

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS PARA BOMBAS JET DOMICILIARIAS

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

GABRIEL ISRAEL MORA CULQUI

gaboxmc@yahoo.com

DIRECTOR: ING. VICENTE TOAPANTA

vicentoapanta@yahoo.es

Quito, Noviembre 2013

DECLARACIÓN

Yo Gabriel Israel Mora Culqui, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por normatividad institucional vigente.

Gabriel Israel Mora Culqui

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gabriel Israel Mora Culqui, bajo mi supervisión.

Ing. Vicente Toapanta
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios que es y será el ser que iluminará mi camino para ser un hombre útil y servir a la sociedad. A mi familia Galo Mora mi Padre Zoila Culqui mi Madre, y mi hermano Andrés, que han estado en los momentos que más les he necesitado para lograr que se cumplan las metas propuestas en mi vida. A mi director del proyecto de titulación Ing. Vicente Toapanta que no ha dudado en ayudar y prestar las manos para la realización del presente proyecto, a mis profesores, a mi prestigiosa universidad por brindarme los conocimientos y abrirme las puertas de la sabiduría para así lograr ser un buen profesional.

Gabriel I. Mora C.

DEDICATORIA

El proyecto de titulación que tan solo es el final de una larga etapa de un largo camino está dedicado a mi familia, a mis padres por enseñarme que para alcanzar un objetivo se requiere de inquebrantable voluntad y de manera muy especial a mi hermano por su apoyo incondicional.

CONTENIDO GENERAL

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1	BOMBAS CENTRÍFUGAS	1
1.2	INTRODUCCIÓN	1
1.2.1	PARTES DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA	2
1.2.2	FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA	3
1.3	TEORÍA BÁSICA	4
1.3.1	ALTURA DE ASPIRACIÓN Y DESCARGA	4
1.3.2	ALTURA DINÁMICA TOTAL (TDH)	5
1.3.2.1	Altura estática	5
1.3.3	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN	6
1.3.3.1	Pérdidas Primarias	6
1.3.3.1.1	<i>Diagrama de Moody</i>	7
1.3.3.1.2	<i>Rugosidad Relativa (R_r)</i>	9
1.3.3.1.3	<i>Reynolds</i>	10
1.3.3.2	Pérdidas Secundarias	10
1.3.3.2.1	<i>Pérdidas en Válvulas y Accesorios</i>	10
1.3.4	CAPACIDAD	12
1.3.5	VISCOSIDAD	12
1.3.5.1	Viscosidad Cinemática	13
1.3.6	ALTURA NETA POSITIVA DE ASPIRACIÓN (NPSH)	14
1.3.7	CAVITACIÓN	15
1.3.8	GRAVEDAD ESPECÍFICA	16
1.3.9	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	16
1.4	CURVAS CARACTERÍSTICAS	16
1.4.1	CURVA DE FUNCIONAMIENTO	17
1.4.2	CURVA DE EFICIENCIA	18
1.4.2.1	Eficiencia	19
1.4.2.2	Potencia	19

1.5	TIPOS DE BOMBAS	20
1.5.1	DE UNA ETAPA	20
1.5.2	DE ETAPAS MÚLTIPLES	21
1.5.3	JET	21
1.6	MOTORES ELÉCTRICOS	22
1.6.1	GENERALIDADES	22
1.6.2	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	23
1.6.3	POTENCIA NOMINAL	23
1.6.3.1	Efecto de la Altura en la potencia en motores eléctricos	24
1.6.4	VOLTAJE NOMINAL	24
1.6.5	FRECUENCIA	24
1.6.6	CORRIENTE	25
1.7	ELEMENTOS HIDRÁULICOS DE MEDICIÓN Y CONTROL	25
1.7.1	VÁLVULAS PARA CONTROL DE FLUIDO	25
1.7.1.1	Tipos de válvulas	26
1.7.1.1.1	<i>Válvula de desahogo (alivio)</i>	25
1.7.1.1.2	<i>Válvula de globo</i>	26
1.7.1.1.3	<i>Válvula de bola</i>	27
1.7.1.1.4	<i>Válvula de mariposa</i>	27
1.7.1.1.5	<i>Válvula de compuerta</i>	28
1.7.1.1.6	<i>Válvula de retención</i>	28
1.7.2	MEDIDORES DE CAUDAL DE FLUIDOS	29
1.7.2.1	Medidores de Presión Diferencial	29
1.7.2.1.1	<i>Tubo de Venturi</i>	30
1.7.2.1.2	<i>Placa orificio</i>	30
1.7.2.2	Medidores de Área Variable	31
1.7.2.2.1	<i>Rotámetro</i>	31
1.7.3	MEDIDORES DE PRESIÓN	32
1.7.3.1	Tipos de medidores de Presión	32
1.7.3.1.1	<i>Manómetro de tubo en “U”</i>	32
1.7.3.1.2	<i>Manómetro Bourdon</i>	33
1.7.3.1.3	<i>Fuelles</i>	34
1.7.3.1.4	<i>Diafragma</i>	34

1.8	SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL	35
1.8.1	GENERALIDADES	35
1.8.2	EQUIPOS DE UN SISTEMA DE CONTROL	35
1.8.2.1	Tablero o gabinete metálico	36
1.8.2.2	Protecciones Eléctricas	36
1.8.2.3	Pulsadores	37
1.8.2.4	Contactador	37
1.8.3	MEDIDORES DE POTENCIA	38
1.8.3.1	Tipos	38
1.8.3.1.1	<i>Analizador de redes</i>	38
1.8.3.1.2	<i>Vatímetro</i>	39
1.8.3.1.3	<i>Voltímetro- Amperímetro</i>	40
1.9	PIPE FLOW EXPERT	41
1.9.1	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA	41

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

2.1	ALTERNATIVAS PARA OBTENER LAS CURVA CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA	43
2.1.1	VARIANDO EL CAUDAL DE DESCARGA	43
2.1.2	VARIANDO LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR	44
2.1.3	A TRAVÉS DE UN ORDENADOR	45
2.2	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	45
2.3	PARÁMETROS PARA LA CONSTRUCCIÓN	46

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE PRUEBAS

3.1	CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS	48
3.1.1	TUBERÍA	48

3.1.1.1	Cálculos y selección del diámetro interno de la tubería	49
3.1.2	CÁLCULO DEL TDH	51
3.1.2.1	Cálculo de las pérdidas de energía debido a accesorios	52
3.1.2.2	Cálculo de pérdida debido a la tubería	55
3.1.3	SELECCIÓN DE LA BOMBA	57
3.1.4	VÁLVULA DE COMPUERTA	60
3.1.5	VÁLVULA DE BOLA	61
3.1.6	VÁLVULA CHECK	61
3.1.7	ACCESORIOS	61
3.1.8	VÁLVULA AUTOMÁTICA DE ESCAPE DE AIRE	62
3.1.9	TANQUE O DEPÓSITO	63
3.1.10	MANÓMETRO	64
3.1.11	MULTÍMETRO DIGITAL	66
3.1.11.1	Transformador de corriente (TC)	67
3.1.12	ROTÁMETRO	67
3.1.13	SENSOR DE CONTROL DE NIVEL TIPO BOLA	68
3.1.14	SISTEMA DE CONTROL	68
3.1.14.1	Elementos de Control	68
3.1.14.2	Elementos de Fuerza	69
3.1.15	DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES	70
3.1.16	TABLERO DE CONTROL	71
3.1.17	GUARDAMOTOR	71
3.1.18	CONTACTOR	73
3.1.19	LUCES PILOTO	73
3.1.20	RELÉ AUXILIAR	74
3.1.21	BREAKER	74
3.1.22	BORNERAS	75
3.1.23	PARO DE EMERGENCIA	75
3.1.24	SELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA	75
3.2	CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO	76
3.2.1	ESTRUCTURA	76
3.2.2	BOMBA	77
3.2.3	TUBERÍA DE SUCCIÓN	78

3.2.4	TUBERÍA DE DESCARGA	78
3.2.5	DEPÓSITO DE AGUA	79
3.2.6	SISTEMA DE CEBADO	80
3.2.7	TABLERO ELÉCTRICO	81

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO	84
4.1.1	INSTRUCCIONES PARA MANEJAR EL MÓDULO	86
4.2	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO	89
4.2.1	LECTURA DE PARÁMETROS	89
4.2.2	ANÁLISIS DEL MÓDULO DE PRUEBAS	91
4.2.3	ANÁLISIS Y SIMULACION DE LAS GRÁFICAS	92
4.2.3.1	Gráficas de la curva característica de la bomba	92
4.2.3.1.1.1	<i>Curva de Funcionamiento</i>	92
4.2.3.1.1.2	<i>Curva de Eficiencia</i>	95
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	97

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	102
5.2	RECOMENDACIONES	104
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
	ANEXOS	108
	ANEXOS PLANOS	123

ÍNDICE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1 Bomba Centrífuga.....	1
Figura 1.2 Partes constitutivas de una Bomba Centrífuga.....	2
Figura 1.3 Funcionamiento de la Bomba Centrífuga.....	4
Figura 1.4 Altura de aspiración y descarga.....	5
Figura 1.5 Partes del diagrama de Moody.....	8
Figura 1.6 Rugosidad exagerada en tubería.....	9
Figura 1.7 Curva de funcionamiento (Altura vs Caudal).....	17
Figura 1.8 Curva de eficiencia (Eficiencia vs Caudal).....	18
Figura 1.9 Bomba de una etapa.....	20
Figura 1.10 Bomba Multi-etapas.....	21
Figura 1.11 Bomba Jet.....	22
Figura 1.12 Motor Monofásico.....	22
Figura 1.13 Principio de Funcionamiento.....	23
Figura 1.14 Válvula de alivio QR-100.....	26
Figura 1.15 Válvula globo con asiento metálico.....	27
Figura 1.16 Válvula de bola.....	27
Figura 1.17 Válvula de compuerta.....	28
Figura 1.18 Válvula de retención en acero inoxidable ZRD-3.....	29
Figura 1.19 Medidor Venturi.....	30
Figura 1.20 Tipos placa orificio.....	31
Figura 1.21 Principio de un Rotámetro.....	32
Figura 1.22 Tubo en U.....	33
Figura 1.23 Manómetro Bourdon.....	33
Figura 1.24 Fuelle.....	34
Figura 1.25 Diafragma.....	35
Figura 1.26 Tablero Eléctrico.....	36
Figura 1.27 Pulsadores.....	37
Figura 1.28 Contactor Eléctrico.....	38

Figura 1.29 Analizador de redes trifásico.....	39
Figura 1.30 Conexión vatímetro monofásico.....	40
Figura 1.31 Medición de Potencia (Voltímetro - Amperímetro).....	40
Figura 1.32 Interfaz Pipe Flow Expert.....	41
Figura 1.33 Ingreso de datos de la bomba.....	42

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Altura Estática.....	51
Figura 3.2 Válvula de compuerta.....	60
Figura 3.3 Válvula de bola.....	61
Figura 3.4 Válvula Check.....	61
Figura 3.5 Válvula automática de escape de aire.....	63
Figura 3.6 Selección del manómetro.....	64
Figura 3.7 Manómetro (0-100PSI).....	66
Figura 3.8 Transformador de corriente.....	67
Figura 3.9 Diagrama de control.....	69
Figura 3.10 Diagrama de fuerza.....	70
Figura 3.11 Estructura metálica.....	76
Figura 3.12 Instalación de la bomba.....	77
Figura 3.13 Tubería de Succión.....	78
Figura 3.14 Tubería de Descarga.....	79
Figura 3.15 Depósito de agua.....	80
Figura 3.16 Cebado de la bomba.....	80
Figura 3.17 Tablero de control.....	81
Figura 3.18 Imágenes del banco de pruebas para bombas JET.....	83

CAPÍTULO IV

Figura 4.1 Diagrama Hidráulico (Proceso).....	84
Figura 4.2 Tablero de control.....	85
Figura 4.3 Análisis para representar la gráfica.....	91

Figura 4.4 Curva de funcionamiento de la bomba JET-XJM100L después del ensayo.....	95
Figura 4.5 Curva de eficiencia de la bomba JET-XJM100L después del ensayo... ..	97
Figura 4.6 Análisis de la curva de funcionamiento.....	98
Figura 4.7 Análisis de la curva de eficiencia.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1 Partes constitutivas de una Bomba Centrífuga.....	3
Tabla 1.2 Valores de Rugosidad Absoluta (ϵ).....	9
Tabla 1.3 Régimen de fluidos.....	10
Tabla 1.4 Valores de L_e/D_i para accesorios y válvulas.....	12
Tabla 1.5 Viscosidades de líquidos diversos.....	13
Tabla 1.6 Variación de Potencia.....	24

CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Variando el caudal de descarga.....	44
Tabla 2.2 Variando las revoluciones del motor.....	44
Tabla 2.3 A través de un Ordenador.....	45
Tabla 2.4 Método más conveniente para la construcción.....	46

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Características del Sistema.....	48
Tabla 3.2 Consideraciones técnicas para la tubería.....	49
Tabla 3.3 Accesorios y características.....	53
Tabla 3.4 Resumen de pérdida de energía en accesorios y válvulas.....	54
Tabla 3.5 Selección de los accesorios hidráulicos.....	62
Tabla 3.6 Amperaje en conductores.....	71
Tabla 3.7 Guardamotor.....	73
Tabla 3.8 Contactor.....	73
Tabla 3.9 Luces piloto.....	74
Tabla 3.10 Relé Auxiliar.....	74
Tabla 3.11 Breaker.....	75
Tabla 3.12 Construcción Estructura.....	77

Tabla 3.13 Instalación de la bomba.....	77
Tabla 3.14 Instalación de la tubería de Succión.....	78
Tabla 3.15 Instalación de la tubería de Descarga.....	79
Tabla 3.16 Instalación del depósito de agua.....	80
Tabla 3.17 Instalación de cebado.....	81
Tabla 3.18 Construcción de tablero de control.....	81

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 Soluciones a fallos comunes en el módulo.....	88
Tabla 4.2 Datos del ensayo (Bomba JET- XJM100L).....	93
Tabla 4.3 Cálculo de la Altura Total (Bomba JET- XJM100L).....	93
Tabla 4.4 Cálculo de la eficiencia (Bomba JET- XJM100L).....	97
Tabla 4.5 Especificaciones técnicas de la bomba JET- XJM100L después del ensayo.....	101
Tabla 4.6 Curvas de la bomba JET- XJM100L después del ensayo.....	101

ANEXOS

CAPÍTULO I

Anexo A Diagrama de Moody.....	110
Anexo B Viscosidad cinemática del agua a diferentes temperaturas.....	111
Anexo C Work Pump: Bombas Tipo Jet.....	112
Anexo D Tabla de Amperajes de motores y protección de sus ramales.....	114

CAPÍTULO III

Anexo E Cebado de Bomba Jet.....	116
Anexo F Ábaco para el cálculo de los factores que intervienen en una tubería..	117
Anexo G Bomba JET-XJM100L.....	118
Anexo H Tanques que oferta Plastigama.....	119
Anexo I Multímetro Digital-Camsco.....	120
Anexo J Rotámetro.....	121
Anexo K Hoja de datos.....	122

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 BOMBAS CENTRÍFUGAS

1.2 INTRODUCCIÓN

Para el transporte de líquidos desde un recipiente a otro a través de una red de tuberías se utiliza generalmente algún tipo de bomba mecánica. Por lo tanto una bomba es un dispositivo empleado para elevar, comprimir líquidos; en definitiva para mantener un líquido en movimiento. También las bombas son manejadas para elevar la presión o aumentar caudal en las redes de agua.

Las bombas centrífugas (Figura 1.1) constan de uno o más impulsores movidos por un motor eléctrico a través de un acoplamiento. Las características de funcionamiento de las bombas centrífugas dependen de su tamaño, velocidad y diseño.

Entre las aplicaciones de bombeo de líquidos se pueden mencionar como por ejemplo el transporte de: Agua, Ácidos o productos derivados del petróleo, como benceno o nafta, desde los tanques de almacenamiento hasta las unidades procesos. El fluido a transportar puede ser un líquido de baja viscosidad o muy viscoso. Puede ser un líquido limpio o contener partículas en suspensión o ser muy corrosivo. Todos estos factores influyen en la selección de una bomba.



Figura 1.1 Bomba Centrífuga

Las bombas centrífugas poseen las siguientes características con respecto a otros tipos de bombas:

- Las centrífugas pueden funcionar a velocidades relativamente elevadas, para una presión y caudal dados.
- Su caudal es constante y elevado, tienen bajo mantenimiento.
- Son pequeñas y más ligeras.
- El flujo del líquido sale sin intermitencias.
- Rendimiento es bajo cuando transportan líquidos viscosos.

1.2.1 PARTES DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

“Las partes constitutivas de una bomba centrífuga dependen de su construcción y tipo”¹, por lo que a continuación se ilustra la nomenclatura y nombres de algunas de las piezas más usadas. Véase la figura 1.2.

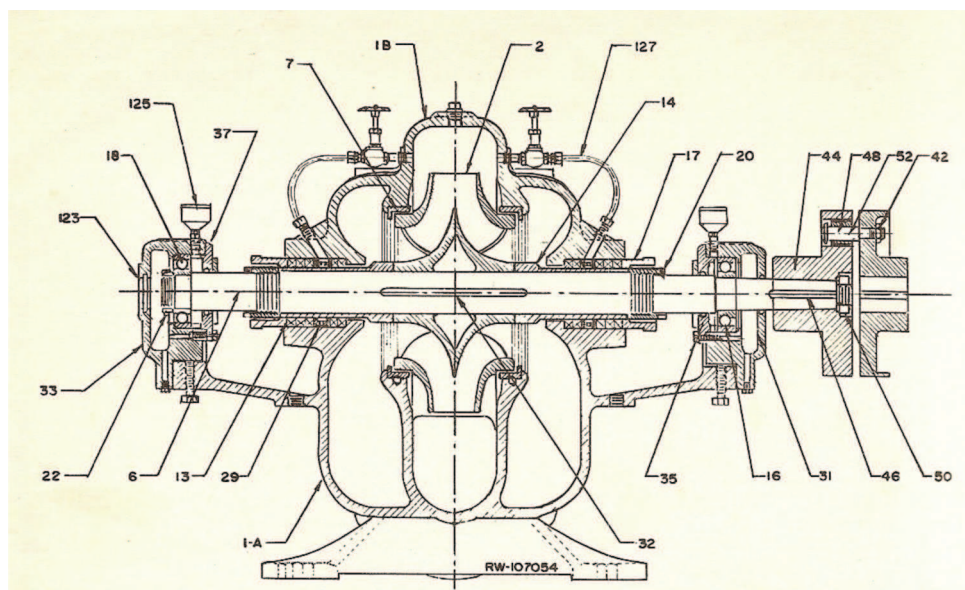


Figura 1.2 Partes constitutivas de una Bomba Centrífuga.

¹ Viejo Zubicaray (2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. Pág. 35, 36. Editorial Limusa.

A continuación en la tabla 1.1 se presentan las partes ilustradas de la figura 1.2.

Nomenclatura recomendada para piezas de las bombas Centrifugas.			
Ref. No.	Nombre de la pieza	Ref. No.	Nombre de la pieza
1	Carcasa	31	Cubierta de cojinete (interno)
1A	Carcasa (mitad inferior)	32	Cuña del impulsor
1B	Carcasa (mitad superior)	33	Cubierta de cojinete (externo)
2	Impulsor	35	Tapa de cojinete (interno)
6	Árbol de la bomba	37	Tapa de cojinete (externo)
7	Anillo de la carcasa	42	Acoplamiento (mitad en el impulsor)
13	Empaquetadura	44	Acoplamiento (mitad en la bomba)
14	Manguito del árbol	46	Cuña del acoplamiento
16	Cojinete (interno)	48	Buje del acoplamiento
17	Collarín del estopero	50	Contratuerca del acoplamiento
18	Cojinete (externo)	52	Pasador del acoplamiento
20	Tuerca de manguito de árbol.	123	Tapa de extremo de cojinete
22	Contratuerca del cojinete	125	Aceitera o grasera
29	Anillo de cierre hidráulico	127	Tubo de sello

Tabla 1.1 Partes constitutivas de una Bomba Centrífuga

Fuente: Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. Viejo Zubicaray (2000). Pág. 35, 36.

1.2.2 FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

Una bomba centrífuga consta de un elemento móvil, denominado impulsor o rodete que está ubicado en una cámara cerrada denominada carcasa o voluta. El impulsor esta acoplado a un eje (motor). Entonces mediante la energía conferida por un motor, que puede ser eléctrico o de combustión interna permitirá que el impulsor gire a una velocidad que depende de la carga producida por la bomba.

Por lo tanto el líquido contenido en el puerto de succión, tal como se observa en la figura 1.3, por efecto de la fuerza centrífuga, incrementa su energía cinética la cual se transforma parcialmente en energía potencial en la carcasa de la bomba. De este modo el líquido sale del impulsor y avanza a lo largo de la voluta o carcasa.

Así para la conversión de velocidad de caudal en presión es necesario utilizar difusores, tazones, engranajes dependiendo del diseño de la bomba. Por lo que la energía debida a la alta velocidad, se transforma en energía relativamente a baja velocidad, de este modo aumentando la energía de presión en el puerto o boquilla

de descarga. En consecuencia el diferencial de presión que es capaz de desarrollar una bomba centrífuga, depende además del diseño, la velocidad de rotación y el diámetro del impulsor.

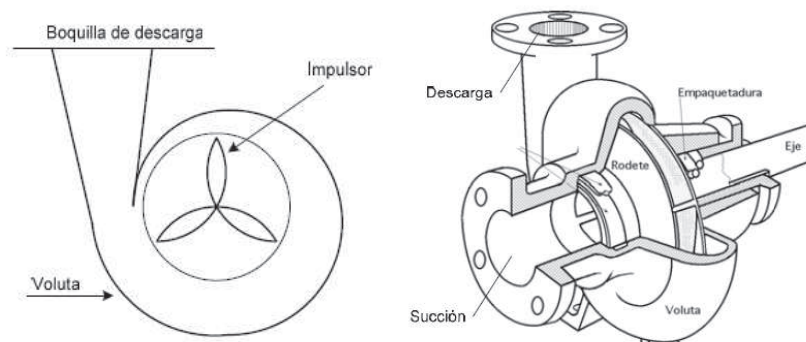


Figura 1.3 Funcionamiento de la Bomba Centrífuga

1.3 TEORÍA BÁSICA

Para la construcción del módulo es necesario conocer la teoría básica en la que se basan las bombas centrífugas. Además los términos técnicos ayudaran ampliamente para la selección y construcción del módulo.

1.3.1 ALTURA DE ASPIRACIÓN Y DESCARGA

Se entiende la altura de aspiración como “la distancia que alcanza desde el nivel del líquido hasta el eje de la bomba”.² (Figura 1.4)

Mientras que la altura de descarga se refiere a la distancia entre el eje de la bomba y el punto de descarga del líquido. (Figura 1.4)

² Carnicer / Mainar (1996). Bombas Centrífugas. Pág. 20. Thomson Editores Spain.

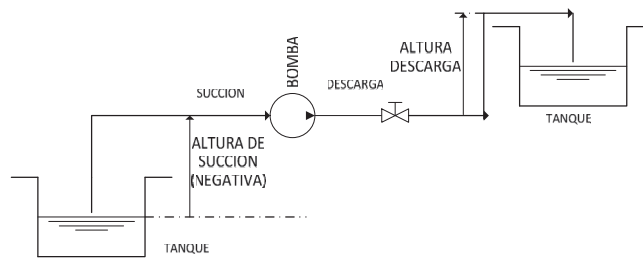


Figura 1.4 Altura de aspiración y descarga

1.3.2 ALTURA DINÁMICA TOTAL (TDH)

Una bomba debe vencer la resistencia de un sistema de bombeo para lograr que el líquido fluya totalmente en el sistema. Por lo tanto esta resistencia del flujo del líquido es conocida como Altura Dinámica Total. Todos los valores de altura son medidos en unidades de longitud como metros o pies.

La altura dinámica total (TDH) se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$TDH = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_0 + \sum (h_f + h_m) + \frac{V^2}{2 \times g} \quad (\text{EC 1.1})$$

Dónde:

- $\frac{P_2 - P_1}{\gamma}$ = Altura de presión en la entrega del líquido
- Z_0 = Altura estática
- $\sum (h_f + h_m)$ = Sumatoria de pérdidas de energía
- $\frac{V^2}{2 \times g}$ = Columna de velocidad

1.3.2.1 Altura Estática

Altura estática representa la resistencia del sistema antes de que el fluido entre en movimiento. Los componentes primarios de la altura estática son las diferencias de elevación entre:

- La superficie del líquido al punto de succión.

- La superficie de líquido al punto de descarga.

“La altura estática correspondiente a cualquier presión específica es dependiente del peso del líquido de acuerdo a la siguiente fórmula”³:

$$H = \frac{P \times 2.31}{Gr} \quad (\text{EC 1.2})$$

Dónde:

- H = Es la altura en pies
- P = Es la presión en libras/pulgadas²
- Gr = Es la gravedad específica del líquido

1.3.3 PÉRDIDA POR FRICCIÓN

Son pérdidas expresadas en unidades de longitud, necesarias para vencer la resistencia de las tuberías de succión, descarga y los accesorios que contenga el sistema. Estas aparecen cuando se “varía la velocidad de un fluido, tanto en dirección como en magnitud; se genera una fricción adicional a la fricción en la superficie, debida al flujo a través de la tubería recta”.⁴

1.3.3.1 Pérdidas Primarias

Son las que aparecen cuando se pone en contacto la superficie de la tubería con el fluido.

Darcy-Weisbach plantea una ecuación de uso universal para determinar las pérdidas de energía por unidad de peso o altura debido a la fricción del fluido entre las paredes internas del tubo. La ecuación Darcy-Weisbach permite calcular las pérdidas por fricción en función del fluido, la velocidad, diámetro de la tubería y tipo de material. La ecuación es la siguiente:

³ Goulds Pump Inc. (1987). Manual de Instalación, operación y mantenimiento. Pag.1-5.

⁴ McCabe/Smith (2002). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Pág. 125. Editorial McGraw Hill

$$h_l = f \frac{L \times V^2}{D \times 2 \times g} \text{ (EC. 1.3)}$$

Dónde:

- h_l = Pérdidas por fricción en metros
- f = Coeficiente de fricción del tramo (adimensional)
- L = Longitud del tramo en metros
- V = Velocidad media del flujo m/s
- g = Aceleración de la gravedad 9.8 m/s^2
- D = Diámetro interno de la tubería en metros

1.3.3.1.1 Diagrama de Moody

Uno de los métodos para determinar el coeficiente de fricción (f) es usando el diagrama de Moody (Ver Anexo A). Las partes de este diagrama se indican en la figura 1.5. EL diagrama de Moody posee las siguientes características:

- Resolver todos los problemas de pérdida de carga primaria en una tubería de cualquier diámetro, material y caudal.
- Puede emplearse en tuberías de sección no circular y circular.
- Obtener el factor de fricción (f) en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa. Y reemplazarlo en la ecuación de Darcy-Weisbach y calcular la pérdida por fricción.

