

**REDISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS
DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO**

ENRIQUE ALFONSO BRITO AGUILAR

CARLOS ANDRES NADER DÍAZ

LUIS EDUARDO POSADA ARRIETA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA, ELÉCTRICA Y

ELECTRÓNICA

CARTAGENA, D.T. Y C.

2001

**REDISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS
DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO**

ENRIQUE ALFONSO BRITO AGUILAR

CARLOS ANDRES NADER DÍAZ

LUIS EDUARDO POSADA ARRIETA

Trabajo para optar al título de ingenieros
Electrónicos y mecánico respectivamente.

Director:
Orlando Contreras Cótera
Ingeniero Mecánico

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA, ELÉCTRICA Y

ELECTRÓNICA

CARTAGENA, D.T. Y C.

2001

Cartagena, 19 de abril del 2001

Señores

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO

Facultad de ingeniería Eléctrica–Electrónica Y Mecánica

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

La ciudad

Apreciados señores:

Atentamente nos permitimos presentar el proyecto de grado titulado “REDISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO”, como requisito para optar al título de Ingenieros Electrónicos y Mecánico respectivamente.

ENRIQUE ALFONSO BRITO AGUILAR
COD 00-04-355

CARLOS ANDRES NADER DÍAZ
COD 00-04-861

LUIS EDUARDO POSADA ARRIETA
COD 94-02-032

Cartagena, 19 de abril del 2001

Señores

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO

Facultad de ingeniería Eléctrica–Electrónica Y Mecánica

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

La ciudad

Apreciados señores:

Como Director de la tesis de grado titulada “REDISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO”, hago presentación de dicha tesis, la cual fue revisada en su totalidad, por lo tanto espero que sea de su total agrado.

Cordialmente

ORLANDO CONTRERAS COTERA
Ingeniero Mecánico

Cartagena, 19 de abril del 2001

Señores

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO

Facultad de ingeniería Eléctrica–Electrónica Y Mecánica

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

La ciudad

Apreciados señores:

Como Asesor de la tesis de grado titulada “REDISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y MONTAJE DEL BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO”, hago presentación de dicha tesis, la cual fue revisada en su totalidad, por lo tanto espero que sea de su total agrado.

Cordialmente

RAFAEL MEDINA SANCHEZ
Ingeniero Electrónico

La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Cartagena, 19 de abril del 2001

DEDICATORIA

A Dios, mi proveedor por darme
paciencia y sabiduría.

A mi madre Olga Brito, por haberme
apoyado y aconsejado en los momentos
difíciles.

A mi novia Yenny, por soportarme y estar
ahí siempre que la necesité.

A mis Hermanos, (Odalís, Jesús y Lisbeth)
por saber esperar.

A mis amigos, por su motivación
constante.

ENRIQUE

DEDICATORIA

A Dios, porque siempre escuchó mis peticiones y me dio fuerzas para seguir adelante.

A mis padres Digna Díaz y Carlos Náder
Por su motivación, apoyo y entendimiento.

A Juan Dupont por su comprensión y ayuda.

A mis Hermanos María Alejandra, Iván y Danis.

CARLOS NADER

DEDICATORIA

A DIOS por iluminar el sendero que un día decidimos recorrer, solo él es el camino, la verdad y la vida.

A mis padres, por la oportunidad que me dan día a día de ser una persona mejor

A mis hermanos: José, por haber sido siempre mi apoyo moral y a Alejandro por sus sonrisas.

A todas esas personas que nos colaboraron en silencio para llevar a feliz término este proyecto.

LUIS EDUARDO

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar sus agradecimientos a:

Dios en prime lugar.

Jorge Duque Pardo. Ingeniero Electricista. por su apoyo y asesoría.

Mironel Marquez. Técnico en instrumentación industrial. Por su comprensión y asesoría incondicional.

Orlando Contreras Cótera y Rafael Medina Sánchez. Ingeniero Mecánico y Electricista respectivamente. Por haber aceptado colaborar en este importante proyecto.

Agradecen también toda la ayuda prestada por los auxiliares de laboratorio (Ramiro, Jhonny, Lino, Adel, Edgar Escobar, Carlos Cuadro y demás).

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN	
1 TEORÍA Y CONCEPTOS.	2
1.1 BOMBAS ROTATORIAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.	2
1.1.1 Definición y tipos de bomba.	2
1.1.1.1 Bomba de rotor simple.	2
1.1.1.1.1 Bomba de aspas.	3
1.1.1.1.2 Bomba de pistón.	3
1.1.1.1.3 Bomba de miembros flexibles.	4
1.1.1.2 Bomba de rotores múltiples.	5
1.1.1.2.1 Bomba de lóbulos.	5
1.1.1.2.2 Bomba de engranes.	5
1.1.1.2.3 Bomba de pistón circunferencial.	6
1.1.1.2.4 Bomba de tornillos simple.	6
1.1.1.2.5 Bomba de tornillos múltiples.	7
1.1.2 Términos y definiciones utilizados en las bombas.	7
1.1.2.1 Carga Estática.	7
1.1.2.2 Elevación estática de succión y carga estática de succión.	8
1.1.2.3 Carga estática de descarga.	8
1.1.2.4 Carga estática total.	8

1.1.2.5	Carga de fricción.	8
1.1.2.6	Carga de velocidad.	9
1.1.2.7	Elevación de succión.	9
1.1.2.8	Carga de succión.	9
1.1.2.9	Carga de descarga.	10
1.1.2.10	Carga total.	10
1.1.2.11	Rendimiento Hidráulico.	10
1.1.2.12	Rendimiento Volumétrico.	10
1.1.3	Condiciones de succión.	10
1.1.3.1	Presión de vapor.	11
1.1.3.2	Presión de bombeo.	11
1.1.3.3	Carga neta positiva de succión (NPSH).	11
1.1.3.4	Carga neta positiva de succión disponible (NPSH) _A .	11
1.1.3.5	Carga neta positiva de succión requerida (NPSH) _R .	11
1.1.4	Temperatura, presión y capacidad.	12
1.1.5	Potencia de la bomba.	12
1.1.6	Aplicaciones.	13
1.1.7	Restricciones.	13
1.1.8	Ventajas.	14
2	INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS.	15
2.1	BOMBA HIDRÁULICA.	15
2.1.1	Características.	16
2.2	MOTOR AC TRIFÁSICO.	16

2.2.1	Características técnicas.	16
2.3	CONTACTOR ELÉCTRICO.	17
2.4	FUSIBLES.	17
2.5	PULSADOR ON/OFF.	17
2.6	VÁLVULA PROPORCIONAL SERVOACCIONADA.	18
2.6.1.	Características de la señal de acción.	19
2.7	TRANSMISORES.	20
2.7.1	Transmisores de Presión.	21
2.7.2	Transmisor de Flujo.	22
2.8	VARIADOR DE VELOCIDAD.	23
2.8.1	Características técnicas.	24
2.9	TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (PC-Labcard PCL-812PG).	24
2.9.1	Características técnicas.	24
2.10	FUENTE DE ALIMENTACIÓN.	25
2.11	CIRCUITOS ACONDICIONADORES DE SEÑAL.	26
2.12	DÉPOSITO DE ACEITE.	26
2.13	VÁLVULA DE COMPUERTA.	27
2.14	VÁLVULA DE CIERRE RÁPIDO.	27
2.15	VÁLVULA DE ALIVIO.	27
2.16	VÁLVULA DE GLOBO.	27
2.17	MANÓMETRO.	28
2.18	VACUÓMETRO.	28
2.19	FLUÍDO.	28

2.20	MEDIDOR DE CAUDAL.	29
2.21	TUBERÍA.	29
2.22	ACCESORIO DE TUBERÍA.	29
2.23	MANGUERAS HIDRÁULICAS.	30
2.24	ACOPLE MECÁNICO.	30
3	MONTAJE, PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS.	32
3.1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN.	32
3.1.1	Cálculo de las resistencias que determinan la regulación de voltaje.	32
3.1.2	Cálculo de R_S y R_3 .	33
3.2	INTERFASE DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.	34
3.3	CONTROL DE MANDO DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL.	35
3.4	CIRCUITO DE ON/OFF DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.	36
3.5	ADQUISICION DE DATOS.	36
3.5.1	Medición de Presión y Flujo.	36
3.5.1.1	Ajuste de cero y span (máxima escala).	37
3.5.1.1.1	Transmisor de presión de descarga.	37
3.5.1.1.2	Transmisor de presión de succión.	37
3.5.1.1.3	Transmisor de flujo.	37
3.5.2	Adquisición.	38
3.5.3	Circuito medidor de potencia.	38
3.5.4	Filtros Antialiasing.	39
3.5.5	Cálculo del $NPSH_a$.	40
3.5.6	Cálculo de la cabeza de la bomba	42

3.5.7	Cálculo de la platina orificio.	42
4	ESTRATEGIAS DE CONTROL.	45
4.1	GENIE.	45
4.1.1	Task Designer.	44
4.1.1.1	Programas.	45
4.1.1.1.1	Obtención presión de descarga.	45
4.1.1.1.2	Obtención presión de succión.	45
4.1.1.1.3	Obtención del caudal.	45
4.1.1.1.4	Obtención del voltaje del motor.	45
4.1.1.1.5	Obtención de la corriente del motor.	45
4.1.1.1.6	Obtención de la potencia del motor.	46
4.1.1.1.7	Obtención del $NPSH_A$	46
4.1.1.1.8	Obtención cabeza de la bomba.	46
4.1.1.1.9	Alimentación de control del variador de velocidad.	46
4.1.1.1.10	Alimentación de control de la válvula proorcional.	46
4.1.2	Display Designer.	47
4.2	MATLAB.	47
5.	GRAFICAS EXPERIMENTALES.	48
6.	EXPERIENCIAS Y RESULTADOS.	55
6.1	CURVA DE CAUDAL $V_s NPSH_A$.	55
6.2	CURVA DE CAUDAL V_s PRESIÓN DE DESCARGA.	55
6.3	CURVA DE PRESIÓN DE DESCARGA V_s POTENCIA DEL MOTOR.	56
7.	CONCLUSIONES.	57

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS.

LISTA DE FIGURAS

	pag
Figura 1. Bombas de aspas.	3
Figura 2. Bomba de pistón.	4
Figura 3. Bomba de tubo flexible.	4
Figura 4. Bomba de camisa flexible.	4
Figura 5. Bomba de lóbulo simple.	5
Figura 6. Bomba de tres lóbulos.	5
Figura 7. Bomba de engranes externos.	6
Figura 8. Bomba de engranes internos.	6
Figura 9. Bomba de pistón circunferencial.	6
Figura 10. Bomba de tornillo simple.	7
Figura 11. Bomba de tornillo doble.	7
Figura 12. Bomba de tornillo simple.	7
Figura 13. Casos de carga estática.	8
Figura 14. Válvula proporcional.	18
Figura 15. Señal de control de la Válvula proporcional.	19
Figura 16. Transmisores.	20
Figura 17. Calibración típica de los transmisores.	21
Figura 18. Variador de velocidad.	23

Figura 19. Fuente de alimentación.	32
Figura 20. Interfase del Variador de velocidad.	35
Figura 21. Señal de control de mando de la Válvula proporcional.	35
Figura 22. Circuito on/off del Variador de velocidad.	36
Figura 23. Filtros Antialiasing	40

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Tablas de curvas experimentales.

Anexo B. Tarjeta de adquisición de datos PCL-812PG.

Anexo C. Data sheet platina orificio.

Anexo D. Diagrama esquemático de potencia y control del motor AC.

Anexo E. Manual Variador de velocidad.

Anexo F. Diagrama eléctrico de proceso.

RESUMEN

El fin de esta tesis es brindar al estudiante de Ingeniería Mecánica un BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO totalmente actualizado, conforme a las tendencias del siglo XXI, además interactuarlo con las nuevas herramientas de control automático y de adquisición de datos existentes en la industria moderna.

El objetivo de este proyecto es obtener tres curvas las cuales son: Caudal Vs NPSH, Eficiencia Mecánica Vs Caudal y Presión de descarga Vs Caudal. Para obtener estas curvas se utilizaron dos transmisores de presión colocados uno en la tubería de descarga y otro en la tubería de succión del banco, además se utilizó un transmisor de flujo en la tubería de descarga, con el fin de medir el caudal que fluye por dicha tubería. Estos instrumentos generan una señal de corriente de 4 a 20 mA proporcional a la señal de presión o flujo que estuvieron midiendo. Esta señal de corriente es convertida a una señal de voltaje mediante una resistencia. Esta señal de voltaje es recibida por un programa que se encuentra en el computador (GENIE) por medio de una tarjeta de adquisición de datos, el cual la convierte mediante una ecuación matemática en una equivalente al valor de la señal original ya sea de presión o de flujo en tiempo real. Con estos datos grabados por GENIE los trasladamos al

software MATLAB en el cual los convertimos en las gráficas que se requieren. A continuación mostramos el contenido de cada uno de los capítulos:

Capitulo 1: En este capítulo se presenta la teoría y los conceptos básicos que debemos conocer de las bombas rotatorias de desplazamiento positivo: definición, tipos, términos, aplicaciones, restricciones, ventajas, temperatura, presión y capacidad de operación.

Capitulo 2: Se describen los equipos, instrumentos y accesorios utilizados en este proyecto, características técnicas, valores nominales y condiciones de funcionamiento.

