

BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS



Universidad
del Cauca

Juan Sebastián Vivas Mera

Yesid Alfonso Solarte Castillo

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Mayo de 2014

BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS



Universidad
del Cauca

**Documento Final de Trabajo de Grado para optar por el título de
Ingeniero en Automática Industrial**

Juan Sebastián Vivas Mera

Yesid Alfonso Solarte Castillo

Director: Mg. Víctor Hugo Mosquera

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Marzo de 2014**

Hoja de Aprobación

Director _____
Mg. Víctor Mosquera

Jurado _____

Jurado _____

Popayán, Marzo 2014

AGRADECIMIENTOS

Al Magíster Víctor Mosquera por su labor como director y el interés mostrado en el cumplimiento de las metas propuestas.

Al Magíster Francisco Franco por los aportes y sugerencias durante el proceso de desarrollo del proyecto.

A todos nuestros colegas, laboratoristas y profesores que de una u otra forma hicieron posible que alcanzáramos nuestras metas.

"El misterio es la cosa más bonita que podemos experimentar. Es la fuente de todo arte y ciencia verdaderos"
Albert Einstein

Contenido

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO 1 | 2 |
| 1. CONCEPTOS BÁSICOS..... | 2 |
| 1.1 Conceptos Hidráulicos | 2 |
| 1.1.1 Caudal (Q)..... | 2 |
| 1.1.2 Presión o Altura Dinámica de una Bomba (H)..... | 3 |
| 1.1.3 Bombas Hidráulicas | 4 |
| 1.1.4 Bombas Centrífugas | 6 |
| 1.1.5 Conexión de Bombas Centrífugas | 11 |
| 1.1.6 Pérdidas de Carga | 14 |
| 1.2 Conceptos Eléctricos | 20 |
| 1.2.1 Lógica Cableada | 20 |
| 1.2.2 Relés | 20 |
| 1.2.3 Contactores | 22 |
| 1.2.4 Señalización | 23 |
| 1.2.5 Circuito de Potencia | 24 |
| 1.2.6 Circuito de Control de Mando..... | 25 |
| 1.2.7 Electroválvulas | 25 |
| 1.2.8 Nomenclatura | 25 |
| CAPÍTULO 2 | 27 |
| 2. DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS | 27 |
| 2.1 Circuito Hidráulico..... | 27 |
| 2.1.1 Diagrama P&ID y Estructura | 27 |
| 2.1.2 Diseño de trayectorias..... | 31 |
| 2.1.3 Selección de equipos | 36 |
| 2.2 Panel de Control de Mando | 42 |
| 2.2.1 Diseño Circuito de Potencia | 43 |
| 2.2.2 Diseño Circuito de Control de Mando | 45 |
| 2.2.3 Selección de equipos | 49 |
| CAPÍTULO 3 | 51 |

| | |
|---|----|
| 3. IMPLEMENTACIÓN | 51 |
| 3.1 Construcción | 51 |
| 3.2 Descripción Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas..... | 52 |
| 3.2 Funcionamiento del Banco de Bombas Centrífugas..... | 54 |
| 3.2.1 Objetivos | 54 |
| 3.2.2 Material Necesario | 55 |
| 3.2.3 Procedimiento Bombas | 55 |
| 3.2.4 Procedimiento Instrumentacion..... | 63 |
| 3.2.4. Análisis de Resultados | 65 |
| CAPÍTULO 4 | 80 |
| 4. CONCLUSIONES..... | 80 |
| BIBLIOGRAFÍA | 82 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Rugosidad Absoluta de Materiales. | 18 |
| Tabla 2 Coeficiente de Pérdidas de Carga por Accesorios | 20 |
| Tabla 3 Nomenclatura Circuito Hidráulico | 30 |
| Tabla 4 Características Estructura Armazón Metalico. | 31 |
| Tabla 5 Características Tanques | 40 |
| Tabla 6 Nomenclatura IEC | 43 |
| Tabla 7 Estados de Elementos Eléctricos según configuración | 46 |
| Tabla 8 Registro de Datos | 62 |
| Tabla 9 Etiquetas Pulsadores | 63 |
| Tabla 10 Etiquetas Pilotos | 63 |
| Tabla 11 Etiquetas Contactores..... | 64 |
| Tabla 12 Etiquetas Relés..... | 64 |
| Tabla 13 Etiquetas Motores | 64 |
| Tabla 14 Etiquetas Electroválvulas..... | 64 |
| Tabla 15 Valores Obtenidos para Configuración M1 | 67 |
| Tabla 16 Valores Obtenidos para Configuración M2 | 69 |
| Tabla 17 Valores Obtenidos para Configuración Paralelo | 70 |
| Tabla 18 Valores Obtenidos para Configuración Serie..... | 72 |
| Tabla 19 Etiquetas Completas Pulsadores..... | 77 |
| Tabla 20 Etiquetas Completas Pilotos..... | 77 |
| Tabla 21 Etiquetas Completas Contactores | 78 |

| | |
|---|----|
| Tabla 22 Etiquetas Completas Relés Térmicos..... | 78 |
| Tabla 23 Etiquetas Completas Motobombas..... | 78 |
| Tabla 24 Etiquetas Completas Electroválvulas..... | 78 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Presión o Altura Dinámica en una Bomba Centrífuga..... | 4 |
| Figura 2 Bomba Centrífuga | 7 |
| Figura 3 Esquema Típico de una Bomba Centrífuga | 7 |
| Figura 4 Rodete o Impulsor | 8 |
| Figura 5 Curva Característica de una Bomba Centrífuga | 9 |
| Figura 6 Curva Característica Eficiencia vs Caudal | 10 |
| Figura 7 Conexión Bombas en Serie..... | 12 |
| Figura 8 Curva Característica Sistema en Serie. | 13 |
| Figura 9 Conexión Bombas en Paralelo..... | 14 |
| Figura 10 Curva Característica Sistema en Paralelo | 14 |
| Figura 11 Representación Gráfica de Contactos..... | 21 |
| Figura 12 Elementos de un Relé..... | 21 |
| Figura 13 Diagrama Típico de un Circuito de Potencia para un motor trifásico | 24 |
| Figura 14 Diagrama P&ID Circuito Hidráulico. | 28 |
| Figura 15. Estructura Armazón Metálico. | 31 |
| Figura 16 Trayectoria en Paralelo | 33 |
| Figura 17 Trayectoria en Serie | 34 |
| Figura 18 Trayectoria Bomba Independiente 1 | 35 |
| Figura 19 Trayectoria Bomba Independiente 2 | 36 |
| Figura 20 Curva característica Altura Dinámica Vs Caudal..... | 38 |
| Figura 21 Diagrama Circuito de Potencia..... | 44 |
| Figura 22 Diagrama de Lazo Circuito de Potencia..... | 45 |
| Figura 23 Diagrama Circuito de Control de Mando..... | 48 |
| Figura 24 Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas..... | 54 |
| Figura 25 Diagrama de Lazo | 65 |
| Figura 26 Curva Caudal vs Presión Configuración M1 | 67 |
| Figura 27 Curva Caudal vs Presión Configuración M2 | 69 |
| Figura 28 Curva Caudal vs Presión Configuración Paralelo | 71 |
| Figura 29 Curva Caudal vs Presión Configuración Serie | 73 |
| Figura 30 Comparación de curvas en cada configuración. | 75 |
| Figura 31 Comparación Caudal Máximo. | 76 |
| Figura 32 Comparación Presión Máxima | 76 |
| Figura 33 Diagrama de Lazo Corregido | 79 |

INTRODUCCIÓN

En el proceso de formación de un profesional el conocimiento práctico es tan importante como el conocimiento teórico, por ello es necesario que en su vida académica tenga un acercamiento al manejo práctico de instrumentos, conozca su funcionamiento y tenga la oportunidad de profundizar mediante la experimentación las teorías aprendidas en clase.

El caudal y la presión son dos variables bastante utilizadas en procesos industriales, así como también las bombas centrífugas y la instrumentación asociada a las mismas; por ello es necesario que un Ingeniero en Automática Industrial conozca a fondo sobre estos aspectos. La Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca requirió un Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas el cual permita experimentar con distintos fenómenos asociados a dichos instrumentos enriqueciendo con métodos prácticos el desarrollo de conocimientos en los estudiantes sobre el manejo de las bombas centrífugas, la instrumentación relacionada el caudal y la presión.

Un banco de pruebas es una plataforma para realizar experimentos, la cual brinda la posibilidad de una confirmación escrita, transparente y repetible de las teorías científicas y las tecnologías desarrolladas por el hombre.

El presente proyecto comprende el diseño, implementación y generación de guías de laboratorio para un sistema de Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas que permita a los estudiantes entender los conceptos asociados al funcionamiento de bombas hidráulicas y el manejo de la instrumentación industrial en este campo.

CAPÍTULO 1

1. CONCEPTOS BÁSICOS

En este primer capítulo se estudiarán los conceptos básicos referentes al funcionamiento de las bombas hidráulicas, abordándolos desde las variables asociadas a las mismas, hasta las características de su instalación.

También se expondrán los conceptos asociados a la instrumentación necesaria para la conmutación de señales que permite realizar funciones de comando, señalización, protección y potencia de dispositivos eléctricos.

1.1 Conceptos Hidráulicos

1.1.1 Caudal (Q)

El caudal o flujo volumétrico se define como la cantidad de fluido desplazado por unidad de tiempo. Se expresa generalmente en litros por segundo (l/s), metros cúbicos por hora (m³/h) o galones por minuto (gpm) [1].

Su medición se hace a través de instrumentos conocidos como caudalímetros.

La ecuación 1 representa el caudal en términos del volumen y el tiempo.

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

Ecuación 1

1.1.2 Presión o Altura Dinámica de una Bomba (H).

Se entiende como presión a la relación que existe entre la fuerza y la superficie sobre la que se aplica, en el contexto de las bombas hidráulicas se denomina presión o altura dinámica de una bomba a la energía neta transmitida al fluido por unidad de peso a su paso por la bomba.

Esta se representa como la altura de una columna de líquido a elevar y se expresa normalmente en metros del líquido bombeado (por ejemplo metros columnas de agua (m.c.a)).

De esta manera se puede definir la presión como la altura vertical que puede alcanzar un fluido desplazado por una bomba hidráulica. Esta magnitud es representada comúnmente por la letra H y es calculada mediante la ecuación 2.

$$H = \Delta h + (P2 - P1) + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g}$$

Ecuación 2

En donde

- H=Altura dinámica (m.c.a.).
- Δh =Diferencia de altura entre dos manómetros que miden las presiones P1 y P2. (m.c.a.).
- P1 y P2= Presiones en dos puntos (m.c.a.).
- V_1 y V_2 = Velocidad con que se desplaza el fluido dentro de la tubería (m/sg).
- G= Gravedad de la tierra (m/sg²).

La figura 1 representa la presión o altura dinámica dentro de una bomba centrífuga [1].

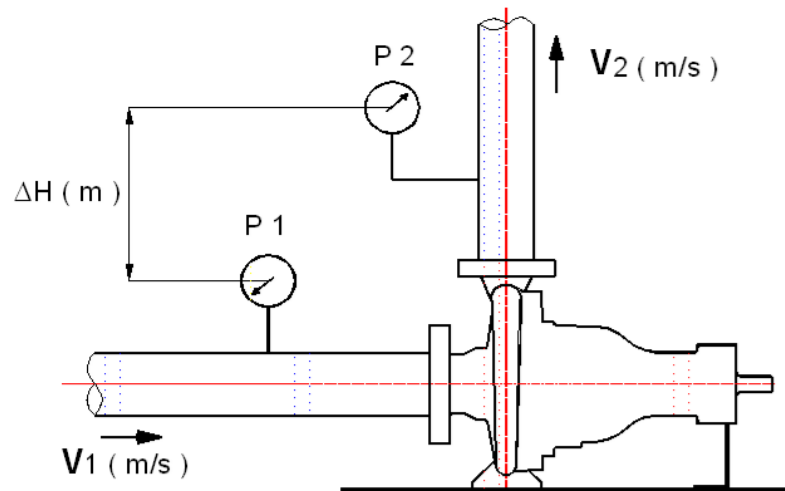


Figura 1 Presión o Altura Dinámica en una Bomba Centrífuga.

1.1.3 Bombas Hidráulicas

Las bombas hidráulicas son máquinas que mediante el desplazamiento de un fluido transforman energía mecánica en energía hidráulica; logrando así transportar dicho fluido de un lugar a otro o entre dos niveles.

El proceso de transformación de energía se lleva a cabo en dos etapas.

- Aspiración: en esta etapa se crea una diferencia de presión entre el fluido y la entrada de la bomba mediante el giro de esta, permitiendo así una succión y un impulso hidráulico hacia dicha entrada.
- Descarga: en esta última etapa se garantiza que el fluido que ha ingresado a la bomba no retroceda y mediante el giro de la misma se direcciona hacia el único orificio de salida posible, logrando así el desplazamiento de este [2].

Actualmente las bombas hidráulicas se utilizan ampliamente tanto en procesos industriales como en procesos artesanales, desplazando fluidos en estado puro y con sólidos en suspensión como el hormigón, pastas de papel, melaza o combustibles.

Las bombas pueden clasificarse en dos tipos, de desplazamiento positivo y no positivo.

1.1.3.1 Desplazamiento positivo o hidrostáticas

Este tipo de bombas se caracterizan porque no tienen una presión máxima de expulsión, es decir en la descarga esta presión puede llegar a valores que podrían afectar negativamente a la bomba si el conducto de escape se cerrara completamente. Por tanto el uso de este tipo de bombas se debe hacer siempre contando con una válvula de seguridad que derive la salida en caso de obstrucción del conducto, ya que de otra manera sería peligrosa su utilización.

Otra característica propia de las bombas hidrostáticas es que el caudal de bombeo no se ve afectado visiblemente por la presión de funcionamiento de las mismas [3].

Algunos de los tipos de bombas de desplazamiento positivo más utilizados son los siguientes:

- Bombas de émbolo.
- Bombas de engranes.
- Bombas de diafragma.
- Bombas de paletas.

1.1.3.2 Desplazamiento no positivo o hidrodinámicas

Las bombas de desplazamiento no positivo o hidrodinámicas tienen una presión limitada ya que son capaces de impulsar un fluido hasta determinada presión a partir de la cual el caudal es cero. Estas bombas pueden funcionar por largo tiempo con su conducto de salida

obstruido sin llegarse a deteriorar, ya que en este caso se crea dentro de ellas un vórtice que hace girar el fluido manteniéndolo en rotación durante mucho tiempo.

En estos dispositivos hidráulicos existe generalmente una relación no lineal entre el caudal bombeado y la presión de descarga y son utilizadas comúnmente para el traslado de fluidos más que para la transmisión de energía.

Las máquinas de este tipo más comunes son las bombas centrífugas, con las cuales se ha construido el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas, sin embargo cabe resaltar otras bombas con amplio uso como las bombas hélice y las de diafragma con resorte. [3]

1.1.4 Bombas Centrífugas

Estas máquinas hidráulicas utilizan la fuerza centrífuga para su funcionamiento, alojan en una carcasa en forma de espiral conocida como voluta, un conjunto de paletas rotatorias que giran a gran velocidad de manera que crean un aumento en la presión del fluido bombeado logrando succionarlo hacia la entrada. Cuando dicho fluido entra en la bomba, las paletas lo atrapan por el borde interior cerca del centro y lo dirigen de acuerdo al perfil de las mismas con lo cual la rotación a alta velocidad hace que el fluido adquiera un movimiento en forma circular que lo proyecta radialmente por el conducto de salida de la bomba [2]- [4].

En las figuras 2,3 y 4 se puede apreciar una bomba centrífuga, sus componentes y su impulsor respectivamente [3]- [5].



Figura 2 Bomba Centrífuga.

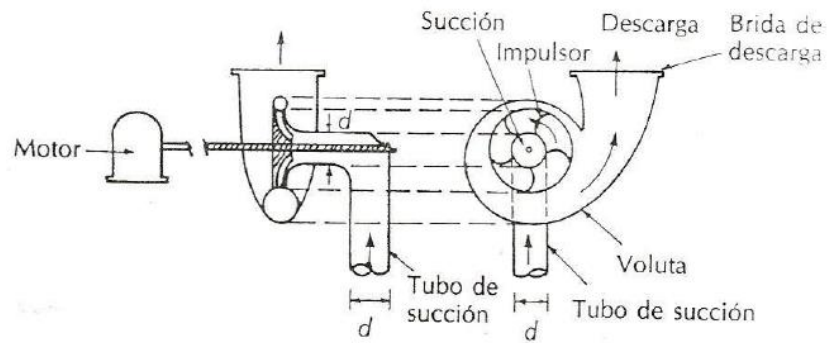


Figura 3 Esquema Típico de una Bomba Centrífuga.

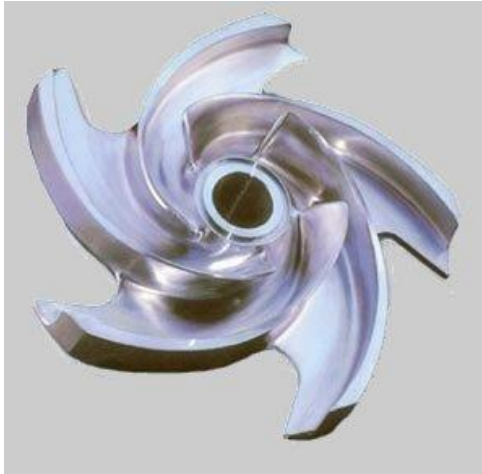


Figura 4 Rodete o Impulsor.

1.1.4.1 Curva Característica de una Bomba Centrífuga

La puesta en marcha de un sistema de bombeo describe un conjunto de curvas que caracterizan el mismo. Estos trazos son conocidos como curvas características y relacionan las variables asociadas a la bomba considerando una velocidad de giro constante de su impulsor

1.1.4.1.1 Curva Caudal Vs Presión

La curva característica de una bomba centrífuga describe siempre una relación no lineal entre el caudal y la presión. En la figura 5 se aprecia dicha curva.

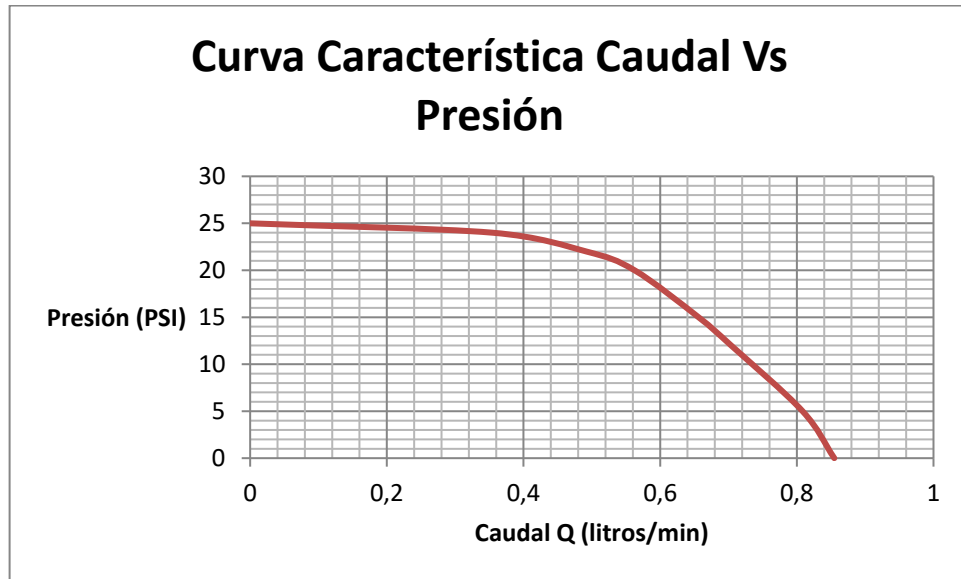


Figura 5 Curva Característica de una Bomba Centrífuga

En la figura 5 se puede observar cómo la presión y el caudal resultan ser inversamente proporcionales, de manera que la máxima presión genera un caudal nulo, sin embargo éste va aumentando gradualmente su valor hasta llegar a su punto máximo en el cual la presión es igual a cero.

Un método común para calcular la presión o altura dinámica entregada, es aplicar el Teorema de Bernoulli entre la aspiración y la descarga de la bomba. La Ecuación 3 expresa dicho teorema aplicado de la manera expuesta [2].

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + ha = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Ecuación 3

En donde

$\frac{P_1}{\gamma}$ = Presión de succión en la entrada de la bomba.

$\frac{V_1^2}{2g}$ = Velocidad en la entrada de la bomba.

Z1= Altura potencial a la entrada de la bomba (m).

$\frac{P_2}{\gamma}$ = Presión de descarga a la salida de la bomba.

$\frac{V_2^2}{2g}$ = Velocidad en la salida de la bomba.

Z2= Altura potencial a la salida de la bomba.

ha= presión total entregada por la bomba.

