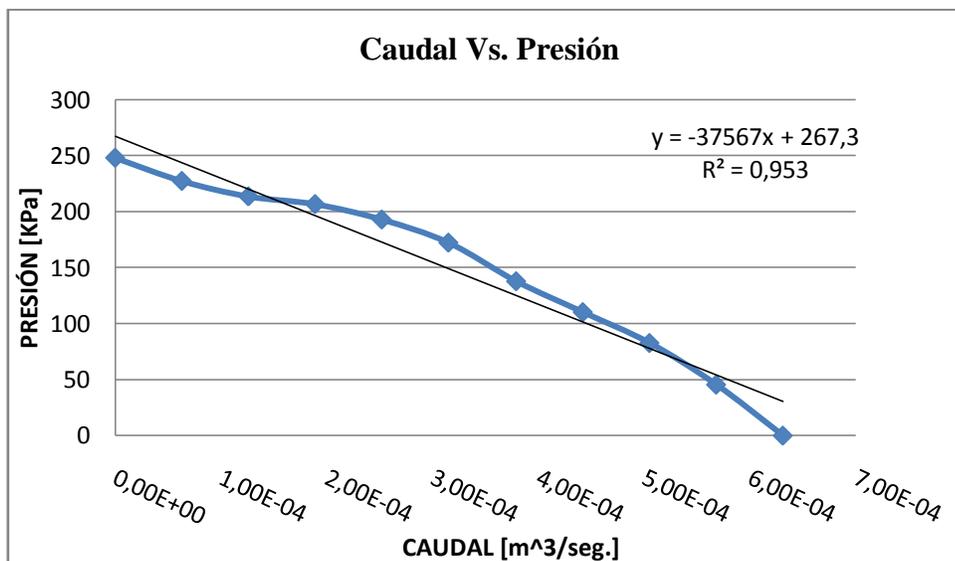


Figura 6.31 Caudal – Presión de la bomba Venecia en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la presión de la bomba Venecia en (Y) tiene una tendencia decreciente con respecto al caudal (X), las variables guardan una relación de determinación de 95,3%.

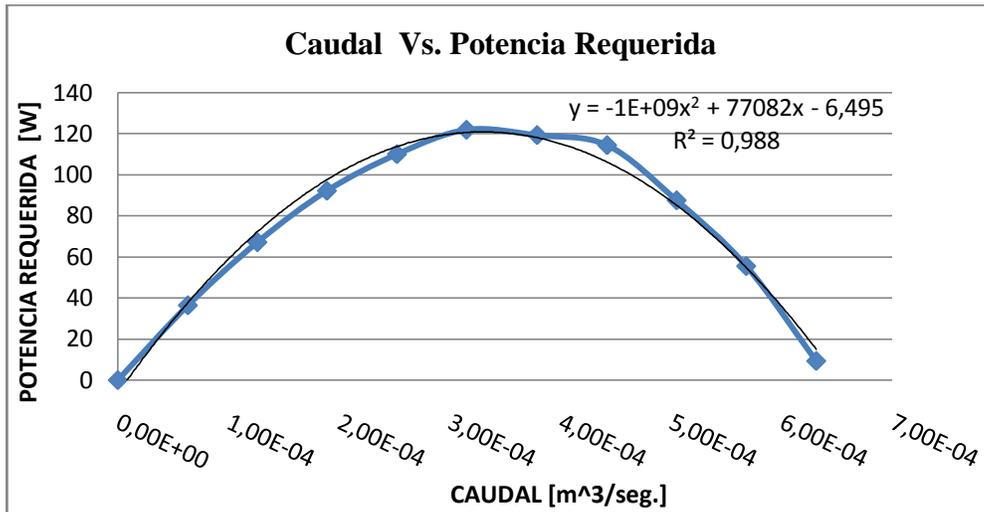


Figura 6.32 Caudal – Potencia Requerida de la bomba Venecia en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la potencia en (Y) tiene una tendencia creciente con respecto al caudal hasta un caudal de 3,79 e-4 [m³/ seg.] pasado este valor la curva es decreciente. Las variables guardan una relación de determinación de 98,8%.

Bomba Paolo en succión.

Tabla 6-30.Hoja de resultados del ensayo de la bomba Paolo en succión.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

HOJA DE ENSAYO DE LA BOMBA PAOLO									
UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				CARRERA DE INGENIERIA MECANICA					
Lugar: Laboratorio de Hidráulica			Nombre: EDISON RAMIREZ					Fecha:	
Temperatura del Agua	18°C								
Viscosidad Cinemática m^2/seg	1,02E-06		Semestre:					Paralelo:	
CONDICIÓN DE TRABAJO DE L BOMBA									
N°	Caudal (Q), $\frac{m^3}{s}$	Presión, [Kpa]		Altura [m]	Pérdida Total [m]	Potencia para el sistema, [W]	Eficiencia [%]	Presión de vapor [m]	$NPSH_A$ [m]
		P_E	P_S						
1	5,24E-04	0	0	5	0,694	29,243	7,84	0,2388	8,6
2	5,05E-04	0	82,68	10	0,673	94,577	25,36	0,2388	8,62
3	4,42E-04	0	117,13	14	0,574	114,904	30,81	0,2388	8,72
4	3,79E-04	0	151,58	18	0,450	125,995	33,79	0,2388	8,85
5	3,15E-04	0	186,03	24	0,361	133,804	35,88	0,2388	8,94
6	2,52E-04	0	192,92	25	0,246	110,963	29,76	0,2388	9,05
7	1,89E-04	0	206,7	28	0,150	91,206	24,46	0,2388	9,15
8	1,26E-04	0	220,48	32	0,077	67,389	18,07	0,2388	9,22
9	6,31E-05	0	234,20	35	0,024	36,440	9,77	0,2388	9,27
10	6,31E-08	0	261,82	40	0	0,0412	0	0,2388	9,30

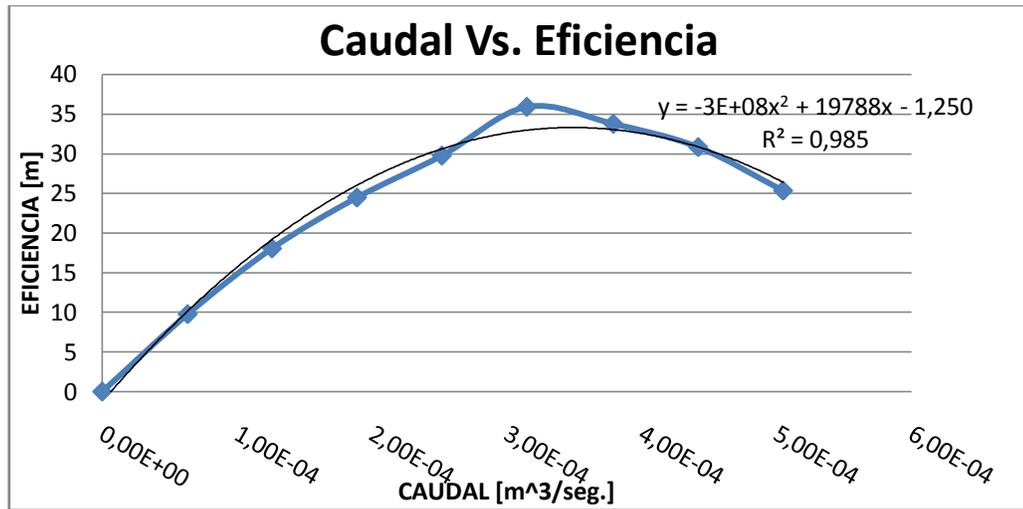


Figura 6.33 Caudal – Eficiencia de la bomba Paolo en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la eficiencia de la bomba Paolo tiene una tendencia creciente con respecto al caudal, las variables guardan una relación de determinación de 98,5%.