Capitulo 3: En este capítulo se describen los cálculos de diseño, modo de funcionamiento y los procedimientos utilizados para poner en marcha los equipos.

Capitulo 4: Se explican las estrategias de control que utiliza el software GENIE para manejar los dispositivos que se encuentran en el banco. Además se hace una reseña del programa MATLAB.

Capitulo 5: En este se muestran las curvas experimentales obtenidas a través del computador.

Capitulo 6: Este capitulo describe las conclusiones y observaciones obtenidas en el proyecto.

INTRODUCCION

Las capacidades de los sistemas industriales de fabricación se han expandido a un ritmo sorprendente. Parte de la nueva capacidad tiene que ver con un control más preciso sobre maquinas y procesos, y parte tiene que ver con nuestra mayor capacidad para medir y registrar variables de producción. Los instrumentos de control están universalmente aceptados. Hoy en día es inimaginable la existencia de una industria moderna sin instrumentos. Y aunque existiera, las necesidades que crea el mercado de obtener productos terminados con la garantía de la calidad exigidas y en la cantidad suficiente para que el precio obtenido sea competitivo, forzaría a modificar esta hipotética industria incluyendo en la transformación subsiguiente la automatización del proceso mediante los instrumentos de medición y control.

Por todo lo anterior, se hace cada vez más apremiante la necesidad de contar con laboratorios bien acondicionados y dotados de equipos de prueba de alta calidad que permitan brindar al estudiante una aproximación de lo que en un futuro como ingeniero le tocará afrontar.

1. TEORIA Y CONCEPTOS

1.1 BOMBAS ROTATORIAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

1.1.1 Definición y tipos de bombas. **Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía, que en un fluido adquiere forma de presión, de posición o de velocidad. Hay muchas variedades de bombas rotatorias para aplicaciones normales o especiales. En el instituto de Hidráulica, de los estados Unidos se describe la bomba rotatoria como... “una bomba de desplazamiento positivo, consistente en una cámara en donde están colocados engranes, excéntricas, tornillos, aspas (álabes), émbolos o elementos similares accionados por la rotación relativa del eje (árbol) de propulsión y la carcasa y que no tiene válvulas separadas para admisión y descarga”. Las bombas rotatorias se clasifican en:**

1.1.1.1 Bombas de rotor simple. Una bomba de rotor simple es aquella en la cual todos los elementos que giran lo hacen con respecto a un solo eje. Los tipos de bombas que cumplen con esta característica son:

1.1.1.1.1 Bomba de aspas. Las aletas deslizantes se encuentran alojadas en la ranura del rotor como lo muestra la figura 1. Estas bombas se fundamentan en la acción mecánica de crear un espacio en la aleta durante la rotación, a base de que el rotor se monte excéntricamente en la caja.

En la zona decreciente del ciclo, el fluido retenido entre las aletas se comprime. Al llegar al punto de máxima compresión, el fluido es expulsado por la lumbrera de descarga. Al continuar el barrido del rotor, se abre un espacio o “cámara de expansión” en el lado de admisión, con lo que se aspira más fluido, el cual es retenido, comprimido y descargado. Luego de esto el ciclo se repite.

En este tipo de bombas las aspas pueden ser rectas, curvas, tipo rodillo, tipo cangilón, y pueden estar ubicadas en el rotor o en el estator, y funcionan con fuerza hidráulica radial. El rotor puede ser balanceado o desbalanceado. La figura 1 ilustra una bomba con rotor desbalanceado de desplazamiento constante, con las aspas en el rotor. En este proyecto se utilizó una bomba de este tipo.

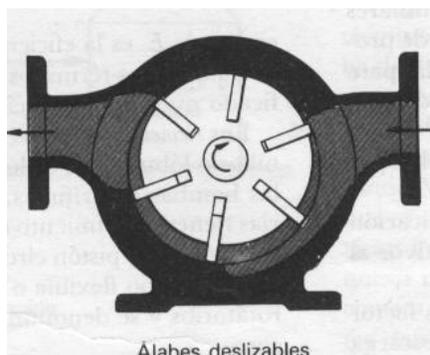


Figura 1. Bomba de paletas deslizantes

1.1.1.1.2 Bomba de pistón. En este tipo el fluido entra y sale impulsado por pistones, los cuales trabajan recíprocamente dentro de los cilindros; las válvulas funcionan por rotación de pistones y cilindros con relación a los puntos de entrada y salida. Los cilindros pueden estar colocados axialmente o radialmente y pueden trabajar con desplazamientos constantes o variables. La figura 2 ilustra una bomba axial con desplazamiento constante del pistón.

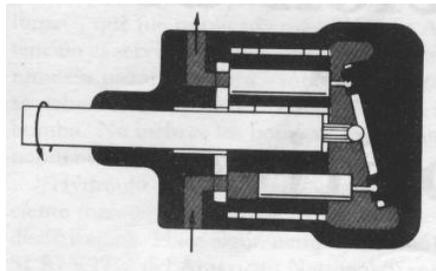


Figura 2. Bomba de pistón excéntrica

1.1.1.1.3 Bomba de miembros flexibles. En estas el bombeo del fluido y la acción de sellado dependen de la elasticidad de los miembros flexibles, que pueden ser un tubo o una camisa, cuyos ejemplos se ilustran en las figuras 3 y 4 respectivamente.

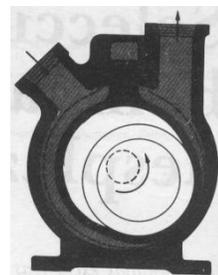
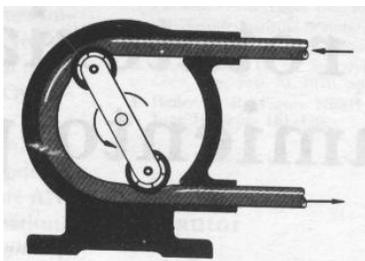


Figura 3. Bomba de tubo flexible

Figura 4. Bomba de camisa flexible

1.1.1.2 Bomba de rotores múltiples. Una bomba de rotores múltiples es aquella en la cual los elementos que giran lo hacen con respecto a dos o más ejes. Los tipos de estas bombas son:

1.1.1.2.1 Bomba de lóbulos. En estas bombas el líquido se desplaza atrapado en los lóbulos, desde la entrada hasta la salida. Los lóbulos efectúan además la labor de sellado. Los rotores deben girar sincronizadamente. La figura 5 muestra una bomba de un lóbulo y la figura 6 muestra una de tres lóbulos.

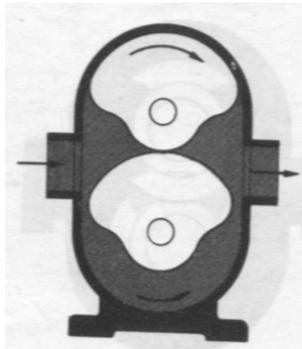


Figura 5. Bomba de lóbulo simple

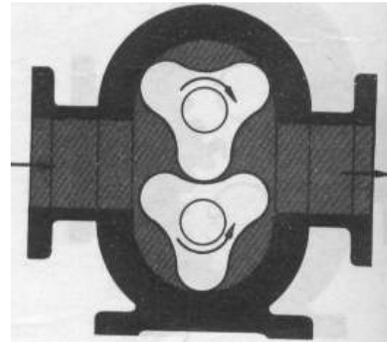


Figura 6. Bomba de 3 lóbulos

1.1.1.2.2 Bomba de engranes. En este tipo el líquido es conducido entre los dientes de los engranes, que sirven también como superficies de sello de la carcasa de la bomba. Las hay de engranes externos, que pueden ser rectos, helicoidales simples o

dobles como el de tipo espina de pescado (Herringbone). Los engranes internos tienen un solo rotor que engrana con un externo, La figura 7 muestra una bomba con engranes exteriores rectos y en la 8 aparece una bomba de engranes internos.

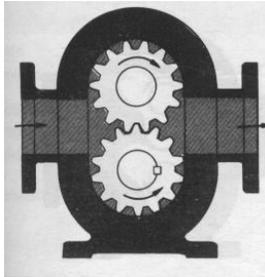


Figura 7. Bomba de engranes externos.

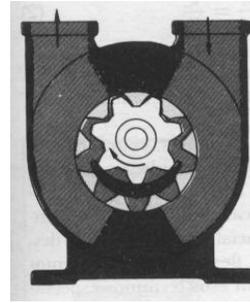


Figura 8. Bomba de engranes internos.

1.1.1.2.3 Bomba de pistón circunferencial. Tiene el mismo principio de operación que las de engrane, pero aquí cada rotor debe trabajar accionado por medios diferentes. (Ver figura 9).

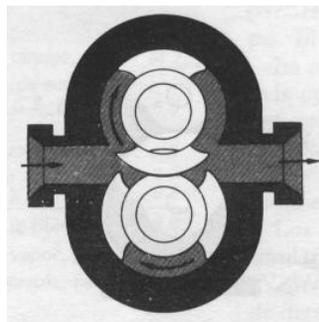


Figura 9. Bomba de pistón circunferencial

1.1.1.2.4 Bomba de tornillo simple. El tornillo desplaza axialmente el líquido a lo largo de una coraza en forma de gusano. Tiene el inconveniente de poseer un alto empuje axial. (Ver figura 10).

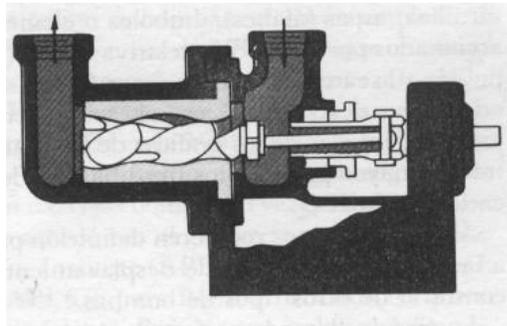


Figura 10. Bomba de tornillo simple.

1.1.1.2.5 Bomba de tornillo múltiple. El fluido es transportado axialmente por los tornillos. En vez de un estator, cada tornillo trabaja en contacto con el otro que puede ser el motriz o el conducido. En estos diseños se reduce el empuje axial. (Ver figura 11 y 12).

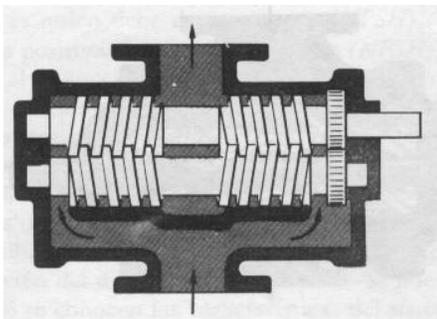


Figura 11. Bomba de tornillo doble.

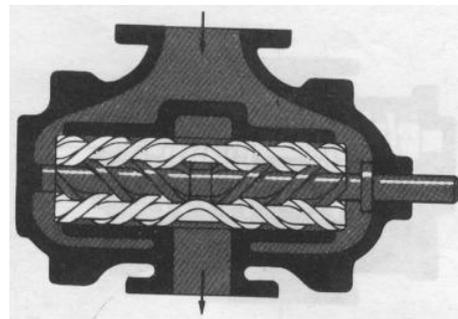


Figura 12. Bomba de tornillo triple

1.1.2 Términos y definiciones utilizados en las bombas.

1.1.2.1 Carga estática. Es la altura, expresada en metros de líquido, de la columna de fluido que actúa sobre la succión (entrada) o descarga (salida) de una bomba. En la figura 13 se muestran los casos que se presentan de carga estática.

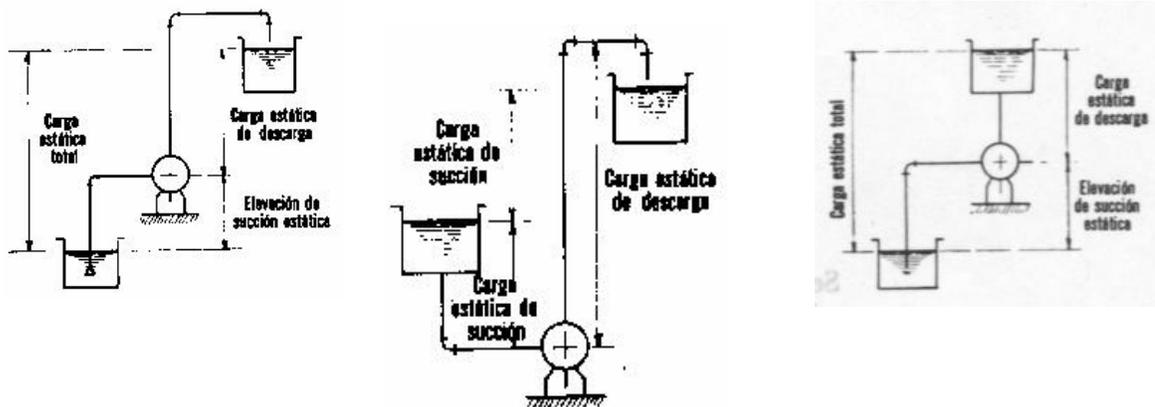


Figura 13. Casos de carga estática

1.1.2.2 Elevación estática de succión y carga estática de succión. Si la bomba se encuentra arriba del nivel libre de bombeo, la distancia entre el nivel del líquido a bombear y el eje central de la bomba se llama elevación estática de succión. Si la bomba se encuentra abajo del nivel libre de bombeo, entonces la distancia entre el nivel del líquido y el eje central de la bomba se denomina carga estática de succión.

