

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE-CUENCA

**FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA
BOMBAS CENTRÍFUGAS DEL LABORATORIO DE
MAQUINAS HIDRÁULICAS DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA SEDE-CUENCA”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

Autores: Aníbal Armando Pedrosa Astudillo.
Pablo Josué Campoverde Martínez

Director: Ing. Esteban Ordoñez.

CUENCA-ECUADOR

2011

RESPONSABILIDAD

Los autores de la presente tesis se responsabilizan por el contenido de este proyecto.

.....

Aníbal A. Pedrosa A.

.....

Pablo J. Campoverde M.

Cuenca, 06 de Febrero del 2011.

Ing. Esteban Ordoñez.

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado detenidamente cada uno de los capítulos de la presente tesis, realizada por los alumnos Aníbal A. Pedrosa A. y Pablo J. Campoverde M. y autoriza su presentación.

Cuenca, 06 de Febrero del 2011.

.....

Ing. Esteban Ordoñez.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi amor y sinceridad a mis hermanos y de forma muy especial a mis padres Hugo P. y Beatriz A. quienes confiaron en mí y me brindaron todo su apoyo incondicional para iniciar y culminar mis estudios.

Aníbal P.

Este trabajo lo dedico a toda mi familia la que con su apoyo incondicional siempre me acompañó en el camino de la vida estudiantil, y con especial cariño a mis hermanos y padres.

Pablo C.

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios y un seguido a todas las personas que conforman el Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Universidad Politécnica Salesiana, por su colaboración durante el desarrollo de la tesis.

Al Ing. Esteban Ordoñez quien nos brindo su total colaboración en la realización de esta tesis.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

Banco de pruebas para bombas centrifugas.

1.1	Historia.....	1
1.2	Funcionamiento y características.....	1
1.2.1	Teoría fundamental de Euler.....	1
1.2.1.1	Deducción de la ecuación de Euler.....	2
1.2.2	Análisis geométrico del rodete.....	7
1.2.2.1	Teoría de modelos.....	7
1.2.2.2	Deducción de las ecuaciones prácticas.....	10
1.2.2.3	Leyes de semejanza de las bombas centrifugas.....	11
1.2.2.4	Velocidad específica de una turbomáquina.....	13
1.2.2.4.1	Número específico de revoluciones en función del caudal (nq).....	13
1.2.2.4.2	Número específico de revoluciones en función de la potencia n_s	14
1.2.2.5	Análisis de curvas características.....	15
1.2.2.5.1	Carga y curvas de carga del sistema.....	15
1.2.2.5.2	Perdidas en la entrada y el la salida.....	16
1.2.2.6	Curvas de fricción y carga del sistema.....	17
1.2.2.7	Variaciones en el flujo deseado.....	19
1.2.2.8	Curvas de capacidades nominales.....	20
1.2.2.9	Curva ideal carga-caudal de una bomba centrifuga.....	20

1.2.3	Estudio del fenómeno de cavitación.....	23
1.2.3.1	Carga de succión y altura de aspiración.....	25
1.2.3.2	Carga neta positiva de succión.....	27
1.2.3.3	Velocidad específica de succión.....	28
1.2.3.4	Cavitación y rendimiento de la bomba.....	30
1.2.3.5	Condiciones inadecuadas en la succión.....	31
1.2.4	Resumen de Formulas para la obtención de las curvas características.....	32
1.3	Presión.....	33
1.3.1	Presión positiva.....	35
1.3.2	Presión negativa.....	36
1.4	Temperatura.....	36
1.5	Caudal.....	37
1.6	Velocidad.....	38

CAPÍTULO II

Sensores protocolos y actuadores del sistema.

2.1	Introducción.....	39
2.2	Variador de frecuencia.....	40
2.2.1	Principio de funcionamiento.....	40
2.2.2	Controlador del variador de frecuencia.....	41
2.2.3	Variador de frecuencia delta vfd-m.....	41
2.3	Sensores.....	44
2.3.1	Sensor de presión.....	45

2.3.1.1	Sensor de presión endress+hauser cerabar tpmp 131.....	46
2.3.2	Sensor de caudal (caudalímetro).....	48
2.3.2.1	Sensor de caudal electrónico con ruedas de paleta.....	49
2.3.2.1.1	Sensor de caudal omega fpr 135.....	50
2.3.3	Sensor de temperatura.....	51
2.3.3.1	Circuitos integrados termosensores.....	51
2.3.4	Tacómetro.....	52
2.4	Microcontrolador.....	53
2.4.1	Lenguaje de programación.....	56
2.5	Protocolos de comunicación.....	57
2.5.1	USB.....	58
2.6	Adquisición de datos.....	61

CAPÍTULO III

Diseño construcción e implementación del sistema.