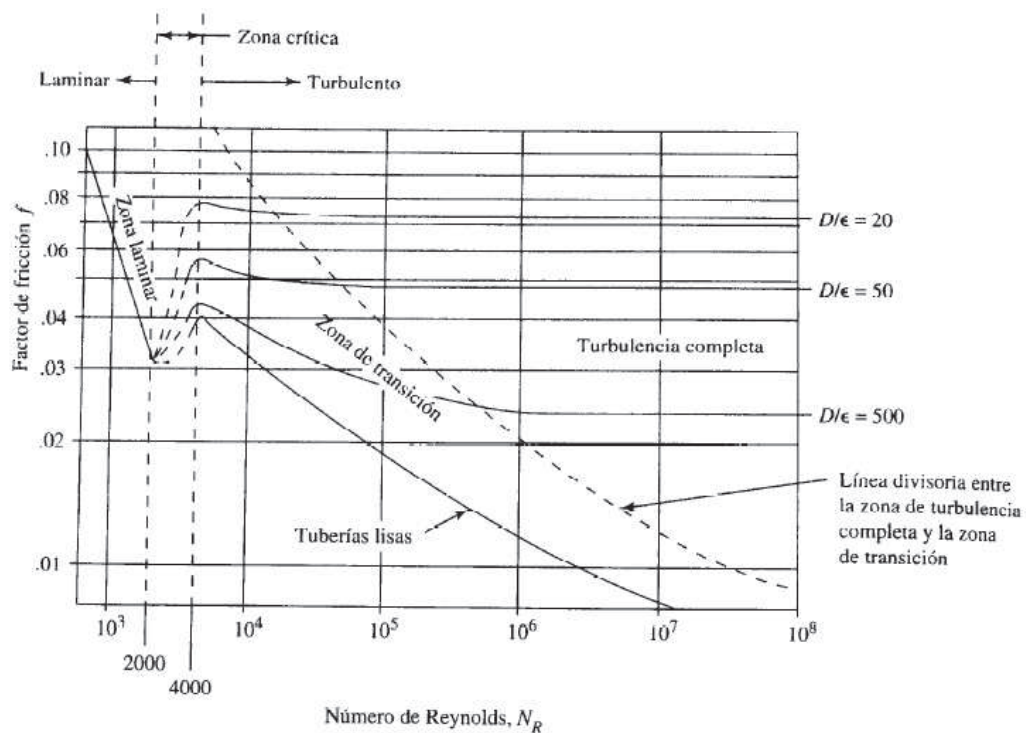


Figura 1.5 Partes del diagrama de Moody

“En la figura 1.5 podemos mencionar lo siguiente”⁵:

- Para un flujo con un número de Reynolds dado, conforme aumenta la rugosidad relativa el factor de fricción disminuye.
- Para una rugosidad relativa, el factor de fricción disminuye con el aumento del número de Reynolds hasta que se alcanza la zona de turbulencia completa.
- Conforme aumenta el número de Reynolds aumenta la rugosidad relativa.
- En la zona de turbulencia completa el número de Reynolds no tiene ningún efecto.

⁵ Robert L. Mott. Mecánica de Fluidos Aplicada. 6ª Edición. Pág.236. Edición Prentice Hall

1.3.3.1.2 Rugosidad Relativa (R_r)

La rugosidad relativa es la responsable de las pérdidas de energía debido a la fricción en una tubería. Por lo tanto es una relación entre la rugosidad absoluta de la pared interna del material y el diámetro interno de esta (Figura 1.6). Se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$R_r = \frac{\varepsilon}{D_i} \text{ (EC. 1.4)}$$

Dónde:

- ε = Rugosidad absoluta en milímetros
- D_i = Diámetro interno de la tubería en milímetros

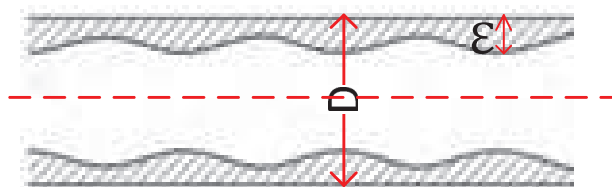


Figura 1.6 Rugosidad exagerada en tubería

La rugosidad relativa es importante ya que es un parámetro para determinar f . En consecuencia la tabla 1.2 muestra el valor de rugosidad absoluta (ε) para algunos tubos existentes.

Material de tubería	Rugosidad Absoluta (ε)
Vidrio, cobre o latón estirado	<0.001 (o lisa) mm
Latón Industrial	0.025 mm
Hierro galvanizado	0.15-0.20 mm
Acero soldado, oxidado	0.4 mm
Plástico PVC	0.005 mm
Duelas de madera	0.183-0.91 mm
Cemento alisado	0.3-0.8 mm

Tabla 1.2 Valores de Rugosidad Absoluta (ε)

Fuente: Propia

1.3.3.1.3 Reynolds

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que permite definir las fuerzas inerciales y viscosas de un fluido. Este número se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_e = \frac{V \times D}{\nu} \quad (\text{EC. 1.5})$$

Dónde:

- V = Velocidad del fluido en m/s
- D = Diámetro interno de la tubería en metros
- ν = Viscosidad cinemática del fluido m^2/s

El número de Reynolds permite establecer el movimiento del fluido a través de la tubería. La tabla 1.3 establece los tipos de régimen del fluido al circular por la tubería.

Tipo de Régimen	Numero de Reynolds
Laminar	$R_e < 2000$
Transición	$2000 \leq R_e \leq 4000$
Turbulento	$R_e > 4000$

Tabla 1.3 Régimen de fluidos

Fuente: Propia

1.3.3.2 Pérdidas Secundarias

Están aparecen en la transición del fluido a través de válvulas y accesorios.

1.3.3.2.1 Pérdida en Válvulas y Accesorios

“Las válvulas y accesorios alteran las líneas normales de flujo y dan lugar a fricción”.⁶

⁶McCabe/Smith (2002). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Pág. 128. Editorial McGraw Hill

La pérdida de fricción h_f puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$h_f = k \frac{V^2}{2 \times g} \quad (\text{EC. 1.6})$$

Dónde:

- V = velocidad del fluido m/s
- g = Aceleración de la gravedad m/s^2
- k = Coeficiente de resistencia (es diferente para cada accesorio o válvula)

El coeficiente de resistencia k se puede calcular de la siguiente manera:

$$k = (L_e/D_i) \times f_t \quad (\text{EC. 1.7})$$

Dónde:

- L_e = Longitud equivalente
- D_i = Diámetro interno de la tubería
- " f_t " = El término f_t es el factor de fricción en la tubería a la que está conectada el accesorio o acoplamiento"⁷

En la tabla 1.4 se indican los valores de la resistencia de longitud equivalente en número de diámetros de tubería (L_e/D_i), para diversas válvulas como accesorios que se puedan usarse en una instalación de bombeo

⁷ Robert L. Mott. Mecánica de Fluidos Aplicada. 6ª Edición. Pág.296. Edición Prentice Hall

Accesorios		L_e/D_i
Valv. de compuerta (abierta)		8
Valv. de globo (abierta)		340
Valv. de retención horizontal oscilatoria (Check)		50
Valv. de retención horizontal (Check)		100
Valv. de pie con disco de colador		420
Valv. de pie con disco con bisagra		75
Codos estándar	90°	30
	45°	16
	90° radio largo	16
	180°	50
Curvas de 90°		20
T en línea(con derivación en la línea principal y lateral cerrada)		20
T en línea (con circulación por derivación)		60
Unión Universal		6

**Tabla 1.4 Valores de L_e/D_i para accesorios y válvulas
Fuente: Propia**

1.3.4 CAPACIDAD

El caudal o capacidad es “la cantidad de líquido o fluido en general que atraviesa una sección transversal determinada de una conducción, como puede ser la boca de impulsión de una bomba, por unidad de tiempo”⁸. Se expresa por medio de la siguiente relación:

$$Q = V \times A \text{ (EC. 1.8)}$$

Dónde:

- V =Es la velocidad del caudal en m/s
- A =Es la sección de la tubería en m²

1.3.5 VISCOSIDAD

La viscosidad se entiende como la propiedad que tienen los fluidos debido a su estructura molecular a oponerse al desplazamiento del fluido.

⁸Carnicer / Mainar (1996). Bombas Centrifugas. Pág. 20. Thomson Editores Spain.

Igualmente se debe recordar que la viscosidad del fluido cambia con la temperatura y las pérdidas por fricción también se ven afectadas por la viscosidad del fluido.

Líquido	Densidad ρ kg/m ³	Viscosidad μ kg/m ³	Tensión superficial ó N/m*	Presión de vapor p_v N/m ²	Módulo de elasticidad K N/m ²	Parámetro de viscosidad C**
Gasolina	680	2.92 E - 4	2. 16 E - 2	5.51 E + 4	9.58 E + 8	3.68
Glicerina	1260	1.49	6.33 E - 2	1.4 E - 2	4.34 E + 9	28.0
Queroseno	804	1.92 E - 3	2.8 E - 2	3.11 E + 3	1.6 E + 9	5.56
Mercurio	13550	1.56 E - 3	4.84 E - 1	1.1 E - 3	2.55 E + 10	1.07
Metanol	791	5.98 E - 4	2.25 E - 2	1.34 E + 4	8.3 E + 8	4.63
Petróleo SAE 10W	870	1.04 E -1***	3.6 E - 2	-	1.31 E + 9	15.7
Petróleo SAE 10W30	876	1.7 E-1***	-	-	-	14.0
Petróleo SAE 30W	891	2.9 E-1***	3.5 E - 2	-	1.38 E + 9	18.3
Petróleo SAE 50W	902	8.6 E-1***	-	-	-	20.2
Agua	998	1.00 E - 3	7.28 E - 2	2.34 E + 3	2.19 E + 9	---
Agua de mar (30%)	1025	1.07 E - 3	7.28 E - 2	2.43 E + 3	2.33 E + 9	7.28

Tabla 1.5 Viscosidades de líquidos diversos

Fuente: Hidráulica de Tuberías. Juan Saldarriaga. Pág. 659.

1.3.5.1.1 Viscosidad Cinemática

“La relación de la viscosidad dinámica μ a la densidad ρ se denomina viscosidad cinemática”⁹. Se representa en la siguiente ecuación:

$$v = \frac{\mu}{\rho} \text{ (EC. 1.9)}$$

Dónde:

- μ =Viscosidad dinámica del fluido
- ρ =Densidad del fluido

En el Anexo B se muestra la viscosidad cinemática del agua a diferentes temperaturas.

⁹ Claudio Mataix. Mecánica de Fluidos y maquinas Hidráulicas (2ª Edición.). Pág. 142. Ediciones del Castillo S.A.

1.3.6 ALTURA NETA POSITIVA DE ASPIRACIÓN (NPSH)

NPSH es el término que describe si las condiciones de presión en el lado de succión son adecuadas para una operación apropiada de la bomba.

“Hay que distinguir”.¹⁰

- NPSH disponible o necesario.
- NPSH requerido.

a) NPSH Necesario (NPSH_A)

NPSH_A depende del conjunto de la instalación elegida para la bomba y es una particularidad independiente del tipo de bomba. Los factores que afectan el NPSH_A incluyen:

- La presión que actúa sobre la superficie del fluido.
- Elevación relativa del fluido.
- Pérdidas de fricción en la tubería de succión.

“Entonces para determinar NPSH_A se utiliza la siguiente formula”¹¹.

$$NPSH_A = \frac{10 P_a}{\gamma} - H_s - P_{ca} - \frac{10 T_v}{\gamma} \quad (\text{EC. 1.10})$$

Dónde:

- P_a = Es la Presión atmosférica en kg/cm²
- H_s = Altura geométrica de aspiración, en metros
- γ = Peso específico del líquido en Kg/dm³

¹⁰ Carnicer / Mainar (1996). Bombas Centrifugas. Pág. 22, 32. Thomson Editores Spain.

¹¹ Carnicer / Mainar (1996). Bombas Centrifugas. Pág. 33. Thomson Editores Spain.

- P_{ca} = Pérdidas de carga en la aspiración en metros
- T_v = Tensión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo en kg/cm^2

b) NPSH Requerido ($NPSH_R$)

$NPSH_R$ es un dato básico peculiar de cada tipo de bomba, variable según modelo, tamaño y condiciones de servicio, que se determina por prueba o cálculo, siendo un dato a facilitar por el fabricante el cual se a obtenido a través de ensayos. El requerido ($NPSH_R$), que lo da el fabricante del equipo generalmente se encuentra indicado en las curvas de eficiencia.

Para que una bomba funcione correctamente sin cavitación, a de cumplirse que el $NPSH_A$ disponible en la instalación, sea igual o mayor que el $NPSH_R$ por la bomba.

$$NPSH_A \geq NPSH_R \text{ (EC. 1.11)}$$

Con esto se evitan problemas como:

- Bajo rendimiento de la bomba.
- Excesiva vibración.
- Operación con ruido.
- Falla prematura de los componentes.
- Cavitación.

1.3.7 CAVITACIÓN

La cavitación se manifiesta con la formación de burbujas de aire en el líquido bombeado y está acompañada por vibraciones ruidosas, reducción del caudal y

en menor medida del rendimiento de la bomba. Se provoca por el pasaje rápido de pequeñas burbujas de vapor a través de la bomba, su colapso genera pequeños chorros que pueden causar graves daños.

1.3.8 GRAVEDAD ESPECÍFICA

“Gravedad específica es el cociente entre la densidad de una sustancia entre la densidad del agua”¹².

$$Gr = \frac{\rho_1}{\rho_2} \text{ (EC. 1.12)}$$

Dónde:

- ρ_1 =Densidad de la sustancia
- ρ_2 =Densidad del Agua

Es importante conocer la gravedad específica del fluido a transportar porque afecta los requerimientos de potencia de la bomba. Afecta a la información de presión que es convertida a pies de altura utilizando la gravedad específica del fluido bombeado como se muestra en la ecuación 1.2.

1.3.9 VELOCIDAD DE ROTACIÓN

Este valor es indicado directamente por el fabricante de la bomba. La velocidad del motor es función de la frecuencia del sistema eléctrico local y de número de polos del motor. Por tanto, al seleccionar la velocidad de la bomba se debe procurar que ella sea compatible con las velocidades normales de motores eléctricos, las cuales aparecen tabuladas en las normas de motores eléctricos.

1.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Las curvas características son gráficas que dan información sobre la eficiencia (η), el NPSH_R y funcionamiento (Altura total vs. Capacidad).

¹² Robert L. Mott. Mecánica de Fluidos. 6ª Edición. Aplicada. Pág.13. Edición Prentice Hall

Cada bomba debe traer su propia curva, que desde luego varía según el tipo fluido que se esté manejando. Las curvas facilitan el diseño de un sistema de bombeo, ya que traen datos reales y evitan hacer muchos cálculos. Igualmente existen una gran variedad de representaciones de la curva característica.

1.4.1 CURVA DE FUNCIONAMIENTO

La curva de funcionamiento de una bomba indica la altura total que puede entregar la bomba en función del caudal entregado por la misma. Esta curva es decreciente de izquierda a derecha.

Generalmente una bomba en buen estado tiene una curva de funcionamiento estable (curva A) como la figura 1.7. La curva A muestra total estabilidad en todo su recorrido porque su pendiente es progresiva.

En la curva B la región de 1-3 (más de la mitad de la curva) es prácticamente plana, por lo tanto a cualquier aumento ligero de altura el caudal es cero. Pero del punto 3 hacia adelante su curva es estable.

La curva C no es válida para una bomba porque muestra dos regiones totalmente diferentes, en los puntos 1-2 su comportamiento es inestable ya que muestra distintos caudales para un único valor de altura. Mientras que a partir del punto 2 hacia adelante, la curva es estable.

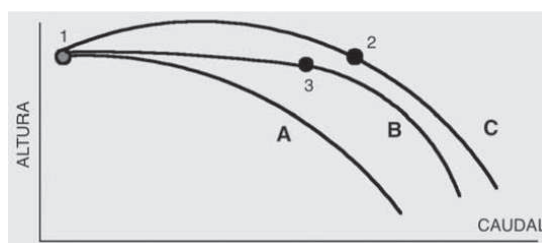


Figura 1.7 Curva de funcionamiento (Altura vs Caudal)

Para el cálculo de la altura total entregada por la bomba se aplica el teorema de Bernoulli entre la succión (entrada) y la descarga (salida) de la bomba. La

Ecuación 1.13 muestra el teorema de Bernoulli aplicada entre la succión y la descarga de una bomba.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \times g} + h_A - \sum (h_f + h_m) = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \times g} \quad (\text{EC. 1.13})$$

Dónde:

- $\frac{P_1}{\gamma}$ = Altura de succión en la entrada de la bomba
- $\frac{V_1^2}{2 \times g}$ = Altura de velocidad en la entrada de la bomba
- Z_1 = Altura potencial geodésica en la entrada o succión de la bomba
- h_A = Altura de descarga en la salida de la bomba
- $\frac{V_2^2}{2 \times g}$ = Altura de velocidad en la salida de la bomba
- Z_2 = Altura potencial geodésica en la descarga o salida de la bomba
- $\frac{P_2}{\gamma}$ = Altura total entregada por la bomba
- $\sum (h_f + h_m)$ = Pérdidas de energía debido a la fricción en componentes (tubería y accesorios)

1.4.2 CURVA DE EFICIENCIA

La eficiencia de la bomba se diseña en función del caudal a una velocidad de giro constante. La figura 1.8 muestra que cuando el valor de la eficiencia es cero el caudal es cero. Entonces a medida que el caudal aumenta, la eficiencia aumenta hasta un valor máximo, denominado punto de máximo rendimiento. Desde este punto, cuando aumenta el caudal, la eficiencia disminuye.

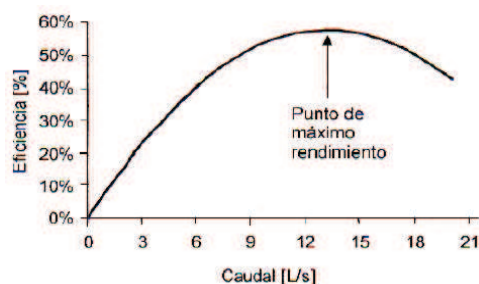


Fig. 1.8 Curva de eficiencia (Eficiencia vs Caudal)

1.4.2.1 Eficiencia

En una bomba la eficiencia es la relación entre la potencia suministrada al fluido y la potencia alimentada al eje por la acción del impulsor, se expresa en porcentaje y siempre es menor al 100%.

La eficiencia de la bomba es dato de los fabricantes y este valor muestra la potencia requerida para operar la bomba en varios puntos a lo largo de su curva.

“La eficiencia de una bomba esta dada por:”¹³

$$\eta (\%) = \frac{Ph}{Pm} \times 100 \% \text{ (EC. 1.14)}$$

Dónde:

- η = Es la eficiencia
- Ph = Es la potencia entregada (hidráulica)
- Pm = potencia recibida (mecánica)

1.4.2.2 Potencia

La potencia de una bomba está compuesta por:

a) Potencia Entregada

La potencia entregada por la bomba centrífuga, es la requerida por esta en su acoplamiento al eje de la máquina de accionamiento (motor). “La potencia se encuentra por la relación que dependiendo de los diferentes sistemas toma la forma de:”¹⁴

$$P_{(HP)} = \frac{Q_{(\text{Galones/minuto})} H_{(\text{pies})}}{3.960} \quad \text{(EC. 1.15)}$$

¹³ Viejo Zubicaray (2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. Pág. 204. Editorial Limusa.

¹⁴ Viejo Zubicaray (2000). Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones. Pág. 204. Editorial Limusa.

Dónde:

- Q = Es el caudal de bombeo ($m^3/hora$)
- H = Es la altura total en pies

b) Potencia Mecánica

Una bomba generalmente tiene rozamientos mecánicos, debido a esto el motor tendrá que entregar algo más de potencia para suplir la que se disipa en los rozamientos, por lo tanto esto envuelve un aumento de potencia absorbida por la bomba de modo que la potencia a suministrar en el eje aumentará.

1.5 TIPOS DE BOMBAS

Debido a la amplia variedad de tamaño, diseño, hoy se encuentran en la actualidad diferentes tipos de bombas entre las cuales se distinguen las siguientes.

1.5.1 DE UNA ETAPA

La característica principal de este tipo de bomba centrífuga es que tienen un único impulsor (Figura 1.9). La bomba centrífuga de una etapa es adecuada para instalaciones civiles, industriales, agrícolas y para usos de decantación, mezclado e irrigación.

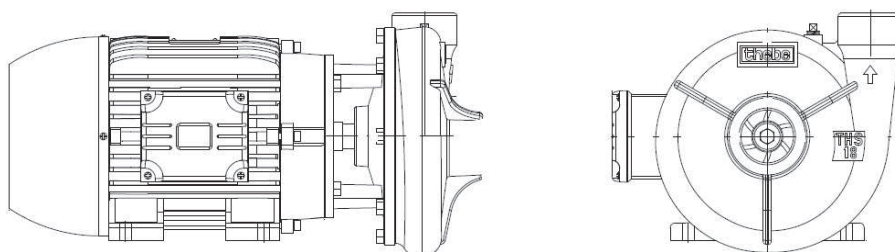


Figura 1.9 Bomba de una etapa

1.5.2 DE ETAPAS MÚLTIPLES

“En las bombas de etapas múltiples se emplean varios impulsores en un eje común, en el cual la descarga de un impulsor se forma en la succión del siguiente”.¹⁵ El caudal de bombeo es el mismo en todas las etapas. Por lo tanto la altura de elevación total será la suma de la altura de elevación de cada impulsor, además pueden ser construidas con el eje horizontal o vertical. (Figura 1.10)

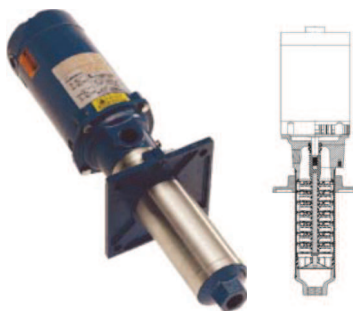


Figura 1.10 Bomba Multi-etapas

1.5.3 JET

La bomba Jet se caracteriza por ser centrífuga y tener un impulsor, su empleo principal es para sistemas residenciales de agua. Este tipo de bomba maneja generalmente agua limpia con pequeñas impurezas, tienen buena capacidad de succión, presiones de trabajo altas y caudales medios.

El tamaño del motor de la bomba (máximo de un 1HP) es determinado según la cantidad de agua requerida, dependiendo de las salidas de abastecimiento de agua en la red interior de la casa.

Son bombas ideales para uso doméstico, residencial y granjas, además para resolver los problemas como la baja presión y la interrupción continua del abastecimiento. Ver figura 1.11

¹⁵ Kenneth J. (1998). Bombas Selección, Uso y Mantenimiento. Pág. 114. Editorial McGraw-Hill

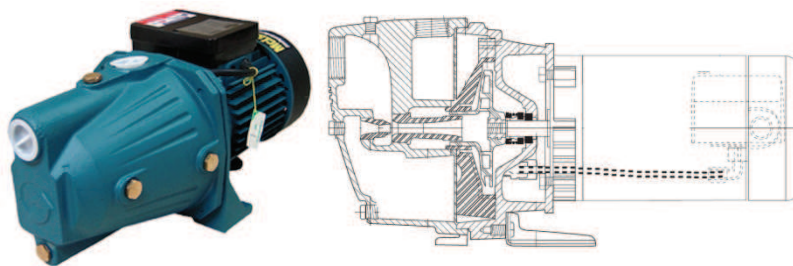


Figura 1.11 Bomba Jet

En el Anexo C se indica una recopilación de datos de la WORKPUMP de las bombas tipos JET.

1.6 MOTORES ELÉCTRICOS

1.6.1 GENERALIDADES

Son equipos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica para realizar los procesos, traslados, transformaciones, etc. de los productos o procesos de diferente índole.

El motor (figura 1.12) como máquina y fuente de transformación es el más utilizado en la industria ya que, forma parte de casi todos los principios industriales y de las máquinas de todo tipo. Las principales características que definen a un motor son las siguientes: Velocidad, Potencia, Tensión, Corriente Eléctrica y Torque.



Figura 1.12 Motor Monofásico

1.6.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de un motor monofásico se puede notar en la figura 1.13 que al aplicar corriente alterna al motor, sucede que comienza a circular una corriente I_L , que al llegar al punto “a” se divide esta corriente en I_P e I_R . Entonces en el punto “b” sucede que I_R llegara más pronto que al bobinado auxiliar, esta diferencia de llegada hace que se combinen los campos magnéticos que producen los bobinados y se establezca un flujo giratorio alrededor en la carcasa y arrastre al rotor produciendo el giro del eje.

Hoy en día existen una gran variedad de motores monofásicos debido a su construcción. Por lo tanto es común que se utilice un capacitor que viene montado en la parte superior de la carcasa que puede estar situado en otros puntos. El funcionamiento de un motor con condensador es similar al ya mencionado. El condensador permite que el motor arranque con más fuerza y en menor tiempo.

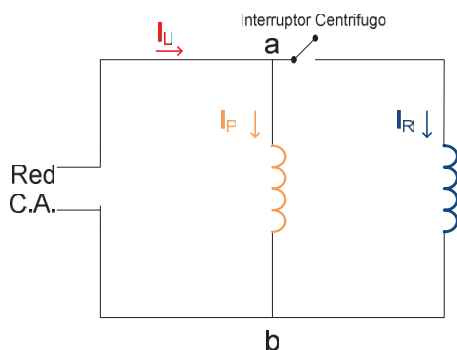


Figura 1.13 Principio de Funcionamiento

1.6.3 POTENCIA NOMINAL

Para elegir un motor adecuado, se tendrán en cuenta la carga de trabajo (potencia), La potencia nominal del motor debe aproximarse a la demanda de potencia de la máquina accionada. Si el motor está dimensionado en exceso causa problemas como: Demasiada corriente de arranque, Calentamiento, etc. La potencia del motor viene dada generalmente en HP (Horse Power), en CV (caballos de vapor), o en kW (kilo-watts), según conste en la placa del fabricante.

1.6.3.1 Efecto de la Altura en la potencia en motores eléctricos

“La potencia nominal de los motores indicada en la placa de características rige normalmente para las condiciones siguientes: temperatura del medio refrigerante, hasta 40°C, altitud de emplazamiento, hasta 1000 m sobre el nivel del mar” .¹⁶

La tabla 1.8 indica los valores de potencia admisible cuando se varía la altitud de emplazamiento:

Temperatura del medio refrigerante °C	Potencia admisible en % de la potencia nominal	Altura de instalación sobre el nivel del mar (mt.)	Potencia admisible en % de la potencia nominal
30	107	1.000	100
35	104	2.000	94
40	100	3.000	86
45	96	4.000	77
50	92		
55	87		
60	82		

Para temperatura del medio refrigerante de 40 °C

Tabla 1.6 Variación de Potencia

Fuente: Motores Trifásicos de Inducción (Generalidades). Siemens. Pág.6.