1.1.2.3 Carga estática de descarga. Es la distancia vertical entre el eje central de la bomba y el punto de entrega libre del líquido.

1.1.2.4 Carga estática Total. Es la distancia vertical entre los niveles de succión y descarga.

1.1.2.5 Carga de fricción. Es la columna, en metros, del líquido que se maneja, equivalente y necesaria para vencer la resistencia de las tuberías de succión, descarga y de sus accesorios. Varía de acuerdo con la velocidad del líquido, tamaño, tipo y condiciones interiores de las tuberías y naturaleza del líquido que se manejan.

1.1.2.6 Carga de velocidad. Un líquido que se mueve a cualquier velocidad dentro de un tubo, tiene energía cinética, debida a su movimiento. La carga de velocidad es la distancia de caída necesaria para que un líquido adquiriera una velocidad dada y se determina por:

$$h_v = V^2/2g$$

Donde:

h_v = carga de velocidad en metros de líquido manejado.

V = velocidad del líquido en m/seg.

g = aceleración debida a la gravedad, en m/seg².

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

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

1.1.2.9 Carga de descarga. Es la suma de la carga de descarga estática, de la carga de fricción de descarga y de la carga de velocidad de descarga.

1.1.2.10 Carga total. Es la suma de las cargas de elevación de succión y descarga. Cuando hay una columna de succión, la columna total de la bomba es la diferencia entre las cargas de succión y descarga.

1.1.2.11 Rendimiento Hidráulico. Es la relación entre la potencia entregada por la bomba y la potencia aplicada en el eje de la misma.

1.1.2.12 Rendimiento Volumétrico. Es la relación entre el caudal real que entrega la bomba y el caudal aspirado por la bomba expresado en %.

$$N_V = Q_R / (Q_R + Q_P) * 100$$

Donde:

Q_P = Son las pérdidas de caudal por fuga a través de los empaques, mal cierre de las válvulas, sellos, etc.

Q_P = Caudal Teórico.

1.1.3 Condiciones de succión

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

1.1.3.2 Presión de bombeo. Utilicemos una bomba cualquiera para bombear un líquido. Al funcionar la bomba, tiende a formar un vacío en el seno del líquido; este succionar se conoce como presión de bombeo.

1.1.3.3 Carga neta positiva de succión (NPSH). Es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado en litros por segundo, a través de la tubería de succión al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba. Se da en metros del líquido manejado, equivalentes a la presión en Kg/cm^2 requeridos para forzar el líquido a la bomba.

1.1.3.4 Carga neta positiva de succión disponible $(\text{NPSH})_A$. Esta depende de la carga de succión o elevación, la carga de fricción y la presión de vapor del líquido manejado a la temperatura de bombeo. Si se varía cualquiera de estos puntos el $(\text{NPSH})_A$ puede alterarse.

1.1.3.5 Carga neta positiva de succión requerida (NPSH)_R. Esta depende solo del diseño de la bomba y se obtiene del fabricante para cada bomba en particular, según su tipo, modelo, capacidad y velocidad.

Igual que en otras bombas, la (NPSH)_A debe ser mayor que la (NPSH)_R si se quiere que la bomba entregue su capacidad nominal y tenga larga duración sin problemas.

1.1.4 Temperatura, presión y capacidad. Se debe prestar especial atención a la temperatura a la cual se bombea el líquido del proceso, pues no debe exceder el valor máximo de diseño del fabricante de la bomba. Algunas bombas tienen límites entre bajos y medios para temperaturas, hasta de 300 °F, debido a los materiales para juntas, para álabes no metálicos y otras piezas como el material de la carcasa.

Los requisitos de presión de succión y descarga son parte del proceso de selección.

Se debe estudiar el diseño propuesto para conocer:

- Presión máxima de trabajo de la carcasa.
- Presión diferencial máxima permisible.
- El efecto en el flujo nominal de la relación entre la pérdida y la presión real requerida.

1.1.5 Potencia de la bomba. Los requisitos de potencia de las bombas rotatorias, igual que en las demás se determinan con base en:

$$(BHP) = Q\Delta P / (1714E_p)$$

en donde

BHP = potencia entregada en el eje o árbol propulsor de la bomba en Hp.

Q = capacidad en g.p.m.

ΔP = presión diferencial en psi.

E_p = eficiencia de la bomba en decimales.

1.1.6 Aplicaciones.

- Manejo de líquidos de cualquier viscosidad.
- Procesos químicos.
- Manejo de alimentos.
- Descargas marinas.
- Bombas para cargar carros tanques.
- Protección contra incendios.
- Transmisiones hidráulicas de potencia.
- Lubricación a presión.
- Enfriamiento para máquinas herramientas.
- Bombeo de petróleo (líneas, oleoductos)
- Refinerías.
- Manejo de grasas.
- Gases licuados (propano, butano, amoníaco, freón).
- Aceites calientes.

1.1.7 Restricciones

- Los líquidos que contienen sustancias abrasivas o corrosivas pueden causar un desgaste prematuro en las partes con tolerancias muy pequeñas.
- Estas bombas no se deben utilizar en instalaciones donde puedan quedarse girando en seco.

1.1.8 Ventajas.

- Combinan las características de flujo constante de las bombas centrífugas con el efecto positivo de las bombas reciprocantes.
- Pueden manejar líquidos densos o delgados, así como líquidos que contengan aire y vapor.
- Pueden manejar líquidos altamente viscosos, lo que ninguna otra bomba puede hacer.
- No tienen válvulas.

2. INSTRUMENTACIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS

Para la implementación del trabajo se re-acondicionó el banco de pruebas de bombas que ya existía, se le cambió el motor de corriente continua de 2 Hp que él tenía y se le colocó un motor de corriente alterna trifásico de 0.9 Hp, se le adicionaron un transmisor de presión y uno de flujo en su tubería de descarga y otro de presión en su tubería de succión. Además se implementó una tubería de 2" paralela a la tubería de descarga, con el fin de montar toda la instrumentación electrónica sobre esta y hacer comparaciones con los elementos análogos de la otra ya existente.

A continuación se hará una descripción mas detallada de los elementos que constituyen el banco.

2.1 BOMBA HIDRÁULICA

En el presente proyecto se utilizó una bomba de aspas deslizantes, de la cual podemos decir que, su constitución externa es de acero fundido, consta de un eje en cuyo

extremo se encuentra el rotor, el cual gira en un estator excéntrico. Las aspas se desplazan hacia afuera del rotor por gravedad y están fabricadas tanto ellas como el rotor de acero cromado.

2.1.1 Características.

- Diámetro de rotor: 55.5 mm
- Diámetro mayor del estator: 63.5 mm
- Numero de aspas: 12
- Ancho de las aspas: 15 mm
- Longitud de las aspas: 22.5 mm
- Marca: Vicker
- Caudal máximo: 35 litros
- Rotación: Sentido de las manecillas del reloj.

2.2 MOTOR AC TRIFÁSICO

El objetivo principal de este motor de corriente alterna es el de transmitir potencia a la bomba, a través de un acople directo. A este se le hizo un control en lazo abierto para variar las r.p.m. a través de un variador de velocidad, de modo que sus fluctuaciones no fuesen a alterar el normal funcionamiento del proceso.

2.2.1 Características técnicas

- Potencia: 0.9 HP (0.67 KW), trifásico.
- Alimentación: 220/440 V.
- Corriente: 3.00/1.50 A
- Velocidad: 1800 r.p.m.
- Factor de potencia : 0.80
- Tipo: Jaula de ardilla

2.3 CONTACTOR ELÉCTRICO

El contactor utilizado es de marca Telemecanique trifásico, soporta valores de voltaje trifásico nominales hasta 440 VAC y una corriente de 15 A. Además su voltaje de bobina es 220 VAC.

2.4 FUSIBLES

Los fusibles recomendados y utilizados para proteger los circuitos internos del variador de velocidad y el motor son de 10 A.

2.5 PULSADOR ON/OFF

Este pulsador presenta dos estados, con los cuales se energizan o desconectan las tres líneas de alimentación de 220 VAC que van al variador de velocidad. Esperando sólo la acción de inicio dada desde el computador para arrancar el motor.

2.6 VÁLVULA PROPORCIONAL SERVOACCIONADA

La válvula proporcional es una válvula de dos vías que se utiliza para líquidos neutros, cuya regulación tanto de la apertura como del cierre, se logra mediante la regulación progresiva de la corriente de la bobina y como consecuencia de la fuerza de tracción de la bobina de solenoide. Es decir, al aumentar la corriente de la bobina a partir de cierto punto, la fuerza de tracción de la bobina (1) será mayor que la fuerza contraria del resorte de cierre (2). El inducido (3) se eleva y se abre el orificio piloto (4) en el diafragma (5) que, debido al efecto servo, sigue el movimiento del inducido. Cuando la corriente de la bobina alcanza su máximo valor, la válvula está totalmente abierta. Mediante la regulación progresiva de la corriente de la bobina, el inducido puede ser colocado prácticamente en cualquier posición dentro del tubo del inducido y la válvula puede ser fijada en cualquier posición que vaya desde completamente abierta a completamente cerrada. (ver figura 14).

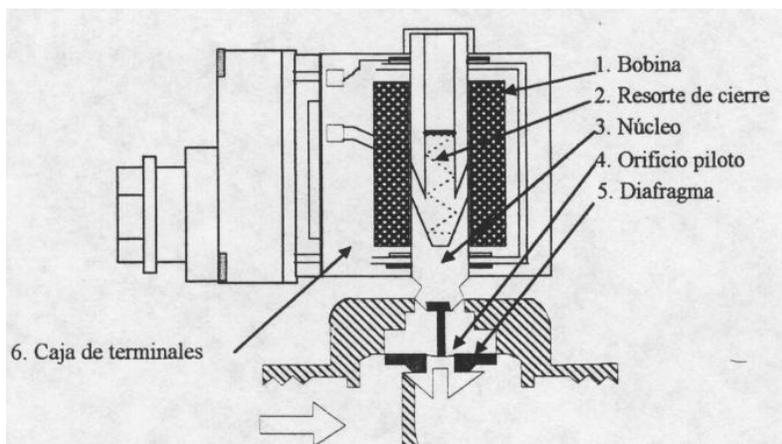


Figura 14. Válvula proporcional

La gama de corriente efectiva de bobina para estas válvulas proporcionales sin convertidor de señales es aproximadamente de 300 a 600 mA, pero estas válvulas también se pueden adquirir con convertidor de señales, el cual regula la corriente de la bobina de manera que sea proporcional a la señal de entrada (señal piloto). La señal piloto puede ser:

Una señal de tensión de 0 a 10 V c.c.

Una señal de corriente de 4 a 20 mA.

2.6.1 Características de la señal de acción. Se implementó un convertidor de señales y una señal piloto de 0 a 10 V. La relación entre la señal piloto y el caudal es directamente proporcional a todo lo largo del campo de regulación. (Ver figura 15). La válvula tiene una conexión de 1/2", maneja 35 litros por minuto y una presión máxima de 150 psi.

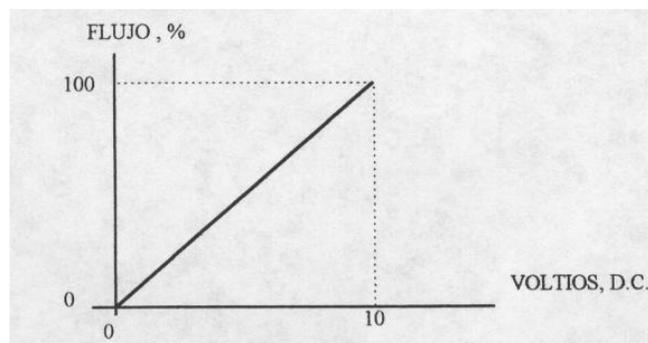


Figura 15. Señal de voltaje contra caudal.

2.7 TRANSMISORES

Los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso y la transmiten a un elemento receptor, indicador, registrador, controlador o una combinación de estos. Los transmisores pueden manejar varios tipos de señales: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas (Ver gráfica 16).