1.1.4.1.2 Curva Eficiencia vs Caudal

La eficiencia de la bomba en función del caudal se representa también mediante una curva característica. Esta eficiencia se puede expresar como la relación entre la potencia hidráulica imprimida al fluido y la potencia eléctrica consumida por el motor de la máquina hidráulica.

En la figura 6 se observa la curva característica típica de una bomba centrífuga [2].

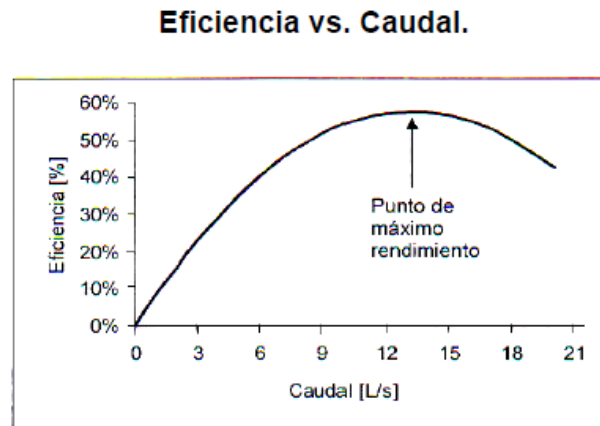


Figura 6 Curva Característica Eficiencia vs Caudal.

Se puede observar que el caudal y la eficiencia aumentan proporcionalmente hasta cierto valor, el cual es denominado punto de máximo rendimiento.

Una vez alcanzado dicho valor la eficiencia empieza a disminuir a medida que el caudal aumenta.

La ecuación 4 muestra la fórmula matemática utilizada para calcular la eficiencia de una bomba [2].

$$Pe = \frac{Ph}{\eta}$$

Ecuación 4

En donde:

Pe=Potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido (vatios)

Ph=potencia eléctrica agregada (vatios)

η =eficiencia (adimensional)

1.1.5 Conexión de Bombas Centrífugas

Con el fin de aumentar su caudal o altura dinámica, dos o más bombas pueden conectarse en serie o paralelo.

A continuación se describe el funcionamiento de dichos tipos de conexión.

1.1.5.1 Conexión en Serie

Para situaciones en las cuales se requiere trasegar un fluido a grandes distancias es necesario el uso de conexiones en serie; este tipo de conexión permite aumentar la altura dinámica (presión) final del sistema de bombeo.

Si se tiene un sistema con dos bombas 1 y 2 en serie, la succión de la bomba 2 se alimenta con la descarga de la bomba 1. Este tipo de conexiones se utilizan generalmente en pozos profundos, en los cuales se instalan aproximadamente 6 bombas en serie [5].

La figura 7 muestra la conexión de dos bombas en serie [5].

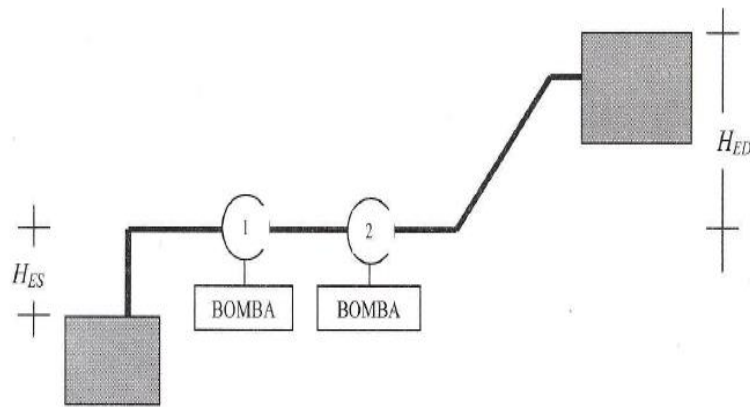


Figura 7 Conexión Bombas en Serie

Es de anotar que el caudal permanece constante mientras que la presión de descarga aumenta y por lo tanto también la altura dinámica total [5].

- $Q_{total} = Q_1 = Q_2$
- $H_{total} = H_1 + H_2$

La curva característica del sistema en serie se puede apreciar en la figura 8 [5].

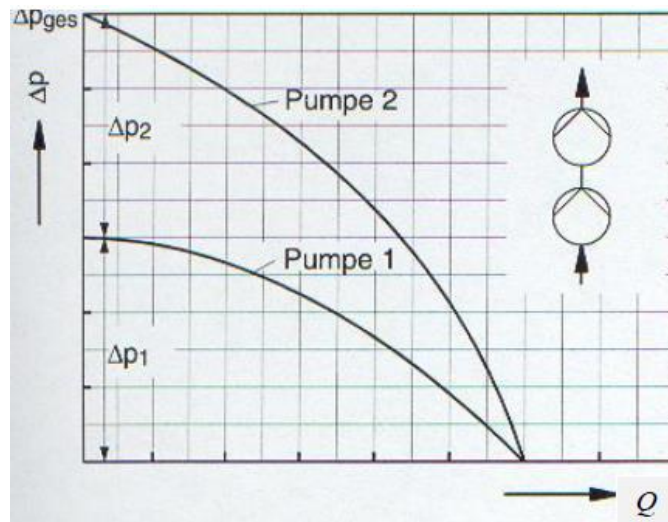


Figura 8 Curva Característica Sistema en Serie.

1.1.5.1 Conexión en Paralelo

Para el abastecimiento o remoción de grandes flujos volumétricos de fluido, el tipo más común de estación de bombeo consiste en un sistema de bombas operando en paralelo.

El sistema en paralelo mantiene constante la presión de bombeo pero aumenta el caudal. En este caso cada bomba tiene la tubería de succión insertada en la fuente de agua y se conectan todas las salidas a una común.

- $Q_{total} = Q_1 + Q_2$
- $H_{total} = H_1 = H_2$

En la figura 9 se muestra un sistema de bombeo en paralelo compuesto por dos bombas [5].

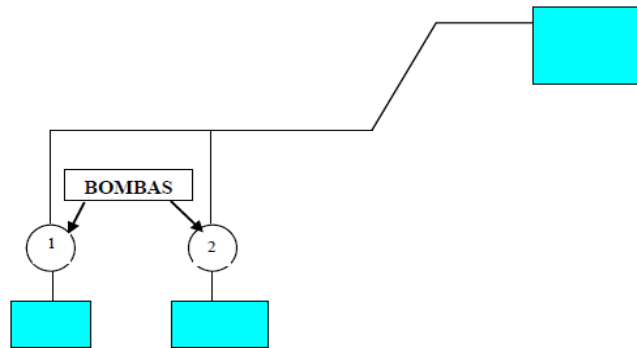


Figura 9 Conexión Bombas en Paralelo.

Por último la curva que relaciona Caudal vs Altura dinámica se puede apreciar en la figura 10 en la cual ΔP representa la altura dinámica y Q el caudal [5].

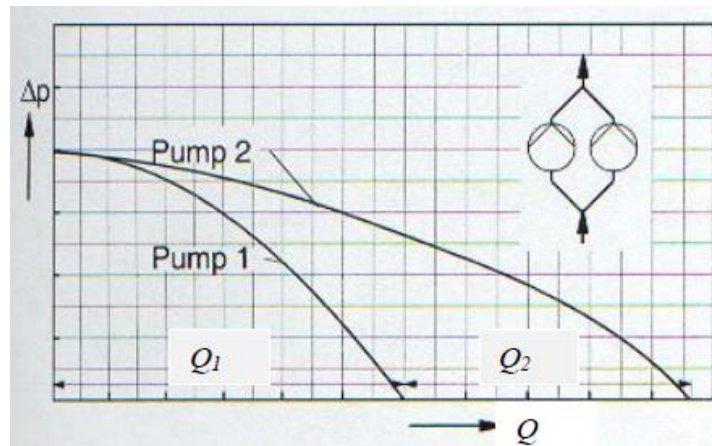


Figura 10 Curva Característica Sistema en Paralelo.

1.1.6 Pérdidas de Carga

La pérdida de carga se refiere a la energía dinámica que pierde un fluido cuando pasa a través de una tubería; esta disminución se presenta debido a la fricción que se produce entre el fluido y las paredes de los ductos que lo contienen.

Existen dos tipos de pérdidas.

1. Pérdidas primarias
2. Pérdidas secundarias

1.1.6.1 Pérdidas de Carga Primarias

Las pérdidas de cargas primarias o de tramo recto se dan por la fricción producida por el fluido al pasar por la tubería que lo contiene, el rozamiento de las capas del mismo en régimen laminar y el rozamiento de las partículas entre sí en el régimen turbulento.

Estas pérdidas están determinadas por la longitud y diámetro de la tubería, la velocidad del fluido y el factor de fricción dependiente del material del conducto.

Existen muchas ecuaciones empíricas para calcular las pérdidas de carga primaria en las tuberías, a continuación se enumeran algunas de las más utilizadas.

1. Darcy-Weisbach (1875)
2. Manning (1890)
3. Hazen-Williams (1905)
4. Scimeni (1925)
5. Scobey (1931)
6. Veronesse-Datei

El cálculo de pérdidas de carga a partir de la ecuación empírica de Darcy-Weisbach (ecuación 5) se describe a continuación [6].

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

Ecuación 5

En donde

h_F = Pérdidas de carga en la tubería (m.c.a).

f = Factor de fricción de la tubería (adimensional).

L = Longitud de la tubería (m).

D = Diámetro de la tubería (m).

V = Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/sg).

g = Aceleración de la gravedad (m/sg^2).

1.1.6.1.1 Factor de Fricción y Número de Reynolds

El factor de fricción es un parámetro adimensional que depende exclusivamente del número de Reynolds, del flujo y de la rugosidad relativa del material de la tubería [2].

Para el cálculo del factor de fricción se debe considerar la condición del fluido, la cual se determina a través del Número de Reynolds.

El Número de Reynolds es un parámetro adimensional que determina si un fluido es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, la velocidad y la viscosidad cinemática del fluido.

Se considera flujo laminar cuando el número de Reynolds es menor a 2000 y turbulento cuando es mayor a 4000.

El número de Reynolds se calcula mediante la ecuación 6.

$$Re = \frac{D V}{\mu}$$

Ecuación 6

En donde

Re= Numero de Reynolds (adimensional).

D= Diámetro de la tubería (m).

V= Velocidad del fluido (m/sg).

μ = Viscosidad cinemática del fluido (m^2/sg) [Agua = 1,002 cSt centistokes].

Para determinar el factor de fricción en un flujo laminar se utiliza la fórmula de Poiseulle ($Re < 2000$) mostrada en la ecuación 7.

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

Ecuación 7

Para un flujo turbulento el factor de fricción se determina con la fórmula de Colebrook-White ($Re > 4000$) mostrada en la ecuación 8.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Ecuación 8

En donde

f= Coeficiente de fricción (adimensional).

D= Diámetro de la tubería (m).

Re= Número de Reynolds (Re).

ϵ = Rugosidad absoluta (pvc=0,0015mm).

La tabla 1 muestra el coeficiente de rugosidad absoluta de los principales materiales utilizados en tuberías [7].

| MATERIAL | Rugosidad absoluta ϵ (mm) |
|---|--|
| Concreto | 0.30 a 3.00 |
| Acero bridado | 0.91 a 9.10 |
| Madera cepillada | 0.18 a 0.90 |
| Hierro fundido asfaltado | 0.120 |
| Hierro fundido | 0.260 |
| Tubería de acero soldada | 0.046 |
| Acero comercial o hierro dulce | 0.046 |
| Arcilla vitrificada | 0.15 |
| Hierro galvanizado | 0.15 |
| Asbesto cemento | 0.03 |
| PVC, CPCB | 0.0015 |
| Vidrio, cobre, latón, madera bien cepillada, acero nuevo soldado y con una mano interior de pintura, tubos de acero de precisión sin costura, serpentines industriales, plástico, hule. | 0.0015 |

Tabla 1 Rugosidad Absoluta de Materiales.

Dada la complejidad de determinar el coeficiente de fricción en flujos turbulentos, éste se halla de manera experimental obteniendo un resultado aproximado por medio de una iteración de la variable f en la ecuación de Colebrook-White ecuación 8.

Por último, es de notar que para fluidos con un Número de Reynolds entre 2000 y 4000 llamados fluidos en régimen crítico o de transición, no es posible determinar su condición (laminar o turbulenta), sin embargo en este caso el factor de fricción comúnmente se halla mediante la fórmula de Colebrook-White ecuación 8.

1.1.6.2 Pérdidas de Carga secundarias

Las pérdidas de carga secundarias se dan en las formas de la tubería y en los accesorios de la misma en donde el flujo se estrecha, expande o cambia de dirección, entre dichos accesorios podemos nombrar las válvulas, codos, Tees entre otros.

Las pérdidas secundarias se calculan mediante la ecuación 9, la cual relaciona la velocidad del fluido y el coeficiente del accesorio [2] y [6].

$$Hrs = K \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 9

En donde:

Hrs= Pérdidas de carga secundarias (m.c.a).

K= Coeficiente de fricción según el tipo de accesorio (adimensional).

V= Velocidad media del fluido (m/sg).

g= Aceleración de la gravedad (m/sg²).

Los valores de K para cada accesorio están dados de forma experimental por la tabla 2 [8].








| Componente | | K | Diagrama |
|------------|------------------------------------|------|---|
| Codos | Radio corto 90° extremo liso | 0.3 |  |
| | Radio corto 90° extremo roscado | 1.5 |  |
| | Radio largo 90° extremo liso | 0.2 | |
| | Radio largo 90° extremo roscado | 0.7 | |
| Tees | Paso directo con extremo liso | 0.2 |  |
| | Paso directo con extremo roscado | 0.9 |  |
| | Salida de lado con extremo liso | 1.0 |  |
| | Salida de lado con extremo roscado | 2.0 |  |
| Válvulas | Bola totalmente abierta | 0.05 |  |

Tabla 2 Coeficiente de Pérdidas de Carga por Accesorios.

1.2 Conceptos Eléctricos

1.2.1 Lógica Cableada

La lógica cableada industrial consiste en el diseño de automatismos en el que, el tratamiento de datos y señales se realiza mediante dispositivos como contactores auxiliares de relés electromecánicos, contactores de potencia, relés temporizados, diodos, relés de protección, válvulas oleo-hidráulicas o neumáticas y otros componentes. Surgió como un paso previo a la lógica programada e incluye funciones de comando y control, señalización, protección y potencia. La lógica cableada realiza tareas secuenciales que no permiten realizar cambios de variables ni parámetros; para realizar una tarea diferente es necesario rediseñar el cableado.

Más que una técnica esta clase de control constituye hoy en día una filosofía que permite estructurar circuitos en forma ordenada, prolija y segura, sea en circuitos cableados o programados [9].

1.2.2 Relés

El relé o relevador fue inventado por Joseph Henry en 1835. Es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos (NO o NC) fijos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Cuando un contacto de un relé se cierra al momento de ser energizada la bobina, se denomina contacto normalmente abierto (NO: Normally Open), por el contrario cuando este se abre en presencia de la alimentación se le llama contacto normalmente cerrado (NC: Normally Closed).

Los contactos normalmente abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos es ideal para

aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.

Los contactos normalmente cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado. La figura 11 muestra la representación gráfica de los mencionados contactos.

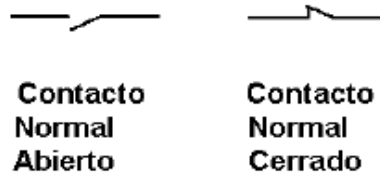


Figura 11 Representación Gráfica de Contactos.

Un relé posee además una lámina inversora o contacto móvil de conmutación la cual se encarga de dirigir la corriente hacia los contactos fijos. La figura 12 muestra los principales elementos de un relé.

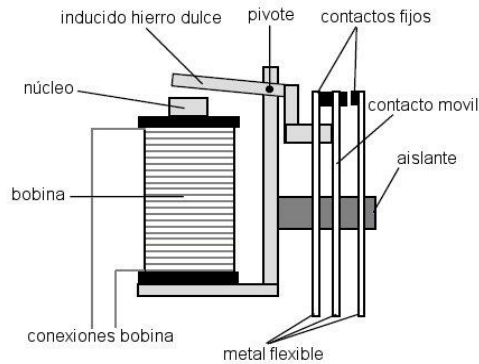


Figura 12 Elementos de un Relé.

La principal ventaja del uso de los relés es la posibilidad de separar la corriente de accionamiento (la que circula por la bobina del electroimán) y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes o elevadas potencias con

pequeñas tensiones de control. Por último se tiene también la posibilidad de controlar un dispositivo a distancia mediante el uso de pequeñas señales de control [10].

1.2.3 Contactores

Un contactor es un dispositivo electromecánico de maniobra que permite establecer o interrumpir el paso de corriente hacia otros elementos siendo accionado a distancia por la acción de un electroimán. En general su funcionamiento es similar al de un relé diferenciándose en los valores de tensión eléctrica manejados ya que en el contactor son mucho mayores.

En la práctica los contactos principales de este dispositivo se conectan al circuito que se quiere gobernar. Asegurando el establecimiento y cortes de las corrientes principales y según el número de vías de paso de corriente podrá ser bipolar, tripolar, tetrapolar, etc. realizándose las maniobras simultáneamente en todas las vías [11]- [12].

Los elementos que componen un contactor se describen a continuación

- **Carcaza:** soporte fabricado en material no conductor (plástico o baquelita) sobre el cual se fijan los componentes de los contactos.
- **Circuito electromagnético:** está compuesto por dispositivos que transforman la electricidad en magnetismo, generando un campo magnético lo más intenso posible. Constituye el electroimán del contactor. Está compuesto de bobina, núcleo y armadura.
- **Bobina:** es un arrollamiento de alambre, con un gran número de espiras, que al aplicársele tensión crea un campo magnético. El flujo generado da lugar a un par electromagnético, superior al par resistente de muelles de la armadura, atrayéndolo hacia el núcleo.
- **Núcleo:** es una parte metálica, generalmente en forma de E, y que va fija a la carcasa. Su función es concentrar y aumentar el flujo magnético que genera la bobina (colocada en la parte central del núcleo), para atraer con mayor eficiencia la armadura.

- **Armadura:** elemento similar al núcleo en cuanto a su construcción, con la diferencia de que posee una parte móvil cuya finalidad principal es cerrar el circuito magnético cuando se energice la bobina porque en estado de reposo debe estar separado del núcleo. Se aprovecha esta propiedad de movimiento que tiene para colocar sobre él una serie de contactos (parte móvil del contacto) que se cerraran y abrirán siempre que la armadura se ponga en movimiento.
- **Contactos:** son elementos que tienen por objeto cerrar o abrir una serie de circuitos. Un contacto está compuesto por dos partes fijas (ubicadas en la carcasa) y una parte móvil (ubicada en la armadura); de igual manera, son la parte más delicada de contactor, y por consiguiente deben cuidarse con especial esmero, de manera que los circuitos que establecen funcionen normalmente. En el contactor encontramos dos tipos de contactos: principales y auxiliares.
- **Contactos Principales:** son los contactos que tienen como finalidad realizar el cierre o apertura del circuito principal, a través del cual se transporta la corriente al circuito de utilización (carga). Deben estar debidamente calibrados, para permitir el paso de intensidades requeridas por la carga sin peligro de deteriorarse.
- **Contactos Auxiliares:** son aquellos contactos que tienen por finalidad el gobierno del contactor (específicamente de la bobina) y de su señalización. Pueden ser abiertos o cerrados, suelen ser normalmente más pequeños que los contactos principales dado que su función es permitir el paso de pequeñas corrientes (alimentación de la bobina y elementos de señalización) [11].

1.2.4 Señalización

La señalización comprende la indicación de los estados de marcha, parada, falla o defectos, posición de interruptores abiertos o cerrados, se realiza mediante dispositivos audibles, luces piloto o lámparas de señalización. Dicha señalización generalmente se energiza con una polaridad independiente de la del control de mando para evitar inconvenientes en este, en caso de falla de los dispositivos.

Los elementos de señalización se energizan mediante contactos auxiliares de contactores e interruptores, o con relés que copian la posición de los mismos [9].

1.2.5 Circuito de Potencia

El Circuito de Potencia se encarga de establecer o inhibir el paso de energía desde la red eléctrica hacia un dispositivo de salida, ya sea un motor de corriente continua, un bombillo o similares.

Generalmente consta de 2 pulsadores (inicio y paro), un contactor, fusibles, el dispositivo de salida y un relé térmico, este último se encarga de proteger el motor ante eventuales sobrecargas de energía.

En la figura 13 se aprecia el diagrama de conexión típico de un Circuito de Potencia [13].

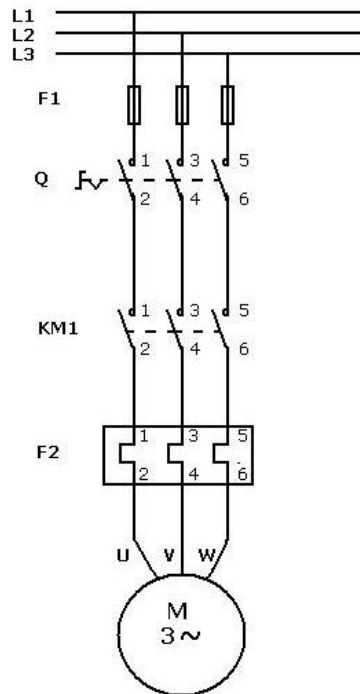


Figura 13 Diagrama Típico de un Circuito de Potencia para un motor trifásico.

