



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS
PARA LA DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE BOMBAS
CENTRIFUGAS DOMICILIARIAS”**

TESIS DE GRADO

Previa la Obtención del Título de

INGENIERO QUIMICO

SONIA ALEXANDRA CAJO SOLANO

LORENA ELIZABETH LÒPEZ LÒPEZ

RIOBAMBA* ECUADOR**

2012

- ✓ Agradecemos en primer lugar a Dios, por regalarnos día a día el don de vivir y llenarnos de sabiduría para culminar con éxito una de nuestras metas.
- ✓ A nuestros padres y familiares que con su apoyo constante han sido pilares fundamentales inculcándonos el deseo de superación y progreso.
- ✓ A la Escuela de Ingeniería Química, a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial nuestro reconocimiento a los Ingenieros: Hannibal Brito y José Usiña, por habernos brindado su colaboración en cuanto a conocimiento y criterio profesional, para mejorar el desarrollo de nuestro proyecto investigativo.
- ✓ A INOX, por haber aportado con el asesoramiento técnico y construcción del banco de pruebas de bombas centrifugas.
- ✓ Y finalmente agradecemos a nuestros amigos y allegados quienes aportaron con su voz de aliento para la culminación de este trabajo.

Yo, Sonia Alexandra Cajo Solano dedico el presente trabajo al mejor regalo que me dio la vida, mis padres, Lizardo y Marieta, con su inmenso amor guiaron mi vida por el camino del bien y la superación, a mi hermano Alonso y esposa por su ejemplo de constancia y trabajo, a mi hermano William por sus buenos consejos y darme siempre la fuerza para cumplir mis propósitos. A una persona especial que ha estado en los buenos y malos momentos Luis Cardenas.

De manera especial mis dos sobrinos que con sus risas me han enseñado la alegría de la vida.

Yo, Lorena Elizabeth López López dedico la presente tesis en primer lugar y de manera especial a mis padres, Washington y Wilma quienes con su infinito amor me regalaron la oportunidad de vivir, que con paciencia y confianza me han encaminado en el rumbo correcto hacia el éxito. A mí querida y adorada hija Camilita que con su ternura a iluminado mi vida de alegría y finalmente a mi hermana, que no ha sido más que mi amiga incondicional y mi confidente de éxitos y fracasos.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dra. Yolanda Díaz

DECANA FAC. CIENCIAS

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA

Ing. Hanníbal Brito

DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Usiña

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Tec. Carlos Rodríguez

DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN

HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Nosotros, **SONIA ALEXANDRA CAJO SOLANO Y LORENA ELIZABETH LÒPEZ LÒPEZ**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

INDICES DE ABREVIATURAS

| | |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\frac{m^3}{h}$ | Metro cúbico por hora. |
| $\frac{L}{h}$ | Litro por hora. |
| <i>m. c. a</i> | Metro de columna de agua. |
| <i>RPM</i> | Revoluciones por minuto. |
| <i>HP</i> | Caballos de Fuerza. |
| <i>Q</i> | Caudal.(m ³ /s) |
| <i>H</i> | Carga.(m) |
| <i>spgr</i> | Densidad relativa. |
| <i>BHP</i> | Potencia requerida para la propulsión de la bomba. |
| <i>n</i> | Eficiencia de la bomba. |
| <i>ft</i> | Pie (unidad inglesa). |
| <i>F</i> | Reacción radial resultante. |
| <i>S.S.U</i> | Saybolt Second Universal. |
| <i>m</i> | Metro. |
| <i>GPM</i> | Galones por minutos. |
| <i>(NPSH)_R</i> | Carga positiva neta de succión. (m) |
| ρ | Densidad relativa del fluido. (kg/m ³) |
| <i>H_S</i> | Carga estática. (m) |
| <i>H_f</i> | Carga por fricción en las tuberías y pérdida de carga en válvulas y conexiones. (m) |
| ΣQ | Sumatoria de los caudales de las bombas. (L/min) |
| <i>ISO</i> | Organización Internacional de Normalización. |
| <i>IEC</i> | Comisión Electrotécnica Internacional. |
| <i>ISO 17025</i> | Norma "Requisitos generales para la competencia de laboratorios de calibración y ensayo/' |

| | |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ISO/IEC 25 | "Requerimientos generales para la competencia de laboratorios de ensayo". |
| EN 45001 | "Criterios generales para el funcionamiento de laboratorio de análisis". |
| kw | Kilovatio. |
| $H = f(Q)$ | Curva carga función caudal. |
| n_g | Eficiencia de la bomba. (%) |
| NPSH | Carga de succión positiva neta. (m) |
| P | Presión. (PSI) |
| A | Área. (m^2) |
| Pa | Pascal. |
| N/m^2 | Newton por metro cuadrado es igual a Pascal. |
| $\frac{lb}{ft^2}$ | Libra por pie cuadrado. |
| $\frac{lb}{pulg^2}$ | Libra por pulgada cuadrada. |
| P_{abs} | Presión absoluta. (at) |
| P_{gage} | Presión manométrica.(at) |
| P_{atm} | Presión atmosférica. (at) |
| kPa | Kilopascal. |
| Δp | Variación de presión. (at) |
| $mH_2 O$ | Metros de columna de agua. |
| $mmHg_{abs}$ | Milímetros de columna de mercurio absoluta. |
| $^{\circ}C$ | Grados centígrados o Celsius. |
| Ω | Ohmio. |
| V | Voltaje.(Kw). |
| $k\Omega$ | Kilohmio. |
| dm^3 | Decímetro cúbico por hora |
| $\frac{lbf}{ft^3}$ | Libra fuerza por pie cúbico. |

| | |
|--------------------|--------------------------------------------------------|
| $^{\circ}\text{F}$ | Grado Fahrenheit. |
| Scfm | Pies cúbicos estándar. |
| PSI | Libra por pulgada cuadrada |
| F.E.M | Fuerza electromotriz. |
| I | Corriente (A) |
| C.A | Corriente alterna. (v) |
| Θ | Ángulo de fase. |
| KVA | kilo voltamperio |
| K | Hzkilohertz. |
| D.C | Corriente continúa. (v) |
| V_{max} | Voltaje máximo. (v) |
| Hz | Hertz (frecuencia). |
| g | Gramos. |
| N | Newton. |
| kg/cm^2 | Kilogramo por centímetro cuadrado |
| ON | Encendido. |
| OFF | Apagado. |
| EP | Factor de potencia. |
| HP | Potencia horsepower (unidades inglesas). |
| mm $H_2 O$ | Milímetro de columna de agua. |
| c.c | Corriente continua. (v) |
| c.a | Comente alterna. (v) |
| MV | Mega voltio. |
| Kv | Kilovoltio |
| mV | Milivoltio. |
| kW | Kilovatio. |
| kVA | Kilo voltamperio. |
| $\frac{kg}{cm^2}$ | Unidad de presión kilogramo sobre Centímetro cuadrado. |

| | |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| μF | Micro faradio. |
| LPM | Litros por minuto. |
| FP | Factor de potencia. |
| $\frac{m}{s}$ | Metro por segundo. |
| $\frac{m^3}{s}$ | Metro cúbico por segundo. |
| m^2 | Metro cuadrado. |
| Re | Reynolds. |
| V | Velocidad. (m/s) |
| D | Diámetro interno de la tubería. (cm) |
| ν | Viscosidad cinemática $\frac{m^2}{s}$ |
| $\frac{m^2}{s}$ | Metro cuadrado sobre segundo. |
| ϵ | Rugosidad del conducto. (m) |
| k | Factor de fricción de tuberías. |
| Log | Logaritmo. |
| Hm | Carga total de la bomba. (m) |
| Pu | Potencia hidráulica (HP) |
| n_{gr} | Rendimiento del grupo motor-bomba. |
| P_{gr} | Potencia de entrada del grupo motor-bomba. (Watts) |
| APU | Análisis de precios unitarios, fórmula de reajuste de precios, cronograma valorado de trabajos. |

TABLA DE CONTENIDO

Pp:

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| CARATULA | |
| AGRADECIMIENTO | |
| DEDICATORIA | |
| HOJA DE FIRMAS | |
| HOJA DE RESPONSABILIDAD | |
| INDICES DE ABREVIATURAS | |
| TABLA DE CONTENIDOS | |
| ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS | |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| ÍNDICE DE ANEXOS | |
| Resumen | i |
| Summary | ii |
| Introduccion | iii |
| Antecedentes | vi |
| Justificacion..... | vii |
| Objetivos | ix |
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1.Marco teórico | 1 |
| 1.1.Transporte de fluidos | 1 |
| 1.1.1.Tuberías, accesorios y válvulas | 1 |
| 1.1.1.1.Tuberías y tubos | 1 |
| 1.1.1.2.Accesorios:..... | 2 |
| 1.1.1.3.Válvulas. | 4 |
| 1.1.2.Instrumentos utilizados en los sistemas para transportar fluidos | 7 |
| 1.1.2.1.Medidores de presión..... | 7 |
| 1.1.2.2.Manómetros, características y su clasificación. | 8 |
| 1.1.2.3.Manómetros digitales..... | 9 |
| 1.1.2.4.Medidores de caudal..... | 10 |
| 1.1.2.5.Medidores de energía..... | 13 |
| 1.1.3.Características de los materiales utilizados en el transporte de fluidos. (8) | 15 |
| 1.2.Bombas hidráulicas | 17 |
| 1.2.1. Bombas centrífugas y factores hidráulicos del sistema. | 18 |
| 1.2.1.1. Concepto de bomba centrífuga. | 18 |
| 1.2.1.2. Funcionamiento de las bombas centrífugas..... | 19 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.2.1.3. Partes de una bomba centrífuga..... | 19 |
| 1.2.1.4. Carga de succión y elevación de succión y algunas condiciones de succión. | 21 |
| 1.2.2. Tipos de bombas centrífugas | 24 |
| 1.2.2.1. Bomba con carcasa de voluta. | 24 |
| 1.2.2.2. Bomba de turbina regenerativa..... | 26 |
| 1.2.2.3. Bomba con carcasa tipo difusor y con eductor | 27 |
| 1.2.3. Tipos de instalaciones y sus curvas características para ensayos de bombas centrífugas | 30 |
| 1.2.3.1. Instalación en serie. | 30 |
| 1.2.3.2. Instalación en paralelo..... | 33 |
| 1.2.4. Especificación de las bombas | 35 |
| 1.3. Diseño del banco de pruebas para bombas centrífugas | 37 |
| 1.3.1. Principio de bernoulli | 37 |
| 1.3.2. Velocidad de flujo..... | 39 |
| 1.3.3. Caudal..... | 40 |
| 1.3.4. Presión..... | 40 |
| 1.3.5. Pérdidas de carga en tubos rectos o longitudinales | 41 |
| 1.3.6. Pérdida de carga en accesorios | 44 |
| 1.3.7. Carga total de la bomba..... | 45 |
| 1.3.8. Potencia hidráulica de una bomba | 46 |
| 1.3.9. Potencia eléctrica..... | 47 |
| 1.3.10. Eficiencia de una bomba dentro del sistema..... | 48 |
| 1.3.11. Curvas de sistema de bombeo..... | 49 |
| 1.3.11.1. Curvas características de la bomba: | 49 |
| 1.3.11.2. Curvas del sistema..... | 50 |
| 1.3.12. Cavitación: | 50 |
| 1.3.13. npsh | 51 |
| 1.3.14. Bombas en serie y bombas en paralelo | 52 |
| 1.3.15. Cebado de una bomba: | 52 |
| CAPITULO II | 53 |
| 2.Parte experimental | 53 |
| 2.1.Plan de muestreo..... | 53 |
| 2.2.Diagnóstico | 54 |
| 2.3. Métodos..... | 55 |
| 2.3.1. Deductivo | 56 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.2. inductivo..... | 56 |
| 2.3.3. experimental..... | 56 |
| 2.3.4. descriptivo | 57 |
| 2.3.técnicas | 58 |
| 2.4.1 determinación de la densidad del agua | 58 |
| 2.4.2 determinación de la temperatura. | 59 |
| 2.4.3 determinación de la dureza del agua | 60 |
| 2.4.datos experimentales | 61 |
| 2.6.datos adicionales..... | 69 |
| CAPÍTULO III | 70 |
| 3.diseño y construcción de un banco de pruebas de bombas centrifugas | 70 |
| 3.1.generalidades | 70 |
| 3.2.cálculos | 71 |
| 3.2.1.puntos de referencia para la primera línea..... | 71 |
| 3.2.2.ecuación que rige el fenómeno | 71 |
| 3.2.2.1.cálculo de la velocidad..... | 72 |
| 3.2.2.2.cálculo del caudal y la presión | 72 |
| 3.2.2.3.cálculo de las pérdidas longitudinales..... | 72 |
| 3.2.2.4.cálculo de la rugosidad relativa | 73 |
| 3.2.2.4.1.cálculo del número de reynolds | 73 |
| 3.2.2.5.cálculo de las pérdidas por accesorios | 74 |
| 3.2.2.6.cálculo total de las perdidas | 75 |
| 3.2.2.7.cálculo de la carga total del sistema | 75 |
| 3.2.2.8.cálculo de la potencia hidráulica | 75 |
| 3.2.2.9.cálculo de la potencia eléctrica | 76 |
| 3.2.2.10. cálculo de la eficiencia de la bomba del banco de pruebas de bombas centrifugas | 76 |
| 3.2.2.10.curvas del sistema | 77 |
| 3.3 resultados | 79 |
| 3.4.construcción del banco de pruebas..... | 88 |
| 3.5.propuesta del diseño | 91 |
| 3.5.1.criterios de dimensionamiento del banco de pruebas de bombas centrífugas | 91 |
| 3.5.1.1.dimensionamiento y selección de tuberías y accesorio..... | 91 |
| 3.5.1.2.instalación y selección de bombas | 92 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.6.propuesta del dimensionamiento del banco de pruebas | 93 |
| 3.6.1.diseño del banco de pruebas para bombas centrifugas | 94 |
| 3.7.análisis de costos | 95 |
| 3.4.1. costos de inversión..... | 95 |
| 3.7.2. costos de operación..... | 96 |
| costos de operación. | 96 |
| 3.7.3. costo total..... | 96 |
| 3.7.4. depreciación del equipo | 97 |
| 3.8. análisis y discusión de resultados..... | 98 |
| 3.8.1. análisis de resultados del funcionamiento de operación de las bombas individuales pedrolo, meyers, barrow, paolo | 98 |
| 3.8.3. análisis de resultados del funcionamiento de operación de las bombas en paralelo | 101 |
| 3.8.4. análisis de resultados de la eficiencia (hidráulicas) de las bombas individuales pedrolo, meyers, barrow, paolo. | 103 |
| 3.8.5. análisis de resultados de las eficiencias (hidráulicas) de las bombas en serie. | 105 |
| 3.8.6. análisis de resultados de las eficiencias (hidráulicas y del motor-bomba) de las bombas en paralelo..... | 106 |
| 3.8.7. curvas del cálculo del npsh de las bombas individuales. | 108 |
| 3.8.8. curvas del cálculo del npsh de las bombas en serie..... | 109 |
| CAPÍTULO IV | 112 |
| 4.Conclusiones y recomendaciones..... | 112 |
| 4.1. Conclusiones: | 112 |
| 4.2. Recomendaciones..... | 114 |
| ANEXOS | 115 |
| BIBLIOGRAFÍA | 123 |

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

| | pp: |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1:1.1.1.3-1 tipos de válvulas | 7 |
| 2:1.1.2.3-1.manómetros digitales. | 10 |
| 3:1.1.2.4-1. caudalímetros de área de paso variable | 12 |
| 4:1.1.2.4-2. partes del caudalímetro | 13 |
| 5:1.2-1.bomba hidráulica..... | 17 |
| 6:2.1.1-1 bomba centrífuga..... | 18 |
| 7:1.2.1.2-1 principio de funcionamiento de una bomba centrífuga | 19 |
| 8:1.2.2.1-1 bomba con carcasa de voluta..... | 25 |
| 9:1.2.2.1-3 voluta simple para capacidades reducidas..... | 26 |
| 10:1.2.2.1-2voluta simple para capacidad de diseño. | 26 |
| 11:1.2.2.2-1 impulsor y carcasa interior de una bomba de turbina regenerativa. | 26 |
| 12:1.2.2.3-1 bomba común de difusor..... | 28 |
| 13:1.2.3.1-1 instalaciones de bombeo en serie. | 31 |
| 14:1.2.3.1-2.curvas de carga versus capacidad de bombas operando en serie..... | 32 |
| 15:1.2.3.2-1. instalaciones de bombas en paralelo. | 33 |
| 16:1.2.3.2-2 curvas de carga versus capacidad de bombas operando en paralelo. | 35 |
| 17:1.3.1-1 diagrama de flujo del banco de pruebas de bombas centrífugas | 38 |
| 18:1.3.12.1-1 diagrama de la curva de la bomba $h = f(q)$ | 49 |
| 19:1.3.12.2-1 diagrama de la curva del sistema $h= f(q)$ | 50 |
| 20:3.2.1-1 diagrama de flujo de la primera línea..... | 71 |
| 21:3.3-1 diagrama de flujo de recorrido la bomba 1..... | 79 |
| 22:3.3-2 diagrama de flujo de recorrido de la bomba 2..... | 80 |
| 23:3.3-3 diagrama de flujo del recorrido de la bomba 3..... | 81 |
| 24:3.3-4 diagrama de flujo de recorrido de la bomba 4..... | 82 |
| 25:3.3-5 diagrama de flujo de las bombas 1y2 del sistema en serie | 83 |
| 26:3.3-6 diagrama de flujo de las bombas 3y4 del sistema en serie | 84 |
| 27:3.3-7 diagrama de flujo de las bombas 1 y 2 del sistema en paralelo..... | 85 |
| 28:3.3-8 diagrama de flujo de las bombas 1,2 y3 del sistema en paralelo..... | 86 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 29:3.3-9 diagrama de flujo de las bombas 1, 2,3 y 4 del sistema en paralelo | 87 |
| 30:3.8.1-1 curva h (m) vs q (l/min) de la bomba pedrollo | 98 |
| 31:3.8.1-2 curva h (m) vs q (l/min) de la bomba meyers..... | 98 |
| 32:3.8.1-3 curva h (m) vs q (l/min) de la bomba barrow | 99 |
| 33:3.8.1-4 curva h (m) vs q (l/min) de la bomba paolo | 99 |
| 34:3.8.2-1 curva h (m) vs q (l/min) de las bombas pedrollo-meyers | 100 |
| 35:3.8.2-2 curva h (m) vs q (l/min) de las bombas barrow-paolo..... | 101 |
| 36:3.8.3-1 curva h (m) vs q (l/min) de las bombas pedrollo-meyers | 101 |
| 37:3.8.3-2 curva h (m) vs q (l/min) de las bombas pedrollo-meyers-barrow | 101 |
| 38:3.8.3-3 curva h (m) vs q (l/min) de las bombas pedrollo-meyers-barrow-paolo | 102 |
| 39:3.8.4-1 curva q (l/min) vs n (%) de la bomba pedrollo..... | 103 |
| 40:3.8.4-2 curva q (l/min) vs n (%) de la bomba meyers | 103 |
| 41:3.8.4-3 curva q (l/min) vs n (%) de la bomba barrow | 104 |
| 42:3.8.4-4 curva q (l/min) vs n (%) de la bomba paolo | 104 |
| 43:3.8.5-1 curva q (l/min) vs n (%) de las bomba en serie pedrollo-meyers | 105 |
| 44:3.8.5-2 curva q (l/min) vs n (%) de las bombas en serie barrow-paolo..... | 105 |
| 45:3.8.6-1 curva q (l/min) vs n (%) de las bombas pedrollo-meyers..... | 106 |
| 46:3.8.6-2 curva q (l/min) vs n (%) de las bombas pedrollo-meyers-barrow..... | 106 |
| 47:3.8.6-3 curva q (l/min) vs n (%) de las bombas pedrollo-meyers-barrow-paolo | 107 |
| 48:3.8.7-1 curva npsh (m) vs q (l/min) de la bomba pedrollo..... | 108 |
| 49:3.8.7-2 curva npsh (m) vs q (l/min) de la bomba meyers | 108 |
| 50:3.8.7-3 curva npsh (m) vs q (l/min) de la bomba barrow | 108 |
| 51:3.8.7-4 curva npsh (m) vs q (l/min) de la bomba paolo..... | 109 |
| 52:3.8.8-1 curva npsh (m) vs q (l/min) de las bombas pedrollo-meyers | 109 |
| 53:3.8.8-2 curva npsh (m) vs q (l/min) de las bombas barrow-paolo | 109 |
| 54:3.8.9-1 curva npsh (m) vs q (l/min) de las bombas pedrollo-meyers | 110 |
| 55:3.8.9-2 curva npsh (m) vs q (l/min) de las bombas pedrollo-meyers-barrow | 110 |
| 56:3.8.9-3 curva npsh (m) vs q (l/min) de las bombas pedrollo-meyers-barrow-paolo..... | 111 |

INDICE DE TABLAS

PP:

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1:1.2.2-tipos de bombas centrífugas | 24 |
| 2:2.1-1 plan de muestreo | 53 |
| 3:2.4.1-1determinación de la densidad del agua estándar methods 1520..... | 58 |
| 4:2.4.2-1determinación de la temperatura estándar methods 2650b..... | 59 |
| 5:2.4.3-1determinación de la dureza del agua. estándar methods *2340 b y c / astm d 1126-92..... | 60 |
| 6:2.5-1datos experimentales del diámetro y longitud de las tuberías del banco de pruebas..... | 61 |
| 7:2.5-2datos experimentales del banco de pruebas de bombas centrífugas de la bomba pedrollo | 62 |
| 9:2.5-4datos experimentales del banco de pruebas de bombas centrífugas de la bomba barrow | 64 |
| 10:2.5-5datos experimentales del banco de pruebas de bombas centrífugas de la bomba paolo..... | 65 |
| 11:2.5-6datos experimentales del sistema en serie del banco de pruebas..... | 66 |
| 12:2.5-7datos experimentales del sistema en paralelo de las bombas pedrollo-meyers del banco de pruebas | 67 |
| 13:2.5-8datos experimentales del sistema en paralelo de las bombas pedrollo-meyers-barrow-paolo del banco de pruebas | 68 |
| 14:2.6-1propiedades físicas del agua a 1at | 69 |
| 15:3.6-1dimensionamiento del banco de pruebas..... | 93 |
| 16:3.7.1-1 costos de inversión. | 95 |
| 17:3.7.2-1costos de operación. | 96 |
| 18:3.7.3-1 costo total | 96 |
| 19:3.7.4-1porcentajes de depreciación | 97 |

INDICE DE ANEXOS

pp:

| | |
|----------------------------------------------------|-----|
| ANEXO I | 118 |
| DIAGRAMA DE MOODY..... | 118 |
| ANEXO II..... | 119 |
| COEFICIENTE DE PÉRDIDAS DE CARGAS SECUNDARIAS..... | 119 |
| ANEXO III..... | 120 |
| MANÓMETRO..... | 120 |
| ANEXO IV..... | 121 |
| DIMENSIÓN DE TUBERIAS..... | 121 |
| ANEXO V..... | 122 |
| BOMBA CENTRÍFUGA..... | 122 |
| ANEXO VI..... | 123 |
| DIMENSIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS..... | 123 |
| ANEXO VII..... | 124 |
| BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO..... | 124 |

RESUMEN

Se ha diseñado y construido un banco de pruebas de bombas centrífugas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, para la enseñanza de procesos de transporte de fluidos a nivel industrial. Se realizaron cálculos de ingeniería para encontrar la carga total del sistema, la potencia de la bomba y el dimensionamiento del equipo. En su construcción se empleó acero inoxidable. Se utilizó agua como fluido de transporte por lo que se determinó mediante técnicas gravimétricas temperatura, dureza, densidad, etc. El equipo consta de: Tubos de acero hidrinox de 1" acopladas mediante uniones, codos y tés de 1". Cuatro bombas centrífugas de 0,5 Hp. Un rotámetro de 32gal/min para medir el caudal y un manómetro digital para medir la presión. La dimensión total del banco es de 160 cm de largo y 100 cm de ancho.

El equipo construido tiene como finalidad medir la potencia hidráulica real de las bombas, el caudal, presión, pérdidas longitudinales y por fricción durante el transporte, para determinar la eficiencia del equipo. Las pruebas se realizaron de la siguiente manera: Haciendo funcionar individualmente cada bomba, ajustamos el caudal en 5gal/min para todas las pruebas se espera 5min hasta que se estabilice el manómetro para tomar exactamente la presión. Como resultado se obtiene una eficiencia máxima de 38% cuando se trabaja con las bombas en paralelo. En conclusión el equipo puede realizar muchos ensayos útiles para el aprendizaje del transporte de fluidos.

Descriptores: Bombas centrífugas/ Transporte de fluidos/ Rendimiento (Bombas).

SUMMARY

The unit operations laboratory of the school of chemical engineering of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo needs updated equipment for the students' theoretical and practical learning of fluids transportation at an industrial level. The main goal is to design and construct a test bench to determine the domestic centrifuge pumps

The research made a scheme to obtain experimental data and the engineering calculations to design the test bench' outline. After that, the research sized the equipment up to 160 cm x 100 cm. finally, we achieve its construction and validation with the following: 1" stainless steel pipes connected by 1" supports, T fitting, elbow fittings, four 0.5Hp centrifuge pumps, a 32gal/min rotameter to measure the flow , a digital manometer to measure the pressure.

Result show that the research obtained a 38% of efficiency when the equipment works with parallel pumps. Now the equipment works well and the school can train student on transporting fluids with many useful test.

The laboratory obtained a better efficiency and it achieved al the required conditions in a pumping system. There be trained the laboratory staff to manipulate the equipment correctly.

INTRODUCCION

El uso de bombas centrífugas a nivel doméstico día a día va en incremento, debido especialmente a la necesidad de transportar el agua de un lugar a otro. La información teórica sobre los fundamentos del Transporte de Fluidos es muy abundante, pero la falta de información técnica necesaria para el dimensionamiento de equipos que sirvan como base para la selección adecuada de las bombas que se deben utilizar para transportar los fluidos y de esta forma evitar gastos energéticos y económicos, ha despertado el interés de realizar este estudio, que al dar una solución viable a un inconveniente en particular, contribuya a solucionar los problemas que acarrear las malas instalaciones de bombeo.

El objetivo de este trabajo es analizar, estudiar y proponer una alternativa nueva para la selección e instalación de bombas centrífugas que permita usar criterios de comparación en base a una serie de pruebas comprobadas. El objetivo específico es evaluar *la potencia y el número de bombas* que necesita el banco de pruebas datos útiles para el dimensionamiento que permitirán determinar la *Eficiencia de la Bomba*, y las condiciones de operación del equipo.

El caudal de agua y la presión fueron variables útiles para la generación de datos experimentales que sirvieron para el cálculo de la potencia hidráulica de la bomba, el cual relacionado con la potencia eléctrica del motor-bomba permitió analizar la eficiencia de la misma durante el transporte del fluido y realizar un análisis comparativo de ingeniería entre las bombas instaladas.

Para conseguir darle mejor y extenso uso al equipo se basó en el máximo caudal con el que trabajan la mayoría de las bombas centrífugas, además los materiales de construcción de este equipo son resistentes a la corrosión debido a que el agua del laboratorio tiene una alta dureza. Hay pocos equipos que se han diseñado con este fin, entre los que se puede mencionar es el banco de pruebas de bombas centrífugas en serie de la facultad de mecánica y también algunos equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química como el banco de pruebas de pérdidas por accesorios, etc.

La investigación dirigida al Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas de Bombas Centrífugas para el Laboratorio de Operaciones Unitarias, ofrece los medios necesarios para hacer el ensayo elemental y completo de cada una de las bombas y así obtener las curvas características de operación, con el fin de contribuir al desarrollo, técnico científico de los estudiantes.

De acuerdo a los datos experimentales obtenidos de la práctica realizada en un banco de pruebas de bombas de la Facultad de Mecánica y mediante un análisis de los mismos se realizó un bosquejo en donde se plasmó todas las condiciones de nuestro equipo, posteriormente se hizo una propuesta con todos los materiales que irían en la construcción del mismo. Una vez realizados todos estos pasos se construyó el equipo y la opción más idónea, fue un equipo con 4 bombas centrífugas de 0,5 Hp, que manejen un caudal entre 5 y 40 L/min y de acuerdo a la potencia de la bomba seleccionada que es de 0,5Hp se utilizó una tubería de 1" de diámetro para facilitar el acople de accesorios. Al término de la construcción se hizo la validación del banco de pruebas de bombas centrífugas.