3.1	Introducción.....	64
3.2	Etapa de control.....	66
3.3	Panel de control.....	70
3.3.1	Encendido y apagado de las bombas.....	73
3.3.2	Adquisición, adecuación y procesamiento de la señal de los sensores.....	74
3.3.3	Transmisión de datos hacia la PC.....	86
3.4	Adquisición y procesamiento de datos en labview.....	89
3.4.1	Adquisición de datos desde el microcontrolador.....	89

3.4.2	Interfaz grafica.....	91
-------	-----------------------	----

CAPITULO IV

Pruebas y análisis de resultados.

4.1	Pruebas y análisis de las etapas del sistema.....	97
4.1.1	Pruebas eléctricas.....	98
4.1.1.1	Medición de corriente.....	98
4.1.1.2	Medición de voltaje.....	99
4.1.2	Pruebas de sensores, banco y software.....	99
4.1.2.1	Sensor de presión positiva (Hd).....	99
4.1.2.2	Sensores de presión negativa (Hs).....	101
4.1.2.3	Sensor de temperatura (T).....	104
4.1.2.4	Sensores de velocidad (n).....	106
4.1.2.5	Sensores de corriente (I).....	108
4.1.2.6	Sensor de caudal (Q).....	111
4.1.2.7	Pruebas de software.....	113
4.1.2.8	Pruebas del banco.....	121
4.1.3	Análisis de resultados.....	123

CONCLUSIONES.....	125
--------------------------	------------

RECOMENDACIONES.....	128
-----------------------------	------------

ANEXOS.

- Anexo A. Hoja de datos.
- Anexo B. Esquemas.
- Anexo C. Diagrama de bloques Labview.
- Anexo D. Manual del Usuario.

BIBLIOGRAFÍA.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Terminales del Variador de Frecuencia.....	42
Tabla 2.2 Mensajes del Variador de Frecuencia.....	44
Tabla 2.3 Pines del Puerto USB.....	60
Tabla 3.1 Características de las Bombas.....	66
Tabla 3.2 Presión Positiva.....	76
Tabla 3.3 Presión Negativa 1.....	77
Tabla 3.4 Presión Negativa 2.....	78
Tabla 3.5 Caudal.....	80
Tabla 3.6 Valores de prueba de Tacómetro	83
Tabla 3.7 Valores de Corriente	85
Tabla 4.1 Mediciones de las corrientes de línea en cada bomba centrífuga.....	98
Tabla 4.2 Medición de voltaje entre línea y línea de cada bomba.....	99
Tabla 4.3 Máximo de bares que soporta la bomba versus valor medido	100
Tabla 4.4 Determinación de la exactitud y precisión Hd.....	101

Tabla 4.5 Determinación de la exactitud y precisión Hs1.....	103
Tabla 4.6 Determinación de la exactitud y precisión Hs2.....	104
Tabla 4.7 Determinación de la exactitud y precisión Temperatura.....	105
Tabla 4.8 Determinación de la exactitud y precisión Velocidad 1.....	107
Tabla 4.9 Determinación de la exactitud y precisión Velocidad 2.....	108
Tabla 4.10 Determinación de la exactitud y precisión Corriente 1.....	110
Tabla 4.11 Determinación de la exactitud y precisión Corriente 2.....	111
Tabla 4.12 Determinación de la exactitud y precisión Caudal.....	113
Tabla C.1 Precisión y exactitud en las mediciones realizadas con los sensores.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Rodete Bomba Centrífuga.....	2
Figura 1.2 Triángulos de Velocidades.....	3
Figura 1.3 Relaciones entre presiones atmosféricas, manométricas y absoluta.....	16
Figura 1.4 La carga estática total en un sistema con bomba centrífuga.....	17
Figura 1.5 Curva de fricción del sistema.....	17
Figura 1.6 Curva de carga del sistema	18
Figura 1.7 Características del sistema para una carga estática variable	18
Figura 1.8 Método de variación de velocidad y la capacidad de una bomba centrífuga....	19
Figura 1.9 Método de estrangulación para variar la capacidad de una bomba centrífuga....	19
Figura 1.10 Curvas de clasificación para una bomba centrífuga.....	20
Figura 1.11 Triangulo de velocidad de salida	21
Figura 1.12 Angulo Alabes.....	22