1.6.4 VOLTAJE NOMINAL

El voltaje nominal es el voltaje aplicada al motor sea a una sola tensión 110 V o dos 220/110 V en caso de monofásicos. El voltaje nominal viene expresado en voltios y es dato del fabricante.

1.6.5 FRECUENCIA

La frecuencia del motor debe ser la misma de la red eléctrica que lo alimenta. Las normas permiten una variación del $\pm 5\%$ en la frecuencia de la red. Generalmente en el medio local es de 60hz.

¹⁶ Siemens. Motores trifásicos de Inducción (Generalidades). Pág.6.

1.6.6 CORRIENTE

En el arranque y marcha de un motor aparecen dos tipos de corrientes que es importante considerarlas:

- a) **Corriente de arranque:** En el arranque y durante la aceleración a voltaje nominal, el motor consume una corriente considerable que muchas veces no es tolerada por la instalación o por la red de distribución. Por lo tanto es importante conocer si la instalación cuenta con los elementos precisos para un arranque adecuado.

- b) **Corriente nominal:** Indica el valor máximo que puede tomar el motor al trabajar con el valor de voltaje nominal.

En el Anexo D se presenta el consumo de corriente nominal de un motor monofásico y trifásico. Además se indica valores aproximados de las debidas protecciones.

1.7 ELEMENTOS HIDRÁULICOS DE MEDICIÓN Y CONTROL

1.7.1 VÁLVULAS PARA CONTROL DE FLUIDOS

El uso de válvulas de control de fluidos significa que el proceso tiene algún tipo control, razón por la cual son los elementos de control más utilizados. “Sin embargo, a pesar de la amplia variedad de diseños, todas las válvulas tienen un propósito principal: disminuir o detener el flujo de un fluido”.¹⁷

¹⁷ McCabe/Smith (2002). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Pág. 208. Editorial McGraw Hill

1.7.1.1 Tipos de Válvulas

Hoy en día existen varios diseños válvulas por lo que a continuación se presentaran los más importantes.

1.7.1.1.1 *Válvula de desahogo (alivio)*

Esta válvula se abre cuando la presión de diseño del sistema excede a la que puede controlar. Por consiguiente, son reguladas para una determinada presión de apertura, pero permanecerán cerradas en funcionamiento normal y solo cuando se sobrepasa la presión regulada, se libera el exceso de presión que pueda causar daño. Son utilizadas habitualmente en tanques de presión, calderos y aparatos diversos, donde sea necesario evitar un exceso de presión. (Figura 1.14)



Figura 1.14 Válvula de alivio QR-100

1.7.1.1.2 *Válvula de globo*

La válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o macho de acero inoxidable que acopla a un anillo de asiento metálico. Mediante el movimiento alternado del macho dentro del cuerpo se puede cerrar o disminuir el paso del fluido por la tubería. Se la recomienda para regular la circulación de un fluido por estrangulación y en accionamientos frecuentes. Se las utiliza generalmente para la estrangulación y cierre de líquidos limpios, gases y pastas semilíquidas. (Figura 1.15)

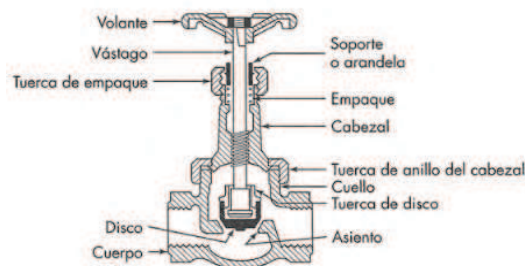


Figura 1.15 Válvula globo con asiento metálico

1.7.1.1.3 Válvula de bola

Las válvulas de bola se cierran con un 1/4 de vuelta, “tienen un macho esférico que controlan la circulación del líquido”.¹⁸ Por lo tanto cuando se gira la bola 90° se cierra el conducto de forma hermética. La aplicación se la ejecuta en donde se requiera una apertura rápida con resistencia mínima a la circulación, a temperaturas moderadas. También se la puede usar para la estrangulación y cierre de líquidos viscosos y limpios. (Figura 1.16)



Figura 1.16 Válvula de bola

1.7.1.1.4 Válvula de mariposa

La válvula de mariposa consta básicamente de un disco (llamado aspa o chapaleta) con un asiento circular, un eje y un cuerpo. Entonces para controlar el flujo del fluido se lo realiza mediante la rotación del disco circular que limita la zona de circulación. Esta válvula tiene baja caída de presión.

¹⁸Richard W. Green. Válvulas Selección, Uso y Mantenimiento. Pág. 49. Editorial McGraw-Hill

Son recomendadas para control, regulación y cierre total para fluidos limpios y corrosivos. Además tiene aplicaciones en donde se realiza un accionamiento frecuente.

1.7.1.1.5 Válvula de compuerta

“Las válvulas de compuerta consisten en un disco que tiene movimiento alternado en el cuerpo”.¹⁹ La válvula tiene una resistencia mínima a la circulación y es recomendada para la función de todo o nada. Se las aplica en servicio general, aceites y petróleo, aire, pastas semilíquidas, líquidos espesos, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos. (Ver Figura 1.17)

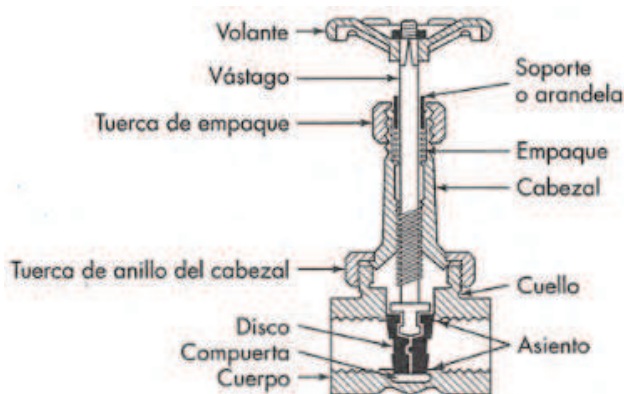


Figura 1.17 Válvula de compuerta

1.7.1.1.6 Válvula de retención

La válvula de retención tiene como función principal el paso del fluido en un solo sentido. Cuando el sentido del líquido es el correcto, la válvula de retención se mantiene abierta, cuando el fluido pierde velocidad o presión, la válvula de retención se cierra, evitando así el contraflujo. Por lo tanto las diferencias de presiones determinan si la válvula está cerrada o abierta.

Se la utiliza en procesos en donde el sentido de circulación del fluido en la tubería cambia, por lo que puede ser en tuberías tanto horizontales o verticales. Su

¹⁹ McCabe/Smith (2002). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Pág. 208. Editorial McGraw Hill

aplicación principal es la retención de cualquier tipo de líquidos, gases y vapor. (Figura 1.18)



Figura 1.18 Válvula de retención en acero inoxidable ZRD-3

1.7.2 MEDIDORES DE CAUDAL DE FLUIDOS

La medida de caudal en conducciones cerradas, radica en la determinación de la cantidad de volumen que circula por la conducción por unidad de tiempo.

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

1.7.2.1 Medidores de Presión Diferencial

Actualmente los medidores de presión diferencial industriales son los dispositivos más populares en uso. Ofrecen ventajas como:

- Sencillez de construcción.
- No incluyen partes móviles.
- Son fáciles para entender su funcionamiento.
- No son costosos, exclusivamente si se instalan en grandes tuberías.

- Pueden utilizarse para la mayoría de los fluidos y tienen abundantes publicaciones sobre sus diferentes usos.

1.7.2.1.1 Tubo de Venturi

Es un elemento “cuya función es provocar una diferencia de presiones”,²⁰ mediante una tubería corta o recta, entre dos tramos cónicos. Por lo tanto la presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así al colocar un instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo. Ver figura 1.19

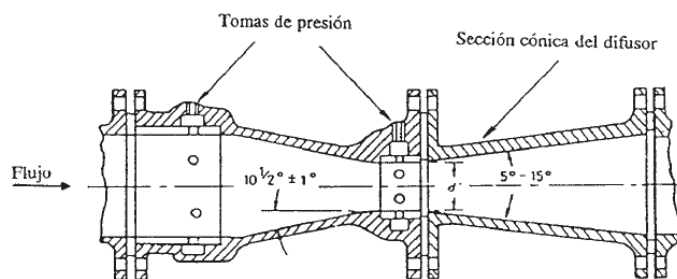


Figura 1.19 Medidor Venturi

1.7.2.1.2 Placa Orificio

La placa orificio consiste en una placa perforada instalada en la tubería. Dos tomas conectadas en la parte anterior y posterior de la placa, captan la presión diferencial la cual es proporcional al cuadrado del caudal.

Cuando dicha placa se coloca en forma concéntrica dentro de una tubería, esta provoca “la reducción de la sección transversal de la corriente en movimiento, al pasar a través del orificio, aumenta la carga de velocidad a expensas de la carga de presión, y la reducción de presión entre las tomas se mide con un manómetro”.²¹

²⁰ Claudio Mataix. Mecánica de Fluidos y maquinas Hidráulicas (2ª Edición.). Pág. 142. Ediciones del Castillo S.A.

²¹McCabe/Smith (2002). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Pág. 242. Editorial McGraw Hill

Los tipos de placas orificios son los siguientes:

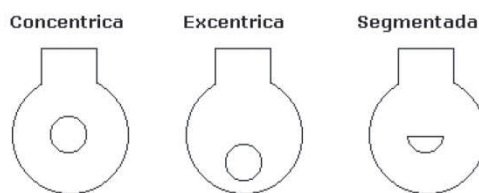


Figura 1.20 Tipos placa orificio

- La concéntrica: sirve para líquidos.
- La excéntrica: para los gases.
- La segmentada cuando los fluidos contienen un alto porcentaje de gases disueltos.

1.7.2.2 Medidores de Área Variable

1.7.2.2.1 Rotámetro

A los rotámetros o flujómetros se los utiliza para medir caudales de líquidos y de gases que trabajan con un salto de presión constante. Como se observa en la figura 1.21 un rotámetro “consta de un tubo cónico de vidrio, que se instala verticalmente con el extremo más ancho hacia arriba. El fluido asciende a través del tubo cónico y mantiene libremente suspendido a un flotador (que en realidad no flota sino que está sumergido por completo en el fluido)”.²² Por lo tanto la altura que alcance el flotador que es el elemento indicador, dependerá de la velocidad del flujo. Bajo la acción de la corriente de líquido o gas el flotador se desplaza verticalmente, e indica sobre una escala graduada directamente el caudal circulante, o una altura que sirve como dato de entrada para determinar el caudal en una curva o gráfico de calibración que debe obtenerse experimentalmente.

²² McCabe/Smith (2002). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Pág. 246. Editorial McGraw Hill

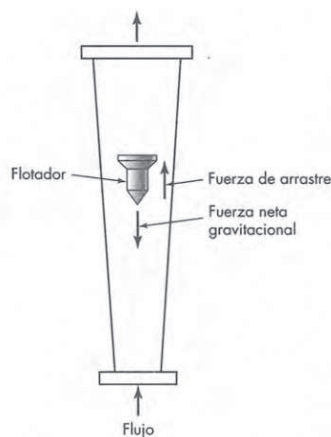


Figura 1.21 Principio de un Rotámetro

Además se debe mencionar que la altura que alcance el flotador es una indicación del caudal que está pasando y cuando se trate de un tubo transparente, puede graduarse directamente sobre el tubo las unidades de caudal. Cuando las condiciones de trabajo son más severas, el tubo se fabrica de metal.

1.7.3 MEDIDORES DE PRESIÓN

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi. Existen muchas razones por la cual en un determinado proceso se debe medir presión: como calidad y seguridad.

1.7.3.1 Tipos de medidores de Presión

1.7.3.1.1 Manómetro de tubo en "U"

Se utiliza para medir presión diferencial. Consiste en forma de un tubo en forma de U lleno de líquido. En cada una de las ramas del tubo se aplica una presión. La diferencia de altura del líquido en las dos ramas es proporcional a la diferencia de presiones. Ver figura 1.22

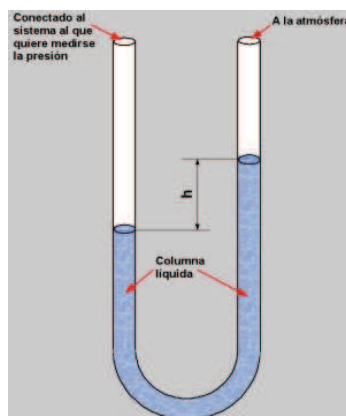


Figura 1.22 Tubo en U

1.7.3.1.2 Manómetro Bourdon

El manómetro Bourdon funciona en base a la relación entre la carga y la deformación es una constante del material, conocida como módulo de Young.

El manómetro Bourdon es el más común en plantas de procesos que requieran medición de presiones. Como se observa en la figura 1.23 consiste en un tubo metálico achatado y curvado en forma de "C", abierto sólo en un extremo. Al aplicar una presión al interior del tubo, la fuerza generada en la superficie exterior de la "C" es mayor que la fuerza generada en la superficie interior, de modo que se genera una fuerza neta que deforma la "C" hacia una "C" más abierta. Esta deformación es una medición de la presión aplicada, que puede determinarse por el desplazamiento mecánico del puntero conectado al tubo Bourdon, o mediante un sistema de variación de resistencia o campos eléctricos o magnéticos. Otras formas típicas del tubo son espirales y helicoidales.

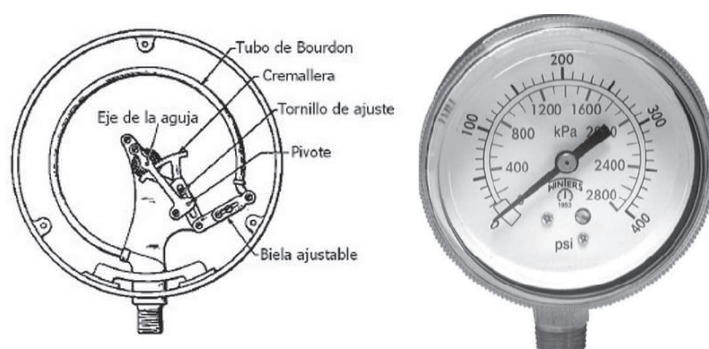


Figura 1.23 Manómetro Bourdon

1.7.3.1.3 Fuelles

Un fuelle es como un tubo flexible, el cual cambia su longitud de acuerdo a la presión aplicada. Para poder originar una relación lineal entre el desplazamiento del fuelle y la presión aplicada, usualmente se coloca un resorte dentro del fuelle, tal como se observa en la figura 1.24. Los fuelles pueden ser metálicos o no metálicos.

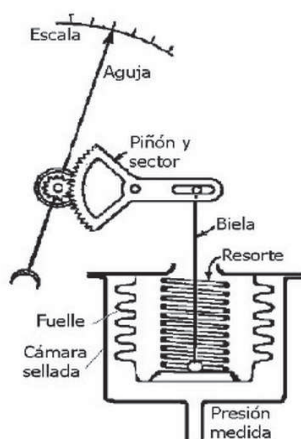


Figura 1.24 Fuelle

1.7.3.1.4 Diafragma

El principio de operación es similar al de los fuelles. El diafragma es un disco flexible generalmente con corrugaciones concéntricas, tal como la figura 1.25. Los diafragmas pueden ser metálicos y no metálicos. El diafragma puede ser utilizado de forma independiente como sensor de presión.

Los diafragmas se emplean en medición de bajas presiones y vacío, y en medición de presión absoluta y diferencial.

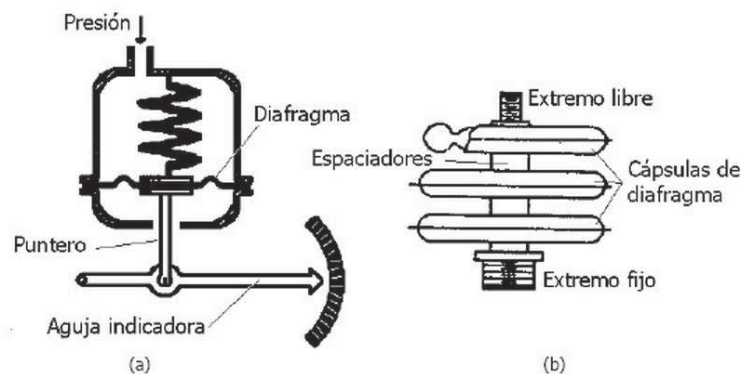


Figura 1.25 Diafragma

1.8 SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL

1.8.1 GENERALIDADES

En instalaciones encargadas de alimentar motores eléctricos, es necesario el control y la medida de algunas magnitudes eléctricas para garantizar el buen funcionamiento de estas y en caso de avería poder localizarlas. Por lo tanto el “control son los métodos y maneras de controlar el comportamiento de un aparato o máquina”.²³

Su estudio y aplicación a contribuido en ventajas y beneficios asociados en al ámbito industrial, que es donde tiene una de sus mayores aplicaciones debido a la necesidad de controlar un gran número de variables, sumado esto a la creciente complejidad de los sistemas. El control automático de procesos se usa fundamentalmente porque reduce el costo asociado a la generación de bienes y servicios, incrementa la calidad y volúmenes de producción de una planta industrial entre otros beneficios asociados con su aplicación.

1.8.2 EQUIPOS DE UN SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control está compuesto por diversos equipos por lo que a continuación se detallan los siguientes:

²³ Ing. German Castro. Folleto Control Industrial I. Pag.2.

1.8.2.1 Tablero o gabinete metálico

Se puede definir a un tablero como uno o varios equipos eléctricos de una instalación, que concentran dispositivos de protección y de maniobra, desde los cuales se puede proteger y operar toda la instalación o parte de ella y deben proveer un alto nivel de seguridad y confiabilidad en la protección de personas e instalaciones.

Además serán instalados en lugares seguros y fácilmente accesibles, en los cuales no se deben ubicar en la parte posterior del tablero ningún artículo de vestuario ni ningún depósito. (Figura 1.26)



Figura 1.26 Tablero Eléctrico

1.8.2.2 Protecciones Eléctricas

La instalación eléctrica tiene que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los conductores y los aparatos a ellos conectados, como de las personas que han de trabajar con ella.

Existen muchos tipos de protecciones, pero hay tres que deben usarse en todo tipo de instalación: de fuerza, redes de distribución, circuitos auxiliares, etc., ya sea de baja o alta tensión.

- a) Protección contra cortocircuitos.
- b) Protección contra sobrecargas.

1.8.2.3 Pulsadores

Son aparatos de maniobra clasificados como interruptores que tienen retroceso, que son accionados manualmente y se emplean para el mando de pequeñas potencias. (Figura 1.27)



Figura 1.27 Pulsadores

1.8.2.4 Contactor

Un contactor es un aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, accionado por cualquier forma de energía, que es capaz de soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecarga.

Los contactores comúnmente utilizados en la industria son accionados mediante la energía magnética proporcionada por una bobina.

Un contactor accionado por energía magnética, consta de un núcleo magnético y de una bobina capaz de generar un campo magnético suficientemente grande como para vencer la fuerza de los muelles antagonistas que mantienen separada del núcleo una pieza, también magnética, solidaria al dispositivo encargado de accionar los contactos eléctricos.(Figura 1.28)

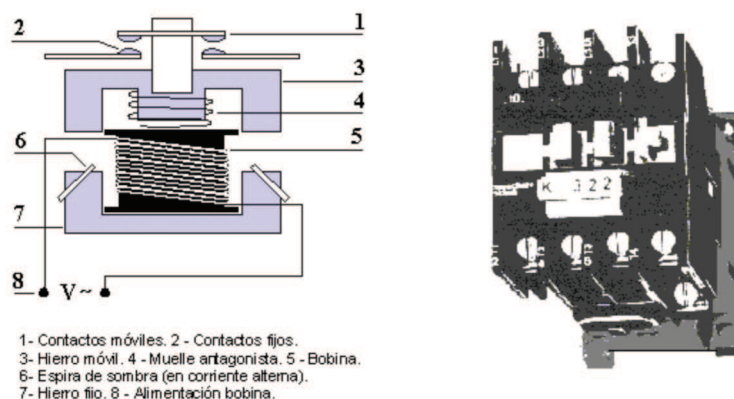


Figura 1.28 Contactor Eléctrico

1.8.3 MEDIDORES DE POTENCIA

En las instalaciones de motores eléctricos, la medida de potencia nos puede servir para descartar anomalías, aunque no sea una medida que se haga de forma regular. Para realizar es conveniente tener en cuenta que existen un circuito medidor o varios circuitos medidores.

1.8.3.1 Tipos

Se utilizan varios tipos de conversores, tanto electromecánicos como electrónicos, para la medición directa de la potencia.

1.8.3.1.1 *Analizador de redes*

Son dispositivos que permiten detectar y prevenir el exceso de consumo (kW), analizan curvas de carga para ver donde se produce la máxima demanda de energía. Además detectan la necesidad de instalación de una batería de condensadores, así como su potencia. Permiten estos equipos detectar fraude en los contadores de energía. (Figura 1.29)

Son ideales para realizar mantenimientos periódicos del estado de la red eléctrica, tanto en baja como en media tensión, ver curvas de arranque de motores,

detectar posibles saturaciones del transformador de potencia, cortes de alimentación, deficiente calidad de suministro eléctrico, etc.

Existen tres cantidades estándares asociadas para medir la potencia:

- Potencia Aparente (S).
- Potencia Activa (P).
- Potencia Reactiva (Q).



Figura 1.29 Analizador de redes trifásico

1.8.3.1.2 *Vatímetro*

Los vatímetros más empleados utilizan el sistema de medida electrodinámico con y sin núcleo, que disponen de dos bobinas de medida, una fija y otra móvil. La bobina fija se conecta en serie con la carga, de manera que la corriente “I” que circula por el circuito pasa a través de ella; esta es la bobina de intensidad. La bobina móvil se conecta en paralelo con la carga y es recorrida por una corriente proporcional a la tensión (V) aplicada; esta es la bobina de tensión. Entonces la desviación de la aguja indicadora será proporcional a la potencia activa (P) de la carga. Ver figura 1.30.

Por tanto, el vatímetro mide directamente la potencia activa de un circuito de corriente alterna monofásica.

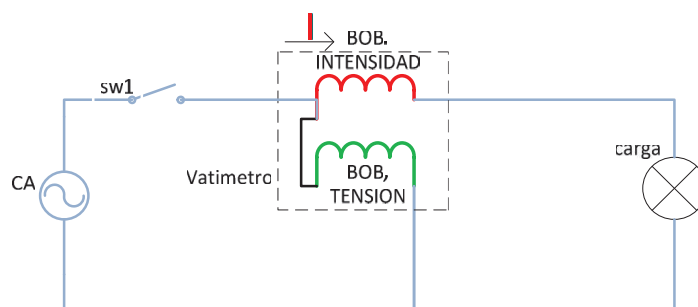


Figura 1.30 Conexión vatímetro monofásico

1.8.3.1.3 Voltímetro- Amperímetro

Este método consiste como se observa en la figura 1.31 en ubicar un amperímetro en serie que mida la intensidad de corriente eléctrica que circula por su interior en amperes (A) y un voltímetro que mida la tensión eléctrica o voltaje (V) aplicada en sus terminales. El voltímetro debe conectarse en paralelo con la tensión a medir.

Después procedemos a aplicar la siguiente relación para obtener la potencia:

Alterna Trifásica:

$$P = V \times I \times \cos \phi \sqrt{3} \text{ (Watts) (EC. 1.16)}$$

Alterna Monofásica:

$$P = V \times I \times \cos \phi \text{ (Watts) (EC 1.17)}$$

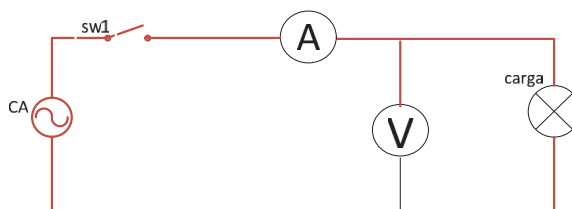


Figura 1.31 Medición de Potencia (Voltímetro - Amperímetro)

1.9 PIPE FLOW EXPERT

La simulación es una representación, imitación y experimentación del funcionamiento de un sistema.

Con el avance en el área informática y computacional el desarrollo de poderosos software ingenieriles en todos los campo está facilitando la solución de complejos sistemas con relativa sencillez, amplia capacidad y alta velocidad.

La figura 1.32 muestra la interfaz de Pipe Flow Expert.

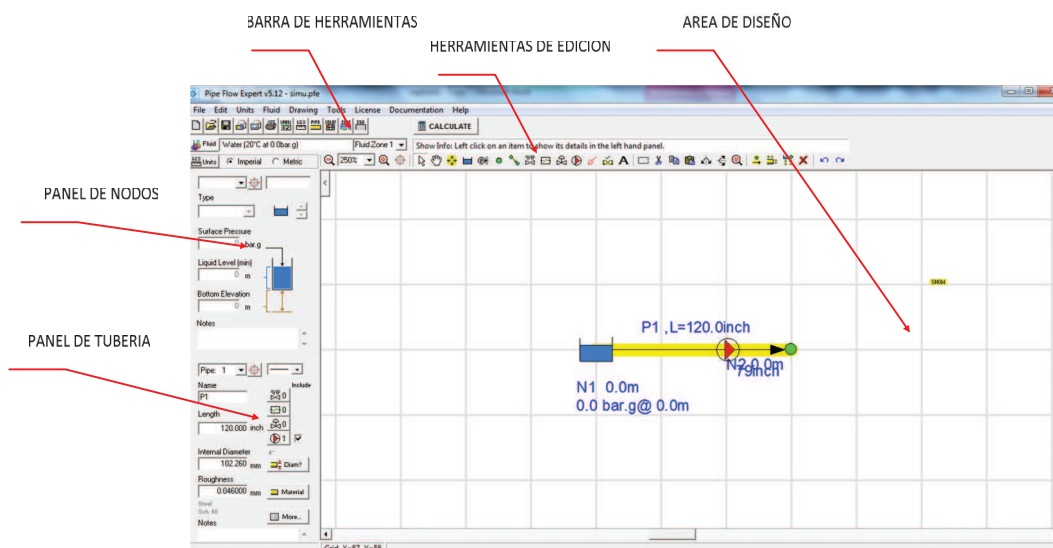


Figura 1.32 Interfaz Pipe Flow Expert

1.9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El programa tiene como fin principal que el usuario dibuje esquemáticamente de forma rápida y sencillo redes de tubería y componentes que las integran. De tal manera que pueda calcular valores que le indiquen el comportamiento del fluido.

El programa presenta las siguientes opciones:

- Establecer el sistema de unidades que desee trabajar en métrico o imperial.
- Se puede trabajar con diversos tipos de fluido.
- Se puede establecer puntos de demanda.
- Agregar tuberías, válvulas y accesorios adecuados para el sistema.
- Añadir bombas al sistema con sus debidas características Ver figura 1.33.