En el presente trabajo investigativo se determinó las condiciones adecuadas de operación del equipo, donde la máxima eficiencia es de 80% cuando trabajan la 4 bombas en paralelo, la cual, se encuentra dentro de los rangos deseados de (65 a 100) %, por lo tanto el equipo es útil para realizar múltiples ensayos sobre bombas.

ANTECEDENTES

Una búsqueda muy antigua presentada al ser humano, fue la necesidad de transportar el agua de un lugar a otro, por lo que empezó a idear diversos mecanismos para su solución, iniciando así el desarrollo tecnológico en sistemas de bombeo. Una bomba sirve para producir una ganancia en carga estática de un fluido procedente de una energía mecánica que se transmite en su eje por medio de un motor.

Los bancos de pruebas de bombas centrífugas son de una importancia vital en la industria debido a su amplia utilización en multitud de aplicaciones como sistemas de bombeo de agua para redes de distribución, sistemas de bombeo para oleoductos y refinerías, turbinas para la obtención de energía, etc. Existen numerosos tipos de bancos de pruebas para bombas, pero esta investigación está centrada solo en bombas centrífugas.

En la ESPOCH existe un solo equipo para ensayos de bombas centrífugas en la facultad de mecánica, pero este equipo solo consta de 2 bombas. Actualmente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, existen equipos construidos en tesis anteriores en los que se determina la eficiencia de bombas centrífugas como son: Banco de pruebas de pérdidas por accesorios, Banco de pruebas de pérdidas por accesorios y tuberías, sin embargo estos equipos son obsoletos y poco actualizados, por lo que es necesario la construcción de equipos altamente tecnológicos que permita un trabajo técnico – práctico en el laboratorio de Operaciones Unitarias relacionado con un sistema de bombas en serie y en paralelo para la determinación de eficiencias. Además que pueda ser aprovechado para los fines didácticos respectivos de los estudiantes, mejorando el conocimiento teórico.

JUSTIFICACION

El Transporte de Fluidos es una operación muy importante dentro de los procesos industriales, en la actualidad considerada como la alternativa más fácil y sencilla que ayuda a transformar la materia prima en producto terminado. Por este motivo estas operaciones de continuo interés en esta investigación, tanto en el aspecto económico como energético. Además en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencia existe un déficit de equipos actualizados, pues el banco de pruebas de tuberías, accesorios y entre otros ya han cumplido su vida útil por lo que es necesario reemplazar los mismos con otros equipos más actualizados que despierten el interés de aprendizaje de los estudiantes.

La necesidad de construir un equipo de este tipo es contribuir con el desarrollo de las industrias y los domicilios; las decisiones tomadas al instalar una bomba deben estar basadas en pruebas reales con criterios técnicos evaluados mediante un análisis de datos.

La necesidad de que la Facultad de Ciencias y en especial la Escuela de Ingeniería Química cuente con laboratorios debidamente equipados, y además que el objetivo actual de las Universidades no sólo hace énfasis en la formación profesional que el estudiante pueda recibir, sino que el real compromiso se orienta a la formación de estudiantes competitivos e innovadores; es motivo más que suficiente, para que como futuros profesionales de la Ingeniería Química se contribuya al desarrollo de la misma mediante el diseño y construcción de un Banco de Pruebas de Bombas Centrifugas orientado en el futuro a brindar servicios al sector empresarial y que

permite adaptar la fundamentación teórica a la aplicación práctica, complementando el aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Ciencias.

Por medio del presente estudio se podrá encontrar la eficiencia de la bomba, gracias a esto el usuario podrá hacer un análisis cuantificable del ahorro de energía si utiliza una bomba tipo A que tenga la eficiencia requerida que una bomba tipo B por ser más económica no la tenga.

OBJETIVOS

GENERAL

- Realizar el diseño y construcción de un banco de pruebas para la determinación de la eficiencia de bombas centrifugas domiciliarias.

ESPECÍFICOS

- Diseñar el bosquejo del banco de pruebas de bombas centrifugas.
- Identificar las variables de proceso que influyen en el comportamiento del banco de pruebas.
- Determinar la ecuación que rige el fenómeno del banco de pruebas.
- Calcular la potencia y número de bombas que necesita el banco de pruebas.
- Efectuar el dimensionamiento del banco de pruebas.
- Validación del banco de pruebas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Transporte de fluidos

“La necesidad de transportar un fluido de un sitio a otro, ya sea por gravedad o con la ayuda de un dispositivo mecánico es muy importante en el campo de la ingeniería, considerando que en todo proceso es preciso el diseño de sistemas para su transporte y también la medición de los flujos por el interior de tuberías o canales, para optimizar todos los procesos.”(1)

1.1.1. Tuberías, accesorios y válvulas (2)

1.1.1.1. Tuberías y tubos

Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado, forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso.

Características:

Entre las características se encuentran: tipo, tamaño, aleación, resistencia, espesor y dimensión.

- Diámetros.- Es la medida de un accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo y depende de las especificaciones técnicas exigidas.
- Resistencia.- Es la capacidad de tensión en libras o en kilogramos que puede aportar un determinado accesorio en plena operatividad.
- Aleación.- Es el material o conjunto de materiales del cual está hecho un accesorio de tubería.
- Espesor.- Es el grosor que posee la pared del accesorio de acuerdo a las normas y especificaciones establecidas.

1.1.1.2. Accesorios:

Entre los tipos de accesorios más comunes se puede mencionar:

- Codos
- Tés
- Uniones

➤ CODOS.

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas tanto grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías.

Tipos y Características:

Los codos estándar son aquellos que vienen listos para la pre fabricación de piezas de tuberías y que son fundidos en una sola pieza con características específicas y son:

Codos estándar de 45°

Codos estándar de 90°

Codos estándar de 180°

- **Diámetro.** Es el tamaño o medida del orificio del codo entre sus paredes, se encuentran desde ¼" hasta 120". También existen codos de reducción.
- **Espesores** una normativa o codificación del fabricante determinada por el grosor de la pared del codo.
- **Aleación.** Es el tipo de material o mezcla de materiales con el cual se elabora el codo, entre los más importantes se encuentran: acero al carbono, acero a % de cromo, acero inoxidable, galvanizado, etc.
- **Junta.** Es el procedimiento que se emplea para pegar un codo con un tubo, u otro accesorio y ésta puede ser: soldable a tope, roscable, embutible.
- **Dimensión.** Es la medida del centro al extremo o cara del codo y la misma puede calcularse mediante fórmulas existentes.

➤ **TE.**

Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y cedulas y se utilizan para efectuar fabricación en líneas de tubería.

Tipos y Características:

- **Diámetro.** Lastés existen en diámetros desde ¼" " hasta 72", según el tipo fabricación.

- Espesor. Este factor depende del espesor del tubo o accesorio a la cual va instalada.

➤ UNIONES.

“Los métodos para unir las piezas de tuberías o tubos, dependen en parte de las propiedades del material, pero sobre todo del espesor de la pared. Los productos tubulares de pared gruesa se conectan generalmente por medio de accesorios de rosca, collarines o soldadura. Las piezas de tubo de pared delgada se unen por soldadura o compresión, o accesorios flameados. Las tuberías hechas de materiales frágiles tales como vidrio, carbono o hierro fundido se conectan por medio de bridas (collarines) o uniones de enchufe y campana.”(3)

Los accesorios roscados están estandarizados para tuberías hasta 12 pulgadas, pero debido a la dificultad del roscado y del manejo de tuberías grandes, rara vez se emplean en esta área con tuberías mayores a 3 pulgadas.

“Tramos de tuberías mayores de 2 pulgadas se conectan por medio de collarines o soldadura. Los collarines o bridas son dos discos o anillos que se complementan unidos por pernos y que comprimen una junta entre sus caras.” (4).

1.1.1.3.Válvulas.

Se utilizan para oponer una restricción al flujo del fluido y por tanto, siempre hay una caída de presión relacionada con el flujo en una válvula. La reducción en la

presión ocurre por las pérdidas de energía por fricción en el fluido del proceso. Debido a que la válvula actúa como absorbedor de energía en relación con el mismo, debe ser adecuada no sólo desde el punto de vista de contener al fluido en condiciones estáticas de presión, temperatura, corrosividad. etc., sino también en las condiciones dinámicas de velocidad, caída de presión, erosión, etc.(5)

Tipos de válvulas:

- Válvulas de cierre, que también se denominan válvulas de bloqueo.
- Válvulas de estrangulación.
- Válvulas de retención.

Funciones de las válvulas

- ✓ Válvula de macho: cierre hermético. Deben estar abiertas o cerradas del todo.
- ✓ Válvulas de compuerta: resistencia mínima al fluido de la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Accionamiento poco frecuente.
- ✓ Válvulas de bola: no hay obstrucción al flujo. Se utilizan para líquidos viscosos y pastasaguadas. Cierre positivo. Se utilizan totalmente abiertas o cerradas.
- ✓ Válvulas de mariposa: su uso principal es para estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión (desde 150 psi hasta el vacío)ycierre.Su diseño de disco abierto, rectilíneo evita acumulación de sólidos no adherentes y produce poca caída de presión.

- ✓ Válvulas de globo: son para uso poco frecuente. Cierre positivo. El asiento suele estar paralelo con el sentido del flujo; produce resistencia y caída de presión considerables.
- ✓ Válvulas de ángulo: son, en esencia, idénticas a las válvulas de globo. La diferencia principal es que el flujo del fluido en esta válvula realiza un giro de 90°.
- ✓ Válvulas en Y: son válvulas de globo que permiten el paso rectilíneo y sin obstrucción igual que las válvulas de compuerta. La ventaja es una menor caída de presión en estas válvulas que en las de globo convencional.
- ✓ Válvulas de aguja: estas válvulas son, básicamente, válvulas de globo que tienen un macho cónico similar a una aguja, que ajusta con precisión en su asiento. Se puede tener estrangulación exacta de volúmenes pequeños por que el orificio formado entre el macho cónico y el asiento cónico se puede variar a intervalos pequeños y precisos.
- ✓ Válvulas de retención o check: actúan de forma automática ante los cambios de presión para evitar que se invierta el flujo.

Las válvulas están diseñadas para mínima resistencia al flujo y, la mayoría de veces están recubiertas con aleaciones especiales para darles resistencia a la erosión o, a la corrosión. En la figura siguiente se muestran los distintos tipos de válvulas.

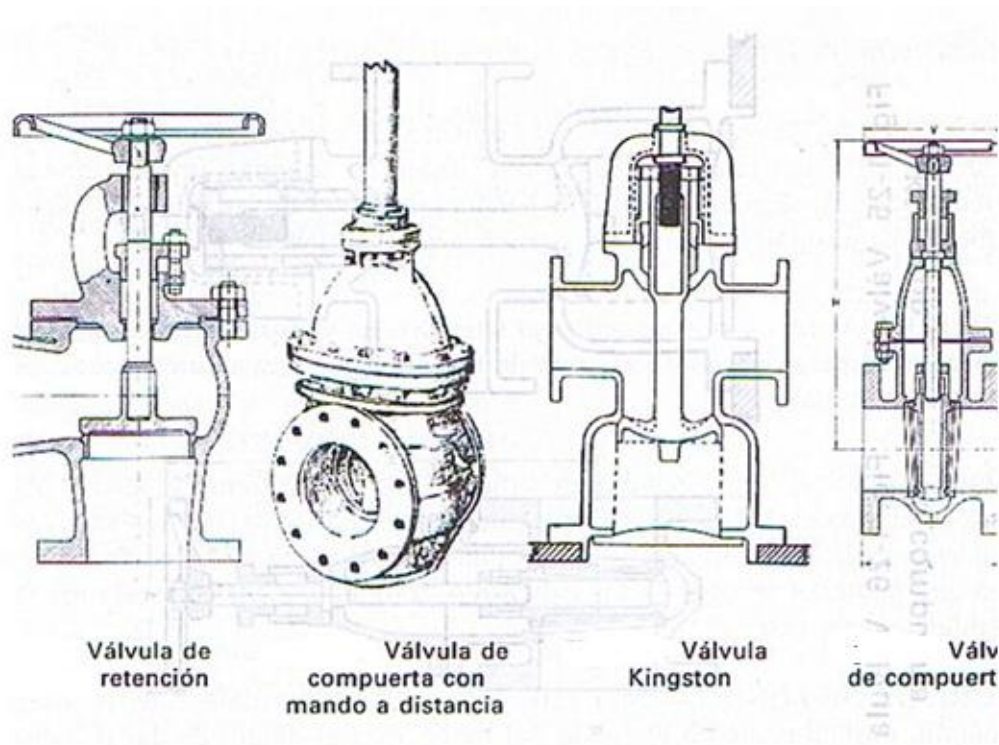


Fig.1.1.1.3-1 Tipos de válvulas

1.1.2. Instrumentos utilizados en los sistemas para transportar fluidos

1.1.2.1. Medidores de presión.

La presión es la cantidad de fuerza (F) que se ejerce sobre una superficie unitaria de una sustancia, se calcula a partir de:

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

Ec. 1.1.2.1-1

La unidad estándar en el Sistema Métrico internacional (SI) es el Pascal (Pa) o Newton/metro cuadrado (N/m²) y en el Sistema Británico de Unidades es libras/pie cuadrado (lb/ft²) pero más utilizado es libras/pulgada cuadrada (lb/pulg²). (6).

1.1.2.2. Manómetros, características y su clasificación.

Este equipo de medición utiliza la relación que se da entre un cambio de presión y un cambio de elevación de un fluido estático, $\Delta p = \gamma h$ donde γ es el peso específico del líquido y h el cambio de elevación.

Los manómetros pueden clasificarse según los siguientes parámetros:

Según la naturaleza de la presión medida:

- Instrumentos que miden la presión atmosférica, P_{atm} : barómetros.
- Instrumentos que miden la presión relativa P_{gage} o presión con relación a la atmosférica: manómetros, que miden las sobre presiones o presiones relativas positivas y vacuómetros que miden las depresiones o presiones relativas negativas.
- Instrumentos que miden la presión absoluta P_{abs} . manómetros de presión absoluta, se utiliza en mediciones pequeñas de presiones absolutas.
- Instrumento para medir diferencia de presiones: manómetro diferencial
- Instrumentos para medir presiones muy pequeñas: micro manómetros.

Según el principio de funcionamiento:

Estos se clasifican en mecánicos, eléctricos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos. Los primeros se basan en equilibrar la fuerza originada por la presión que se desea medir con otra fuerza, por medio del peso de una columna de líquido en los piezómetros de líquido y manómetro de líquido, a través de un resorte en los

manómetros clásicos o con la fuerza ejercida en la otra cara de un émbolo en los manómetros de émbolo, esta se mide mecánicamente.

En los manómetros eléctricos la presión produce una deformación elástica que se mide eléctricamente.

El grado de exactitud de cada manómetro está en función, de la calidad, de construcción de su instalación y de su adecuada lectura.

El campo de aplicación de los medidores de presión es muy amplio, teniendo intervalos desde valores bajos (vacío) hasta presiones sumamente grandes en el orden de miles de bar.

1.1.2.3.Manómetros digitales

Los manómetros digitales sirven para determinar la presión absoluta, el vacío o la presión diferencial. Todos los aparatos están dirigidos por un microprocesador y garantizan alta precisión y fiabilidad. Su breve tiempo de respuesta y su carcasa resistente al polvo y a las salpicaduras de agua hacen de estos aparatos instrumentos idóneos para el sector industrial o para investigación y desarrollo.

Existen múltiples rangos de medición (encontrará el aparato apropiado para cada aplicación). Tres de las cuatro series de aparatos tienen la posibilidad de transmitir los datos a un PC, laptop o a una impresora o bien una memoria interna.

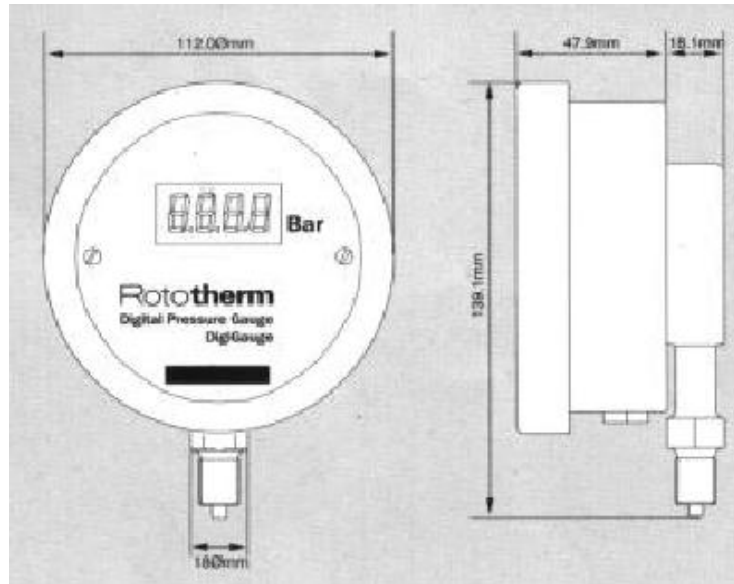


Fig. 1.1.2.3-1.Manómetros digitales.

1.1.2.4.Medidores de caudal

Medidores Volumétricos.-determinan el caudal en volumen del fluido, ya sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable. torbellino, velocidad, fuerza).(7)

La medida del caudal volumétrico se efectúa principalmente con elementos que originan una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos podemos mencionar: tuboVenturi, placa-orificio, tobera.

Los instrumentos para medir caudales se llaman caudalímetros, siendo la característica esencial de todos ellos, en contraposición a los instrumentos volumétricos, el ser un instrumento que mide el flujo instantáneo o caudal, que puede variar de un momento a otro.

Los caudales se pueden medir en flujo cerrado o tuberías o en flujo abierto o canales. A este último caso se refiere también el caso en que el caudal que circula en un conducto cerrado sale al exterior para su medición.

Para medir caudales en flujo cerrado o tuberías se tiene los siguientes caudalímetros:

Caudalímetros de flujo cerrado: Los caudalímetros más importantes de esta clase pueden reunirse en dos grupos: caudalímetros de área de paso constante y los de área de paso variable.

➤ **Caudalímetros de Área de paso variable o rotámetro.**

Los más importantes son los rotámetros. El rotámetro consta esencialmente de un tubo cónico vertical abierto por arriba de vidrio, metal o de plástico, en cuyo interior puede moverse libremente arriba y abajo un flotador. Al circular el líquido de abajo arriba el flotador ocupa una posición tal que las tres fuerzas verticales que actúan sobre el mismo, a saber, el peso hacia abajo, el empuje hidrodinámico y la resistencia, ambas hacia arriba, están en equilibrio.

Al aumentar el caudal la presión dinámica sobre el flotador aumenta y éste sube pero a la vez al incrementar el área de paso se incrementa con lo que la presión dinámica disminuye, estableciéndose de nuevo el equilibrio pero a una altura mayor. El

flotador tiene ranuras inclinadas en su superficie las mismas que al pasar el líquido le hace girar disminuyendo el rozamiento.

La resistencia aumenta de acuerdo a la viscosidad por lo que debe ser tarado el instrumento dependiendo del fluido, puede medir caudales desde $0.1 \left(\frac{dm^3}{h}\right)$ hasta $100 \left(\frac{m^3}{h}\right)$.



Fig. 1.1.2.4-1. Caudalímetros de área de paso variable

Los rotámetros tiene por lo tanto un intervalo preciso de aproximadamente 10:1, considerablemente mejor que los elementos tipo raíz cuadrada. La precisión es por lo general $\pm 2\%$ de la escala completa ($\pm 1\%$ calibrado) con receptibilidad aproximadamente de 0.25% de la lectura. Si se supone flujo incomprensible y el modelo antes descrito simplificado, se puede derivar el resultado.

La figura muestra la versión utilizada en el desarrollo de esta tesis para determinar el caudal erogado por las bombas ya sean individualmente, serie, paralelo, este rotámetro utiliza una fuerza de resorte (en lugar al de la gravedad), y por ende no se le limita su posición, ya sea horizontal, vertical o inclinada etc. Están disponibles unidades con salida visual o eléctrica para líquidos (0,050 a 150 gpm) y aire (2 a 1300 scfm) hasta presiones de 6000 PSI y 600°F la precisión en el tercer medio del rango es aproximadamente $\pm 2,5\%$.

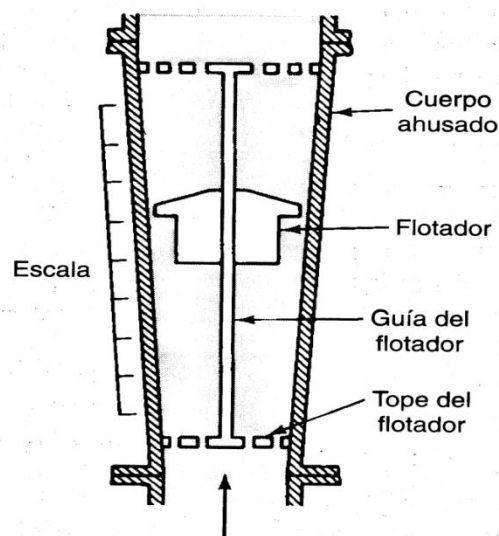


Fig. 1.1.2.4-2. Partes del caudalímetro

1.1.2.5. Medidores de energía.

Para determinar la potencia eléctrica en el caso de que no se posea un vatímetro o un analizador de energía.

El voltímetro es un instrumento que realiza solo las funciones combinadas del amperímetro y voltímetro y señala directamente la potencia. En los circuitos

eléctricos, tanto los c.c. como los de c.a., la potencia instantánea suministrada (F) a una carga es el producto de la corriente instantánea (I) a través de la carga y la diferencia de potencial en sus terminales (V).

$$P=IV$$

Ec. 1.1.2.5-1

➤ Voltímetro

Es el instrumento que mide el valor de la tensión. Su unidad básica de medición es el voltio (V) con sus múltiplos: el mega voltio (MV) y el kilovoltio (KV) y submúltiplos como el mili voltio (mV) y el micro voltio. Existen Voltímetros que miden tensiones continuas llamados voltímetros de bobina móvil y de tensiones alternas, los electromagnéticos.

Sus características son también parecidas a las del galvanómetro, pero con una resistencia en serie. Dicha resistencia debe tener un valor elevado para limitar la corriente hacia el voltímetro cuando circule la intensidad a través de ella y además porque el valor de la misma es equivalente a la conexión paralela aproximadamente igual a la resistencia interna; y por esto la diferencia del potencial que se mide (1 x R) no varía.

En esta tesis se utilizó un vatímetro/amperímetro de pinzas de medición digital de hasta 600KW/KVA y 1000A para corriente alterna (hasta 1kHz) y continua, con características profesionales como la posibilidad de almacenar en su memoria hasta

1600 datos de lectura (máximo-mínimo, promedio y “offset” relativo). El instrumento también mide potencia real, potencia aparente, factor de potencia, voltios AC/DC (600V máx.), resistencia y frecuencia.

Una barra analógica en la pantalla evidencia eventuales fluctuaciones de voltaje o amperaje. Con una interface opcional (MPL-100-1 A,) se puede conectar a un PC vía RS-232 para ver lecturas en tiempo real y desplegar gráficos de valores acumulados, además de ampliar la memoria de datos. Además de ser utilizados por las compañías de distribución eléctrica estos sofisticados instrumentos se emplean en el mantenimiento de aeronaves civiles y militares donde hay que medir corrientes DC de alta intensidad y AC de 400Hz.

1.1.3. Características de los materiales utilizados en el transporte de fluidos. (8)

La norma aceptada en América para definir la composición químico metalúrgica de los materiales es el ASTM (American Society for testing and Materials)

- ✓ **Galvanizado:** Es un proceso electroquímico por el cual se puede recubrir un metal con otro. Para este caso el acero galvanizado se recubre de zinc para lograr una mejor resistencia a la corrosión.

- ✓ **Acero Inoxidable:** Tipo de acero resistente a la corrosión, dado que el cromo que contiene reacciona con el oxígeno formando una capa protectora o pasivadora contra los agentes externos evitando así la oxidación de el hierro, puede además tener algunos elementos aleantes como el níquel o el molibdeno. Existen muchos tipos de aceros inoxidable pero los más comunes son:

Tipo 304 soporta menos corrosión.

Tipo 316 soporta más corrosión.

- ✓ **Cobre:** material duradero y reciclable se estima que el 25% de la producción mundial del cobre proviene del reciclaje. El latón es una aleación de cobre y zinc y el broncees una aleación de cobre y estaño, el proceso para convertirlo en tubería y conexiones consiste en calentarlo por medio de un horno eléctrico y dejarlo enfriar a temperatura normal.

De acuerdo a los procesos fabricación existe tubería de cobre rígida y flexible los tipos más comunes de cobre usados en la conducción de fluidos son:

Tipo M: para usos generales

Tipo L: para usos en gas

Tipo K: para usos en refrigeración

1.2.Bombas Hidráulicas

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido impulsándolo, desde un estado de baja presión estática a otro de mayor presión. Están compuestas por un elemento rotatorio denominado impulsor, el cual se encuentra dentro de una carcasa llamada voluta. Inicialmente la energía es transmitida como energía mecánica a través de un eje, para posteriormente convertirse en energía hidráulica.

El fluido entra axialmente a través del ojo del impulsor, pasando por los canales de éste y suministrándosele energía cinética mediante los álabes que se encuentran en el impulsor para posteriormente descargar el fluido en la voluta, el cual se expande gradualmente, disminuyendo la energía cinética adquirida para convertirse en presión estática.

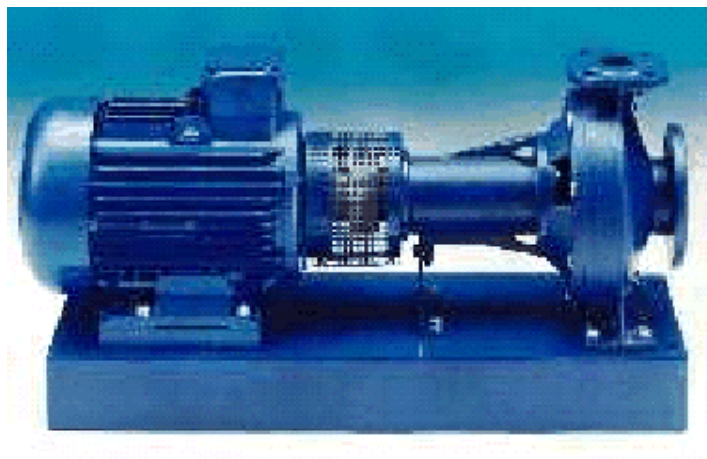


Fig. 1.2-1.Bomba Hidráulica

1.2.1. Bombas centrífugas y factores hidráulicos del sistema.

1.2.1.1. Concepto de bomba centrífuga.

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja o cárter, o una cubierta o coraza. Se denominan así porque la cota de presión que crean es ampliamente atribuible a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Así, despojada de todos los refinamientos, una bomba centrífuga tiene dos partes principales:

- Un elemento giratorio, incluyendo un impulsor y una flecha, y
- Un elemento estacionario, compuesto por una cubierta, estoperas y chumaceras.

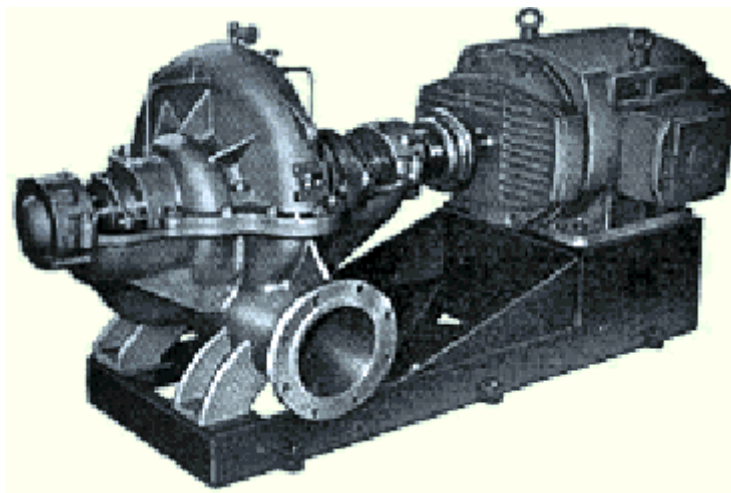


Fig. 1.2.1.1-1 Bomba Centrífuga

1.2.1.2. Funcionamiento de las bombas centrífugas

El flujo entra a la bomba a través del centro u ojo del rodete y el fluido gana energía a medida que las paletas del rodete lo transportan hacia fuera en dirección radial. Esta aceleración produce un apreciable aumento de energía de presión y cinética, debido a la forma de caracol de la voluta para generar un incremento gradual en el área de flujo de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en cabeza de presión a la salida.