Figura 1.13 Ordenadas de Energía transferida.....	23
Figura 1.14 Características de rendimiento de una bomba centrífuga.....	24
Figura 1.15 $h_z = S - h_{fs} - h_t + P_s$	25
Figura 1.16 $h_s = S - h_{fs} - h_t$	26
Figura 1.17 Carga de succión y altura de aspiración.....	26
Figura 1.18 Cálculo de la carga positiva neta de succión disponible (NPSH).....	28
Figura 1.19 Límites de Velocidad específica y Carga Neta Positiva.....	30
Figura 1.20 Cavitación.....	31
Figura 1.21 Presión.....	33
Figura 1.22 Explicación de la Presión en el interior de un fluido.....	34
Figura 1.23 Densidad del Agua en Función de la Temperatura.....	36
Figura 2.1 Ubicación de los sensores.....	39
Figura 2.2 Controlador de variador de frecuencia.....	41
Figura 2.3 Variador de Frecuencia DELTA VFD-M.....	42
Figura 2.4 Esquema de Conexión del circuito principal.....	42
Figura 2.5 Funciones del Teclado del VDF-M	43
Figura 2.6 Secuencia de teclas para configurar parámetros.....	44
Figura 2.7 Sensor de presión cerabar T PMP 131.....	46
Figura 2.8 Medición de la corriente en el sensor de presión.....	47
Figura 2.9 Potenciómetro de Ajuste de cero.....	47
Figura 2.10 Descripción de cables del sensor de presión cerabar T PMP 13.....	48
Figura 2.11 Sensor de caudal electrónico de ruedas de paleta.....	49
Figura 2.12 Sensor de Caudal Omega FPR 135.....	50

Figura 2.13 Ejemplo de Rangos de medición para el caudalímetro por paletas.....	50
Figura 2.14 C.I. Termosensor LM35.....	52
Figura 2.15 Fotosensor CNY70.....	52
Figura 2.16 Circuito de Aplicación CNY70.....	53
Figura 2.17 Microcontrolador PIC 16F871 de la Microchip.....	55
Figura 2.18 Conectores USB Tipo A y Tipo B.....	60
Figura 3.1 Diagrama a Bloques del Sistema	64
Figura 3.2 Circuito de Fuerza	66
Figura 3.3 Circuito de Variación de la Temperatura Esquema de Fuerza.....	67
Figura 3.4 de Variación de la Temperatura Esquema de Control.....	68
Figura 3.5 Pulsante de Encendido de La Niquelina.....	68
Figura 3.6 Red Snubber colocada en los contactos de K1, K2, y K3.....	69
Figura 3.7 Panel de Control.....	70
Figura 3.8 Pantalla de datos 1.....	71
Figura 3.9 Pantalla de datos 2.....	71
Figura 3.10 Mensaje de Inicio.....	72
Figura 3.11 Advertencia de Switch Encendido	72
Figura 3.12 Cable USB Conectado	72
Figura 3.13 Mensaje de Cable USB conectado	73
Figura 3.14 Paro de Emergencia	73
Figura 3.15 Control de Contactor K1.....	74
Figura 3.16 Control de Contactor K2.....	74
Figura 3.17 Adquisición de Datos de Sensores de Presión.....	75
Figura 3.18 Adquisición de Datos de Sensores de Presión.....	79

Figura 3.19 Amplificación de la señal de caudal.....	79
Figura 3.20 Sensores de Temperatura.....	81
Figura 3.21 Tacómetro.....	82
Figura 3.22 Disco Giratorio del Tacómetro.....	82
Figura 3.23 Amplificación de la señal del Tacómetro.....	83
Figura 3.24 Conexión de los Amperímetros en el sistema.....	84
Figura 3.25 Amperímetro.....	84
Figura 3.26 Detector de conexión USB.....	86
Figura 3.27 Cambio de Control del VFD	86
Figura 3.28 Control del Variador de Frecuencia.....	87
Figura 3.29 Voltaje de Control del Variador de Frecuencia en modo USB.....	87
Figura 3.30 Funcionamiento del detector de flanco descendente.....	88
Figura 3.31 Sistema de detección de Flanco y Reset.....	88
Figura 3.32 Recepción de datos en Labview.....	89
Figura 3.33 Array de datos entrantes.....	90
Figura 3.34 Envío de datos hacia el PIC	90
Figura 3.35 Menú archivo.....	91
Figura 3.36 Menú Pruebas	92
Figura 3.37 Menú Ayuda.....	93
Figura 3.38 Panel Frontal en LABVIEW.....	94
Figura 3.39 Panel de Control de Bombas.....	94
Figura 3.40 Pantalla de visualización de Datos.....	95
Figura 3.41 Panel de control de Pruebas	95
Figura 3.42 Panel de curvas Características	96

Figura 4.1 Diagrama de las etapas del sistema	97
Figura 4.2 Procedimiento para medir las corrientes de línea	98
Figura 4.3 Procedimiento para medir los voltajes de línea	99
Figura 4.4 Sensor de presión positiva	100
Figura 4.5 Sensor de presión negativa para la bomba 1.....	102
Figura 4.6 Sensor de presión negativa para la bomba 2	103
Figura 4.7 Instrumentos utilizados en la medición de la temperatura.....	105
Figura 4.8 Instrumentos utilizados en la medición de las rpm (n1).....	106
Figura 4.9 Instrumentos utilizados en la medición de las rpm (n2).....	107
Figura 4.10 Instrumentos utilizados en la medición de corriente I1.....	109
Figura 4.11 Instrumentos utilizados en la medición de corriente I2.....	109
Figura 4.12 Instrumentos utilizados en la medición del caudal (Q).....	112
Figura 4.13 Prueba de una bomba monoetapa.....	113
Figura 4.14 Curva Ht vs Caudal.....	114
Figura 4.15 Grafica Pw vs Q.....	114
Figura 4.16 Grafica η vs Q.....	114
Figura 4.17 Prueba de dos bombas monoetapa iguales conectadas en paralelo.....	115
Figura 4.18 Grafica Ht vs Q.....	115
Figura 4.19 Grafica Pw vs Q.....	116
Figura 4.20 Grafica η vs Q.....	116
Figura 4.21 Prueba de Dos Bombas monoetapa iguales conectadas en serie.....	117
Figura 4.22 Curva Ht vs Caudal.....	117
Figura 4.23 Grafica Pw vs Q.....	117
Figura 4.24 Grafica η vs Q.....	118