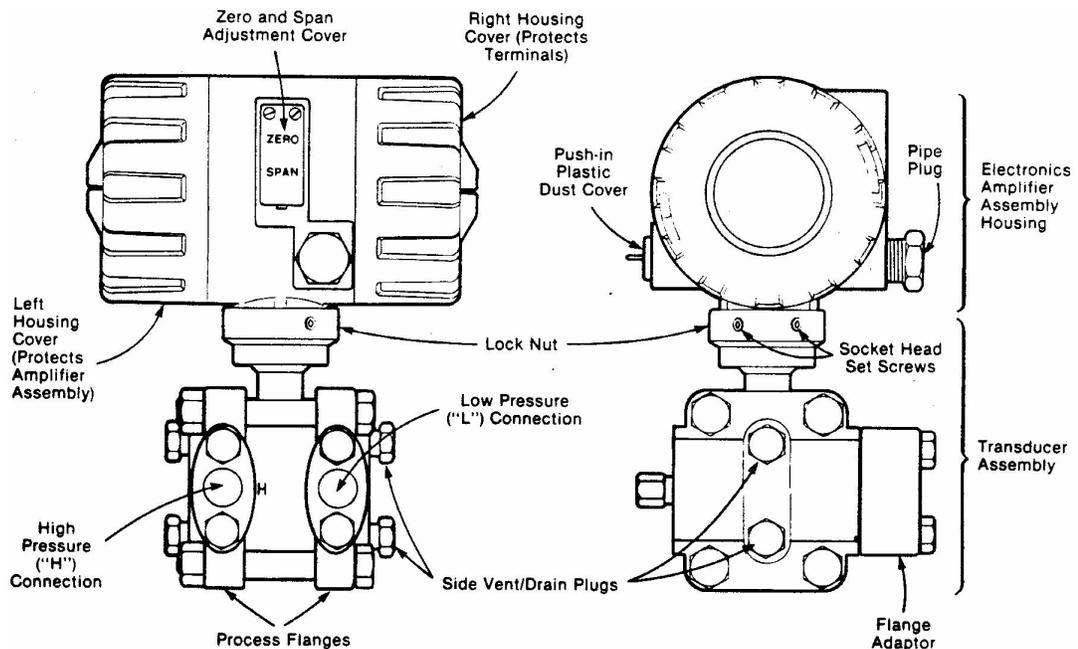


Figura 16. Transmisores

2.7.1 Transmisores de presión. En cuanto a lo que se refiere al transmisor de presión (marca Bailey) utilizado en la tubería de descarga, cabe anotar que:

- Maneja una capacidad máxima de presión de 200 psi y fue calibrado a 150.
- Emite una señal de 4 mA cuando la presión en su diafragma es de cero psi, y emite una señal de 20 mA cuando la presión es de 150 psi; en este intervalo de presiones, el transmisor emitirá una señal de corriente proporcional a la presión que esté sensando.
- La forma de calibrar este transmisor se describe a continuación en la figura 17.

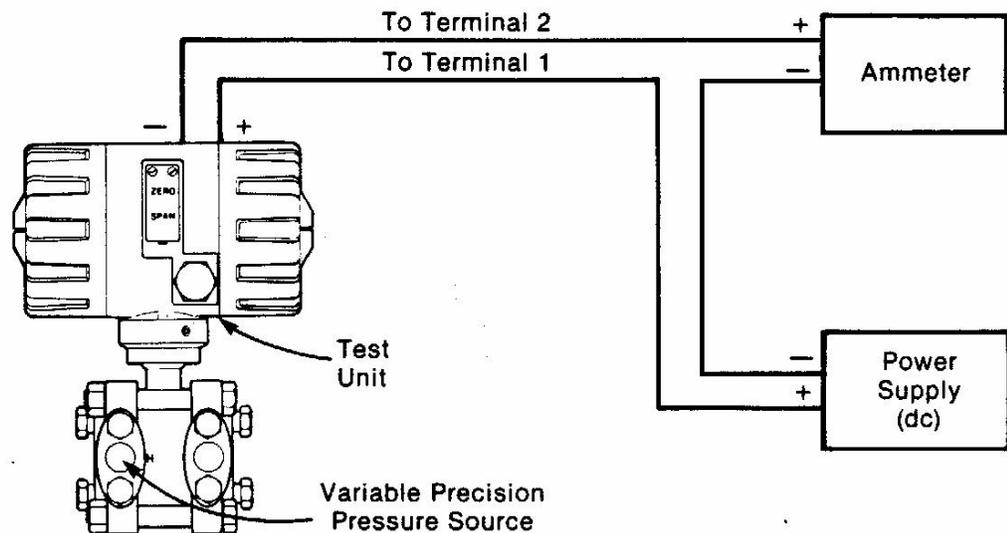


Figura 17. Calibración típica de transmisores

En cuanto al transmisor de presión (marca Foxboro), utilizado en la succión, cabe anotar que:

- Maneja un rango de presión negativa hasta 250 cm de mercurio y fue calibrado a 37 Cm de mercurio.
- Al calibrarlo su cero se colocó en 12 mA (cero psi) y su span en 20 mA (37 cm de mercurio)

2.7.2 Transmisor de flujo. Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento) o bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino). Hay que señalar que la medida del caudal volumétrico en la industria se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentra la placa orificio o diafragma, la tobera y el tubo venturi.

En este proyecto se utilizó un transmisor de flujo (marca Bailey), el cual se comporta como un circuito dinámico de puente de Weastone aplicable a la medida de presión diferencial y nivel, formado por una pastilla de silicio difundido en el que se hallan

embebidas las resistencias Ra, Rb, Rc y Rd de un puente de Weastone. El desequilibrio del puente originado por cambios en la variable da lugar a una señal de salida de 4 a 20 mA. Sus rangos van desde 5 hasta 100 pulgadas de agua. Al calibrarlo su cero se colocó en 4 mA (0 pulgadas de agua) y su span en 20 mA (30 pulgadas de agua).

2.8 VARIADOR DE VELOCIDAD

El equipo Micromaster, es un convertidor de frecuencia cuya función es controlar la velocidad de los motores a.c trifásicos. Estos convertidores están controlados por microprocesadores e incorporan tecnología de vanguardia que le confiere fiabilidad y flexibilidad.(Ver figura 18)



Figura 18. Variador de velocidad

2.8.1 Características técnicas

- Alimentación: 230 V trifásico.
- Corriente de salida (nominal): 3.5 A
- Corriente de salida (máxima continua): 3.9 A
- Potencia: 1HP (0.75 kW)
- Frecuencia de salida: 0-400 Hz.
- Alto par de arranque con elevación automática de corriente en arranque.
- Control de bucle cerrado mediante el uso de una función de bucle de control proporcional e integral (PI).
- Freno por inyección de cc incorporado con frenado mixto especial.
- Reconocimiento automático de motores de 2, 4, 6 ó 8 polos mediante software.

2.9 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS (PC-Labcard PCL-812PG)

Esta tarjeta tiene como función servir de interfase entre el mundo analógico (transmisores y sensores) y el mundo digital del computador en donde se van a realizar el procesamiento de las señales.

2.9.1 Características técnicas

ENTRADA ANÁLOGA

- Canales: 16 simples
- Resolución: 12 bits
- Sobrevoltaje: +-30 V máximo.
- Rata de conversión: 30 kHz.

SALIDA ANÁLOGA

- Canales: 2
- Resolución: 12 bits.
- Rango de salida: 0- +5, con referencia interna; y +-10 V máximos con referencia a.c o dc externa.

ENTRADA DIGITAL

- Canales: 16
- Nivel: compatible con TTL.

SALIDA DIGITAL

- Canales: 16
- Nivel: compatible con TTL.
- Capacidad de manejo: bajo: 0.8 mA a 0.5 V. Alto: 0.4 mA a 2.4 V .

2.10 FUENTE DE ALIMENTACION DC

Esta fuente fue diseñada para entregar un voltaje de salida regulado de 24VDC y una corriente de 3 A. La cual sirvió para alimentar los transmisores de presión, de flujo, la válvula proporcional, y cada uno de los circuitos electrónicos acondicionadores de señal que se implementaron en la tesis.

2.11 CIRCUITOS ACONDICIONADORES DE SEÑALES

Debido a la imposibilidad de la tarjeta de adquisición de datos de manejar por completo los dispositivos externos en cuanto a corriente y voltaje, se hizo necesario implementar circuitos que acondicionaran estas señales.

2.12 DEPÓSITO DE ACEITE

El depósito de aceite sirve como recipiente de succión y descarga, posee una capacidad teórica total de 52 litros. En el presente proyecto se están utilizando 34 litros.

Está fabricado en lámina negra de acero, calibre #16 (1.56 mm de espesor) lo que respecta a las paredes y el fondo. La tapa del depósito es de acero al carbono de ¼ pulgada de espesor, en ella se alojan la línea de succión, descarga, de seguridad, el desfogue y la abertura de llenado.

En el interior del depósito se halla un reflector, que impide la desmulcificación del aceite. Éste está fabricado en lamina de acero al carbono de 3/16 pulgadas de espesor.

En el fondo del deposito se encuentra un tapón de vaciado para realizar mantenimiento.

2.13 VÁLVULA DE COMPUERTA

Se encuentra instalada en la tubería de succión, su función es la de controlar la presión de succión. Es de bronce, con un diámetro de 1 pulgada y posee una capacidad de 150 psi.

2.14 VÁLVULA DE CIERRE RÁPIDO

Se encuentra instalada en la succión, su función es la de evitar la pérdida excesiva de aceite al hacer cambio de bomba. Es de acero con un diámetro de 1 pulgada, roscada y se encuentra lo más cerca posible de la bomba.

2.15 VÁLVULA DE ALIVIO

Se encuentra instalada en la descarga, tiene como fin proteger el sistema de sobrepresión, es de bronce, roscada y tiene una pulgada de diámetro. Está regulada a una presión de trabajo de 100 psi y descarga directamente al depósito de succión.

2.16 VALVULA DE GLOBO

Está instalada en la descarga, tiene como función regular la presión de descarga, es de bronce, roscada y una pulgada de diámetro. Tiene una capacidad de 350 psi.

2.17 MANÓMETRO

Se encuentra instalado en la descarga, su función es la medir la presión de descarga.

Las características que posee son:

- Rango de medida de 0 – 24 Kg/cm².
- Conexión es roscada (1/2 pulgada NPT).
- Tipo Bourdon, marca Marshall.

2.18 VACUÓMETRO

Se encuentra instalado en la succión, nos permite medir la presión de succión en todo momento. Presenta las siguientes características:

- Rango de medición de 0 – 30 pulgadas de Hg (0 – 76 cm Hg).
- Su conexión es roscada (1/4 pulg NPT)
- Tipo Bourdon marca Pressure Ganges.

2.19 FLUÍDO

El fluido utilizado es aceite hidráulico ISO 46 (SAE 10) marca CUDECOM.

2.20 MEDIDOR DE CAUDAL

Se encuentra instalado en la tubería de descarga, su función es el de medir el caudal que pasa a través de ésta. Es de bronce, con un diámetro de una pulgada y presenta una escala en litros.

2.21 TUBERÍA

La tubería de descarga, de succión y de seguridad son de acero sch 40. La tubería de succión y seguridad tienen un diámetro de 1 pulgada y la de descarga es de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

La tubería donde se encuentra la válvula electrónica es de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, que más adelante se encuentra unida a un tramo de tubería de 2 pulgadas en donde se encuentra el medidor presión diferencial (platina orificio) y es de acero al carbono.

2.22 ACCESORIOS DE TUBERÍA

Los accesorios de tubería utilizados son de acero, unos de acero galvanizado como son los de succión y los otros de acero al carbono de 3000 psi. Entre ellos tenemos:

- Codo de diámetro de 2 pulg, 1 pulg, $\frac{3}{4}$ pulg y $\frac{1}{2}$ pulg.

- Unión universal de diámetro 1 x ¾ pulg
- Tee de ¾ x ¾ x ¾ pulg
- Unión simple de diámetro 1 pulg.
- Reducción de copa de ¾ a 1 pulg.
- Bushin de ¾ a ½ pulg.

2.23 MANGUERAS HIDRÁULICAS

Están instaladas en la succión y descarga, su función es poder cambiar de bomba en forma fácil. La manguera de succión tiene una capacidad de 200 psi, con un diámetro de ¾ pulg, con dos adaptadores hembra de bronce con rosca NPT.

La manguera de descarga tiene capacidad de 2000 psi, con un diámetro de 12 pulg, con dos adaptadores, uno hembra de bronce y otro macho de acero.

2.24 ACOUPLE MECÁNICO

En este proyecto se cambió el sistema de transmisión de potencia por correas, por un acople directo, debido a las facilidades que este presenta:

- Fácil instalación.
- Disminuye vibraciones y ruido debido a que presenta un empaque de caucho.
- Requiere de menos mantenimiento.
- Vida útil más larga
- Es más seguro.

- No requiere lubricación como el anterior.

El acople es fabricado por la empresa INDUACOPLES y presenta las siguientes características de trabajo:

- Es ideal para montajes e instalaciones industriales tales como motor-bomba, motor-planta y motor-reductor.
- Alivia la carga de arranque y compensa las variaciones de horizontalidad.
- Es recomendado para trabajar en motores de 0.5 a 50 HP.
- Las velocidades para las cuales es recomendado varían en el rango de 100 a 3000 r.p.m.

Cabe anotar entonces que el modelo del acople "INDUACOPLE L75", que utilizamos en el proyecto, presenta las características necesarias para su normal funcionamiento, pues está diseñado para una velocidad que varía entre los rangos 0 a 3000 r.p.m. Se utilizó una velocidad máxima de 1685 r.p.m.

3. MONTAJE, PROCEDIMIENTOS Y CÁLCULOS

3.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de voltaje utilizada, fue diseñada para entregar 24 VDC regulados, alimentada con 110VAC. Fue utilizada para alimentar los transmisores de presión, el transmisor de flujo, la válvula proporcional y los circuitos acondicionadores de señal (filtros antialiasing y los circuitos de amplificación de corriente a la salida de las dos salidas análogas). (Ver figura 19).