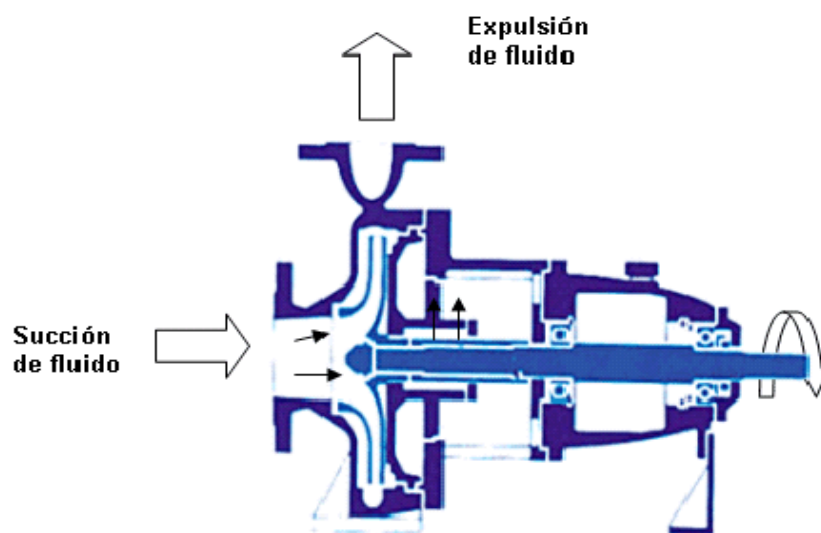


Fig. 1.2.1.2-1 Principio de funcionamiento de una bomba centrífuga

1.2.1.3. Partes de una bomba centrífuga

Carcasa. Es la parte exterior protectora de la bomba y cumple la función de convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de

presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

Impulsores. Es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

Anillos de desgaste. Son un elemento fácil y barato de remover en aquellas partes en donde debido a las cerradas holguras entre el impulsor y la carcasa, el desgaste es casi seguro, evitando así la necesidad de cambiar estos elementos y quitar solo los anillos.

Estoperas, empaques y sellos. La función de estos elementos es evitar el flujo hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.

Flecha. Es el eje de todos los elementos que giran en la bomba centrífuga, transmitiendo además el movimiento que imparte la flecha del motor.

Cojinetes. Sirven de soporte a la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

Bases. Sirven de soporte a la bomba, sosteniendo el peso de toda ella.

1.2.1.4. Carga de succión y elevación de succión y algunas condiciones de succión.

- **Elevación de succión.** Es la suma de la elevación estática de succión, de la carga de fricción de succión total y de las pérdidas de admisión (la elevación de succión es una carga de succión negativa).

- **Carga de succión.** Es la carga estática de succión menos la carga de fricción total y las pérdidas de admisión, más cualquier presión que se encuentre en la línea de succión. Es una presión negativa (hay vacío) y se suma algebraicamente a la carga estática de succión del sistema.

- **Condiciones de succión.** En lo que respecta al líquido, se tomará en cuenta la influencia de su presión sobre la succión.

- **Presión de vapor.** Si un líquido se encuentra a una temperatura arriba de su punto de ebullición, sufre evaporación en su superficie libre. En el seno del líquido se origina una presión que se llama presión de vapor y que está en función directa con la temperatura del líquido.

- **Presión de bombeo.** Si se destina una bomba cualquiera para bombear un líquido. Al funcionar la bomba, tiende a formar un vacío en el seno del líquido. Éste succionar se conoce como presión de bombeo.

- **Carga neta de succión positiva (NPSH).** Es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión, al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba. En el bombeo de líquidos la presión en cualquier punto en la línea de succión nunca deberá reducirse a la presión de vapor del líquido.

- **NPSH disponible.** Esta depende de la carga de succión o elevación, la carga de fricción, y la presión de vapor del líquido manejado a la temperatura de bombeo. Si se varía cualquiera de estos puntos, la NPSH puede alterarse.

- **NPSH requerida.** Esta depende sólo del diseño de la bomba y se obtiene del fabricante para cada bomba en particular, según su tipo, modelo, capacidad y velocidad.

- **Cebado de las Bombas.** Consiste en la extracción del aire de la tubería de succión de la bomba para permitir un correcto funcionamiento. Esta operación se realiza en todas las bombas centrífugas ya que no son autocebantes, generalmente cuando ésta se encuentra en una posición superior al tanque de aspiración.

- **Carga Hidráulica.** Es la energía impartida al líquido por la bomba, es decir, la diferencia entre la carga de descarga y la succión.

- **Punto de Shut-off.** Representa la carga hidráulica que produce la bomba cuando el caudal a través de ella es nulo. (La válvula a la salida de la bomba está cerrada, con el fluido en contacto con el rodete).

- **Potencia Absorbida (N).** Representa la potencia requerida por la bomba para transferir líquidos de un punto a otro y la energía requerida para vencer sus pérdidas.

- **Potencia Hidráulica (Ph).** Potencia cedida al líquido en el proceso de su transferencia de un punto a otro.

- **Eficiencia Mecánica.** Es la eficiencia relacionada con las pérdidas de energía útil, debidas al rozamiento en el cojinete, prensa-estopas y el rozamiento del fluido en los espacios entre la cubierta del rodete y la carcasa de la máquina, llamado rozamiento del disco y se define para una bomba centrífuga como:

- **Eficiencia Hidráulica.** Se define en términos de la relación entre el trabajo específico ideal de la máquina y el real del rodete, el trabajo específico ideal de la máquina se calcula basado en las condiciones totales o estáticas.

- **Eficiencia Total.** Redefine en términos de la relación entre la potencia eléctrica suministrada a la máquina y la potencia hidráulica entregada por ésta.

1.2.2. Tipos de Bombas Centrífugas

Las bombas son utilizadas para el desplazamiento de agua para diferentes fines como son: abastecimiento de tanques, reservorios o cisternas, incremento de presión y caudal. En el sector domiciliario las bombas centrífugas que más se emplean son:

TABLA 1.2.2-1

Tipos de bombas centrífugas

| Clase | Tipo | Pasos |
|------------|----------------------|-----------------|
| Centrífuga | Turbina regenerativa | Pasos múltiples |
| | Voluta | Un solo paso |
| | Difusor | |

1.2.2.1. Bomba con carcasa de voluta.

Esta bomba se denomina así debido a la carcasa en forma de espiral que rodea al impulsor.

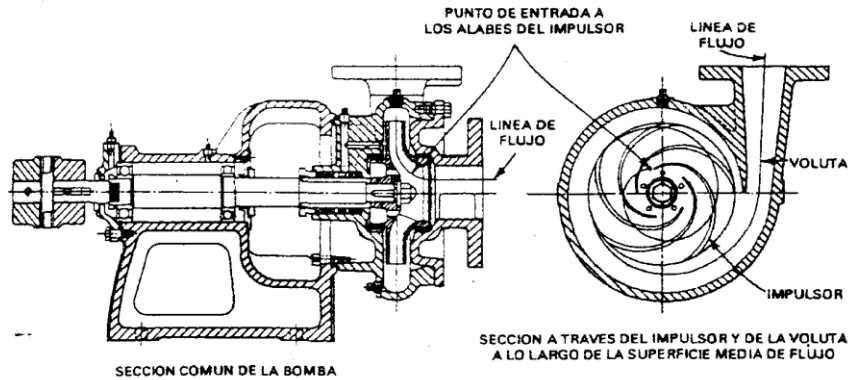


Fig. 1.2.2.1-1 Bomba con carcasa de voluta.

La carcasa recoge el líquido y por su forma transforma la energía de velocidad del fluido en energía de presión. La voluta de la bomba incrementa su área a partir del punto inicial hasta completar los 360° alrededor del impulsor abriéndose posteriormente hacia el orificio de descarga final.

La pared que divide la sección inicial y la porción de la boquilla de descarga de la carcasa se llama lengüeta de la voluta. Los álabes de difusión y la carcasa concéntrica de una bomba de difusión cumplen la misma función que la carcasa de la voluta en cuanto a la conversión de la energía.

Un diseño de carcasa para bombas de voluta simple, sobre el impulsor actúan presiones uniformes o casi uniformes cuando esta funciona a su capacidad que coincide con la mejor eficiencia. A distintas capacidades las presiones varían alrededor del impulsor y por ende existe una reacción radial resultante (F).

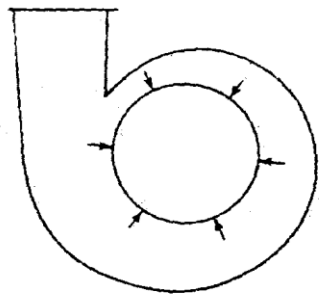


Fig.1.2.2.1-2 Voluta simple para Capacidad de diseño.

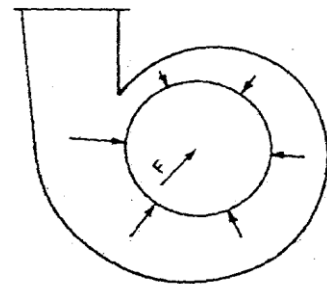


Fig. 1.2.2.1-3 Voluta simple para Capacidades reducidas.

1.2.2.2. Bomba de turbina regenerativa.

Las bombas de turbina derivan su nombre a raíz de la forma como han sido maquinados los álabes alrededor de la periferia del impulsor rotativo, así, conformando múltiples espacios o cubos. Estas bombas han sido reconocidas por mucho tiempo por su efectividad en las áreas de trabajo en donde cuyas aplicaciones exigen bajos flujos y altas presiones o cabezas.

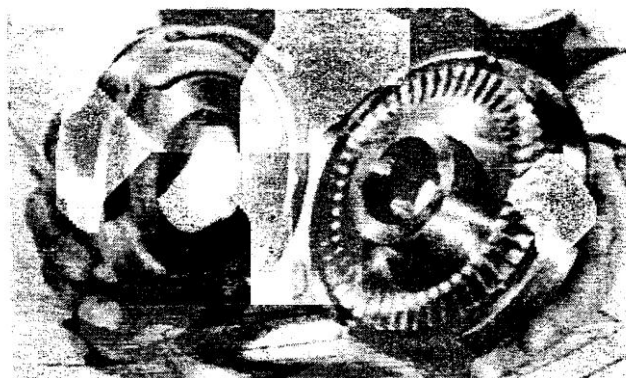


Fig.1.2.2.2-1 Impulsor y carcasa interior de una bomba de turbina regenerativa.

La bomba de turbina ofrece cabezas mayores en comparación con las que ofrecen las bombas centrífugas. Debido a que la curva de capacidad de cabeza es muy inclinada para la bomba de turbina se dispone de un mayor grado de flexibilidad. Las bombas de turbinas 1 dotadas con descargas en la línea central superior se caracterizan por ser autoventilantes y por tener la habilidad de manejar vapores sin que se produzcan obstrucciones o bloqueos a causa del vapor.

Estas características permiten manejar líquidos en ebullición y gases licuados a presiones de cabeza de succión ligeramente más altas que las presiones del vapor. Las bombas de turbina también tienen mayor eficiencia a bajos flujos que la bomba centrífuga.

Estas bombas funcionan con tolerancias mínimas, siendo empleadas normalmente para aplicaciones en las que se manejan líquidos limpios. Se pueden bombear materiales con viscosidades de hasta 500 S.S.U.

1.2.2.3. Bomba con carcasa tipo difusor y con eductor

Las bombas que poseen álabes de difusión se llaman bombas de difusor, anteriormente se las denominaba bombas de turbina pero ese término se aplica a las bombas centrífugas de difusor verticales, de pozo profundo a las que se denomina como bomba de turbina vertical.

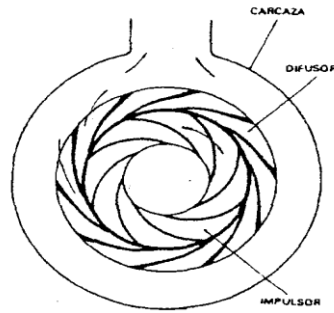


Fig. 1.2.2.3-1 Bomba común de difusor.

Los álabes del difusor o guía sirven para:

- Convertir la energía de velocidad del líquido en energía de presión.
- Efectuar el equilibrio hidráulico de la carga radial del rotor.
- Guiar la circulación del líquido dentro de la carcasa.

En las bombas de hélice y otras en las cuales se emplean impulsores de flujo axial, no se recomienda usar una carcasa de voluta para ello, el impulsor se cierra en una carcasa en forma de tubo. Comúnmente los álabes de difusión se usan siguiendo el flujo propio del impulsor, pero en algunas unidades de carga extremadamente baja, los mismos pueden omitirse.

El difusor se aplica raras veces a una bomba de flujo radial, de un solo paso excepto para bombas cuyo diseño sea de alta presión y de pasos múltiples. La mayor aplicación de estas, está en las bombas de turbina vertical y las de hélice de baja carga y de un solo paso.

Para entender lo que es un eductor se menciona el principio de funcionamiento.

El término bomba a chorro describe una bomba que no tiene partes en movimiento y que emplea fluidos en movimiento bajo ciertas condiciones controladas.

La potencia motivadora se trasmite a través de una corriente de fluido a alta presión dirigida por medio de una boquilla diseñada para producir la velocidad más alta posible.

El chorro resultante de fluido a alta velocidad produce un área de baja presión en la cámara de mezclado lo que provoca que el fluido de succión fluya hacia esta cara.

Idealmente hay un intercambio de momentum en este punto, que produce una corriente uniformemente mezclada circulando a una velocidad intermedia entre la velocidad del motivador y la de succión. El difusor tiene una forma adecuada para reducir la velocidad gradualmente y convertir la energía en presión en la descarga, con la mínima pérdida posible.

Las tres partes básicas de cualquier eductor son:

- Cámara de succión o cuerpo.
- Difusor.
- Boquilla.

Las boquillas a chorro convierten la energía de presión en velocidad, mientras que los difusores arrastran y mezclan los fluidos y cambian la velocidad nuevamente a presión. Hay que mencionar que el eductor utiliza un líquido como fluido motivador.

El eductor se desarrolla a partir de la ecuación de Bernoulli. La presión estática a la entrada de la boquilla se convierte en energía cinética al permitir al fluido circular libremente a través de una boquilla de tipo convergente. La corriente resultante de alta velocidad arrastra al fluido de succión en la cámara de succión provocando un flujo de fluidos mezclados, a una velocidad intermedia, la sección difusora convierte la presión de velocidad nuevamente en presión estática, a la descarga del eductor.

El comportamiento máximo teórico de los eductores; en la práctica real hay pérdidas de energía relacionadas por la mezcla de dos fluidos y con pérdidas por fricción en el difusor. Estas se toman en cuenta mediante el uso de un factor de corrección, para reducir el comportamiento teórico máximo.

1.2.3. Tipos de instalaciones y sus curvas características para ensayos de bombas centrífugas

1.2.3.1. Instalación en serie.

Las bombas son operadas en serie para proporcionar cargas mayores a capacidades constantes, que las de las bombas individuales.

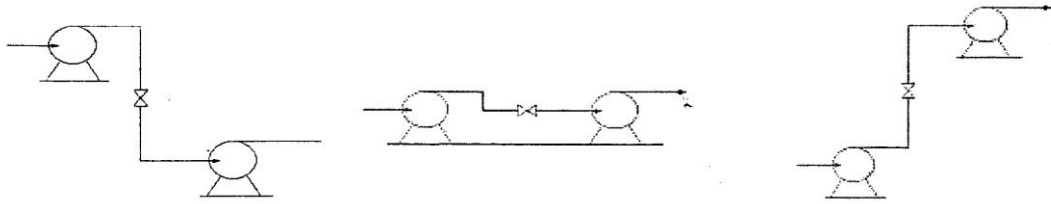


Fig.1.2.3.1-1 Instalaciones de bombeo en serie.

Las curvas de carga del sistema y las curvas individuales carga versus capacidad para las bombas en serie. Para obtener la curva combinada carga versus capacidad las cargas de las bombas se suman.

En la figura, la bomba 2 operando sola no entregará fluido debido a que su carga de cierre es menor que la carga estática del sistema existen dos puntos posibles de operación 1 y 2 como se muestra por las intersecciones apropiadas con la curva carga sistema. La eficiencia total de las bombas operadas en serie está dada por:

$$\eta = \left(\frac{sQ}{3960} \right) * \left(\frac{\sum H}{\sum P} \right)$$

Ec.1.2.2.1-1

En donde:

η = Eficiencia Total.

s = Densidad relativa del fluido.

Q = Capacidad de la bomba (gpm).

$\sum P$ = Potencia total suministradas a las bombas (Hp).

$\sum H$ = Suma de las cargas de las bombas (ft).

La presión de succión mayor puede incrementar tanto el costo inicial como los costos de mantenimiento de la segunda bomba.

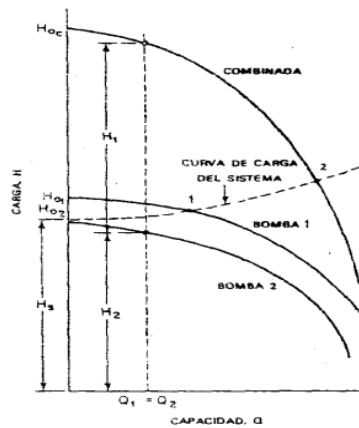


Fig.1.2.3.1-2. Curvas de carga versus capacidad de bombas operando en serie.

La operación en paralelo de dos o más bombas es un método común para satisfacer los requisitos, cuando se necesita incrementar la capacidad manteniendo la carga constante.

1.2.3.2. Instalación en paralelo

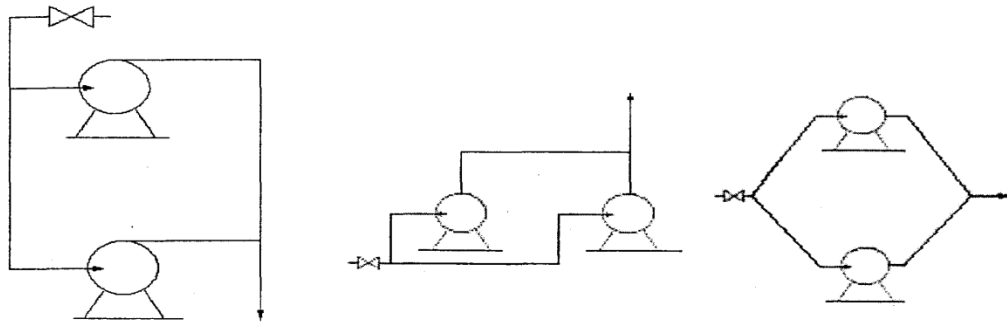


Fig.1.2.3.2-1. Instalaciones de bombas en paralelo.

Arrancando sólo aquellas bombas que se requieren para cubrir la demanda, normalmente se puede lograr la operación cerca de la máxima eficiencia. Las características de carga versus capacidad de las bombas no necesitan ser idénticas, pero las características inestables pueden dar problemas, la operación se debe asegurar solo en la parte estable de la curva característica.

Para la planeación de una operación con bombas múltiples se deben trazar las curvas de carga del sistema como se indica en la Fig.1.2.2.2-1. Las cargas del sistema resulta de la carga estática H y la suma H_f de la carga por fricción en las tuberías y la pérdida de carga en las válvulas y conexiones. Los posibles puntos de operación resultan de las intersecciones de las curvas de carga versus capacidad de las diferentes bombas con las curvas de carga del sistema al trazarlas en el mismo diagrama. Añadiendo las capacidades de las diversas combinaciones de bombas para tantos valores de la carga como sean necesarios, se trazan las curvas combinadas carga versus capacidad.

Los puntos 1, 2, 3 son posibles condiciones de operación. Además variando la velocidad de las bombas o incrementando la pérdida de carga del sistema por estrangulamiento se puede obtener puntos adicionales de operación. En un solo diagrama pueden incluirse cualquier número de bombas en paralelo, pero es preferible tener en diagramas separados.

La eficiencia total está dada por:

$$\eta = \left(\frac{sH}{3960} \right) * \left(\frac{\sum Q}{\sum P} \right)$$

Ec. 1.2.2.2-1

En donde:

η = Eficiencia total.

s = Densidad relativa del fluido.

H = Carga (ft).

$\sum P$ = Potencia total suministradas a las bombas (Hp).

$\sum Q$ = Suma de las capacidades de las bombas (gpm).

La posibilidad de mover dos bombas con un solo motor siempre debe considerarse, ya que normalmente es posible mover las bombas pequeñas a velocidades mayores de alrededor del 40%, que una sola bomba del doble de la capacidad. El ahorro en costo del motor de mayor velocidad puede desplazar fácilmente al incremento en costo de dos bombas y dar flexibilidad de operación.

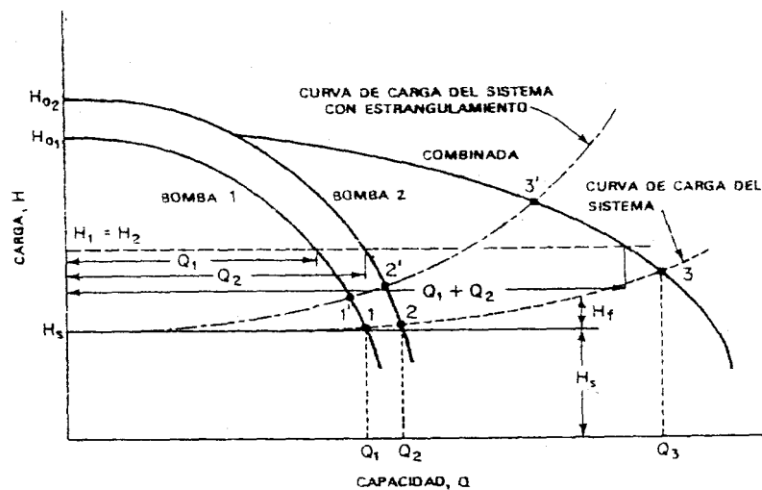


Fig. 1.2.3.2-2 Curvas de carga versus capacidad de bombas operando en paralelo.

1.2.4. Especificación de las bombas

“En la ingeniería es muy importante la optimización de recursos especialmente en la industria, en el caso del transporte de fluidos es necesario que el profesional conozca como especificar una bomba, para esto debemos tomar en cuenta algunos aspectos importantes como son los siguientes”: (8)

Naturaleza del líquido:

En el transporte de un fluido es necesario conocer el tipo y sus propiedades físico-químicas como son la Viscosidad, Temperatura, Densidad, Sistema Coloidal, etc., para saber de qué tipo de material debe ser la bomba y así no se tengan problemas posteriores como son por ejemplo la corrosión que se puede dar por el Ph.

Capacidad Requerida:

Es importante conocerla capacidad que necesita una bomba para transportar un fluido, para esto debemos saber cómo debe ir construida la instalación de bombeo

que en base a estas características se puede calcular su capacidad Mínima o Máxima requerida para que el sistema funcione de una manera óptima.

Condiciones de Succión:

Es importante conocer la elevación o carga de succión (Z_s), su longitud de tubería y el diámetro de la misma, además de las pérdidas por fricción que se encuentran presentes para poder calcular el NPSH disponible y así comparar con el NPSH requerido de la bomba.

Condiciones de Descarga:

Es necesario conocer la altura a la cual se va a descargar el fluido, su longitud, el diámetro y las pérdidas por fricción con las que se calculara la altura total de la carga del sistema, que en base a esta se podara obtener la capacidad requerida.

Carga Dinámica Total:

Esta dada por la diferencia de alturas dinámicas de descarga con la de succión, esta carga debe proporcionar la bomba para que pueda fluir el líquido.

Operación Continua e Intermitente:

Tienen diferentes usos en las industrias de toda clase; se debe tomar en cuenta el tiempo en que debe estar funcionando, generalmente en empresas grandes que funcionan las 24 horas al día; estos dispositivos deben estar funcionando sin parar, por lo que es necesario darle mantenimiento constante a la misma, en el caso de industrias pequeñas el trabajo se lo realiza por Batch por lo que su mantenimiento se lo hará de acuerdo a la necesidad.

Posición en la cual se va a instalar la Bomba:

De acuerdo a la necesidad del transporte de fluidos se pueden utilizar las bombas ya sean horizontales o verticales.

Espacio Disponible:

Es importante que alrededor de la bomba se disponga de un espacio por lo menos de un metro a la redonda para que en el caso de existir un daño se lo pueda reparar en línea o se lo saque para reemplazarla por otra.

Localización geográfica de la instalación:

La situación geográfica juega un papel muy importante en los equipos que se van a instalar, ya que no es lo mismo ubicarlo en regiones de clima cálido o en regiones de clima templado, o en sitios de alta humedad donde el material se puede corroer, por lo tanto se va a tener el mal funcionamiento de estos dispositivos.

Requisitos para especificar una Bomba:

El profesional que va a especificar un equipo de bombeo necesita conocer de algunos aspectos importantes como son todos los pasos anteriores y así poder diseñar una bomba con las características que se necesite para una óptima utilización en la industria.

1.3. DISEÑO del banco de pruebas para bombas centrífugas

1.3.1. Principio de BERNOULLI

El principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra

Hidrodinámica(1738) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido.

La ecuación de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido bajo condiciones variantes y para un sistema de flujo es necesario tomar dos puntos de referencia 1y2.

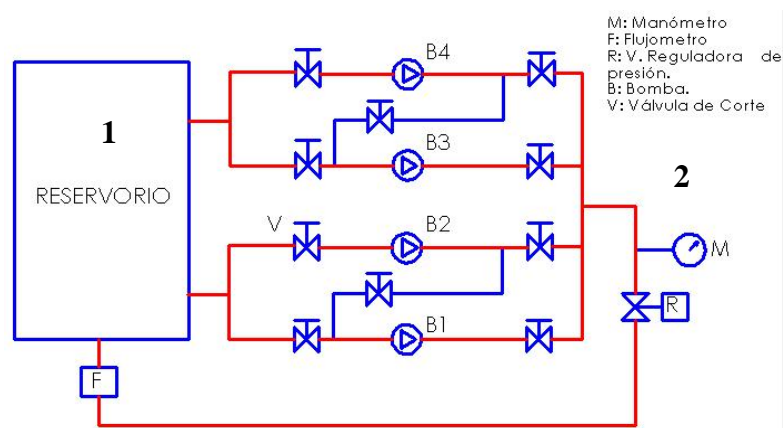


Fig. 1.3.1-1 Diagrama de flujo del Banco de Pruebas de Bombas Centrífugas

De esta manera la Ecuación de Bernoulli se define de la siguiente manera:

$$\frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \sum hf = \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \pm H$$

Ec. 1.3.1-1

Dónde:

H = Altura de carga del sistema (m)

Z₁ = Altura estática de succión (m)

Z₂ = Altura estática de descarga (m)

P_1 = Presión de succión (Pa)

P_2 = Presión de descarga (Pa)

v_1 = Velocidad en la succión ($\frac{m}{s}$)

v_2 = Velocidad en la descarga ($\frac{m}{s}$)

h_f = Pérdidas de energía en tuberías y accesorios (m)

g = Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

1.3.2. Velocidad de flujo

En fluido dinámica, la velocidad límite o velocidad terminal es la velocidad máxima que alcanzaría un cuerpo moviéndose en el seno de un fluido infinito bajo la acción de una fuerza constante.

Por tanto la ecuación que describe la velocidad de flujo dentro de un sistema tiene la siguiente forma:

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

Ec. 1.3.2-1

Dónde:

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

ϕ = Diámetro interno de la tubería (m)

1.3.3. Caudal

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo; normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

El caudal de un fluido puede calcularse a través de la siguiente fórmula:

$$Q = v * A$$

Ec. 1.3.3.

Dónde:

v = Velocidad del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

A = Area (m^2)

1.3.4. Presión

La presión en un fluido, es la presión termodinámica que interviene en la ecuación constitutiva y en la ecuación de movimiento del fluido, en algunos casos especiales esta presión coincide con la presión media o incluso con la presión hidrostática.

Todas las presiones representan una medida de la energía potencial por unidad de volumen en un fluido.

Para este caso es importante demostrar el siguiente análisis dimensional de la presión de la siguiente manera:

$$P = ML^{-1}T^{-2} * \frac{M}{\frac{L^2}{ML^{-1}T^{-2}}} = \frac{M}{L^2}$$

$$\frac{\frac{M}{L^2}}{\frac{M}{L^3} * \frac{L}{T^2}} = \text{si } M * \frac{L}{T^2} = N \text{ y } M = 9.8 N \text{ Entonces tenemos:}$$

$$\frac{\frac{M}{L^2}}{\frac{N}{L^3} * \frac{M}{N}} = \frac{\frac{M}{L^2}}{\frac{M}{L^3}} = L$$

Ec. 1.3.4-1

1.3.5. Pérdidas de carga en tubos rectos o longitudinales

La ecuación más empleada para el cálculo de la pérdida de carga en un tramo de tubo recto es la ecuación de Fanning.