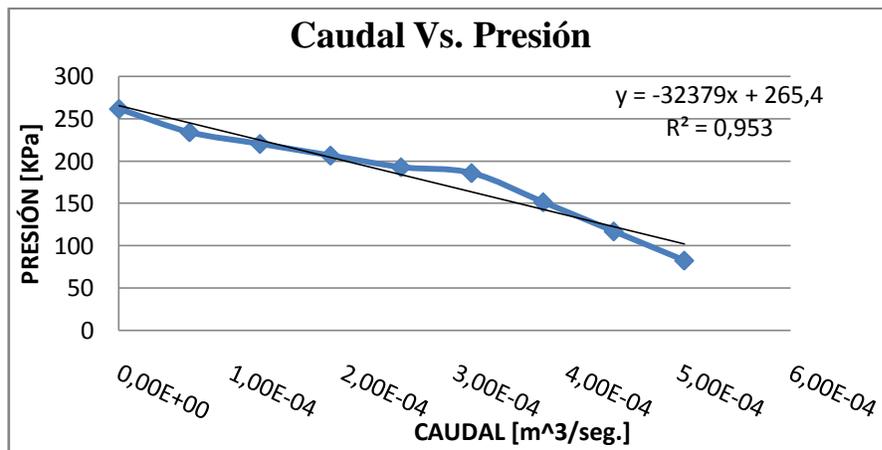


Figura 6.34 Caudal – Presión de la bomba Paolo en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la presión de la bomba Pedrollo en (Y) tiene una tendencia decreciente con respecto al caudal (X), las variables guardan una relación de determinación de 95,3%.

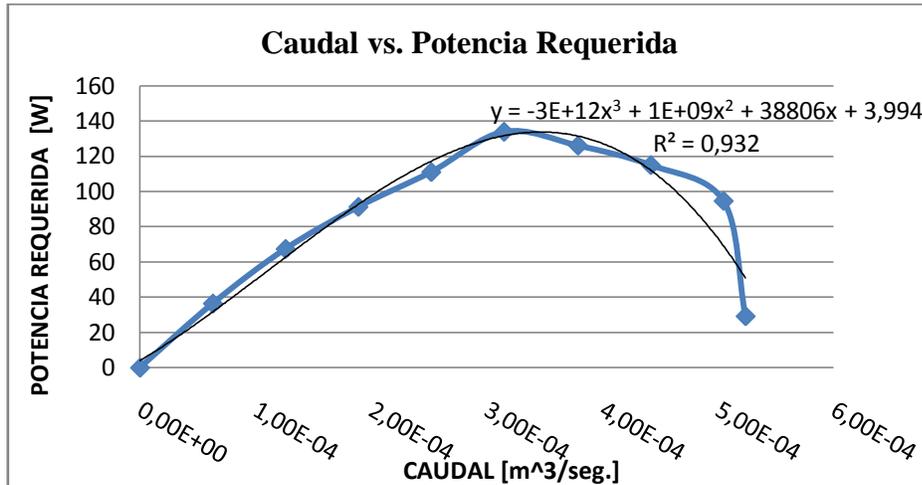


Figura 6.35 Caudal – Potencia requerida de la bomba Paolo en succión.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la potencia en (Y) tiene una tendencia creciente con respecto al caudal hasta un caudal de 3,79 e-4 [m³/ seg.] pasado este valor la curva es decreciente. Las variables guardan una relación de determinación de 93,2%.

Bomba Paolo en carga.

Tabla 6-31.hoja de resultados del ensayo de la bomba Paolo en carga.

(Fuente: Realizada por el autor de la investigación)

HOJA DE ENSAYO DE LA BOMBA PAOLO										
UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO										
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA				CARRERA DE INGENIERIA MECANICA						
Lugar: Laboratorio de Hidráulica				Nombre: EDISON RAMIREZ				Fecha:		
Temperatura del Agua		18°C						Semestre:		
Viscosidad Cinemática m^2/seg		1,02E-06		Observaciones:						
CONDICION DE TRABAJO DE LA BOMBA		SUCCION						CARGA		
N°	Caudal (Q), $\frac{m^3}{s}$	Presión, [Kpa]		Diferencia de Presiones	Altura [m]	Pérdida Total [m] H_T	Potencia para el sistema, [W]	Eficiencia [%]	Presión de vapor [m]	$NPSH_A$ [m]
		P_E	P_S	$(P_S - P_E)$	$(z_B - z_A)$					
1	6,31E-04	13,78	0	-13,78	4,1	0,925	27,97	7,5	0,2388	10,17
2	5,05E-04	20,67	102,66	81,99	13,1	0,655	94,24	25,27	0,2388	10,44
3	4,42E-04	20,67	132,28	111,61	17,1	0,539	112,39	30,14	0,2388	10,56
4	3,79E-04	20,67	192,92	172,25	23,1	0,429	133,77	35,87	0,2388	10,67
5	3,15E-04	20,67	220,48	199,81	24,1	0,321	138,08	37,03	0,2388	10,78
6	2,52E-04	20,67	227,37	206,7	27,1	0,212	121,84	32,67	0,2388	10,88
7	1,89E-04	20,67	227,37	206,7	31,1	0,121	91,21	24,46	0,2388	10,98
8	1,26E-04	20,67	227,37	206,7	34,1	0,0611	65,65	17,6	0,2388	11,04
9	6,31E-05	20,67	241,15	268,71	37,1	0,019	35,57	9,54	0,2388	11,08
10	6,31E-08	20,67	248,04	227,37	40,1	0	0,039	0	0,2388	11,34

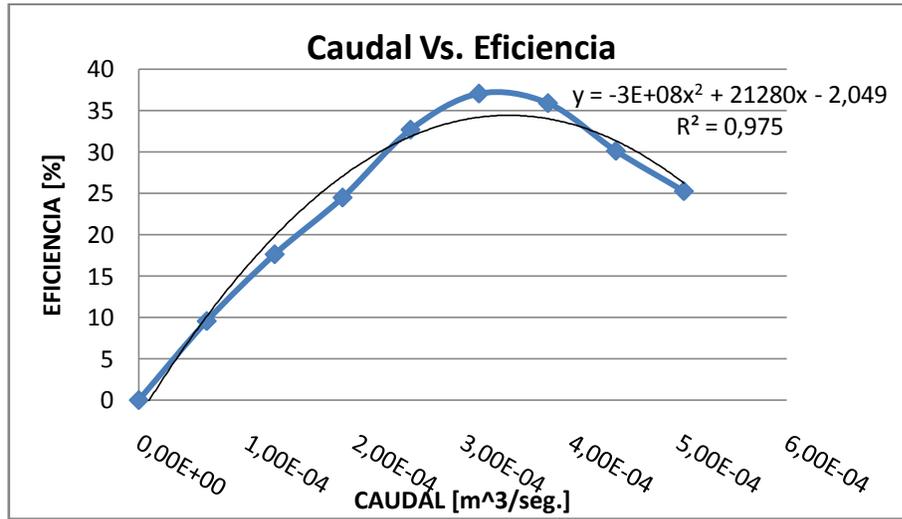


Figura 6.36 Caudal – Eficiencia de la bomba Paolo en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la eficiencia de la bomba Paolo trabajando en carga tiene una tendencia creciente con respecto al caudal, las variables guardan una relación de determinación de 97,5%.

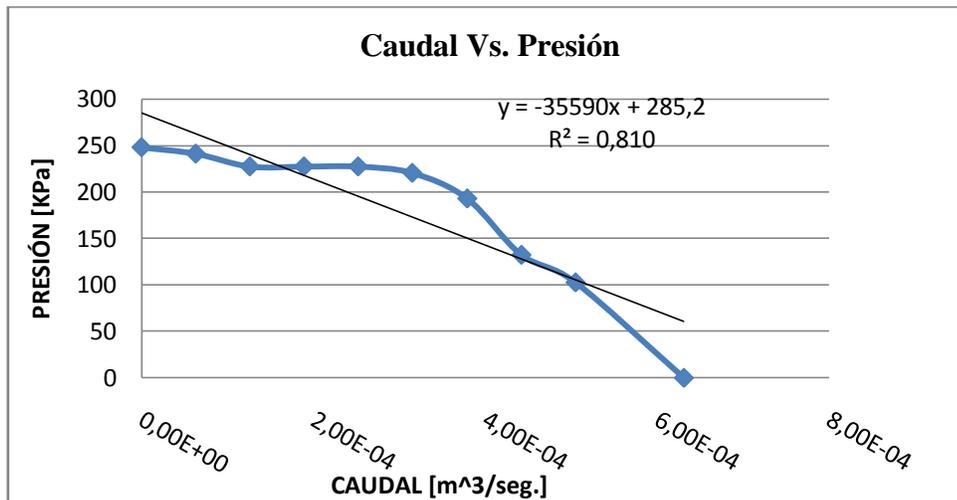


Figura 6.37 Caudal – Presión de la bomba Paolo en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la presión de la bomba Paolo en (Y) tiene una tendencia decreciente con respecto al caudal (X), las variables guardan una relación de determinación de 81%.

