
Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	13
1.1 Objetivo General	14
1.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Antecedentes	15
1.4 Desarrollo.....	16
1.4.1 Modificación de la bomba.....	16
1.4.2 Sistema electrónico para medir el torque mecánico de la bomba y su traspaso de datos.....	16
1.4.3 Desarrollo del sistema de medición del caudal.....	17
1.4.4 Sistema de control de presión para diferentes demandas de caudal	17
1.4.5 Pruebas experimentales del sistema de banco hidráulico.....	17
1.5 Alcances de la memoria.....	18
1.6 Conclusión	18
Capítulo 2 DISEÑO CONCEPTUAL	19
2.1 Sistemas PBP	20
2.1.1 Principios de funcionamiento de los sistemas PBP	20
2.2 Antecedentes teóricos	22
2.2.1 Curvas características	24
2.2.2 Superficie característica.....	26
2.2.3 Control de las bombas	28
Capítulo 3 MODIFICACION DEL BANCO HIDRAULICO	29
3.1 Estrategia de modificación del banco hidráulico.....	30
3.1.1 Bomba centrifuga	30
3.1.2 Medición de torque.....	33
3.1.3 Medición de caudal y presiones.....	37
3.2 Acondicionamiento de señal	48
3.2.1 Transductores de presión.....	48

3.2.1	Ruido en el transductor de presión de impulsión.	50
3.2.2	Acondicionamiento de señal de la celda de carga	53
3.2.3	Actuador	56
Capítulo 4		58
SISTEMA DE CONTROL.....		58
4.1	Obtención de la superficie característica de la bomba (ensayo).....	59
4.1.1	Resultados obtenidos	59
4.1.2	Análisis de resultados	63
4.2	Control PID.....	63
4.2.1	Ajustes	64
4.2.2	Análisis de resultados	74
Capítulo 5 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO		75
5.1	Conclusiones	76
5.2	Trabajo futuro	77
Anexo A MEMORIA DE CALCULO		82
A.1	Memoria de cálculo	82
A.1.1	Cálculo de amplificador de instrumentación	82
A.1.2	Cálculo de filtro activo (pasa bajas)	86
A.1.3	Cálculo de la placa orificio.....	91
A.1.4	Método de ajuste de superficies (Mínimos cuadrados)	95
A.1.5	Tablas de resultados experimentales flujo medido por la placa orificio, de la presión manométrica para diferentes velocidades de giro.....	98
A.1.6	Planilla de cálculos de las sumatorias de la matriz, para la determinación de coeficientes.....	104
Anexo B PLANOS		110
B.1	Planos.....	110

B.1.1 Planos de modificación geométrica bomba	110
Anexo C INFORMACION TECNICA DE INSTRUMENTOS UTILIZADOS.	114
C.1 Información técnica de instrumentos utilizados	114
C.1.1 Información técnica de transductores de presión.....	114
C.1.2 Información técnica de variador de frecuencia VACON	122
C.1.3 Información técnica de controlador PLC	125
C.1.4 Información técnica de osciloscopio utilizado.....	136
C.1.5 Información técnica de Motobomba	137
C.1.5 Información técnica de Strain Gauges	138

Índice de Tablas

Tabla 3.1 - Resultados experimentales de flujo y del número de Reynolds para una velocidad de giro de 700rpm.	44
Tabla 3.2 – Numero de Reynolds y coeficiente de descarga para una velocidad de giro de 700rpm.....	44
Tabla 3.3 – Comparación de caudales velocidad de giro de 700rpm.....	45
Tabla 3.4– Torque medidos por la celda de carga.....	55
Tabla 3.1 – Tabla de obtención de acciones del controlador PID.....	73
Tabla A.1– Tabla de datos experimentales para diferentes velocidades de giro, con la toma de datos de presión y de caudal.....	98
Tabla A.2 – Datos para la determinación de los coeficientes.....	104