El cálculo directo del factor de fricción se puede realizar a través de la ecuación explícita para el factor de fricción, desarrollada por P. Swamee y A. Jain (1976):

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1}{3,7 \cdot (D/\varepsilon)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Ec. 1.3.5-1

Dónde:

f = Factor de fricción Fanning

D = Diámetro de la tubería (m)

ϵ = Espesor de la tubería (m)

N_R = Número de Reynolds

Esta ecuación se aplica si: $1000 < D/\epsilon < 10^6$ y $5 \cdot 10^3 < N_R < 1 \cdot 10^8$

Por otra parte puede contrastarse este coeficiente de la forma siguiente:

Conocido el material de las tuberías (acero galvanizado) y su diámetro (2") puede deducirse la rugosidad relativa (E/ϕ).

$$R = \frac{E}{\phi}$$

Ec. 1.3.5-2

Dónde:

R = rugosidad relativa

E = rugosidad del material (m)

ϕ = diámetro interno de la tubería (m)

A partir del valor de la temperatura del fluido, pueden consultarse en las tablas el valor de la densidad y de la viscosidad y así calcular el número adimensional de Reynolds (Re). Con la rugosidad relativa y el Re puede encontrarse en las tablas el factor de fricción de Fanning.

$$NRe = \frac{v\phi\rho}{\mu}$$

Ec. 1.3.5-3

Dónde:

$NRe = \text{Número de Reynolds}$

$v = \text{Velocidad del fluido } \left(\frac{m}{s}\right)$

$\varnothing = \text{Diámetro de la tubería (m)}$

$\rho = \text{Densidad del fluido } \left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$\mu = \text{Viscosidad del fluido } \left(\frac{kg}{m \cdot s}\right)$

En conclusión la ecuación que define las pérdidas longitudinales es la siguiente:

$$hfL = f \frac{L v^2}{\varnothing 2g}$$

Ec. 1.3.5.-4

Dónde:

$hfL = \text{Pérdidas Longitudinales (m)}$

$f = \text{Factor de fricción fanning}$

$L = \text{Longitud del tramo recto de la tubería (m)}$

$\varnothing = \text{Diámetro de la tubería}$

$v = \text{Velocidad del fluido } \left(\frac{m}{s}\right)$

$g = \text{Aceleración de la gravedad } \left(\frac{m}{s^2}\right)$

Para calcular el factor de fricción fanning utilizamos las siguientes ecuaciones:

1.3.6. Pérdida de carga en accesorios

En los accesorios (válvulas, codos, té, estrechamientos, etc.) la pérdida de carga se debe a dos sumandos: a la pérdida por fricción debida a la longitud del accesorio (si la tiene), y a la desviación de la vena líquida debida a la obstrucción.

Para el primer término puede utilizarse la ecuación de Fanning ya conocida (ver ecuación de Fanning para tramo recto). Para el segundo sumando una ecuación análoga, empleando L_e , Longitud Equivalente (sería la que tendría una tubería recta del mismo diámetro y material, en la que se produjese la misma pérdida de carga que en el accesorio en cuestión, debida a la obstrucción correspondiente).

El producto de variables $f L_e / D$ puede englobarse en una sola constante k . Por lo tanto, la ecuación para pérdidas por accesorios es:

$$h_{fm} = k \frac{v^2}{2g}$$

Ec. 1.3.6-1

Dónde:

$h_m =$ Pérdidas de carga en accesorios (m)

$k =$ Constante por accesorio

$v^2 =$ Velocidad del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

$g =$ aceleración de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Finalmente el total de las pérdidas se obtiene:

$$h_f = h_{fL} + h_{fm}$$

Ec.1.3.6-2

Dónde:

$h_f =$ Pérdidas totales en el sistema (m)

$h_{fL} =$ Pérdidas de carga longitudinales (m)

$h_{fm} =$ Pérdidas de carga por accesorios (m)

1.3.7. Carga total de la bomba

A partir de la ecuación de Bernoulli podemos calcular la carga total de la bomba de la siguiente manera:

$$\frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \sum h_f = \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \pm H$$

Ec. 1.3.7-1 (1)

Despejando de la Ec. 1.3.7-1 tenemos:

$$\left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + hf = \pm H$$

Ec. 1.3.7-1

Dónde:

H = Altura de carga del sistema (m)

Z₁ = Altura estática de succión (m)

Z₂ = Altura estática de descarga (m)

P₁ = Presión de succión (Pa)

P₂ = Presión de descarga (Pa)

v₁ = Velocidad en la succión ($\frac{m}{s}$)

v₂ = Velocidad en la descarga ($\frac{m}{s}$)

hf = Pérdidas de energía en tuberías y accesorios (m)

g = Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

1.3.8. Potencia hidráulica de una bomba

La potencia necesaria para el movimiento de una bomba, es la requerida para vencer todas las pérdidas y proporcionar al fluido la energía deseada. Es la potencia cedida al

líquido en el proceso de su transferencia de un punto a otro. Y se representa mediante la fórmula siguiente:

$$Ph = \frac{\rho g Q H}{1000 w / Kw}$$

Ec. 1.3.8-1

Dónde:

Ph = Potencia hidráulica (kW o W)

Q = Caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

H = Carga Total (m)

ρ = Densidad del fluido $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

g = Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

1.3.9. Potencia eléctrica

Representa la potencia del motor eléctrico requerida por la bomba para transferir líquidos de un punto a otro y la energía requerida para vencer sus pérdidas. La potencia al freno, en el eje de la bomba es la energía requerida por el aparato en la unidad de tiempo. Y se representa mediante la fórmula siguiente:

$$Pe = V * I \frac{\cos\varphi}{\sqrt{3}}$$

Ec. 1.3.9-1

Dónde:

P_e = Potencia Electrica(W)

V = Voltaje (v)

I = Intensidad (A)

$\cos\varphi$ = *Factor de potencia*

1.3.10. Eficiencia de una bomba dentro del sistema

El rendimiento de una máquina centrífuga es la relación entre la potencia absorbida por el fluido y la potencia al freno (suministrada al eje de la bomba).

El rendimiento se expresa como una relación adimensional, varía con la velocidad y el caudal.

$$\eta = \frac{HP}{P_e} * 100$$

Ec. 1.3.10-1

Dónde:

n = Eficiencia o Rendimiento (%)

H_p = Potencia hidráulica de la bomba dada por el fabricante (watts)

P_e = Potencia eléctrica de la bomba (watts)

1.3.11. Curvas de sistema de bombeo

“Las gráficas de las condiciones en un sistema de bombeo existente o presupuesto, pueden ser auxiliares, importantes en el análisis del sistema. Aun cuando se ha publicado mucho sobre el uso de curvas en conexión con bombas centrífugas, debe recordarse que el análisis gráfico puede adaptarse igualmente a bombas rotatorias yreciprocantes.” (9)

Las curvas del sistema de bombeo van a depender en su totalidad de la forma de la instalación que tengan en su conjunto, si se modifica de alguna manera estas van a cambiar, en este grupo tenemos dos tipos de curvas: la curva característica de la bomba y la curva del sistema.

1.3.11.1. Curvas características de la bomba:

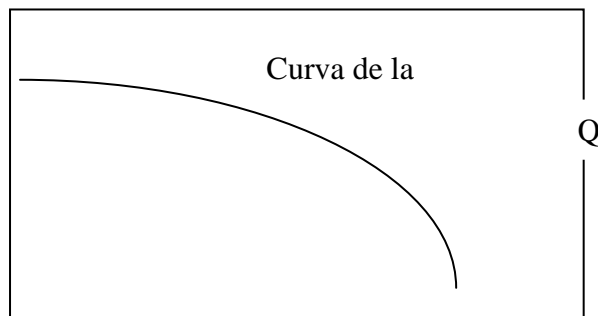


Fig. 1.3.12.1-1 Diagrama de la Curva de la Bomba $H = f(Q)$

Características:

- La altura de la curva es máxima cuando el caudal es cero
- La curva de la bomba se construye a la condición de velocidad rotacional constante.

- Si la viscosidad del fluido cambia en sus propiedades Físico– Químicas, el comportamiento de la curva varia conforme el líquido es más viscoso, es decir, la pendiente de la curva será más inclinada.
- La curva de la bomba es independiente de la densidad, es decir, a pesar que el fluido provoca carga, mayor peso, pero esta no va a modificar la curva.
- La presión que tiene la bomba va a estar en función del líquido.
- Una bomba es capaz de desarrollar diferente presión a la misma altura de carga para diferentes fluidos.

1.3.11.2. Curvas del sistema

La curva del sistema está definido de acuerdo a la ecuación de Bernoulli por lo tanto tenemos la siguiente curva:

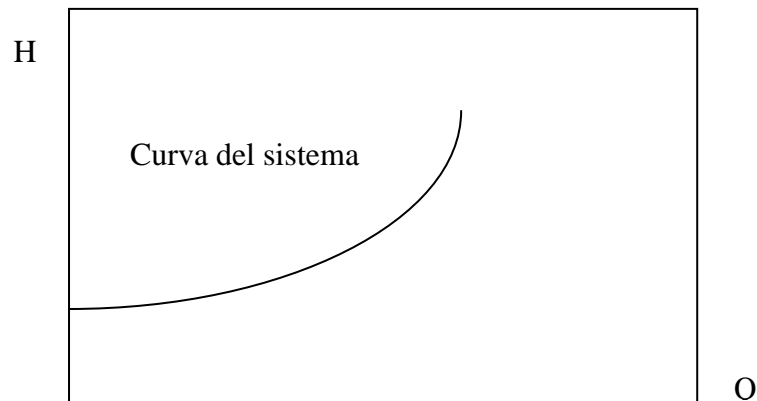


Fig. 1.3.12.2-1 Diagrama de la curva del sistema $H= f(Q)$

1.3.12. Cavitación:

La cavitación causa la destrucción rápida del metal constituyente de los rodets de las bombas y turbinas, de los álabes, de los venturímetros y en ocasiones de las

tuberías. Esto sucede cuando la presión del líquido se hace menor que su tensión de vapor.

1.3.13. NPSH

NPSH es un acrónimo de Net Positive Suction Head, también conocido como ANPA (Altura Neta Positiva en la Aspiración) y CNPA (Carga Neta Positiva en Aspiración). Es la diferencia, en cualquier punto de un circuito hidráulico, entre la presión en ese punto y la presión de vapor del líquido en ese punto.

La NPSH es un parámetro importante en el diseño de un circuito: si la presión en el circuito es menor que la presión de vapor del líquido, éste entrará en algo parecido a la ebulliciónse vaporiza, produciéndose el fenómeno de cavitación, que puede dificultar o impedir la circulación de líquido, y causar daños en los elementos del circuito.

$$NPSH = P_{abs.} + H_s - hfs - P_v$$

Ec. 1.3.14

Dónde:

NPSH: Cabeza Neta de Succión Positiva (m)

P_{abs.}: Presion absoluta sobre el líquido (m)

H_s: Altura de succión (m)

hfs: Pérdidas en la succión (m)

P_v: Presión de vapor del fluido en condiciones de bombeo

1.3.14. Bombas en Serie y Bombas en Paralelo

Una o más bombas en serie se pueden dañar por la pérdida de NPSH debida a la falla de una bomba de corriente arriba.

En las bombas en serie puede seguir un flujo reducido aunque una de ellas no funcione. Este flujo por la bomba que no está trabajando, hará que el impulsor gire en sentido opuesto y que se aflojen las tuercas que sujetan el impulsor y las camisas en el eje; cuando se vuelve a poner en marcha la bomba que no trabaja, las piezas flojas la dañarán en corto tiempo.

El múltiple de succión para varias bombas debe recibir especial atención para su diseño y tamaño, porque la cavitación producida en la entrada a un tubo de succión se puede propagar a lo largo del múltiple hasta otros tubos de succión o bien, una bomba, puede privar a todas las otras de su presión de succión, lo cual reduce su (NPSH). (3)

1.3.15. Cebado de una bomba:

Cuando se pone por primera vez en servicio una bomba, las vías de agua están llenas de aire. Si el abastecimiento de succión está por sobre la presión atmosférica, el cebado se efectúa eliminando de la bomba el contenido de aire atrapado por medio de una válvula provista para este propósito.

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

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

Se inicia con un plan de muestreo simple para los ensayos que se realizaron en el banco de pruebas, las muestras se tomaron de las cisternas de la Facultad de Ciencias, por lo tanto, posteriormente se realizó la caracterización del agua de abastecimiento del Laboratorio de Operaciones Unitarias, este análisis sirvió como punto de partida para tomar las medidas necesarias en cuanto al tratamiento del agua, porque las impurezas presentes en ésta, pueden causar incrustaciones, problemas de corrosión y reducir la vida útil del equipo.

2.1. Plan de muestreo

TABLA 2.1-1

Plan de Muestreo

| NUMERO DE MUESTRAS | HORA | FRECUENCIA | | | |
|--------------------|-------|------------|---|---|---|
| | | SEMANAS | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 4 | 10 am | 4 | 4 | 4 | 4 |

Obteniéndose al final un total de dieciséis (16) muestras por un periodo de un mes que se tardará todo el plan de muestreo propuesto.

2.2.Diagnóstico

A nivel domiciliario e industrial se ha estandarizado las bombas centrífugas para la transportación de fluidos pero existe una problemática muy grande que es la selección e instalación inadecuada de las bombas lo que provoca pérdidas materiales y a la vez económicas ya que se obligan a la compra de nuevos equipos o a su vez la reinstalación de los mismos.

Es por ese motivo que se ha visto la imperiosa necesidad, como estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química conscientes de esta realidad realizar un banco de pruebas de bombas centrífugas, en las cuales, se pueda medir las eficiencias de las bombas más conocidas en el mercado y de tener un buen criterio el momento de comprar e instalar una o varias bombas.

En el equipo de bombas centrífugas se ha logrado analizar los parámetros más sobresalientes como son: presión, caudal, las pérdidas tanto longitudinales como las pérdidas por accesorios; y así mismo llegar a conocer la eficiencia de una o varias bombas en su instalación individual, en serie o en paralelo.

Poniendo énfasis en la formación científica-técnica que el estudiante recibe en el aula o en un laboratorio, permitiéndole así adaptar la fundamentación teórica a la aplicación práctica.

En el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias no existe un banco de pruebas de bombas centrífugas que profundice el estudio general de funcionamiento de una bomba, con lo cual, se complementarían la teoría con la práctica, lo que se convierte en un problema evidente.

Pero este problema podría ser solucionado con la construcción de un banco de pruebas para la determinación de la eficiencia de bombas centrífugas domiciliarias, lo que permitirá determinar las curvas características para los diferentes tipos de instalación y determinar si la bomba centrífuga se encuentra dentro del rango de aceptación de eficiencia hidráulica.

2.3. Métodos

En todo proceso de diseño, se requiere procedimientos que son formulados de una manera lógica para la adquisición de información y cumplimientos de objetivos.

Los métodos a utilizarse, son una guía de procedimientos, producto de la reflexión, que proveen pautas lógicas generales para desarrollar y coordinar operaciones destinadas a la consecución de objetivos intelectuales o materiales del modo más eficaz posible.

2.3.1. Deductivo

En el desarrollo de este estudio, se inicia con fundamentos y principios de Cálculos Básicos, Mecánica de Fluidos y Operaciones Unitarias, partiendo así del diseño y construcción de un banco de pruebas de bombas centrífugas para la Facultad de Ciencias de la Escuela de Ingeniería Química, mediante la selección adecuada de los materiales y accesorios para su respectivo dimensionamiento, lo cual, es de gran ayuda para obtener los cálculos necesarios y la determinación de las variables del proceso con el fin de obtener la caracterización de la instalación.

2.3.2. Inductivo

Partiendo del análisis de datos obtenidos experimentalmente, se realizó un plan de muestreo para diseñar el banco de pruebas de bombas centrífugas, donde se determinó el caudal, presión y eficiencia de la bomba, el número de las bombas y accesorios a utilizar y de esta forma realizar el diagrama de un equipo con las características deseadas para posteriormente llegar a la construcción del mismo, concluyendo con la validación del mismo.

2.3.3. Experimental

Los métodos utilizados dentro de esta investigación son: analíticos, volumétricos y físico-químicos, estos métodos volumétricos se basan en la determinación de volúmenes. Los métodos físicos-químicas estudian las propiedades del fluido a utilizar. Los métodos analíticos para el análisis de los cálculos realizados.

2.3.4. Descriptivo

Se describe el diseño del banco de pruebas, en el cual, se inicia en un plan de muestreo realizado en un equipo semejante que se ubica en el laboratorio de Turbo – Máquinas de la Facultad de Mecánica, mismo que permitió determinar las características y variables del equipo como son: el caudal, la presión, la potencia hidráulica de las bombas y finalmente la eficiencia de cada bomba; posteriormente se hizo el bosquejo del mismo, en el cual, se detalla la dimensión total del banco de pruebas con todos los materiales, instrumentos y número de bombas que va a contener el equipo, para finalmente llegar a su construcción; concluyendo con la validación determinando la eficiencia del banco de pruebas de bombas centrífugas.

2.3.Técnicas

2.4.1 Determinación de la densidad del agua

TABLA 2.4.1-1

Determinación de la densidad del agua STÁNDAR METHODS 1520

| FUNDAMENTO | MATERIALES | PROCEDIMIENTO | CÁLCULO |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>La densidad de los líquidos se mide por medio del método del picnómetro. Esto permite determinar la densidad de un luido, en referencia a un fluido de densidad conocida como el agua. Sirve para medir la densidad de líquidos no viscosos.</p> | <p>Balanza Picnómetro de 10ml Probeta de 10ml</p> | <p>Tomar 10ml de muestra de agua del laboratorio de Química Industrial en una probeta. Colocar el picnómetro vacío en la balanza y anotar su peso (P1). Añadir la muestra de agua al picnómetro y taparlo. Colocar el picnómetro con muestra en la balanza y anotar su peso (P2). Realizar la diferencia de pesos y dividir por la capacidad del picnómetro.</p> | $\rho = \frac{(P_1 - P_2)}{V_p}$ <p>Dónde: ρ = densidad $\left(\frac{g}{ml}\right)$ P1 = picnómetro vacío (g) P2 = picnómetro con muestra (g) Vp = volumen del picnómetro (ml)</p> |

Fuente: ESTÁNDAR METHODS 1520

2.4.2 determinación de la temperatura.

TABLA 2.4.2-1

Determinación de la temperatura ESTÁNDAR METHODS 2650B

| FUNDAMENTO | MATERIALES | REACTIVO | PROCEDIMIENTO | CÁLCULO |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Magnitud que mide el estado térmico de un sistema termodinámico en equilibrio. | Termómetro en escala centigrada | Agua | Introducir el bulbo del termómetro en la muestra. Esperar unos segundos hasta estabilizar el nivel de mercurio Anotar el valor de la temperatura. | Lectura directa |

Fuente: ESTÁNDAR METHODS *2550 B

2.4.3 Determinación de la dureza del agua

TABLA 2.4.3-1

Determinación de la dureza del agua. STÁNDAR METHODS *2340 B y C / ASTM D 1126-92

| FUNDAMENTO | MATERIALES | TECNICA | CÁLCULO |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| La dureza del agua se define como la característica del agua que representa la concentración total de calcio y magnesio, expresadas como CaCO ₃ en mg/L. El rango de dureza varía entre 0 y cientos de mg/L, dependiendo de la fuente de agua y el tratamiento a que haya sido sometida. | <p>Probeta de 100ml</p> <p>Pipeta de 1ml</p> <p>Erlenmeyer de 250ml</p> <p>Balón aforado de 250ml</p> | <p>Tomar 25 ml de muestras en el Erlenmeyer.</p> <p>Adicionar 2-3 ml de solución buffer pH 10.</p> <p>Agregar 1ml de solución de cianuro de potasio.</p> <p>Añadir 3 gotas de eriocromo negro T.</p> <p>Titular con EDTA (sal di sódica) 0,01N</p> <p>Vire de purpura a azul.</p> | $\text{CaCO}_3 = \frac{V_1 * M * 10^5}{V_2}$ <p>Dónde:</p> <p>CaCO₃ = concentración de Carbonato de Calcio en ppm ($\frac{\text{mg}}{\text{L}}$)</p> <p>V1 = volumen consumido de EDTA (ml)</p> <p>M = molaridad exacta del EDTA</p> <p>V₂ = volumen de la muestra (ml).</p> |

Fuente: ESTÁNDAR METHODS 2340

2.4.Datos experimentales

TABLA 2.5-1

Datos experimentales del diámetro y longitud de las tuberías del banco de pruebas

| Diámetro (ϕ) | Longitud (m) Líneas individuales | Alturas estáticas |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 0,0254 | 4,23 | Z1 (m) |
| | Longitud (m) Líneas en serie | 0,07 |
| 0,0254 | 5,805 | Z2 (m) |
| | Longitud (m) Líneas en paralelo | 0,15 |
| 0,0254 | 8,46 | |

Fuente: CAJO S., LÓPEZ L. 2012

TABLA 2.5-2

Datos experimentales del banco de pruebas de bombas centrifugas de la bomba pedrollo

| BOMBA 1: PEDROLLO | | | |
|-------------------|-----|---------|------|
| CAUDAL | | PRESION | |
| L/min | GPM | m.c.a | inca |
| 0,0 | 0 | 44,831 | 1765 |
| 18,9 | 5 | 27,2542 | 1073 |
| 22,7 | 6 | 22,86 | 900 |
| 26,5 | 7 | 19,812 | 780 |
| 30,3 | 8 | 15,5956 | 614 |
| 34,1 | 9 | 11,7602 | 463 |
| 37,9 | 10 | 7,874 | 310 |
| 41,6 | 11 | 4,445 | 175 |
| 45,4 | 12 | 0,7874 | 31 |
| MAX | 12 | 0,7366 | 29 |

Fuente: CAJO S., LÓPEZ L. 2012.

TABLA 2.5-3

Datos experimentales del banco de pruebas de bombas centrifugas de la bomba meyers

| BOMBA 1: MEYERS | | | |
|------------------------|------|----------------|------|
| CAUDAL | | PRESIÓN | |
| L/min | GPM | m.c.a | inca |
| 0,0 | 0 | 46,4566 | 1829 |
| 18,9 | 5 | 29,845 | 1175 |
| 22,7 | 6 | 26,162 | 1030 |
| 26,5 | 7 | 22,1234 | 871 |
| 30,3 | 8 | 18,161 | 715 |
| 34,1 | 9 | 14,351 | 565 |
| 37,9 | 10 | 10,8204 | 426 |
| 41,6 | 11 | 8,255 | 325 |
| 45,4 | 12 | 4,318 | 170 |
| MAX | 12,5 | 0,762 | 30 |

Fuente: CAJO S., LÓPEZ L. 2012

TABLA 2.5-4

Datos experimentales del banco de pruebas de bombas centrifugas de la bomba barrow

| BOMBA 1: BARROW | | | |
|------------------------|------|----------------|------|
| CAUDAL | | PRESIÓN | |
| L/min | GPM | m.c.a | inca |
| 0,0 | 0 | 29,972 | 1180 |
| 18,9 | 5 | 15,748 | 620 |
| 22,7 | 6 | 12,7 | 500 |
| 26,5 | 7 | 9,906 | 390 |
| 30,3 | 8 | 6,35 | 250 |
| 34,1 | 9 | 3,3528 | 132 |
| 37,9 | 10 | 0,762 | 30 |
| MAX | 10,1 | 0,6096 | 24 |

Fuente: CAJO S., LÓPEZ L. 2012

TABLA 2.5-5

Datos experimentales del banco de pruebas de bombas centrifugas de la bomba paolo

| BOMBA 1: PAOLO | | | |
|-----------------------|------|----------------|------|
| CAUDAL | | PRESIÓN | |
| L/min | GPM | m.c.a | inca |
| 0,0 | 0 | 41,91 | 1650 |
| 18,9 | 5 | 26,797 | 1055 |
| 22,7 | 6 | 22,225 | 875 |
| 26,5 | 7 | 18,0594 | 711 |
| 30,3 | 8 | 13,6906 | 539 |
| 34,1 | 9 | 9,3218 | 367 |
| 37,9 | 10 | 4,5466 | 179 |
| 41,6 | 11 | 4,5466 | 179 |
| MAX | 10,5 | 0,635 | 25 |

Fuente: CAJO S., LÓPEZ L. 2012

TABLA 2.5-6**DATOS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA EN SERIE DEL BANCO DE PRUEBAS**

| BOMBA 1-2: PEDROLLO-MEYERS | | | |
|-----------------------------------|------|----------------|------|
| CAUDAL | | PRESIÓN | |
| L/min | GPM | m.c.a | inca |
| 0,0 | 0 | 88,9 | 3500 |
| 18,9 | 5 | 55,118 | 2170 |
| 22,7 | 6 | 48,514 | 1910 |
| 26,5 | 7 | 41,275 | 1625 |
| 30,3 | 8 | 33,909 | 1335 |
| 34,1 | 9 | 25,908 | 1020 |
| 37,9 | 10 | 19,177 | 755 |
| 41,6 | 11 | 12,192 | 480 |
| 45,4 | 12 | 6,477 | 255 |
| BOMBA 3-4: BARROW-PAOLO | | | |
| CAUDAL | | PRESION | |
| L/min | GPM | m.c.a | inca |
| 0,0 | 0 | 67,31 | 2650 |
| 18,9 | 5 | 41,656 | 1640 |
| 22,7 | 6 | 35,052 | 1380 |
| 26,5 | 7 | 27,305 | 1075 |
| 30,3 | 8 | 20,066 | 790 |
| 34,1 | 9 | 12,2428 | 482 |
| 37,9 | 10 | 5,1308 | 202 |
| MAX | 10,5 | 0,6604 | 26 |

Fuente: CAJO S., LÓPEZ L.

TABLA 2.5-7

**DATOS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA EN PARALELO DE LAS BOMBAS
PEDROLLO-MEYERS DEL BANCO DE PRUEBAS**

| BOMBA 1-2: PEDROLLO-MEYERS | | | |
|-----------------------------------|-----|----------------|------|
| CAUDAL | | PRESIÓN | |
| L/min | GPM | m.c.a | inca |
| 0,0 | 0 | 42,672 | 1680 |
| 18,9 | 5 | 34,798 | 1370 |
| 26,5 | 7 | 31,496 | 1240 |
| 34,1 | 9 | 26,416 | 1040 |
| 41,6 | 11 | 23,622 | 930 |
| 49,2 | 13 | 20,574 | 810 |
| 56,8 | 15 | 16,256 | 640 |
| 64,4 | 17 | 13,335 | 525 |
| 71,9 | 19 | 10,414 | 410 |
| | 21 | 6,858 | 270 |
| MAX | 23 | 1,6256 | 64 |

Fuente: CAJO S., LÓPEZ L. 2012

TABLA 2.5-8**DATOS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA EN PARALELO DE LAS BOMBAS
PEDROLLO-MEYERS-BARROW-PAOLO DEL BANCO DE PRUEBAS**

| BOMBA 1-2-3: PEDROLLO-MEYERS-BARROW | | | |
|----------------------------------------------------|-----|----------------|------|
| CAUDAL | | PRESIÓN | |
| L/min | GPM | m.c.a | inca |
| 0,0 | 0 | 32,385 | 1275 |
| 18,9 | 5 | 27,94 | 1100 |
| 30,3 | 8 | 26,924 | 1060 |
| 41,6 | 11 | 24,511 | 965 |
| 53,0 | 14 | 21,59 | 850 |
| 64,4 | 17 | 18,415 | 725 |
| 75,7 | 20 | 14,986 | 590 |
| 87,1 | 23 | 11,43 | 450 |
| 98,4 | 26 | 8,382 | 330 |
| BOMBA 1-2-3-4: PEDROLLO-MEYERS BARROW-PAOLO | | | |
| CAUDAL | | PRESION | |
| L/min | GPM | m.c.a | inca |
| 0,0 | 0 | 30,607 | 1205 |
| 18,9 | 5 | 29,972 | 1180 |
| 34,1 | 9 | 27,178 | 1070 |
| 49,2 | 13 | 26,543 | 1045 |
| 64,4 | 17 | 23,749 | 935 |
| 79,5 | 21 | 20,574 | 810 |
| 94,6 | 25 | 17,272 | 680 |
| 106,0 | 28 | 10,668 | 420 |

Para obtener el dato de la constante de pérdidas por accesorios k (ver anexo II)

2.6.Datos adicionales

TABLA 2.6-1

Propiedades físicas del agua a 1at

| Propiedad | Parámetro |
|------------------------------------|-----------------------|
| Densidad (kg/m^3) | 998,2 |
| Viscosidad (kg/m.s) | $1.009 \cdot 10^{-3}$ |
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | 16 |

Fuente: Texto básico de Mecánica de Fluidos.2007

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

3.1.Generalidades

Para el diseño del banco de pruebas de bombas centrífugas se debetener en cuenta el conseguir la máxima y mejor eficiencia de las bombas, ya sea individualmente o acopladas en serie o paralelo. El cálculo principal en el diseño del banco es la carga de altura total del sistema (H) para poder reemplazar la misma en la ecuación de eficiencia de la bomba. Para calcular todos estos datos se comenzó con los parámetros conocidos: las condiciones a las que operará el sistema de bombeo (P y Q), posteriormente también se evaluó las condiciones de succión y descarga del fluido y finalmente se realizó una comparación entre las curvas de operación de la bomba expuesta por el fabricante y las curvas obtenidas experimentalmente del banco de pruebas.