1.2.6 Circuito de Control de Mando

Un Circuito de Control de Mando permite conmutar las señales que accionan diferentes dispositivos eléctricos.

Está compuesto generalmente por relés electromecánicos, contactores de potencia, relés temporizados, diodos, relés de protección, válvulas oleo-hidráulicas o neumáticas entre otros; dichos dispositivos se estructuran de acuerdo a un diseño de automatismo específico, de manera que permitan realizar tareas secuenciales, por tal razón no es posible realizar cambios en los variables o parámetros que maniobran, ya que para una tarea diferente es necesario rediseñar su estructura por medio del cableado [9].

1.2.7 Electroválvulas

Las electroválvulas son dispositivos que establecen o inhiben la circulación de flujo a través de un conducto; estos elementos se accionan gracias a una corriente eléctrica que circula a través de un solenoide instalado en su interior. Dicho solenoide genera un campo magnético que atrae un núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte.

1.2.8 Nomenclatura

La nomenclatura es un conjunto de reglas adoptadas mundialmente que se utilizan para identificar elementos y establecer una terminología común, inequívoca, única y distintiva. El uso de normas internacionales elimina todo riesgo de confusión y facilita el estudio y el manejo de términos, definiciones y elementos.

Existen dos estándares que reglamentan tanto el diseño de esquemas eléctricos como la representación de instrumentos. Dichos estándares son explicados a continuación [14].

1.2.8.1 Norma ISA S5.1

La Sociedad Internacional de Automatización (ISA: International Society of Automation), la cual se encarga de certificar la industria ha generado un conjunto de normas y procedimientos de control e instrumentación que tienen como objetivo uniformar los conocimientos en estos campos y sugerir buenas prácticas en los mismos [15].

La norma ISA S5.1 establece un significado uniforme para designar instrumentos y sistemas instrumentados utilizados para la medición y el control, definiéndolos mediante símbolos y un código de identificación [16].

1.2.8.2 Norma IEC 1082-1

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC: International Electrotechnical Commission) es la organización encargada de estandarizar las normas sobre seguridad desempeño e instalación de equipamiento eléctrico y tecnologías asociadas. El estándar IEC 1082-1 publicado por la mencionada organización se encarga de definir y fomentar los símbolos gráficos, reglas numéricas o alfanuméricas que deben utilizarse para identificar los aparatos, diseñar los esquemas y realizar los equipos eléctricos [17].

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS

El diseño propuesto para el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas permite 4 trayectorias diferentes para el recorrido del flujo a través de las tuberías, éste es impulsado desde un tanque de almacenamiento hasta un tanque de recepción por dos motobombas. Dichas trayectorias se generan accionando simultáneamente una serie de válvulas manuales y eléctricas mediante 7 pulsadores ubicados en una caja botonera. La plataforma experimental está compuesta de dos módulos funcionales identificados como circuito hidráulico y panel de control de mando.

2.1 Circuito Hidráulico

2.1.1 Diagrama P&ID y Estructura

El primer requerimiento de diseño era la posibilidad de generar 4 trayectorias diferentes de funcionamiento para 2 bombas centrífugas, los cuales permitieran observar el comportamiento de la mismas operando de manera paralela, serie e independiente.

En segundo lugar se requirió estructurar la plataforma experimental bajo una arquitectura vertical y no horizontal como en la mayoría de proyectos similares, esto debido a que las trayectorias del fluido a través de las diferentes configuraciones de las bombas debían ser fácilmente identificadas por los estudiantes que realicen las prácticas.

La plataforma experimental debía incluir también el uso de electroválvulas mediante las cuales se pudiera generar las 4 trayectorias requeridas además del uso de elementos de medición que permitieran un mejor análisis del comportamiento de las bombas.

El diseño obtenido después de analizar los requerimientos anteriormente expuestos y siguiendo la nomenclatura sugerida por la norma ISA S5.1 se puede observar en el diagrama P&ID de la figura 14.

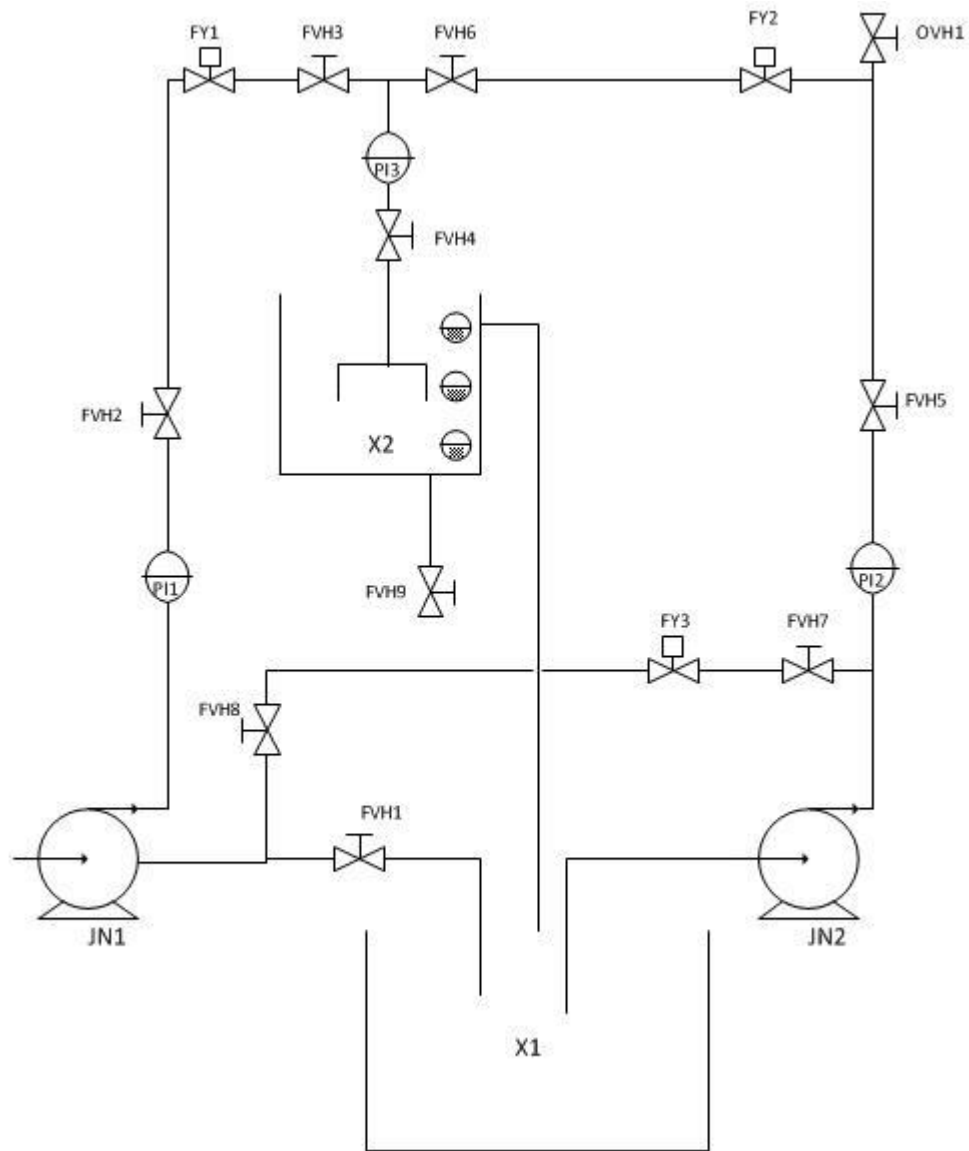


Figura 14 Diagrama P&ID Circuito Hidráulico.

Las etiquetas utilizadas en el circuito hidráulico son explicadas por la tabla 3.

| Instrumento | TAG | Descripción | Primera letra | Segunda Letra | Tercera letra | Numero |
|---------------------------|------------|--|---|--|--|--|
| Válvula de purga o cebado | OVH 1 | Válvula manual que permite cebar la motobomba 1 | La letra "O" se encuentra disponible para uso libre, por ello se ha utilizado para identificar la función de purga de la válvula | Indica la función del instrumento (válvula) | Indica que el instrumento es de accionamiento manual | |
| Válvulas manuales | FVH | Válvulas de accionamiento manual que permiten o restringen el paso de caudal | Indica la variable a la cual está asociada el instrumento (Flujo) | Indica la función del instrumento (válvula) | Indica que el instrumento es de accionamiento manual | Se ha numerado cada una de las 8 válvulas con un número del 1 al 8 |
| Tanques | X | Tanques de almacenamiento del fluido | La letra "X" se encuentra disponible para uso libre, por ello se ha utilizado para identificar el instrumento como un tanque de almacenamiento. | | | |
| Electroválvulas | FY | Válvulas de accionamiento eléctrico que permiten o restringen | Indica la variable a la cual está asociada el instrumento (Flujo) | La letra Y se encuentra disponible para uso libre, por ello se ha utilizado para | | Se ha numerado cada una de las 3 electroválvulas |

| | | | | | | |
|-----------------------|-----|---|--|---|-------------------------------------|--|
| | | el paso de caudal. | | identificar el instrumento como una válvula de accionamiento o eléctrico. | | con un número del 1 al 3 |
| Motobomba | JN | Bomba centrífuga asociada a la potencia de un motor | Indica la variable a la cual está asociada el instrumento (Potencia) | La letra N se encuentra disponible para uso libre, por ello se ha utilizado para identificar el instrumento como un motor | | Se ha numerado cada una de las 2 motobombas con un número del 1 al 2 |
| Sensor de Nivel Bajo | LEL | Sensor que mide el nivel bajo en el tanque de recepción X2 | Indica la variable a la cual está asociada el instrumento (nivel) | Indica la función del instrumento (sensor) | Indica la altura del sensor (baja) | |
| Sensor de Nivel Medio | LEM | Sensor que mide el nivel medio en el tanque de recepción X2 | Indica la variable a la cual está asociada el instrumento (nivel) | Indica la función del instrumento (sensor) | Indica la altura del sensor (media) | |
| Sensor de Nivel Alto | LEH | Sensor que mide el nivel alto en el tanque de recepción X2 | Indica la variable a la cual está asociada el instrumento (nivel) | Indica la función del instrumento (sensor) | Indica la altura del sensor (alta) | |

Tabla 3 Nomenclatura Circuito Hidráulico.

Adicionalmente se requirió que el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas contara con la posibilidad de ser transportada fácilmente, por ello fue necesario fabricar una estructura

que permitiera su desplazamiento. La figura 15 muestra el armazón metálico diseñado mediante el programa Solid Edge.

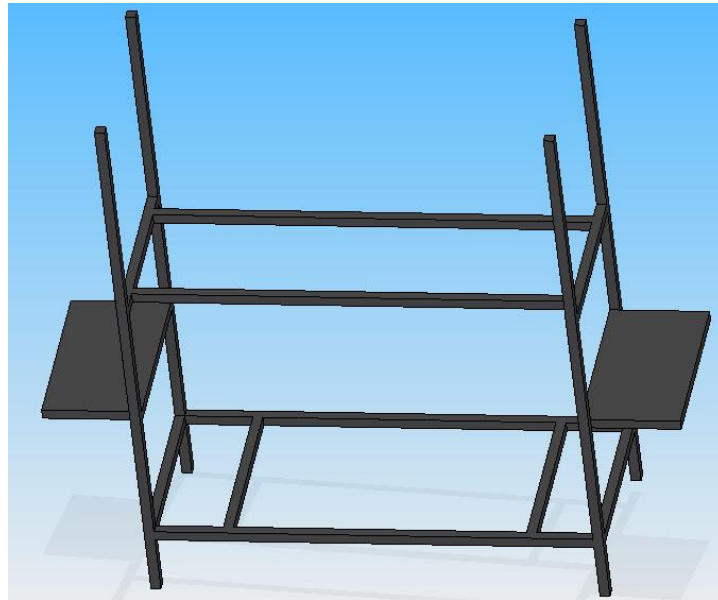


Figura 15. Estructura Armazón Metálico.

Las características de dicho armazón se describen en la tabla 4.

| | |
|-----------------|----------|
| Ancho | 50 cm |
| Largo | 150 cm |
| Alto | 148 cm |
| Color | Negro |
| Material | Aluminio |

Tabla 4 Características Estructura Armazón Metalico.

2.1.2 Diseño de trayectorias

El diseño establecido del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas permite generar las 4 configuraciones requeridas abriendo y cerrando paralelamente válvulas manuales y electroválvulas. La disposición de las válvulas manuales para establecer cada configuración se describe en el capítulo 3 denominado “Implementación”.

Las trayectorias del fluido a través de la tubería se exponen a continuación.

2.1.2.1 Trayectoria en Paralelo

La trayectoria se observa en la figura 16, en ella las dos bombas desplazan el fluido desde el tanque X1 hacia el tanque X2, operan simultáneamente por tuberías separadas, generando un desplazamiento de fluido (caudal) mayor al que se da en cualquiera de las otras 3 configuraciones (serie, bomba independiente 1 y bomba independiente 2).

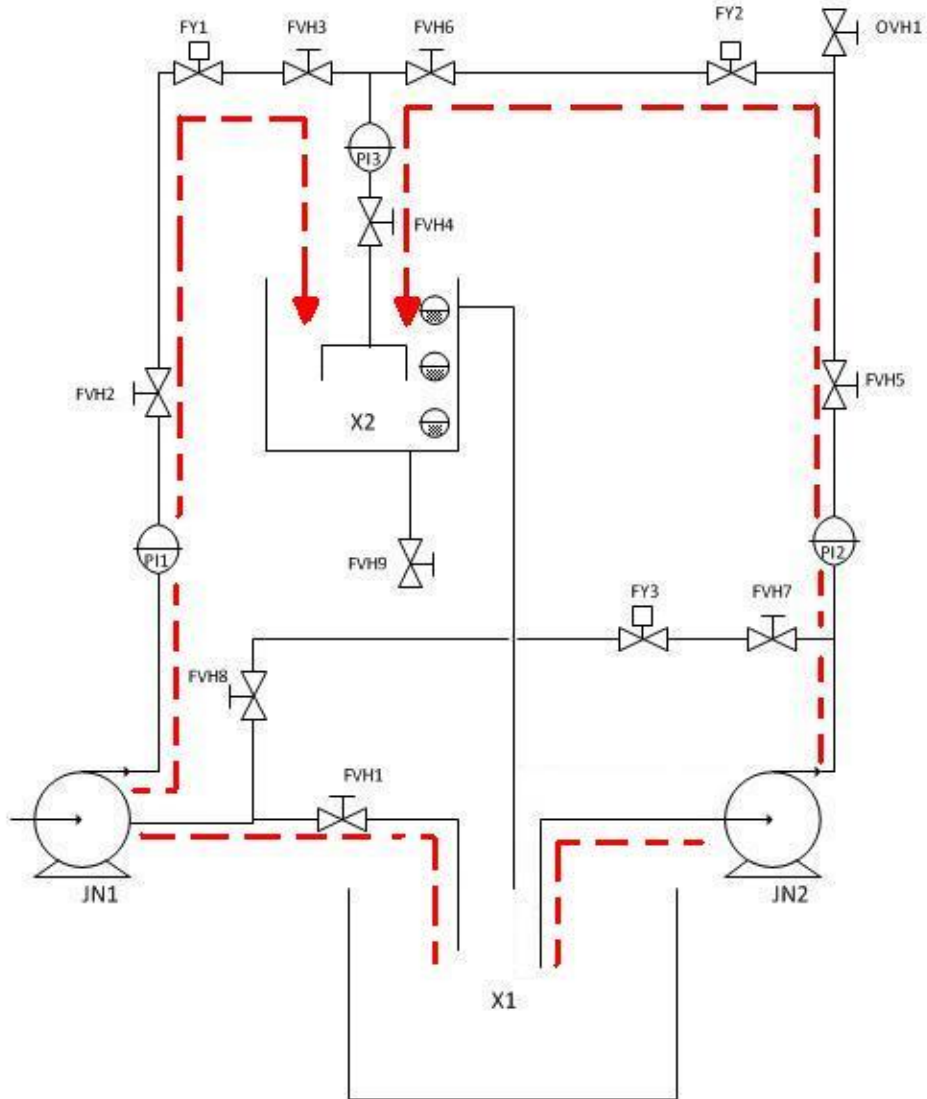


Figura 16 Trayectoria en Paralelo.

2.1.2.2 Trayectoria en Serie

La trayectoria se observa en la figura 17, en ella las dos bombas operan simultáneamente desplazando el fluido desde el tanque X1 hacia el tanque X2 siendo la bomba 1 alimentada por la descarga de la bomba 2, con lo cual existe un aumento de la presión manteniendo un caudal constante.

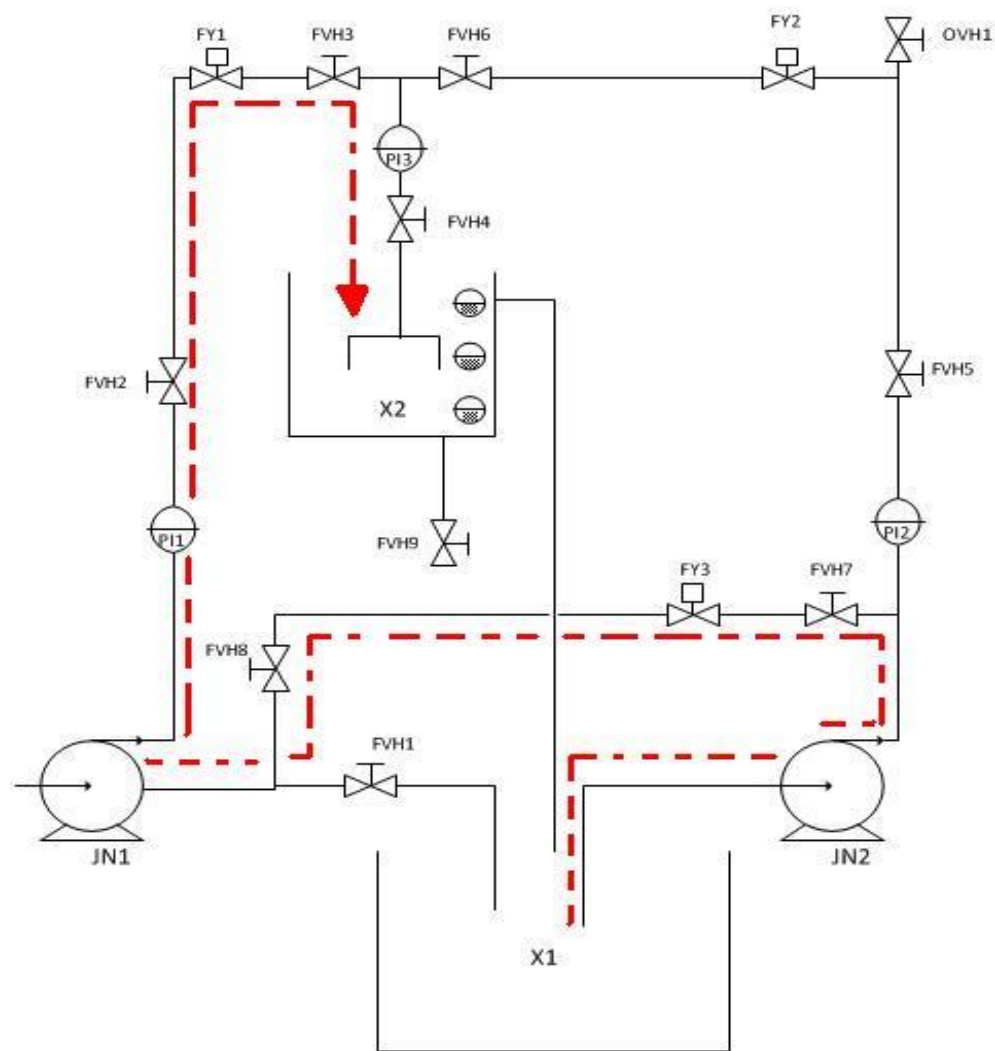


Figura 17 Trayectoria en Serie.

2.1.2.3 Trayectoria Bomba Independiente 1

La trayectoria se observa en la figura 18, en ella la bomba 1 desplaza el fluido desde el tanque X1 hacia el tanque X2 mientras la bomba 2 permanece apagada.