Figura 4.25 Prueba de cavitación de una bomba	118
Figura 4.26 Curva Ht vs Caudal.....	119
Figura 4.27 Grafica Pw vs Q.....	119
Figura 4.28 Grafica η vs Q.....	119
Figura 4.29 Prueba de una bomba a velocidad variable	120
Figura 4.30 Curva Ht vs Caudal.....	120
Figura 4.31 Grafica Pw vs Q.....	121
Figura 4.32 Grafica η vs Q.....	121
Figura 4.33 Banco de pruebas para bombas centrífugas	122

CAPÍTULO I

1. BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS CENTRIFUGAS.

1.1 HISTORIA.

El banco de pruebas para bombas centrifugas fue realizado como proyecto previo a la obtención del título de ingeniero mecánico bajo el nombre de “Banco para Pruebas de Bombas Centrifugas con Procesamiento de señales” por los ahora ingenieros Fran Zhovani Reinoso Avecillas y Nelson Gustavo Jara Cobos en el año 2002, este proyecto fue dirigido por el Ing. Fabián Cabrera.

Posteriormente, como tema de tesis, a este banco se le realiza una automatización, cuyo fin era mejorar su funcionamiento y adquisición de datos desde los sensores incorporados en el mismo, pero debido a la falta de robustez en el sistema implementado, este fallo al poco tiempo de su implementación. Por esta razón se ve la necesidad de implementar nuevamente un sistema automatizado robusto que permita extraer los datos desde el banco, necesarios para el análisis de las curvas características de las bombas centrifugas.

1.2 FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS.

1.2.1 TEORÍA FUNDAMENTAL DE EULER.

La ecuación de Euler es la ecuación fundamental para el estudio de las turbomáquinas, tanto hidráulicas como termohidráulicas.

Planos de representación de una bomba centrifuga.

Los planos de representación de una bomba centrifuga son:

El plano meridional.

El plano transversal.

En la figura 1.1(a), se representa el corte por un plano que contiene el eje de la máquina, en el que se representa las meridianas de las superficies de revolución de la bomba centrífuga, como son la superficie anterior y posterior del rodete. En este corte se ve también las aristas de ingreso y salida de los álaves los cuales imparten energía al flujo.

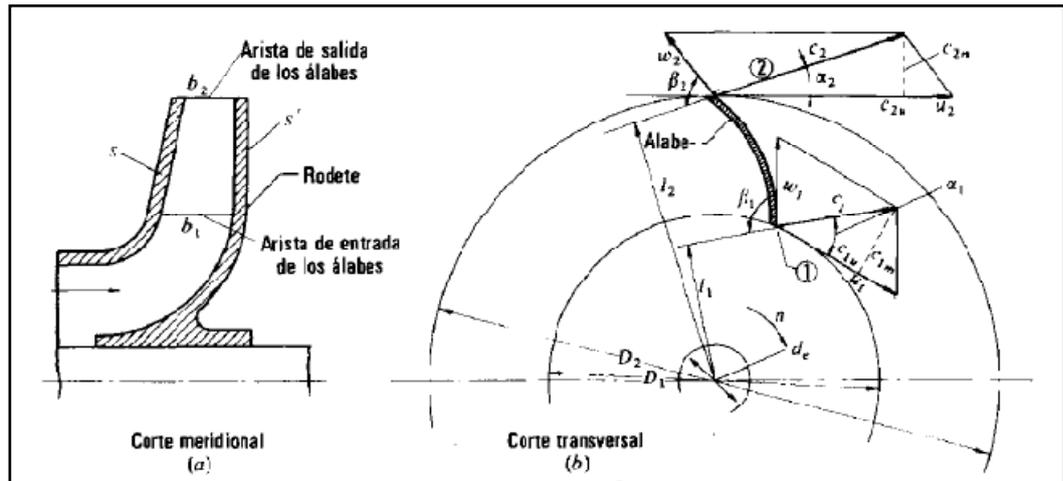


Figura 1.1 Rodete Bomba Centrífuga.

En la figura 1.1 (b), se representa el corte transversal por un plano perpendicular al eje, en este se ve la trayectoria que posee el alabe.