3.2.Cálculos

3.2.1. Puntos de referencia para la primera línea

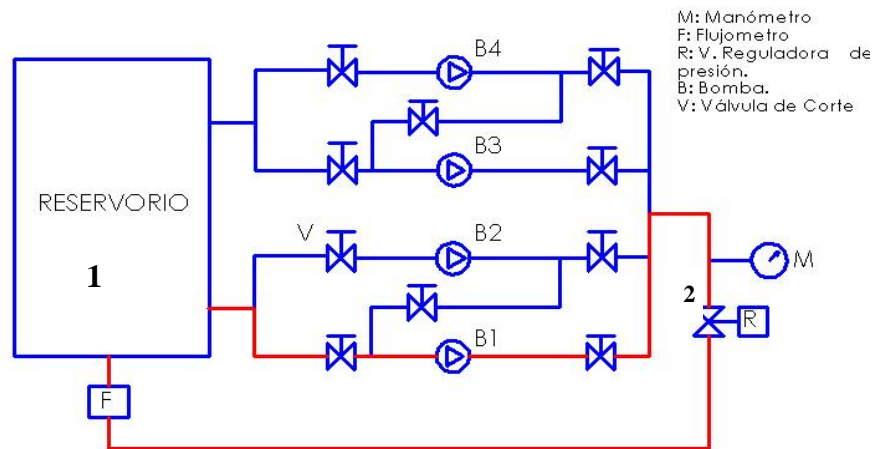


Fig. 3.2.1-1 Diagrama de flujo de la primera línea

3.2.2. Ecuación que rige el fenómeno

De la Ecuación 1.3.1-1 se tiene:

$$V_1 = 0$$

$$\frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \sum hf = \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \pm H$$

Ecuación de Bernoulli

3.2.2.1.Cálculo de la velocidad

De la Ecuación 1.3.2-1 se tiene:

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

$$v = \frac{4(0,000315)}{3,1416(0,0275)^2}$$

$$v = \mathbf{0,528\ m/s}$$

3.2.2.2.Cálculo del caudal y la presión

En este caso no se realizará el cálculo del caudal y presión porque se tomará una lectura directa de los instrumentos de medición que se encuentran instalados en el banco de pruebas de bombas centrífugas, es decir para caudal se leerá el rotámetro y para la presión el manómetro digital.

3.2.2.3.Cálculo de las pérdidas longitudinales.

Para realizar este cálculo primero se debe encontrar el factor de fricción Fanning utilizando el diagrama de Moody. Como se indica en la tabla del anexo II

Para leer el diagrama de Moody se debe calcular el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa del material.

3.2.2.4. Cálculo de la rugosidad relativa

Primero se debe encontrar el factor de fricción fanning en el diagrama de Moody, para ello se necesita la rugosidad relativa y el número de Reynolds.

También se puede encontrar directamente el factor de fricción de la siguiente manera:

De la Ecuación 1.3.5-1 se tiene:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1}{3,7 \cdot \frac{0,0275}{0,0000015}} + \frac{5,74}{0,9} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,01928$$

De la Ecuación 1.3.5-2 se tiene:

$$RR = \frac{E}{\phi}$$

$$RR = \frac{0,0000015}{0,0275}$$

$$RR = 0,000059\text{m}$$

3.2.2.4.1. Cálculo del número de Reynolds

De la Ecuación 1.3.5-3 se tiene:

$$NRe = \frac{v\phi\rho}{\mu}$$

$$NRe = \frac{0,6227 * 0,02758 * 998,2}{1,009 * 10^{-3}}$$

$$NRe = 14409,3$$

De la Ecuación 1.3.5.-3 se tiene:

$$hfL = f \frac{L v^2}{\phi 2g}$$

$$hfL = 0,02 \frac{4,23}{0,0275} \frac{0,528^2}{2 * 9,8}$$

$$hfL = 0,042 \text{ m}$$

3.2.2.5. Cálculo de las pérdidas por accesorios

De la Ecuación 1.3.6-1 se tiene:

$$hfm = k \frac{v^2}{2g}$$

$$hfm = 8,95 \frac{0,528^2}{2 * 9,8}$$

$$hfm = 0,13 \text{ m}$$

3.2.2.6.Cálculo total de las pérdidas

De la Ecuación 1.3.6-2 se tiene:

$$hf = hfL + hfm$$

$$hf = 0,0659 + 0,56587$$

$$hf = 0,17 \text{ m}$$

3.2.2.7.Cálculo de la carga total del sistema

De la Ecuación 1.3.7-1 se tiene:

$$V_1 = V_2$$
$$0 \quad 0$$
$$\left(\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1) + hf = \pm H$$

La presión está expresada en metros que se ha demostrado en la ec. 1.3.4-1 por tanto, ahora se puede calcular la carga total de la bomba de la siguiente manera:

$$H = 22 + 0,085 + 0,17$$

$$H = 22,25 \text{ m}$$

3.2.2.8.Cálculo de la potencia hidráulica

De la Ecuación 1.3.8-1 se tiene:

$$PH = \rho gQH$$

$$PH = 998,2 * 9,8 * 0,00038 * 22,25$$

$$**PH = 68,66 Watts**$$

3.2.2.9. Cálculo de la potencia eléctrica

De la Ecuación 1.3.9-1 se tiene:

$$Pe = V * I \cos\varphi / \sqrt{3}$$

$$Pe = 125 * 4,8 * \frac{0,95}{\sqrt{3}}$$

$$**Pe = 370,7 Watts**$$

3.2.2.10. Cálculo de la eficiencia de la bomba del banco de pruebas de bombas centrifugas

De la Ecuación 1.3.11-1 se tiene:

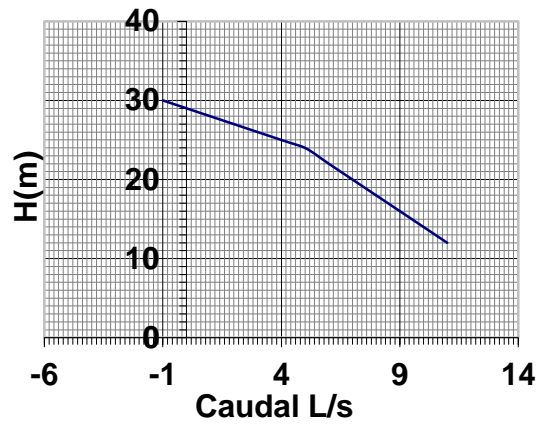
$$n = \frac{Ph}{Pe} * 100$$

$$n = \frac{68,66}{370,7} * 100$$

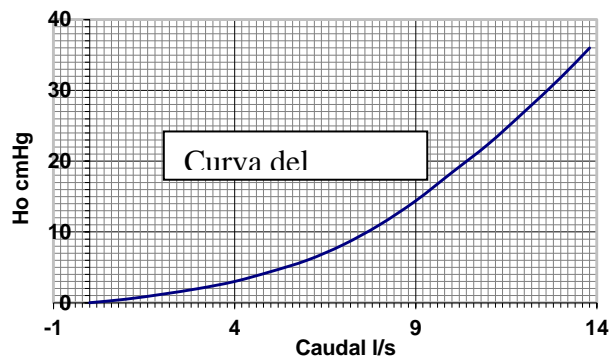
$$**n = 20,84%**$$

3.2.2.10. Curvas del sistema

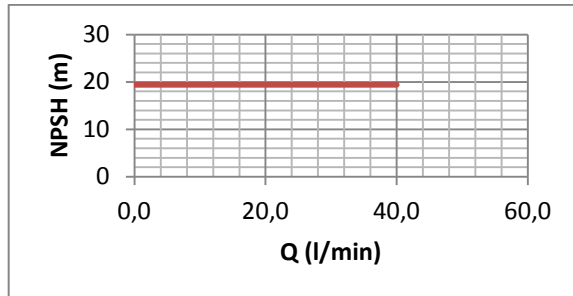
➤ CURVA DE LA BOMBA



➤ CURVA DEL SISTEMA



➤ **CURVA DEL NPSH**



De la Ecuación 1.3.14 se tiene:

$$NPSH = 7,1 + 11,9 - 0,24 - 0,19$$

$$NPSH = 18,66 \text{ m}$$

3.3 RESULTADOS

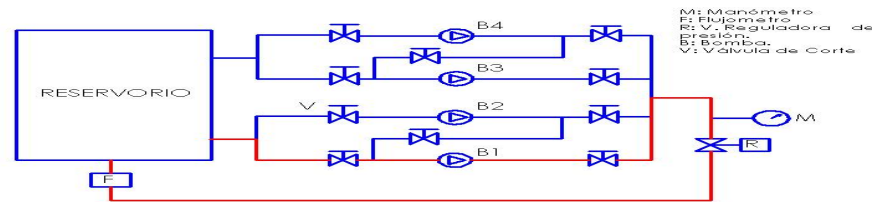


Fig. 3.3-1 Diagrama de flujo de recorrido la bomba 1

TABLA 3.3-1

Resultados de la bomba individual PEDROLLO.

| | CAUDAL | | PRESION | | V | Nre | R | F | L | Hfl | Hfm | Hf | ΔH | H | HP | corr | PE | e | npsh | DTOS. | FABRIC. |
|-----------|-------------------|-------|---------|-------|---------|----------|---------|-----------|------|----------|---------|---------|------------|---------|---------|------|-------|--------|------|-------|---------|
| | m ³ /s | L/min | GPM | m.c.a | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,0 | 0 | 38 | 1765 | 0 | 0 | 5,9E-05 | 0,0192901 | 4,23 | 0 | 0 | 0 | 0,085 | 38,09 | 0 | 5,4 | 370,7 | 0 | 18,6 | 0 | 40 |
| 0,0003154 | 18,9 | 5 | 22 | 1073 | 0,52811 | 14409,32 | 5,9E-05 | 0,0192811 | 4,23 | 0,04208 | 0,12522 | 0,1673 | 0,085 | 22,2523 | 68,6599 | 4,8 | 329,5 | 20,839 | 18,6 | 5 | 38 |
| 0,0003785 | 22,7 | 6 | 20 | 900 | 0,63374 | 17291,19 | 5,9E-05 | 0,0192814 | 4,23 | 0,060596 | 0,18032 | 0,24092 | 0,085 | 20,3259 | 75,2592 | 4,8 | 329,5 | 22,842 | 18,6 | 10 | 33,5 |
| 0,0004416 | 26,5 | 7 | 16 | 780 | 0,73936 | 20173,05 | 5,9E-05 | 0,0192825 | 4,23 | 0,082483 | 0,24544 | 0,32792 | 0,085 | 16,4129 | 70,8993 | 4,8 | 329,5 | 21,519 | 18,6 | 15 | 28 |
| 0,0005047 | 30,3 | 8 | 13 | 614 | 0,84498 | 23054,91 | 5,9E-05 | 0,0192834 | 4,23 | 0,107738 | 0,32057 | 0,42831 | 0,085 | 13,5133 | 66,7129 | 4,8 | 329,5 | 20,248 | 18,6 | 20 | 22 |
| 0,0005678 | 34,1 | 9 | 9 | 463 | 0,95061 | 25936,78 | 5,9E-05 | 0,019284 | 4,23 | 0,136361 | 0,40572 | 0,54208 | 0,085 | 9,62708 | 53,4682 | 4,9 | 336,3 | 15,897 | 18,6 | 25 | 15 |
| 0,0006308 | 37,9 | 10 | 4 | 310 | 1,05623 | 28818,64 | 5,9E-05 | 0,0192846 | 4,23 | 0,168352 | 0,50089 | 0,66924 | 0,085 | 4,75424 | 29,3386 | 4,9 | 336,3 | 8,7228 | 18,6 | 30 | 10 |
| 0,0006561 | 39,4 | 10,4 | 0 | 175 | 1,09848 | 29971,39 | 5,9E-05 | 0,019285 | 4,23 | 0,182093 | 0,54176 | 0,72386 | 0,085 | 0,80886 | 5,19115 | 5,0 | 343,2 | 1,5125 | 18,6 | 35 | 5 |

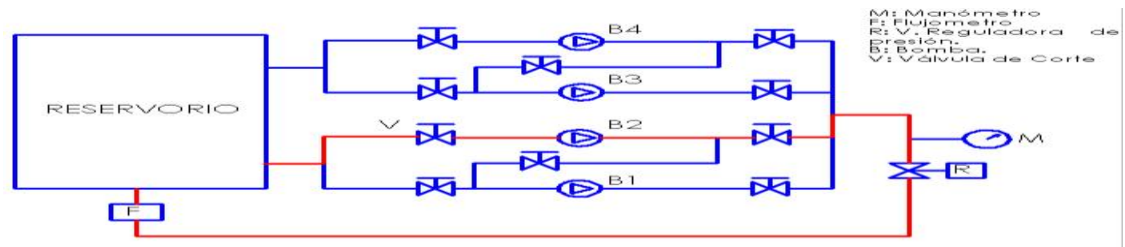


Fig. 3.3-2 Diagrama de flujo de recorrido de la bomba 2

TABLA 3.3-2.

Resultados de la bomba individual MEYERS

| | CAUDAL | | PRESION | | VELOCIDAD | Nre | R | F | L | Hfl | Hfm | Hf | ΔH | H | HP | corr | PE | e | npsH | DATOS | FABRI. |
|-------------------|---------|------|---------|------|-------------|------------|----------|------------|------|------------|------------|------------|-------|------------|------------|------|-------|-------------|------|-------|----------|
| m ³ /s | Lit/min | GPM | m.c.a | inca | m/s | | m | | m | m | m | m | m | m | Watts | Amp. | Watts | % | m | H (m) | Q(l/min) |
| 0 | 0,0 | 0 | 39 | 1829 | 0 | 0 | 0,000059 | 0,01929012 | 4,23 | 0 | 0 | | 0,085 | 39,085 | 0 | 6,1 | 418,7 | 0 | 19,4 | 0 | 40 |
| 0,000315417 | 18,9 | 5 | 25 | 1175 | 0,528114971 | 14409,3213 | 0,000059 | 0,01928113 | 4,23 | 0,04208036 | 0,12522284 | 0,16730321 | 0,085 | 25,2523032 | 77,916471 | 4,3 | 295,2 | 26,39813853 | 19,4 | 5 | 38 |
| 0,0003785 | 22,7 | 6 | 22 | 1030 | 0,633737966 | 17291,1855 | 0,000059 | 0,01928136 | 4,23 | 0,06059645 | 0,18032089 | 0,24091734 | 0,085 | 22,3259173 | 82,6644608 | 3,8 | 260,8 | 31,69185978 | 19,4 | 10 | 34 |
| 0,000441583 | 26,5 | 7 | 18 | 871 | 0,73936096 | 20173,0498 | 0,000059 | 0,01928249 | 4,23 | 0,08248333 | 0,24543677 | 0,3279201 | 0,085 | 18,4129201 | 79,5387906 | 3,5 | 240,2 | 33,10727405 | 19,4 | 15 | 30 |
| 0,000504667 | 30,3 | 8 | 14 | 715 | 0,844983954 | 23054,914 | 0,000059 | 0,01928335 | 4,23 | 0,10773813 | 0,32057048 | 0,42830861 | 0,085 | 14,5133086 | 71,6497521 | 3,3 | 226,5 | 31,63102292 | 19,4 | 20 | 25 |
| 0,00056775 | 34,1 | 9 | 10 | 565 | 0,950606949 | 25936,7783 | 0,000059 | 0,01928403 | 4,23 | 0,13636088 | 0,40572201 | 0,54208289 | 0,085 | 10,6270829 | 59,0221265 | 3,0 | 205,9 | 28,66197299 | 19,4 | 25 | 18 |
| 0,000611908 | 36,7 | 9,7 | 6 | 426 | 1,024543045 | 27954,0833 | 0,000059 | 0,01928458 | 4,23 | 0,15840199 | 0,47128869 | 0,62969068 | 0,085 | 6,71469068 | 40,193518 | 2,8 | 192,2 | 20,91271765 | 19,4 | 30 | 12 |
| 0,000630833 | 37,9 | 10 | 5 | 325 | 1,056229943 | 28818,6425 | 0,000059 | 0,01928504 | 4,23 | 0,16835559 | 0,50089137 | 0,66924696 | 0,085 | 5,75424696 | 35,509681 | 2,7 | 185,3 | 19,15999944 | 19,4 | 35 | 5 |
| 0,000687608 | 40,0 | 10,9 | 0 | 170 | 1,151290638 | 31412,3204 | 0,000059 | 0,01928542 | 4,23 | 0,20002721 | 0,59510904 | 0,79513625 | 0,085 | 0,88013625 | 5,92017687 | 2,4 | 164,7 | 3,593651221 | 19,4 | 40 | 0 |

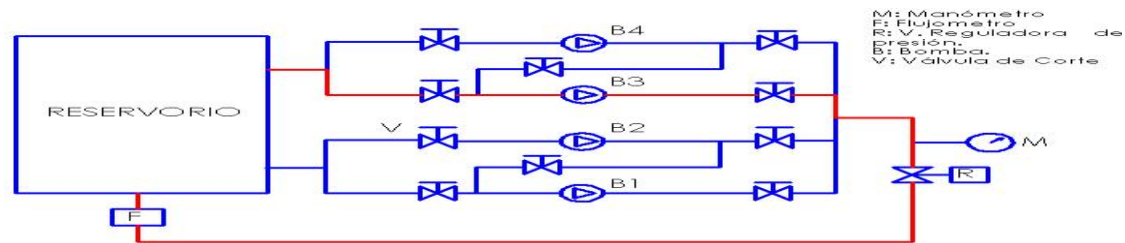


Fig. 3.3-3 Diagrama de flujo del recorrido de la bomba 3

TABLA 3.3-3

Resultados de la bomba individual BARROW

| | CAUDAL | | PRESION | | VELOCIDA | Nre | R | F | L | Hfl | Hfm | Hf | ΔH | H | HP | CORR. | PE | e | npsh | DATOS | FABRI. |
|----------|---------|---------|---------|-------|----------|----------|----------|-----------|------|-------|------|-------|------------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| | m^3/s | Lit/min | GPM | m.c.a | inca | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,0 | 0 | 30 | 1180 | 0 | 0 | 0,000059 | 0,0192901 | 4,23 | 0 | 0 | 0 | 0,085 | 30,09 | 0 | 4,2 | 288,3 | 0 | 18,6 | 0 | 38 |
| 0,000315 | 18,9 | 5 | 15,7 | 620 | 0,5281 | 14409,32 | 0,000059 | 0,0192811 | 4,23 | 0,042 | 0,13 | 0,167 | 0,085 | 16 | 49,369 | 3,3 | 199,3 | 24,77 | 18,6 | 5 | 34 |
| 0,000379 | 22,7 | 6 | 12,7 | 500 | 0,6337 | 17291,19 | 0,000059 | 0,0192814 | 4,23 | 0,061 | 0,18 | 0,241 | 0,085 | 13,03 | 48,23 | 3,3 | 199,3 | 24,2 | 18,6 | 10 | 31 |
| 0,000442 | 26,5 | 7 | 9,91 | 390 | 0,7394 | 20173,05 | 0,000059 | 0,0192825 | 4,23 | 0,082 | 0,25 | 0,328 | 0,085 | 10,32 | 44,575 | 3,3 | 199,3 | 22,36 | 18,6 | 15 | 26 |
| 0,000505 | 30,3 | 8 | 6,35 | 250 | 0,845 | 23054,91 | 0,000059 | 0,0192834 | 4,23 | 0,108 | 0,32 | 0,428 | 0,085 | 6,863 | 33,883 | 3,3 | 199,3 | 17 | 18,6 | 20 | 20 |
| 0,000568 | 34,1 | 9 | 3,35 | 132 | 0,9506 | 25936,78 | 0,000059 | 0,019284 | 4,23 | 0,136 | 0,41 | 0,542 | 0,085 | 3,98 | 22,104 | 3,2 | 193,3 | 11,44 | 18,6 | 24 | 16 |
| 0,000631 | 37,9 | 10 | 0,76 | 30 | 1,0562 | 28818,64 | 0,000059 | 0,0192846 | 4,23 | 0,168 | 0,5 | 0,669 | 0,085 | 1,516 | 9,3568 | 3,2 | 193,3 | 4,841 | 18,6 | 31 | 6 |
| 0,000637 | 38 | 10 | 0 | 24 | 1,0668 | 29106,83 | 0,000059 | 0,019285 | 4,23 | 0,172 | 0,51 | 0,683 | 0,085 | 0,768 | 4,7849 | 3,2 | 193,3 | 2,475 | 18,6 | 38 | 0 |

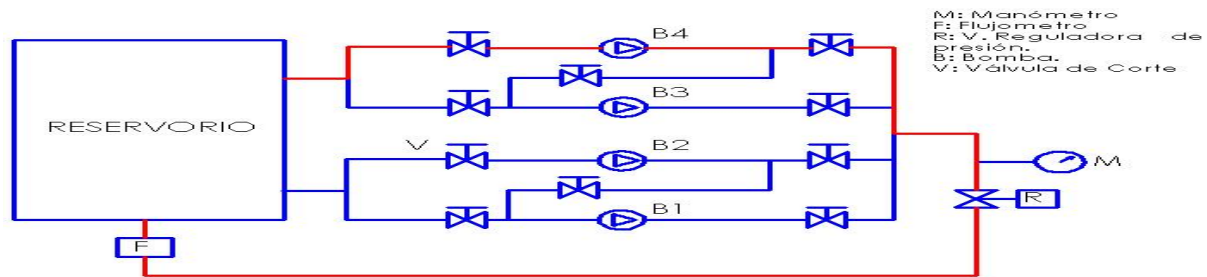


Fig. 3.3-4 Diagrama de flujo de recorrido de la bomba 4

TABLA 3.3-4

resultados de la bomba individual paolo.

| | CAUDAL | | PRESION | | VELOCIDA | Nre | R | F | L | Hfl | Hfm | Hf | ΔH | H | HP | CORR. | PE | e | npsh | DATOS | FABRIC. |
|----------|-------------------|---------|---------|-------|----------|----------|----------|-----------|------|-------|------|-------|------------|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|---------|
| | m ³ /s | Lit/min | GPM | m.c.a | inca | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,0 | 0 | 36 | 1650 | 0 | 0 | 0,000059 | 0,0192901 | 4,23 | 0 | 0 | 0 | 0,085 | 36,09 | 0 | 5,2 | 356,9 | 0 | 19,4 | 0 | 40 |
| 0,000315 | 18,9 | 5 | 18 | 1055 | 0,5281 | 13268,3 | 0,000059 | 0,0192811 | 4,23 | 0,042 | 0,13 | 0,167 | 0,085 | 18,25 | 56,318 | 3,5 | 240,2 | 23,44 | 19,4 | 5 | 37 |
| 0,000379 | 22,7 | 6 | 14 | 875 | 0,6337 | 15921,96 | 0,000059 | 0,0192814 | 4,23 | 0,061 | 0,18 | 0,241 | 0,085 | 14,33 | 53,043 | 3,2 | 219,7 | 24,15 | 19,4 | 10 | 34 |
| 0,000442 | 26,5 | 7 | 12 | 711 | 0,7394 | 18575,62 | 0,000059 | 0,0192825 | 4,23 | 0,082 | 0,25 | 0,328 | 0,085 | 12,41 | 53,62 | 3,0 | 205,9 | 26,04 | 19,4 | 15 | 29 |
| 0,000505 | 30,3 | 8 | 8 | 539 | 0,845 | 21229,28 | 0,000059 | 0,0192834 | 4,23 | 0,108 | 0,32 | 0,428 | 0,085 | 8,513 | 42,029 | 2,8 | 192,2 | 21,87 | 19,4 | 20 | 24 |
| 0,000568 | 34,1 | 9 | 6 | 367 | 0,9506 | 23882,94 | 0,000059 | 0,019284 | 4,23 | 0,136 | 0,41 | 0,542 | 0,085 | 6,627 | 36,806 | 2,7 | 185,3 | 19,86 | 19,4 | 25 | 19 |
| 0,000618 | 37,1 | 9,8 | 2 | 179 | 1,0351 | 26005,87 | 0,000059 | 0,0192846 | 4,23 | 0,162 | 0,48 | 0,643 | 0,085 | 2,728 | 16,496 | 2,6 | 178,5 | 9,243 | 19,4 | 30 | 14 |
| 0,000656 | 39,4 | 10 | 0 | 179 | 1,0985 | 27598,06 | 0,000059 | 0,019285 | 4,23 | 0,182 | 0,54 | 0,724 | 0,085 | 0,809 | 5,1912 | 2,4 | 164,7 | 3,151 | 19,4 | 35 | 8 |

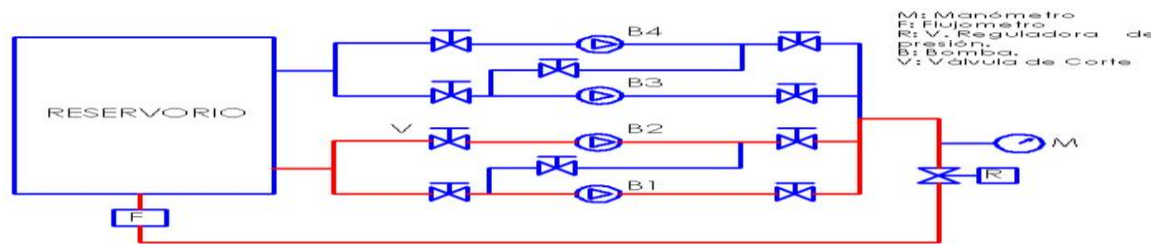


Fig. 3.3-5 Diagrama de flujo de las bombas 1y2 del sistema en serie

TABLA 3.3-5

Resultados para el sistema en serie de las bombas PEDROLLO - MEYERS

| m ³ /s | CAUDAL | | PRESION | | V m/s | Nre | R m | F | L | Hfl m | Hfm m | Hf m | ΔH m | H m | HP Watts | CORR. Amp. | PE Watts | e % | npsh m |
|-------------------|---------|------|---------|------|------------|------------|----------|------------|-----|------------|------------|------------|---------|------------|-------------|---------------|-------------|------------|-----------|
| | Lit/min | GPM | m.c.a | inca | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,0 | 0 | 79 | 3500 | 0 | 0 | 0,000059 | 0,01929012 | 5,8 | 0 | 0 | 0 | 0,085 | 79,085 | 0 | 11,9 | 816,8 | 0 | 29,14 |
| 0,000315417 | 18,9 | 5 | 45 | 2170 | 0,52811497 | 14409,3213 | 0,000059 | 0,01928113 | 5,8 | 0,05780364 | 0,12522284 | 0,18302648 | 0,085 | 45,2680265 | 139,675373 | 8,8 | 604,0 | 23,1232914 | 29,14 |
| 0,0003785 | 22,7 | 6 | 40 | 1910 | 0,63373797 | 17291,1855 | 0,000059 | 0,01928136 | 5,8 | 0,08323823 | 0,18032089 | 0,26355912 | 0,085 | 40,3485591 | 149,395514 | 8,3 | 569,7 | 26,2223704 | 29,14 |
| 0,000441583 | 26,5 | 7 | 32 | 1625 | 0,73936096 | 20173,0498 | 0,000059 | 0,01928249 | 5,8 | 0,11330312 | 0,24543677 | 0,35873989 | 0,085 | 32,4437399 | 140,148104 | 7,8 | 535,4 | 26,17611 | 29,14 |
| 0,000504667 | 30,3 | 8 | 24 | 1335 | 0,84498395 | 23054,914 | 0,000059 | 0,01928335 | 5,8 | 0,14799434 | 0,32057048 | 0,46856482 | 0,085 | 24,5535648 | 121,2168 | 7,5 | 514,8 | 23,5458318 | 29,14 |
| 0,00056775 | 34,1 | 9 | 16 | 1020 | 0,95060695 | 25936,7783 | 0,000059 | 0,01928403 | 5,8 | 0,18731195 | 0,40572201 | 0,59303396 | 0,085 | 16,678034 | 92,6287147 | 7,2 | 494,2 | 18,7424183 | 29,14 |
| 0,000630833 | 37,9 | 10 | 8 | 755 | 1,05622994 | 28818,6425 | 0,000059 | 0,01928458 | 5,8 | 0,23125591 | 0,50089137 | 0,73214728 | 0,085 | 8,81714728 | 54,4109577 | 7,0 | 480,5 | 11,3240249 | 29,14 |
| 0,000693917 | 41,6 | 11 | 2 | 480 | 1,16185294 | 31700,5068 | 0,000059 | 0,01928504 | 5,8 | 0,27982633 | 0,60607856 | 0,88590489 | 0,085 | 2,97090489 | 20,1669262 | 6,9 | 473,6 | 4,25797495 | 29,14 |
| 0,000788542 | MAX | 12,5 | 0,762 | 30 | 1,32028743 | 36023,3032 | 0,000059 | 0,01928542 | 5,8 | 0,3613531 | 0,78264277 | 1,14399587 | 0,085 | 1,99099587 | 15,3581409 | 6,7 | 459,9 | 3,33946064 | 29,14 |