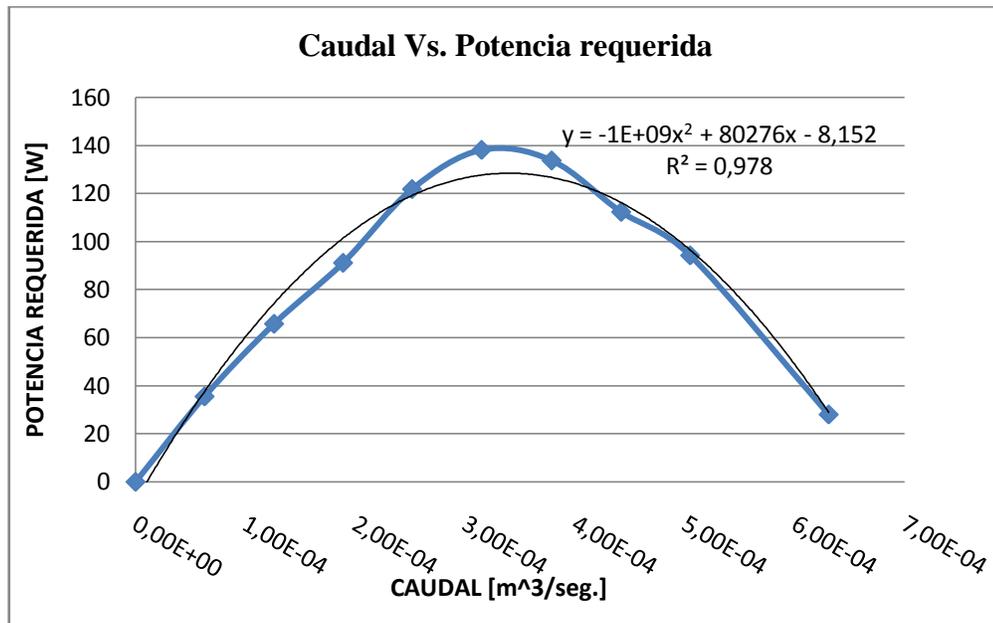


Figura 6.38 Caudal – Potencia requerida de la bomba Paolo en carga.

(Fuente: Dibujado por el autor de la investigación)

La variación de la potencia en (Y) tiene una tendencia creciente con respecto al caudal hasta un caudal de 3,79 E-4 [m³/ seg.] pasado este valor la curva es decreciente. Las variables guardan una relación de determinación de 97,8%.

6.9.3. Conclusiones de la Propuesta

- Las presiones de cada una de las bombas son diferentes a pesar de que se trabaja con el mismo caudal, esto se debe a que cada una de las bombas son de distinta fabricación.
- Se pudo verificar que los datos proporcionados de caudal por el fabricante en la placa de la bomba es correcto.

- Por medio del banco de pruebas de bombas se pudo obtener valores reales los cuales nos permiten observar el comportamiento de cada una de ellas.
- Se pudo comprobar y observar que los valores y las gráficas obtenidas prácticamente y teóricamente son idénticas.
- Fue de gran factibilidad la construcción de un banco de bombas lo cual ayuda al estudiante a entender el comportamiento de las bombas cuando existe un cambio de caudal.

6.9.4. Recomendaciones.

- Antes de la utilización del banco revisar que el sistema eléctrico no tenga ningún desperfecto.
- Colocar agua limpia en los tanques para evitar daños en el interior de la bomba.
- Cebiar correctamente las bombas antes de la utilización.
- No cambiar bruscamente el caudal que circula por la tubería, para evitar el golpe de ariete.

MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía:

ROBERT L. MOTT (2006). Mecánica de Fluidos. 6ª Edición. Pearson Educación, México

CLAUDIO MATAIX. (1982). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2ª Edición. Copyright Madrid.

YANUS A. CENGEL – JOHN M. CIMBALA (2004). Mecánica de Fluidos. 1ª Edición. Copyright México

MUSON YOUNG (2005). Fundamentos de Mecánica de Fluidos. 2ª Edición. Bruce Munson México.

VICTOR L. STREETER (2000). Mecánica de Fluidos. 9ª Edición. Copyright Colombia.

FRANK M. WHITE (2004). Mecánica de Fluidos. 5ª Edición. Mc. Graw- Hill. España

SHIGLEY, J. – MITCHELL, L. (1985). Diseño en Ingeniería Mecánica. 4ª Edición, Edit. Mc. Graw- Hill, México D.F.

MC CORMAC, J. (2006). Diseño de Estructuras Metálicas. 4ª Edición, 4ª Reimpresión, Colombia.

Páginas Web

<http://www.valvias.com/tipos-de-Válvulass.php>

[http://www.monografias.com/tipos de flujo.shtml](http://www.monografias.com/tipos%20de%20flujo.shtml)

<http://es.scribd.com/doc/6057846/Bombas-Centrifugas>

http://www.ives.edu.mx/bibliodigital/Ingenierias/Bombas/Bombas_centrifuga.pdf

<http://bornemann.files.wordpress.com/2009/09/seleccion-y-mantenimiento-preventivo-bombas-de-tornillo-excentrico.pdf>

http://www.unioviedo.es/Areas/Mecanica.Fluidos/docencia/_asignaturas/mecanica_de_fluidos_minas/lp7.pdf

<http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%203%20Bombeo/Instalaci%C3%B3n%20correcta%20de%20una%20bomba%20centrifuga.pdf>

<http://www.slideshare.net/mecanicadefluidos/bombas-centrifugas-7934169>

ANEXOS

Anexo 1

Especificaciones para tubería PVC



ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC

Especificaciones para Tuberías con Unión por sellado elastomérico (UZ) y Unión por cementado solvente (EC) para riego.

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior mm	Espesor Nominal mm	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C			MPa	PSI (lb/pulg ²)	Kg/cm ²
	20	17.6	1.2	1.25 ■	181	12.75
		17.4	1.3	1.60	232	16.32
		17.0	1.5	2.00	290	20.40
	25	22.6	1.2	1.00 ■	145	10.20
		22.4	1.3	1.25	181	12.75
		22.0	1.5	1.60	232	16.32
	32	29.6	1.2	0.80 ■	116	8.16
		29.4	1.3	1.00	145	10.20
		29.0	1.5	1.25	181	12.75
	40	37.6	1.2	0.63 ■	91	6.43
		37.4	1.3	0.80	116	8.16
		37.0	1.5	1.00	145	10.20
		36.2	1.9	1.25	181	12.75
50		47.4	1.3	0.63 ■	91	6.43
		47.0	1.5	0.80	116	8.16
		46.2	1.9	1.00	145	10.20
		45.2	2.4	1.25	181	12.75
63		60.0	1.5	0.63 ■	91	6.43
		59.0	2.0	0.80	116	8.16
		58.2	2.4	1.00	145	10.20
		57.0	3.0	1.25	181	12.75
75		72.0	1.5	0.50 ■	73	5.10
		71.4	1.8	0.63	91	6.43
		70.4	2.3	0.80	116	8.16
		69.2	2.9	1.00	145	10.20
90		86.4	1.8	0.50 ■	73	5.10
		85.6	2.2	0.63	91	6.43
		84.4	2.8	0.80	116	8.16
		83.0	3.5	1.00	145	10.20
		81.4	4.3	1.25	181	12.75