1.2.1.1 DEDUCCIÓN DE LA ECUACIÓN DE EULER.

Partiendo de la figura 1.1, asumiremos que la bomba funciona en régimen permanente y que al girar crea una depresión en el rodete, penetrando el fluido en el interior de la bomba.

Para obtener las ecuaciones vectoriales de las velocidades, se utiliza la representación de los triángulos de velocidades tanto a la entrada como a la salida del fluido (figura 1.2). En estos triángulos se utiliza la notación internacional la misma que se mantiene tanto para el triángulo de entrada como para el de salida, acompañada por el subíndice 1 o 2 respectivamente.

Analizando la figura 1.2 se dice que las tres velocidades C_1, U_1, W_1 están relacionadas según la mecánica del movimiento relativo, por la ecuación:

$$w_1 = c_1 - u_1 \quad (1.1)$$

Suponemos que la tangente al alabe tiene la dirección del vector w_1 con lo que la partícula entra sin choque.

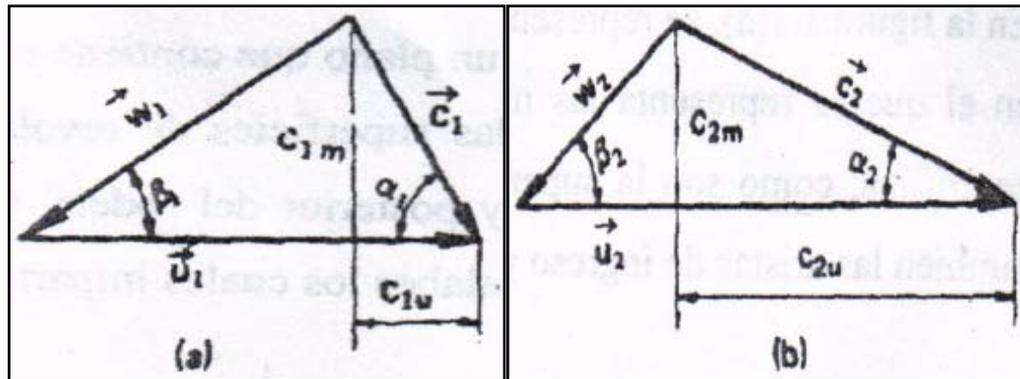


Figura 1.2 Triángulos de Velocidades

c Velocidad absoluta del fluido en un punto del rodete.

u Velocidad absoluta del rodete en ese punto.

w Velocidad relativa del fluido con respecto al alabe.

α Ángulo que forman los vectores c y u.

β Ángulo que forman los vectores w y (-u) (advirtase la diferencia con la definición de α).

c_y Componente periférica de la velocidad absoluta.

c_m Componente meridional de la velocidad absoluta

La partícula de fluido guiada por el alabe sale del rodete con una velocidad relativa a la salida w_2 , la misma que es tangente al alabe en ese punto, proporcionándonos la misma ecuación en el punto dos.

$$w_2 = c_2 - u_2 \quad (1.2)$$

Del triangulo de entrada se deduce trigonómicamente que:

$$w_1^2 = u_1^2 - 2u_1c_1 \cos \alpha_1 + c_1^2 = u_1^2 - 2u_1c_{1u} + c_1^2 \quad (1.3)$$

Despejando.

$$u_1c_{1u} = \frac{(u_1^2 + c_1^2 - w_1^2)}{2} \quad (1.4)$$

De la misma manera para el triangulo de salida tenemos:

$$u_2c_{2u} = \frac{(u_2^2 + c_2^2 - w_2^2)}{2} \quad (1.5)$$

De igual forma se determinara el par motor que se requiere para mover un impulsor, el cual, es igual al cambio de movimiento del fluido que pasa a través del impulsor.

$$dM = dQ\rho(l_2c_2 - l_1c_1) \quad (1.6)$$

dM Es el Momento resultante con relación al eje de la máquina de todas las fuerzas que el rodete ha ejercido sobre las partículas que integran el hilo de corriente considerado para hacerle variar su momento.

dQ Es el caudal.

I1 y I2 Los brazos de momento de los vectores c_2 y c_1 respectivamente ver figura 1.1

Asumiendo que todas las partículas de fluido entran en el rodete a un diámetro D_1 con velocidad c_1 y salen a un diámetro D_2 con velocidad c_2 . Equivale a decir que todas las líneas de corriente sufren la misma desviación, esto implica que el numero de alabes es infinito y el rodete guie al fluido perfectamente.

A esta hipótesis se la conoce como la teoría unidimensional, por lo que si integramos la ecuación anterior tenemos.

$$M = Q\rho(l_2c_2 - l_1c_1) \quad (1.7)$$

M Momento hidráulico.
 Q Caudal total de la bomba.