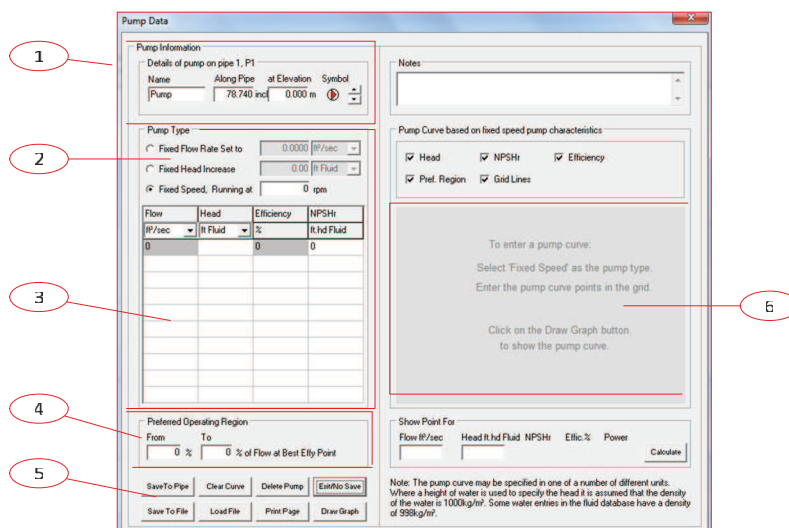


Figura 1.33 Ingreso de datos de la bomba

En la figura 1.33 se muestra la ventana para ingresar los datos de la bomba y simular la curva de funcionamiento. Tiene las siguientes zonas:

- 1=Indica los detalles de la bomba en la tubería
- 2=Tipo de bomba
- 3=Ingreso de los datos de presión, caudal, eficiencia, para graficar la curva de la bomba
- 4= Establece una región de operación que prefiere el usuario
- 5= Menús de la ventana de ingreso de datos de la bomba
- 6 =Región donde se simula la curva característica

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

2.1 ALTERNATIVAS PARA OBTENER LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

El objetivo del Banco de Ensayo de Pruebas de Funcionamiento es evaluar, conocer y obtener la información necesaria para establecer las magnitudes de operación de la bomba y su funcionamiento.

Para lo cual se necesita determinar la potencia consumida y la altura total en función del caudal de la bomba. Con estos datos se representarán de manera gráfica la curva de eficiencia y funcionamiento.

Para la obtención de las curvas se puede realizar de las siguientes formas que se mencionan a continuación.

2.1.1 VARIANDO EL CAUDAL DE DESCARGA

Una de ellas consiste en variar el caudal que circula por el sistema restringiendo el porcentaje de apertura de la válvula en la línea de descarga. En este caso se debe calcular la altura requerida para cada valor de caudal, sumando las pérdidas totales en el sistema con la elevación que la bomba le debe dar al fluido, siempre y cuando no sean despreciables.

Para el objeto de la práctica se puede regular el caudal maniobrando con válvulas en la conducción de descarga al tanque, disponiéndose de válvulas apropiadas para introducir fuertes variaciones del caudal, y que permitan un ajuste más gradual. Para cada punto de funcionamiento se habrá de tomar las medidas correspondientes de: Potencia, Presión y Caudal.

En el caso de que la lectura de alguna variable sea fluctuante se procurará asignar un valor promedio dentro del rango de variación.

Ventajas	Desventajas
Sencillez de construcción	No es aconsejable para bombas de gran capacidad
Funcionamiento se comprende con facilidad	Precisión menor que la de medidores más modernos
Puede utilizarse para la mayoría de los bombas	Pérdidas en accesorios
Supervisión de las características técnicas de la bomba	

Tabla 2.1 Variando el caudal de descarga
Fuente: Propia

2.1.2 VARIANDO LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR

Otra forma de obtener la curva de un sistema es variando las revoluciones del motor. Este método requiere que se conozca el punto de operación a una velocidad de giro dada. Además se debe indicar que es para bombas de gran capacidad.

Para obtener la curva, se comienza a operar el sistema en el punto de operación que se conoce. Las siguientes mediciones se toman con el sistema operando igual, excepto que se va disminuyendo la velocidad de giro del motor. Ahora, se debe calcular la altura total agregada por la bomba al fluido, y se debe medir el caudal para cada velocidad de giro. Los valores de caudal y las alturas desarrolladas por la bomba se grafican y esta es la curva del sistema.

Ventajas	Desventajas
Bombas de gran capacidad	Precisión menor que la de medidores más modernos
Pueden utilizarse para la mayoría de los bombas	No se aplica motores monofásicos
Supervisión de las Características técnicas del motor	

Tabla 2.2 Variando las revoluciones del motor
Fuente: Propia

2.1.3 A TRAVÉS DE UN ORDENADOR

Es el “desarrollo de ensayos haciendo uso de las ventajas que un microordenador proporciona en la supervisión y control del sistema. El banco funciona bajo control del operador a través de una serie de menús, desde el ordenador”²¹.

En este caso sensores apropiados son añadidos al banco para facilitar el análisis del funcionamiento de la bomba centrífuga. Estos a su vez se enlazan a acondicionadores de señales, que envían las señales digitalizadas de las mediciones tomadas en el banco a tarjetas de adquisición de datos, conectadas a un computador para ser observadas.

Además es muy importante conocer un software que permita crear el enlace entre el sistema y el usuario, estableciendo en ventanas los distintos parámetros a estudiar como variables y curvas características de la bomba.

Ventajas	Desventajas
Buena Regulación	Son costosos
Precisión	Adaptación de sensores y señales
Amplitud del campo de medida	Calibración de los equipos
Monitoreo y control de las variables del motor y la bomba	Complejidad

Tabla 2.3 A través de un Ordenador
Fuente: Propia

2.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Para la selección se debe considerar que las bombas JET tienen las siguientes características:

- Trabajan a voltaje monofásico.

²¹Carnicer / Mainar (1996). Bombas Centrifugas. Pág. 110. Thomson Editores Spain.

- Baja Capacidad.
- Tamaño pequeño
- Potencia del motor máxima 1HP

Con las características de las JET y comparando las ventajas y desventajas de los métodos descritos en 2.1, podemos determinar cuál método es el más conveniente. En la tabla 2.4 se indica el método más conveniente a utilizar en nuestra construcción y las desventajas que presentan los otros.

Variando el caudal de descarga	
Ventajas	
Sencillez de construcción	
Funcionamiento se comprende con facilidad	
Puede utilizarse para la mayoría de los bombas	
Supervisión de las características técnicas de la bomba	
Variando las revoluciones del motor	
Desventajas	
No se aplica motores monofásicos	
A través de un Ordenador	
Desventajas	
Son costosos	
Adaptación de sensores y señales	
Calibración de los equipos	
Complejidad	

Tabla 2.4 Método más conveniente para la construcción
Fuente: Propia

Por lo tanto para las bomba JET la alternativa más conveniente es variando el caudal que circula por el sistema restringiendo el porcentaje de apertura de la válvula en la línea de descarga.

2.3 PARÁMETROS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Los parámetros a considerar se los establece dependiendo del sistema a diseñar que son sistema hidráulico y de control.

a) Sistema Hidráulico

- Tipo de líquido
- Caudal
- Presión
- Tubería
- Tipo de bomba
- Medidores y controladores de flujo
- Accesorios
- Tanque

b) Sistema Control

- Aparatos de maniobra
- Instrumentos para medir potencia
- Dispositivos de fuerza y control

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE PRUEBAS

3.1 CONSIDERACIONES TÉCNICAS Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

Para la construcción del módulo es imprescindible primero establecer los parámetros del sistema, Ver tabla 3.1. En base a los parámetros, tamaño, función, características constructivas, ergonomía y condición de operación se podrá calcular y seleccionar los componentes del sistema.

- Dimensiones y partes componentes ver Anexo Planos 001 y 002.

Parámetros del Sistema	
Sistema Hidráulico	Panel de Control
Caudal: 60 LPM	Voltaje 220V
Líquido bombeado: Agua	F: 60Hz
Altura total: 45 m	Fases: 1
	Potencia: 1 HP

Tabla 3.1 Características del Sistema

Fuente: Propia

3.1.1 TUBERÍA

La tubería permite la conducción del fluido a través del sistema. Por lo tanto para una correcta y segura operación del sistema deben tomarse algunas consideraciones técnicas acerca de la tubería. Ver tabla 3.2

Tubería de Succión	Tubería de descarga	Sistema Cebado
Exista una longitud recta de 4 a 10 veces el diámetro nominal de la tubería. Desde la boca de succión de la bomba hacia el tramo de succión de la tubería.	Exista una distancia prudente en la salida de la bomba (tubería de descarga), hacia algún accesorio o equipo	La bomba siempre debe estar cebada antes de su funcionamiento. Anexo E muestra el funcionamiento y en Anexo Planos las partes componentes.
Debe ser lo más recto con mínimo de curvas.		
Evitar los cambios imprevistos del diámetro		
No se deben exceder con accesorios innecesarios		
Ubicar accesorios y válvulas para permitir mantenimiento		

Tabla 3.2 Consideraciones técnicas para la tubería

Fuente: Propia

3.1.1.1 Cálculos y selección del diámetro interno de la tubería

En el cálculo del diámetro de la tubería debe considerarse lo siguientes aspectos:

- Evitar sobredimensionarla.
- Diámetro interno de la tubería sea igual al diámetro de la boca de la bomba.
- Material sea resistente al desgaste.
- Velocidad del fluido en la tubería.
- La velocidad recomendable de circulación en tuberías de PVC es de 0.30 m/s a 5 m/s.

Con estas premisas el valor de velocidad (V) será igual a 2 m/s, que está dentro de nuestro rango (0.30-5 m/s). El caudal (Q) es de 60 LPM (0.001 m³/s), parámetro del sistema indicado en la tabla 3.1. Por lo tanto calculamos la sección interior de la tubería con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{Q}{V} \quad (\text{EC 3.1})$$

Dónde:

- Q = Caudal en m³/s
- V = Velocidad del fluido en m/s

Realizando los reemplazos respectivos en la ecuación 3.1 se obtiene la sección (S).

$$S = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$S = 0.0004 \text{ m}^2 = 0.4 \text{ mm}^2$$

Calculada la sección (S), utilizamos la ecuación 3.2 para determinar el diámetro interno de la tubería.

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} \text{ (EC 3.2)}$$

Despejando D en la EC. 3.2 y reemplazando tenemos el valor del diámetro.

$$D = \sqrt{\frac{0.0004 \text{ m}^2 \times 4}{\pi}}$$

$$D = 0.02256 \text{ m} = 22.56 \text{ mm}$$

Ahora para comprobar el diámetro (D= 22.56 mm) si es correcto y se ajusta a valores reales utilizaremos un Abaco para tuberías (Anexo F), para encontrar el diámetro interno de la tubería y lo comparemos con el calculado.

En el Anexo F trazamos una diagonal entre los puntos de Q (1lt/s) y V (2m/s), siguiendo la diagonal obtenemos el diámetro interno de la tubería que es de 26.5mm.

Partiendo del diámetro calculado, el valor obtenido por el Abaco adoptamos un diámetro comercial real de tubería PVC de 1" (25.4mm). Tanto para el lado de succión y descarga de la bomba se usara tubería PVC roscable de diámetro

nominal interno de 1". Se elige tubería PVC por permitir un trabajo de hasta 250 PSI, también por ser liviana, fácil de instalación y resistente a la corrosión.

3.1.2 CÁLCULO DEL TDH

Para hallar la altura dinámica total partimos de la ecuación 1.1.

$$\text{TDH} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_0 + \sum (h_f + h_m) + \frac{V^2}{2 \times g} \quad (\text{EC 1.1})$$

En la ecuación 1.1 se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- $\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = 0$, Debido a que las superficies están expuestas a la atmósfera
- $\frac{V^2}{2 \times g} = 0$, El diámetro de la tubería de succión y descarga son iguales.
- $h_m = 0$, No existe pérdidas mecánicas de energía.

Entonces la ecuación nos queda de la siguiente forma:

$$\text{TDH} = Z_0 + \sum (h_f) \quad (\text{EC. 3.3})$$

Para el cálculo de Z_0 que corresponde al valor de la Altura Estática. Tomamos como referencia la figura 3.1, donde $Z_0 = Z_2 - Z_1$

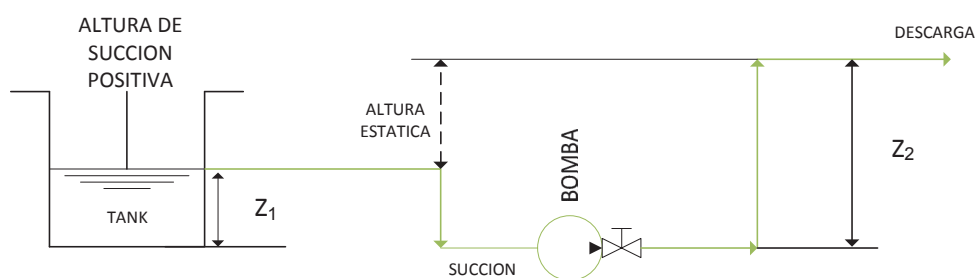


Figura 3.1 Altura Estática

Con los valores expuestos en Anexo Planos 002, reemplazamos y calculamos la altura estática para nuestro sistema.

$$Z_0 = (49+2.9+18.3)-(35.23) \text{ cm}$$

$$Z_0 = 70.2-35.23 \text{ cm}$$

$$Z_0 = 34.97 \text{ cm}=0.34 \text{ m}$$

Por consiguiente para determinar las pérdidas de energía h_f , se debe calcular las pérdidas en tubería y accesorios que se indican a continuación.

3.1.2.1 Cálculo de las pérdidas de energía debido a accesorios

Para el cálculo de la pérdida de energía en accesorios partimos de la ecuación 1.6.

$$h_l = k \frac{V^2}{2 \times g} \text{ (EC. 1.6)}$$

Primero determinamos la velocidad del fluido (V) con la ecuación 3.1. Para lo cual el caudal (Q indicado en la tabla 3.1) es de 60 LPM ($0.001 \text{ m}^3/\text{s}$) y la sección (S) es la calculada en 3.1.1.1.

Realizando los reemplazos respectivos y despejando V obtenemos:

$$V = \frac{Q}{S}$$

$$V = \frac{0.001 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0004 \text{ m}^2}$$

$$V = 2.03 \text{ m/s}$$

Para encontrar el coeficiente de resistencia (k) es necesario encontrar f_t y L_e/D .

El valor de la resistencia de longitud equivalente en número de diámetros de tubería (L_e/D_i), para diversas válvulas como accesorios se indica en la tabla 1.4 y el valor de la rugosidad absoluta (ε) en la tabla 1.2.

Entonces en la tabla 3.3 se resumen los datos tomados de L_e/D_i y ε .

Accesorio o Válvula	Cantidad	Diámetro o Dimensiones	Velocidad (m/s)	L_e/D_i	ε (mm)
Codo 90°	1	1"	2.03	20	0.005
Unión en "T"	4	1"	2.03	20 o 60	
Válvula Compuerta	1	1"	2.03	8	
Válvula Check	1	1"	2.03	50	
Válvula de bola	1	1"	2.03	150	
Unión Universal	7	1"	2.03	6	

Tabla 3.3 Accesorios y características

Fuente: Propia

Ahora para hallar f_t se debe obtener la rugosidad relativa. La rugosidad relativa está en función de D_i y ε . El valor de ε se presenta en la tabla 3.3 y el diámetro interno de la tubería es igual a 25.4 mm (Obtenido en 3.1.1.1). Con esto aplicamos la ecuación 1.4.

$$R_r = \frac{\varepsilon}{D_i} \text{ (EC. 1.4)}$$

$$R_r = \frac{0.005 \text{ mm}}{25.4 \text{ mm}}$$

$$R_r = 1.99 \times 10^{-4}$$

Con el cálculo de la rugosidad relativa empleamos el Diagrama de MOODY (Anexo A) para determinar f_t en la zona de turbulencia completa.

El diagrama de Moody indica que el coeficiente de fricción (f_t) es igual a 0.014, para todos los accesorios.

Con los cálculos correspondientes, valores de L_e/D_i (tabla 3.3) y el coeficiente de fricción igual a 0.014 (Diagrama de Moody), empleamos la ecuación 1.7 para obtener el coeficiente de resistencia (k).

$$k = (L_e/D_i) \times f_t \text{ (EC. 1.7)}$$

En el caso del codo de 90° el coeficiente de resistencia es igual a:

$$k=30 \times 0.014$$

$$k=0.42$$

Conseguido el factor (k), la velocidad (V), y sabiendo que g es igual a 9.8m/s² reemplazamos en la ecuación 1.6 y calculamos las pérdidas de energía en el codo de 90°.

$$h_l = k \frac{V^2}{2 \times g}$$

$$h_l = 0.42 \times \frac{(2.03 \text{ m/s})^2}{2 \times (9.8 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_l = 0.088 \text{ m}$$

Este mismo desarrollo se aplica para lo demás accesorios y válvulas. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3.4.

Accesorios y Válvulas	Cant.	V (m/s)	L_e/D_i	f_t	k	h_l (m)
Codo 90°	1	2.03	30	0.014	0.42	0.088
Unión en "T"	3	2.03	20	0.014	0.28	0.058
Unión en "T"(derivación)	1	2.03	60	0.014	0.84	0.18
Válvula Compuerta	1	2.03	8	0.014	0.11	0.023
Válvula Check	1	2.03	50	0.014	0.7	0.15
Válvula de bola	1	2.03	150	0.014	2.1	0.44
Unión Universal	7	2.03	6	0.014	0.08	0.02
Sumatoria total de pérdida de energía en accesorios						1.19 m

Tabla 3.4 Resumen de pérdida de energía en accesorios y válvulas

Fuente: Propia

Sumando todas las pérdidas de energía en accesorios (h_l) de la tabla 3.4 nos da un total de 1.19 m.

3.1.2.2 Cálculo de pérdida debido a la tubería

Para el cálculo de la pérdida de energía en tubería empleamos la ecuación 1.3 de Darcy-Weisbach.

$$h_l = f \frac{L \times V^2}{D \times 2 \times g} \quad (\text{EC. 1.3})$$

En la expresión de Darcy-Weisbach se considera el mismo valor de velocidad de fluido (V) calculado en 3.1.1.1.

La longitud de tubería por tramo (L) se calcula mediante las dimensiones que se indican en Anexo Planos 002. Entonces sumamos toda la longitud total de tubería en la succión y descarga usada en el banco de pruebas.

$$L = 139 + 65 + 32.8 + 32.3 + 21.5 + 142 + 12.5 \text{ cm}$$

$$L = 445.1 \text{ cm}$$

$$L = 4.45 \text{ m}$$

Para calcular el coeficiente de fricción para la tubería (f) se necesita conocer el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

Antes de calcular el número de Reynolds, primero determinamos la viscosidad cinemática del agua con la ecuación 1.9.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{EC. 1.9})$$

$$\nu = \frac{1.00 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}{998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\nu = 1.002 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Con la viscosidad cinemática calculada, el diámetro interno (D) de la tubería igual a 25.4 mm (obtenida en 3.1.1.1) y velocidad de 2.03 m/s (calculado en 3.1.1.1) precisamos R_e .

$$R_e = \frac{V \times D}{\nu} \quad (\text{EC. 1.5})$$

$$R_e = \frac{2.03 \text{ m/s} \times 0.0254 \text{ m}}{1.002 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$R_e = 1.25 \times 10^5$$

El resultado de R_e lo comparamos con la tabla 1.3. Por lo tanto nuestro régimen de operación es turbulento ya que el número de R_e calculado es menor a 4000.

Para obtener la rugosidad relativa se debe conocer D_i y ε . Por consiguiente reemplazando el valor ε de la tabla 1.2 y el diámetro interno (D_i) de 25.4 mm en la ecuación 1.4 obtenemos.

$$R_r = \frac{\varepsilon}{D_i} \quad (\text{EC. 1.4})$$

$$R_r = \frac{0.005 \text{ mm}}{25.4 \text{ mm}}$$

$$R_r = 1.99 \times 10^{-4}$$

Precisado el número de Reynolds (R_e) y la rugosidad relativa, empleamos el diagrama de MOODY (Anexo A) para determinar f en la zona de turbulencia.

El diagrama de Moody indica que el coeficiente de fricción (f) es de 0.014, para la longitud total de la tubería.

Finalmente aplicamos la ecuación de Darcy-Weisbach para determinar la pérdida de energía en la tubería. Con los resultados de f , L , V , sabiendo que g es igual a 9.8 m/s^2 y el diámetro interno de la tubería a 25.4 mm, calculamos la pérdida de energía en la tubería (h_l).

$$h_l = f \frac{L \times V^2}{D \times 2 \times g}$$

$$h_l = 0.014 \times \frac{4.45 \text{ m} \times (2.03 \text{ m/s})^2}{0.0254 \text{ m} \times 2 \times 9.8 \text{ m/s}^2}$$

$$h_l = 0.51 \text{ m}$$

Con los resultados obtenidos de Altura estática (Z_0), la sumatoria de pérdidas en tuberías y accesorios $\sum(h_f)$ calculados en 3.1.2.1 y 3.1.2.2, reemplazamos en la ecuación 3.3 y determinamos el TDH.

$$\text{TDH} = 1.19 + 0.51 + 0.34 \text{ (m)}$$

$$\text{TDH} = 2.04 \text{ m}$$

Por lo tanto la resistencia que debe vencer en pérdidas nuestro sistema para que la bomba pueda transmitir el fluido del punto de succión al de descarga sin cambiar sus características es de 2.04 m.

3.1.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Para determinar la potencia requerida de la bomba para transmitir el fluido partimos de la ecuación 3.4.

$$P_{\text{HP}} = \frac{Q \times H \times \text{GS}}{3960 \times \eta} \text{ (EC. 3.4)}$$

Dónde:

- Q = Caudal en GPM
- H = Altura total en pies
- GS = Gravedad Específica del agua igual a 1
- η = Eficiencia

La eficiencia dependiendo de la potencia de la bomba puede variar de la siguiente forma:

1/4-2 HP 50-60 %

2-10 HP 60-70 %

10 HP en adelante 70-80%

Primero es necesario encontrar la altura total desarrollada por la bomba, para lo cual aplicamos la ecuación mencionada en 1.13.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \times g} + h_A - \sum (h_f + h_m) = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \times g} \quad (\text{EC. 1.13})$$

En esta ecuación se considera:

- $P_1=0$, Depósito expuesto a la atmósfera
- $V_1=V_2$, Diámetro de tubería de succión y descarga iguales
- $h_m = 0$, No existe pérdidas mecánicas de energía

Con esto simplificamos y despejamos h_A .

$$h_A = \frac{P_2}{\gamma} + Z_0 + \sum (h_f) \quad (\text{EC.3.5})$$

El peso específico (γ) se puede expresar como se muestra en la ecuación 3.6.

$$\gamma = g \times \rho \quad (\text{EC. 3.6})$$

Dónde:

- g = Aceleración de la gravedad= 9.8 m/s^2
- ρ = Densidad del líquido en kg/m^3

La presión P_2 en la ecuación 1.13 la podemos expresar en función de la densidad del fluido y la altura de presión en la descarga como se muestra en la ecuación 3.7.

$$P_2 = h_b \times g \times \rho \quad (\text{EC. 3.7})$$

Dónde:

- h_b = Altura de presión en la descarga en la salida de la bomba en m

- g = Aceleración de la gravedad = 9.8 m/s^2
- ρ = Densidad del líquido en kg/m^3

Entonces se reemplaza P_2 (EC. 3.7) y el peso específico (EC. 3.6) en la ecuación 3.5. Simplificando se obtiene:

$$h_A = \frac{h_b \times g \times \rho}{g \times \rho} + Z_0 + \sum(h_f)$$

$$h_A = h_b + Z_0 + \sum(h_f)$$

Con esto empleamos el valor de altura total de la tabla 3.1 como h_b . Porque es el valor máximo que se considera que desarrolle una bomba JET en la línea de descarga.

Utilizando el cálculo de Z_0 (en 3.1.2) y las pérdidas en accesorio y tuberías $\sum(h_f)$ (en 3.1.2.1 y 3.1.2.2), reemplazamos en la ecuación 3.4 y determinamos h_A .

$$h_A = 45\text{m} + 1.19\text{m} + 0.51\text{m} + 0.34\text{m}$$

$$h_A = 47.04 \text{ m}$$

$$h_A = 154.33 \text{ pies}$$

Finalmente para calcular la potencia de la bomba (EC. 3.4) empleamos la altura total calculada ($h_A = 47.04\text{m}$), el valor de caudal Q (15.85 GPM o 60 l/min) registrado en la tabla 3.1, y la eficiencia de 0.6 que está dentro del rango recomendado (60-70%).

$$P_{HP} = \frac{15.85 \text{ GPM} \times 154.33 \text{ pies} \times 1}{3960 \times 0.6}$$

$$P_{HP} = 1.02 \text{ HP}$$

El valor de potencia calculado se debe aproximar a un valor estandarizado de potencia 1HP. Con el valor de potencia se selecciona la bomba. Las características a considerar para la selección de la bomba son los parámetros del sistema hidráulico en la tabla 3.1, que sea tipo Jet, la potencia de 1 HP y el líquido

a bombear. También la de mejor accesibilidad a la compra y disponibilidad en el medio local

Encontramos la bomba LEO-XJm100L que tiene las siguientes características:

- Caudal de bombeo máximo: 60 LPM
- Altura de bombeo máxima: 45m
- Líquido a Bombear: Agua limpia
- Tipo: Jet
- Marca: LEO

Las condiciones de trabajo del motor serán:

- Voltaje: 220 V monofásico
- Frecuencia: 60hz
- Potencia: 1HP

Para más detalles ver Anexo G

3.1.4 VÁLVULA DE COMPUERTA

Para variar el caudal circulante en la descarga de la bomba se utilizó una válvula de compuerta. De esta forma se simula la carga de la bomba por la estrangulación de la válvula. Además porque esta válvula tiene cierre hermético y bajo costo. Ver figura 3.2. Detalles: VALV. COMPUERTA (ITAP 157) BRON. 1”.



Figura 3.2 Válvula de compuerta

3.1.5 VÁLVULA DE BOLA

Se utiliza una válvula de bola en la succión para el aislamiento de la bomba en caso de mantenimiento del tanque o de la bomba. Ver figura 3.3. Detalles: VALVULA BOLA (STANDARD VIENNA 216) 1".



Figura 3.3 Válvula de bola

3.1.6 VÁLVULA CHECK

La válvula check se utiliza para evitar el contraflujo del líquido, una vez que se ha detenido la bomba. El flujo inverso puede causar daños en la bomba, como por ejemplo podría aflojar el impulsor, o causar dificultades al momento de volver a cebar la bomba. Ver figura 3.4.