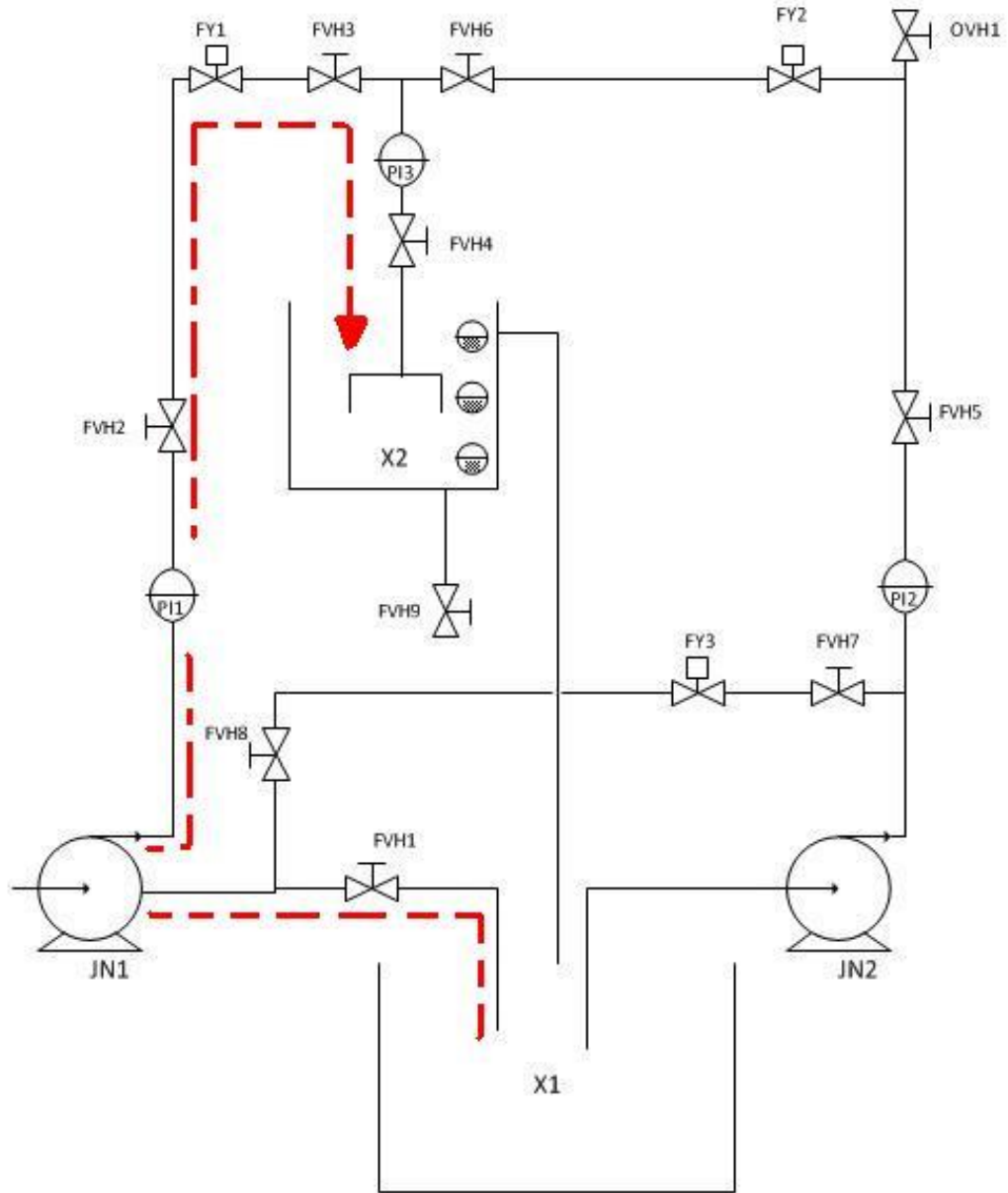


Figura 18 Trayectoria Bomba Independiente 1.

2.1.2.4 Trayectoria Bomba Independiente 2

La bomba 2 desplaza el fluido desde el tanque X1 hacia el tanque X2 mientras la bomba 1 permanece apagada.

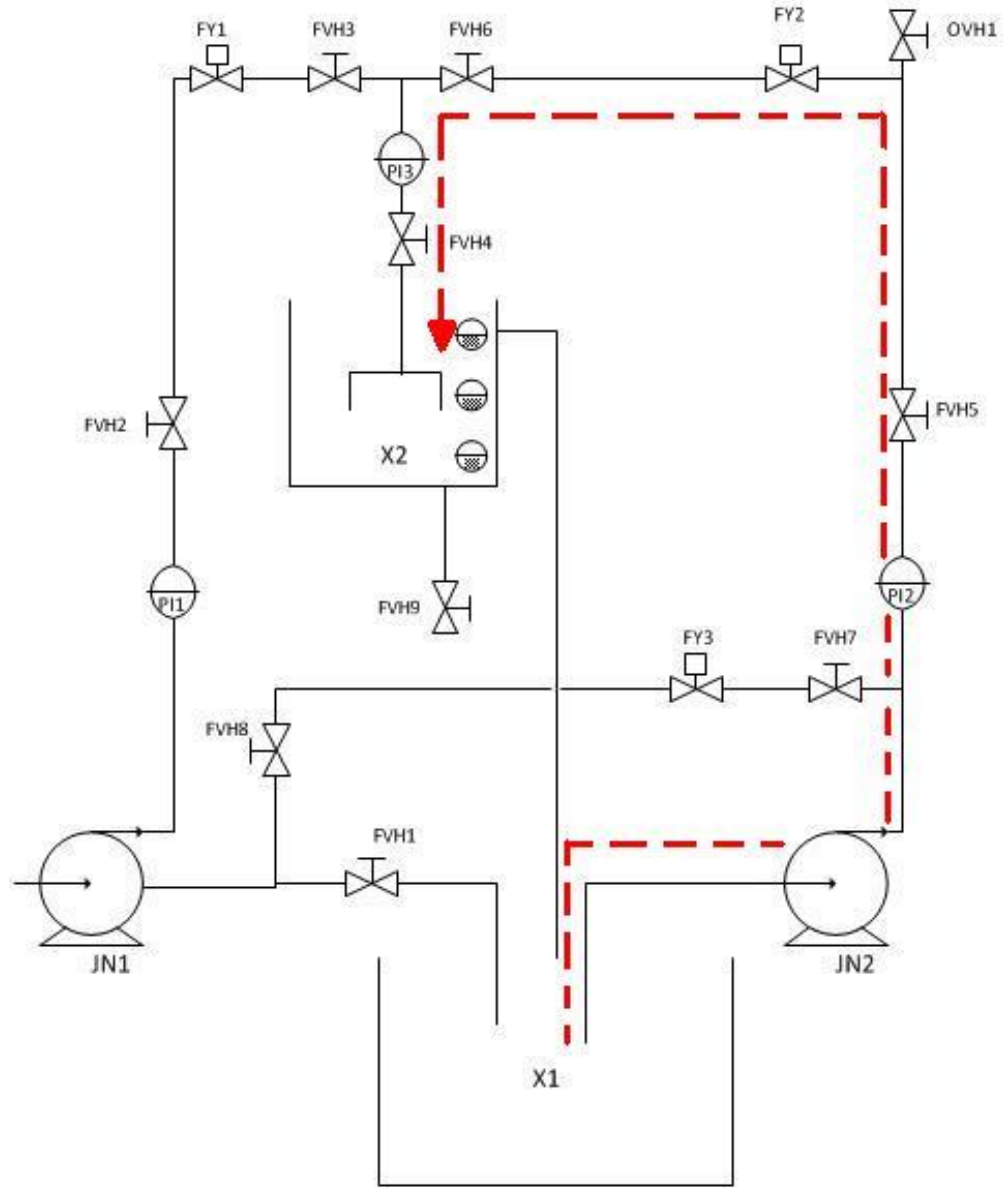


Figura 19 Trayectoria Bomba Independiente 2.

2.1.3 Selección de equipos

2.1.3.1 Bombas

Debido a que en el Laboratorio de Control de Procesos existen dos bombas hidráulicas sin utilizar desde hace aproximadamente 20 años, se decidió emplearlas para la construcción del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas.

Estas bombas son fabricadas por la empresa Ignacio Gómez IHM S.A. y tienen las siguientes características:

- **Diámetro de succión y descarga:** 1 pulgada
- **Potencia:** 0.25 HP
- **Frecuencia:** 60Hz
- **Voltaje:** 115 Voltios
- **Corriente:** 7.8 Amperios
- **Revoluciones:** 3450 R.P.M
- **Modelo:** 1B-1/4
- **Fases:** Monofásico
- **Peso:** 9.5 kg
- **Caudal máximo:** 38 GPM
- **Altura dinámica máxima:** 18 metros

La curva característica de las bombas dada por el fabricante se puede apreciar en la figura 20 [18].

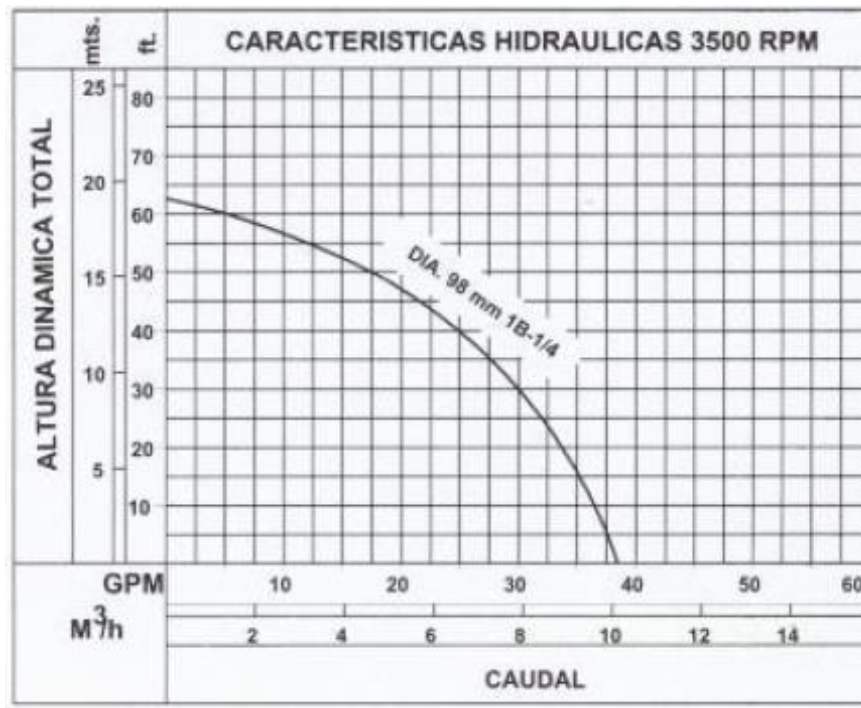


Figura 20 Curva característica Altura Dinámica Vs Caudal.

2.1.3.2 Selección de tubería

La mayoría de instrumentación que se puede encontrar en el mercado (manómetros, electroválvulas, válvulas manuales) tiene una conexión NPT (siglas en inglés para rosca americana cónica para tubos) de media pulgada (1/2"), además de la facilidad de adquisición, los instrumentos para conexiones de media pulgada son los más económicos en el mercado nacional. Teniendo en cuenta también el fluido que circulara por la tubería (agua) y la presión máxima teórica entregada por el tipo de bombas a utilizar (25.6 PSI), se decidió emplear una tubería de PVC de media pulgada para presión de 315 PSI.

Debido a que las bombas tienen una conexión NPT de 1 pulgada (1") cambiar el diámetro en la succión implicaría una insuficiencia en la fuerza, tan grande como para evitar la aspiración del fluido, por ello solo para la succión se utilizó tubería de PVC de 1 pulgada para presión de 200 PSI.

Nota: la conexión de 1/2 pulgada en salidas de 1 pulgada se realiza mediante un buge reductor de 1-1/2 de PVC.

2.1.3.3 Tanques

Para determinar las dimensiones necesarias de los tanques se tomó en cuenta el caudal máximo real entregado por el tipo de bombas a utilizar considerando las pérdidas en la tubería, este caudal tiene un valor de 54 litros por minuto aproximadamente.

El cálculo se realizó para el tanque de recepción (X2) y una vez determinado se pudo establecer las dimensiones para el tanque de almacenamiento (X1).

La fórmula que relaciona el caudal entregado y el tiempo se establece en la ecuación 10.

$$Volumen = Q_{max} * tiempo$$

Ecuación 10

$$Volumen = 54.55 \frac{\text{litros}}{\text{min}} * 1 \text{ minuto}$$

$$Volumen = 54.55 \text{ litros}$$

Para ahorrar tiempo en el desarrollo de las prácticas, especialmente al momento de evacuar el fluido del tanque de recepción X2, se decidió utilizar un recipiente de la mitad del valor requerido; en el mercado nacional fue posible encontrar un tanque plástico de 25 litros aproximadamente porque se ajustaba a los requerimientos.

Dado que el tanque de almacenamiento X1 debía ser más grande que el tanque de recepción X2, se adquirió un recipiente plástico de 40 litros aproximadamente el cual tiene

la mayor capacidad encontrada en el mercado nacional. Este cambio de dimensiones produce entonces que el llenado del tanque X2 se efectuó mucho más rápido que en el cálculo realizado, esto es aproximadamente 40 sg.

Las características de los tanques son expuestas en la tabla 5.

| Característica | Tanque de Almacenamiento X1 | Tanque de Recepción X2 |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Ancho | 25 cm | 32 cm |
| Alto | 35 cm | 32 cm |
| Largo | 45 cm | 24 cm |
| Material | Plástico Transparente | Plástico Transparente |
| Peso | 1,85 kg | 0,80 kg |

Tabla 5 Características Tanques.

2.1.3.4 Electroválvulas

Dada la naturaleza del fluido que circula por la tubería (agua), la presión y caudal del mismo, se encontraron en el mercado una serie de válvulas de accionamiento eléctrico producidas por la empresa EBCHQ que poseen características adecuadas para trabajar en las condiciones requeridas. Estas características se enumeran a continuación:

- **Conexión:** ½"
- **Voltaje:** 110 Voltios
- **Presión:** 0 a 99 PSI
- **Temperatura:** 5 a 80°C

- **Apertura:** 0 a 100%
- **Modelo:**2W-160-15

2.1.3.5 Manómetros

Los manómetros seleccionados miden los rangos dentro de los cuales varían las presiones del fluido dentro de la tubería (51.2 PSI), la fabricación en acrílico los hace muy económicos y visualmente muy fáciles de leer, por otro lado la utilización de glicerina como agente protector del mecanismo interno y anti-oscilaciones es muy útil dadas las vibraciones que se producen por la acción de las motobombas. Las características de los manómetros utilizados se mencionan a continuación:

- **Presión:**0 a 100 psi
- **Temperatura:** 0 a 60 °C
- **Material:** Acrílico
- **Conexión:** ¼"
- **Fabricante:** FTB

2.1.3.6 Válvulas manuales

Para poder generar las diferentes trayectorias que existen en el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas fue necesario instalar 9 válvulas manuales; debido a la facilidad de adquisición, costo y funcionalidad se decidió utilizar válvulas de bola metálicas y de PVC con una conexión NPT de ½ pulgada para su instalación en la tubería.

2.1.3.7 Sensores de Nivel

Para determinar el nivel del fluido en el tanque X2 fue necesario instalar una serie de sensores. Dado que su función es únicamente establecer el nivel, se utilizaron 3 sensores mecánicos de tipo discreto (ON/OFF) los cuales están distribuidos para identificar niveles bajo, medio y alto, soportando una corriente de 0,5 amperios y 12 voltios DC.

2.2 Panel de Control de Mando

Dada la condición de una estructura transportable bajo la cual está basada la arquitectura física de la planta, se hacía necesario diseñar el panel de control de mando dentro de esta misma estructura. Dicho panel de control contiene todos los dispositivos que gobiernan la lógica de tareas secuenciales que realizan los diferentes elementos electrónicos del circuito hidráulico del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas. Unida a este panel de control de mando e instalada también en la estructura del circuito hidráulico, se encuentra la caja botonera, la cual permite al operador accionar las funciones de la planta por medio de los pulsadores dispuestos en ella.

En este panel de control de mando se incluye también el circuito que permite mostrar los estados de los sensores mediante 3 luces piloto que indican niveles alto, medio y bajo, sin embargo este circuito es independiente de la lógica cableada de los relés, ya que va conectado directamente a la red eléctrica y no es gobernado por ningún dispositivo electrónico como contactores, relés o similares.

Para representar cada uno de los elementos eléctricos utilizados en la planta se empleó la norma IEC 1082-1 que define los símbolos gráficos y reglas alfanuméricas que deben utilizarse para identificar los aparatos y diseñar los esquemas de equipos eléctricos. [14] La nomenclatura usada en el diseño de los diagramas de control de mando se encuentra explicada por la tabla 6.

| Elemento | Tag | Símbolo |
|--|-----|---------|
| Contactor | KM | |
| Elemento de Protección | F | |
| Relé Electromecánico | KA | |
| Dispositivo luminoso de señalización | H | |
| Motores | M | |
| Pulsadores | S | |
| Aparatos mecánicos accionados eléctricamente (electroválvulas) | Y | |

Tabla 6 Nomenclatura IEC.

2.2.1 Diseño Circuito de Potencia

El circuito de potencia diseñado permite arrancar de manera independiente las motobombas por medio de dos contactores, en el mismo se han incluido dos relés térmicos para proteger los motores ante eventuales sobrecargas.

Las figuras 21 y 22 muestran respectivamente el diagrama del Circuito de Potencia y de lazo utilizados para la conexión de los motores de las bombas del Banco de Pruebas para Bombas Centrifugas.

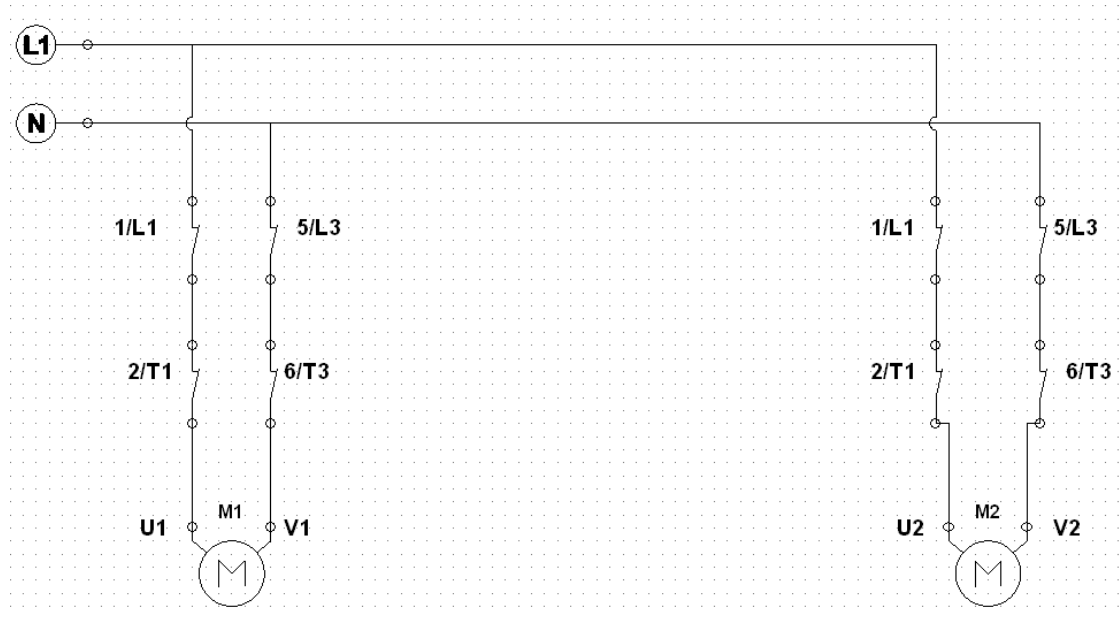


Figura 21 Diagrama Circuito de Potencia.

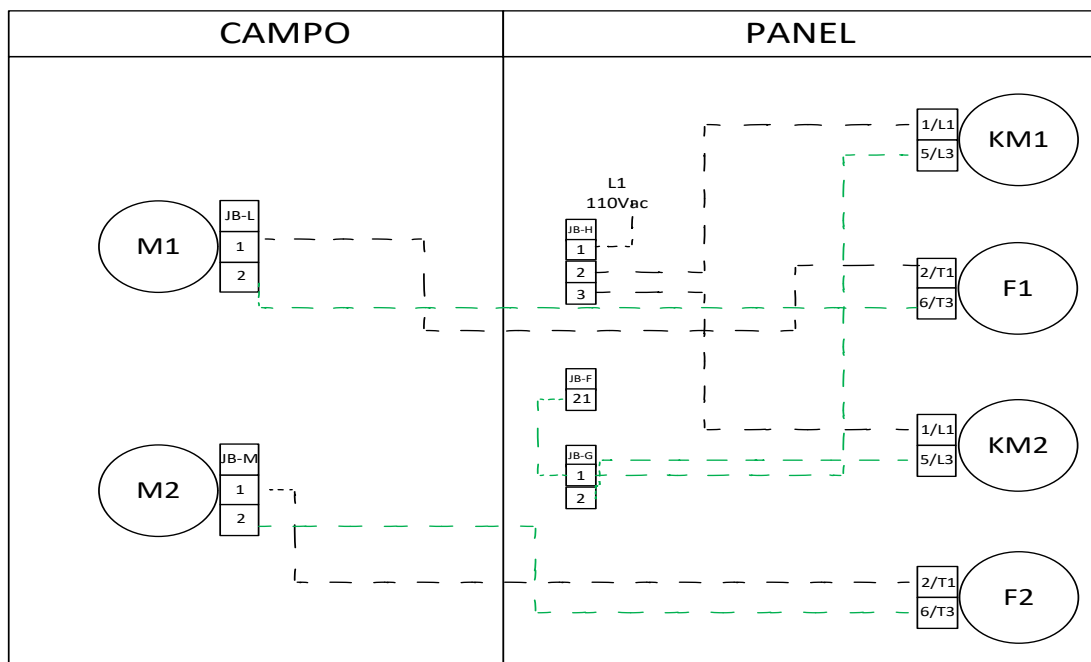


Figura 22 Diagrama de Lazo Circuito de Potencia.