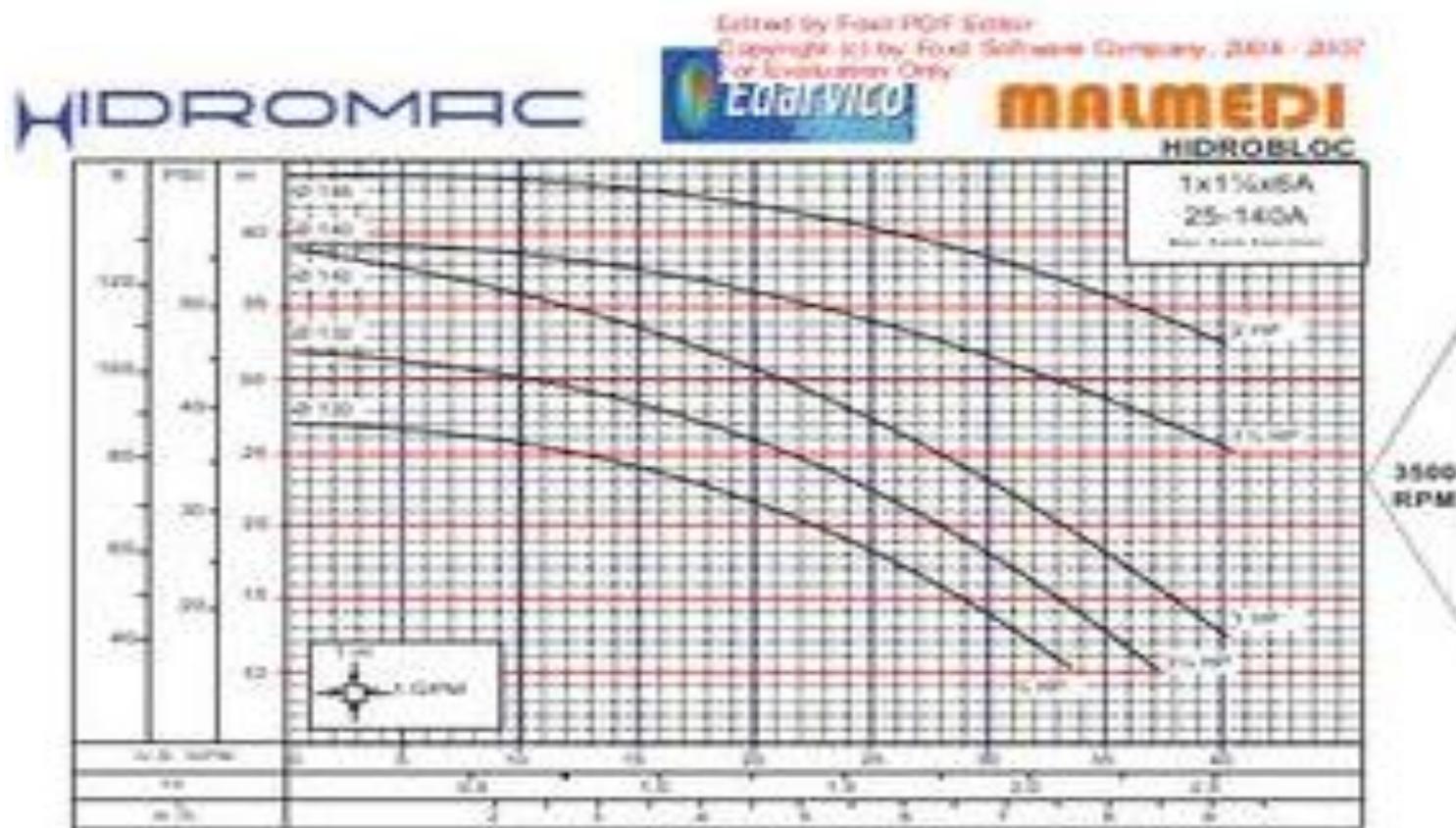
Anexo 2.

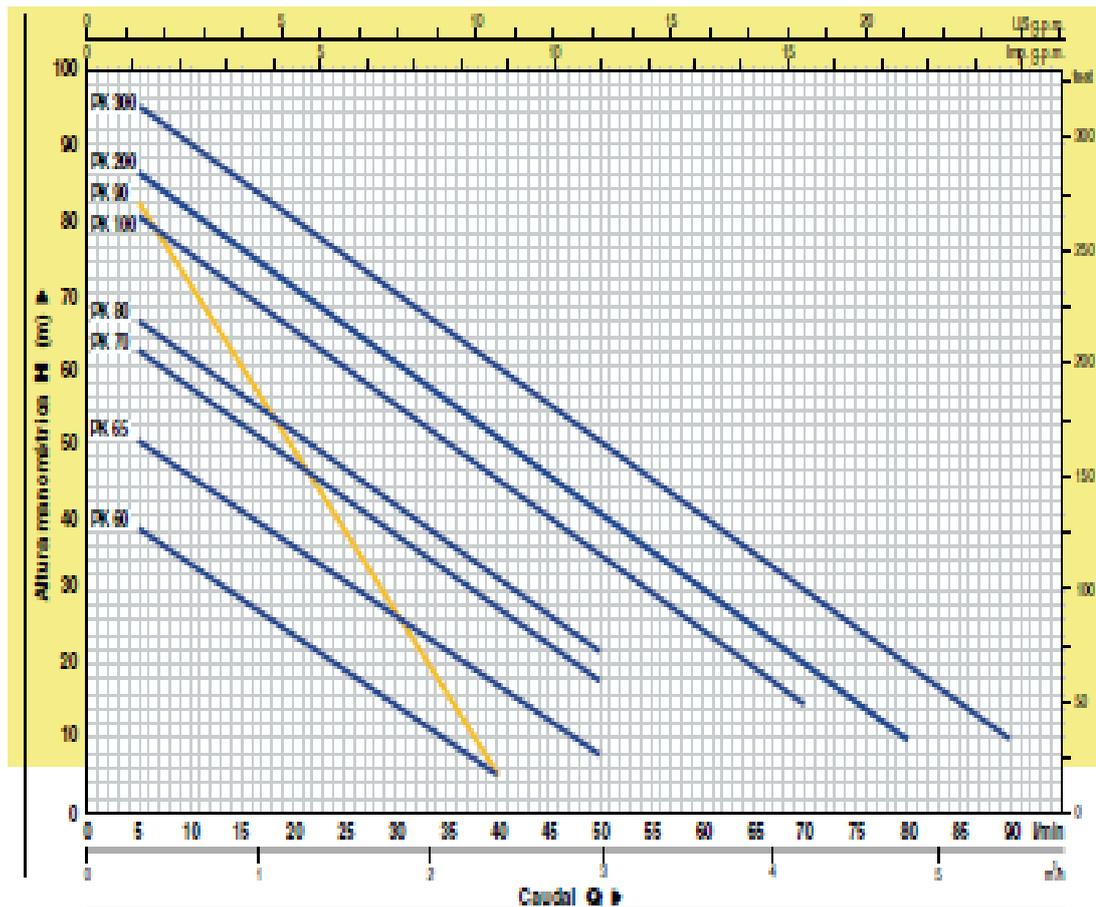
Coefficiente de resistencia de los accesorios.

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

Anexo 3

Especificaciones de bombas de 0,5 hp.



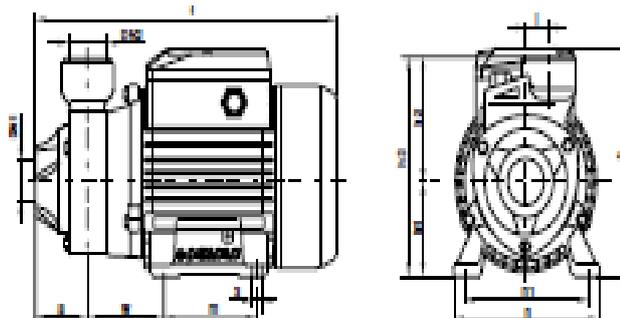


DATOS DE FUNCIONAMIENTO A $n=2900$ t/min

MODELO BOMBA		POTENCIA		Q	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4			
Monofásica	Trifásica	kW	HP	m³/h	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90			
PKm 60*	PK 60*	0.37	0.50	H (m)	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 65	PK 65	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	38	31	27	22	17	8							
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18							
PKm 80	PK 80	0.75	1		70	68	61	56	51	48	41	36.5	31	22							
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5								
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15					
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	78	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10				
PKm 300	PK 300	2.2	3		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10			

Q = CAUDAL H = ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL

Tolerancia de las curvas de prestaciones según ISO 2548.