Figura 3.4 Válvula Check

3.1.7 ACCESORIOS

Los accesorio sirven para conectar, cambiar la dirección del flujo, reducir y más.

En la tabla 3.6 se expone las consideraciones y accesorios elegidos para el módulo de pruebas.

ELEMENTO	CONSIDERACIÓN	DESCRIPCION
Codos	Se utiliza codos para redirigir el flujo y realizar las uniones respectivas de la tubería.	Codo estándar de 90° de 1" en PVC
Uniones en "T"	Se utilizó 4 uniones en "T" en PVC de 1" para realizar las respectivas conexiones.	
Uniones Universales	Se instalaron para poder realizar el respectivo mantenimiento de la bomba ya sea en el lado de succión o descarga. Además en caso de reemplazar el equipo de bombeo por otro de las mismas características	Uniones universales en PVC de 1"
Reductores	Se empleó para realizar las conexiones a la diferente toma de equipos como: manómetros y válvulas.	Reductores de 1" a 1/2" en PVC. Reductores de bronce de 1/2" a 1/4"
Neplos	Para unir la tubería se usó neplos en PVC de acuerdo a la instalación diseñada.	Neplos 1"x15 cm Neplo de 1"x6cm Neplo de 1"
Salida y Entrada del tanque	Para la salida y entrada del tanque se utilizó un adaptador para tanque/ junta en PVC.	
Mangueras	En este caso se lo utilizo con propósitos didácticos tanto en la succión como en la descarga. Ya que al ser transparentes permite visualizar claramente en el lado de succión o descarga inconvenientes como aire o gases arrastrados por el fluido y obstrucciones. Además para facilitar la conexión de equipos de bombeo al módulo.	Manguera lisa de 1"(diámetro interno)

Tabla 3.6 Selección de los accesorios hidráulicos

Fuente: Propia

3.1.8 VÁLVULA AUTOMÁTICA DE ESCAPE DE AIRE

Esta válvula permite la evacuación del aire en caso de existir bolsas de aire, también para evitar lecturas falsas de las mediciones de los equipos en lado de descarga. Ver figura 3.5. Detalles: Válvula Automática de escape de Aire toma rosca de 1/2".



Figura 3.5 Válvula automática de escape de aire

3.1.9 TANQUE O DEPÓSITO

Para determinar el volumen del depósito partimos de la ecuación 3.8.

$$V_T = 3.6 \times Q_{\max} \times T \text{ (EC. 3.8)}$$

Dónde:

- V_T = Volumen del depósito en m^3
- 3.6 = Constante para convertir lt/s a m^3
- Q_{\max} = Caudal máximo en lt/s
- T = Tiempo en horas = 3 min = 0.05 h

Se toma el valor de Q_{\max} (60LPM o 1lt/s) de la tabla 3.1. Y un tiempo de trabajo de 3 min. El volumen del depósito es:

$$V_T = 3.6 \times 1 \times 0.5$$

$$V_T = 0.18 \text{ m}^3 = 180 \text{ lt.}$$

Por lo tanto el volumen del depósito es de 180 litros; Plastigama ofrece a nuestra disposición diversos tipos de tanques mostrados en el Anexo H. Seleccionamos un Tanque cónico de Polietileno de Plastigama con una capacidad de 250 litros, altura aproximada de 71 cm y diámetro de 65 cm.

Además la tubería de succión y descarga conducen al mismo tanque, en una conexión cerrada como se observa en Anexo Planos 002.

3.1.10 MANÓMETRO

La figura 3.6 indica el marco de referencia para el cálculo de la presión máxima que llegará a P_2 donde se ubicara el manómetro.

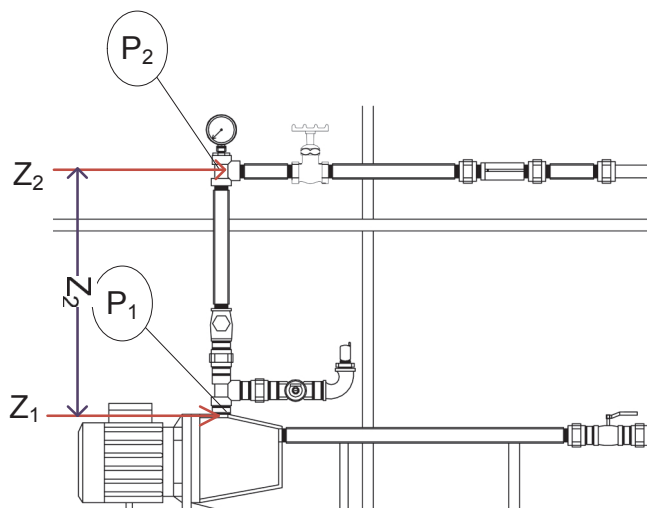


Figura 3.6 Selección del manómetro

Partimos de la ecuación 1.13.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \times g} + h_A - \sum (h_f + h_m) = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \times g} \quad (\text{EC. 1.13})$$

Con esta ecuación se considera:

- $V_1=V_2$, Debido a que la tubería tiene el mismo diámetro.
- La figura 3.6 muestra que no existe adición de energía en los puntos P_2 y P_1 por lo tanto $h_A = 0$.
- $Z_1=0$, Esta al mismo nivel de referencia (ver figura 3.6)
- $h_m=0$, No existe pérdidas mecánicas.

- El valor de γ expresamos como se describió en la ecuación 3.5. Y utilizamos los valores de la tabla 1.5

Entonces la ecuación queda:

$$\frac{P_1}{g \times \rho} - \sum (h_f) = \frac{P_2}{g \times \rho} + Z_2 \quad (\text{EC. 3.9})$$

El valor de P_1 se ubica en la línea de descarga por lo que se puede expresar como:

$$P_1 = h_a \times g \times \rho \quad (\text{EC. 3.10})$$

Dónde:

- h_a = Altura de presión en la descarga en metros
- g = Aceleración de la gravedad = 9.8 m/s^2
- ρ = Densidad del líquido en kg/m^3

En la ecuación 3.10 se toma la altura total mencionada en la tabla 3.1 como la altura de presión en la descarga (h_a) igual a 45m. Porque corresponde al valor máximo que pueda existir en la descarga.

Después para encontrar el valor de Z_2 tomamos de las dimensiones en Anexos Planos 002. El valor de $\sum(h_f)$, corresponde a la pérdida de energía calculada en 3.1.2.1 y 3.1.2.2. Con estas premisas se utiliza la ecuación 3.9 para calcular P_2 .

$$P_2 = P_1 - Z_2 \times \gamma - \sum (h_f) \times \gamma$$

$$P_2 = h_A \times g \times \rho - Z_2 \times g \times \rho - g \times \rho \times \sum (h_f)$$

$$P_2 = \left\{ (45\text{m} \times 998 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) - \right.$$

$$\left. (0.76\text{m} \times 998 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) - [(0.50 + 1.19) \times 998 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}] \right\}$$

$$P_2 = 416580.669 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 60.41 \text{ PSI}$$

Para la selección adecuada del manómetro se toma la presión máxima calculada P_2 (60.41 PSI) y la disponibilidad del equipo en el mercado.

La selección adecuada es un manómetro tipo Bourdon marca Winters. Ver figura 3.7

Detalles:

- Diámetro de la caratula será de 2 ½". Con doble escala PSI y BAR
- Conexión es de ¼" NPT
- Aplicación: medición de agua.
- Rango de 0-100 PSI
- Exactitud 3%



Figura 3.7 Manómetro (0-100PSI)

3.1.11 MULTÍMETRO DIGITAL

Utilizaremos un multímetro digital para tomar los valores de corriente (I) y voltaje (V). Se elige un multímetro digital debido a que son los más comunes, fáciles de encontrar en el mercado debido a que tienen una instalación sencilla y uso adaptable. Además por las siguientes características.

- Trabaja amplios rangos de voltaje y corriente.
- Permite monitorear tanto corriente, voltaje y frecuencia.
- Es un módulo que permite el montaje en el gabinete.

Para más información revisar el Anexo I

3.1.11.1 Transformador de corriente (TC)

Para el funcionamiento del multímetro digital se necesita instalar un transformador de corriente (T.C.), esto debido a las indicaciones en el Anexo I. Con esto se provee seguridad al multímetro digital y mediciones correctas.



Figura 3.8 Transformador de corriente

Relación de transformación:

$$m = \frac{11}{12} \text{ (EC 3.11)}$$

3.1.12 ROTÁMETRO

La selección del rotámetro debe cumplir con el requisito indicado de 60 LPM expuesto en la tabla 3.1. Dentro del mercado se selecciona el rotámetro marca HEADLAN EZ-VIEW FLOW MET, con los siguientes datos técnicos:

- Instalación en cualquier posición
- No necesita conexiones eléctricas
- Lectura directa
- Precisión entre $\pm 5\%$ del fondo de escala
- Escala en GPM y LPM

- Caudal máximo de 60 LPM

Para más detalles ver anexo J.

3.1.13 SENSOR DE CONTROL DE NIVEL TIPO BOLA

El sensor permite un control e indicación de nivel de agua en el depósito. En caso de que no exista el nivel adecuado de fluido el sensor tipo bola permitirá conectar y/o desconectar el funcionamiento de la bomba.

Datos técnicos:

- Medio líquido: Agua
- Tensión: 100-254 V
- Corriente Máxima: 15 A
- Temperatura máxima de agua: 60°C
- Potencia máxima del motor: $\frac{3}{4}$ -1.5 (HP)

3.1.14 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control debe ofrecer seguridad de operación de la bomba y garantizar la funcionalidad del sistema.

3.1.14.1 Elementos de Control

Los elementos de control diseñado se exponen en la figura 3.9 y son breakers, contactos auxiliares, relé auxiliar, sensor de nivel tipo bola y selector. El funcionamiento es el siguiente:

El selector de tres posiciones (S3/0) activa al contactor (C1), lo que posibilita el encendido y/o apagado de la bomba.

El sensor de nivel tipo bola, se conecta a un relé auxiliar (RA). En caso de una baja del nivel mínimo del líquido el sensor activará los contactos del relé auxiliar.

Cuando el relé auxiliar actué debido al sensor de nivel, inmediatamente el motor se parara. Si esto sucede la luz piloto roja se encenderá, mostrándonos que existe una falla. En esta condición no se podrá arrancar el motor.

En caso de emergencia se pulsa el paro de emergencia (Pg), para desconectar todos los equipos del tablero. Con esto no se podrá por ningún medio arrancar el equipo.

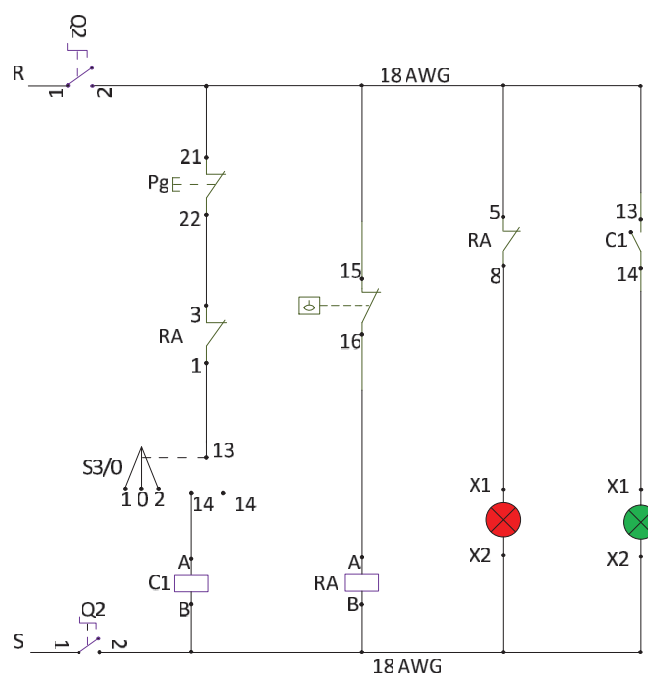


Figura 3.9 Diagrama de control

3.1.14.2 Elementos de Fuerza

Los elementos de fuerza se observa en la figura 3.10 estos son un guardamotor y un contactor. El funcionamiento es el siguiente:

Cuando se energiza la bobina del contactor (C1), cerrara sus contactos principales. De esta manera el motor se pondrá en marcha.

Para la protección durante el arranque y marcha del motor se ha dispuesto un guardamotor termomagnético (Q1). Además de la conexión de un multímetro para monitorear el voltaje y corriente del motor.

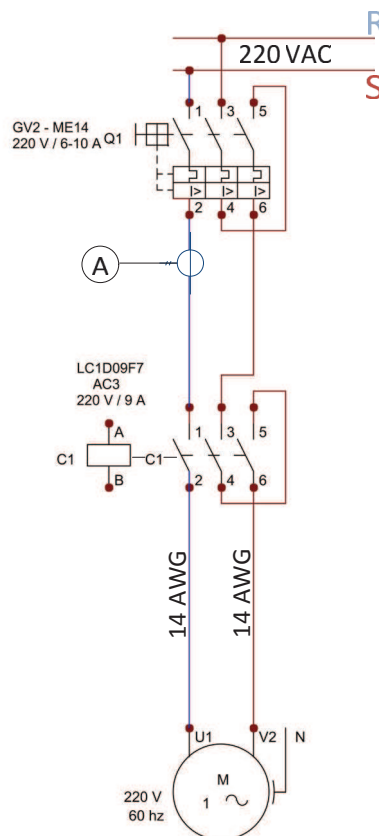


Figura 3.10 Diagrama de fuerza

3.1.15 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES

Para el dimensionamiento de los conductores se utiliza como referencia los datos presentados en la tabla 3.1 del panel control.

Empleamos el valor de 1HP de nuestra tabla 3.1. Con este valor nos dirigimos al Anexo D y registramos la corriente nominal de un motor monofásico de 1HP. Por consiguiente un motor bifásico a 230V tendrá un consumo de corriente de 8 A.

Considerando el consumo de corriente (8 A), la corriente que toma el motor al momento de arranque (6-10 veces I_N), se utiliza para la instalación de fuerza en el tablero de control un calibre de conductor flexible 14 AWG. (Ver tabla 3.5)

Para la instalación del control utilizaremos conductor flexible 18 AWG. (Ver tabla 3.5)

Capacidad en Amperes		(2)	Calibre de extensión	
Mayor de	Hasta	No. de conductores	De 1,8 m hasta 15 m	Mayor de 15 m
0 A	10 A	3	18 AWG (1)	16 AWG
10 A	13 A	3	16 AWG	14 AWG
13 A	15 A	3	14 AWG	12 AWG
15 A	20 A	3	8 AWG	6 AWG

“Tabla 3.6 Amperaje en conductores”²¹

Fuente: www.truper.com

3.1.16 TABLERO DE CONTROL

El gabinete debe contener a todos los equipos de fuerza y control. Para este caso utilizaremos un gabinete metálico liviano de 60x40x20 cm que contendrá los elementos de protección, control y mando de la bomba.

La mejor ubicación posible la encontramos en la parte superior de la mesa ya que el espacio es reducido y es necesario que el tablero quede protegido en caso de que existan derrames de agua.

3.1.17 GUARDAMOTOR

Para la protección del motor al momento de arranque y operación se usa un guardamotor.

Partimos de las características indicadas en la tabla 3.1 donde:

²¹TRUPER, Herramientas, S.A. de C.V. (2010) Instructivo Peripheral Pump. Pág. 3

- Fases: 1F
- Potencia: 1HP
- Voltaje: 220 V
- $\cos \phi = 0.80$ (Tomando en cuenta el $\cos \phi$ para motores monofásicos puede variar de 0.75 - 0.80)

Con los datos en consideración calculamos primero la potencia (P) en kW:

$$P = 1\text{HP} \times 0.746 \text{ kW}$$

$$P = 0.746 \text{ kW}$$

Con la P (kW), calculamos la corriente de línea aplicando la ecuación 3.11.

$$I_L = \frac{P \text{ (kW)}}{V \times \cos \phi} \text{ (EC. 3.11)}$$

$$I_L = \frac{0.746 \text{ kW}}{220 \times 0.80}$$

$$I_L = 4.23 \text{ A}$$

Un motor monofásico requiere una protección termomagnética debido a su elevada corriente al arranque y consumo nominal. La corriente de arranque en motores monofásicos es aproximadamente 6-10 la corriente nominal.

La corriente nominal calculada es de 4.23 A. Por lo tanto I_L se le multiplicara por un margen de seguridad de 1.5 veces.

$$I_L = I \times 1.5$$

$$I_L = 1.5 \times 4.23 = 6.34 \text{ A}$$

Con esta corriente de 6.34 A ya podemos seleccionar nuestro guardamotor.


Elemento	Características
Guardamotor 	Descripción: GV2-ME14 GUARDAMOTOR Schneider Electr. Térmica: 6-10 Amperios

Tabla 3.7 Guardamotor

Fuente: Propia

3.1.18 CONTACTOR

EL contactor se emplea para la conexión y desconexión del motor en el circuito eléctrico de fuerza. Para el dimensionamiento del contactor tomamos la corriente calculada de 6.34 A (Desarrollado en 3.17). Con este valor de corriente y la oferta en el mercado de estos dispositivos se selecciona el contactor.


Elemento	Características
Contactor(C1) 	Tipo: AC3(C1) Descripción: LC1D09F7 CONTACTOR I: 9A C/BOBINA 220V

Tabla 3.8 Contactor

Fuente: Propia

3.1.19 LUCES PILOTO

La luz piloto es un dispositivo para precisar el estado de funcionamiento de una máquina.

Por lo tanto:

- La luz piloto verde indicara que la bomba está en marcha.
- La luz piloto roja indica la falla de nivel en el depósito de agua.

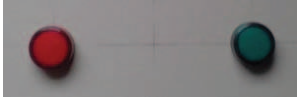
Elemento	Características
Luces piloto 	Luz piloto Verde Voltaje de operación: 220 V Tamaño: 22mm.
	Luz piloto Roja Voltaje de operación: 220 V Tamaño: 22mm

Tabla 3.9 Luces piloto

Fuente: Propia

3.1.20 RELÉ AUXILIAR

Este dispositivo se emplea para establecer el mando en el circuito eléctrico de control, porque conectara y/o desconectara el circuito de control. Su funcionamiento estará condicionado por la acción del flotador.


Elemento	Características
Rele Auxiliar(RA) 	Tipo: CSC Pines: 8 BOBINA: 220V

Tabla 3.10 Relé Auxiliar

Fuente: Propia

3.1.21 BREAKER

Sirve principalmente para la conexión y desconexión de la alimentación de la red al circuito de control. Además de protección.


Elemento	Características
Breaker magnetotermico 	Voltaje: 220V Fases:1 Cantidad:2

Tabla 3.11 Breaker

Fuente: Propia

3.1.22 BORNERAS

Servirán como puntos de conexión del motor, el sensor de nivel y la alimentación de la red. Detalles: Bornera 6mm. 10AWG.

3.1.23 PARO DE EMERGENCIA

El paro de emergencia es indispensable para el control eléctrico porque proporciona al equipo protección y seguridad. Detalles: Paro de Emergencia tipo Hongo, Tamaño: 22mm.

3.1.24 SELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La selección de la estructura se realiza en base al sistema hidráulico y el tablero de control. Se utilizan materiales que se disponen en el mercado y costo de adquisición.

Para seleccionar la mesa, se analiza el peso y el volumen que ocupará cada elemento. El peso total en condiciones de operación críticos del banco de pruebas es de 130 libras (58.96 Kilogramos), es decir el sistema hidráulico se encuentra con fluido (presencia de agua en las tuberías de succión y descarga), en condiciones normales en que el banco de pruebas no está operando, (sin presencia de fluido), el peso total del banco es un estimadoo a 100 libras (45.3 kilogramos).

Entonces con el peso total, el espacio físico de cada elemento, se planteó que la estructura deberá formarse de acuerdo al esquema Anexo Planos 003.

3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODULO

Una vez, realizado los cálculos y selección de todas las partes de nuestro sistema hidráulico y control. Se procede a la construcción del módulo de pruebas de bombas JET.

La construcción será basada en la selección y criterios mencionados en 3.1 y en los planos del conjunto del sistema (Anexo Planos). También es necesario partir de criterios mencionados por los fabricantes, manuales de instalación para la construcción.

3.2.1 ESTRUCTURA

La materia prima para la construcción de la estructura es tubo cuadrado (25x25 mm), para la construcción de la estructura se usa las dimensiones mostradas en anexo planos 003 (A.P. 003). Además se colocaron tablas triplex de espesor 9 mm.

El proceso de construcción es el siguiente.



Figura 3.11 Estructura metálica

Plan de Procesos- Construcción de la estructura					
Nº	Proceso	Máquina	Herramientas	Parámetros	Observación
1	Corte		Sierra Manual	Dimensiones A.P. 003	Tubo cuadrado
2	Limado	Manual	Lima		Tubo cuadrado
3	Suelda	Soldadora	Electrodo E6011		Ver A.P. 002
4	Pulido	Amoladora	Disco de desbaste		
5	Montaje				Ver A.P. 002, Tabla Triplex
6	Pintura		Soplete Spray	Pintura Antioxidante color gris	

Tabla 3.12 Construcción Estructura

Fuente: Propia

3.2.2 BOMBA

La bomba se instaló en la parte inferior de la mesa donde se sujetaran con tornillos de diámetro 8 mm.

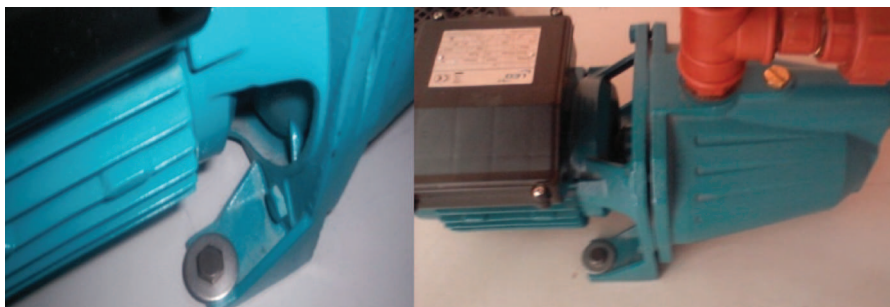


Figura 3.12 Instalación de la bomba

Plan de Procesos- Colocación de la bomba					
Nº	Proceso	Máquina	Herramientas	Parámetros	Observación
1	Trazado		Escuadras, reglas, rayador		Ver A.P. 002
2	Agujeros	Taladro de mano	Broca de agujero $\Phi = 8$		
3	Sujeción		Llaves $\Phi = 10$		
4	Agujeros	Taladro de mano	Broca de agujeros $\Phi = 8$		
5	Sujeción		Llaves $\Phi = 10$		

Tabla 3.13 Instalación de la bomba

Fuente: Propia

3.2.3 TUBERÍA DE SUCCIÓN

La tubería de succión se instala de acuerdo a la disposición de equipos en Anexo planos (A.P.) 001 y 002. Para lo cual se utiliza tubo PVC, accesorios y llaves de cañería. Esta abarca desde la parte inferior del depósito en la hasta la boca (entrada) de la bomba. El proceso de instalación es.

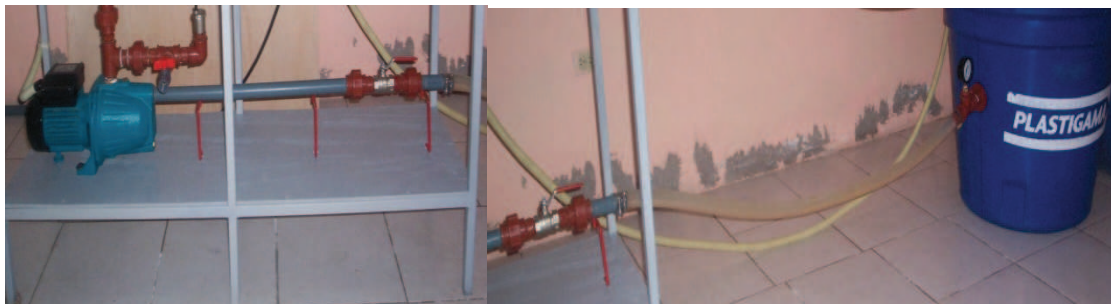


Figura 3.13 Tubería de Succión

Plan de Procesos- Instalación de la tubería de succión					
Nº	Proceso	Máquina	Herramientas	Parámetros	Observación
1	Corte	Manual	Sierra manual	Dimensiones A.P. 002	Tubería roscable PVC
2	Roscado	Terraja	Cabezal Terraja (1" NPT)	L=2.5cm	
3	Sellante		Teflón y Permatex		Tubería y accesorios
4	Colocación Tuberías		Llaves de cañería	Alineación	Ver A.P. 001
5	Colocación Válvula		Llaves de cañería	Alineación	Ver A.P. 001
6	Corte	Manual	Sierra manual	Dimensiones A.P. 002	Mangueras plásticas
7	Colocación Deposito	Manual	Destornillador plano		Ver A.P. 001

Tabla 3.14 Instalación de la tubería de Succión

Fuente: Propia

3.2.4 TUBERÍA DE DESCARGA

Se consideró Anexos Planos (A.P.) 002 y 001 para armar. Se usó tubería PVC y accesorios, además una válvula check a la salida de la bomba. En el lado de descarga se instaló el manómetro y rotámetro con las consideraciones expuestas en los manuales de fabricación. La tubería de descarga corresponde de la boca de salida de la bomba hasta la parte superior del depósito. El proceso de instalación es.



Figura 3.14 Tubería de descarga

Plan de Procesos - Instalación de tubería de descarga					
N°	Proceso	Máquina	Herramientas	Parámetros	Observación
1	Corte	Manual	Sierra manual	Dimensiones A.P. 002	Tubería roscable PVC
2	Roscado	Terraja	Cabezal de Terraja (1"NPT)	L=2.5 cm	
3	Sellante		Teflón y Permatex		
4	Colocación Tuberías		Llave de cañería	Alineación	Ver A.P. 001
5	Colocación Válvula		Llave de cañería	Alineación	Ver A.P. 001
6	Colocación Manómetro		Llave de cañería	Alineación	Ver A.P. 001
7	Colocación Rotámetro			Alineación	Ver A.P. 001
8	Corte	Manual	Sierra Manual	Dimensiones A.P. 002	Mangueras
9	Colocación Deposito	Manual	Destornillador plano		

Tabla 3.15 Instalación de la tubería de Descarga

Fuente: Propia

3.2.5 DEPÓSITO DE AGUA

Se considera Anexos Planos (A.P.) 002 y 001 para armar. Se usó accesorios para la instalación de tanques. En el depósito se realizan dos agujeros de aproximadamente 1" en la parte inferior y superior. El proceso de instalación es.