Pero de la figura 1.1 (b) se deduce que:

$$l_1 = r_1 \cos \alpha_1$$
$$l_2 = r_2 \cos \alpha_2$$

Sustituyendo en la ecuación

$$M = Q\rho(c_2r_2 \cos \alpha_2 - c_1r_1 \cos \alpha_1) \quad (1.8)$$

Si multiplicamos el momento por la velocidad angular, obtenemos la potencia que el rodete comunica al fluido.

$$P_u = Mw$$
$$P_u = Q\rho\omega(c_2r_2 \cos \alpha_2 - c_1r_1 \cos \alpha_1) \quad (1.9)$$

Ahora si Y_u es la energía específica que el rodete de la bomba comunica al fluido y G el caudal másico que atraviesa el rodete, la potencia en el S.I. es:

$$P_u = GY_u = Q\rho gH_u \quad (1.10)$$

H_u altura equivalente a la energía intercambiada en el fluido

$$H_u = \frac{Y_u}{g}$$

Al igualar las potencias tenemos:

$$Q\rho gH_u = Q\rho w(c_2r_2\cos \alpha_2 - c_1r_1\cos \alpha_1) \quad (1.11)$$

Sabiendo que:

$$\begin{aligned} u_1 &= r_1w & u_2 &= r_2w \\ c_{1u} &= c_1\cos \alpha_1 & c_{2u} &= c_2\cos \alpha_2 \end{aligned}$$

Donde C_{1u} y C_{2u} son la proyecciones de c_1 y c_2 sobre u_1 y u_2 o componentes periféricos de la velocidades absolutas ala entrada y salida de los alabes.

Al sustituir loa valores en la ecuación obtenemos la *Ecuación de Euler para las bombas centrifugas Expresión energética.*

$$Y_u = u_2c_{2u} - u_1c_{1u} \quad (1.12)$$

También se obtiene la *Ecuación de Euler para Bombas Centrifuga como una expresión de las alturas.*

$$H_u = (Y_u = u_2c_{2u} - u_1c_{1u})/g \quad (1.13)$$

Utilizando los valores de u_1 , c_{1u} y u_2 , c_{2u} y ordenándolos tenemos una segunda ecuación para bombas centrifugas expresada en función de la energía y la altura.

$$Y_u = \pm \left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \right) \quad (1.14)$$

$$H_u = [(u_2^2 - u_1^2)/2g] + [(c_2^2 - c_1^2)/2g] + [(w_1^2 - w_2^2)/2g] \quad (1.15)$$

1.2.2 ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL RODETE.

1.2.2.1 TEORÍA DE MODELOS.

La teoría de modelos proporciona las condiciones en las que se a de realizar el ensayo del modelo y a partir de esto predecir el comportamiento del prototipo.

El teorema de modelos tiene tres condiciones.

- a) Semejanza geométrica, es la similitud en los contornos.
- b) Semejanza cinemática, es la similitud en la configuración del flujo.
- c) Semejanza dinámica, las fuerzas mantienen una misma relación

Para verificar la semejanza dinámica se requiere realizar la experimentación del modelo, esta consiste en hallar empíricamente la función de ocho variables.

$$f(F, l, c, \rho, u, g, a, \sigma) = 0$$

Si utilizamos un análisis dimensional se reduce a cinco variables

$$f(E, F, R, M, W) = 0$$

Equivalente a la función explícita

$$E = f(F, R, M, W)$$

Numero de Euler (E), es la relación entre la fuerza de inercia y la fuerza debida a la gravedad de presión.

$$\frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza de gradiente de presión}} \approx \frac{\rho l^2 c^2}{\Delta \rho l^2} = \frac{c^2}{\Delta_p / \rho} \quad (1.16)$$

Número de Fronde (F), es la relación entre una fuerza de inercia y una fuerza debido a la gravedad.

$$\frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza de gravedad}} \approx \frac{\rho l^2 c^2}{\rho l^3 g} = \frac{c^2}{lg} = F^2 \quad (1.17)$$

Número de Reynold (R), es la relación de una fuerza de inercia a una fuerza debida a la viscosidad.

$$\frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza de viscosidad}} \approx \frac{\rho l^2 c^2}{\mu c} = \frac{\rho l c}{\mu} = \frac{lc}{\nu} \quad (1.18)$$

Número Mach (M), es la relación de una fuerza de inercia a una fuerza debida a la elasticidad.

$$\frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza de elasticidad}} \approx \frac{\rho l^2 c^2}{El^2} = \frac{\rho c^2}{E} = M^2 \quad (1.19)$$

Numero de Weber (W), es la relación entre una fuerza de inercia y una fuerza debida a la tensión superficial.

$$\frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza de tensión superficial}} \approx \frac{\rho l^2 c^2}{\sigma l^2} = \frac{c^2}{\sigma/\rho} \quad (1.20)$$