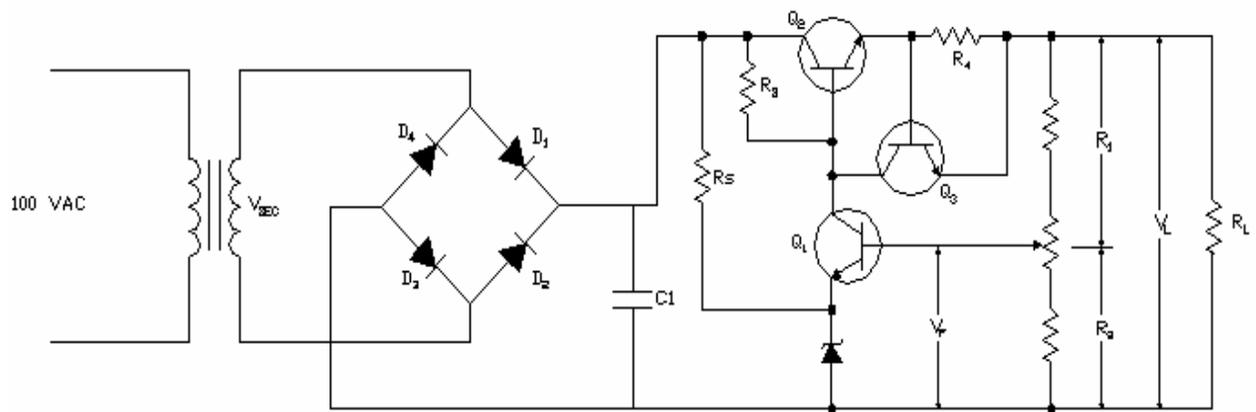


Figura 19. Fuente de alimentación

3.1.1 Cálculo de las resistencias que determinan la regulación de voltaje. Se fijó

un voltaje de salida de 24 V, una corriente de carga de 2 A.

De la ecuación:

$V_{SAL} = A_{LC}(V_Z + V_{BE})$, calculamos A_{LC} , donde A_{LC} es la ganancia de lazo cerrado.

Por consideraciones de diseño se seleccionó un diodo zener de 16 V.

$$A_{LC} = 24V / (16V + 0.7)$$

$$A_{LC} = 1.43$$

Tenemos que:

$A_{LC} = 1/B$, donde B es la fracción de realimentación.

$$B = R_2 / (R_1 + R_2)$$

Asumiendo que $R_1 = 820\Omega$

$$R_2 = 2.7 K\Omega$$

Para lograr un ajuste en el voltaje de salida, se colocó un potenciómetro de $1K\Omega$.

La potencia disipada por las resistencias es la siguiente:

$$P_{R1} = I^2 R, \text{ donde } I = 24V / (820\Omega + 2.7K\Omega + 1K\Omega) = 5.3 \text{ mA}$$

Luego $P_{R1} = 23.1 \text{ mW}$, comercialmente se utilizó una de $\frac{1}{2} \text{ W}$.

Para la resistencia R_2 la potencia disipada es: $P_{R2} = (5.3 \text{ mA})^2 (2.7K\Omega) = 76 \text{ mW}$, se utilizó una de $\frac{1}{2} \text{ W}$.

La potencia disipada por el potenciómetro es de $P = (5.3 \text{ mA})^2 (1 K\Omega) = 28 \text{ mW}$. Se utilizó uno de $\frac{1}{2} \text{ W}$.

3.1.2 Cálculo de R_S y R_3 . Por condiciones de diseño se fijó la corriente de trabajo del diodo Zener en 30mA. donde $I_Z = I_{RS} + I_{E(2N3904)}$, asumimos $I_{RS} = 28 \text{ mA}$ y $I_{E(2N3904)} = 2 \text{ mA}$.

Por lo tanto:

$$R_S = (38V - 16V)/28\text{mA} = 785 \Omega$$

Comercialmente se utilizó una resistencia de 750Ω

Se seleccionó un transistor 2N3904 con un $\beta_{\min} = 100$ y un D1888 con un $\beta_{\min} = 1000$. La suma de la corriente de colector del 2N3904 más la corriente de base del transistor D1888 es igual a la corriente que circula por la resistencia R_3 .

Entonces:

$I_{B(D1888)} = I_{SAL}/\beta$, donde β es la ganancia de corriente del transistor especificada por el fabricante.

$$I_{B(D1888)} = 2 \text{ A} / 1000$$

$$I_{B(D1888)} = 2 \text{ mA}$$

$$Y \quad I_{R3} = 2 \text{ mA} + 2 \text{ mA}$$

$$I_{R3} = 4 \text{ mA}.$$

Luego:

$$R_3 = (38V - 24.7V)/4 \text{ mA}$$

$$R_3 = 3325 \Omega.$$

Se utilizó una resistencia comercial de $2.7 \text{ K}\Omega$ a $\frac{1}{2} \text{ W}$.

3.2 INTERFASE DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

- El variador de velocidad necesita una entrada analógica de 0 a 10 VDC entre sus pines 2 y 3 para variar la velocidad del motor de 0 a 1685 r.p.m. Esta entrada es proporcionada por el computador a través de la tarjeta de adquisición de datos. Se aisló la salida de la tarjeta de adquisición de datos de la entrada del variador de velocidad por medio de un circuito seguidor emisor (Ver figura 20).

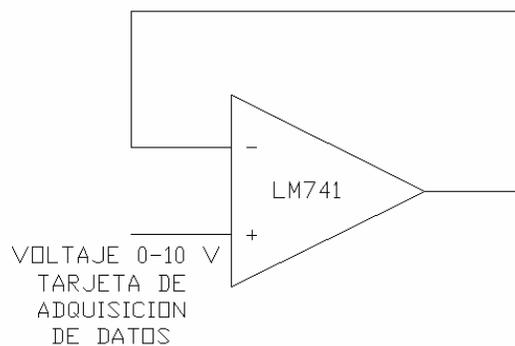


Figura 20. Interface del variador de velocidad

3.3. CONTROL DE MANDO DE LA VÁLVULA PROPORCIONAL

Para regular la apertura de la válvula proporcional, es necesario suministrarle una señal de control de 0 a 10 VDC y una corriente aproximada de 40 mA. Debido a la imposibilidad de la tarjeta para entregar esta corriente se hizo necesario diseñar un circuito que amplifique esta corriente y regule de 0 a 10 V. (Ver figura 21).

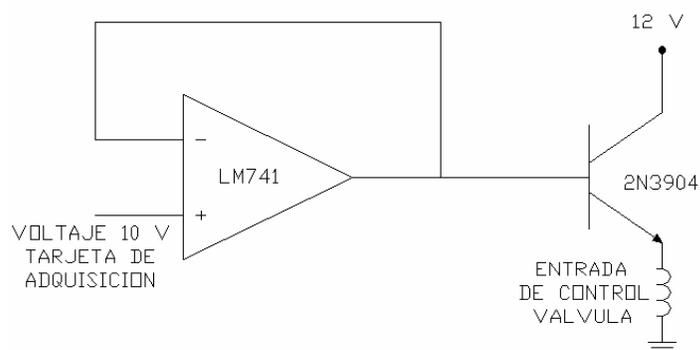


Figura 21. Control de mando de la válvula.

3.3 CIRCUITO ON/OFF DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

El encendido/apagado del variador de velocidad desde el computador, necesita un interruptor on/off, para realizar tal efecto se dispuso de un relé con voltaje de 12 V y corriente de bobina de 18 mA. Debido a que la tarjeta no maneja este voltaje ni estos valores de corriente se diseñó, un circuito conmutador que sirve como interfase. (Ver figura22).

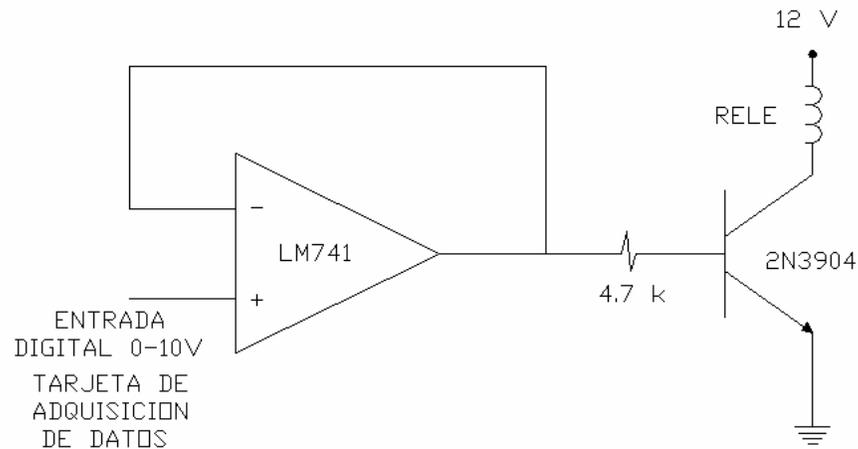


Figura 22. Circuito on/off del variador de velocidad

3.5 ADQUISICIÓN DE DATOS

3.5.1 Medición de presión y flujo. Estas mediciones se realizaron por medio de los transmisores de presión y de flujo los cuales se calibraron de la siguiente manera:

3.5.1.1 Ajuste de cero y span(Máxima escala).

3.5.1.1.1 Transmisor de presión de descarga. Inicialmente se ajustó el límite inferior (cero) de este transmisor colocando un amperímetro entre el borne negativo de la fuente de 24V y la resistencia serie de 250Ω . Colocando una presión de 0 psi en la descarga se ajustó el botón de cero del transmisor hasta llevarlo a una medida de corriente de 4mA vistos en el amperímetro. Para calibrar el límite superior (span), se repitió el proceso anterior de colocar los elementos en serie, se elevó la presión a su máximo valor (150 psi) y se ajustó el botón de span hasta llevarlo a una medida de 20mA.

3.5.1.1.2 Transmisor de presión de succión. Inicialmente se ajustó el límite inferior (cero) de este transmisor colocando un amperímetro entre el borne negativo de la fuente de 24V y la resistencia serie de 470Ω . Colocando una presión de 0 cm de mercurio en la succión se ajustó el botón de cero del transmisor hasta llevarlo a una medida de corriente de 12mA vistos en el amperímetro. Para calibrar el límite superior (span), se repitió el proceso anterior de colocar los elementos en serie, se elevó la presión a su máximo valor (37 cm de mercurio) y se ajustó el botón de span hasta llevarlo a una medida de 20mA.

3.5.1.1.3 Transmisor de flujo. Inicialmente se ajustó el límite inferior (cero) de este transmisor colocando un amperímetro entre el borne negativo de la fuente de 24V y la resistencia serie de 500Ω . Colocando una presión diferencial de 0 pulg de agua entre los extremos de la platina orificio se ajustó el botón de cero del transmisor hasta llevarlo a una medida de corriente de 4mA vistos en el amperímetro. Para calibrar el límite superior (span), se repitió el proceso anterior de colocar los elementos en serie, se elevó la presión a su máximo valor (30 pulg de agua) y se ajustó el botón de span hasta llevarlo a una medida de 20mA.

3.5.2 Adquisición. Para adquirir los datos de los transmisores de presión en la descarga, en la succión y en el de flujo estando el banco en funcionamiento, se tomaron los valores de voltaje en los terminales de la resistencia de 250Ω , 470Ω y 500Ω respectivamente. Estos fueron llevados a las entradas analógicas 10, 11, y 12 de la tarjeta de adquisición de datos y fueron leídos por el programa Genie.

3.5.3 Circuito medidor de potencia. La función de este circuito es sensar la potencia que consume el motor de corriente alterna, su placa característica indica que su voltaje de operación es de 220 V. Sin embargo la tarjeta de adquisición de datos sólo admite entradas análogas hasta 10 VDC. Por esta razón se hizo necesario adecuar estas señales con el fin de proteger la tarjeta. El voltaje de línea fue sentido colocando un transformador de tensión con una relación de transformación de 44, es

decir cuando el voltaje de línea sea 220 VAC, el voltaje en el secundario es de 5 VAC; para convertirlo a voltaje continuo se rectificó y se llevó al computador, donde por software se obtuvo el voltaje real de línea. Por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{(\text{Línea})} = (V_{(\text{Continuo})} * 44) / \text{SQR}(2)$$

En cuanto a la medición de la corriente, se colocó un transformador de corriente con relación de transformación de 4.3, esto se hizo colocando el secundario del transformador en serie con una de las líneas que alimentan el motor. En el primario obtenemos una corriente disminuida en 4.3 veces la corriente que fluye en el secundario. Esta corriente disminuida se hizo fluir por una resistencia, obteniendo así un voltaje alterno que luego se rectificó y fue llevado al computador por medio de la tarjeta de adquisición de datos. Estando este dato en el computador por medio de software se hizo la siguiente operación:

$$I_L = V_{(\text{Continuo})} * 4.3 / (5 * \text{SQR}(2))$$

3.5.4 Filtros antialiasing. Al igual que el filtro de ruido, el filtro antialiasing es también un filtro pasa-bajos, sin embargo este tiene una pendiente alta en la frecuencia de corte de tal forma que remueve todas las componentes de alta frecuencia que son más altas que el ancho de banda de entrada de la tarjeta. El aliasing es un efecto que consiste en que, señales de entrada con componentes de muy alta frecuencia aparecen en el código digital como señales erróneas de baja frecuencia. El aliasing también ocurre cuando la rata de muestreo es muy baja y la

señal de entrada es de baja frecuencia. Esta frecuencia errónea del aliasing no puede ser distinguida de los datos verdaderos.

Para evitar todo lo anterior en el proyecto se diseñaron filtros antialiasing con una frecuencia de corte de 2 Hz.

$$F_c = 1/2\pi RC$$

Donde R se seleccionó de 820Ω y C de $100 \mu F$.

Todas las señales analógicas antes de entrar a la tarjeta de adquisición de datos fueron pasadas por estos filtros. (Ver figura 23).