Figura 3.15 Depósito de agua

Plan de Procesos - Instalación del tanque o reservorio					
Nº	Proceso	Máquina	Herramientas	Parámetros	Observación
1	Trazado		Escuadras, reglas, rayador	Dimensiones A.P. 002	
2	Perforación	Taladra mano	Broca $\phi=25''$	Dimensiones A.P. 002	
3	Colocación Accesorios		Llave de cañería		Ver A.P.001
4	Colocación Manómetro		Llave de cañería	Alineación	Ver A.P. 001

Tabla 3.16 Instalación del depósito de agua

Fuente: Propia

3.2.6 SISTEMA DE CEBADO

Se considera Anexos Planos (A.P.) 002 y 001 para colocar los accesorios de 1" y ½". También se colocó la válvula de escape de aire. Se siguió el siguiente proceso.



Figura 3.16 Cebado de la bomba

Plan de Procesos - Instalación de sistema de cebado					
N°	Proceso	Máquina	Herramientas	Parámetros	Observación
1	Sellante		Teflón y Permatex		
2	Colocación Accesorio		Llave de cañería	Alineación	Ver A.P.001
3	Colocación Válvulas		Llave de cañería	Alineación	Ver A.P.001

Tabla3.17 de Instalación de cebado

Fuente: Propia

3.2.7 TABLERO ELÉCTRICO

En el tablero de control se colocaron todos los elementos de fuerza, medición y control. Para lo cual se siguió el siguiente proceso.



Figura 3.17 Tablero de control

Plan de Procesos - Construcción de Tablero de Control					
N°	Proceso	Máquina	Herramientas	Parámetros	Observación
1	Trazado		Escuadras, reglas, rayador		Tapa, trasfondo
2	Agujero	Taladro de mano	Sacabocados $\phi=22$ mm	$\Phi=22$ mm	Tapa, trasfondo
3	Corte	Manual	Sierra Vertical	Dimensiones=90x43mm.	Tapa
4	Agujero	Taladro de mano	Broca $\phi=8$ mm		Trasfondo
5	Corte	Manual	Sierra mano		Canaletas, riel DIN
6	Montaje		Alicate, Pinza plana		Equipos Canaletas, riel DIN
7	Conexión		Alicate, Pinza plana, Taype, Destornilladores	Diagrama de control Diagrama de Fuerza	
8	Montaje		Destornilladores		Estructura

Tabla 3.18 Construcción de tablero de control

Fuente: Propia

A continuación se presenta diferentes imágenes del módulo desde diferentes ángulos.





Figura 3.18 Imágenes del banco de pruebas para bombas JET

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestra el funcionamiento, también la operación correcta para asegurar su eficiencia, durabilidad y sobre todo evitar problemas de seguridad.

El módulo fue estrictamente construido para determinar la funcionalidad, validez de una bomba a partir de sus curvas de funcionamiento y eficiencia.

4.1 FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO

El módulo es una instalación hidráulica que básicamente mediante una bomba centrífuga recirculará el agua a un depósito. En la figura 4.1 podemos apreciar el diagrama de funcionamiento hidráulico de nuestro modulo.

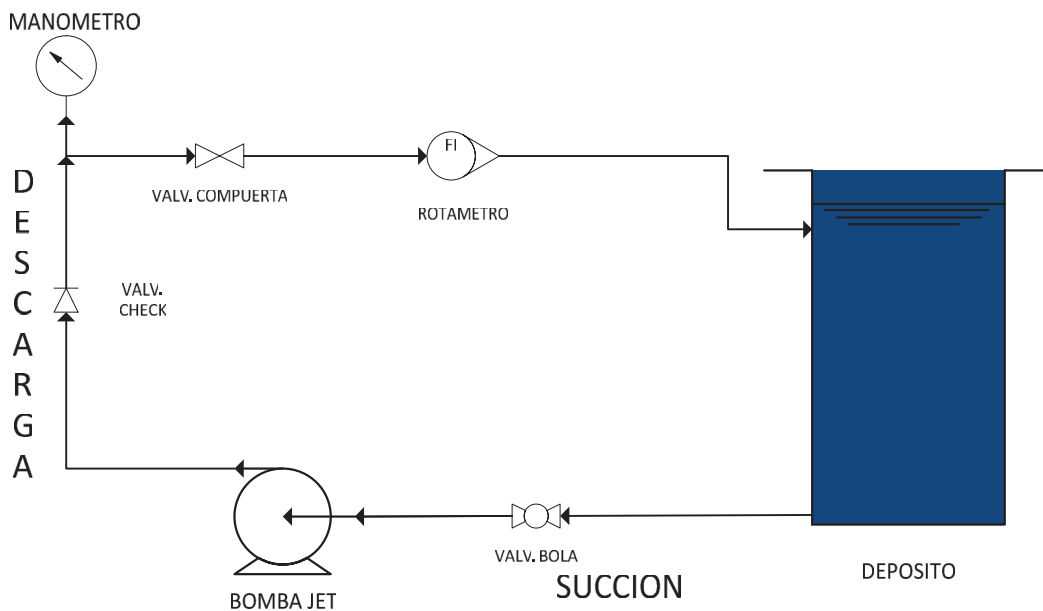


Figura 4.1 Diagrama Hidráulico (Proceso)

Cuenta con un manómetro ubicado en la descarga de la bomba, este dispositivo mide en PSI y BAR.

El caudal se mide mediante un rotámetro el mismo que se encuentra en la línea de descarga, este dispositivo está provisto de una escala que mide el volumen de agua en litros por minuto (LPM) o en galones por minuto (GPM)

La bomba tiene como función de añadir energía al fluido para entregarlo a un punto de descarga (depósito). Cuando la bomba se acciona esta aspira el fluido contenido en el depósito, el cual circula por los indicadores dispuestos en la tubería de descarga, hasta regresar al depósito. La bomba entregará el fluido a una determinada presión y caudal en nuestro sistema.

Para determinar la altura de bombeo, caudal a varios puntos de funcionamiento se ha dispuesto una válvula de compuerta. La válvula de compuerta (figura 4.1) está ubicada en la tubería de descarga, en la parte superior de la mesa (Ver Anexo Planos 001).

Mediante el estrangulamiento de la válvula de compuerta se está simulando carga para la bomba, porque se restringe el paso del fluido a través de la tubería de descarga. Por cada variación en la apertura o cierre de la válvula de compuerta obtendremos diferentes valores de presión y caudal. Si realizamos el proceso varias veces, obtendremos una serie de puntos que nos ayudarán a graficar la curva característica de la bomba.

El módulo cuenta además con un panel de control indicado en la figura 4.2, que permite establecer el funcionamiento (marcha/paro) del motor.

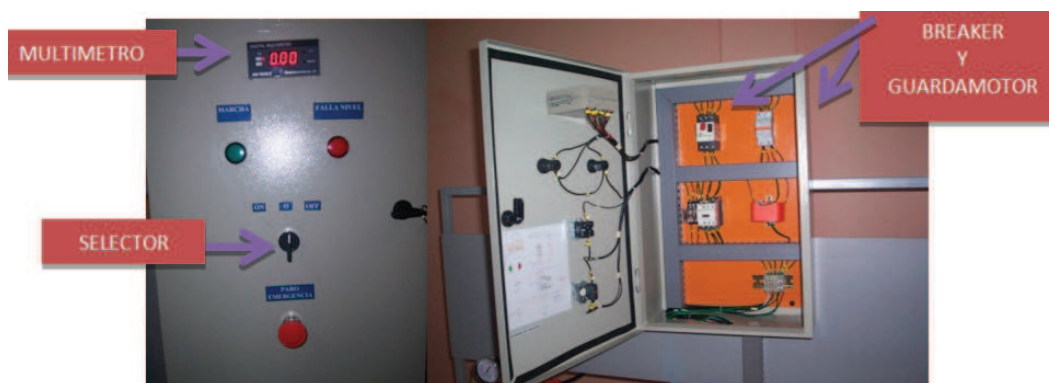


Figura 4.2 Tablero de control

El tablero de control garantiza el funcionamiento de la bomba. Permite en caso de emergencia detener la bomba.

El tablero tiene un selector para establecer un control manual de la bomba, además indicadores y medidores que permitan registrar las características eléctricas del motor. Disponen de un multímetro que permitirá obtener los datos para calcular la potencia eléctrica consumida del motor.

4.1.1 INSTRUCCIONES PARA MANEJAR EL MÓDULO

Para obtener la curva característica de la bomba, se tomarán datos de presión, caudal, voltaje y corriente para reconstruir la curva desde el punto de válvula abierta hasta el punto aproximado de válvula cerrada

Antes de arrancar la bomba, se realizarán las siguientes comprobaciones:

- Válvula bola (succión): abierta
- Bomba Jet completamente cebada
- Válvula bola (cebado): cerrada
- Nivel de agua suficiente en el depósito
- Selector de panel de control en posición OFF
- Giro del motor (De acuerdo al fabricante)
- Válvula de compuerta abierta

El selector ubicado en el panel se gira a la posición de ON (marcha). Se esperará hasta que se establezca el caudal. Para registrar los datos:

- Se tomará el valor del caudal (en principio con válvula compuerta abierta).
- Se anotará el valor de la presión del manómetro, corriente y voltaje indicado en el panel por el multímetro.

- La válvula compuerta se irá estrangulando para modificar el caudal. Se tomarán datos de medida en al menos 6 caudales distintos. Y los mencionados de presión, voltaje y corriente.
- Los datos obtenidos se llevarán a una tabla y se realizarán los cálculos necesarios de: altura de bomba, potencia y eficiencia.
- Con los datos recogidos y calculados se simula la gráfica de funcionamiento en software pipe flow expert y la de eficiencia en Excel.
- Una vez finalizado el ensayo se girara el selector en posición de OFF (Apagado) para que el motor se pare.

En el caso de un funcionamiento anómalo o extraño, consultar la tabla 4.1 con el fin de resolver los posibles fallos indicados. Si persisten, o en caso de duda contactar a personal técnico calificado.

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
Vibraciones y ruidos exagerados	La altura de aspiración es superior a la de proyecto, y en consecuencia, la bomba funciona en cavitación	Acortar la altura de aspiración al valor original - Aumentar el diámetro de la tubería de aspiración-Inspeccionar la tubería de aspiración, la válvula de retención o de pie, el filtro – Abrir completamente la válvula colocada en la tubería de aspiración
	La presión de aspiración es muy elevada	Reducir la presión sin tocar la válvula de cierre colocada en la tubería de aspiración
	Existe desalineamiento en el acoplamiento de la bomba con el motor	Realignar el acoplamiento
	La bomba y/o las tuberías están mal fijadas	Apretar a fondo los espárragos de fijación
	La bomba esta desgastada o dañada con excesivos juegos internos	Revisar la bomba
	El caudal de funcionamiento es inferior al mínimo requerido	Aumentar el caudal
	El montaje después de una reparación está equivocado	Revisar la bomba efectuando el montaje correctamente
	Existe desalineamiento en el acoplamiento de la bomba con el motor	Realignar el acoplamiento
	Deposito vacío	Llenar el depósito de agua.
Calentamiento de los soportes	Los rodamientos son defectuosos y/o están desgastados	Sustituir los rodamientos
	Los rodamientos son defectuosos y/o están desgastados	Sustituir los rodamientos
	Existe desalineamiento en el acoplamiento de la bomba con el motor	Realignar el acoplamiento
	El voltaje del motor o de la alimentación eléctrica está equivocado - El motor no funciona bien	Cambiar el motor - Regular la tensión de alimentación
	La presión de aspiración es muy elevada	Reducir la presión sin tocar la válvula de cierre colocada en la tubería de aspiración
	Existen esfuerzos, momentos y desalineamientos en la bomba causados por las tuberías	Realignar y fijar correctamente las tuberías
	Potencia absorbida elevada	La viscosidad, la densidad o el peso específico del líquido bombeado son superiores a los del proyecto Igualar las condiciones del líquido bombeado a las del proyecto
	La Bomba no está cebada	Proceder a cebar la bomba correctamente
	El montaje después de una reparación está equivocado	Revisar la bomba efectuando el montaje correctamente
	La bomba esta desgastada o dañada con excesivos juegos internos	Revisar la bomba
Caudal y/o presión insuficiente o nula	La altura necesaria de la instalación es superior a la del proyecto	Si es posible aumentar la velocidad de rotación-Reducir la altura de la instalación
	El sentido de giro está equivocado	Invertir el sentido de giro del motor eléctrico
	Las tuberías están obstruidas	Limpiar las tuberías y las válvulas - Limpiar los filtros
	Es insuficiente la profundidad de inmersión de la tubería de aspiración por debajo del nivel del líquido, formándose remolinos	Aumentar la profundidad de inmersión de la tubería de aspiración o de la válvula de retención o de pie
	Conexiones sueltas	Revise las conexiones
No arranca el motor	Voltaje más bajo que el nominal	Revise la tensión de alimentación
	Conexiones y/o elementos quemados	Reemplazar los conductores y/o elementos quemados con las mismas características
	Sensor de nivel defectuoso	Revisar y/o Reemplazar el sensor nivel tipo bola
	Motor sobrecalentado	Revisar la ventilación y valores de tensión
Se acciona con cortocircuito	Conexiones sueltas	Revisar el diagrama de cableado y conectar de forma correcta

Tabla 4.1 Soluciones a fallos comunes en el módulo.

Fuente: Propia

4.2 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

Para verificar el correcto desempeño del módulo construido se realizará una prueba de funcionamiento, en donde se expondrán los resultados obtenidos.

4.2.1 LECTURA DE PARÁMETROS

Para el objeto de la práctica se regula el caudal maniobrando la conducción de descarga. Para cada punto de funcionamiento se recoge las siguientes medidas:

Presión

- Se dispone de un manómetro en PSI-BAR.
- Precisión: $\pm 3\%$.
- Rango: 0-100 PSI

Voltaje

- Se dispone de un multímetro digital.
- Precisión: $\pm 0.5\%$
- Rango: AC 50- 600 V

Corriente

- Se dispone de un multímetro digital.
- Precisión: $\pm 0.5\%$.
- Rango de medición: 0-5A

Caudal

- Se dispone de un rotámetro en LPM o GPM.
- Precisión: $\pm 0.5\%$.
- Rango: 0-60 LPM

Estas medidas se consignarán en una tabla de datos según el formato del anexo K. Puede considerarse suficiente la obtención de 6-7 puntos de funcionamiento siempre que estén suficientemente distribuidos por el rango de caudales.

Una vez terminado el debido proceso y la toma de datos debemos realizar los cálculos que se mencionan a continuación.

Primero determinamos la potencia consumida por el motor por la ecuación mencionada en 1.17. Los datos de voltaje y corriente serán registrados por el multímetro digital del panel.

$$\text{Alternativa Monofásica: } P = V \times I \times \cos \phi \text{ (Watts) (EC. 1.17)}$$

Para expresar la potencia hidráulica consumida por la bomba aplicamos la ecuación descrita en 1.15.

$$P_{(HP)} = \frac{Q_{(\text{Galones/minuto})} H_{(\text{pies})}}{3.960} \quad (\text{EC. 1.15})$$

Para la conversión de LPM (litros/minuto) a GPM (galones/minuto), podemos usar la relación de que 1LPM es igual a 0.2641GPM.

Para la conversión de P_2 a H (pies) utilizamos la ecuación descrita en 1.2.

$$H = \frac{P \times 2.31}{Gr} \quad (\text{EC. 1.2})$$

Determinado la potencia hidráulica y consumida por el motor expresada en vatios, ya podemos aplicar la ecuación 1.13 para calcular la eficiencia.

$$\eta (\%) = \frac{P_h}{P_m} \times 100 \% \quad (\text{EC. 1.13})$$

Todos estos cálculos se realizarán para cada punto de funcionamiento y los resultados se registrarán en la hoja de datos (Ver Anexo K).

4.2.2 ANÁLISIS DEL MÓDULO DE PRUEBAS

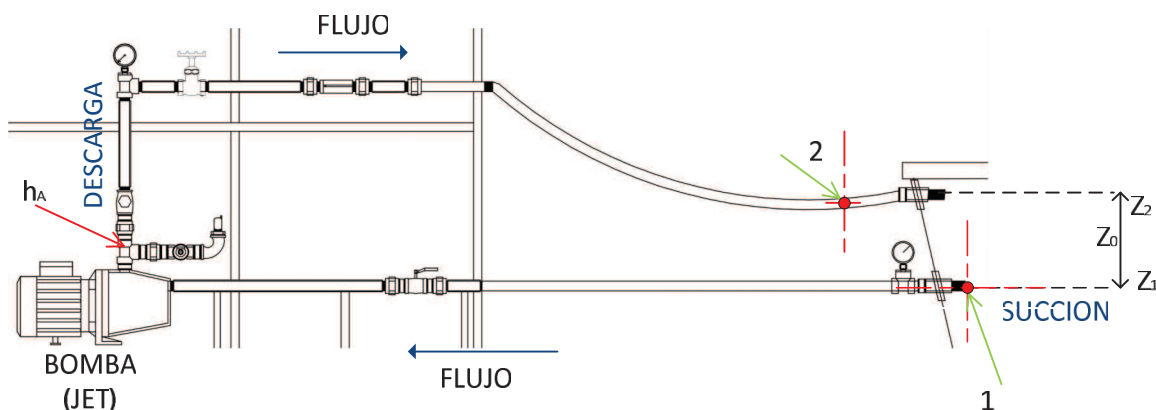


Figura 4.3 Análisis para representar la grafica

La altura total que desarrolla el sistema hidráulico del banco de pruebas, se puede determinar a partir de un balance de la energía entre los puntos 1 $\left(\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \times g}\right)$ y 2 $\left(= \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \times g}\right)$, la misma que se indica en la ecuación siguiente.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \times g} + h_A - \sum (h_f) = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \times g} \text{ (EC. 4.1)}$$

Los puntos de referencia tanto para la aspiración como para la descarga, 1 y 2 respectivamente, se encuentran a una elevación Z_0 , por lo tanto la diferencia en las elevaciones Z_1 y Z_2 equivale a la magnitud o distancia Z_0 que es representada en la figura 4.3. Esta magnitud no es muy grande en distancia, ni tampoco se compone de una gran cantidad de accesorios por lo tanto no se tomará en cuenta para el cálculo de la altura en el balance de energía final. Además las pérdidas de energía (h_f) se consideran despreciables.

La presión en el punto 1 es igual a cero puesto que la superficie del recipiente se encuentra expuesta a la atmósfera, de igual forma la velocidad 1 y 2 es cero por tener el mismo diámetro en las tuberías de succión y descarga del sistema. Con estas premisas la ecuación 4.1 nos queda:

$$h_A = \frac{P_2}{\gamma}$$

El peso específico del agua podemos expresar como se mostró en la ecuación 3.6. Y La presión P_2 la expresamos en función de la densidad del fluido y la altura de presión en la descarga como se mostró en la ecuación 3.7.

Simplificando los términos tenemos que la altura total desarrollado por la bomba es:

$$h_A = \frac{h_b \times g \times \rho}{g \times \rho}$$

$$h_A = h_b \text{ (EC. 4.2)}$$

La ecuación 4.2 muestra que la altura desarrollada de la bomba en nuestro módulo de pruebas será igual a la Altura de presión en la descarga en la salida de la bomba.

4.2.3 ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE LA GRÁFICAS

4.2.3.1 Gráficas de la curva característica de la bomba

Tomando los análisis en 4.2.2 y en 4.1.1 se procederá a realizar la respectivas gráficas.

4.2.3.1.1 Curva de Funcionamiento

Durante el ensayo se obtuvieron los siguientes datos que se exponen en la tabla 4.1.

N°	Presión (PSI)	Caudal (LPM)	Voltaje (V)	Corriente (I)
1	8	53	221	0.15
2	16	50	219	0.17
3	32	40	219	0.18
4	36	35	221	0.18
5	40	30	221	0.18
6	43	25	220	0.18
7	46	20	221	0.18
8	50	15	221	0.18
9	54	10	220	0.18

Tabla 4.2 Datos del ensayo (Bomba JET- XJM100L)
Fuente: Propia

Primero utilizamos la ecuación descrita en 1.2 para el cálculo de la altura total.

$$H = \frac{P \times 2.31}{Gr} \text{ (EC. 1.2)}$$

Con la tabla 4.1 que señala la presión P_2 es igual a 8 PSI y sabiendo que la gravedad específica del agua es igual a 1, calculamos la altura total.

$$H = \frac{8 \times 2.31}{1}$$

$$H = 18.48 \text{ pies}$$

Este mismo procedimiento se realiza para todos los valores de presión. Los valores calculados se resumen en la siguiente tabla:

N°	Presión (PSI)	H(pies)
1	8	18.48
2	16	36.96
3	32	73.92
4	36	83.16
5	40	92.4
6	43	99.33
7	46	106.26
8	50	115.5
9	54	124.74

Tabla 4.3 Cálculo de la Altura Total (Bomba JET- XJM100L)
Fuente: Propia

Con el caudal recogido en el ensayo (Tabla 4.1) y la altura total calculada (Tabla 4.2), procedemos a ingresar en el programa (Pipe Flow Expert) para dibujar la gráfica de funcionamiento.

- Doble *clic* en el icono de *Pipe Flow Expert*.
- En la ventana principal seleccionamos la tubería donde se va a ubicar la bomba haciendo *clic* sobre la misma en el área de trabajo. (Ver figura 1.32)
- Nos dirigimos a la parte inferior izquierda de la pantalla y seleccionamos *Add Pump*.
- Seguidamente se abrirá una ventana en la cual seleccionamos *Fixed Speed* e introducimos los valores de la tabla indicada en 4.1.
- Para la construcción de la curva *clic* en *Draw Graph* para observar la gráfica de funcionamiento de la bomba.

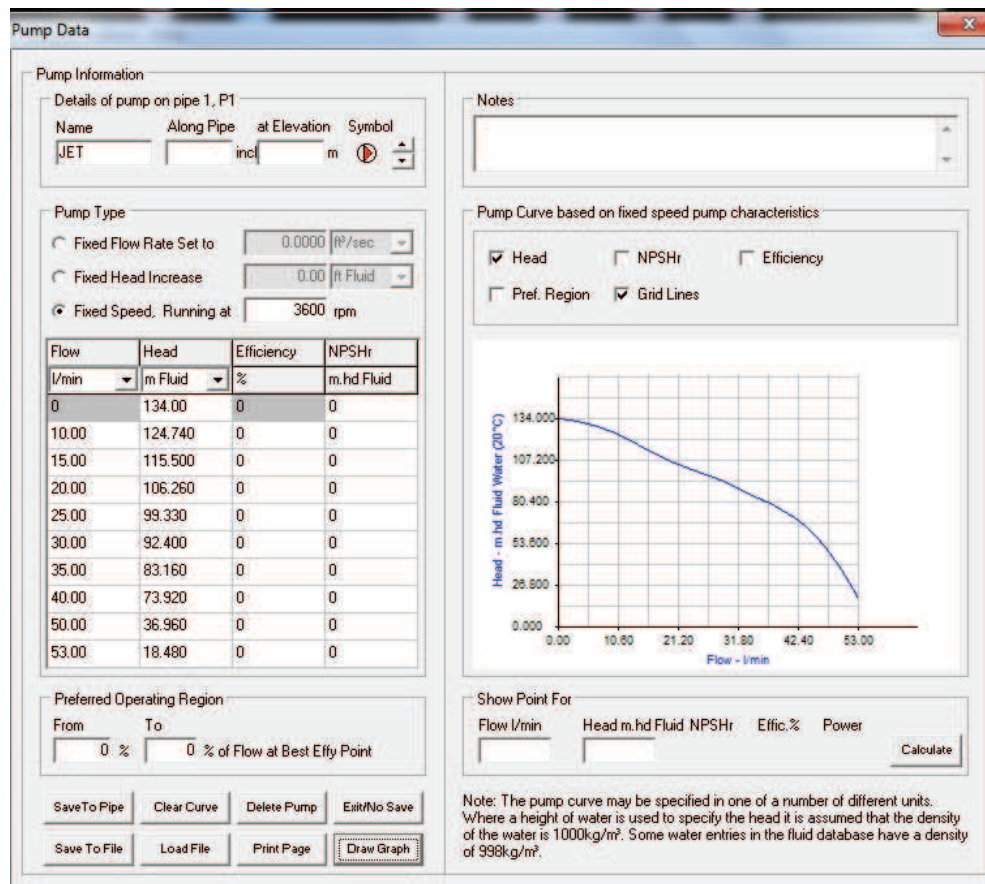


Figura 4.4 Curva de funcionamiento de la bomba JET- XJM100L después del ensayo

4.2.3.1.2 Curva de Eficiencia

Para determinar la curva de eficiencia se utilizan los datos del ensayo. (Tabla 4.1)

Se toma el primer dato de corriente indicado en la tabla 4.1. Además la corriente registrada por el multímetro digital se debe multiplicar por la relación de transformación, que es de 20.

$$I = I \times 20 \text{ A}$$

$$I = 20 \times 0.15 \text{ A}$$

$$I = 3 \text{ A}$$

De la tabla 4.1 tomamos el dato número 1 registrado y reemplazamos en la ecuación 1.17 y calculamos la potencia.

Alterna Monofásica: $P = V \times I \times \text{Cos } \phi$ (kW) (EC. 1.17)

$$P = 221 \times 3 \times 0.75 \text{ (kW)}$$

$$P = 0.497 \text{ kW} = 0.66 \text{ HP}$$

Aplicamos la ecuación descrita en 1.15.

$$P_{(\text{HP})} = \frac{Q_{(\text{Galones/minuto})} H_{(\text{pies})}}{3.960} \quad (\text{EC. 1.15})$$

El caudal es de 53 LPM indicado en la tabla 4.1. Este valor lo transformamos a GPM que resulta igual a 14 GPM.

Con los datos de caudal (Q) y altura (H), reemplazamos en la ecuación 1.15 ya mencionada y calculamos la potencia hidráulica.

$$P_{\text{HP}} = \frac{14 \text{ GPM} \times 18.48 \text{ pies}}{3960}$$

$$P_{\text{HP}} = 0.065$$

Determinado la potencia hidráulica y consumida por el motor expresada en HP, ya podemos aplicar la ecuación 1.13 para calcular la eficiencia.

$$\eta (\%) = \frac{P_h}{P_m} \times 100 \% \quad (\text{EC. 1.13})$$

$$\eta (\%) = \frac{0.065}{0.66} \times 100\%$$

$$\eta (\%) = 9.8 \%$$

Todos estos cálculos se realizarán para cada dato registrado de la tabla 4.1. A continuación se resumen los valores calculados de eficiencia en la tabla 4.2 y los valores para construir la curva.

N°	GPM	I(A)	P _H (HP)	P _e (HP)	η (%)
1	14	3	0.065	0.66	9.8
2	13.2	3.4	0.123	0.74	16.6
3	10.56	3.6	0.197	0.79	24.9
4	9.24	3.6	0.194	0.79	24.5
5	7.92	3.6	0.184	0.8	23
6	6.6	3.6	0.165	0.79	20.8
7	5.28	3.6	0.141	0.79	17.8
8	3.96	3.6	0.115	0.79	14.5
9	2.64	3.6	0.083	0.79	10.5

Tabla 4.4 Cálculo de la eficiencia (Bomba JET- XJM100L)

Fuente: Propia

Para la simulación de la gráfica tomamos el valor de caudal de la tabla 4.1 y la eficiencia de la tabla 4.2.