Según las ecuaciones de los números de Froude, Reynolds, Mach y Weber, el modelo y el prototipo serán únicamente semejantes si se cumplen simultáneamente las igualdades siguientes:

$$F_m = F_p; \quad R_m = R_p; \quad M_m = M_p; \quad W_m = W_p$$

Estas condiciones se cumplen si el modelo está hecho a una escala 1:1 (con respecto al prototipo). Por ejemplo si se hace el ensayo de una bomba centrífuga utilizando el mismo fluido, la condición de fuerza relevante será la viscosidad por lo tanto.

$$R_m = R_p$$

Sus valores son:

$$\frac{l_m c_m}{v_m} = \frac{l_p c_p}{v_p} \quad (1.21)$$

La igualdad del fluido es:

$$V_m = V_p$$

Entonces.

$$l_m c_m = l_p c_p \quad (1.22)$$
$$c_m = \frac{l_p}{l_m} c_p$$

Por otro lado la condición de la fuerza de la gravedad

$$F_m = F_p$$

Sus valores son:

$$\frac{c_m}{\sqrt{l_m g}} = \frac{c_p}{\sqrt{l_p g}}$$

En este caso la gravedad es constante.

En consecuencia:

$$c_p c_m = c_p \sqrt{\frac{l_m}{l_p}}$$

Estas dos condiciones se cumplen si: $l_m = l_p$

Para obviar estos inconvenientes la teoría de modelos estudia cual de las cuatro fuerzas (gravedad, viscosidad, elasticidad y tensión superficial) es la más representativa en el fenómeno a estudiar.

En el caso de las turbo máquinas casi siempre la elasticidad y la tensión superficial son secundarias

1.2.2.2 DEDUCCIÓN DE LAS ECUACIONES PRÁCTICAS.

La fuerza preponderante en las bombas centrifugas es según los casos de viscosidad o la gravedad.

Por la viscosidad

$$E = f(R) \quad y \quad R_m = R_p$$

Sabemos que: V_m fluidos iguales

Sea $\lambda = \frac{l_p}{l_m}$ la escala a utilizar

Tendremos que: $l_m = \frac{l_p}{\lambda}$ escala de longitudes del modelo

$A_m = \frac{A_p}{\lambda^2}$ Escala de áreas del modelo.

Para la ecuación (1.22) tenemos $c_m = \lambda c_p$ escala de velocidades.

Ahora tomando como velocidad característica para definir el número de Reynolds a (u) que es la velocidad absoluta del alabe (velocidad periférica), y como longitud característica el diámetro del rodete dividido para 2, más el supuesto que se trabaja con un mismo fluido tendremos:

$$D_m u_m = D_p u_p \quad (1.23)$$

Considerando que:

$$u_m = \frac{\pi D_m n_m}{60} \quad u_p = \frac{\pi D_p n_p}{60} \quad (1.24)$$

Sustituyendo (1.23) en (1.24) tenemos:

$$n_m = \left(\frac{D_p}{D_m} \right)^2 n_p \quad (1.25)$$

$$n_m = \lambda^2 n_p \quad \text{Escala de velocidades de giro.}$$

$$Q_m = \frac{Q_p}{\lambda} \quad \text{Escala de caudales.}$$

$$t_m = \frac{t_p}{\lambda^2} \quad \text{Escala de tiempos.}$$

$$F_m = \frac{F_p}{\lambda^3} \quad \text{Escala de fuerzas.}$$

1.2.2.3 LEYES DE SEMEJANZA DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS.

Comparan el comportamiento de dos turbomáquinas geoméricamente semejantes. Al variar el tamaño o diámetro y alguna otra característica. En concreto en las bombas centrifugas se toma como variables independientes el diámetro y el numero de revoluciones.

Para la deducción de las leyes se utilizara (‘) para una bomba cualesquiera y (‘‘) para la otra.

Las tres primeras leyes se refieren a la misma bomba, pero funcionando con números de revoluciones diferentes.

Primera Ley.- Los caudales son directamente proporcionales a los números de revoluciones.

Sabiendo que:

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{n'}{n''} \quad (1.26)$$

$$Q = A \cdot v$$

La (v) es la componente de la velocidad normal a cualquier sección (A) de la bobina.

Cualquier velocidad será proporcional a n , suponiendo también que u es proporcional a n .

$$u = \left(\frac{\pi D}{60}\right) n = Cn$$

C es una constante.

En condiciones de igual rendimiento, los triángulos de velocidad han de ser semejantes, lo que obliga a que todas las velocidades sean proporcionales a n .

Segunda ley.- Las alturas son directamente proporcionales al cuadrado de los números de revolución.

$$\frac{H'}{H''} = \left(\frac{n'}{n''}\right)^2 \quad (1.27)$$

Tercera ley.- Las potencias son directamente proporcionales al cubo de los números de revolución.

$$\frac{P'}{P''} = \left(\frac{n'}{n''}\right)^3 \quad (1.28)$$

Las tres leyes siguientes se refieren a dos bombas geoméricamente semejantes, pero de diámetro distinto funcionando con un número de revoluciones constante.