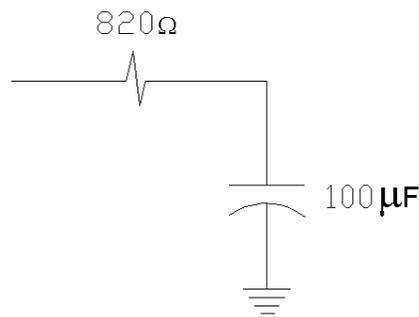


FigurA 23. Filtros Antialiasing

3.5.5 Cálculo del NPSH_A.

$$NPSH_A = (P_S/\gamma) - h_s - h_{fr} \quad (1)$$

Donde P_S = presión de succión en N/m^2 parte superior del tanque (P. atmosférica).

h_s = elevación estática de succión en m.

h_{fr} = pérdida en tuberías y accesorios en m.

γ = peso específico del aceite ($8.820 N/m^3$).

$$P_s/\gamma = (101352.82/8820) = 11.49125$$

$$h_{fr} = (f \cdot L/D) \left(\frac{Q^2}{2 \cdot A^2} \cdot g \right) \quad (2)$$

donde: D = diámetro en cm.

f = factor de fricción.

g = constante de gravedad (9.8m/s²).

L = longitud tubería.

Q = Caudal que atraviesa por la tubería en litros/min.

A = Area tubería de succión en m².

$$L/D \text{ de la tubería} = (0.108.5/0.0254) = 42.71$$

$$\text{Area de la tubería} = (0.0254)^2 = 0.00064516 \text{ m}^2$$

Hallando f (factor de fricción) por tablas tenemos:

$$f = 0.08$$

Para poder evaluar la ecuación (2) necesitamos que todas sus variables tengan las mismas unidades. Por tanto convertimos los litros/min a m³/s.

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = Q(\text{litros}/\text{min})/60000$$

Introduciendo todos los valores anteriores en la ecuación (2) tenemos que:

$$H_{fr} = (0.08 \cdot 42.71 \cdot Q^2) / (60.000 \cdot 2 \cdot 9.8 \cdot 0.00064516) = 0.0045 \cdot Q^2$$

Para hallar h_s se mide la distancia vertical que existe entre el eje de la bomba y el depósito de aceite. Que en m es igual a 0.45.

reemplazamos todos los valores en la ecuación (1), la cual resulta:

$$NPSH_A(m) = 11.49125 - 0.0045*Q^2 - 0.45$$

$$NPSH_A(m) = 11.04 - 0.0045*Q^2$$

3.5.6 Cálculo de la Cabeza de la bomba.

Aplicando la ecuación de la conservación de la energía entre dos puntos, un punto 1 ubicado en el manómetro de la succión, y un punto 2 ubicado en el manómetro de la descarga tenemos que:

$$(P_1/\gamma) + (V_1^2/2g) + Z_1 + H = (P_2/\gamma) + (V_2^2/2g) + Z_2 \quad (1)$$

sabemos que la tubería de descarga y de succión está a la misma altura, por tanto Z_1 y Z_2 se cancelan.

$$H = (P_2 - P_1/\gamma) + [(Q^2/2g)((1/A_2^2) - (1/A_1^2))]$$

El factor $[(Q^2/2g)((1/A_2^2) - (1/A_1^2))]$ tiende a cero.

$$H = (P_2 + P_1/\gamma)$$

El signo dentro del paréntesis cambió porque la presión de succión es negativa (-) por (-) da (+).

3.5.7 Cálculo de la platina orificio.

El cálculo de la platina orificio se hizo teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Fluido: aceite ISO 46
- Máximo flujo: 10 galones americanos.
- Presión máxima: 164.73 psi.
- Temperatura: 104 °F
- Densidad: 56.12 lb/pie³.
- Viscosidad: 0.00405 cP.
- Presión base: 14.7 psi.
- Temperatura base: 60 °F.
- Rango de presión diferencial: 30 plg de agua.

Todos estos datos fueron introducidos en un software industrial que calcula platinas orificio, propiedad de la empresa CABOT Colombiana S.A, el cual arrojó los siguientes resultados:

- Beta (d/D) = 0.34407725
- Orificio interno de la platina: 0.71276 plg

Esta platina se realizó en acero inoxidable.

Estos cálculos de la platina también se realizaron utilizando tablas, pero no obtuvimos resultados satisfactorios. Por tanto preferimos utilizar el cálculo hecho por el software.

4. ESTRATEGIAS DE CONTROL

4.1 GENIE

Genie es una herramienta desarrollada para aplicaciones de adquisición de datos y control. Esta soporta funciones y utilidades para desarrollar aplicaciones automáticas en ambiente Windows.

Genie es una interfase grafica que permite la programación de estrategias de control, a partir de iconos y editores en Basic. Contiene una biblioteca de iconos que representa los bloques para adquisición y control de datos, además de funciones matemáticas de control, las cuales están provistas en el Task Designer.

4.1.1 Task designer. El Task Designer usa un modelo de programación en diagrama de flujos que libera al usuario de la programación lineal o de los lenguajes a partir de textos. Usa un Toolbox que contiene iconos que simplifican el desarrollo de su

proceso de control o estrategia de adquisición de datos. Cada icono representa una acción particular dentro del funcionamiento del programa.

4.1.1.1 Programas.

4.1.1.1.1 Obtención presión de descarga (Tag: PRG1).

$$P= 37.5*AI1[11]-37.5;$$

Output (P);

4.1.1.1.2 Obtención presión de succión (Tag: PRG2).

$$S= 24.3902*AI2[12]-55.5;$$

Output (s);

4.1.1.1.3 Obtención del caudal (Tag: PRG3).

$$d= AI3[10];$$

$$f= 2.7876*pow(d,2)-4.566*d +1.8694;$$

$$C= 6.2075* \text{sqr}(f);$$

Output (C);

4.1.1.1.4 Obtención del voltaje del motor (Tag: PRG4).

$$V= (AI4[13]*44.75)/1.16;$$

Output (V);

4.1.1.1.5 Obtención de la corriente del motor (Tag: PRG5).

$$I = ((AI5[14] + 0.338) * 2.3) / (5.1 * \text{sqr}(2));$$

Output (i);

4.1.1.1.6 Obtención de la potencia del motor (Tag: PRG6).

$$W = \text{sqr}(3) * 0.8 * PRG4 * PRG5;$$

Output (W);

4.1.1.1.7 Obtención del NPSH_A (Tag: PRG7).

$$C = PRG3;$$

$$N = 11.04125 - 0.0045 * \text{POW}(C, 2);$$

Output (N);

4.1.1.1.8 Obtención Cabeza de la bomba (Tag: PRG8).

$$H = 0.78 * PRG1 + 0.1512 * PRG2;$$

Output (H);

4.1.1.1.9 Alimentación de control del variador de velocidad (Tag: AO1).

Utiliza el canal 1. (0-10V DC)

4.1.1.1.10 Alimentación de control de la válvula proporcional (Tag: AO2).

Utiliza el canal 0. (0-10V DC).

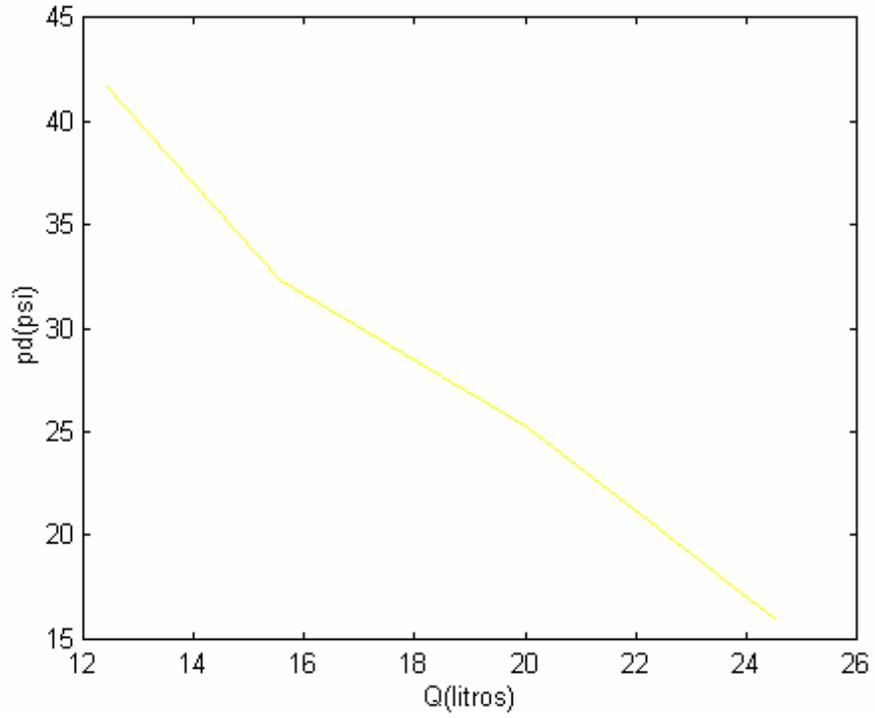
4.1.2 Display designer. El Display designer es la herramienta que se usa para visualizar y operar el panel de control de la estrategia, además se emplea como interfase dinámica entre el operador y la estrategia que está corriendo. Esta presenta un Toolbox que contiene medidores, barras gráficas, botones, etc

4.2 MATLAB

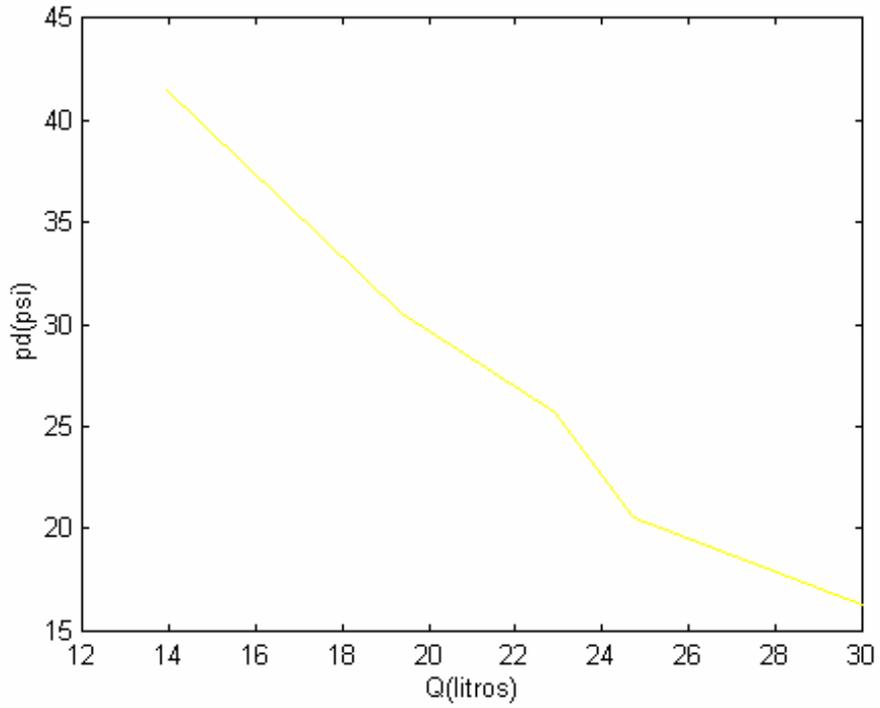
Es un entorno de computación técnica que consiste en un sistema interactivo único que incluye cómputo numérico, cómputo simbólico y visualización científica. Su elemento básico es una matriz. Dado que los comandos de Matlab son similares a la expresión de los pasos de ingeniería en matemáticas, escribir soluciones en computadora con Matlab es mucho más fácil que usar un lenguaje de alto nivel como C o Fortran.