2.2.2 Diseño Circuito de Control de Mando

El diseño del circuito de control de mando se realizó de tal manera que fuera totalmente entendible para los estudiantes que requieran trabajar con él durante las prácticas. Este permite las tareas secuenciales para la activación de 8 luces piloto, 2 motobombas y 3 electroválvulas por medio de 6 pulsadores y una llave selectora.

Dependiendo de la configuración de trabajo de las bombas Centrífugas que el usuario active desde la caja botonera, la lógica cableada acciona una determinada cantidad de instrumentos. La información de los elementos activos o desactivados se transmite al usuario por medio de las luces piloto instaladas en la caja botonera.

La tabla 7 muestra los elementos que el circuito de control de mando activa en cada una de las configuraciones.

| Elemento | | ESTADO EN CONFIGURACIÓN | | | |
|------------------------|-----------------|-------------------------|------------------|-------------|-------------|
| | | Independiente M1 | Independiente M2 | PARALELO | SERIE |
| Motores | Motobomba 1 | Activo | Desactivado | Activo | Activo |
| | Motobomba 2 | Desactivado | Activo | Activo | Activo |
| Contactores | Contactador 1 | Activo | Desactivado | Activo | Activo |
| | Contactador 2 | Desactivado | Activo | Activo | Activo |
| Electroválvulas | Electro 1 | Activo | Desactivado | Activo | Activo |
| | Electro 2 | Desactivado | Activo | Activo | Desactivado |
| | Electro 3 | Desactivado | Desactivado | Desactivado | Activo |
| Luces piloto | Off | Activo | Activo | Activo | Activo |
| | On | Activo | Activo | Activo | Activo |
| | M1 | Activo | Desactivado | Activo | Activo |
| | M2 | Desactivado | Activo | Activo | Activo |
| | Series | Desactivado | Desactivado | Desactivado | Activo |
| | Parallel | Desactivado | Desactivado | Activo | Desactivado |
| | Overload 1 | Desactivado | Desactivado | Desactivado | Desactivado |
| | Overload 2 | Desactivado | Desactivado | Desactivado | Desactivado |
| Llave selectora | Llave selectora | Activo | Activo | Activo | Activo |
| Pulsadores | M1 | Activo | Desactivado | Desactivado | Desactivado |
| | M2 | Desactivado | Activo | Desactivado | Desactivado |
| | Series | Desactivado | Desactivado | Desactivado | Activo |
| | Parallel | Desactivado | Desactivado | Activo | Desactivado |

Tabla 7 Estados de Elementos Eléctricos según configuración

Para el diseño del Circuito de Control de Mando se utilizó la herramienta software AUTOMATION STUDIO. La figura 23 muestra el diagrama eléctrico del Circuito de Control de Mando del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas.

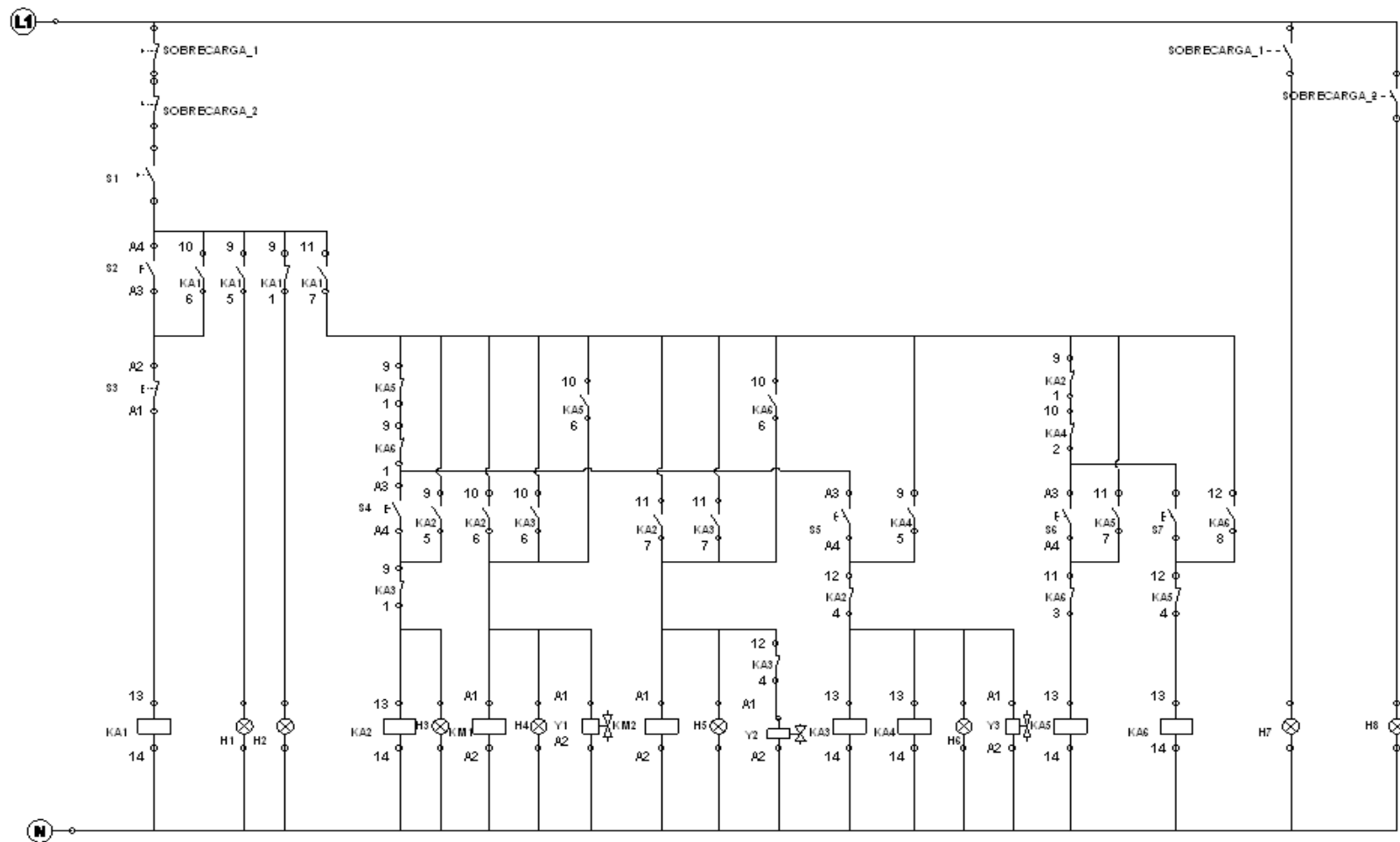


Figura 23 Diagrama Circuito de Control de Mando.

2.2.3 Selección de equipos

2.2.3.1 Contactor

La planta cuenta con 2 contactores marca CHINT modelo NC1-1210 con un máximo de corriente de 12 amperios y 220 voltios. Esta elección se basó en el valor máximo de corriente de trabajo de cada una de las bombas, el cual es de 7.8 amperios.

2.2.3.2 Relé Térmico

Para proteger adecuadamente las motobombas cada uno de los dos relés térmicos de la planta permite el paso de corriente desde 5.5 amperios hasta máximo 8 amperios.

2.2.3.3 Relé Electromecánico

Para realizar las tareas secuenciales de las 4 configuraciones de la planta se instalaron en el panel de control 6 relés electromecánicos de 14 pines cada uno los cuales se alimentan con 110 voltios de la red eléctrica y soportan un máximo de 5 amperios.

2.2.3.4 Llave Selectora

Para el encendido de la planta se utilizó una llave selectora de 3 posiciones, de las cuales sólo se utilizan dos, una para encender y otra para apagar.

2.2.3.5 Pulsador

Los pulsadores utilizados son dispositivos plásticos de 22 mm de diámetro que operan con un voltaje de 110 voltios. Se empleó un pulsador de color rojo normalmente cerrado para detener cualquier proceso de la planta y 5 de color verde normalmente abiertos para energizar la planta y accionar cada una de las configuraciones.

2.2.3.6 Luz Piloto

Las luces piloto utilizadas indican los estados en los que se encuentra el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas, todas se energizan con un voltaje de 110 voltios.

2.2.3.7 Breaker

Para proteger el circuito de control de mando se instaló un breaker de 1 amperio, este valor se calculó a partir de la máxima corriente requerida por el conjunto de relés, electroválvulas, luces piloto y contactares que se accionan en cada configuración, la cual llega a un máximo de 680 mA.

2.2.3.8 Cable

La selección del cableado se realizó considerando el máximo de corriente soportado por los dispositivos eléctricos utilizados, el cual está entre los 5 y los 16 amperios. Basándose en el sistema de calibre americano (AWG: American Wire Gauge) se adquirió cable de calibre 18 el cual es el recomendado para corrientes de 5 a 14 amperios a 90°C y cable de calibre 16 para corrientes de 10-18 amperios a 90 C.

Los colores del cable utilizado son: negro para las conexiones en general, amarillo para las conexiones asociadas a las sobrecargas y verde para las de neutro. Para diferenciar las borneras se utilizaron además de los mencionados, los colores rojo, azul y blanco.

CAPÍTULO 3

3. IMPLEMENTACIÓN

3.1 Construcción

Después de haber realizado el análisis de requerimientos y haber obtenido el diseño del banco de pruebas para bombas Centrífugas se procedió a desarrollar la construcción de éste.

Inicialmente se fabricó la estructura en la cual se emplazarían todos los elementos hidráulicos y eléctricos que componen el sistema, teniendo en cuenta las dimensiones y la movilidad del mismo. Una vez construido el armazón metálico, se llevó a cabo la instalación de las bombas centrífugas para posteriormente realizar la compra de los materiales e instrumentación y la toma de medidas de las tuberías.

Habiendo realizado el montaje se procedió a ejecutar pruebas manuales conectando las bombas y las electroválvulas directamente a la red eléctrica con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de las 4 configuraciones de la plataforma experimental.

Para la implementación del circuito de control de mando fue necesario instalar un panel en la estructura sobre el cual se dispuso tanto el cableado como los dispositivos eléctricos dentro de los que se encuentran relés, contactores, fusibles y borneras.

A continuación se fabricó la caja botonera donde se dispusieron todos los pulsadores y luces piloto que permiten accionar la planta y verificar sus estados y se instaló también en la estructura.

Por último se procedió a etiquetar el cableado y los instrumentos según las normas explicadas en el capítulo 1 de esta monografía.

3.2 Descripción Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas

El Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas implementado, permite el estudio y la comprensión de los sistemas instrumentados, los diagramas de potencia y los diagramas de mando, así como también el funcionamiento de las bombas centrífugas y la instrumentación asociada a ellas.

Esta plataforma experimental cuenta con dos tanques plásticos, uno destinado al almacenamiento denominado X1 y otro destinado a la recepción denominado X2, estos tanques tienen una capacidad volumétrica de 40 y 24 litros respectivamente.

El fluido utilizado es agua a temperatura ambiente, esta es succionada por dos bombas centrífugas ubicadas en los laterales del tanque X1 e impulsada hacia el tanque X2 el cual se encuentra en un nivel superior.

La succión de las bombas desde el tanque de almacenamiento se hace por medio de tuberías de 1 pulgada, sin embargo la descarga se hace a través de tuberías de ½ pulgada, razón por la cual hay una pérdida importante en el caudal transportado.

En las tuberías se encuentran instaladas 8 válvulas manuales y 3 electroválvulas las cuales restringen o permiten el paso del fluido desde el tanque de almacenamiento X1 hasta el tanque de recepción X2; abriendo o cerrando secuencialmente dichos instrumentos se configura cada una de las 4 trayectorias posibles dentro del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas.

Las tareas secuenciales que realizan tanto las bombas como las electroválvulas están programadas mediante 6 relés electromecánicos instalados en un panel de control de mando situado junto al tanque de recepción X2 y se accionan a través de una serie de pulsadores ubicados en una caja botonera situada cerca del panel de control. Dicho panel

se energiza desde la red eléctrica de 110 voltios con un cable de alimentación instalado en la parte posterior del mismo.

El Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas cuenta además con 3 manómetros de glicerina capaces de medir rangos de presión de 0 a 100 PSI los cuales están ubicados en las descargas de cada una de las bombas y en la tubería de descarga hacia el tanque de recepción X2, esto permite determinar la presión de cada una de las bombas independientemente o en su acción conjunta.

La instrumentación del circuito hidráulico está etiquetada para su identificación bajo la norma ISA S5.1 a diferencia de la instrumentación en panel que se ha etiquetado de acuerdo a la norma IEC 1082-1, este sistema de marcación será usado por los estudiantes para identificar las conexiones eléctricas del circuito de control de mando y del circuito de control de potencia y desarrollar las prácticas de familiarización con diagramas de circuitos propuestas en las guías de laboratorio incluidas en los anexos.

Nota: se ha incluido en el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas una válvula para cebar las bombas, dado que el modelo de las mismas es demasiado antiguo y no hay forma de hacerlo sin retirar parte de la tubería, se instaló la válvula OVH1 la cual permite cebar la bomba 2 de una manera más sencilla; para cebar la bomba 1 solo basta con accionar el sistema en serie.

La figura 25 muestra el montaje físico del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas en el cual incluye el circuito hidráulico y el panel de control de mando.



Figura 24 Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas.

3.2 Funcionamiento del Banco de Bombas Centrífugas

Con el fin de conocer el funcionamiento del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas se describe y desarrolla en este aparte una de las guías propuestas para el trabajo con los estudiantes; adicionalmente se han generado 3 guías con las cuales es posible realizar un estudio más profundo de diferentes teorías expuestas en el salón de clases, estos documentos se pueden encontrar anexos de esta monografía.

3.2.1 Objetivos

- Identificar las diferentes configuraciones en las que puede operar el sistema.

- Determinar las curvas características de un sistema de bombeo operando individualmente, en serie y en paralelo.
- Conocer y relacionar las conexiones de entrada y salida de los instrumentos del panel de control de mando.
- Familiarizar al estudiante con el sistema de marcación del cableado.

3.2.2 Material Necesario

- Cronómetro
- Multímetro

3.2.3 Procedimiento Bombas

3.2.3.1 Configuración M1

1. Conectar el banco de pruebas a la red eléctrica de 110 voltios.
2. **ASEGURARSE QUE LA VÁLVULA DE PURGA (OVH1) ESTE CERRADA TOTALMENTE.**
3. Cerrar totalmente la válvula manual FVH9 que corresponde al desagüe del TANQUE X2.
4. **Configuración Manual**
Manipular las válvulas manuales para obtener la Configuración de trabajo de la motobomba 1, esto es:
 - Abrir totalmente: FVH1, FVH2, FVH3 y FVH4.
 - Cerrar totalmente: FVH7, FVH8, FVH5 y FVH6.
5. **Con la válvula FVH4 totalmente abierta encender la planta desde la botonera:**
 - Mover el breaker F3 hacia arriba energizando la planta para su funcionamiento.

- Mover la llave selectora hacia la opción “ON” con lo cual se encenderá la luz piloto roja etiquetada como “OFF” que indica que la planta ya está energizada.
- Pulsar el botón “START” con lo cual se encenderá la luz piloto verde etiquetada como “ON” que indica que el Banco de Pruebas ya está listo para empezar.
- Una vez se encienda la luz piloto “ON” pulsar el botón M1 con lo cual la planta empezará a funcionar, observe que el piloto M1 de color amarillo se encenderá indicando que la motobomba 1 está encendida.

6. Cronometrar 10 segundos y mientras la planta está en funcionamiento registrar en la tabla 8.

- Valor de presión indicado por los manómetros PI1, PI2 y PI3.
 - Nivel (volumen) del agua en el Tanque “X2” .
 - Tiempo tomado.
7. Pulsar el botón “STOP”; observar que solamente la luz piloto roja etiquetada como “OFF” permanece encendida, lo cual indica que la planta está parada.
8. Abrir completamente la válvula de desagüe FVH9 hasta que el Tanque “X2” se vacíe. Una vez vacío el tanque, cerrar nuevamente la válvula FVH9 y repetir 5 veces el procedimiento desde el paso 4 para determinar el promedio del volumen y del tiempo (descartar las mediciones erróneas).

9. Cálculo del caudal

Para hallar el caudal que entrega el sistema se debe dividir el volumen promedio entre el tiempo promedio, una vez hallado registrarlo en la tabla 8.

10. Repetir el procedimiento de los pasos 4, 5, 6, 7 y 8, con la válvula FVH4 abierta en un 70%, 50%, 20% y finalmente cerrada totalmente. Registrar los resultados en la tabla 8.

11. **Con los valores obtenidos realizar la gráfica Caudal Vs Presión en el manómetro 3 (PI3)**

NOTA: SE DEBE LLENAR UNA TABLA POR CADA CONFIGURACIÓN

3.2.3.2 Configuración M2

1. **ASEGURARSE QUE LA VÁLVULA DE PURGA (OVH1) ESTE CERRADA TOTALMENTE.**

2. Cerrar totalmente la válvula manual FVH9 que corresponde al desague del TANQUE X2.

3. **Configuración Manual**

Manipular las válvulas manuales para obtener la Configuración de trabajo de la motobomba 2, esto es:

- Abrir totalmente: FVH5, FVH6 y FVH4.
- Cerrar totalmente: FVH1, FVH2, FVH3, FVH7 y FVH8.

4. **Con la válvula FVH4 totalmente abierta encender la planta desde la botonera:**

- Pulsar el botón "START" con lo cual se encenderá la luz piloto verde etiquetada como "ON" que indica que el Banco de Pruebas ya está listo para empezar.
- Una vez se encienda la luz piloto "ON" pulsar el botón M2 con lo cual la planta empezara a funcionar, observe que el piloto M2 de color amarillo se encenderá indicando que la motobomba 2 está encendida.

5. **Cronometrar 10 segundos y mientras la planta esta en funcionamiento registrar en la tabla 8.**

- Valor de presión indicado por los manómetros PI1, PI2 y PI3.
- Nivel (volumen) del agua en el Tanque "X2" .
- Tiempo tomado.

6. Pulsar el botón "STOP"; observar que sólomente la luz piloto roja etiquetada como "OFF" permanece encendida, lo cual indica que la planta está parada.
7. Abrir completamente la válvula de desagüe FVH9 hasta que el Tanque "X2" se vacíe. Una vez vacío el tanque, cerrar nuevamente la válvula FVH9 y repetir 5 veces el procedimiento desde el paso 4 para determinar el promedio del volumen y del tiempo (descartar las mediciones erróneas).

8. **Cálculo del caudal**

Para hallar el caudal que entrega el sistema se debe dividir el volumen promedio entre el tiempo promedio, una vez hallado registrarlo en la tabla 8.

9. Repetir el procedimiento de los pasos 4, 5, 6, 7 y 8, con la válvula FVH4 abierta en un 70%, 50%, 20% y finalmente cerrada totalmente. Registrar los resultados en la tabla 8.
10. **Con los valores obtenidos realizar la gráfica Caudal Vs Presión en el manómetro 3 (PI3)**

3.2.3.2 Configuración Paralelo

1. **ASEGURARSE QUE LA VÁLVULA DE PURGA (OVH1) ESTÉ CERRADA TOTALMENTE.**
2. Cerrar totalmente la válvula manual FVH9 que corresponde al desagüe del TANQUE X2.
3. **Configuración Manual**
Manipular las válvulas manuales para obtener la configuración de trabajo de las bombas en paralelo, esto es:
 - Abrir totalmente: FVH1, FVH2, FVH3, FVH4, FVH5 y FVH6.

- Cerrar totalmente: FVH7 y FVH8.

4. Con la válvula FVH4 totalmente abierta encender la planta desde la botonera:

- Pulsar el botón “START” con lo cual se encenderá la luz piloto verde etiquetada como “ON” que indica que el Banco de Pruebas ya esta listo para empezar.
- Una vez se encienda la luz piloto “ON” pulsar el botón PARALLEL con lo cual la planta empezara a funcionar, observe que los pilotos M1, M2 y Parallel de color amarillo se encenderán indicando que 2 motobombas estan activas y que la configuración actual es paralelo..