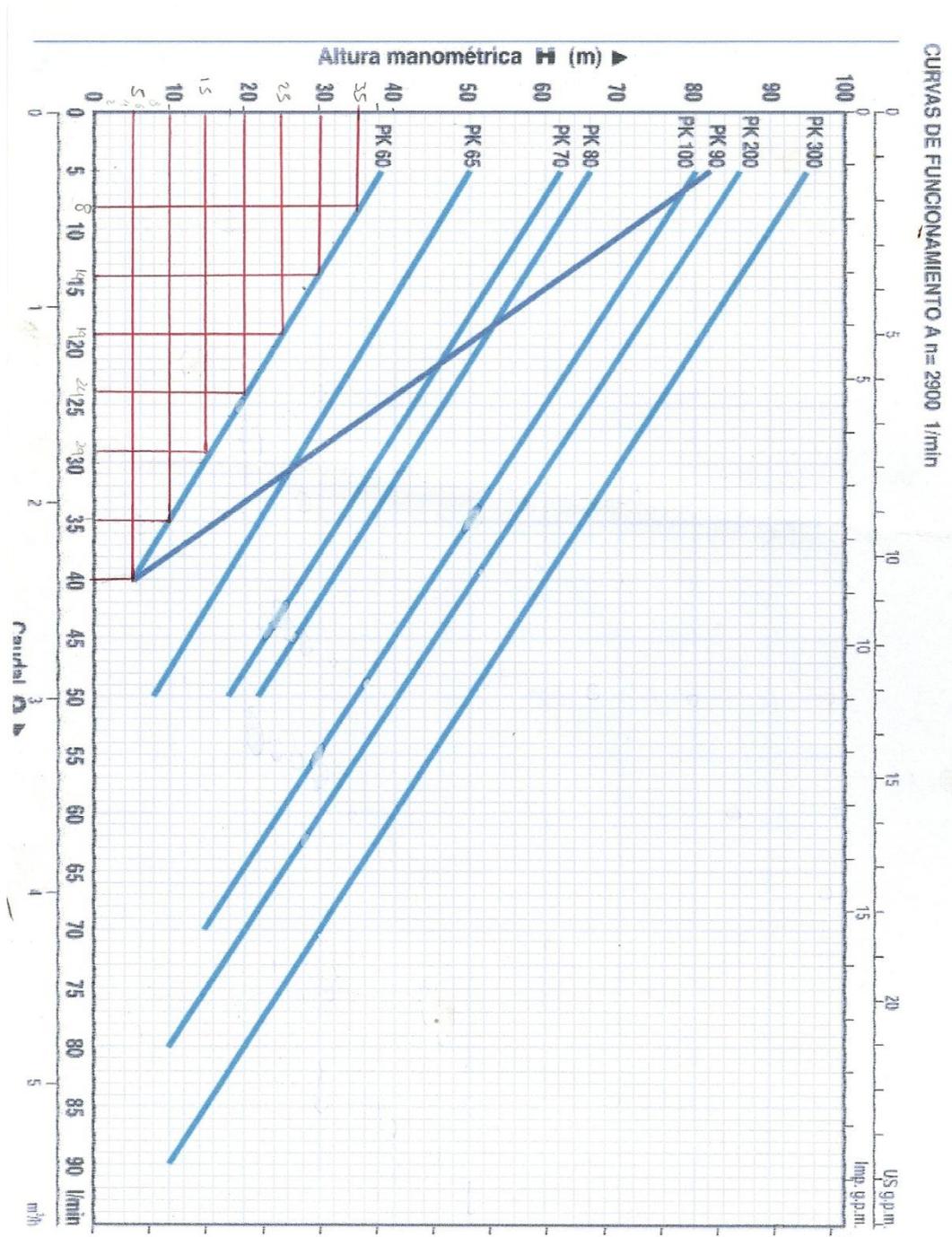
Anexo 4

Presión de vapor del agua.

Temperatura °C	Presión de vapor kPa (abs)	Peso específico (kN/m ³)	Carga de presión de vapor (m)
0	0.6105	9.806	0.06226
5	0.8722	9.807	0.08894
10	1.228	9.804	0.1253
20	2.338	9.789	0.2388
30	4.243	9.765	0.4245
40	7.376	9.731	0.7580
50	12.33	9.690	1.272
60	19.92	9.642	2.066
70	31.16	9.589	3.250
80	47.34	9.530	4.967
90			

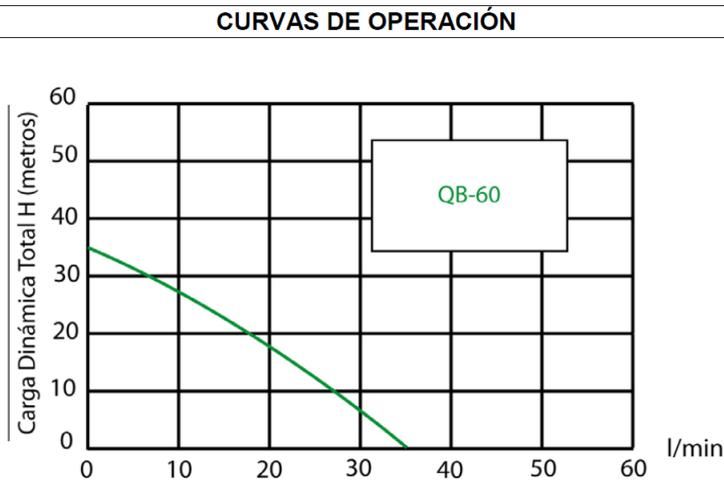
Anexo 5

Propiedades de la bomba Pedrollo



Anexo 6

Curva característica de la bomba Venecia



Anexo 7

Propiedades del agua.

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

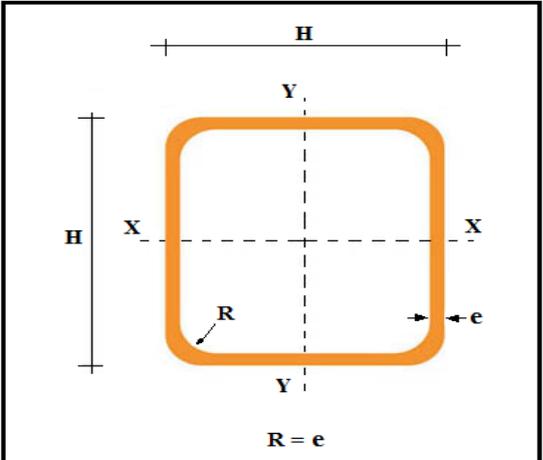
Anexo 8.

Rugosidad del conducto.

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

Anexo 9

Características del tubo estructural cuadrado

Largo Normal	6 metros
Recubrimiento	Negro o Norma de Galvanizado
Norma de Fabricación	ASTM A500 Gr. A, B ó C. NTE INEN 2415
Norma de galvanizado	ASTM A123
Espesores	Desde 1,5 a 4,0 mm
 <p style="text-align: center;">$R = e$</p>	
Nomenclatura	

$A =$ Área de la sección transversal de tubo, cm^2

$I =$ Momento de inercia de la sección, cm^4

$W =$ Modulo resistente de la sección, cm^3

$i =$ Radio de giro de la sección, cm

Propiedades del tubo cuadrado



ESPECIFICACIONES GENERALES

Largo Normal: 6 m
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado
 Dimensiones: Desde 3/4 a 4 plg
 (20 x 20) a (100 x 100) mm
 Espesores: Desde 1.5 a 4 mm
 Calidad del Acero: JIS G3132 SPHT-1
 ASTM A 500
 Observaciones: Otros largos previa consulta



NORMA INTERNA

Tolerancia Dimensional:
 3/4" (20 x 20) - 4" (100 x 100) ± 0.30 mm
 Variación Longitud: -0
 +10
 Rectitud: 0.4% de longitud (máximo)
 Radio máximo: 3 veces el espesor

APLICACIONES

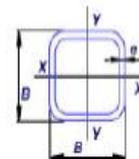
Usos Estructurales

- Columnas de estructuras
- Estructuras para techos de vidrio
- Cerramientos
- Portones
- Postes de señalización

Otros usos

- Carrocerías
- Muebles metálicos
- Máquinas para gimnasio
- Casetas de guardiania
- Estructuras para letreros
- Estructuras metálicas
- Maquinaria industrial
- Remolques

DIMENSIONES	PESO			AREA				PROPIEDADES				
	Designación	B	e	P	A	I	W	i	EJES X-X e Y-Y			
	Plg	mm	mm	Kg/6m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm				
3/4	20	1.5	4.98	1.05	0.58	0.58	0.74					
		2.0	6.30	1.34	0.69	0.69	0.72					
1	25	1.5	6.36	1.35	1.21	0.97	0.95					
		2.0	8.16	1.74	1.48	1.18	0.92					
1 1/4	30	1.5	7.80	1.65	2.19	1.47	1.15					
		2.0	10.08	2.14	2.71	1.81	1.12					
1 1/2	40	1.5	10.62	2.25	5.48	2.74	1.56					
		2.0	13.86	2.94	6.92	3.46	1.53					
		3.0	19.80	4.21	9.28	4.64	1.48					
2	50	1.5	13.44	2.85	11.06	4.42	1.97					
		2.0	17.58	3.74	14.13	5.65	1.94					
		3.0	25.50	5.41	19.40	7.76	1.89					
2 3/8	60	1.5	16.26	3.74	18.68	6.22	2.23					
		2.0	22.44	4.54	25.12	8.37	2.35					
		3.0	33.30	6.61	35.06	11.69	2.30					



Anexo 10

Longitudes efectivas de columnas (K)

Las longitudes efectivas se analizan con mayor detalle en la sección 7-1. Los nomogramas presentados ahí dan supuestamente factores K más precisos que los de la tabla 5-1.