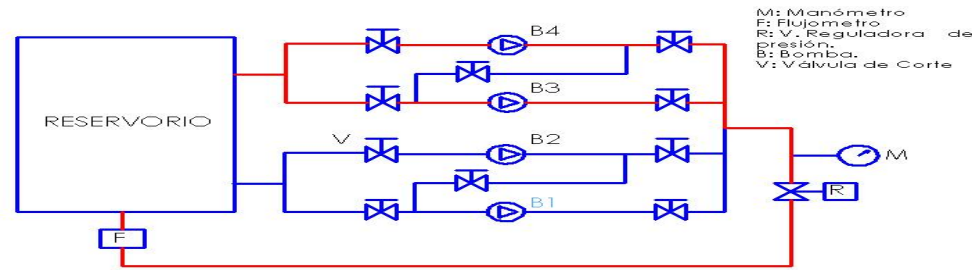


Fig. 3.3-6 Diagrama de flujo de las bombas 3y4 del sistema en serie

TABLA 3.3.-6

Resultados del sistema en serie de las bombas BARROW-PAOLO

| m ³ /s | CAUDAL | | PRESION | | V | Nre | R | F | L | Hfl | Hfm | Hf | ΔH | H | HP | CORR. | PE | e | npsh |
|-------------------|---------|------|---------|------|------------|------------|----------|------------|-----|------------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|-------|------------|-------|
| | Lit/min | GPM | m.c.a | inca | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,0 | 0 | 67,31 | 2650 | 0 | 0 | 0,000059 | 0,01929012 | 5,8 | 0 | 0 | 0 | 0,085 | 67,395 | 0 | 10,3 | 707,0 | 0 | 39,44 |
| 0,000315417 | 18,9 | 5 | 46 | 1640 | 0,52811497 | 14409,3213 | 0,000059 | 0,01928113 | 5,8 | 0,05780364 | 0,12522284 | 0,18302648 | 0,085 | 46,2680265 | 142,760893 | 7,1 | 487,4 | 29,2929689 | 39,44 |
| 0,0003785 | 22,7 | 6 | 35,05 | 1380 | 0,63373797 | 17291,1855 | 0,000059 | 0,01928136 | 5,8 | 0,08323823 | 0,18032089 | 0,26355912 | 0,085 | 35,4005591 | 131,074934 | 6,6 | 453,0 | 28,9326488 | 39,44 |
| 0,000441583 | 26,5 | 7 | 27,31 | 1075 | 0,73936096 | 20173,0498 | 0,000059 | 0,01928249 | 5,8 | 0,11330312 | 0,24543677 | 0,35873989 | 0,085 | 27,7487399 | 119,866985 | 6,3 | 432,4 | 27,7186143 | 39,44 |
| 0,000504667 | 30,3 | 8 | 20,07 | 790 | 0,84498395 | 23054,914 | 0,000059 | 0,01928335 | 5,8 | 0,14799434 | 0,32057048 | 0,46856482 | 0,085 | 20,6195648 | 101,795307 | 6,0 | 411,8 | 24,7166149 | 39,44 |
| 0,00056775 | 34,1 | 9 | 12,24 | 482 | 0,95060695 | 25936,7783 | 0,000059 | 0,01928403 | 5,8 | 0,18731195 | 0,40572201 | 0,59303396 | 0,085 | 12,920834 | 71,7614705 | 5,9 | 405,0 | 17,7195139 | 39,44 |
| 0,000630833 | 37,9 | 10 | 5,131 | 202 | 1,05622994 | 28818,6425 | 0,000059 | 0,01928458 | 5,8 | 0,23125591 | 0,50089137 | 0,73214728 | 0,085 | 5,94794728 | 36,7050133 | 5,8 | 398,1 | 9,21955324 | 39,44 |
| 0,000662375 | MAX | 10,5 | 0,01 | 26 | 1,10904144 | 30259,5747 | 0,000059 | 0,01928542 | 5,8 | 0,25497075 | 0,55223274 | 0,80720349 | 0,085 | 0,90220349 | 5,84590933 | 5,8 | 398,1 | 1,4683736 | 39,44 |

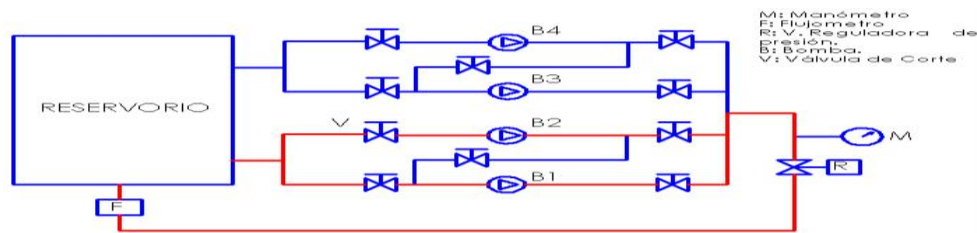


Fig. 3.3-7 Diagrama de flujo de las bombas 1 y 2 del sistema en paralelo

TABLA 3.3.-7

Resultados de las bombas PEDROLLO – MEYERS en paralelo

| m ³ /s | CAUDAL | | PRESION | | V | Nre | R | F | L | Hfl | Hfm | Hf | ΔH | H | HP | CORR. | PE | e | npsh |
|-------------------|---------|-----|---------|------|------------|------------|----------|------------|-----|------------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|-------|------------|-------|
| | Lit/min | GPM | m.c.a | inca | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,0 | 0 | 42,672 | 1680 | 0 | 0 | 0,000059 | 0,01929012 | 8,4 | 0 | 0 | 0 | 0,085 | 42,757 | 0 | 12,0 | 823,7 | 0 | 30,14 |
| 0,00031542 | 18,9 | 5 | 34,798 | 1370 | 0,52811497 | 14409,3213 | 0,000059 | 0,01928113 | 8,4 | 0,08371561 | 0,12522284 | 0,20893845 | 0,085 | 35,0919385 | 108,276856 | 10,1 | 693,3 | 15,6180478 | 30,14 |
| 0,00044158 | 26,5 | 7 | 31,496 | 1240 | 0,73936096 | 20173,0498 | 0,000059 | 0,01928136 | 8,4 | 0,16408455 | 0,24543677 | 0,40952132 | 0,085 | 31,9905213 | 138,190323 | 9,3 | 638,4 | 21,6474711 | 30,14 |
| 0,00056775 | 34,1 | 9 | 26,416 | 1040 | 0,95060695 | 25936,7783 | 0,000059 | 0,01928249 | 8,4 | 0,27125771 | 0,40572201 | 0,67697972 | 0,085 | 27,1779797 | 150,94473 | 8,1 | 556,0 | 27,1484738 | 30,14 |
| 0,00069392 | 41,6 | 11 | 23,622 | 930 | 1,16185294 | 31700,5068 | 0,000059 | 0,01928335 | 8,4 | 0,4052302 | 0,60607856 | 1,01130876 | 0,085 | 24,7183088 | 167,791406 | 7,6 | 521,7 | 32,1638927 | 30,14 |
| 0,00082008 | 49,2 | 13 | 20,574 | 810 | 1,37309893 | 37464,2353 | 0,000059 | 0,01928403 | 8,4 | 0,56600264 | 0,84650642 | 1,41250906 | 0,085 | 22,0715091 | 177,065379 | 7,2 | 494,2 | 35,8272639 | 30,14 |
| 0,00094625 | 56,8 | 15 | 16,256 | 640 | 1,58434491 | 43227,9638 | 0,000059 | 0,01928458 | 8,4 | 0,7535753 | 1,12700559 | 1,88058089 | 0,085 | 18,2215809 | 168,669123 | 7 | 480,5 | 35,1034686 | 30,14 |
| 0,00107242 | 64,4 | 17 | 13,335 | 525 | 1,7955909 | 48991,6923 | 0,000059 | 0,01928504 | 8,4 | 0,9679487 | 1,44757606 | 2,41552476 | 0,085 | 15,8355248 | 166,126783 | 6,8 | 466,8 | 35,5912489 | 30,14 |
| 0,00119858 | 71,9 | 19 | 8 | 410 | 2,00683689 | 54755,4208 | 0,000059 | 0,01928542 | 8,4 | 1,20912237 | 1,80821785 | 3,01734022 | 0,085 | 11,1023402 | 130,174647 | 6,5 | 446,2 | 29,1759856 | 30,14 |
| 0,00132475 | 79,5 | 21 | 2 | 270 | 2,21808288 | 60519,1493 | 0,000059 | 0,01928582 | 8,4 | 1,47710256 | 2,20893095 | 3,68603351 | 0,085 | 5,77103351 | 74,7878702 | 6,6 | 453,0 | 16,5081997 | 30,14 |
| 0,00145092 | MAX | 23 | 0 | 64 | 2,42932887 | 66282,8778 | 0,000059 | 0,01928642 | 8,4 | 1,77190831 | 2,64971536 | 4,42162367 | 0,085 | 4,50662367 | 63,9642636 | 6 | 411,8 | 15,5309721 | 30,14 |

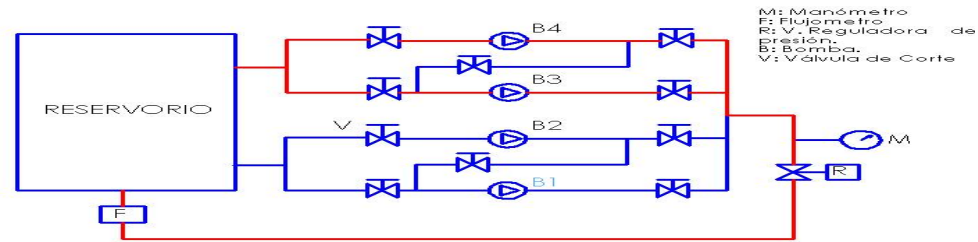


Fig. 3.3-8 Diagrama de flujo de las bombas 1,2 y 3 del sistema en paralelo

TABLA 3.3.-8

Resultados de las bombas PEDROLLO – MEYERS – BARROW en paralelo

| | CAUDAL | | PRESION | | V | Nre | R | F | L | Hfl | Hfm | Hf | ΔH | H | HP | CORR. | PE | e | npsh |
|------------|-------------------|---------|---------|-------|------------|------------|----------|------------|-------|------------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|-------|------------|-------|
| | m ³ /s | Lit/min | GPM | m.c.a | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,0 | 0 | 38,9 | 1275 | 0 | 0 | 0,000059 | 0,01929012 | 12,69 | 0 | 0 | 0 | 0,085 | 38,985 | 0 | 13,6 | 933,5 | 0 | 42,04 |
| 0,00031542 | 18,9 | 5 | 30,25 | 1100 | 0,52811497 | 14409,3213 | 0,000059 | 0,01928113 | 12,69 | 0,12647037 | 0,12522284 | 0,25169321 | 0,085 | 30,5866932 | 94,3758348 | 13,5 | 926,7 | 10,1844955 | 42,04 |
| 0,00050467 | 30,3 | 8 | 26,924 | 1060 | 0,84498395 | 23054,914 | 0,000059 | 0,01928136 | 12,69 | 0,323768 | 0,32057048 | 0,64433848 | 0,085 | 27,6533385 | 136,519859 | 13,4 | 919,8 | 14,842379 | 42,04 |
| 0,00069392 | 41,6 | 11 | 24,511 | 965 | 1,16185294 | 31700,5068 | 0,000059 | 0,01928249 | 12,69 | 0,61215975 | 0,60607856 | 1,21823832 | 0,085 | 25,8142383 | 175,230732 | 12,3 | 844,3 | 20,7547568 | 42,04 |
| 0,00088317 | 53,0 | 14 | 21,59 | 850 | 1,47872192 | 40346,0996 | 0,000059 | 0,01928335 | 12,69 | 0,99164184 | 0,98174709 | 1,97338893 | 0,085 | 23,6483889 | 204,309175 | 11,4 | 782,5 | 26,1093165 | 42,04 |
| 0,00107242 | 64,4 | 17 | 18,415 | 725 | 1,7955909 | 48991,6923 | 0,000059 | 0,01928403 | 12,69 | 1,46221734 | 1,44757606 | 2,90979341 | 0,085 | 21,4097934 | 224,605131 | 10,7 | 734,5 | 30,5807674 | 42,04 |
| 0,00126167 | 75,7 | 20 | 14,986 | 590 | 2,11245989 | 57637,2851 | 0,000059 | 0,01928458 | 12,69 | 2,02388795 | 2,00356549 | 4,02745344 | 0,085 | 19,0984534 | 235,714593 | 9,7 | 665,8 | 35,401953 | 42,04 |
| 0,00145092 | 87,1 | 23 | 11,43 | 450 | 2,42932887 | 66282,8778 | 0,000059 | 0,01928504 | 12,69 | 2,67665566 | 2,64971536 | 5,32637102 | 0,085 | 16,841371 | 239,036133 | 9,4 | 645,2 | 37,0465854 | 42,04 |
| 0,00164017 | 98,4 | 26 | 8,382 | 330 | 2,74619785 | 74928,4706 | 0,000059 | 0,01928542 | 12,69 | 3,42051963 | 3,38602567 | 6,8065453 | 0,085 | 15,2735453 | 245,059464 | 9,2 | 631,5 | 38,805755 | 42,04 |

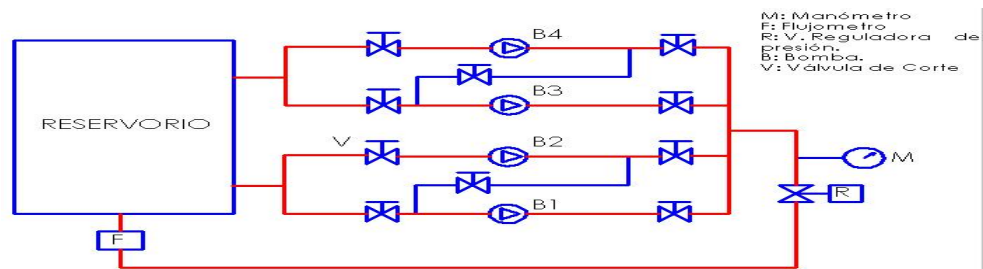


Fig. 3.3-9 Diagrama de flujo de las bombas 1, 2,3 y 4 del sistema en paralelo

TABLA 3.3.-9

Resultados del sistema en paralelo de las bombas PEDROLLO – MEYERS – BARROW - PAOLO

| m ³ /s | CAUDAL | | PRESION | | V | Nre | R | F | L | Hfl | Hfm | Hf | ΔH | H | HP | CORR. | PE | e | npsh |
|-------------------|---------|-----|---------|------|------------|------------|----------|------------|------|------------|------------|------------|-------|------------|------------|-------|--------|------------|-------|
| | Lit/min | GPM | m.c.a | inca | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0,0 | 0 | 35 | 1205 | 0 | 0 | 0,000059 | 0,01929012 | 16,9 | 0 | 0 | 0 | 0,085 | 35,085 | 0 | 18,7 | 1283,6 | 0 | 51,64 |
| 0,00031542 | 18,9 | 5 | 28 | 1180 | 0,52811497 | 14409,3213 | 0,000059 | 0,01928113 | 16,9 | 0,16842783 | 0,12522284 | 0,29365068 | 0,085 | 28,3786507 | 87,5628767 | 18,2 | 1249,3 | 7,00908163 | 51,64 |
| 0,00056775 | 34,1 | 9 | 22 | 1070 | 0,95060695 | 25936,7783 | 0,000059 | 0,01928136 | 16,9 | 0,54571269 | 0,40572201 | 0,9514347 | 0,085 | 23,0364347 | 127,942858 | 18 | 1235,5 | 10,3551413 | 51,64 |
| 0,00082008 | 49,2 | 13 | 16 | 1045 | 1,37309893 | 37464,2353 | 0,000059 | 0,01928249 | 16,9 | 1,13865247 | 0,84650642 | 1,98515889 | 0,085 | 18,0701589 | 144,965146 | 17,3 | 1187,5 | 12,2075913 | 51,64 |
| 0,00107242 | 64,4 | 17 | 12 | 935 | 1,7955909 | 48991,6923 | 0,000059 | 0,01928335 | 16,9 | 1,94724994 | 1,44757606 | 3,394826 | 0,085 | 15,479826 | 162,395231 | 15,8 | 1084,5 | 14,9736842 | 51,64 |
| 0,00132475 | 79,5 | 21 | 9 | 810 | 2,21808288 | 60519,1493 | 0,000059 | 0,01928403 | 16,9 | 2,97151386 | 2,20893095 | 5,18044481 | 0,085 | 14,2654448 | 184,868487 | 14,7 | 1009,0 | 18,3213739 | 51,64 |
| 0,00157708 | 94,6 | 25 | 6 | 680 | 2,64057486 | 72046,6064 | 0,000059 | 0,01928458 | 16,9 | 4,21144927 | 3,13057107 | 7,34202035 | 0,085 | 13,4270203 | 207,146658 | 13,6 | 933,5 | 22,1897039 | 51,64 |
| 0,0018925 | 113,6 | 30 | 4 | 420 | 3,16868983 | 86455,9276 | 0,000059 | 0,01928504 | 16,9 | 6,06463161 | 4,50802235 | 10,572654 | 0,085 | 14,657654 | 271,358852 | 12,6 | 864,9 | 31,3751589 | 51,64 |

3.4.Construcción del Banco de Pruebas.

La construcción del banco de pruebas se realizó con los mejores materiales y condiciones de manufactura, que se describen a continuación:

La instalación es simple, se requiere: fuego gases o combustibles, evitando posibilidades de siniestro en la obra. Esta clase de tubería resiste todo tipo de agresiones accidentales y la dilatación es nula, porque es de 0.16mm/m a 100C de temperatura, es altamente resistente, y muy estética

- **Construcción e instalación de tubería y accesorios**

Para la instalación de la tubería y accesorios se procede de la siguiente manera:

El banco de pruebas es construido con tubería de acero inoxidable cuya, para este caso se utilizó el acero marca hidrinox y su exclusivo sistema patentado de unión de apriete HHC (High Hydraulic Compression) que ejerce una presión de 700Kg/cm², garantizando la forma más segura y rápida de instalación. El sistema HHC logra mediante el uso de una bomba hidráulica manual de simple manejo, un sellado definitivo en no más de 10 segundos, sin riesgo de pérdidas.

Los accesorios hidrinox utilizados son: unión doble, tubo macho, codo normal 90 te normal, te reducción con rosca central; esta instalación será de una válvula de compuerta y de 6 válvulas de bola que están acopladas al sistema mediante 3 tubos machos respectivamente.

Se usan válvulas de bola, para poder modificar el recorrido del fluido y obtener los diferentes sistemas: sean estos en serie, paralelo o individual como se muestra en el esquema de banco de pruebas. (ver anexo. VII). El uso de la válvula de compuerta debido a sus características de estrangulación permite variar el caudal; por tanto se varía también la presión, obteniéndose así la curva total del sistema.

- **Instalación de las bombas**

Las bombas utilizadas para esta investigación son las de turbina regenerativa, conocidas como bombas centrífugas domiciliarias, su principio fue explicado anteriormente y sus especificaciones de funcionamiento son:

Deben instalarse en lugares secos y ventilados a una temperatura inferior a 40C; éstas se acoplan al sistema por medio de uniones dobles, tanto en la succión como en la descarga, las uniones dobles se emplean para poder retirar fácilmente las mencionadas bombas. Las bombas están fijadas con cuatro pernos a una mesa o bastidor de acero inoxidable de soporte del equipo, y están acopladas a motores monofásicos, por lo que sus conexiones se enchufan a una botonera ON-OFF en las que entran los cables desde la fuente de 110V.

- **Instalación de rotámetro**

Este banco utiliza un rotámetro que prevé lecturas directas e instantáneas de la medición del caudal de líquido en sistemas de tuberías cerradas. Puede ser instalado desde una posición vertical como horizontal o en cualquier posición sin sacrificar el rendimiento

de la medición. La medición se muestra en GLP (galones por minuto) y el flujo metroestá instalado mediante uniones. Este es un dispositivo fácil de unir y hay que considerar las siguientes especificaciones:

Precisión = $\pm 0.5\%$

Rango de temperatura = 0-121C

Máxima presión = para líquidos 325psi

- **Instalación de manómetro digital**

Se colocó un manómetro digital de alta sensibilidad, el resultado obtenido, es la presión de descarga exacta, este instrumento se lo puede utilizar en los diferentes casos; tanto en: serie, paralelo, o individual. El manómetro se halla acoplado a la tubería por medio de un bushing. El manómetro utilizado es, Series DPGA & DPGW digital pressure gages.

3.5.Propuesta del diseño

3.5.1. Criterios de dimensionamiento del banco de pruebas de bombas centrífugas

En este punto se indica la manera cómo se determinó las dimensiones del equipo.

3.5.1.1.Dimensionamiento y selección de tuberías y accesorios

El banco de pruebas es construido con tubería de acero inoxidable cuya marca es Hidrinox y su exclusivo sistema patentado de unión por apriete HHC (High Hydraulic Compression), garantiza la forma más segura y rápida de instalación. Sin roscas, soldaduras, ni material de aporte.

- El diámetro de la tubería seleccionado es de 1” porque las bombas centrífugas de 0.5 hp tienen un diámetro de 1” en la entrada y salida de la bomba y sobre todo por la facilidad de acoples al unir la tubería con la bomba, para evitar el uso innecesario de accesorios y disminuir el costo de la instalación.
- Los accesorios Hidrinox utilizados son: unión doble, tubo macho normal, codo normal 90°, curva normal con rosca macho y hembra, te normal, te reducción con rosca central hembra, llave de paso esférica dos cuerpos, bushing reducción además la instalación consta de una válvula de compuerta y seis válvulas de bola.

El uso de las válvulas de bola son para poder modificar el recorrido del fluido para obtener los diferentes sistemas ya sean: paralelo, serie o individual como se muestra en el esquema del banco de pruebas. El uso de la válvula de

compuertaes debido a sus características de estrangulación que permite modificar la curva de carga del sistema y por tanto se puede modificar la presión y el caudal.

3.5.1.2.Instalación y selección de bombas

- En el desarrollo de esta tesis, se han utilizado cuatro bombas del tipo turbina regenerativa cuyo principio de funcionamiento fue explicado anteriormente, y deberán instalarse en un lugar seco y bien ventilado con una temperatura inferior a 40°C; se acopla al sistema por medio de uniones dobles tanto en la succión como en la descarga, y se emplean para poder retirar las mencionadas bombas, una vez que los cuatro pernos hayan sido retirados de sus bases, estos pernos fijan la bomba en el tablero de acero inoxidable.
- También se seleccionaron bombas centrífugas de 0,5 hp, porque son las más usadas a nivel domiciliario y es un modelo estandarizado para este tipo de instalaciones.
- Se han escogido bombas de diferentes marcas, con el objetivo de realizar una comparación de eficiencia entre las bombas con características diferentes, pues las bombas seleccionadas son las de mayor uso en domicilios; sin embargo esta comparación servirá como guía para determinar qué bomba es lamás óptima en cuanto a eficiencia y a ahorro de energía.

3.6.Propuesta del dimensionamiento del banco de pruebas

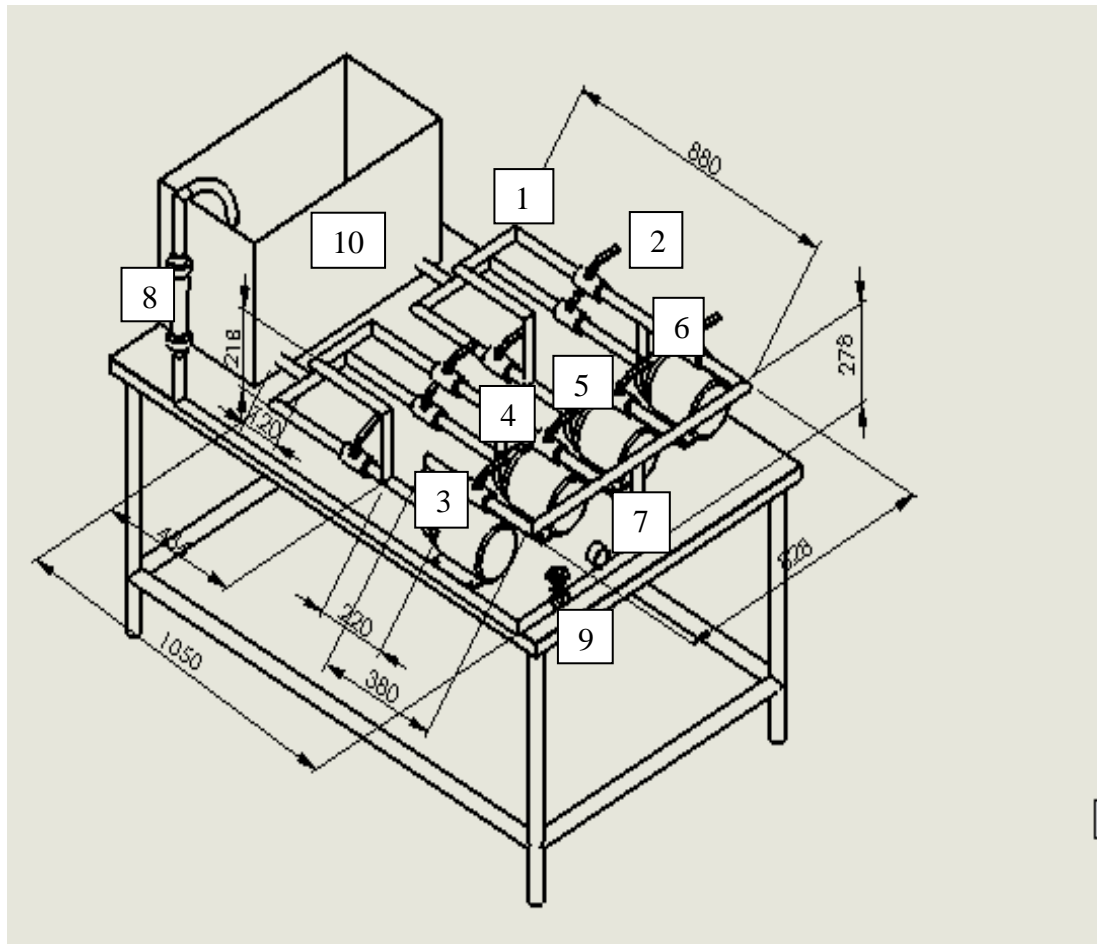
CUADRO 3.6-1

Dimensionamiento del banco de pruebas

| DESCRIPCIÓN | VARIABLE | INDICADOR |
|---------------------------------------------------------|----------------|-----------|
| TUBO HIDRINOX DEL BANCO DE PRUEBAS | | |
| Diámetro | 0,0254 | m |
| Longitud | 10,2 | m |
| Material | Acero HIDRINOX | --- |
| TUBO HIDRINOX | | |
| Diámetro | 1/2" X 2 | mm |
| Longitud | 5 | m |
| Material | Acero HIDRINOX | ----- |
| TUBO MACHO NORMAL | | |
| Diámetro | 0,0254 | m |
| Longitud | 3 | m |
| Material | Acero HIDRINOX | ----- |
| ACCESORIOS DEL BANCO DE PRUEBAS | | |
| Llave de paso de 2 cuerpos esférica | | |
| Diámetro | 0,0254 | m |
| Material | Acero HIDRINOX | ---- |
| Te normal hidrinox | | |
| Diámetro | 0,0254 | m |
| Material | Acero HIDRINOX | ---- |
| Te reducción con rosca central hembra | | |
| Diámetro | 0,0254 | m |
| Material | Acero HIDRINOX | --- |
| Te cédula 40-304 | | |
| Diámetro | 0,0254 | m |
| Material | Acero HIDRINOX | ---- |
| Union doble | | |
| Diámetro | 0,0254 | m |
| Material | Acero HIDRINOX | ---- |
| Unión cedula 40 1" 304 | | |
| Diámetro | 0,0254 | m |
| Material | Acero Hidrinox | ---- |
| Válvula reguladora | | |
| Diametro | 0,0254 | m |
| Material | Acero Hodrinox | ----- |
| BOMBAS DEL BANCO | | |
| Bomba centrifuga Pedrollo, Meyers, Barrow, Paolo | | |
| Diametro | 0,0254 | m |
| Motor monofasico | 110 | v |
| Potencia | 0,5 | Hp |
| Material | ---- | --- |

Fuente:CAJO S., LÓPEZL. 2012

3.6.1. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRIFUGAS



1. TUBERIAS HIDRINOX

2. VÁLVULA CHECK

3. BOMBA 1

4. BOMBA 2

MARIPOSA

5. BOMBA 3

6. BOMBA 5

7. MANÓMETRO DIGITAL

8. FLUJOMETRO

9. VÁLVULA DE

10. TANQUE RESERVORIO

3.7. Análisis de costos

3.4.1. Costos de inversión

Los costos de inversión hacen referencia a todos los materiales, equipos adquiridos para la construcción del Banco de Pruebas, en la siguiente tabla se detalla cada uno.