5. GRAFICAS EXPERIMENTALES

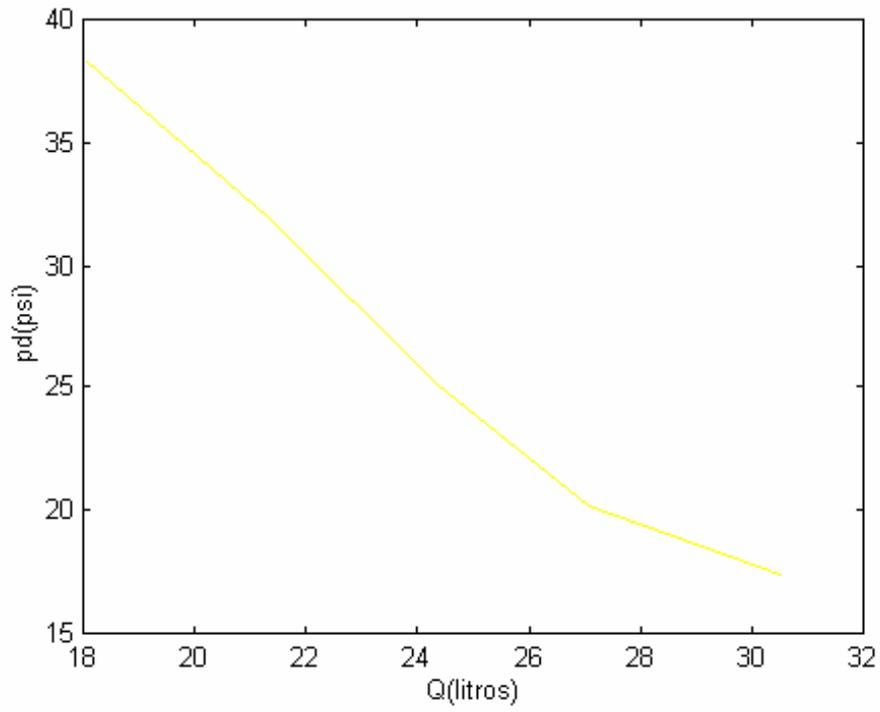
CAUDAL Vs PRESIÓN DE DESCARGA A 1250 R.P.M



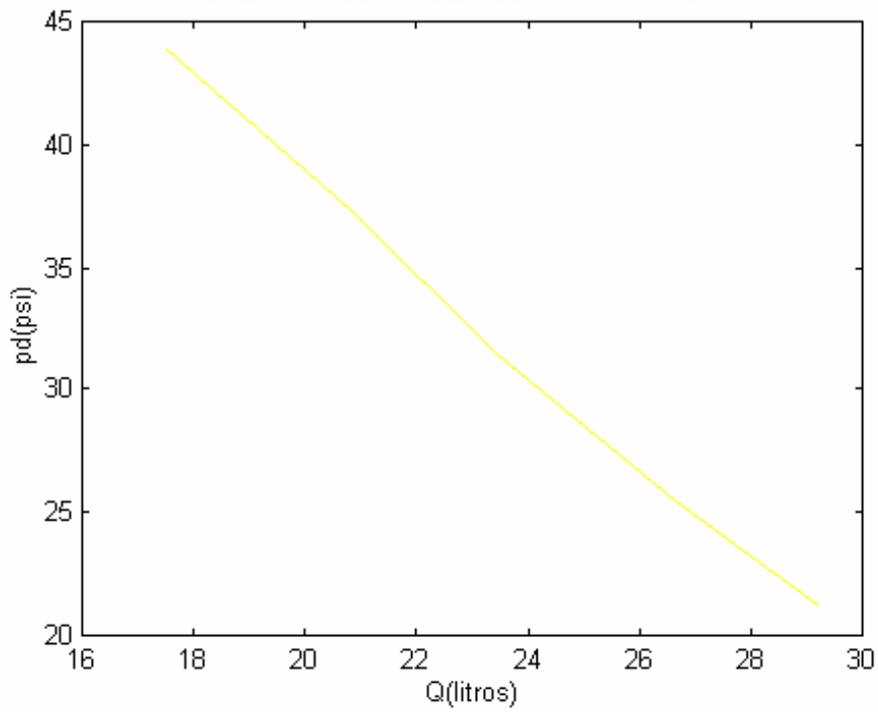
CAUDAL Vs PRESIÓN DE DESCARGA A 1350 R.P.M

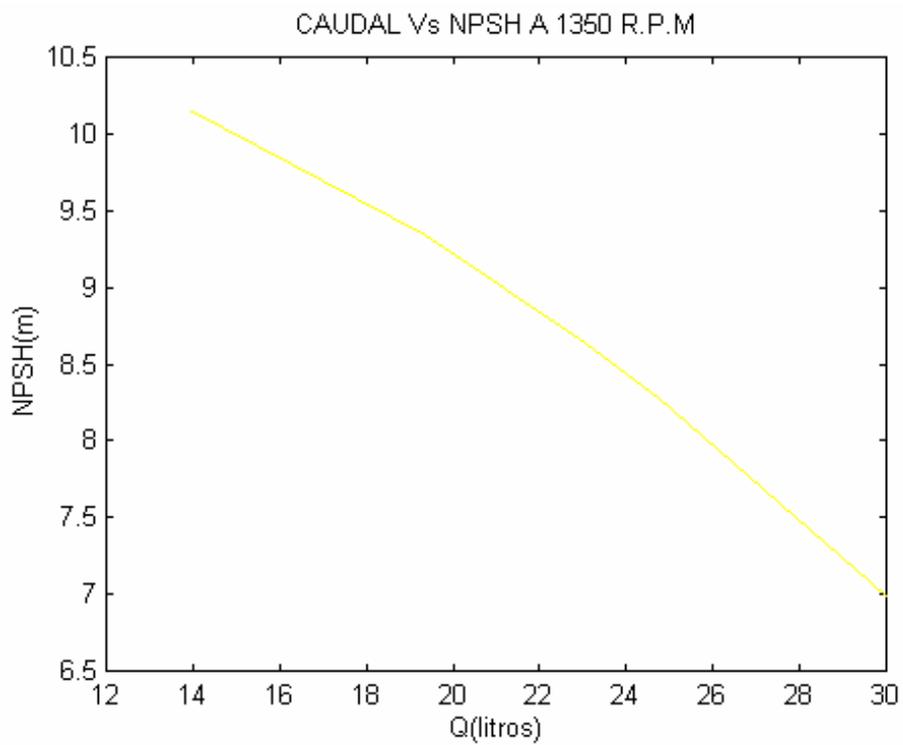
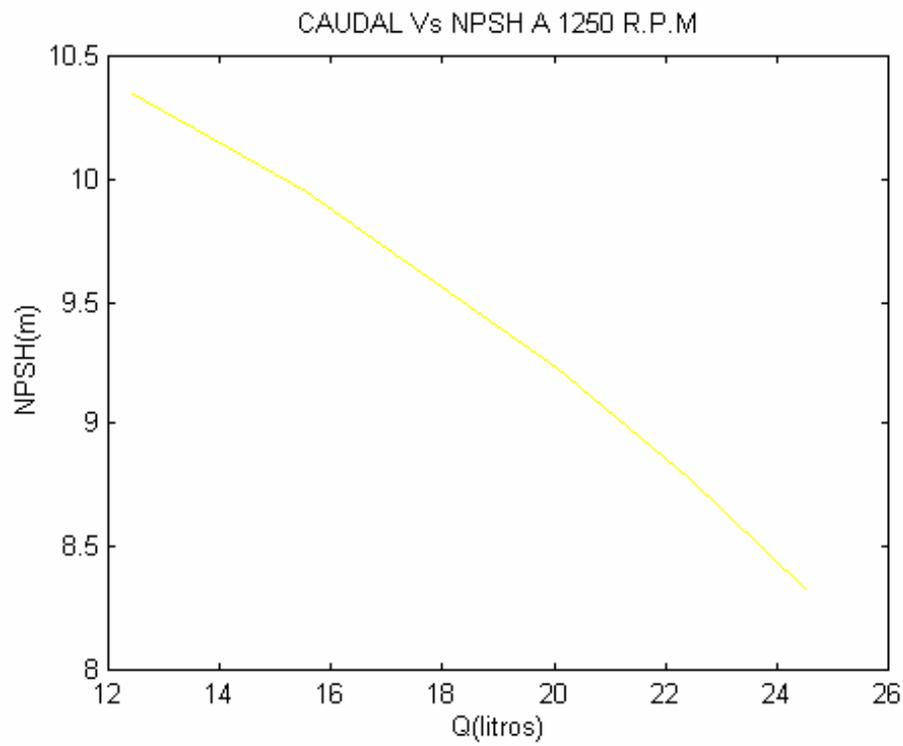


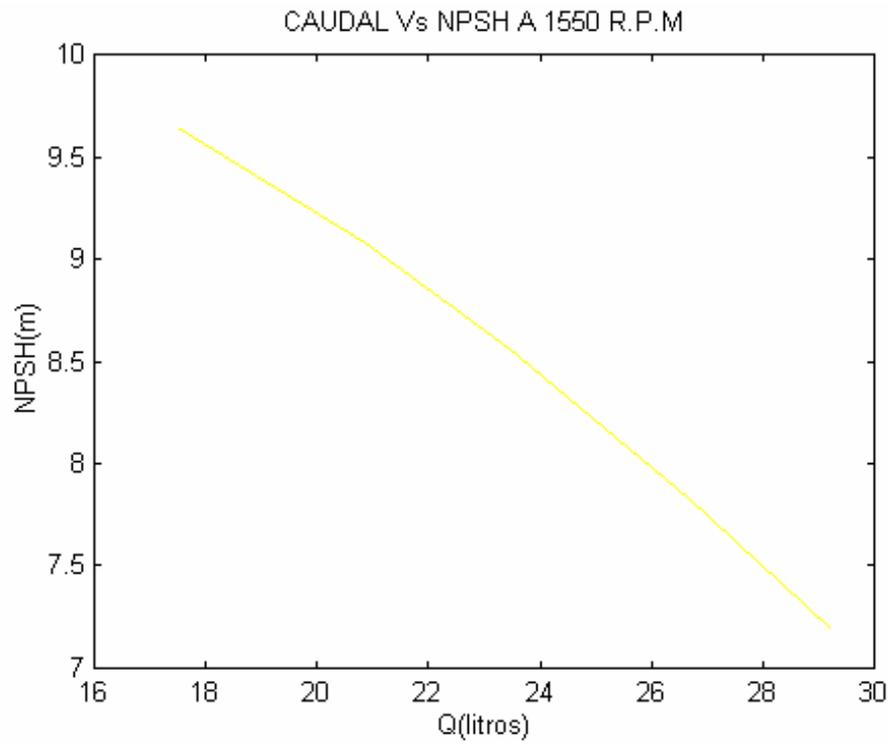
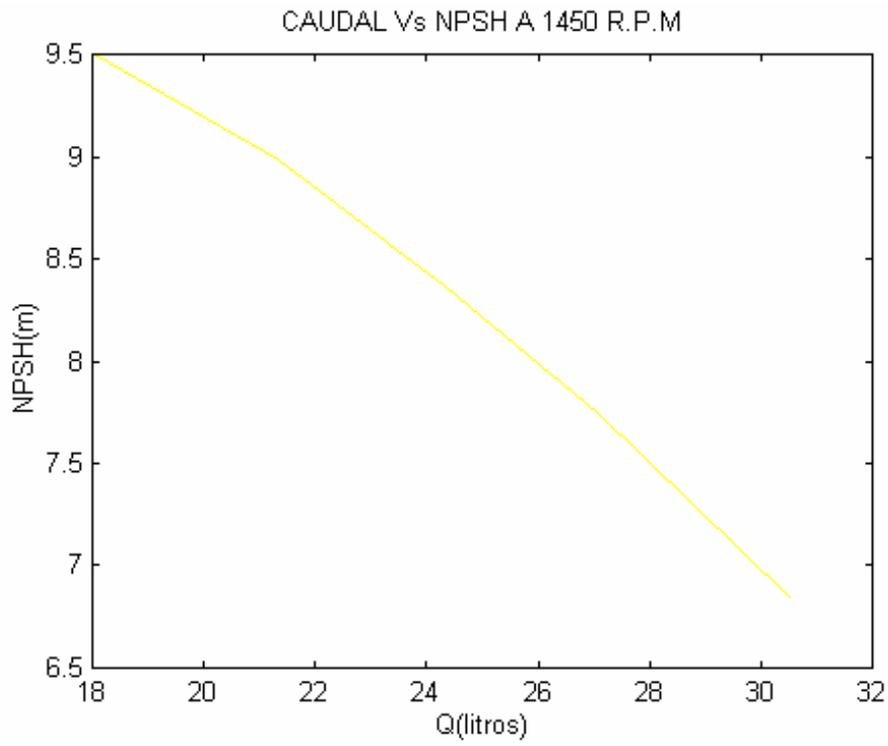
CAUDAL Vs PRESIÓN DE DESCARGA A 1450 R.P.M