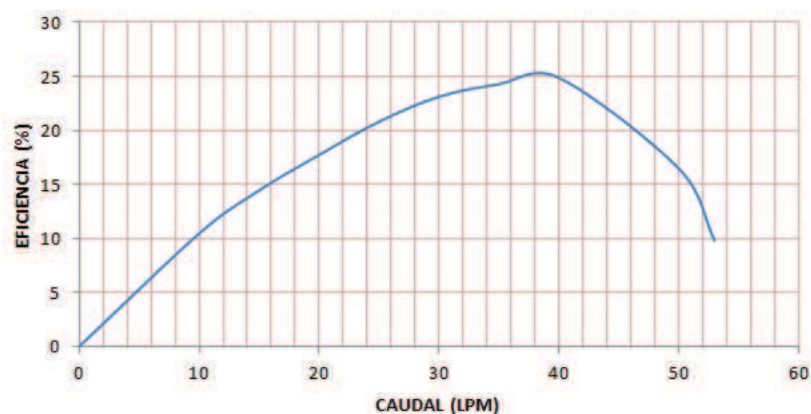


Figura 4.5 Curva de eficiencia de la bomba JET-XJM100L después del ensayo

4.2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cumplido el objetivo principal de obtener las curvas de funcionamiento y eficiencia por medio de la “Construcción de un Módulo de Pruebas para bombas Jet Domiciliarias”, se analizará los datos recogidos y calculados para establecer la validez de la bomba.

Curva de Funcionamiento

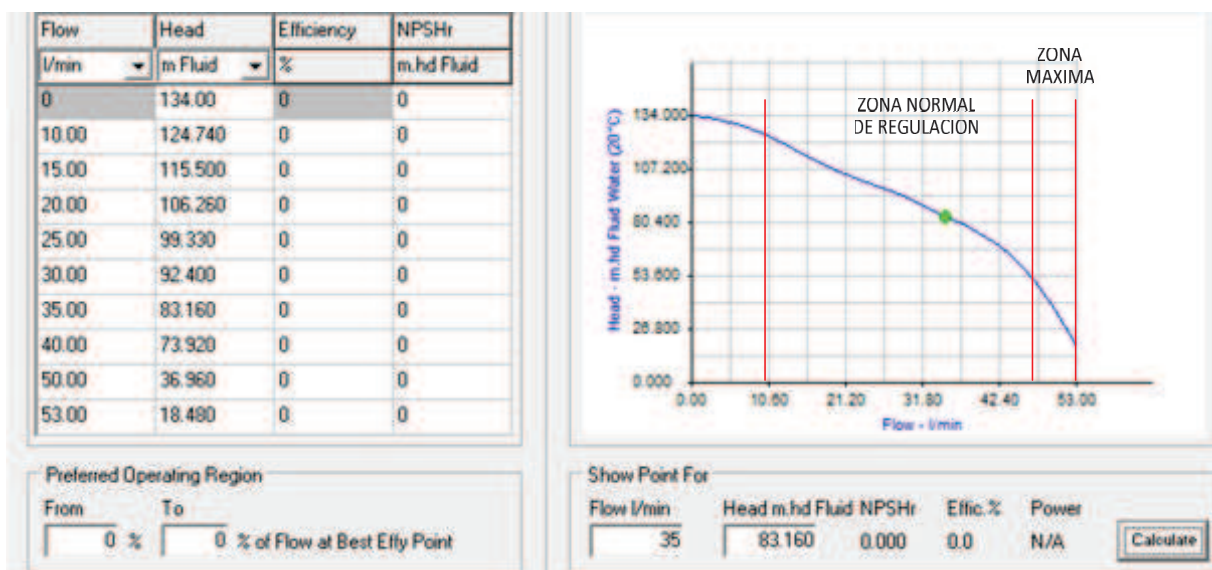


Figura 4.6 Análisis de la curva de funcionamiento

La curva de funcionamiento (figura 4.6), muestra estabilidad en su recorrido, porque es decreciente de izquierda a derecha. Además porque a cualquier valor de caudal le corresponde un valor de altura, Por lo tanto la curva de funcionamiento (altura/caudal) valida la bomba **JET-XJM100L**.

Como se ilustra en la figura 4.6 al estrangular la válvula de descarga disminuyendo el caudal, se crea mayor resistencia, una fuerza mayor y más difícil de vencer por el fluido en la descarga, esta resistencia que se crea es la simulación de la altura que la bomba puede vencer para que el fluido llegue.

Por el contrario al ir incrementando el paso de fluido la presión decrece, presentándose una disminución en la altura, ya que la fuerza necesaria para elevar el fluido disminuye.

Entonces en la curva de funcionamiento (figura 4.6) la altura total entregada por la bomba disminuye al aumentar el caudal y viceversa.

En la curva de funcionamiento se puede indicar que existe una zona normal y máxima. (Ver figura 4.6)

La zona máxima que abarca de 47.7 a 53 LPM (Figura 4.6), es donde el trabajo de la bomba es el máximo, dentro de este rango puede existir la presencia de burbujas en el sistema hidráulico y ruido que se escucha en el interior de la bomba. El límite máximo que el usuario debe trabajar en el sistema hidráulico cuando se esté realizando pruebas de operación en forma manual con esta bomba centrífuga es de 53 LPM a una presión de 8 PSI (18.48 pies).

La zona estable de regulación comprendida entre 10 a 47.7 LPM es exacta y constante, mediante el estrangulamiento de la válvula de descarga se aumenta la altura y disminuye el caudal o viceversa. En esta zona la eficiencia es el máximo, estos son los valores en los que debe funcionar la bomba.

Curva de eficiencia

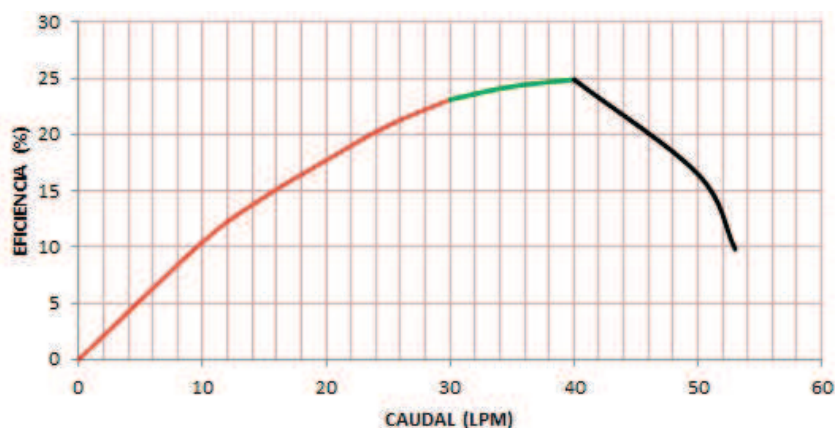


Figura 4.7 Análisis de la curva de eficiencia

En los primeros aumentos de flujo de 10-30 LPM, la eficiencia (figura 4.7) se incrementa de forma significativa hasta llegar de 0-23%, debido a que la cantidad de fuerza que ejerce el fluido y que es necesario vencer para lograr el caudal deseada es grande, esto se debe a que se reduce el paso del fluido por la tubería de descarga.

Sin embargo, al final de la curva entre 40-53 LPM, donde el caudal tiende a ser máximo y la altura de bombeo mínima, en estos puntos el trabajo realizado tiende a ser mayor y le imprime al fluido la potencia máxima que es capaz de entregar,

El punto óptimo de la curva de funcionamiento es de 35 LPM donde nos acercamos a la máxima eficiencia que puede entregar la bomba de 24.5 %.

En los puntos de 40-53 LPM, caudales superiores al punto óptimo, la bomba aumentara el caudal pero disminuye su eficiencia bruscamente, en esta zona el motor no trabaja a un consumo adecuada de corriente por lo que podría averiarse.

Se debe tener cuidado de no trabajar en puntos superiores a 53 LPM (figura 4.7), porque la energía suministrada por el rodete se transforma en calor, no debiendo prolongarse mucho en esta situación.

Considerando los resultados recogidos de caudal, presión, los cálculos de eficiencia y los análisis de la curva de funcionamiento y eficiencia se establece que la bomba está en buen estado. No presenta anomalías.

A continuación se presenta los rangos de trabajo aceptados, como la operación normal de la bomba JET- XJM100L. Estas especificaciones se realizan en base a los análisis en 4.2.4.

Condición normal de operación		
Presión		36 PSI
Caudal		35 LPM
Altura		83.16 pies
Rango de operación recomendado		
Altura Total		70-100 pies
Caudal		40-25 LPM
Presión	mínima	8 PSI
	máximo	58 PSI
Caudal	mínima	10 LPM
	máximo	50 LPM
Altura	mínima	18.48 pies
	máxima	124.74 pies

Tabla 4.5 Especificaciones técnicas de la bomba JET- XJM100L después del ensayo

Fuente: Propia

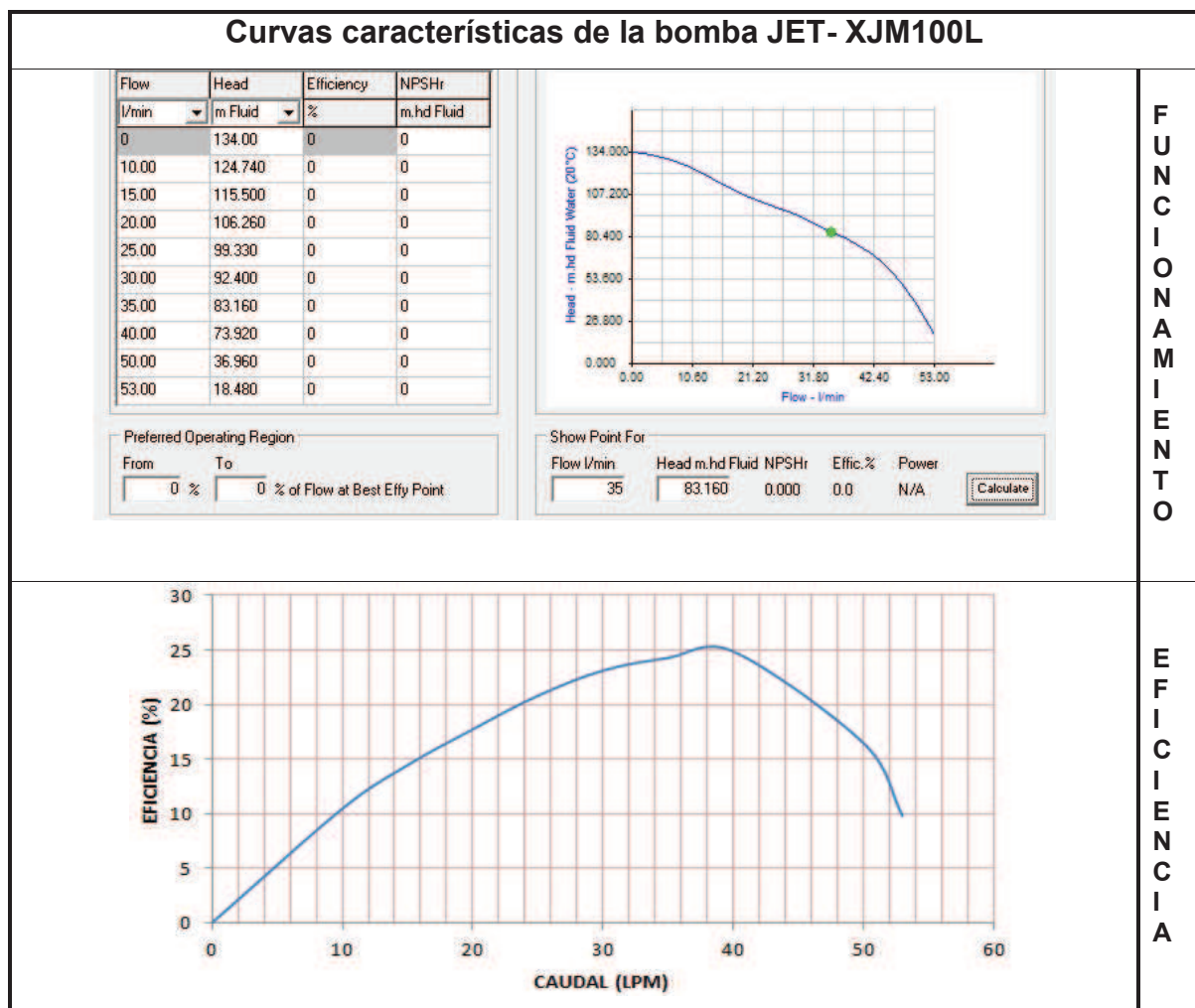


Tabla 4.6 Curvas de la bomba JET- XJM100L después del ensayo

Fuente: Propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La curva de funcionamiento (altura/caudal), es válida solo cuando el recorrido de la gráfica es una pendiente progresiva.
- Con la implementación del presente proyecto se diagnosticó que a una operación de la bomba de 40-25 LPM existe estabilidad. En este caso la eficiencia de la bomba es la recomendable. Cuando se trabaja en estos límites se evitara anomalías el equipo de bombeo y pérdidas económicas.
- Con la apertura máxima de la válvula de compuerta se estableció la altura total real entregada por la bomba de 18.48 pies y caudal de 53 LPM.
- La implementación del módulo ofrece la particularidad de supervisar las características técnicas de la bomba.
- El control eléctrico del módulo es de forma sencilla y segura. Ya que contiene un selector de encendido y/o apagado, así como un pulsante de paro de emergencia en caso de alguna emergencia.
- El software Pipe Flow Expert simula de forma rápida y sencilla la curva de funcionamiento.
- El motor que impulsa a la bomba tendrá un consumo adecuado de energía cuando se trabaja a una presión de 36 PSI y caudal de 35 LPM. Además la eficiencia en estos puntos es de 24.5 %, muy cerca al punto máximo de eficiencia (24.9 %).

- A medida que se estrangula la válvula de compuerta se obtiene diferentes puntos de operación. La válvula de compuerta cumple con la función de simular carga en el sistema.

- Se pudo observar que no es conveniente trabajar a caudales menores a 10 LPM, porque se presentan ruidos y vibraciones, si se prolonga el tiempo de operación se producirían desperfectos en el impulsor y motor.

5.2 RECOMENDACIONES

- Al iniciar la operación de las bombas centrífugas, se recomienda mantener semi abierta la válvula de compuerta de control. Con esta acción se reduce los picos de consumo de corriente eléctrica en el arranque de los motores eléctricos y se eliminan sobrepresiones en el sistema hidráulico originadas por las bombas Centrifugas.
- Se prohíbe estrictamente trabajar con el depósito de agua vacío
- El giro del motor será igual al indicado en el manual de la bomba, para no causar daños al impulsor.
- Nunca cerrar la válvula de bola en el lado de succión, siempre debe estar abierta. Además la bomba siempre debe estar cebada.
- Mantener el banco de pruebas en un lugar seco y cubierto para evitar la corrosión y deterioro del módulo.
- Para este tipo de instalación se recomienda utilizar una válvula de globo.
- Se recomienda conectar en forma segura, directamente a los bornes del tablero de pruebas correspondiente la tensión a utilizar (220V).
- Mantener el orden en el Área de trabajo, pues el desorden aumenta el riesgo de accidentes.
- Al instalar cualquier componente del sistema hidráulico es importante seguir los criterios mostrados en los manuales de instalación.
- Se recomienda que para graficar las curvas se utilice software de simulación, también utilizar las adecuadas escalas y unidades para cada curva.

- Se recomienda que para el desmontaje de la bomba, mantenimiento del equipo, disponer de acoples universales para las tuberías de succión y descarga de la bomba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Viejo Zubicaray (2000). **Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones**. Editorial Limusa.
- Carnicer / Mainar (1996). **Bombas Centrifugas**. Thomson Editores Spain.
- Goulds Pump Inc. (1987). **Manual de Instalación, operación y mantenimiento**.
- McCabe/Smith (2002). **Operaciones Unitarias en Ingeniería Química**. Editorial McGraw Hill
- Robert L. Mott. **Mecánica de Fluidos Aplicada**. Edición Prentice Hall
- Claudio Mataix. **Mecánica de Fluidos y maquinas Hidráulicas**. Segunda Edición. Ediciones del Castillo S.A.
- Kenneth J. (1998). **Bombas Selección, Uso y Mantenimiento**. Editorial McGraw-Hill
- Richard W. Green. **Válvulas Selección, Uso y Mantenimiento**. Editorial McGraw-Hill
- Juan Saldarriaga. **Hidráulica de Tuberías (Abastecimiento de agua, redes y riegos)**. Edición Alfaomega Bogotá.
- Kosow Irving (1993). **Máquinas Eléctricas y Transformadores**. Editorial Prentice Hall.
- Ing. German Castro. **Folleto Control Industrial I**.

- [www. Monografias.com](http://www.Monografias.com)
- http://www.mexichem.cr/descargas/Amanco_MT.pdf
- <http://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Numerical/i3410-spanish.pdf>

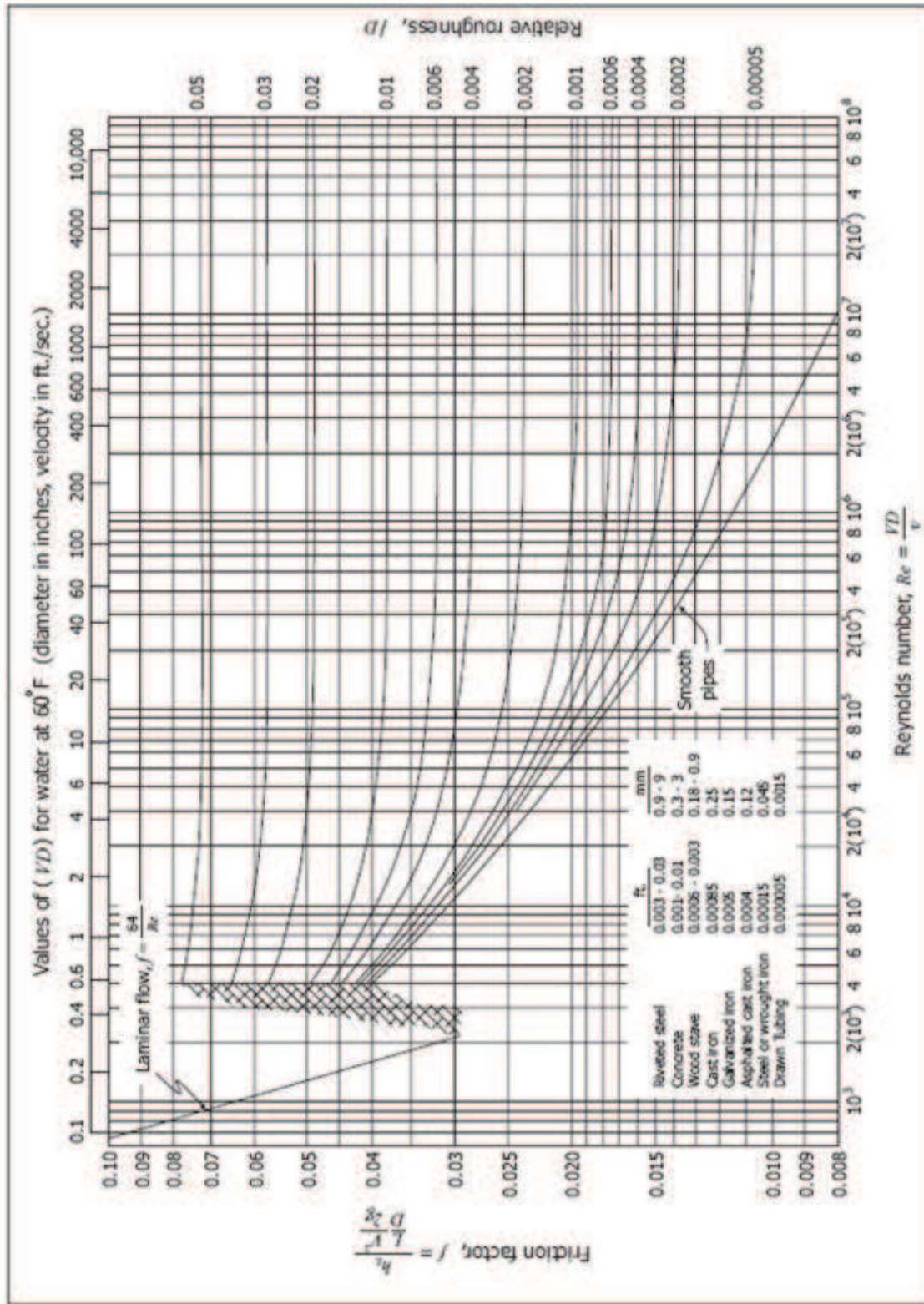
ANEXOS

ANEXOS

CAPÍTULO I

ANEXO A

DIAGRAMA DE MOODY



ANEXO B

**VISCOSIDAD CINEMÁTICA DEL AGUA A DIFERENTES
TEMPERATURAS**

<i>Temperatura</i> (°C)	<i>Densidad</i> (kg/m ³)	<i>Viscosidad dinámica η</i> (10 ⁵ kg/m · s)	<i>Viscosidad cinemática ν</i> $10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = \text{cSt}$
0	999,8	178,7	1,787
2	999,9	167,1	1,671
4	1.000	156,2	1,562
6	999,9	146,4	1,464
8	999,8	137,6	1,375
10	999,7	130,5	1,307
12	999,4	122,6	1,227
14	999,2	116,1	1,163
16	998,9	110,4	1,106
18	998,5	105,2	1,053
20	998,2	100,2	1,0038
22	997,7	95,5	0,957
24	997,2	91,1	0,914
26	996,6	87,2	0,875
28	996,1	83,4	0,837
30	995,7	79,7	0,801
32	994,9	76,4	0,768
34	994,2	74,1	0,745
36	993,4	70	0,705
38	992,8	68	0,685
40	992,2	65,3	0,658
45	990,2	59,8	0,604
50	988	54,8	0,554
55	985,7	50,5	0,512
60	983,2	46,7	0,475
65	980,6	43,4	0,443
70	977,8	40,4	0,413
75	974,8	37,8	0,388
80	971,8	35,5	0,365
85	968,6	33,4	0,345
90	965,3	31,5	0,326
95	961,8	29,8	0,310
100	958,4	28,2	0,295
150	916,9	18,6	0,205
200	864,6	13,6	0,161
250	799,2	10,9	0,14
300	712,4	8,91	0,132

ANEXO C

WORK PUMP: BOMBAS TIPO JET



BOMBAS TIPO JET



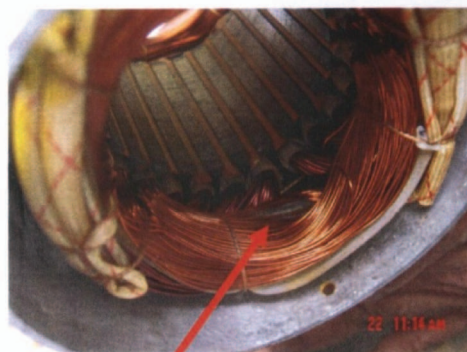
JETDP 1/2, 3/4, 1 HP

Las bombas tipo Jet WORKPUMP tienen las siguientes características:

- Buena capacidad de succión
- Presiones de trabajo altas.
- Caudales medios

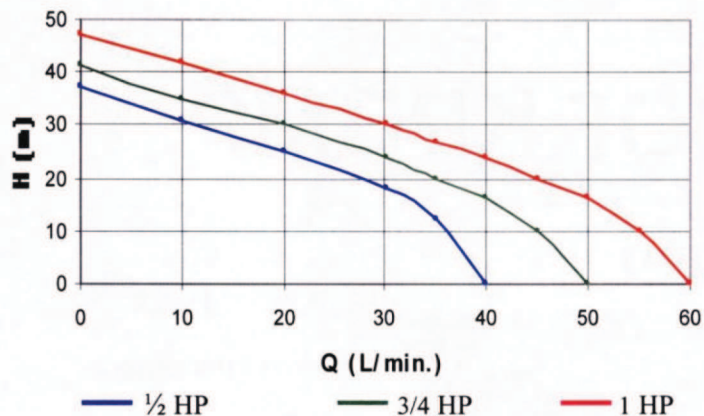
CARACTERISTICAS:

- Impulsor de bronce.
- Anillo de bronce, impide que el impeller se pegue a la carcasa.
- Protector térmico en la bobina del motor, lo protege de sobrecargas evitando que el motor se queme.