Índice de Ilustraciones

Figura 2.1 – Se muestra un sistema PBP (bombeo con velocidad variable).	20
Figura 2.2 – Curva H-Q y P-Q a 2940 rpm.	21
Figura 2.3 – Curva H-Q y P-Q a 2500 rpm.	22
Figura 2.4 – Bomba centrífuga y sus componentes.	23
Figura 2.5 – alturas a considerar en una instalación de bomba centrífuga.	23
Figura 2.6 – Grafica $H_m(Q)$ con concavidad hacia abajo.	25
Figura 2.7 – Superficie característica $H_m(n, Q)$.	27
Figura 2.8 – Curvas de nivel $H_m(Q)$ de Superficie característica para diferentes velocidades de giro.	28
Figura 3.1 – Se muestra la integración del sistema mecánico, control, eléctrico y electrónico para que en su conjunto se comporte como un sistema mecatrónico.	30
Figura 3.2 – Motobomba Six-team STM100T.	31
Figura 3.3 – Secuencia de modificación geométrica de la motobomba.	32
Figura 3.4 – Tapas realizadas para el estator del motor.	33
Figura 3.5 – Dos piñones cara a cara los cuales se encuentran unidos por medio de una cadena doble.	33
Figura 3.6 – Celda de carga con comportamiento como viga en flexión y la ubicación que la cinta extensométrica.	34
Figura 3.7 – Celda de carga instalada en el motor, con la finalidad de medir el torque reactivo.	35
Figura 3.8 – Celda de carga que se utilizó.	36
Figura 3.9 – Motobomba antes y después de la modificación.	37
Figura 3.10 – Esquema de sistema hidráulico manual a remplazar	38
Figura 3.11 – Esquema Sistema hidráulico controlado	38
Figura 3.12 – Esquema Hidráulico del banco cuando impulsa B1.	39
Figura 3.13 – Esquema de la medición de caudal a través de la caída de presión.	40
Figura 3.14 –Placa orificio con sus dimensiones geométricas.	41
Figura 3.15 –Placa con las tomas de presión en la brida misma.	42
Figura 3.16 –Tabla normada para la obtención del coeficiente de descarga.	42
Figura 3.17 –Montaje placa orificio.	43
Figura 3.18 –Grafica comparativa entre el caudal experimental y caudal resultante de la placa orificio.	46
Figura 3.19 –Graficas del coeficiente de calibración para las diferentes velocidades de giro.	47
Figura 3.20 –Transductor P-Sitrans II Siemens.	48
Figura 3.21 –Transductor Foxboro IPG10.	49
Figura 3.22 – Transductor Foxboro IPG20.	49
Figura 3.23 – Circuito de filtro activo pasa bajo.	50

Figura 3.24 – Diagrama de bode para la ganancia en función de la frecuencia.	52
Figura 3.25 – Circuito de filtro activo montado en protoboard.	52
Figura 3.26 - En la cual se muestra la pantalla del osciloscopio, donde se tiene en la parte superior de dicha pantalla la señal de entrada y en la parte inferior la señal de salida del filtro activo.	53
Figura 3.27 – Configuración puente de wheatstone de la cinta extensométrica en la celda de carga.	54
Figura 3.28 – Amplificador de instrumentación acondicionador de señal para la celda de carga, con la finalidad de conexión al controlador.	54
Figura 3.29 – Placa impresa del amplificador de instrumentación.	55
Figura 3.30 – Variador de frecuencia a utilizar de marca VACON.	56
Figura 3.31 – a) Se muestra la conexión trifásica de los bornes del variador de frecuencia, b) Se muestra la conexión en estrella en los bornes del motor.	57
Figura 3.32 – Relaciones entre la velocidad de giro, corriente y frecuencia.	57
Figura 4.1 – Grafica en la cual se muestran las diferentes curvas de nivel las diferentes velocidades de giro.	59
Figura 4.2 – Curva graficada en derive (Software de matemáticas).	63
Figura 4.3 – Se observa el controlador con su modulo analógico EM235.	64
Figura 4.4 – Se observa la configuración de comunicación.	65
Figura 4.5 –Elección del tipo de CPU.	65
Figura 4.6 – Lazo de control PID.	66
Figura 4.7 – Integración del bloque PID al controlador.	67
Figura 4.8 – Diagrama de bloque del PID.	67
Figura 4.9 – Panel de control de sintonía PID.	68
Figura 4.10 – Sistema de lazo abierto con una entrada escalón.	69
Figura 4.11 – Convertidor de corriente a voltaje.	69
Figura 4.12 – Señal entregada por la planta.	70
Figura 4.13 – Grafico de la respuesta v/s tiempo para la salida del sistema.	72
Figura 4.14 – Panel de sintonía PID.	73
Figura 5.1 – Esquema Hidráulico del banco cuando impulsa B2.	77
Figura 5.2 – Esquema Hidráulico del banco cuando impulsa B2 y B1 en paralelo	78
Figura 5.3 – Esquema Hidráulico del banco cuando impulsa B2 y B1 en serie.	78