TABLA. 3.7.1-1

Costos de inversión.

| Denominación | Cantidad | Valor unitario (\$) | Subtotal (\$) |
|-------------------------------------------------|----------|---------------------|------------------|
| Plancha de acero inoxidable HIDRINOX de 2mm | 1 | 1 | 210 |
| Tubo HIDRINOX 1" | 5 | 24,27 | 119,10 |
| Unión doble | 12 | 11,30 | 135,6 |
| Unión sst 1" vcal-316 | 1 | 4,20 | 4,20 |
| Válvulas de bola | 10 | 10,63 | 166,32 |
| Válvulas de globo | 1 | 26,6 | 26,6 |
| Llave para desfogar el agua | 1 | 8,00 | 8,00 |
| Te reducción con rosca central hembra | 4 | 5,14 | 20,56 |
| Bushingsst | 1 | 1,78 | 1,78 |
| Tubo de acero inox | 1 | 40,20 | 40,20 |
| Te normal hidrinox | 9 | 4,54 | 40,86 |
| Regatones regulables | 120 | 1,63 | 73,20 |
| Ruedas y Garruchas | 4 | 13,80 | 55,2 |
| Codos | 13 | 2,43 | 31,59 |
| Bomba PEDROLLO (0,5 hp) | 1 | 78,00 | 78,00 |
| Bomba MEYERS (0,5 hp) | 1 | 280 | 280 |
| Bomba PAOLO (0.5 hp) | 1 | 45 | 45 |
| Bomba BARROW (0,5hp) | 1 | 25 | 24 |
| Rotámetro (32 G/min) | 1 | 200 | 200 |
| Manómetro Digital | 1 | 260 | 260 |
| Caja de acero inoxidable más material eléctrico | 1 | 1 | 30 |
| Transporte de todo el material | - | - | 40 |
| Transporte de Manómetro (Miami-Ecuador) | 1 | 1 | 170,57 |
| Salida de Divisas | 1 | 1 | 2,68 |
| TOTAL | | | 1,963.4\$ |

Fuente: CAJO S., LÓPEZ L. 2012.

3.7.2. Costos de operación

Para estimar los costos de operación es importante conocer las condiciones de operación del equipo.

TABLA. 3.7.2-1

COSTOS DE OPERACIÓN.

| Denominación | Costo |
|--------------------------|----------------|
| Construcción del Banco | 550 |
| Construcción del soporte | 450 |
| Mantenimiento | 50 |
| TOTAL | 1,050\$ |

Fuente:CAJO S., LÓPEZ L. 2012.

3.7.3. Costo Total.

Es la suma de los dos costos

TABLA. 3.7.3-1

Costo total

| Ítem | Costo |
|--------------------|----------------|
| Costo de inversión | 1963,4 |
| Costo de operación | 1050 |
| SUBTOTAL | 3314,74 |
| Imprevisto (10%) | 301,34 |
| TOTAL | 3314,74 |

Fuente:CAJO S., LÓPEZ L. 2012.

3.7.4. Depreciación del equipo

El costo total de la construcción del banco de pruebas asciende a \$3,013.4 dólares; tomando en cuenta que su vida útil es de 10 años.

En la Ley del Impuesto sobre la Renta, se establecen los siguientes porcentajes de depreciación:

TABLA. 3.7.4-1

Porcentajes de depreciación

| PORCENTAJE | INSUMOS |
|------------|--------------------------------|
| 10 | Maquinaria y Equipos |
| 5 | Construcciones |
| 25 | Vehículos y Transporte |
| 30 | Equipo de cómputo electrónico |
| 10 | Mobiliario y Equipo de oficina |

Fuente:CAJO S., LÓPEZ L. 2012.

✓ 3.013,4 DEL EQUIPO A DEPRECIAR

✓ 10% PORCENTAJE DE DEPRECIACIÓN

$$3.013,4 * 10\% = 301,34$$

✓ 12 MESES A DEPRECIAR

$$301,34/12 = 25,11$$

✓ 120 MESES COMO LÍMITE MÁXIMO

$$301,34/120 = 2,51 \text{ CADA MES}$$

3.8. Análisis y discusión de resultados

3.8.1. Análisis de resultados del funcionamiento de operación de las bombas individuales PEDROLO, MEYERS, BARROW, PAOLO

Datos obtenidos de las tablas 3.3-1; 3.3-2; 3.3-3; 3.3-4; 3.3-5; 3.-6; 3.3-7; 3.3-8; 3.3-9.

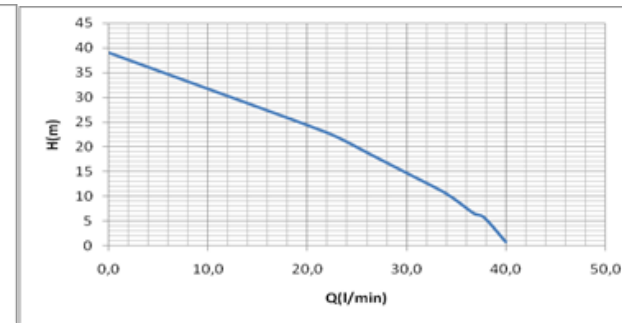
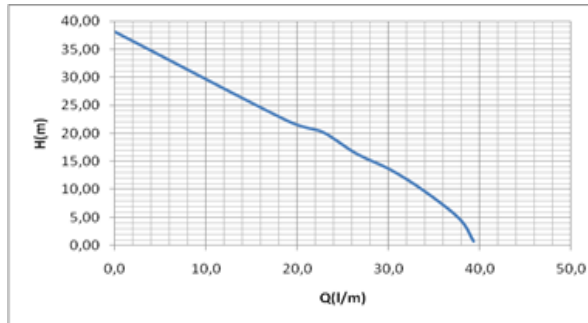
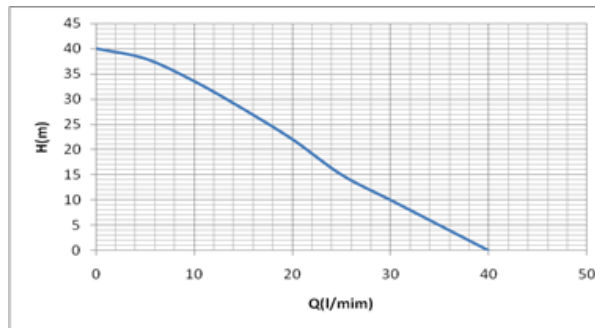
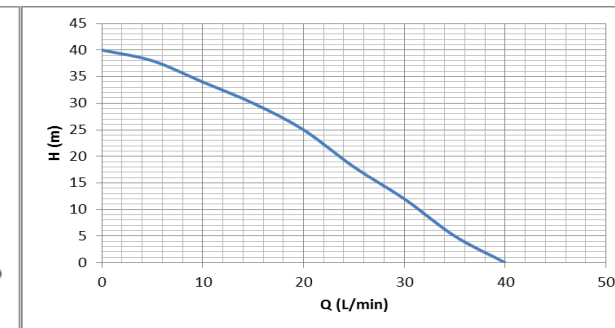


Fig. 3.8.1-1 Curva H (m) vs Q (l/min) de la bomba pedrollo

Fig. 3.8.1-2 Curva H (m) vs Q (l/min) de la bomba meyers



Curva del fabricante de la bomba Pedrollo



Curva del fabricante de la bomba Meyers

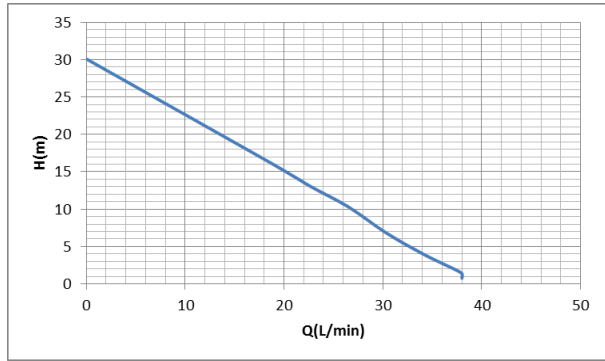


Fig. 3.8.1-3 Curva H (m) vs Q (l/min) de la bomba barrow

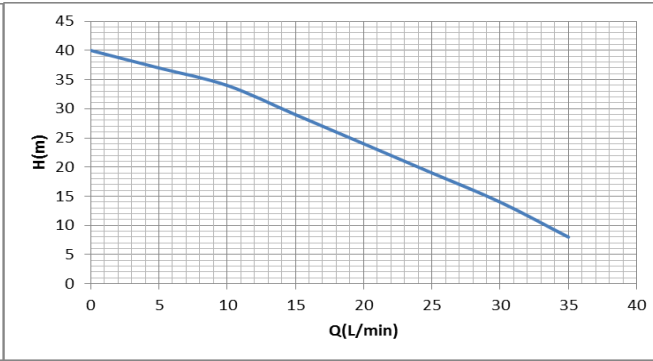
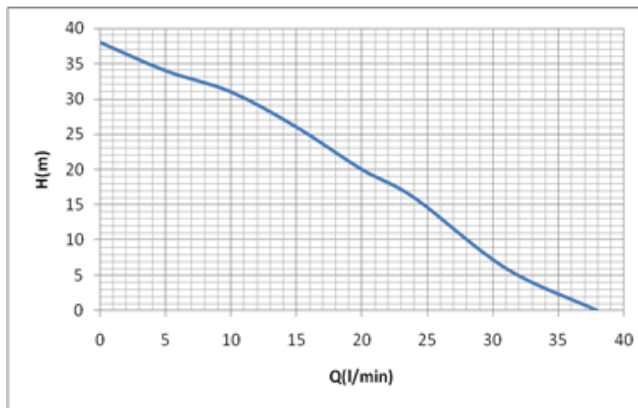
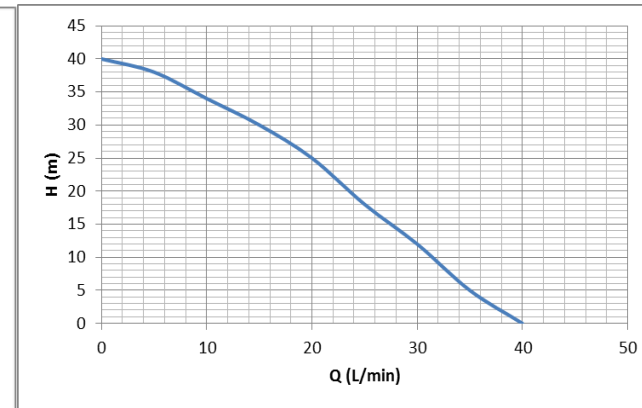


Fig. 3.8.1-2 Curva H (m) vs Q (l/min) de la bomba meyers



Curva del fabricante de la bomba Barrow



Curva del fabricante de la bomba Paolo

ANÁLISIS: Se puede observar que las bombas Pedrollo y Meyers tienen una presión mayor en comparación con las otras dos restantes; al iniciar la prueba, es decir, con caudal cero (llave cerrada) se evidenció que el diseño de los impellers (impulsores) tienen mejores características tanto geométricas como de acabado superficial, por otro lado, el motor tiene superiores características físicas como por ejemplo la forma de los impulsores, lo cual, permite un mejor suministro de potencia, esto en cuanto a la teoría, en la práctica se obtiene como resultado que las bombas ya mencionadas alcanzan una altura de carga de 39m a un caudal máximo de 40 L/min, lo que significa que al comparar con la curva del fabricante, dichas bombas se encuentran dentro del rango de operación debido a que no existe muchas pérdidas por rugosidad de la tubería y como se tiene tramos cortos de longitud, estas pérdidas también son mínimas. Las bombas Barrow y Paolo se encuentran dentro del rango de operación de acuerdo a la curva del fabricante, pero existe una pequeña disminución de altura de carga en comparación con las otras bombas debido a la calidad de fabricación de las mismas.

3.8.2. Análisis de resultados del funcionamiento de operación de las bombas en serie

Datos obtenidos de la tabla 3.3-1; 3.3-2; 3.3-3; 3.3-4; 3.3-5; 3.-6; 3.3-7; 3.3-8; 3.3-9

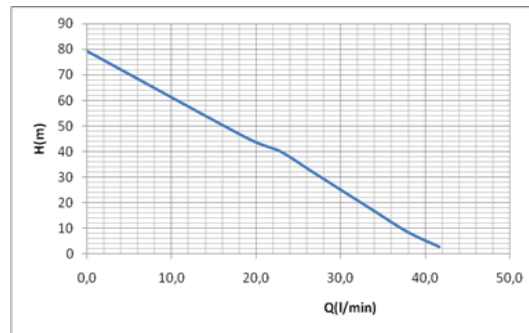


Fig. 3.8.2-1 Curva H (m) vs Q (l/min) de las bombas pedrollo-meyers

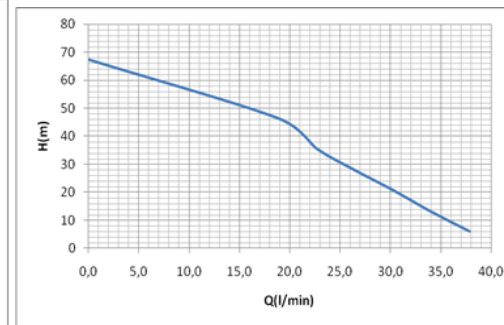


Fig. 3.8.2-2 Curva H (m) vs Q (l/min) de las bombas barrow-paolo

ANÁLISIS: En las pruebas experimentales se verificó que, al colocar bombas en serie, se confirma la teoría que dice: “Al acoplar las bombas en serie las alturas totales de carga de las bombas individuales se suman y el caudal se mantiene constante”, por lo tanto en la práctica se obtiene que al operar con las bombas Pedrollo y Meyers se alcanza una altura de carga de 80 m a un caudal de 40 L/min, debido a que las alturas de carga se suman, quedando demostrado que al aumentar la potencia de bombeo (en este caso se trabaja con una potencia de 1HP) también aumenta la capacidad de transporte en cuanto a la altura de carga.

3.8.3. Análisis de resultados del funcionamiento de operación de las bombas en paralelo

Datos obtenidos de las Tablas: 3.3-1; 3.3-2; 3.3-3; 3.3-4; 3.3-5; 3.3-6; 3.3-7; 3.3-8; 3.3-9

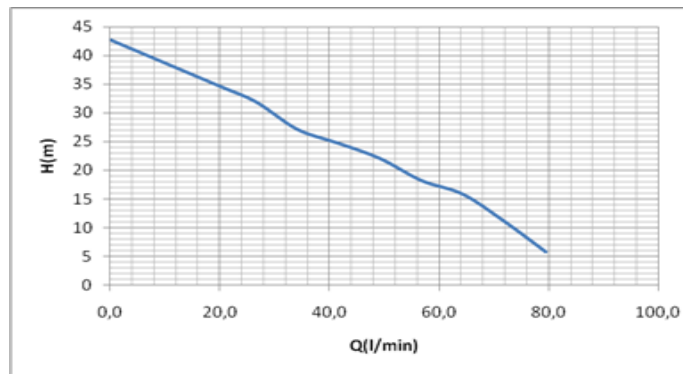


Fig. 3.8.3-1 Curva H (m) vs Q (l/min) de las bombas Pedrollo-Meyers

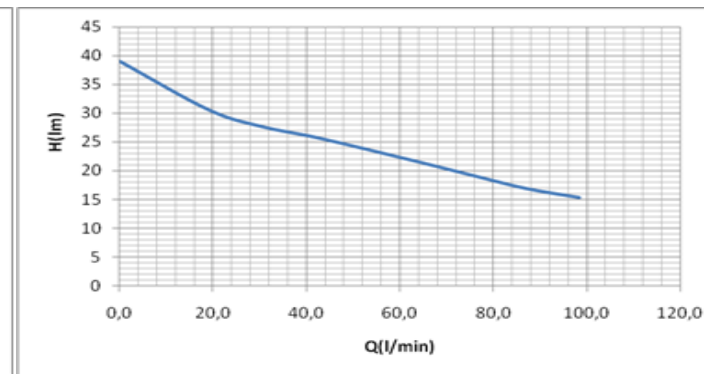


Fig. 3.8.3-2 Curva H (m) vs Q (l/min) de las bombas Pedrollo-Meyers-Barrow

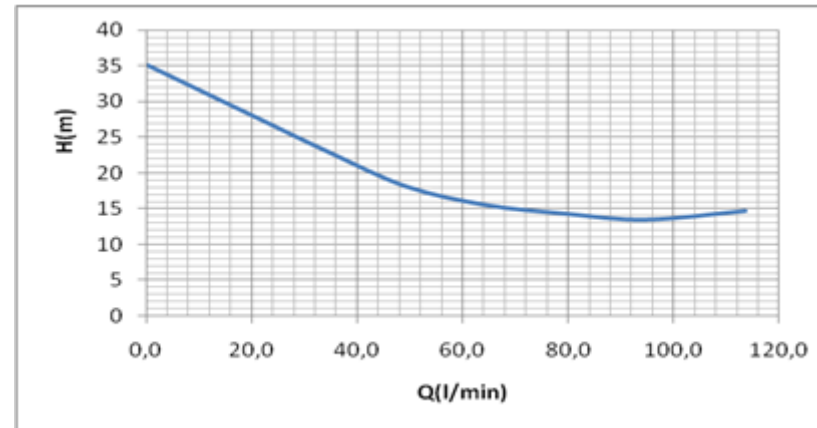


Fig. 3.8.3-3 Curva H (m) vs Q (l/min) de las bombas Pedrollo-Meyers-Barrow-Paolo

ANÁLISIS: Al operar las bombas en paralelo se comprobó la teoría que dice: “Al acoplar las bombas en paralelo los caudales individuales de las bombas son aditivos y la altura total de carga se mantiene constante”, por lo que en la práctica se obtuvo que las bombas Pedrollo-Meyers alcanzan una altura de carga de 43m y un caudal de 79 L/min, esto se debe a que la potencia se duplica (de 0,5HP a 1HP), generando así un aumento en la capacidad de transporte pero en este caso en el caudal, sin embargo como el sistema de bombeo consta de tramos muy cortos para la operación en paralelo de las bombas existe un incremento de pérdidas energéticas es por ello que la altura de carga no sobrepasa los 45m, determinando así una diferencia clara entre el acoplamiento en serie y paralelo.

3.8.4. Análisis de resultados de la eficiencia (hidráulicas) de las bombas individuales PEDROLO, MEYERS, BARROW, PAOLO.

Datos obtenidos de las Tablas 3.3-1; 3.3-2; 3.3-3; 3.3-4; 3.3-5; 3.3-6; 3.3-7; 3.3-8; 3.3-9

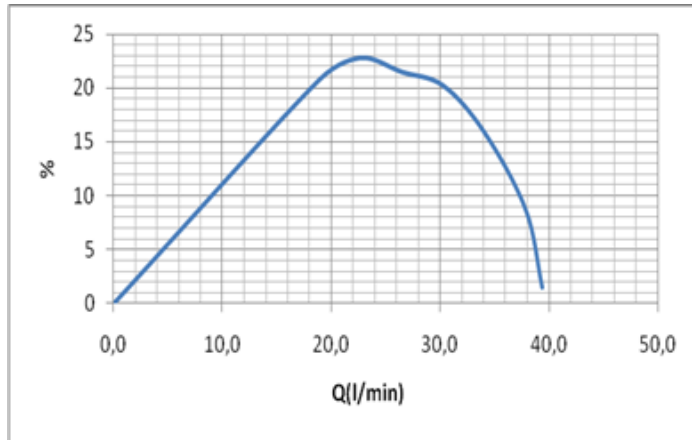


Fig. 3.8.4-1 Curva Q (l/min) vs n (%) de la bomba Pedrollo

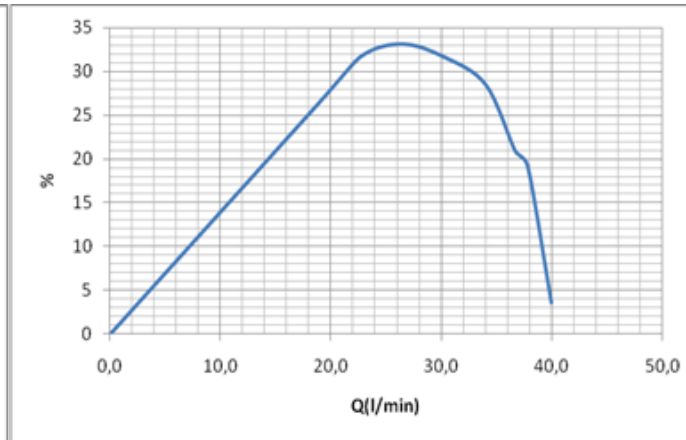


Fig. 3.8.4-2 Curva Q (l/min) vs n (%) de la bomba Meyers

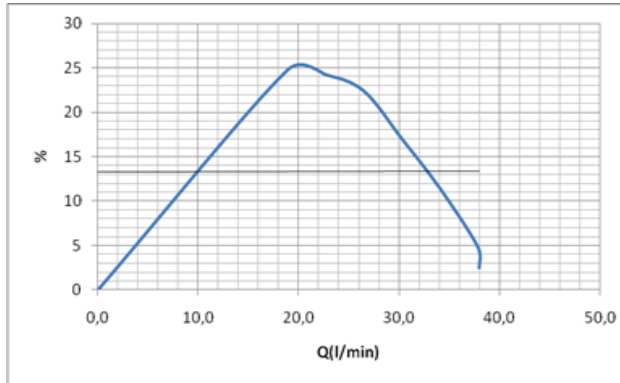


Fig. 3.8.4-3 Curva Q (l/min) vs n (%) de la bomba barrow

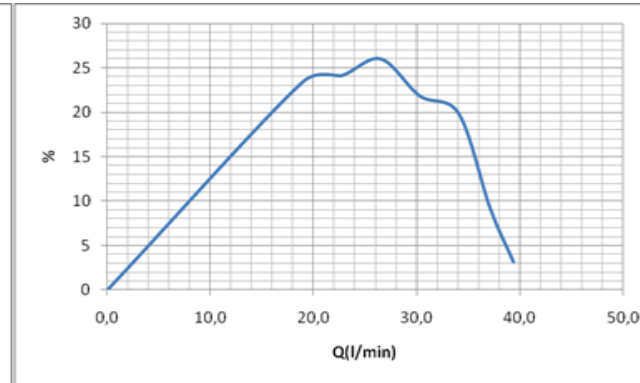


Fig. 3.8.4-4 Curva Q (l/min) vs n (%) de la bomba paolo

ANÁLISIS: Dentro de las eficiencias encontradas todos están dentro de los rangos establecidos por el fabricante, sin embargo, existen diferencias en cuanto a la capacidad de bombeo necesario para alcanzar la máxima eficiencia, por ejemplo las bombas Pedrollo-Meyers y Paolo alcanzan su eficiencia máxima a un caudal promedio de 25L/min, esto se debe a las características físicas de cada bomba como son: material de fabricación, tipo de impulsor, calidad de empaques y anillos de desgaste, etc. Pero también se debe al comportamiento de las variables que intervienen durante el transporte del fluido como son: diámetro de la tubería, rugosidad de la misma y sobre todo al número de accesorios del sistema ya que ciertas válvulas generan apreciable caída de presión ocasionando grandes pérdidas de energía disminuyendo la eficiencia de las bombas.

3.8.5. Análisis de resultados de las eficiencias (hidráulicas) de las bombas en serie.

Datos obtenidos de las Tablas 3.3-1; 3.3-2; 3.3-3; 3.3-4; 3.3-5; 3.3-6; 3.3-7; 3.3-8; 3.3-9

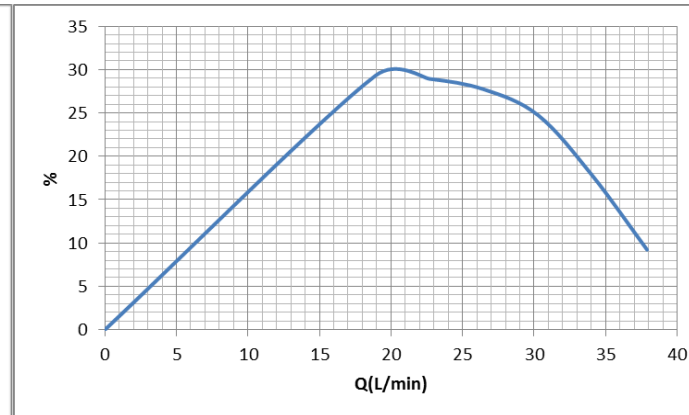
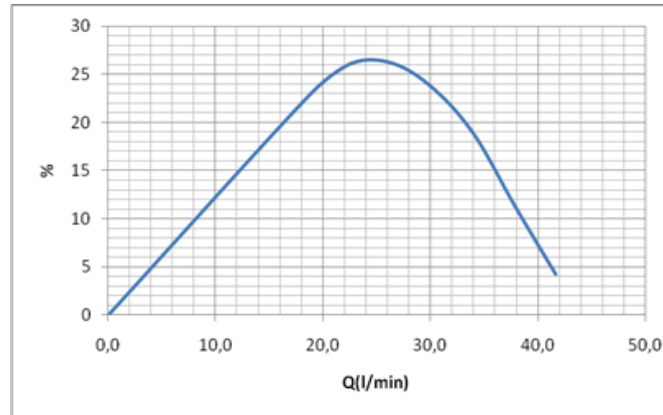


Fig. 3.8.5-1 Curva Q (l/min) vs n (%) de las bomba en serie pedrollo-meyers Fig. 3.8.5-2 Curva Q (l/min) vs n (%) de las bombas en serie barrow-paolo

ANÁLISIS: Para el caso de las bombas en serie, el análisis de eficiencia es similar al caso de las bombas individuales, observándose que al operar las bombas Pedrollo-Meyers, estas alcanzan su máxima eficiencia a un caudal de 25L/min mientras que las bombas Barrow-Paolo alcanzan su máxima eficiencia a un caudal de 20 L/min, debido a las mismas características del análisis anterior, también cabe recalcar que el aumento de la potencia de las bombas no influye en el incremento o disminución de la eficiencia para este caso.