Tabla 5-1 LONGITUDES EFECTIVAS DE COLUMNAS

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son parecidas a las ideales	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo	Rotación y traslación impedidas		Rotación libre y traslación impedida		Rotación impedida y traslación libre	
	Rotación y traslación libres					

Fuente: *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design*, del American Institute of Steel Construction, novena edición (Chicago: AISC, 1989), tabla C-C2.1. "Commentary on the Specification for Structural Steel Buildings Allowable Stress Design and Plastic Design", pág. 5-135. Reimpreso con autorización del AISC.

Anexo 11

Presión permisible (Fa)

TABLE 10—46,000 psi yield steel

$\frac{KL}{r}$ ratio	Analysis of Compression / 3.1-13								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	27,540	27,480	27,420	27,360	27,300	27,230	27,160	27,090	27,020
10	26,950	26,870	26,790	26,720	26,630	26,550	26,470	26,380	26,290
20	26,110	26,020	25,930	25,830	25,730	25,640	25,540	25,430	25,330
30	25,120	25,010	24,900	24,790	24,680	24,560	24,450	24,330	24,210
40	23,970	23,850	23,730	23,600	23,480	23,350	23,220	23,090	22,960
50	22,690	22,560	22,420	22,280	22,140	22,000	21,860	21,720	21,570
60	21,280	21,130	20,980	20,830	20,680	20,530	20,370	20,220	20,060
70	19,740	19,580	19,420	19,260	19,100	18,930	18,760	18,600	18,430
80	18,080	17,910	17,740	17,560	17,390	17,210	17,030	16,850	16,670
90	16,300	16,120	15,930	15,740	15,550	15,360	15,170	14,970	14,780
100	14,390	14,190	13,990	13,790	13,580	13,380	13,170	12,960	12,750
110	12,330	12,120	11,900	11,690	11,490	11,290	11,100	10,910	10,720
120	10,370	10,200	10,030	9,870	9,710	9,560	9,410	9,260	9,110

Anexo 12

Formato para el laboratorio.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE HIDRAULICA



GUIA DE LABORATORIO

1) TEMA:

ESTUDIO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS CON VARIACION DE CAUDAL

2) APLICACIONES EXPERIMENTALES

- Estudio de 3 diseños diferentes de bombas de agua.
- Bombas en carga y succión.
- Variación de caudal.
- Bombas en serie y paralelo

3) OBJETIVOS

- Conocer las propiedades del fluido (agua) el cual va hacer bombeado.
- Calcular las pérdidas primarias y secundarias del sistema a realizar.
- Diferenciar el comportamiento de los parámetros cada una de las bombas, trabajando con el mismo caudal.
- Calcular la eficiencia de cada una de las bombas con la variación de caudal.
- Conocer cuando la bomba es más eficiente en carga o succión.
- Realizar las curvas características de Presión, Eficiencia, Potencia Requerida, NPSH, altura y Pérdidas totales de cada una de las bombas.

4) DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES

Banco de bombas centrífugas

5) MARCO TEÓRICO

Se escribirá la teoría relacionada al experimento que se va a realizar con fórmulas, gráficos a estos se debe incluir la fuente de la investigación (referencias bibliográficas o páginas web donde se pueda ubicar información).

6) PROCEDIMIENTO DE LA PRACTICA

Explicar la forma en que se realizará el experimento paso a paso.

- Llenar con agua uno de los tanques (superior cuando se vaya a trabajar en carga, inferior cuando se trabaje en succión)
- Cebiar correctamente cada una de las bombas (llenar las bombas con el agua)
- Observar que los instrumentos de medición estén previamente encerados.
- Verificar que el cable de corriente no tenga ningún desperfecto para que no exista imprevistos.
- Observar que las válvulas de la red a circular el fluido estén abiertas.
- Encender la bomba deseada mediante el pulsador.
- Variar el caudal por medio de la válvula de globo según la necesidad.
- Recolectar los datos de caudal, presiones de entrada y salida, por cada variación de caudal.

7) CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se interpretará los resultados por medio de la siguiente tabla.

6.2 Interpretación de Resultados

Se interpretara por medio de gráficas, con los datos tabulados en el literal anterior.

- Caudal – Eficiencia
- Caudal – Presión de Salida
- Caudal – Altura
- Caudal – Pérdidas Totales
- Caudal – Potencia Requerida
- NPSH - Altura

8) CONCLUSIONES

Estarán relacionadas con la práctica y deben estar en base a los objetivos.