5. Cronometrar 10 segundos y mientras la planta está en funcionamiento registrar en la tabla 8.

- Valor de presión indicado por los manómetros PI1, PI2 y PI3.
 - Nivel (volumen) del agua en el Tanque “X2” .
 - Tiempo tomado.
6. Pulsar el botón “STOP”; observar que solamente la luz piloto roja etiquetada como “OFF” permanece encendida, lo cual indica que la planta esta parada.
7. Abrir completamente la válvula de desague FVH9 hasta que el Tanque “X2” se vacie. Una vez vacío el tanque, cerrar nuevamente la válvula FVH9 y repetir 5 veces el procedimiento desde el paso 4 para determinar el promedio del volumen y del tiempo (descartar las mediciones erróneas).

8. Cálculo del caudal

Para hallar el caudal que entrega el sistema se debe dividir el volumen promedio entre el tiempo promedio, una vez hallado registrarlo en la tabla 8.

9. Repetir el procedimiento de los pasos 4, 5, 6, 7 y 8, con la válvula FVH4 abierta en un 70%, 50%, 20% y finalmente cerrada totalmente. Registrar los resultados en la tabla 8.
10. **Con los valores obtenidos realizar la gráfica Caudal Vs Presión en el manómetro 3 (PI3)**

3.2.3.2 Configuración Serie

1. **ASEGURARSE QUE LA VÁLVULA DE PURGA (OVH1) ESTÉ CERRADA TOTALMENTE.**
2. Cerrar totalmente la válvula manual FVH9 que corresponde al desagüe del TANQUE X2.
3. **Configuración Manual.**

Manipular las válvulas manuales para obtener la configuración de trabajo de la motobomba 1, esto es:

 - Abrir totalmente: FVH2, FVH3, FVH4, FVH7 y FVH8.
 - Cerrar totalmente: FVH1, FVH5 y FVH6.
4. **Con la válvula FVH4 totalmente abierta encender la planta desde la botonera:**
 - Pulsar el botón "START" con lo cual se encenderá la luz piloto verde etiquetada como "ON" que indica que el Banco de Pruebas ya está listo para empezar.
 - Una vez se encienda la luz piloto "ON" pulsar el botón SERIES con lo cual la planta empezará a funcionar, observe que los pilotos M1, M2 Y SERIES de color amarillo se encenderán indicando que las 2 motobombas están activas y que la configuración actual es serie.
5. **Cronometrar 10 segundos y mientras la planta está en funcionamiento registrar en la tabla 8.**

- Valor de presión indicado por los manómetros PI1, PI2 y PI3.
 - Nivel (volumen) del agua en el Tanque "X2" .
 - Tiempo tomado.
6. Pulsar el botón "STOP"; observar que solamente la luz piloto roja etiquetada como "OFF" permanece encendida, lo cual indica que la planta está parada.
 7. Abrir completamente la válvula de desagüe FVH9 hasta que el Tanque "X2" se vacíe. Una vez vacío el tanque, cerrar nuevamente la válvula FVH9 y repetir 5 veces el procedimiento desde el paso 4 para determinar el promedio del volumen y del tiempo (descartar las mediciones erróneas).

8. **Cálculo del caudal.**

Para hallar el caudal que entrega el sistema se debe dividir el volumen promedio entre el tiempo promedio, una vez hallado registrarlo en la tabla 8.

9. Repetir el procedimiento de los pasos 4, 5 , 6 , 7 y 8, con la válvula FVH4 abierta en un 70%, 50%, 20% y finalmente cerrada totalmente (CERRADA TOTALMENTE POR MÁXIMO 3 SEGUNDOS). Registrar los resultados en la tabla 8.
10. **Con los valores obtenidos realizar la gráfica Caudal Vs Presión en el manómetro 3 (PI3).**

| VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 70% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 50% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 20% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE CERRADA | | |
|---------------------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|---------------------------------------|-------------|------------------|
| Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) |
| 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | | 1 | 10 | 0 |
| 2 | | | 2 | | | 2 | | | 2 | | | Caudal 5 | | |
| 3 | | | 3 | | | 3 | | | 3 | | | Valor | Unidades | |
| 4 | | | 4 | | | 4 | | | 4 | | | 0 | lt/sg | |
| 5 | | | 5 | | | 5 | | | 5 | | | Presión 5 | | |
| promedio | | | promedio | | | Promedio | | | promedio | | | | Valor | Unidades |
| Caudal 1 | | | Caudal 2 | | | Caudal 3 | | | Caudal 4 | | | PI1 | | PSI |
| Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | PI2 | | PSI |
| | lt/sg | | | lt/sg | | | lt/sg | | | lt/sg | | PI3 | | PSI |
| Presión 1 | | | Presión 2 | | | Presión 3 | | | Presión 4 | | | | | |
| | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | | |
| PI1 | | PSI | PI1 | | PSI | PI1 | | PSI | PI1 | | PSI | | | |
| PI2 | | PSI | PI2 | | PSI | PI2 | | PSI | PI2 | | PSI | | | |
| PI3 | | PSI | PI3 | | PSI | PI3 | | PSI | PI3 | | PSI | | | |

Tabla 8 Registro de Datos.

Responder las siguientes preguntas:

1. ¿Qué ocurre con la presión en los diferentes manómetros cuando la válvula FVH4 se va cerrando hasta evitar totalmente el paso de flujo?

2. ¿Qué configuración entrega un mayor caudal?
3. ¿Qué configuración genera una mayor presión?
4. ¿Qué ocurre cuando el manómetro PI3 marca 0 PSI?

3.2.4 Procedimiento Instrumentacion

Los procedimientos de verificación de instrumentación deben realizarse con la planta desconectada de lo contrario en caso de hacerse mediciones con el multímetro, éstas podrían resultar erróneas.

3.2.4.1 Etiquetas

Completar las tablas 9 a14 con la información faltante de las etiquetas asociadas a cada elemento, en caso de presentarse dudas sobre las conexiones utilizar el multímetro.

| Bornera | Entrada | Pulsadores | Salida | Bornera |
|---------|---------|-----------------|--------|---------|
| | A4 | Llave Selectora | A3 | |
| | A4 | Start | A3 | |
| | A2 | Stop | A1 | |
| | A3 | M1 | A4 | |
| | A3 | M2 | A4 | |
| | A3 | Series | A4 | |
| | A3 | Parallel | A4 | |

Tabla 9 Etiquetas Pulsadores

| Bornera | Entrada | Piloto | Neutro | Bornera |
|---------|---------|-----------|--------|---------|
| | X1 | ON | X2 | |
| | X1 | OFF | X2 | |
| | X1 | M1 | X2 | |
| | X1 | M2 | X2 | |
| | X1 | SERIES | X2 | |
| | X1 | PARALLEL | X2 | |
| | X1 | OVERLOAD1 | X2 | |
| | X1 | OVERLOAD2 | X2 | |

Tabla 10 Etiquetas Pilotos.

| Contacto | Contactador 1 (KM1) | Contactador 2 (KM2) |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| A1 | | |
| A2 | | |
| 1/L1 | | |
| 3/L2 | | |
| 5/L3 | | |
| 13NO | | |
| 2/T1 | | |
| 4/T2 | | |
| 6/T3 | | |
| 14NO | | |

Tabla 11 Etiquetas Contactores.

| Contacto | Relé Térmico 1 (F1) | Relé Térmico 2 (F2) |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| 98 | | |
| 97 | | |
| 96 | | |
| 95 | | |
| 2/T1 | | |
| 4/T2 | | |
| 6/T3 | | |

Tabla 12 Etiquetas Relés.

| Contactos | Motobomba 1 (M1) | Motobomba 2 (M2) |
|------------------|-------------------------|-------------------------|
| U | | |
| V | | |

Tabla 13 Etiquetas Motores.

| Contactos | Electroválvula 1 (Y1) | Electroválvula 2 (Y2) | Electroválvula 3 (Y3) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1 | | | |
| A2 | | | |

Tabla 14 Etiquetas Electroválvulas.

3.2.4.2. Diagrama de lazo

Verificar las conexiones en el diagrama de lazo mostardo en la figura 25 y determinar cual o cuales son los errores presentes en dicha conexión, de ser encontrado o encontrados corregirlos de manera que su etiqueta corresponda a la de la conexión y realizar el respectivo diagrama de lazo corregido. En caso de dudas utilizar el multímetro.

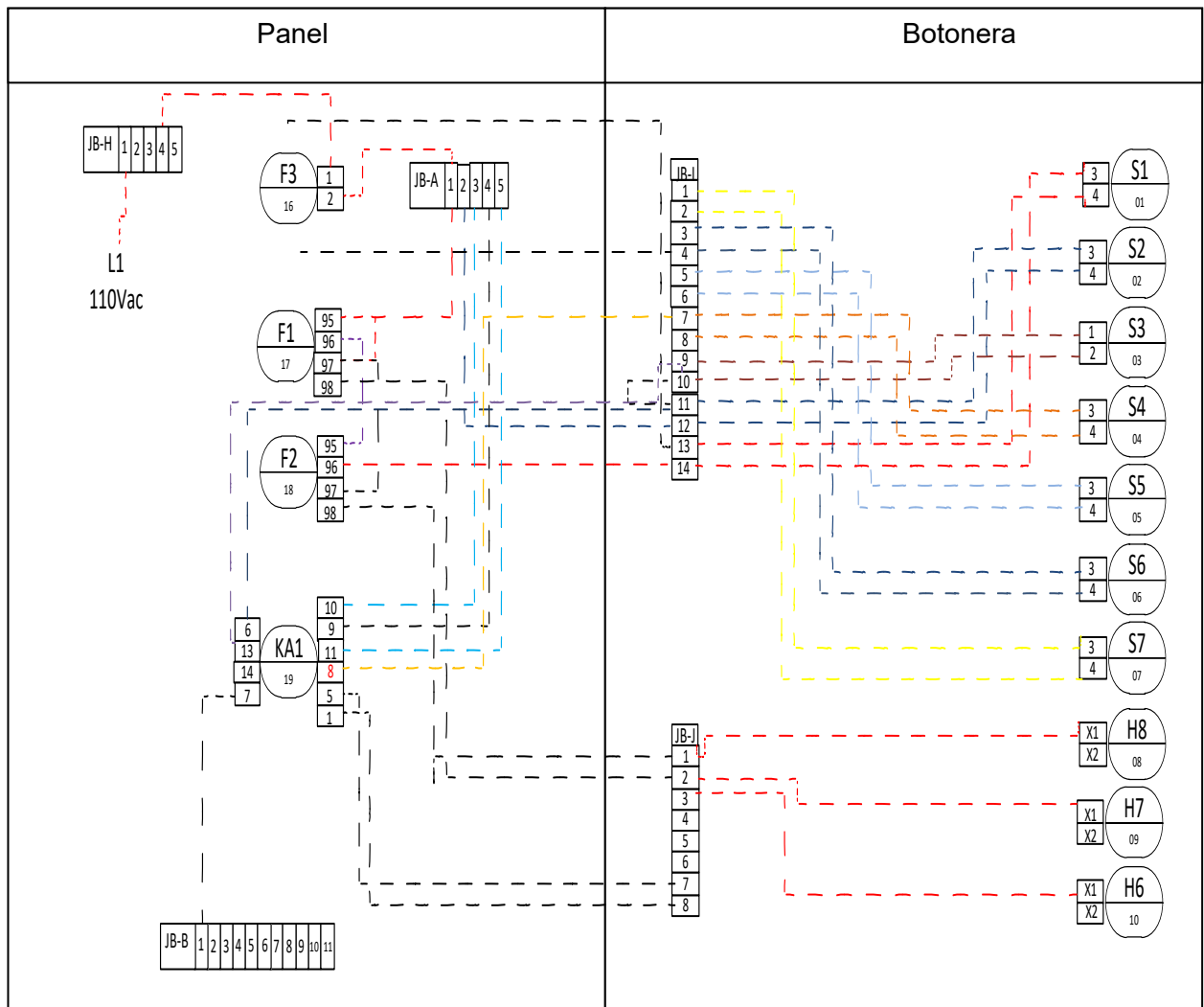


Figura 25 Diagrama de Lazo.

3.2.4. Análisis de Resultados

Una vez realizada la práctica se llenaron las tablas correspondientes y se grafico las relaciones entre caudal y presión de cada una de las configuraciones de las bombas. Por

ultimo se respondieron las preguntas y se verifico las conexiones para resolver el procedimiento sobre etiquetado y diagramas de lazo.

3.2.4.1 Configuración M1

| VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 70% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 50% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 20% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE CERRADA | | |
|---------------------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|---------------------------------------|-------------|------------------|
| Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) |
| 1 | 10,28 | 9,804 | 1 | 10,28 | 8,98 21 | 1 | 10,44 | 7,37 14 | 1 | 10,2 5 | 3,63 598 | 1 | 10 | 0 |
| 2 | 10,25 | 9,804 | 2 | 9,96 | 8,57 08 | 2 | 10,29 | 6,92 59 | 2 | 10,0 4 | 3,55 3732 | Caudal 5 | | |
| 3 | 10,19 | 9,804 | 3 | 10,25 | 8,57 08 | 3 | 10,19 | 7,37 14 | 3 | 10,2 2 | 3,63 598 | Valor | Unidades | |
| 4 | 10,22 | 9,804 | 4 | 10,16 | 8,57 08 | 4 | 10,25 | 7,28 23 | 4 | 10,0 9 | 3,59 4856 | 0 | lt/sg | |
| 5 | 9,97 | 9,393 | 5 | 10,2 | 8,57 08 | 5 | 9,93 | 7,01 5 | 5 | 10,0 9 | 3,55 3732 | Presión 5 | | |
| promedio | 10,182 | 9,7218 | promedio | 10,17 | 8,65 306 | promedio | 10,22 | 7,19 32 | promedio | 10,1 38 | 3,59 4856 | Valor | Unidades | |
| Caudal 1 | | | Caudal 2 | | | Caudal 3 | | | Caudal 4 | | | PI1 | 24 | PSI |
| Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | PI2 | 0 | PSI |
| 0,9548025 | lt/sg | | 0,850841 | lt/sg | | 0,703835 | lt/sg | | 0,354592 | lt/sg | | PI3 | 25 | PSI |
| Presión 1 | | | Presión 2 | | | Presión 3 | | | Presión 4 | | | | | |
| | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | | |
| PI1 | 0 | PSI | PI1 | 20 | PSI | PI1 | 22 | PSI | PI1 | 24 | PSI | | | |
| PI2 | 20 | PSI | PI2 | 0 | PSI | PI2 | 0 | PSI | PI2 | 0 | PSI | | | |
| PI3 | 0 | PSI | PI3 | 5 | PSI | PI3 | 12 | PSI | PI3 | 22 | PSI | | | |

Tabla 15 Valores Obtenidos para Configuración M1.

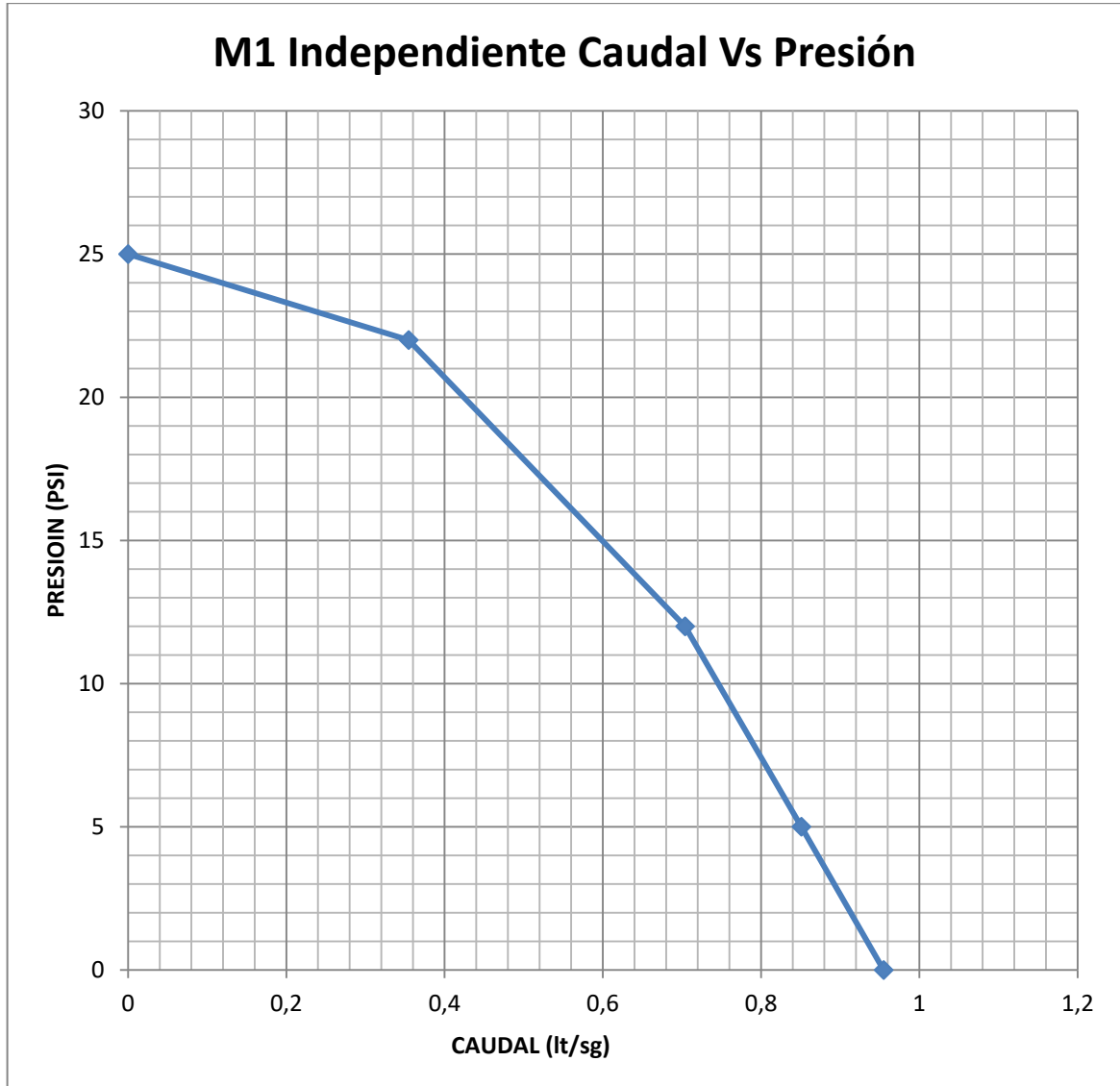


Figura 26 Curva Caudal vs Presión Configuración M1.

3.2.4.2 Configuración M2

| VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 70% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 50% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 20% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE CERRADA | | |
|---------------------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|---------------------------------------|-------------|------------------|
| Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) |
| 1 | 10,28 | 7,954 | 1 | 10,32 | 6,144544 | 1 | 10,37 | 2,690128 | 1 | 10,18 | 1,29912 | 1 | 10 | 0 |
| 2 | 10,25 | 8,15962 | 2 | 10,22 | 5,938924 | 2 | 10,22 | 2,649004 | 2 | 9,88 | 1,16854 | Caudal 5 | | |
| 3 | 10,19 | 8,15962 | 3 | 10,25 | 6,10342 | 3 | 9,97 | 2,484508 | 3 | 10,16 | 1,127416 | Valor | Unidades | |
| 4 | 9,91 | 8,036248 | 4 | 10,06 | 5,8978 | 4 | 10,22 | 2,484508 | 4 | 10,28 | 1,16854 | 0 | lt/sg | |
| 5 | 10,28 | 8,241868 | 5 | 10,01 | 6,144544 | 5 | 10,03 | 2,525632 | 5 | 10 | 1,086292 | Presión 5 | | |
| promedio | 10,182 | 8,1102712 | promedio | 10,19 | 6,0458464 | promedio | 10,162 | 2,566756 | promedio | 10,1 | 1,1699816 | Valor | Unidades | |
| Caudal 1 | | | Caudal 2 | | | Caudal 3 | | | Caudal 4 | | | PI1 | 0 | PSI |
| Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | PI2 | 23 | PSI |
| 0,79653026 | | lt/sg | 0,593311 | | lt/sg | 0,252583 | | lt/sg | 0,115839 | | lt/sg | PI3 | 24 | PSI |
| Presión 1 | | | Presión 2 | | | Presión 3 | | | Presión 4 | | | | | |
| Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | | | |
| PI1 | | 0 PSI | PI1 | | 0 PSI | PI1 | | 0 PSI | PI1 | | 0 PSI | | | |
| PI2 | | 18 PSI | PI2 | | 20 PSI | PI2 | | 21 PSI | PI2 | | 22 PSI | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|---|-----|-----|---|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|
| PI3 | 0 | PSI | PI3 | 8 | PSI | PI3 | 19 | PSI | PI3 | 22 | PSI |
|-----|---|-----|-----|---|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|

Tabla 16 Valores Obtenidos para Configuración M2.