PROTECTOR
TERMICO

WORK PUMP: BOMBAS TIPO JET

CURVAS DE RENDIMIENTO



APLICACIONES:

- Sistemas hidroneumáticos
- Bombeo en residencias
- Sistemas de riego pequeños
- Succión desde pozos

ESPECIFICACIONES

MODELO	POTENCIA (HP)	MAX CAUDAL (L./Mmin.)	MAX PRESION (mts.)	MAX SUCCION (mts.)	ENT./SALIDA (pul.)
JETDP-225	1/2	38	38	7	1 x 1
JETDP-370	3/4	50	42	7	1 x 1
JETDP-505	1	60	48	7	1 x 1

OTROS PRODUCTOS WORKPUMP

- Bombas periféricas en 1/2 1HP
- Tanques hidroneumáticos precargados

ACCESORIOS:

- Interruptores de presión
- Manómetros
- Conectores de 5 vías



ANEXO D

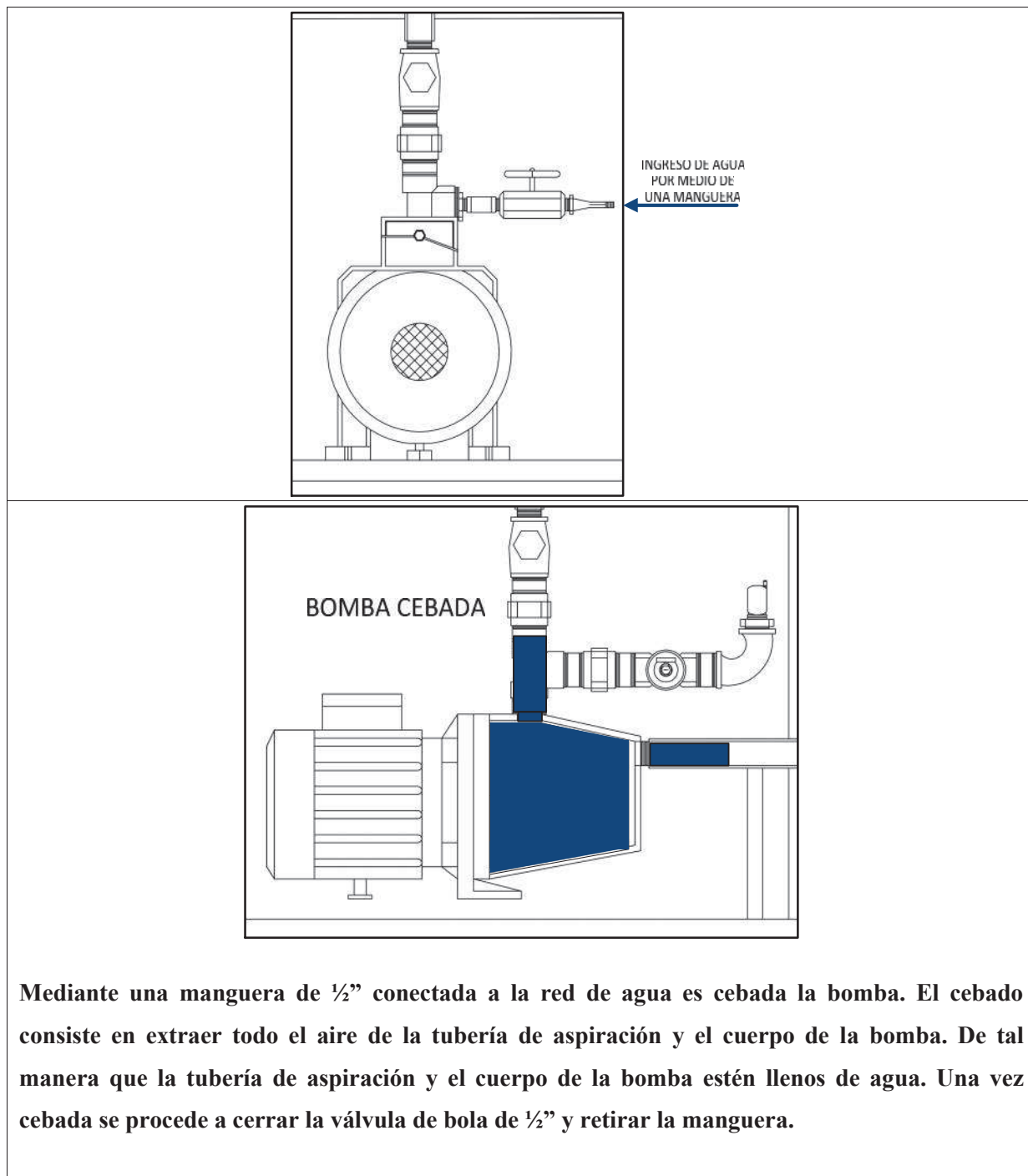
TABLA DE AMPERAJES DE MOTORES Y PROTECCIÓN DE SUS RAMALES

POTENCIA	CORRIENTE MONOFASICA						CORRIENTE TRIFASICA											
	115V			208V			230V			208V			230V			460V		
H.P. KW	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER	CONSUMO	FUSIBLES	BREAKER
1/6 0.12	4.4	8	16	2.4	4	6	2.2	4	6									
1/4 0.19	5.8	10	16	3.2	6	8	2.9	6	10									
1/3 0.25	7.2	16	20	4	8	10	3.6	8	10									
1/2 0.37	9.8	20	25	5.4	10	16	4.9	10	16	2.4	4	6	2.2	4	6	1.1	2	4
3/4 0.56	13.8	25	40	7.6	16	20	6.9	16	20	3.5	6	10	3.2	6	10	1.6	4	4
1 0.75	16	32	40	8.8	16	25	8	16	20	4.6	8	16	4.2	8	10	2.1	4	6
1.5 1.12	20	40	50	11	20	32	10	20	25	6.6	16	16	6	10	16	3	6	10
2 1.49	24	50	63	13.2	25	32	12	25	32	7.5	16	20	6.8	16	20	3.4	6	10
3 2.24	34	63	82	18.7	32	50	17	32	40	10.6	20	25	9.6	20	25	4.8	8	16
5 3.73	56	100	150	30.8	63	82	28	50	82	16.7	32	40	15.2	32	40	7.6	16	20
7.5 5.60	80	160	200	44	80	125	40	80	100	24.2	40	63	22	40	63	11	20	32
10 7.46	100	200	250	55	100	150	50	100	125	30.8	50	80	28	50	80	14	25	40
15 11.2	131	250	350	72	125	200	65.7	125	175	46.2	80	125	42	80	125	21	40	63
20 14.9										59.4	100	150	54	100	150	27	50	82
25 18.7										74.8	160	200	68	125	175	34	63	100
30 22.4										88	160	225	80	160	200	40	80	100

ANEXOS
CAPÍTULO III

ANEXO E

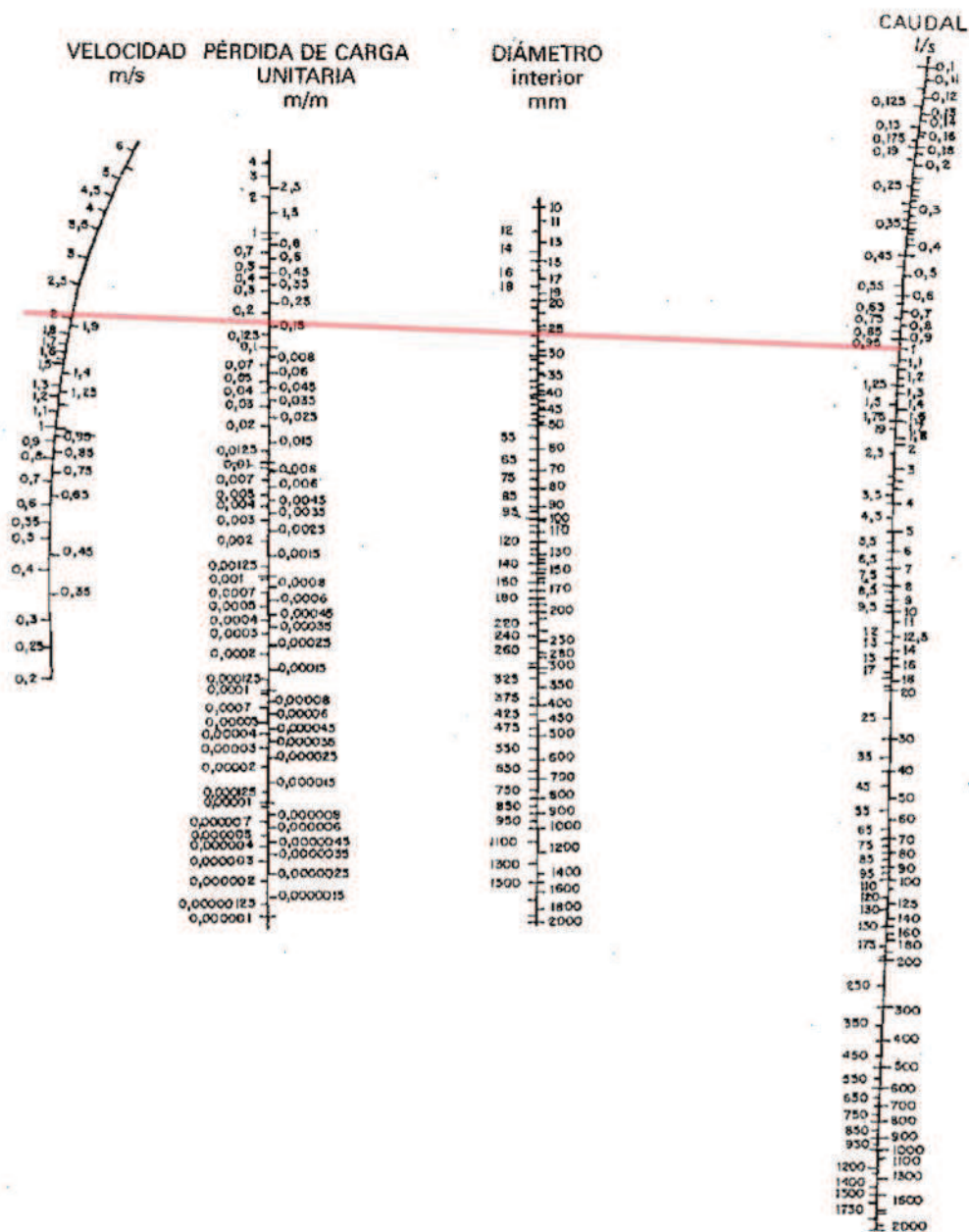
CEBADO DE BOMBA JET



Mediante una manguera de $\frac{1}{2}$ " conectada a la red de agua es cebada la bomba. El cebado consiste en extraer todo el aire de la tubería de aspiración y el cuerpo de la bomba. De tal manera que la tubería de aspiración y el cuerpo de la bomba estén llenos de agua. Una vez cebada se procede a cerrar la válvula de bola de $\frac{1}{2}$ " y retirar la manguera.

ANEXO F

ÁBACO PARA EL CÁLCULO DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN UNA TUBERÍA



ANEXO G

BOMBA JET-XJM100L



XJm100L

BOMBA

- Bomba jet auto-cebante
- Líquido bombeado a temperaturas hasta 60°C
- Agua limpia, con pequeñas impurezas, líquido no corrosivo
- La Cabeza en Alto

MOTOR

- Monofásico
- 60Hz/220v
- Clase de aislamiento 130
- Clase de protección IP44
- Temperatura ambiente de hasta 40°C
- Con protección de sobrecarga térmica
- Bobinado de cobre
- Impulsor de bronce / noryl

POTENCIA	KW	HP
	0.75	1.0

BOCA	1" x 1"
------	---------

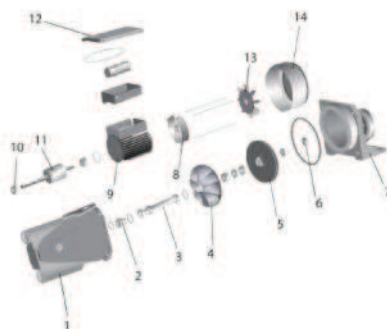
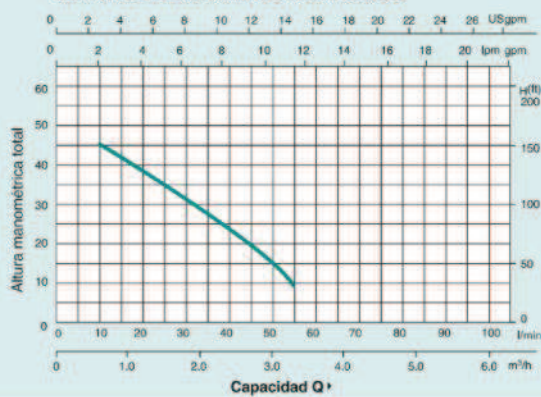
FLUJO MAX.	60l/m
------------	-------

ALTURA MAX.	45 m
-------------	------

SUCCIÓN MAX.	9 m
--------------	-----



CURVA DE RENDIMIENTO HIDRÁULICO



XJm100L_TRECOP-MS111231

Parte	Material	Observaciones
1	Cuerpo de la bomba	Hierro fundido Tratamiento de electroforesis
2	Boquillas	Noryl Familia de resinas PPE modificadas
3	Canal Interno	Noryl Familia de resinas PPE modificadas
4	Cubierta	Noryl Familia de resinas PPE modificadas
5	Impeller	Noryl/Latón/Acero Inoxidable
6	Sello mecánico	Carburo de silicio / grafito
7	Soporte	Hierro fundido Tratamiento de electroforesis, ABS
8	Plato	Aluminio
9	Estator	Aluminio fundido Chapas laminadas en frío del estator
10	Rodamientos	Alta calidad
11	Rotor	Chapas laminadas en frío Eje de acero inoxidable soldado
12	Capacitor	Alta calidad
13	Ventilador	Noryl Familia de resinas PPE modificadas
14	Cubre ventilador	Hierro

ANEXO H

TANQUES QUE OFERTA PLASTIGAMA



TANQUES PARA ALMACENAMIENTO

<p>Tanque cilíndrico vertical</p> <p>Capacidad 55 galones</p> 	<p>Tanque rectangular</p> <p>Capacidad 500 litros</p> 	<p>Tanque cilíndrico vertical tipo botella</p> <p>Capacidad 250 litros 500 litros 1100 litros 2500 litros 5000 Litros</p> 
<p>Tanque cilíndrico</p> <p>Capacidad 500 litros 1300 litros</p> 	<p>Tanque cónico</p> <p>Capacidad 250 litros 1000 Litros 500 litros 2000 Litros</p> 	<p>Tanque cisterna Titán (Para uso enterrado)</p> <p>Capacidad 1200 litros 2000 litros</p> 

ANEXO I

MULTÍMETRO DIGITAL-CAMSCO



DISPLAY		Red high efficiency LED high 14.22mm (.56")
ACCURACY		± 0.5% ± 2 digit
OPERATING CONDITION		-10°C ~ 50°C (20% to 90% RH non-condensed)
DIELECTRIC STRENGTH		AC 2KV/1min
AUX •POWER		AC110V/220V 50/60Hz
MEASUREMENT RANGE	KM-9648A	<p>Ranges: Direct Measurement Current: AC 0 - 5A. For Current above 5A, Current Transformer(C.T.)must be used. Press Key "C.T."to select desirable C.T. Ratio. The following are the available C.T. Ratios: 10A/5A, 15A/5A, 20A/5A, 25A/5A, 30A/5A, 40A/5A, 50A/5A, 60A/5A, 70A/5A, 75A/5A, 80A/5A, 100A/5A, 120A/5A, 150A/5A, 160A/5A, 200A/5A, 250A/5A, 300A/5A, 400A/5A, 500A/5A, 600A/5A, 700A/5A, 750A/5A, 800A/5A, 1KA/5A, 1.2KA/5A, 1.5KA/5A, 1.6KA/5A, 2KA/5A, 2.5KA/5A, 3KA/5A, 4KA/5A, 5KA/5A, 6KA/5A, 7KA/5A, 7.5KA/5A, 8KA/5A. Note: Red LED indicates Ampere. Green LED indicates Kilo-ampere(KA).</p>
	KM-9648V	Range:AC 50-600V.
	KM-9648Hz	<p>Frequency:1-99.9Hz Input voltage:AC 50-600V</p>
	KM-9648AV	<p>Ranges: Direct Measurement Current: AC 0 - 5A. For Current above 5A, Current Transformer(C.T.)must be used. Press Key "C.T."to select desirable C.T. Ratio. The following are the available C.T. Ratios: 10A/5A, 15A/5A, 20A/5A, 25A/5A, 30A/5A, 40A/5A, 50A/5A, 60A/5A, 70A/5A, 75A/5A, 80A/5A, 100A/5A, 120A/5A, 150A/5A, 160A/5A, 200A/5A, 250A/5A, 300A/5A, 400A/5A, 500A/5A, 600A/5A, 700A/5A, 750A/5A, 800A/5A, 1KA/5A, 1.2KA/5A, 1.5KA/5A, 1.6KA/5A, 2KA/5A, 2.5KA/5A, 3KA/5A, 4KA/5A, 5KA/5A, 6KA/5A, 7KA/5A, 7.5KA/5A, 8KA/5A. Note: Red LED indicates Ampere. Green LED indicates Kilo-ampere(KA). Voltage:AC 50-600V.</p>
	KM-9648E	<p>Ranges: Direct Measurement Current: AC 0 - 5A. For Current above 5A, Current Transformer(C.T.)must be used. Press Key "C.T."to select desirable C.T. Ratio. The following are the available C.T. Ratios: 10A/5A, 15A/5A, 20A/5A, 25A/5A, 30A/5A, 40A/5A, 50A/5A, 60A/5A, 70A/5A, 75A/5A, 80A/5A, 100A/5A, 120A/5A, 150A/5A, 160A/5A, 200A/5A, 250A/5A, 300A/5A, 400A/5A, 500A/5A, 600A/5A, 700A/5A, 750A/5A, 800A/5A, 1KA/5A, 1.2KA/5A, 1.5KA/5A, 1.6KA/5A, 2KA/5A, 2.5KA/5A, 3KA/5A, 4KA/5A, 5KA/5A, 6KA/5A, 7KA/5A, 7.5KA/5A, 8KA/5A. Note: Red LED indicates Ampere. Green LED indicates Kilo-ampere(KA). Voltage:AC 50-600V. Frequency:1-99.9Hz.</p>

STANDARD FEATURES	<ul style="list-style-type: none"> • This Key is for selecting C.T. ratio. • This Key for setting measuring function. (Hz→A→V)
-------------------	--

DIMENSION	
-----------	--

ANEXO J

ROTÁMETRO

EZ-View® Flow Meters

For Oil, Water, Air & Compressed Gases

- 1/2 to 1 inch ports
- EZ to install, in any position.
- No special piping or flow straighteners needed
- No electrical connections
- Direct reading indication
- Accuracy within $\pm 5\%$ full scale
- Relatively insensitive to shock and vibration

SPECIFICATIONS:

MATERIALS:

Polysulfone plastic body, piston and cone
 T300-series stainless spring
 Buna N flow indicator ring and pressure seals
 C360 Brass, PVC, or T303 stainless fittings
 Polypropylene limit indicators
 PH15 - 7MO stainless retaining ring

Optional: Teflon® coated spring and retaining ring, consult factory.

FITTINGS/ THREADS: NPT ANSI/ASME B1.20.1, BSPT ISO7

See Ordering Information Table, page 64

TEMPERATURE RANGE: 32 °F to 250 °F (0 °C to 121 °C) Ⓞ

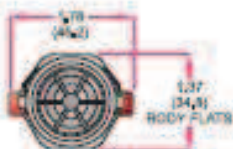
PRESSURE RATING: Liquid: 325 psi / 22.4 bar maximum Ⓞ

PRESSURE DROP: See Differential Pressure Charts, page 64

ACCURACY: $\pm 5\%$ of full scale

REPEATABILITY: $\pm 1\%$

DIMENSIONS: See Ordering Information Table, page 64

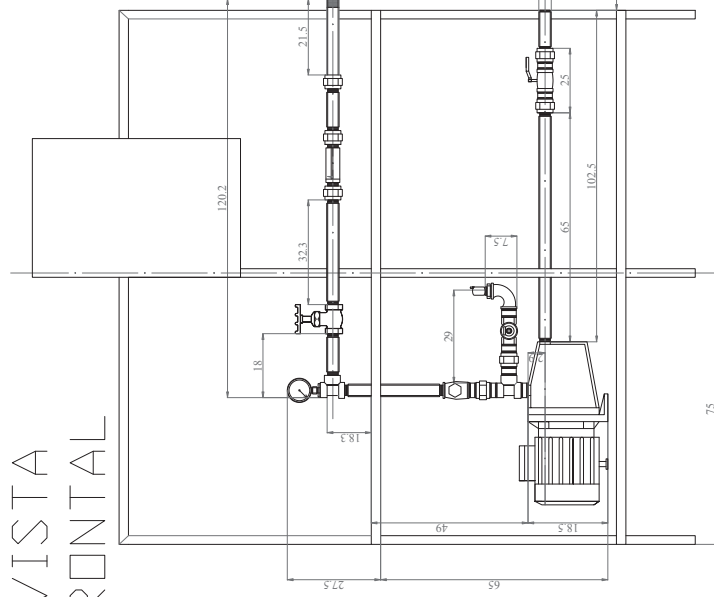


Ⓞ Meters with Type 1 PVC fittings:
 Pressure rating per normal PVC system specifications
 Temperature range - 32 °F to 140 °F (0 °C to 60 °C)

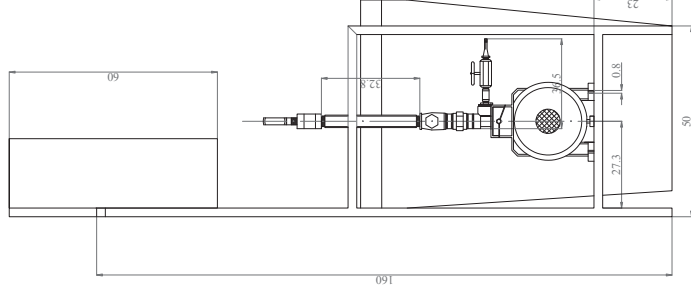
ANEXOS

PLANOS

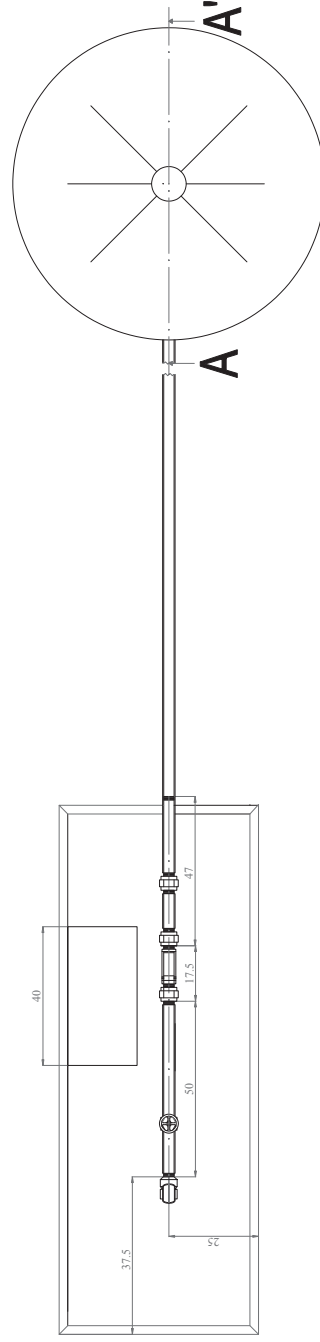
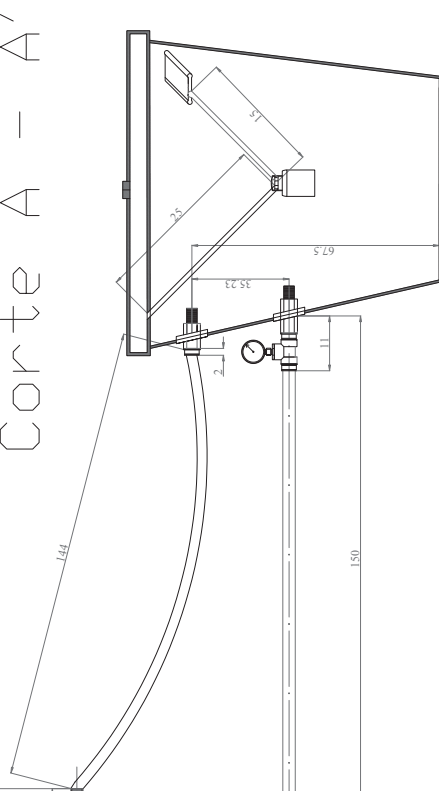
VISTA
FRONTAL



VISTA
LATERAL

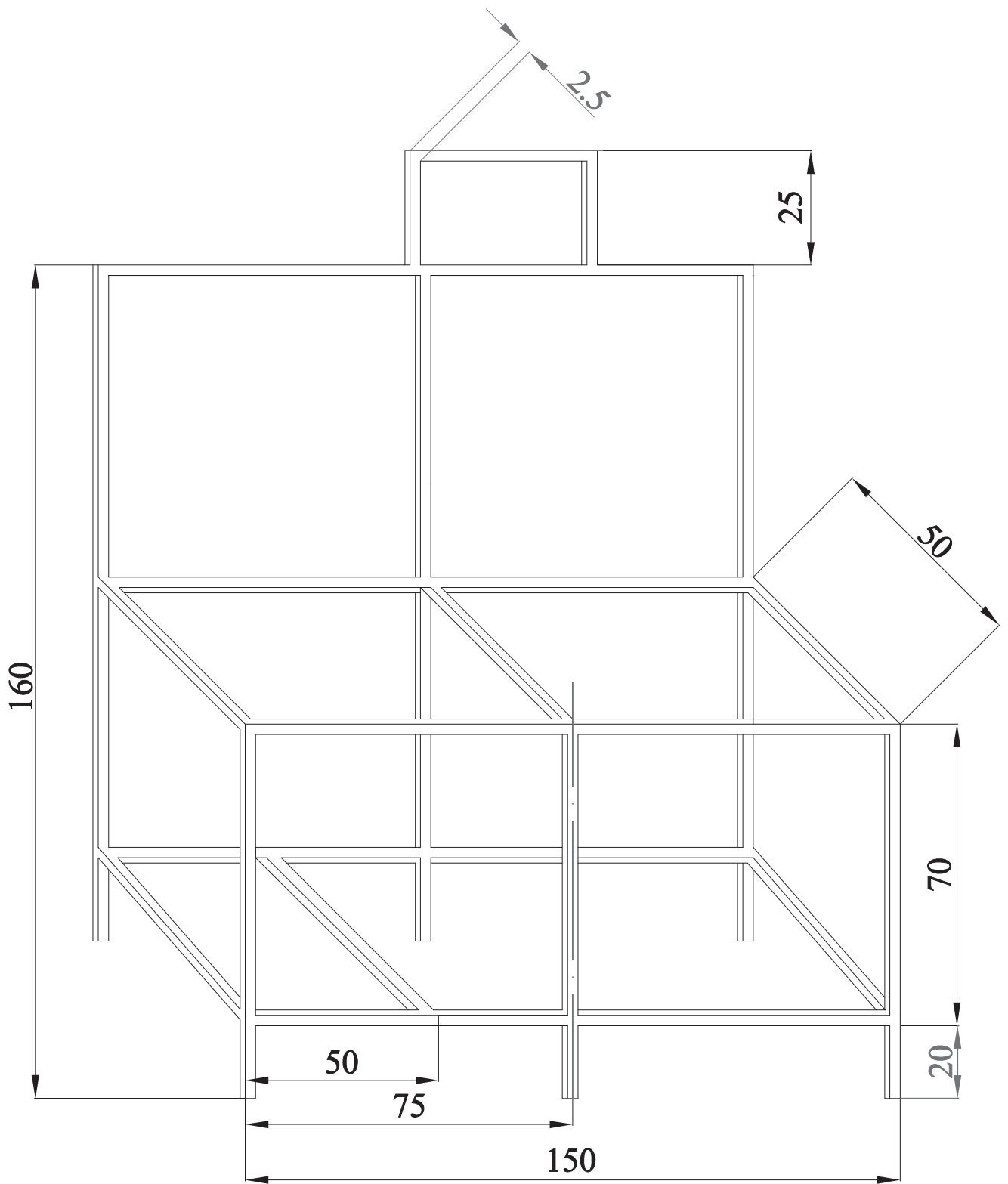


Corte A - A'



VISTA
SUPERIOR

TRAT. TÉRMICO:	NINGUNO	EPN	ELECTROMECÁNICA
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	ESCALA:	DR. GABRIEL MORA C.
MATERIAL:	PVC / ACERO COMERCIAL	Tol. Gen:	DR. GABRIEL MORA C.
		± 0.1	REV. INGEN. TOMAYAN
			Forma:
			Código:
			Banco de Pruebas de Bombas Jet Domiciliarias
			002



TRAT. TÉRMICO:	NINGUNO	EPN	ELECTROMECAÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO				
MATERIAL:	ACERO COMERCIAL TUBO CUADRADO 2.5x2.5 cm	Tol.Gral. ± 0.1	ESCALA:	DIB:	GABRIEL MORA C.
			1:8	DIS:	GABRIEL MORA C.
				REV:	ING. V. TOAPANTA
ESTRUCTURA METÁLICA		Código:			Fecha
		003			