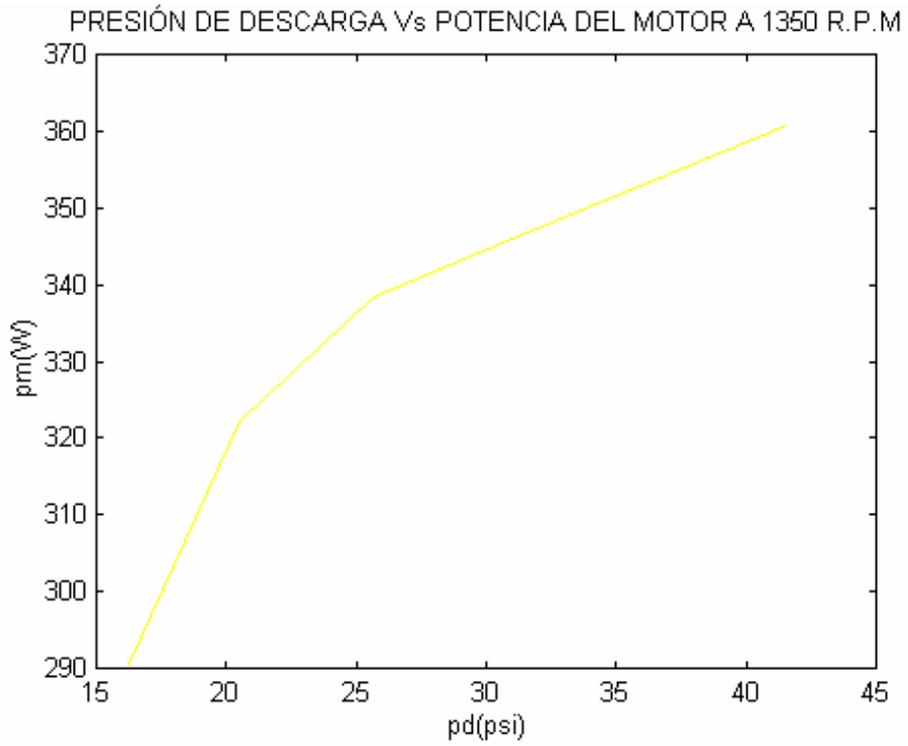
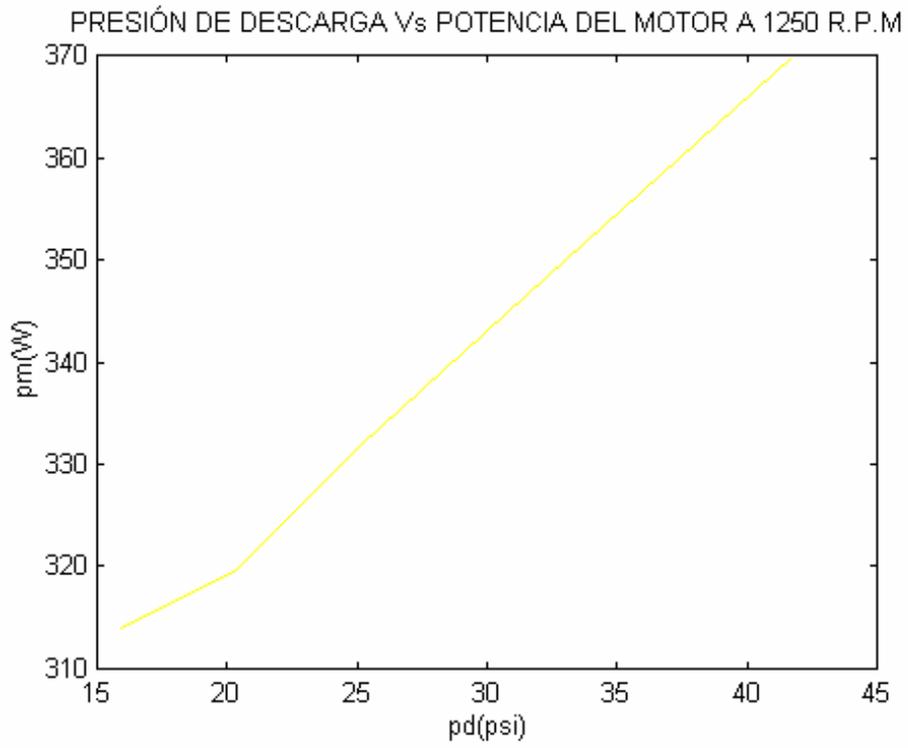


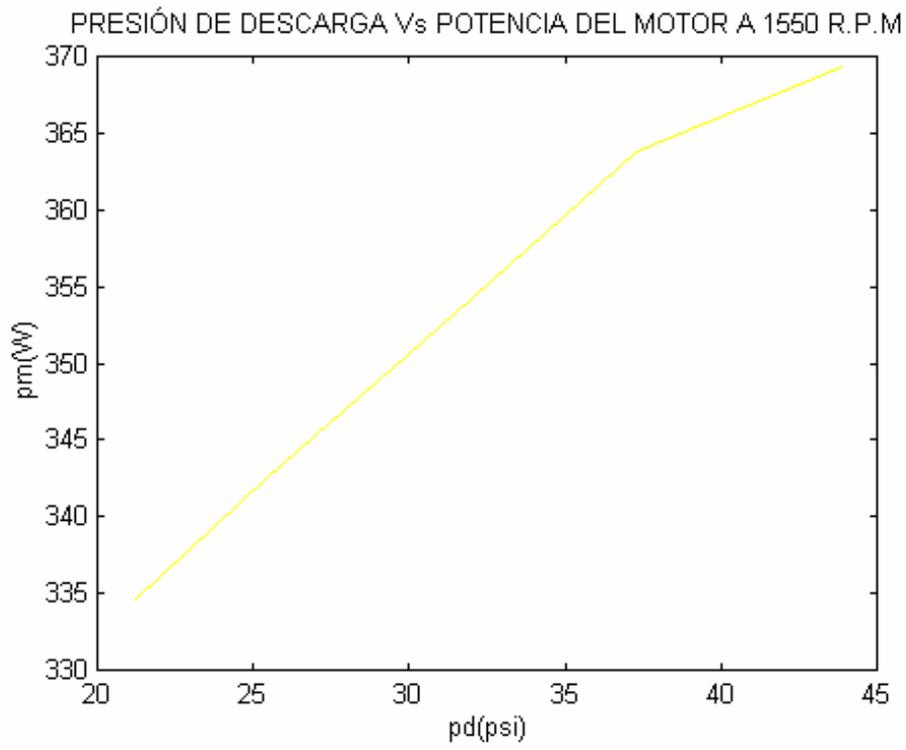
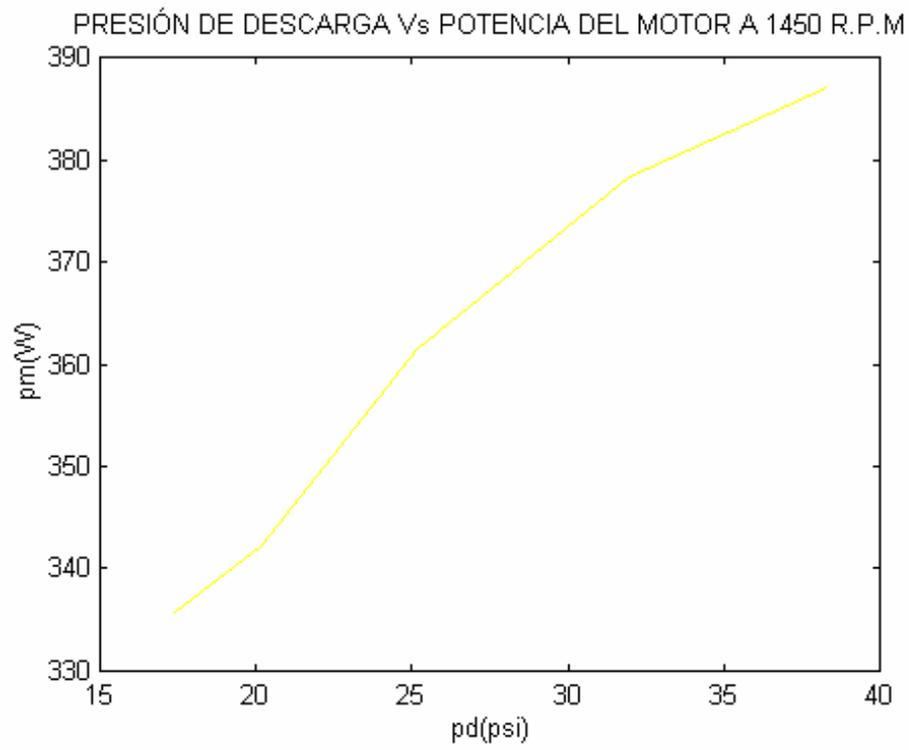
CAUDAL Vs PRESIÓN DE DESCARGA A 1550 R.P.M











6. EXPERIENCIAS Y RESULTADOS

6.1. CURVA DE CAUDAL Vs PRESIÓN DE DESCARGA

Esta curva, al igual que la anterior, se realizó colocando cuatro velocidades diferentes en el motor (1250, 1350, 1450 y 1550 r.p.m.) y en cada una de estas velocidades se reguló el caudal en diferentes valores, mediante la válvula proporcional colocando presiones de 15, 20, 25, 30 y 35 psi en la descarga. En cada velocidad y en las distintas presiones, fueron leídos y guardados los datos recibidos por el computador, provenientes de los transmisores de flujo y de presión de la descarga. Con estos datos se graficaron las curvas.

Al analizar esta curva se observó que la pendiente de caída no describe un movimiento semiparabólico perfecto, tendiendo a bajar linealmente. Lo que nos llevó a concluir que la bomba utilizada ya no se encuentra en las mejores condiciones de funcionamiento. Es decir, presenta desgastes internos.

6.2. CURVA DE CAUDAL Vs $NPSH_A$

Esta curva se realizó, colocando cuatro velocidades diferentes en el motor (1250,1350,1450,1550 r.p.m.) y en cada una de ellas se varió el caudal, mediante el

cierre parcial de una válvula proporcional colocando presiones de 15, 20, 25, 30 y 35 psi aproximadamente en la tubería de descarga. Estos datos fueron enviados por los transmisores de presión de succión y de flujo, y fueron leídos por el computador, donde se realizaron las curvas.

Las curvas mostraron que el caudal es directamente proporcional a la velocidad del motor; y a medida que el caudal aumenta, la presión de succión también lo hace, por lo tanto el NPSH también crece. Además observamos que las curvas obtenidas en la primera experiencia describen con un buen porcentaje el comportamiento de la bomba. Las curvas no se ven con la curvatura adecuada, como en la teórica, debido a que entre punto y punto se unieron mediante interpolación lineal. La unión de los puntos no se hizo mediante un polinomio de mayor orden, por su alto grado de complejidad, evitando que los estudiantes que van a realizar en un futuro las experiencias encuentren dificultades en estas.

6.3. CURVA DE PRESIÓN DE DESCARGA Vs POTENCIA DEL MOTOR

Esta curva describió una línea recta, dejando ver la proporcionalidad y linealidad que existe entre la potencia del motor y la presión de descarga. Es decir, a mayor presión en la descarga, el motor y la bomba tuvieron que realizar mayor esfuerzo para poder impulsar el fluido, lo que trajo como consecuencia que el motor consumiese mas corriente. Y por lo tanto mayor de potencia.

7. CONCLUSIONES

- En cuanto a las curvas, se puede concluir que se cumplieron los objetivos en un 80% ya que no se pudo graficar la curva de eficiencia mecánica Vs caudal. Esto debido a que el valor de medición del caudal sufrió alteraciones considerables, en la medida en que se fue cerrando la válvula proporcional de la descarga. Además no se pudo encontrar el punto óptimo de operación de la bomba, debido a que este punto es la intersección entre el $NPSH_A$ obtenido en la tesis y el $NPSH_R$. Este último es dado por el fabricante, y se hizo imposible conseguir esta información, tanto en la universidad como fuera de ella. Pero en compensación a estas curvas se pudieron realizar otras como: Caudal Vs presión de descarga, Caudal Vs $NPSH_A$ y Presión de descarga Vs Potencia del motor. Además de acuerdo a las necesidades de los estudiantes y del profesor, el sistema permite obtener otras curvas, siempre y cuando dependan de las cinco variables que está sensando el sistema (presión de descarga, presión de succión, caudal, voltaje y corriente del motor).

- Observando todas las gráficas efectuadas, pudimos notar que se presentaban variaciones, concluimos que esto es debido a que las bombas de desplazamiento positivo no son continuas al impulsar el flujo.
- Observando la curva Q VS Pd, concluimos que la bomba, en estos momentos no se encuentra en las mejores condiciones de funcionamiento. Presenta desgaste de las piezas internamente, se recomienda cambiarla.
- En cuanto al control del motor, se hizo un control en lazo abierto, que cumple muy bien con las necesidades de la tesis. Se quiso implementar un control en lazo cerrado pero el actuador que en este caso es el variador de velocidad a.c no lo permitió, debido a que él, para cambiar la velocidad del motor, varía la frecuencia y el voltaje de la red, generando una gran cantidad de armónicos que contaminaron todos los dispositivos electrónicos, principalmente la tarjeta de adquisición de datos obteniendo así datos erróneos.
- Estamos seguros de que el banco automatizado, va hacer de gran ayuda a las nuevas generaciones de estudiantes de ingeniería Mecánica, ya que ampliará su visión en cuanto a las nuevas tendencias de la industria moderna.

BIBLIOGRAFÍA

- BOYLESTAD Robert L. Electrónica: Teoría de Circuitos. Sexta edición. México. Prentice Hall. 1997. Páginas: 639-640.
- ETTER Delores M. Solución de problemas de ingeniería con matlab. Segunda edición. México. Prentice Hall. 1998. Páginas: 33-34, 165-180.
- JOHNSON David D, HILBURN John L, JOHNSON Johnny R. Análisis básico de circuitos eléctricos. Tercera edición. Mexico. Prentice Hall. 1987. Páginas: 453-457.
- MALVINO Albert Paul, Principios de electrónica. Quinta edición. México. Mc Graw Hill. 1993. Páginas: 921-939.
- McNAUGHTON Kenneth J, Bombas, selección, uso y mantenimiento. Tercera edición. México. Mc Graw Hill. 1989. Páginas: 193-205.

- MEDINA S. Rafael, VELASQUEZ B. William. Control de tensión para suministro de corriente continua a una carga. Corporación Tecnológica de Bolívar. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 1998. Páginas: 55-60.
- USER'S MANUAL PC-Lab Card OF ADVANTECH. Manual de usuario de la tarjeta de adquisición de datos pci 812pg. Primera edición. Taiwan. 1996. Páginas: 9-23,37.
- VIEJO ZUBICARAY Manuel, Bombas, teoría, diseño y aplicaciones. Segunda edición. México. Limusa. 1996. Páginas: 163-180.

ANEXOS

Anexo A. Tablas de curvas experimentales.

Anexo B. Tarjeta de adquisición de datos PCL-812 PG

Anexo C. Data sheet platina orificio

Anexo D. Diagrama esquemático de potencia y control del motor AC.

Anexo E. Manual variador de velocidad.

Anexo F. Diagrama eléctrico del proceso