3.8.6. Análisis de resultados de las eficiencias (hidráulicas y del motor-bomba) de las bombas en paralelo.

Datos obtenidos de las Tablas 3.3-1; 3.3-2; 3.3-3; 3.3-4; 3.3-5; 3.3-6; 3.3-7; 3.3-8; 3.3-9

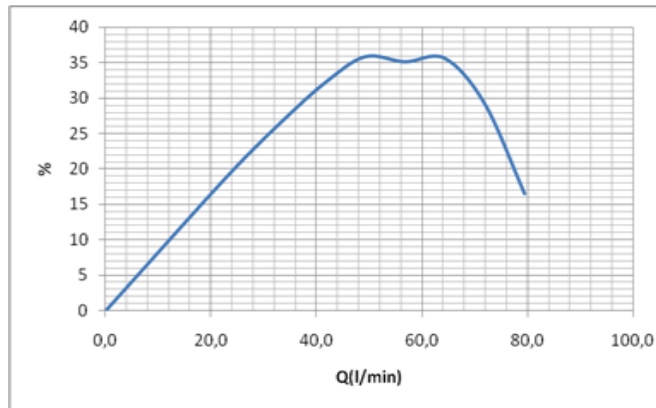


Fig. 3.8.6-1 Curva Q (l/min) vs n (%) de las bombas pedrollo-meyers

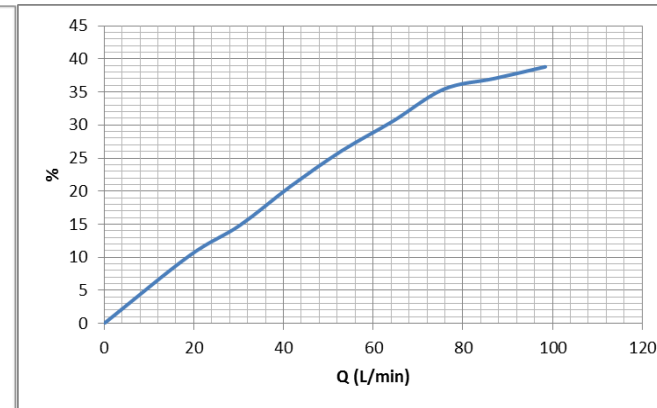


Fig. 3.8.6-2 Curva Q (l/min) vs n (%) de las bombas pedrollo-meyers-barrow

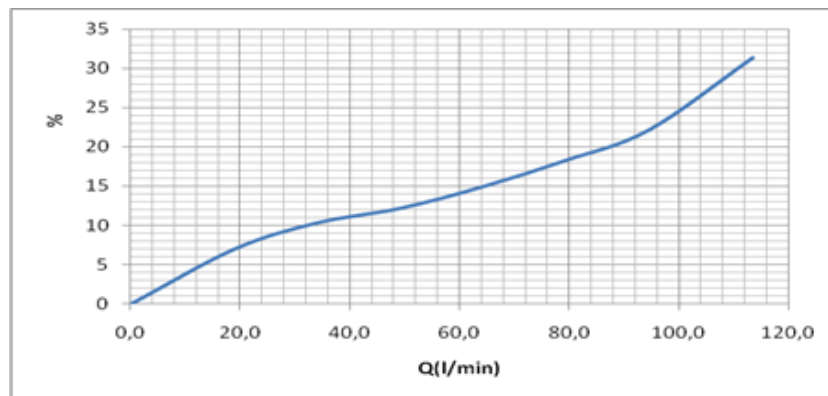


Fig. 3.8.6-3 Curva Q (l/min) vs n (%) de las bombas Pedrollo-Meyers-Barrow-Paolo

ANÁLISIS: La mayor y mejor eficiencia se encuentra cuando se acopla las 4 bombas en paralelo, es decir la máxima eficiencia se obtiene a un caudal de 100 L/min pues los caudales individuales de las bombas son aditivos así si en la bomba pedrollo alcanza un caudal máximo de 39L/min se debe sumar el caudal máximo de la segunda bomba, de la tercera y de la cuarta bomba sin embargo en este caso el flujo metro no alcanza a leer más caudal por lo que no se llega a comprobar lo dicho, esto se debe a que las pérdidas por accesorios y longitudinales son insignificantes para la potencia suministrada, por lo tanto la eficiencia aumenta al incrementar la potencia relativamente, para este caso tenemos ya una potencia de 2HP, evidenciándose una clara diferencia con los casos anteriores.

3.8.7. Curvas del cálculo del NPSH de las bombas individuales.

Datos obtenidos de las Tablas 3.3-1; 3.3-2; 3.3-3; 3.3-4; 3.3-5; 3.3-6; 3.3-7; 3.3-8; 3.3-9

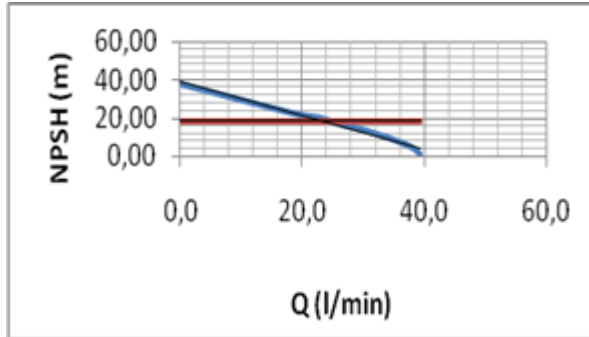


Fig. 3.8.7-1 Curva NPSH (m) vs Q (l/min) de la bomba Pedrollo

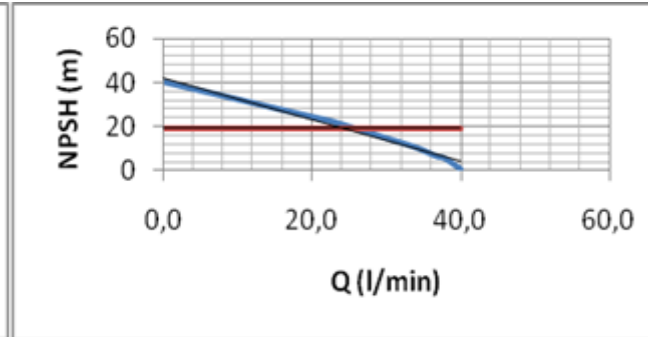


Fig. 3.8.7-2 Curva NPSH (m) vs Q (l/min) de la bomba Meyers

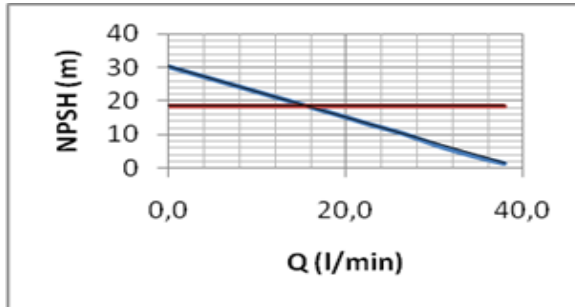


Fig. 3.8.7-3 Curva NPSH (m) vs Q (l/min) de la bomba Barrow

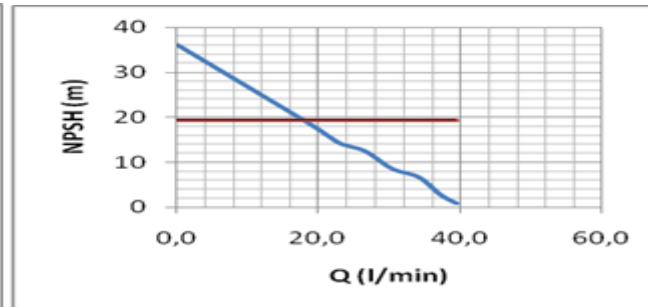


Fig. 3.8.7-4 Curva NPSH (m) vs Q (l/min) de la bomba Paolo

3.8.8. Curvas del cálculo del NPSH de las bombas en serie

Datos obtenidos de las Tablas 3.3-1; 3.3-2; 3.3-3; 3.3-4; 3.3-5; 3.3-6; 3.3-7; 3.3-8; 3.3-9

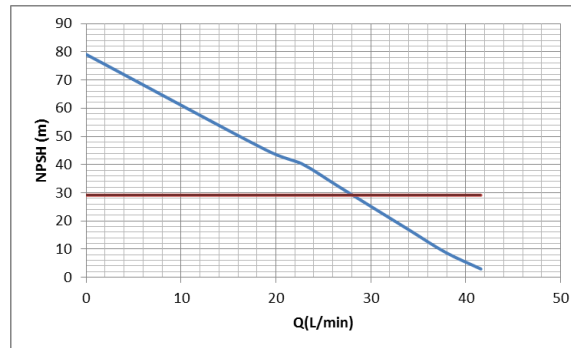


Fig. 3.8.8-1 Curva NPSH (m) vs Q (l/min) de las bombas
Pedrollo-Meyers

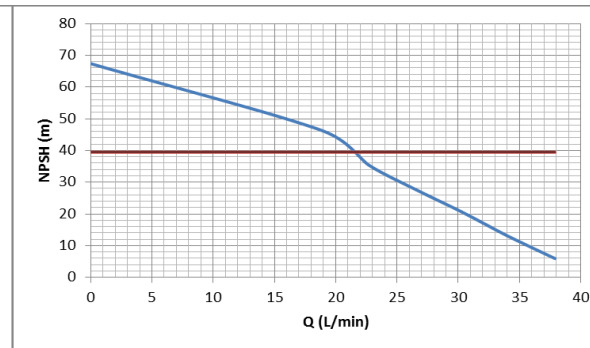


Fig. 3.8.8-2 Curva NPSH (m) vs Q (l/min) de las bombas
Barrow-Paolo

3.8.9. Curvas del cálculo del NPSH de las bombas en paralelo.

Datos obtenidos de las Tablas 3.3-1; 3.3-2; 3.3-3; 3.3-4; 3.3-5; 3.3-6; 3.3-7; 3.3-8; 3.3-9

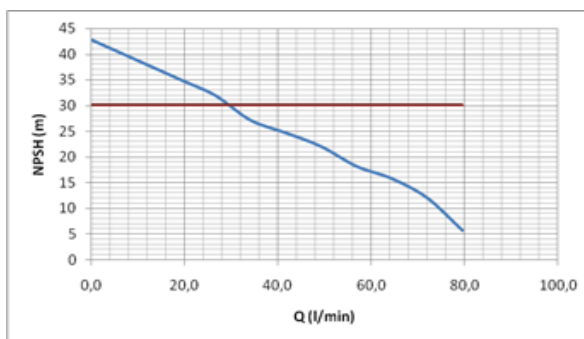


Fig. 3.8.9-1 Curva NPSH (m) vs Q (l/min) de las bombas Pedrollo-Meyers

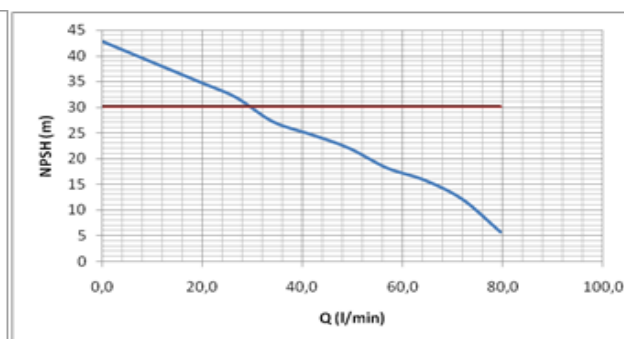


Fig. 3.8.9-2 Curva NPSH (m) vs Q (l/min) de las bombas Pedrollo-Meyers-Barrow

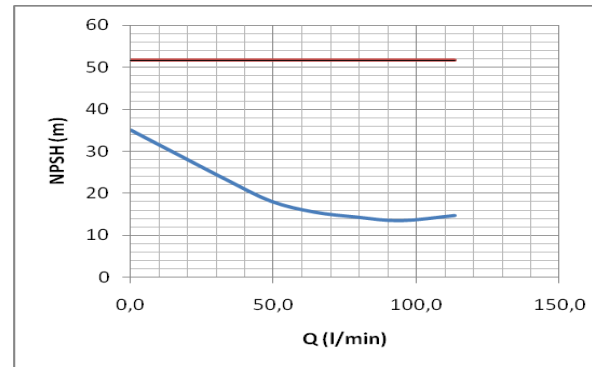


Fig. 3.8.9-3 Curva NPSH (m) vs Q (l/min) de las Bombas Pedrollo-Meyers-Barrow-Paolo.

ANÁLISIS: En todas las curvas se puede ver que el NPSH, es un línea recta; esto se debe a que es un valor permanente para cada sistema, debido a que las condiciones de operación son las mismas, es decir diámetro de tubería, alturas dinámicas, pérdidas longitudinales y pérdidas por accesorios; además la temperatura del agua será la misma en todos los sistemas de bombeo.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones:

Se puede concluir que:

- Para diseñar el bosquejo del banco de pruebas, primero se realizaron los cálculos experimentales de ingeniería, obteniendo que el número de bombas para alcanzar el objetivo de estudio es de 4 bombas centrifugas de 0,5 Hp. Estas son las más reconocidas a nivel del mercado, lo cual,permite comparar su funcionamiento en cuanto al caudal y altura de carga de cada una de las bombas.
- En el diseño del equipo se determinó que las variables óptimas para el funcionamiento del mismo es:Caudal máx. 94,6L/min, cuando se trabaja en paralelo con las 4 bombas;Presión máx. 80m.c.a, cuando se trabaja en serie con las bombas Pedrollo-Meyers.
- La altura de carga total determinada en base a la ecuación que rige el fenómeno del sistema es de 40 m para cada una de las bombas trabajando individualmente.

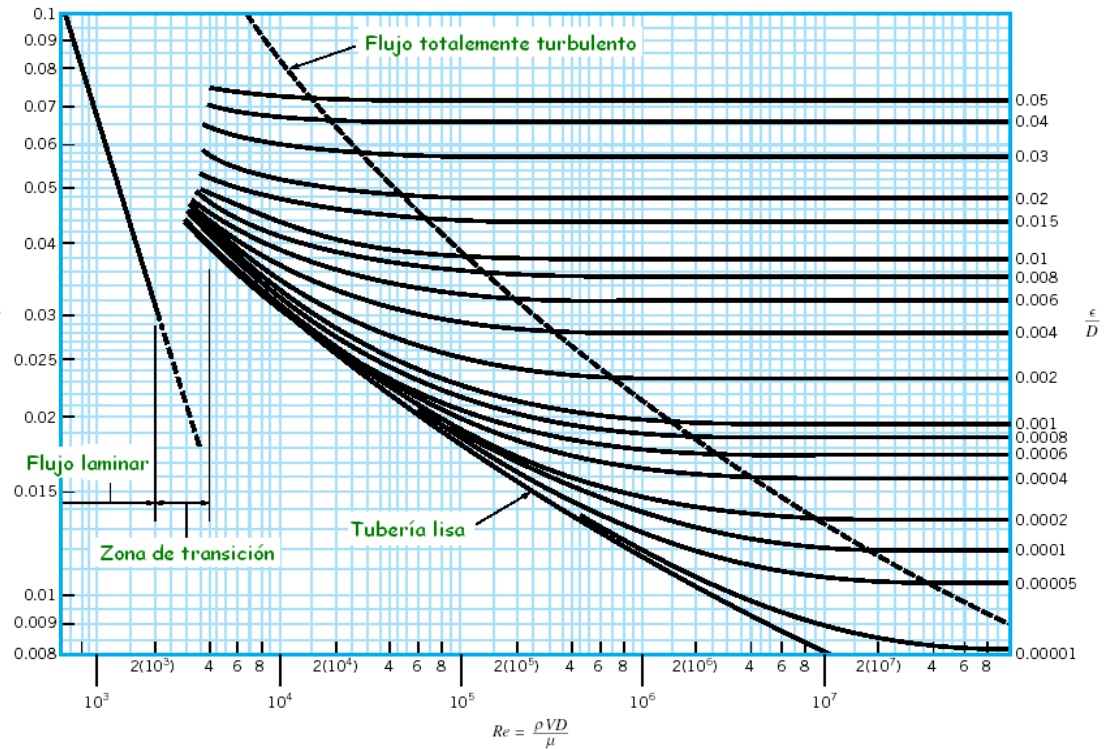
- Luego de haber ubicado 4 bombas de diferentes características comerciales, se encontró dos diferencias en cuanto a la capacidad máxima de bombeo de las mismas cuando funcionan de forma individual, las bombas PedrolloyMeyers pueden bombear líquido hasta un promedio de 25L/min, alcanzando la máxima eficiencia de 30% y las bombas Barrow y Paolo solo pueden bombear hasta un promedio de 20L/min con una eficiencia máxima de 25%, este fenómeno se da debido a las características físicas y geométricas de las mismas.
- Para alcanzar un caudal de 80L/min, se debe conectar las bombaspedrolloymeyers en paralelo mientras que para obtener una mayor altura de carga de 80m se debe acoplar las mismas bombas en serie.
- Se encontró que la potencia y consumo de energía está en función del análisis que se realizó en el equipo, es decir, si se usa una bomba en el sistema, el consumo es de 0,5 Hp y si se trabaja con las 4 bombas en paralelo, el consumo es de 2 Hp, por lo que, se concluye que la potencia es proporcional al número de bombas.

4.2. Recomendaciones

- Capacitar al personal encargado del laboratorio para la correcta manipulación del equipo.
- Utilizar un rotámetro de mayor capacidad ya que esto permitirá ampliar la información dada por el mismo.
- En el caso del manómetro digital se recomienda trabajar en pulgadas de columna de agua ya que este es el rango con más dígitos mayores sensibilidad y estabilidad.
- Seguir paso a paso el manual del equipo.
- Luego de cada ensayo retirar el agua del tanque para prevenir daños internos en la bomba por impurezas que podrían acumularse.
- Dar un adecuado mantenimiento a las bombas.

ANEXOS


ANEXO I
DIAGRAMA DE MOODY




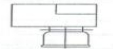


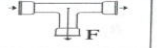






| NOTAS | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | ESPOCH | DIAGRAMA DE MOODY | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|--------------|
| DIAGRAMA DE MOODY | Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> | FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: López Lorena Cajo Sonia | Lámina | Escala | Fecha |
| | | | 1 | | 16/01/12 |

ANEXO II

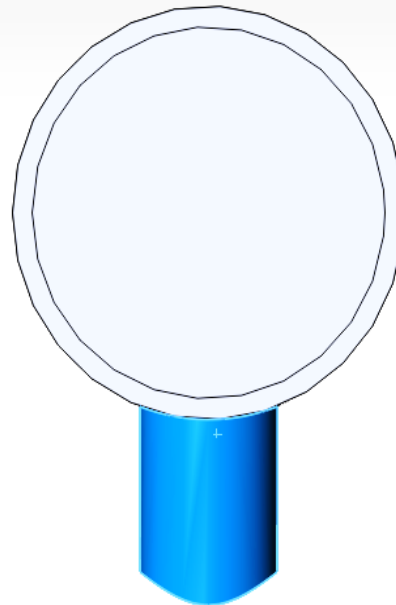
COEFICIENTE DE PÉRDIDAS DE CARGAS SECUNDARIAS

Tabla de longitudes equivalentes 

| ACCESORIOS  | Coef. de pérdidas de cargas secundarias k | Longitud equivalente | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| | | 13 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | |
| | | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| Codo a 90°  | 0.7 | 0.328 | 0.51 | 0.721 | 0.897 | 1.217 | 1.444 | 1.896 | |
| Codo a 45°  | 0.5 | 0.234 | 0.364 | 0.515 | 0.64 | 0.869 | 1.032 | 1.356 | |
| Codo radio corto 90°  | 1.5 | 0.703 | 1.093 | 1.545 | 1.921 | 2.608 | 3.095 | 4.068 | |
| Reducción  | 0.2 | 0.094 | 0.146 | 0.206 | 0.256 | 0.348 | 0.413 | 0.542 | |
| Unión  | 0.1 | 0.047 | 0.073 | 0.103 | 0.128 | 0.174 | 0.206 | 0.271 | |
| Tee con salida primaria por el ramal, y flujo unidireccional en eje principal  | 1.3 | 0.609 | 0.947 | 1.339 | 1.665 | 2.26 | 2.682 | 3.526 | |
| Tee con ingreso primario desde ramal, y flujo unidireccional en eje principal.  | 0.9 | 0.421 | 0.655 | 0.926 | 1.152 | 1.564 | 1.867 | 2.44 | |
| Tee con salida primaria en el eje principal, y por el ramal sale alguna línea  | 0.3 | 0.141 | 0.219 | 0.309 | 0.384 | 0.522 | 0.619 | 0.814 | |
| Tee con salida primaria en eje principal, y por el ramal ingresa alguna línea.  | 0.2 | 0.094 | 0.146 | 0.206 | 0.256 | 0.348 | 0.413 | 0.542 | |
| Tee con salida primaria por el ramal, y contraflujo hacia el interior en el eje principal  | 1.5 | 0.703 | 1.093 | 1.545 | 1.921 | 2.608 | 3.095 | 4.068 | |

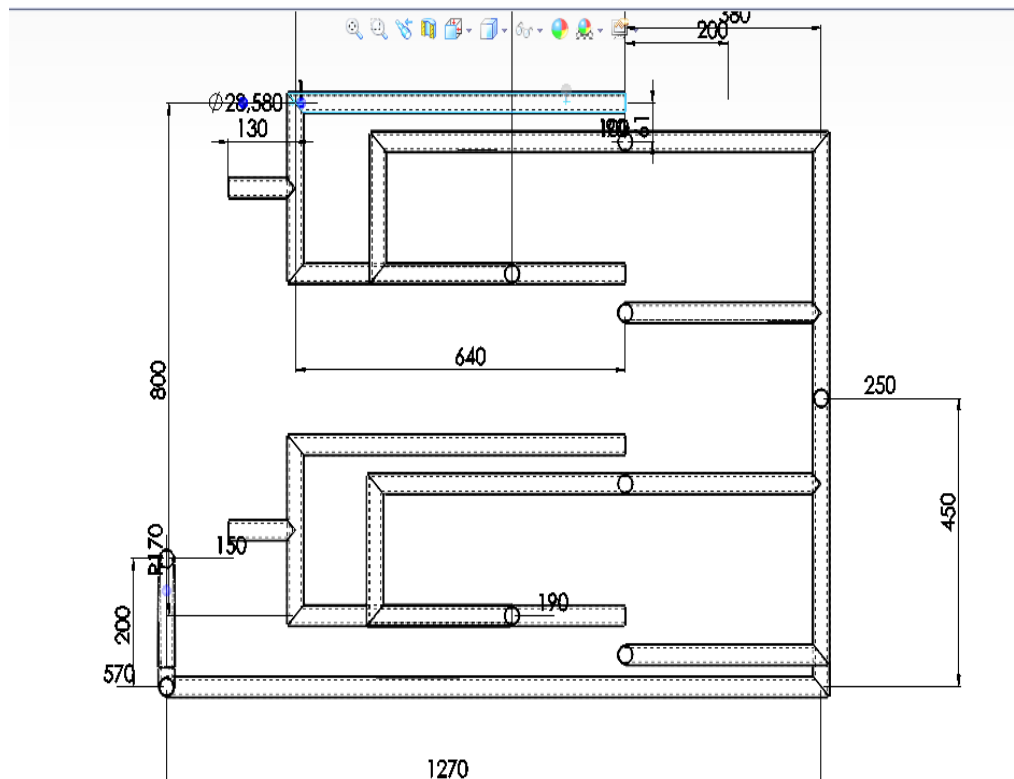
| NOTAS | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA | DIAGRAMA DE FACTOR DE COMPRESIBILIDAD VS. PRESIÓN REDUCIDA | | |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------|----------|
| COEFICIENTE DE PÉRDIDAS DE CARGAS SECUNDARIAS | Por calificar <input type="checkbox"/> | Para información <input type="checkbox"/> | Realizado por: López Lorena Cajo Sonia | Lámina | Fecha |
| | Por aprobar <input type="checkbox"/> | Para archivar <input type="checkbox"/> | | 2 | 16/01/12 |
| Por eliminar <input type="checkbox"/> | Certificado <input type="checkbox"/> | | | | |

ANEXO III
MANÓMETRO DIGITAL



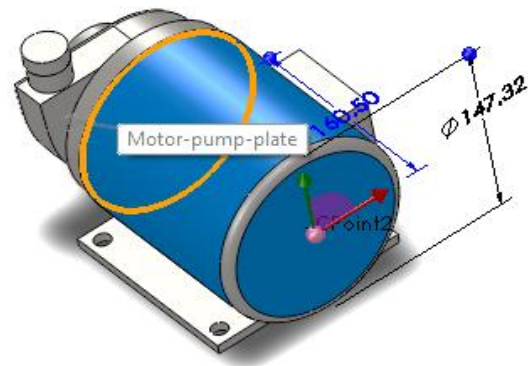
| NOTAS | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | ESPOCH | MANOMETRO DIGITAL | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|--------------|
| MANÓMETRO DIGITAL | Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> | FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: López Lorena Cajo Sonia | Lámina | Escala | Fecha |
| | | | 3 | | 16/01/12 |

ANEXO IV
DIMENSIÓN DE LAS TUBERIAS



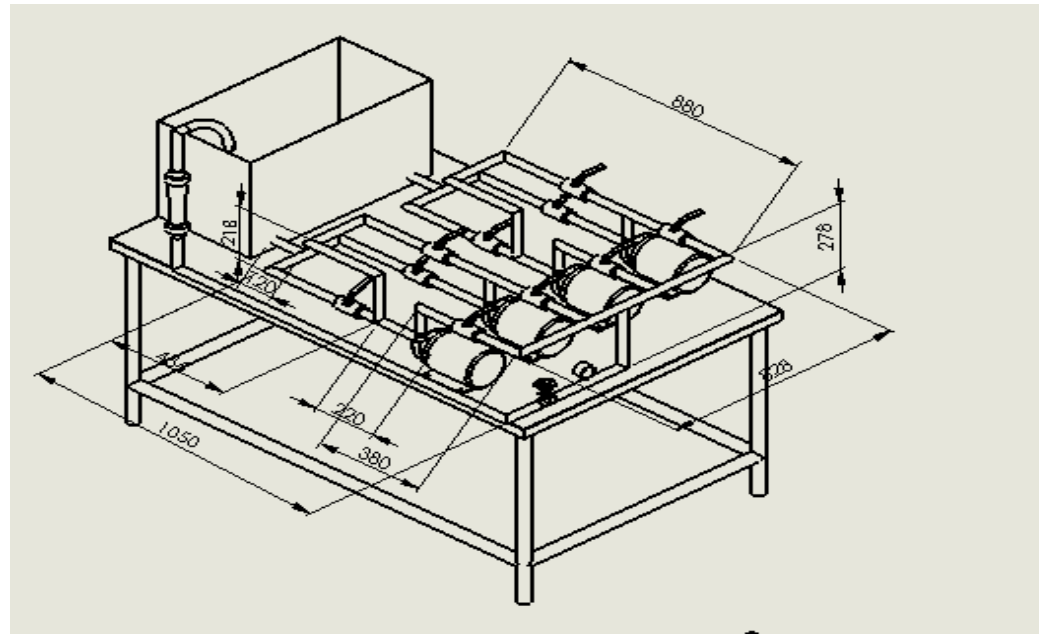
| NOTAS | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: López Lorena Cajo Sonia | DIMENSION DE LAS TUBERIAS | | |
|---------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------|--------------|
| DIMENSIÓN DE LAS TUBERIAS | Por calificar <input type="checkbox"/> | Para información <input type="checkbox"/> | Lámina | Escala | Fecha |
| | Por aprobar <input type="checkbox"/> | Para archivar <input type="checkbox"/> | 4 | | 16/01/12 |
| | Por eliminar <input type="checkbox"/> | Certificado <input type="checkbox"/> | | | |

ANEXO V
BOMBA CENTRÍFUGA



| NOTAS | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | ESPOCH | CÁMARA DE COMBUSTIÓN | | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|-------|
| .BOMBA CENTRÍFUGA | Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> | FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: López Lorena Cajo Sonia | | | |
| | | | Lámina | Escala | Fecha |

**ANEXO VI
DIMENSIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS**



| NOTAS | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: López Lorena Cajo Sonia | DIMENSION DEL BANCO DE PRUEBAS | | |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------|-------|
| DIMENSIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS | Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> | | Lámina | Escala | Fecha |
| | | | | 6 | |

ANEXO VII
BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO



| NOTAS | CATEGORÍA DEL DIAGRAMA | ESPOCH | TORRE CONSTRUIDA | | |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------|--------------|
| BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO | Por calificar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para archivar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> | FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Realizado por: López Lorena Cajo Sonia | Lámina | Escala | Fecha |
| | 7 | | 16/01/12 | | |

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- **BRITO., H.,** Mecánica de Fluidos., s. ed., Riobamba-Ecuador., Xerox., 2000.,
Pp. 71-75
- 2.- **GRENE., R.,** Válvulas-Selección., s. ed., México D.F-México., Cecs., 1989.,
Pp. 13-33
- 3.- **CREUS., A.,** Instrumentación Industrial., s. ed., México D.F-México., Mc Graw
Hill., 1998., Pp. 3.1, 6.1, 6.7.
- 4.- **OCON., P., y TOJO., J.,** Problemas de Ingeniería Química., 1ª. ed., México
D.F-México., Aguilar., 1980., Pp. 23
- 5.- **MOOT., R.,** Mecánica de Fluidos Aplicada., s. ed., México D.F-México.,
Prentice Hall Hispanoamericana., 1996., Pp. 9.1-10.10
- 6.- **MATAIX., C.,** Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas., 1ª. ed., México
D.F-México., Harla., 1982., Pp. 9.1-11.1, 18.1-19.11

BIBLIOGRAFIA INTERNET

7.- BOMBAS CEBTRIFUGAS

<http://www.sistema en paralelo.com.ec>

20011-12-03

8.- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

http://www.as-sl.com/pdf/tipos_tuberias-ASTM.pdf

2011-11-06

9.- EFICIENCIA ENERGETICA

<http://www.menergia.gov.ec>

2011-10-09

10.- SISTEMA DE BOMBEO

http://www.indec.cl/bombas_en_serie_13.html

http://www.duppsbv.com/proceso_de_bombeo.html

http://es.wikipedia.org/wiki/reynolds%C3%B3n_%28qu%C3%ADmica%29

http://es.wikipedia.org/wiki/perdidas_secundarias

http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta2/lecc8/lecc8_2f.html.

2012-01-05