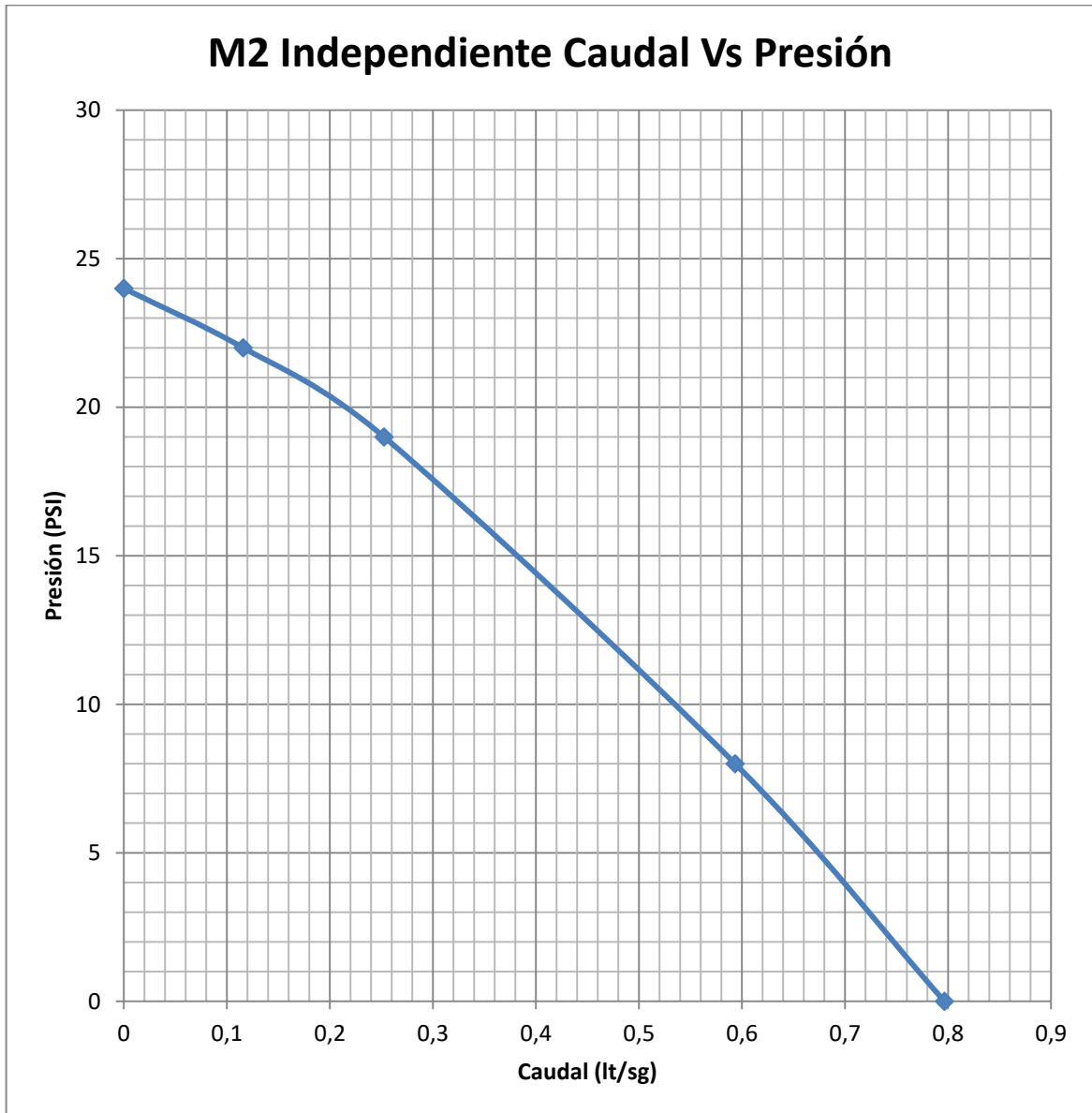


Figura 27 Curva Caudal vs Presión Configuración M2.

3.2.4.3 Configuración Paralelo

| VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 70% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 50% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 20% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE CERRADA | | |
|---------------------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|-----------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|----------------|-------------------|---------------------------------------|--------------|------------------|
| Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) |
| 1 | 10,06 | 14,73 946 | 1 | 9,8 4 | 11,77 8532 | 1 | 10, 22 | 9,72 2332 | 1 | 10, 47 | 8,15 962 | 1 | 10 | 0 |
| 2 | 10,09 | 14,65 7212 | 2 | 10, 19 | 12,18 9772 | 2 | 10, 22 | 9,72 2332 | 2 | 10, 07 | 7,91 2876 | Caudal 5 | | |
| 3 | 10,28 | 14,86 2832 | 3 | 9,9 7 | 11,94 3028 | 3 | 10, 38 | 9,84 5704 | 3 | 9,9 4 | 7,74 838 | Valor | Unida des | |
| 4 | 10,12 | 14,82 1708 | 4 | 10, 15 | 12,23 0896 | 4 | 10, 18 | 9,59 896 | 4 | 10 | 7,78 9504 | 0 | lt/sg | |
| 5 | 10,25 | 14,94 508 | 5 | 10, 07 | 12,14 8648 | 5 | 10, 31 | 9,80 458 | 5 | 9,9 1 | 7,70 7256 | Presión 5 | | |
| promedio | 10,16 | 14,80 52584 | Promedio | 10, 04 4 | 12,05 8175 2 | promedio | 10, 26 2 | 9,73 8781 6 | promedio | 10, 07 8 | 7,86 3527 2 | Valor | Unidades | |
| Caudal 1 | | | Caudal 2 | | | Caudal 3 | | | Caudal 4 | | | PI1 | 25 | PSI |
| Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | PI2 | 23 | PSI |
| 1,45721047 | lt/sg | | 1,20053 | lt/sg | | 0,949013 | lt/sg | | 0,780266 | lt/sg | | PI3 | 24 | PSI |
| Presión 1 | | | Presión 2 | | | Presión 3 | | | Presión 4 | | | | | |
| | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | Valor | Unidades | | | |
| PI1 | 20 | PSI | PI1 | 22 | PSI | PI1 | 23 | PSI | PI1 | 23 | PSI | | | |
| PI2 | 18 | PSI | PI2 | 19 | PSI | PI2 | 20 | PSI | PI2 | 21 | PSI | | | |
| PI3 | 1 | PSI | PI3 | 10 | PSI | PI3 | 16 | PSI | PI3 | 18 | PSI | | | |

Tabla 17 Valores Obtenidos para Configuración Paralelo.

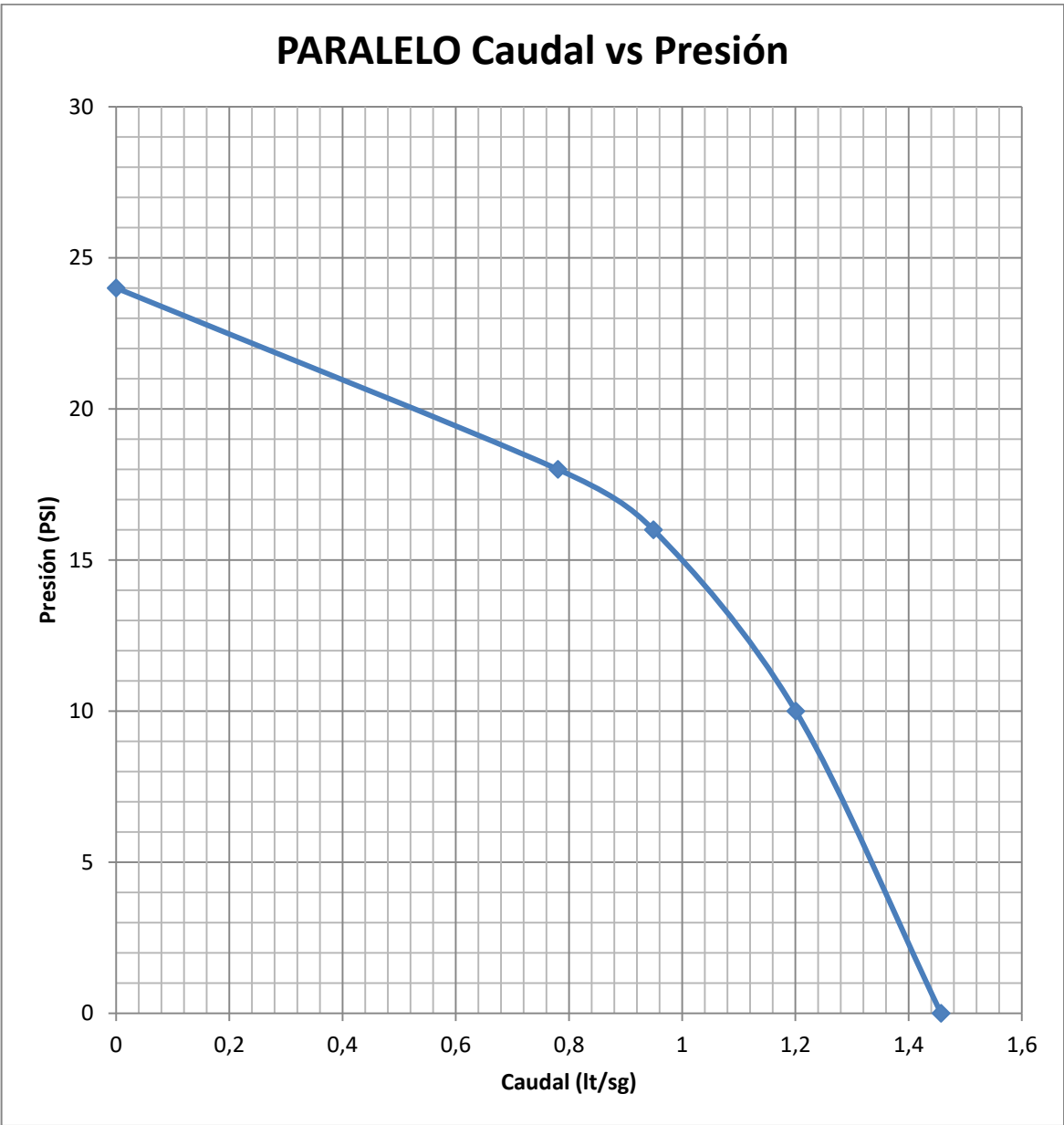


Figura 28 Curva Caudal vs Presión Configuración Paralelo.

3.2.4.4 Configuración Serie

| VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 70% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 50% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 20% ABIERTA | | | VÁLVULA FVH4 TOTALMENTE CERRADA | | |
|---------------------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|-----------------------------|-------------|------------------|---------------------------------------|-------------|------------------|
| Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) | Tomas | Tiempo (sg) | Volumen (litros) |
| 1 | 10,33 | 10,05 1324 | 1 | 10,15 | 8,77 648 | 1 | 10,26 | 6,96 7024 | 1 | 10,21 | 5,48 656 | 1 | 3 | 0 |
| 2 | 10,09 | 9,969 076 | 2 | 10,02 | 9,02 3224 | 2 | 10,16 | 6,92 59 | 2 | 10,07 | 5,56 8808 | Caudal 5 | | |
| 3 | 10,32 | 10,13 3572 | 3 | 10,18 | 8,98 21 | 3 | 10,34 | 6,96 7024 | 3 | 10,12 | 5,40 4312 | Valor | Unidades | |
| 4 | 10,19 | 9,969 076 | 4 | 10,03 | 9,10 5472 | 4 | 10,18 | 6,92 59 | 4 | 10,05 | 5,69 218 | 0 | lt/sg | |
| 5 | 9,99 | 9,845 704 | 5 | 10,31 | 9,10 5472 | 5 | 10,11 | 6,92 59 | 5 | 9,97 | 5,44 5436 | Presión 5 | | |
| promedio | 10,18 4 | 9,993 7504 | promedio | 10,19 2 | 8,99 8549 | promedio | 10,21 | 6,94 2349 | promedio | 10,17 4 | 5,51 9459 | Valor | Unidades | |
| Caudal 1 | | | Caudal 2 | | | Caudal 4 | | | Caudal 4 | | | PI1 | 50 | PSI |
| Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | PI2 | 22 | PSI |
| 0,98131877 | | lt/sg | 0,882903 | | lt/sg | 0,679955 | | lt/sg | 0,542506 | | lt/sg | PI3 | 52 | PSI |
| Presión 1 | | | Presión 3 | | | Presión 4 | | | Presión 4 | | | | | |
| Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | Valor | | Unidades | | | |
| PI1 | 22 | PSI | PI1 | 26 | PSI | PI1 | 36 | PSI | PI1 | 41 | PSI | | | |
| PI2 | 19 | PSI | PI2 | 17 | PSI | PI2 | 18 | PSI | PI2 | 20 | PSI | | | |
| PI3 | 0 | PSI | PI3 | 10 | PSI | PI3 | 26 | PSI | PI3 | 36 | PSI | | | |

Tabla 18 Valores Obtenidos para Configuración Serie.

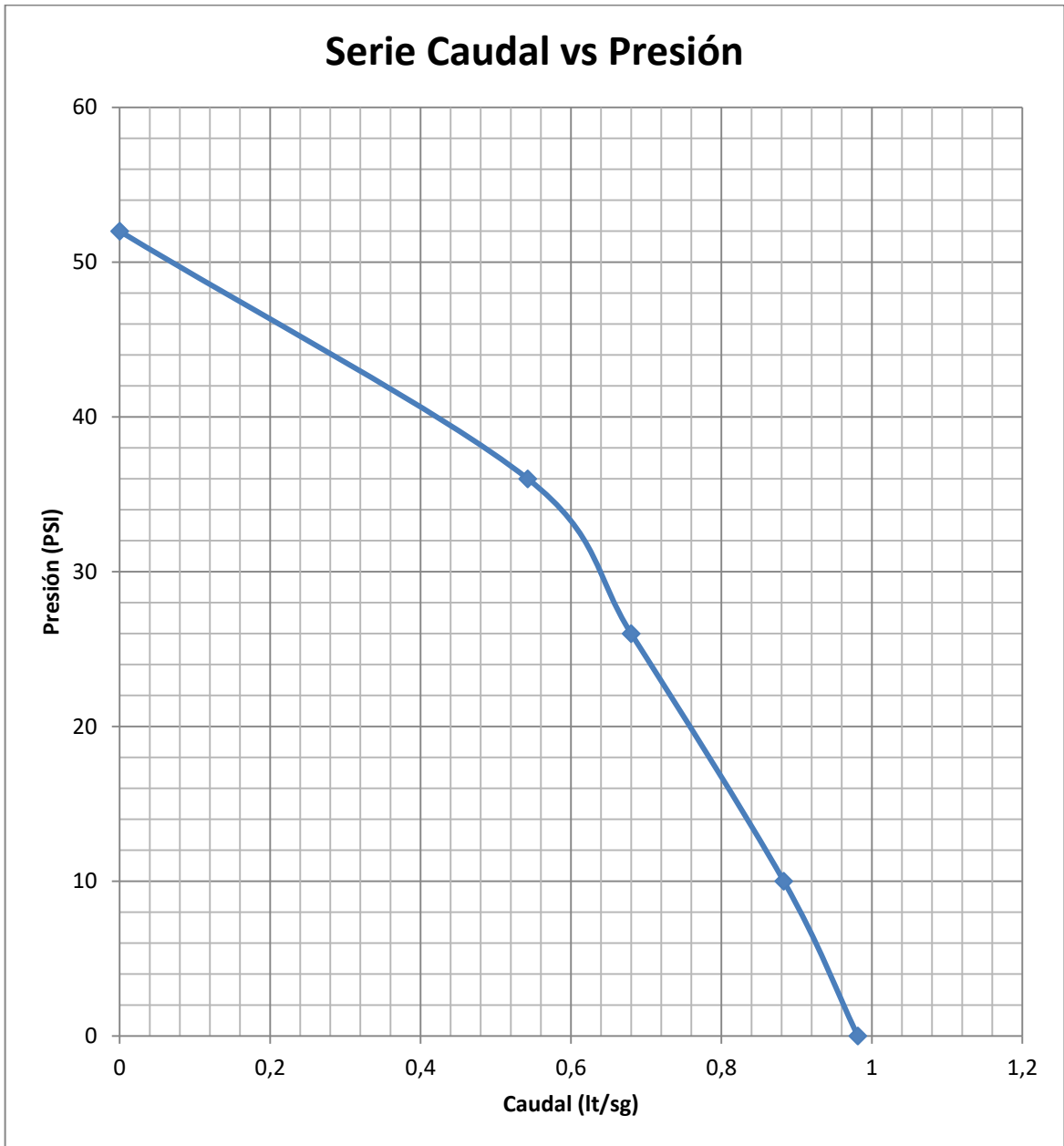


Figura 29 Curva Caudal vs Presión Configuración Serie

Respuestas a la preguntas de la página 68. :

1. La presión en los manómetros empieza a aumentar y el caudal a disminuir ya que se está obstruyendo la descarga de las bombas, esta presión aumenta hasta un valor máximo el cual se obtiene cuando la válvula está totalmente cerrada.
2. La configuración en paralelo entrega un mayor caudal debido a que éste es la suma de los dos caudales entregados por las bombas individualmente.
3. La configuración en serie genera una mayor presión debido a que el fluido llega a la motobomba 1 con un impulso proporcionado por la motobomba 2 lo cual hace que la descarga del sistema tenga el doble de fuerza.
4. El manómetro PI3 marca 0 PSI únicamente cuando la válvula FVH4 está totalmente abierta, esto representa el momento en el que el sistema entrega el máximo caudal posible en cualquiera de las configuraciones en las que puede trabajar.

Una vez que una bomba centrífuga se conecta a un circuito hidráulico cualquier valor de presión, caudal, eficiencia y demás que se obtenga en su descarga se verá modificado por la acción de la tubería y los accesorios presentes en dicho circuito hidráulico, por lo cual la única forma de obtener las curvas de una bomba centrífuga similares a las que entrega el fabricante, es experimentando en un pozo de pruebas; por tanto la comparación que se realiza en el presente trabajo entre los comportamientos de las bombas, sus configuraciones y sus curvas se hacen respecto al sistema implementado.

Por supuesto existen grandes diferencias entre las curvas dadas por el fabricante y las obtenidas en el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas, éstas se dan principalmente por la reducción realizada en la tubería de descarga la cual es la mitad del diámetro de la tubería de succión, de manera que la entrega de caudal en principio se reduce aproximadamente a la mitad. De igual forma la vida útil de las bombas está bastante avanzada ya que son instrumentos que tienen entre 20 y 30 años, debido a esto sus motores no trabajan de la mejor manera. Por último la cantidad de accesorios en las tuberías y las longitudes que debe recorrer el fluido dentro de las mismas hace que las pérdidas de carga resulten bastante altas.

En las figuras 30-32 se pueden apreciar las curvas del sistema en cada configuración y una comparación de las mismas respecto a sus presiones y caudales.

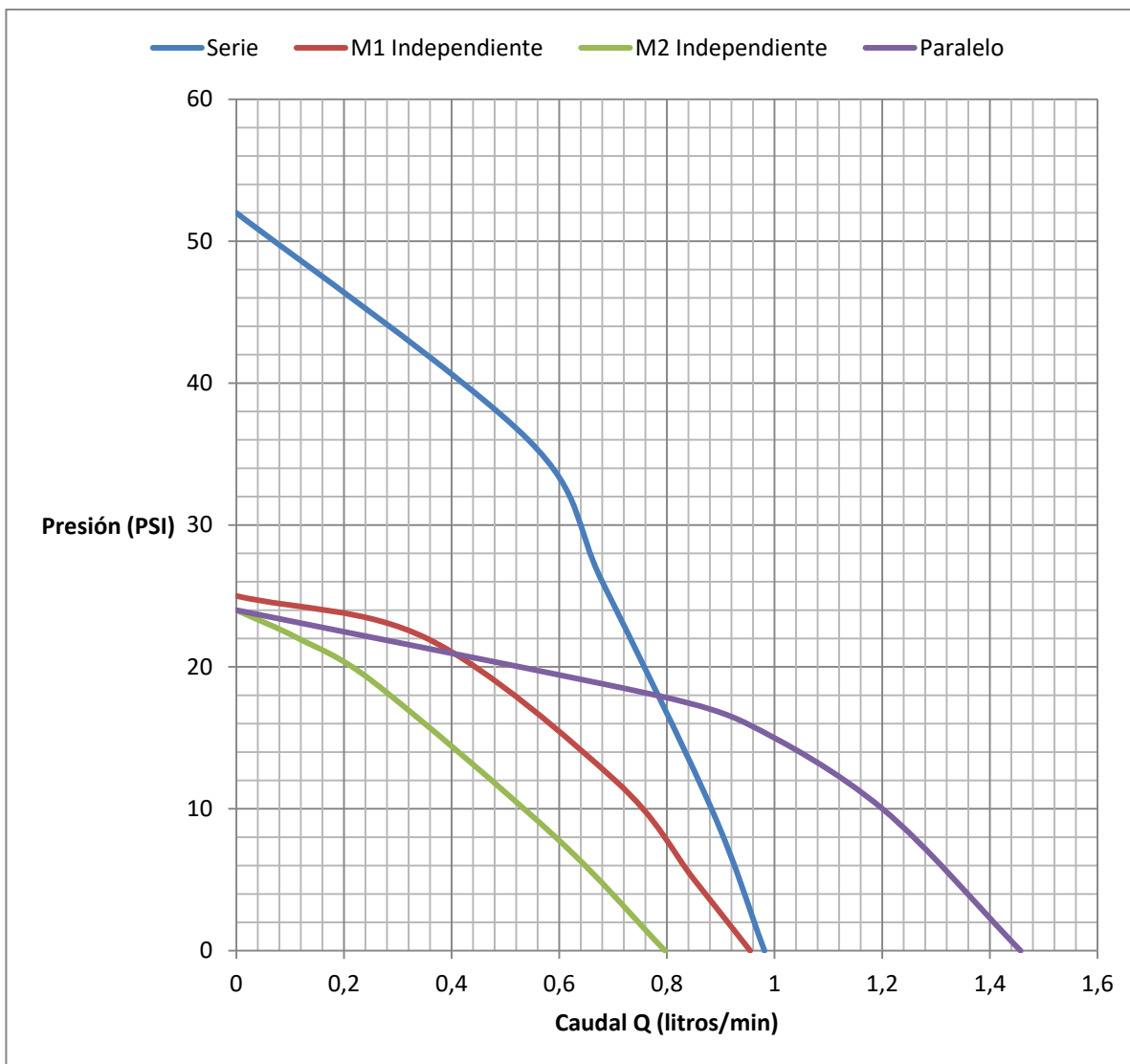


Figura 30 Comparación de curvas en cada configuración.