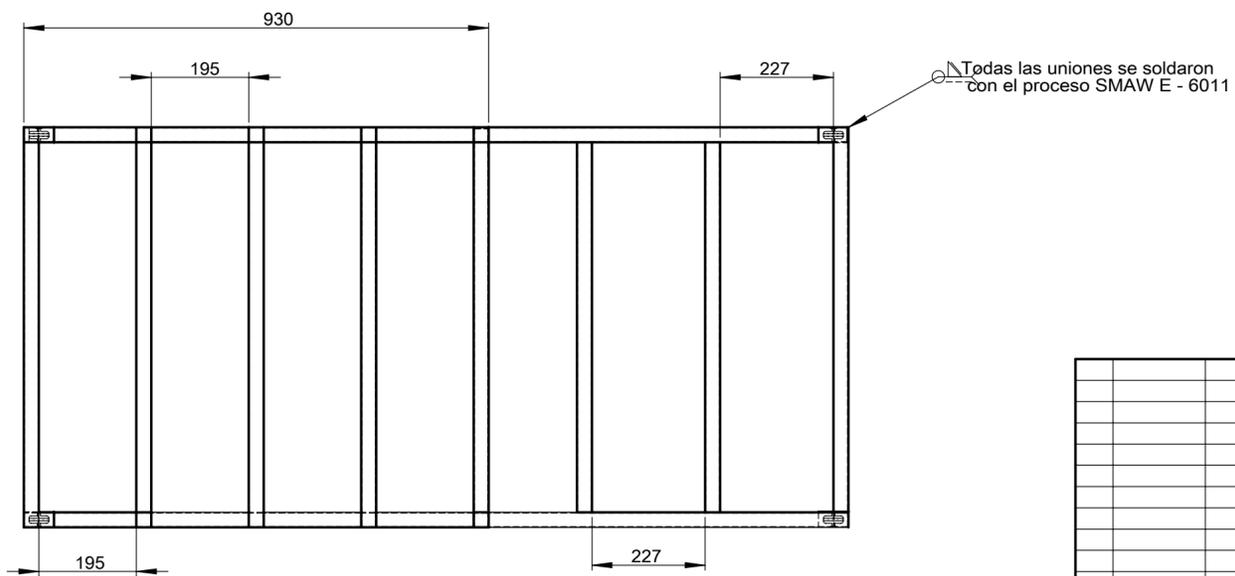
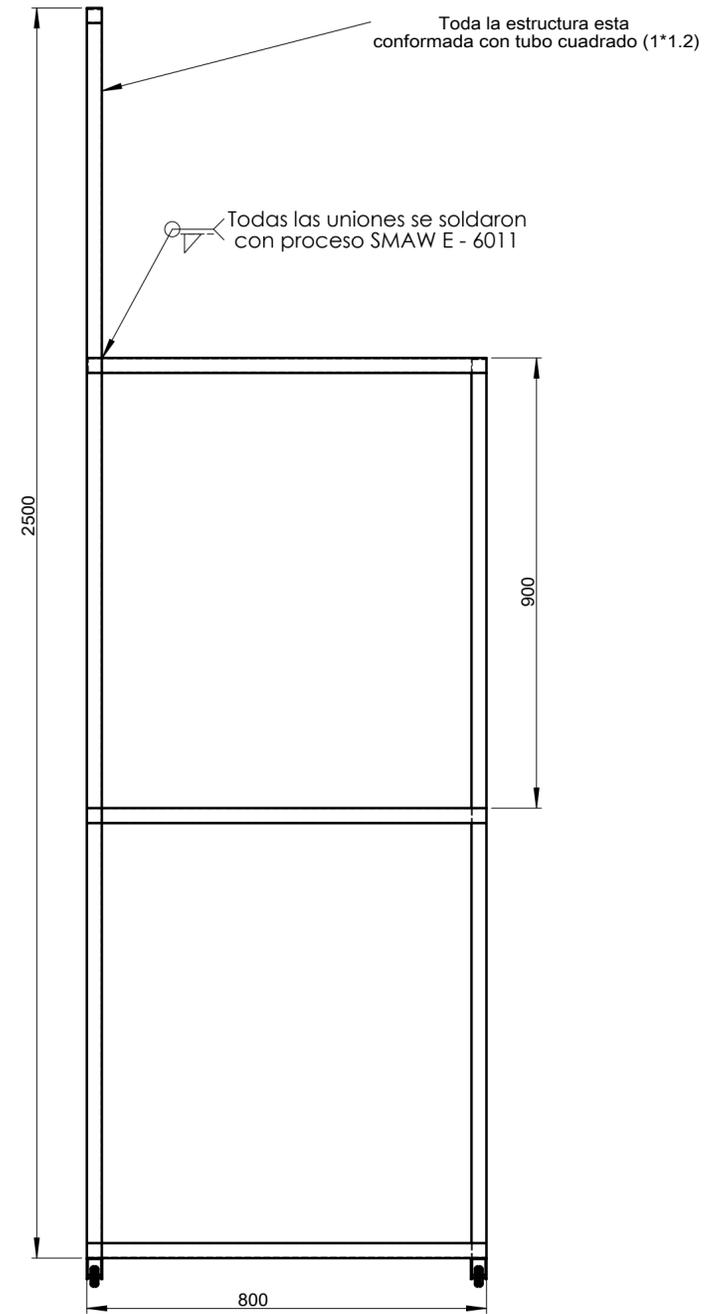
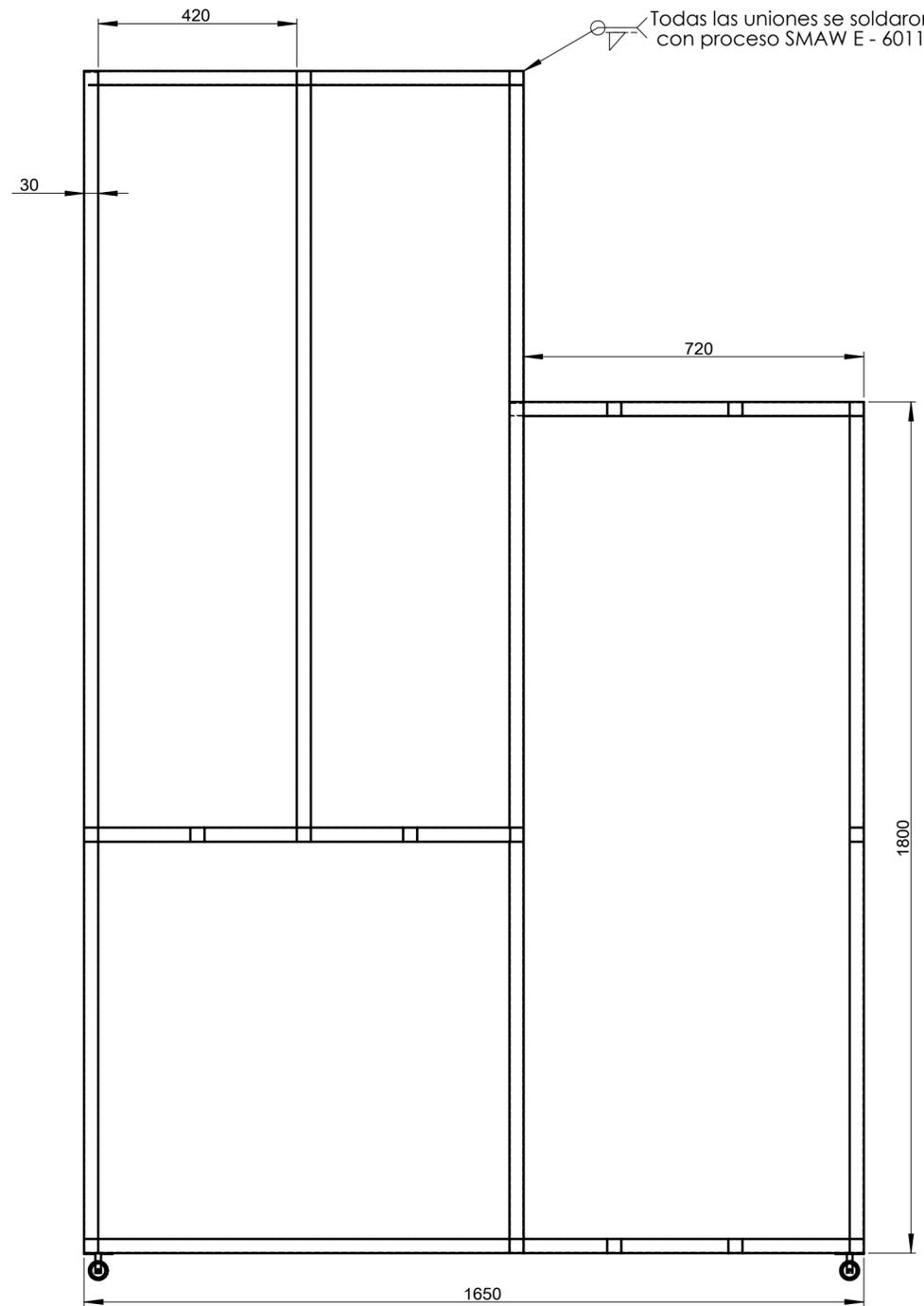
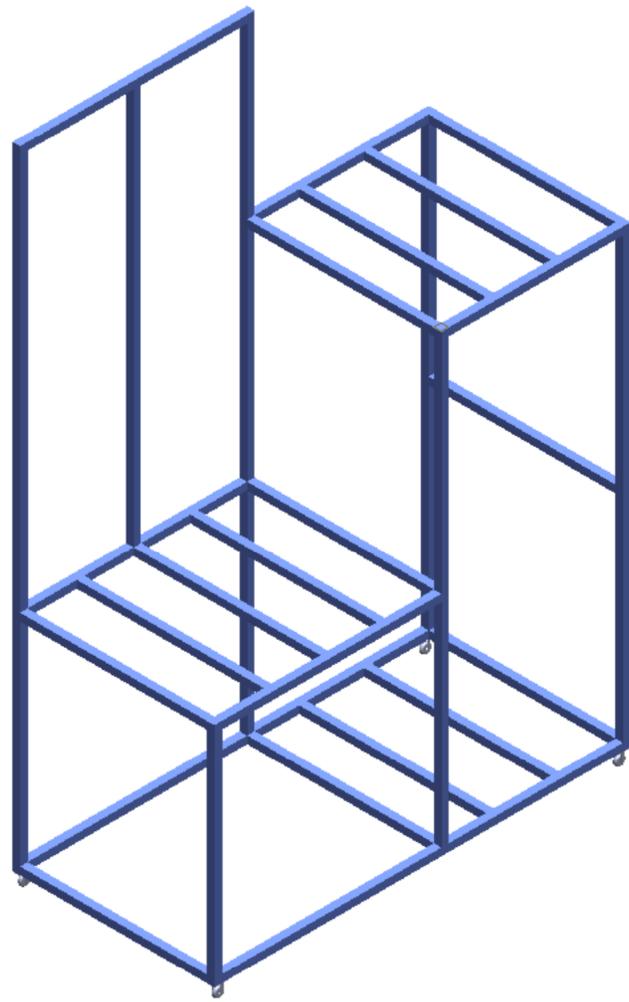
9) RECOMENDACIONES

Serán direccionadas en sí a la práctica realizada.