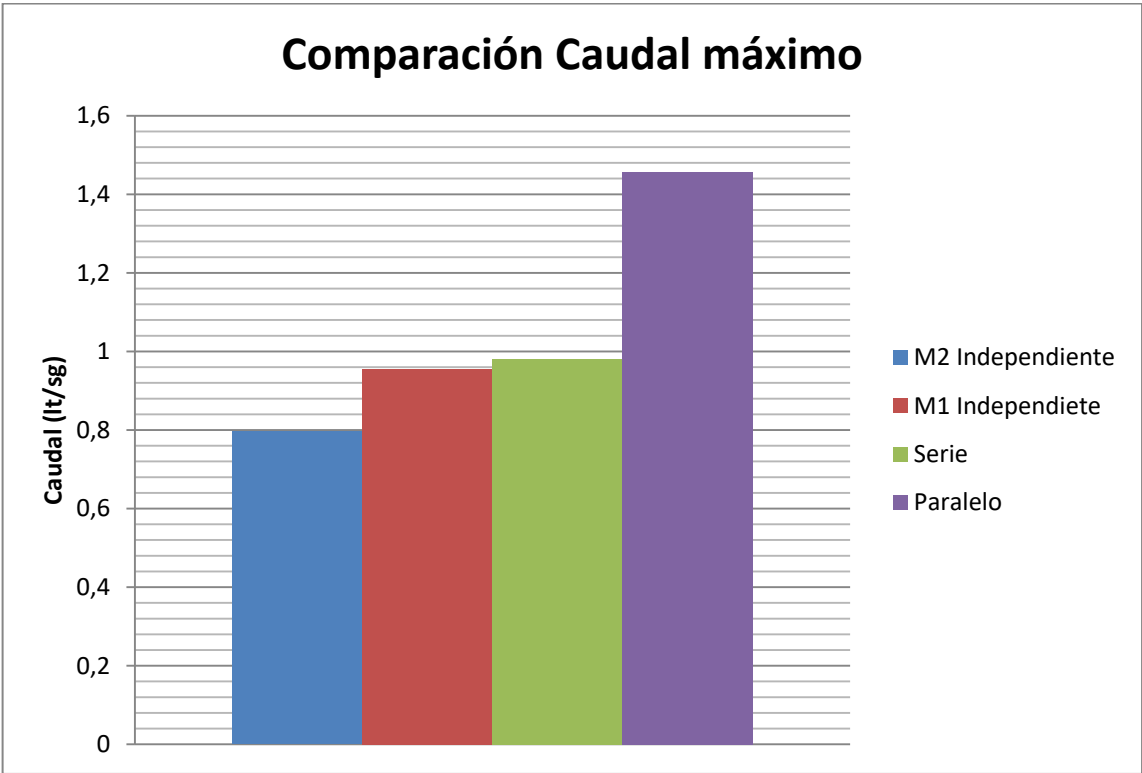


Figura 31 Comparación Caudal Máximo.

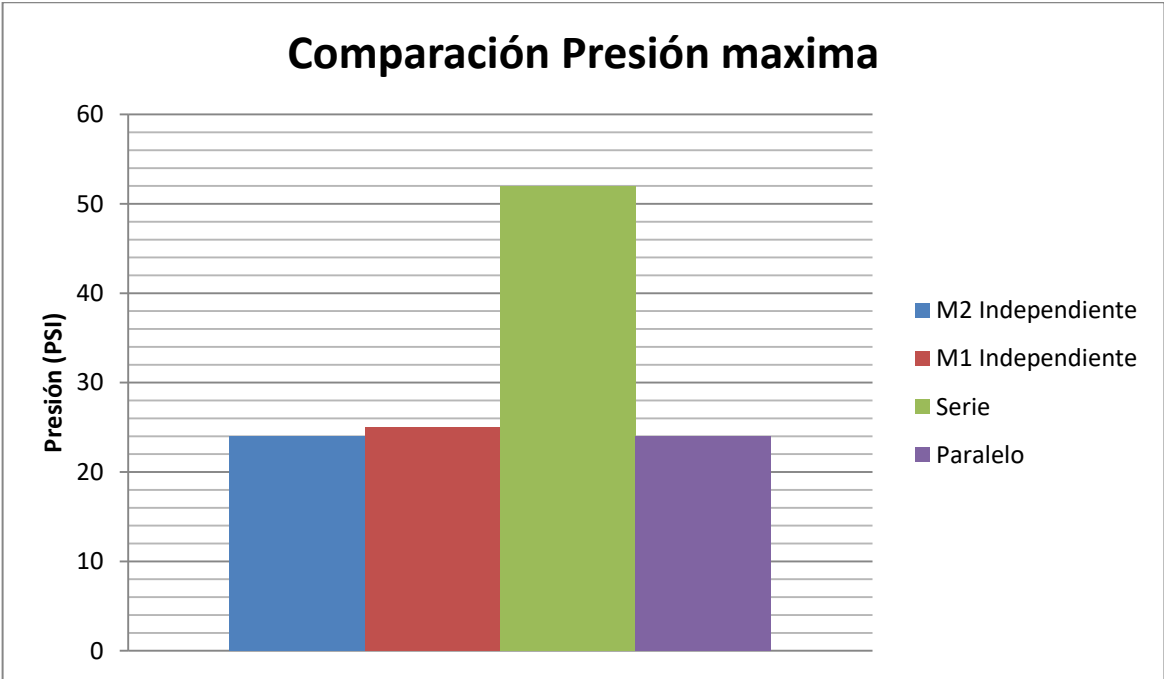


Figura 32 Comparación Presión Máxima

Las graficas evidencian que las configuraciones generan exactamente los resultados descritos por la teoría, ya que la configuración en serie mantiene un caudal constante pero con una presión mayor a cualquier otra configuración, por su parte la configuración en paralelo mantiene una presión constante pero entrega un caudal mayor que las demás configuraciones.

Por último se puede observar en las graficas que hay una diferencia notable entre las curvas del sistema trabajando bajo las configuraciones independientes de las bombas 1 y 2, ya que ésta última tiene un rendimiento más bajo. Esto se debe por supuesto a las pérdidas en la tubería debido a que el recorrido que se realiza en la configuración de la bomba 2 es mayor que el que realiza la bomba 1.

3.2.4.5 Etiquetas

| Bornera | Entrada | Pulsadores | Salida | Bornera |
|-----------|---------|-----------------|--------|-----------|
| JB I (13) | A4 | Llave Selectora | A3 | JB I (14) |
| JB I (12) | A4 | Start | A3 | JB I (11) |
| JB I (10) | A2 | Stop | A1 | JB I (9) |
| JB I (3) | A3 | M1 | A4 | JB I (4) |
| JB I (1) | A3 | M2 | A4 | JB I (2) |
| JB I (5) | A3 | Series | A4 | JB I (6) |
| JB I (7) | A3 | Parallel | A4 | JB I (8) |

Tabla 19 Etiquetas Completas Pulsadores.

| Bornera | Entrada | Piloto | Neutro | Bornera |
|----------|---------|-----------|--------|----------|
| JB J (7) | X1 | ON | X2 | JB K (1) |
| JB J (8) | X1 | OFF | X2 | JB K (2) |
| JB J (4) | X1 | M1 | X2 | JB K (4) |
| JB J (3) | X1 | M2 | X2 | JB K (5) |
| JB J (5) | X1 | SERIES | X2 | JB K (6) |
| JB J (6) | X1 | PARALLEL | X2 | JB K (3) |
| JB J (2) | X1 | OVERLOAD1 | X2 | JB K (7) |
| JB J (1) | X1 | OVERLOAD2 | X2 | JB K (8) |

Tabla 20 Etiquetas Completas Pilotos.

| Contacto | Contactador 1 (KM1) | Contactador 2 (KM2) |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| A1 | JB C (1) | JB D (1) |
| A2 | JB F (8) | JB F (11) |
| 1/L1 | JB H (3) | JB H (2) |
| 3/L2 | Sin conexión | Sin conexión |
| 5/L3 | JB G (1) | JB G (2) |
| 13NO | Sin conexión | Sin conexión |
| 2/T1 | Sin conexión | Sin conexión |
| 4/T2 | Sin conexión | Sin conexión |
| 6/T3 | Sin conexión | Sin conexión |
| 14NO | Sin conexión | Sin conexión |

Tabla 21 Etiquetas Completas Contactores.

| Contacto | Relé Térmico 1 (F1) | Relé Térmico 2 (F2) |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| 98 | JB J (2) | JB J (1) |
| 97 | F2 97 -F1 95 | F1 97 |
| 96 | F2 95 | JB I (14) |
| 95 | JB A (1)-F1 97 | F1 96 |
| 2/T1 | JB L (1) | JB M (1) |
| 4/T2 | Sin conexión | Sin conexión |
| 6/T3 | JB L (2) | JB M (2) |

Tabla 22 Etiquetas Completas Relés Térmicos.

| Contactos | Motobomba 1 (M1) | Motobomba 2 (M2) |
|------------------|-------------------------|-------------------------|
| U | JB L (1) | JB M(1) |
| V | JB L (2) | JB M (2) |

Tabla 23 Etiquetas Completas Motobombas.

| Contactos | Electroválvula 1 (Y1) | Electroválvula 2 (Y2) | Electroválvula 3 (Y3) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| A1 | JB C (3) | KM3 (4) | JB E (4) |
| A2 | JB F (10) | JB F (13) | JB F (17) |

Tabla 24 Etiquetas Completas Electroválvulas.

3.2.4.6. Diagrama de Lazo

Una vez verificadas las conexiones se encontró que el diagrama de lazo mostrado en la figura 25 presentaba algunos errores, todos respecto a la conexión del pin 8 del relé 1, ya que esta conexión en la realidad no existe en la planta, el diagrama de lazo corregido se puede apreciar en la figura 33.

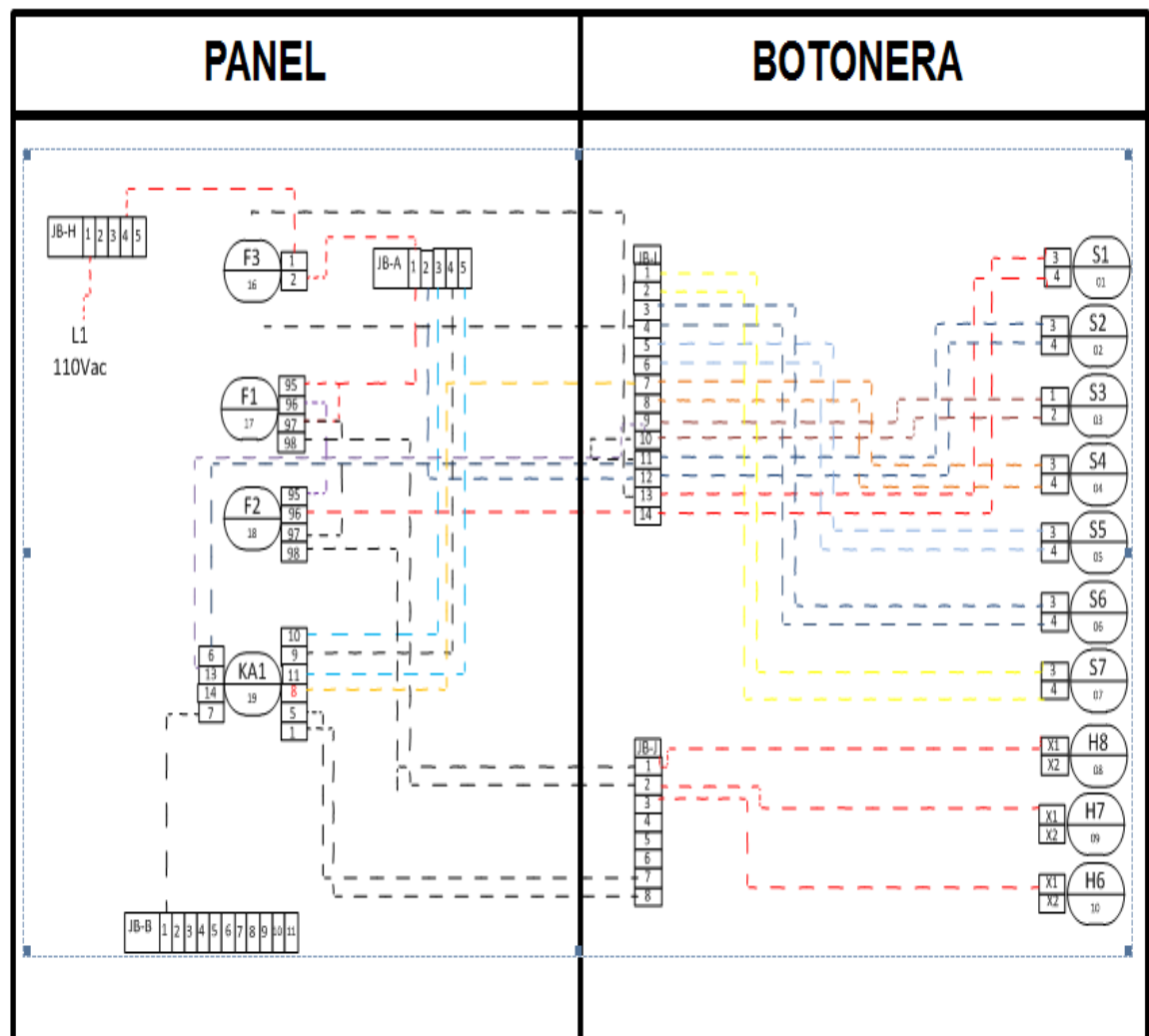


Figura 33 Diagrama de Lazo Corregido.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES

- Como resultado del presente trabajo se obtuvo una plataforma experimental llamado “Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas” para la Facultad de Electrónica y Telecomunicaciones y especialmente para el programa de Ingeniería en Automática Industrial. Esta plataforma permite a los estudiantes comprobar las teorías aprendidas en clase referentes al funcionamiento de las bombas centrífugas y al comportamiento de las variables asociadas a estas; también permite estudiar la estructura eléctrica que gobierna los mecanismos de la plataforma experimental con lo cual se enriquece con métodos prácticos los conocimientos de los estudiantes en las áreas de hidráulica e instrumentación.
- El diseño sobre el cual está basado el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas permite el desplazamiento del mismo hacia prácticamente cualquier lugar, dicho diseño posibilita también su puesta en funcionamiento en diferentes sitios con acceso a una red eléctrica de 110 voltios, lo cual es una gran ventaja frente a las plantas que hacen parte del Laboratorio de Control de Procesos del Programa de Ingeniería en Automática Industrial de la Universidad del Cauca, las cuales son estáticas y requieren de un gran esfuerzo para ser movidas.
- Se generaron 3 guías de laboratorio muy detalladas las cuales además de describir las diferentes prácticas con el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas explican de manera clara y concisa las teorías científicas que rodean la experimentación que se realiza; esto permite la generación de nuevas guías y nuevas áreas de estudio para las cuales se puede utilizar la plataforma experimental construida.
- La utilización de normas y estándares internacionales garantiza que el trabajo realizado en la construcción del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas, así como la experimentación con el mismo, pueda ser entendido no sólo por los estudiantes de la Universidad del Cauca sino por estudiantes de diferentes latitudes.
- Se generaron diagramas tanto de la instrumentación eléctrica y de su conexión como de la instrumentación hidráulica; esto ayuda a que se facilite el manejo del Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas por los estudiantes, profesores, laboratoristas y en general por cualquiera que lo opere; de igual manera dichos

diagramas facilitan en gran medida las posibilidades de mejoras, mantenimiento y estudio de la plataforma experimental.

- Aunque el diseño de la plataforma experimental es bastante completo, este permite diferentes mejoras una vez llegado el momento, ya sean enfocadas hacia realizar control o estudiar variables adicionales, de manera que elementos como los sensores y las electroválvulas puedan utilizarse en un margen más amplio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hidrostal. Slideshare. [Online].
<http://www.slideshare.net/mecanicadefluidos/bombas-centrifugas-7934169>
- [2] FREDDY AGILA DIAZ-IVAN CALAHORRANO PEREZ, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS, Julio 14, 2011.
- [3] www.sabelotodo.org. [sabelotodo.org](http://www.sabelotodo.org). [Online].
<http://www.sabelotodo.org/aparatos/bombasimpulsion.html>
- [4] Hernan andres garcia hernandez-jesus alberto suarez rincon, Diseño, construccion y puesta a prueba de un Banco de bombas centrifugasen serie, paralelo y mixto, 2010.
- [5] Universidad del Cauca, "BOMBAS Y SISTEMAS DE BOMBEO," Popayan, Cauca,.
- [6] (2001) <http://www.miliarium.com/>. [Online].
<http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>
- [7] Universidad del Cauca Departamento de Hidraulica, PRÁCTICA: PERDIDA DE CARGA EN CONDUCTOS A PRESION.
- [8] Manuel Viejo Zubicaray, *Bombas Teoría, Diseño y Aplicaciones*. Mexico DF: Limusa, 2000.
- [9] SENA REGIONAL CUNDINAMARCA, Instalaciones electricas en baja tension-Guia de aprendizaje, julio 2011.

- [10] JMMR14. (2011, Julio) <http://www.slideshare.net/>. [Online].
<http://www.slideshare.net/jmmr14/rel-o-relevadores>
- [11] José A. Rebolledo, Guia Teorica Controles Electricos.
- [12] Jose Miguel Castillo Castillo. (2012, Julio) <http://www.slideshare.net/>. [Online].
<http://www.slideshare.net/Jomicast/rels-y-contactores>
- [13] Desconocido. <http://www.automatas.org/>. [Online].
<http://www.automatas.org/siemens/images/introd11.jpg>
- [14] DSI Departamento de Sistemas e Informatica. [Online].
http://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/sist_Log/MEC%20&%20ELEC%202013/A_PUNTES%20COMUNES/simbolos_electrotecnia1082.pdf
- [15] International Society of Automation. www.isa.org. [Online].
<http://www.isa.org/sv/isa.php>
- [16] ANSI/ISA, "ISA-5.1-1984 (R1992), Instrumentation Symbols and Identification," 1992.
- [17] IEC, "IEC 1082-1 Estandarizacion de Esquemas," 1992.
- [18] Ignacio Gomez IHM S.A.S. (2014) <http://www.igihm.com/index.php>. [Online].
<http://www.igihm.com/index.php>
- [19] Desconocido. (2010) <http://www.taringa.net/>. [Online].
<http://www.taringa.net/posts/info/5840932/El-Contactores-electromagnetico.html>
- [20] Irving Amaya Castro. <http://es.scribd.com>. [Online].
<http://es.scribd.com/doc/79420550/Practica-11-Banco-Para-Prueba-de-Bombas>

- [21] Desconocido. <http://tarwi.lamolina.edu.pe>. [Online].
<http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/TBombas.htm>
- [22] Antonio Creus Solé, *Instrumentación industrial*. Barcelona, España: Alfaomega, 1997.
- [23] Desconocido. (2013) <http://www.uam.es/>. [Online].
http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Transparencias%20Bombas.pdf
- [24] (2009) <http://www.fing.edu.uy>. [Online].
<http://www.fing.edu.uy/imfia/sites/default/files/6-%20volumetricas.pdf>
- [25] <http://oleo-hidraulica.blogspot.com>. [Online].
<http://oleo-hidraulica.blogspot.com/2010/09/caracteristicas-de-las-bombas.html>