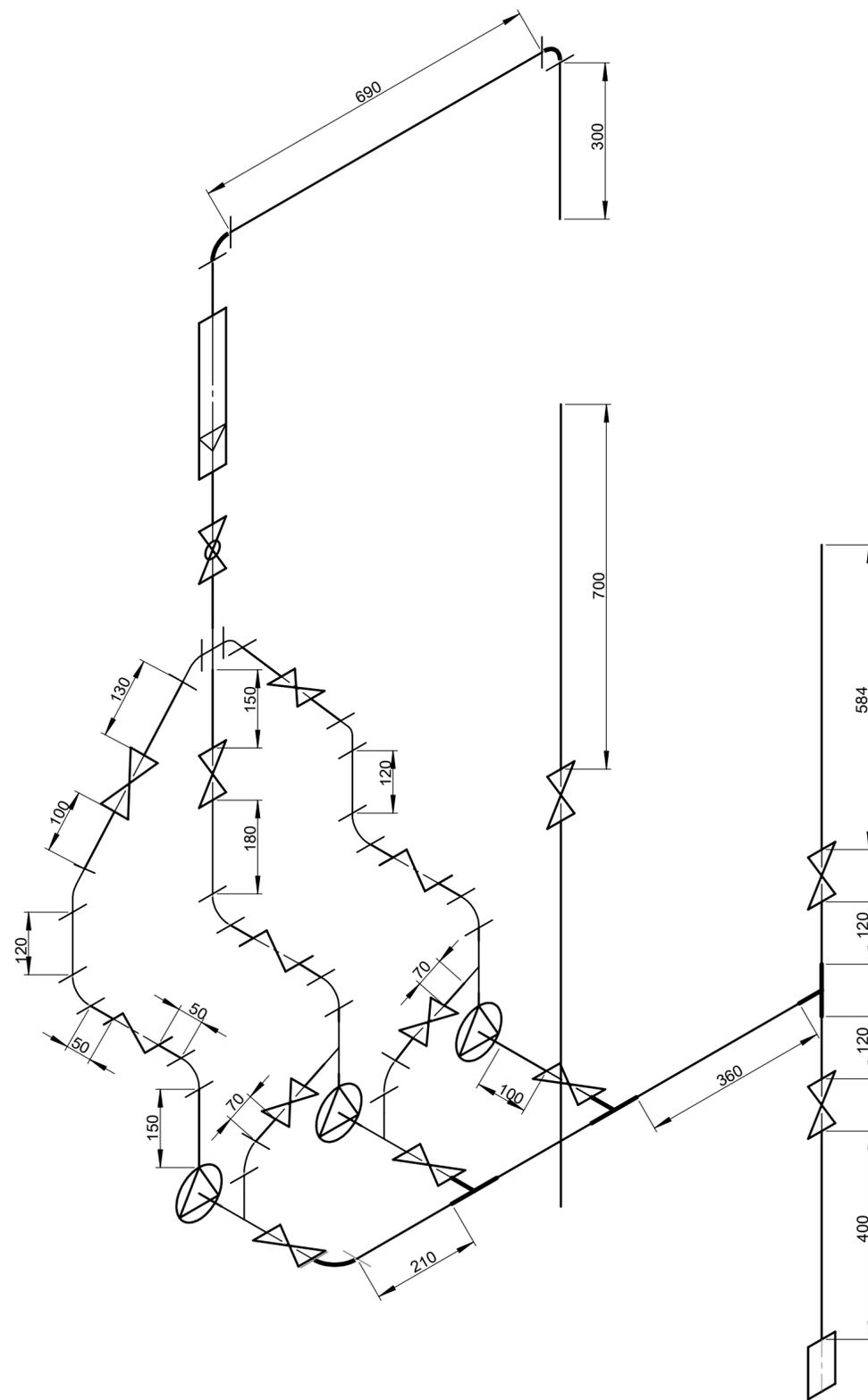
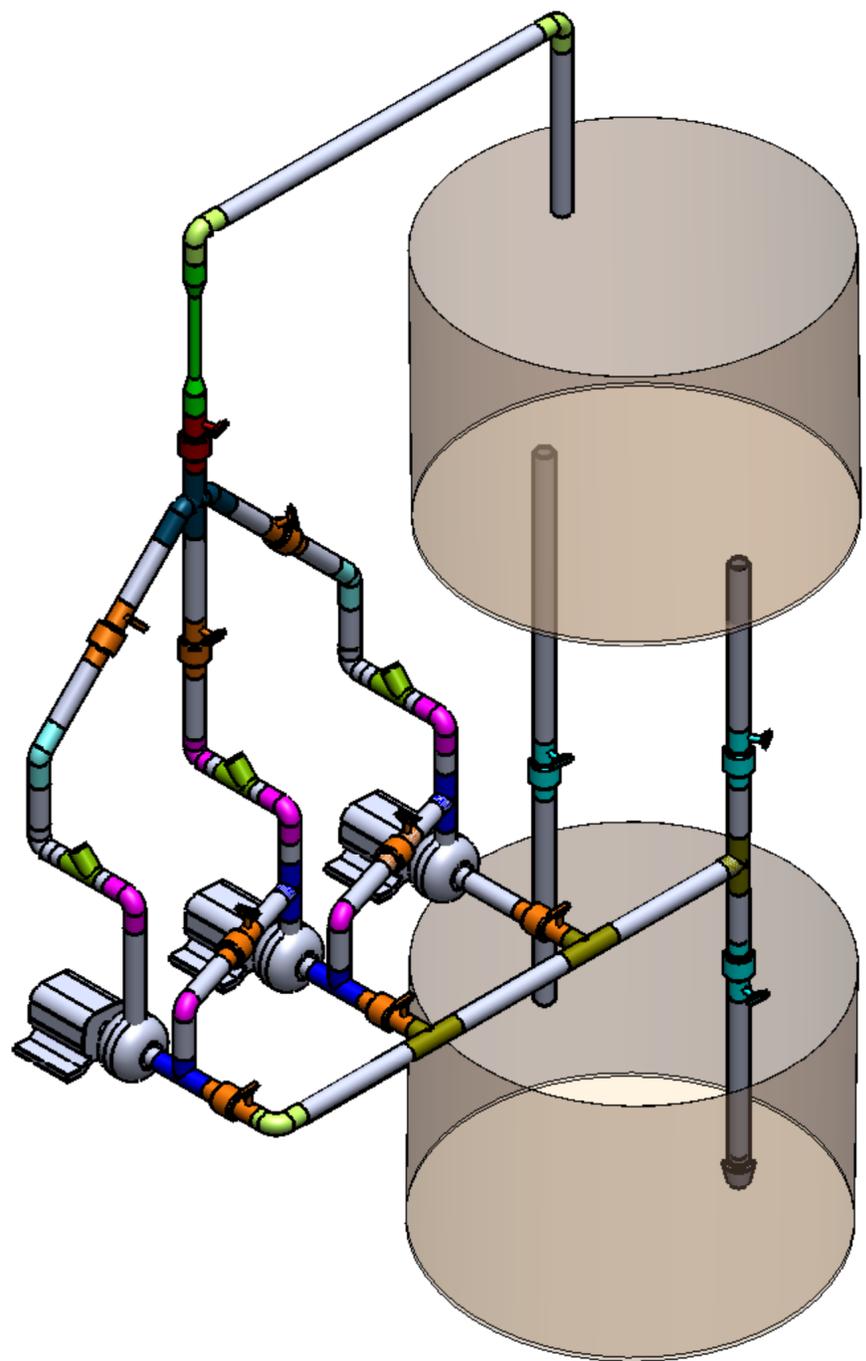
10) BIBLIOGRAFÍA

11) ANEXOS

PLANOS



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A 500	
				±0,1	30 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: ESTRUCTURA DEL BANCO	
				Dib. 16/05/12	Ramírez E.	Escala: 1:10	
				Rev. 16/05/12	Ing. Mayorga A.	Número del dibujo: 02	
				Apro. 16/05/12	Ing. Mayorga A.	(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA			



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: PVC	
				±0,1	20Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: Red de tubería	
				Dib. 16/05/12	Ramirez E.	Escala: 1:10	
				Rev. 16/05/12	Ing. Mayorga A.		
				Apro. 16/05/12	Ing. Mayorga A.		
				UTA		Número del dibujo: 03	
						(Sustitución)	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				