Cuarta ley.- Los caudales son directamente proporcionales al cubo de la relación de diámetros.

$$\frac{Q'}{Q''} = \left(\frac{D'}{D''}\right)^3 \quad (1.29)$$

Quinta ley.- las alturas son directamente proporcionales al cuadrado de la relación de diámetros.

$$\frac{H'}{H''} = \left(\frac{D'}{D''}\right)^2 \quad (1.30)$$

Sexta ley.- Las potencias son directamente proporcionales a la quinta potencia de la relación de diámetros.

$$\frac{P'}{P''} = \left(\frac{D'}{D''}\right)^5 \quad (1.31)$$

Estas leyes se pueden fundir de dos en dos, haciendo que varíe primero el diámetro y luego el número de revoluciones, obteniéndose las siguientes fórmulas.

$$\frac{Q'}{Q''} = \left(\frac{n'}{n''}\right) \left(\frac{D'}{D''}\right)^3 \quad (1.32)$$

$$\frac{H'}{H''} = \left(\frac{n'}{n''}\right)^2 \left(\frac{D'}{D''}\right)^2 \quad (1.33)$$

$$\frac{P'}{P''} = \left(\frac{n'}{n''}\right)^3 \left(\frac{D'}{D''}\right)^5 \quad (1.34)$$

1.2.2.4 VELOCIDAD ESPECIFICA DE UNA TURBOMÁQUINA

1.2.2.4.1 NUMERO ESPECÍFICO DE REVOLUCIONES EN FUNCIÓN DEL CAUDAL (Nq).

Para seleccionar una bomba hidráulica, se requiere conocer la altura H y el caudal Q de la instalación en estudio, es por esta razón que la velocidad específica nq se expresa en función de dichos parámetros.

Despejamos $\left(\frac{D'}{D''}\right)$ de (1.33) y remplazamos en (1.32), agrupamos y extraemos la raíz para obtener:

$$n'^2 Q' H'^{-3/2} = n''^2 Q'' H''^{-3/2} \quad (1.35)$$

$$n' Q'^{1/2} H'^{-3/4} = n'' Q''^{1/2} H''^{-3/4} \quad (1.36)$$

Al haber obtenido la ecuación (24) por la eliminación de la relación de diámetros se afirma que el producto $nQ^{1/2}H^{-3/4}$ es idéntico para todas las bombas geoméricamente semejantes.

Este producto se llama, *Número específico de revoluciones en función del caudal*.

$$nq = \frac{nQ^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (1.37)$$

1.2.2.4.2 NUMERO ESPECÍFICO DE REVOLUCIONES EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA n_s .

Despejamos $\left(\frac{D'}{D''}\right)$ de (1.33) y reemplazamos en (1.34), agrupamos y extraemos la raíz para obtener:

$$n'^2 P' H'^{-5/2} = n''^2 P'' H''^{-5/2} \quad (1.38)$$

$$n' P'^{1/2} H'^{-5/4} = n'' P''^{1/2} H''^{-5/4} \quad (1.39)$$

Con la ecuación (1.39) se afirma que el producto $nP^{1/2}H^{-5/4}$ es idéntico para todas las bombas geométricas semejantes.

$$n_s = \frac{nP^{1/2}}{H^{5/4}} \quad (1.40)$$

Todas las bombas centrífugas geoméricamente semejantes, tienen el mismo número específico de revoluciones, siempre que se considere el mismo fluido en todas ellas y se suponga idéntico rendimiento.

$$n_s = \frac{3,65nQ^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (1.41)$$

1.2.2.5 ANÁLISIS DE CURVAS CARACTERÍSTICAS.

1.2.2.5.1 CARGA Y CURVAS DE CARGA DEL SISTEMA.

Bombear es adicional energía cinética y potencial a un líquido con el fin de moverlo de un punto a otro haciendo que el líquido efectúe un trabajo, como circular por una tubería o subir a una mayor altura. Una bomba transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en la energía cinética y potencial requerida. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad periférica del impulsor y de la densidad del fluido, la cantidad de energía que se aplica por volumen de líquido es independiente de la densidad del fluido.

Para el sistema de bombeo en sí debe recordar lo siguiente:

- a) La carga se puede medir en diversas unidades.
- b) Las lecturas de presión y de carga pueden ser manométricas o absolutas (figura 1.3).

Carga del sistema

Una bomba solo puede funcionar dentro de un sistema, aplicando al líquido una energía formada por los siguientes componentes:

- Carga estática
- Diferencia en presiones en las superficies de los líquidos.
- Carga de fricción.
- Pérdida en la entrada y en la salida.

Carga Estática.

Esta carga significa una diferencia en elevación, por lo tanto la carga estática total de un sistema es la diferencia de elevación entre los niveles del líquido entre la descarga y sección de la bomba Figura (1.4)

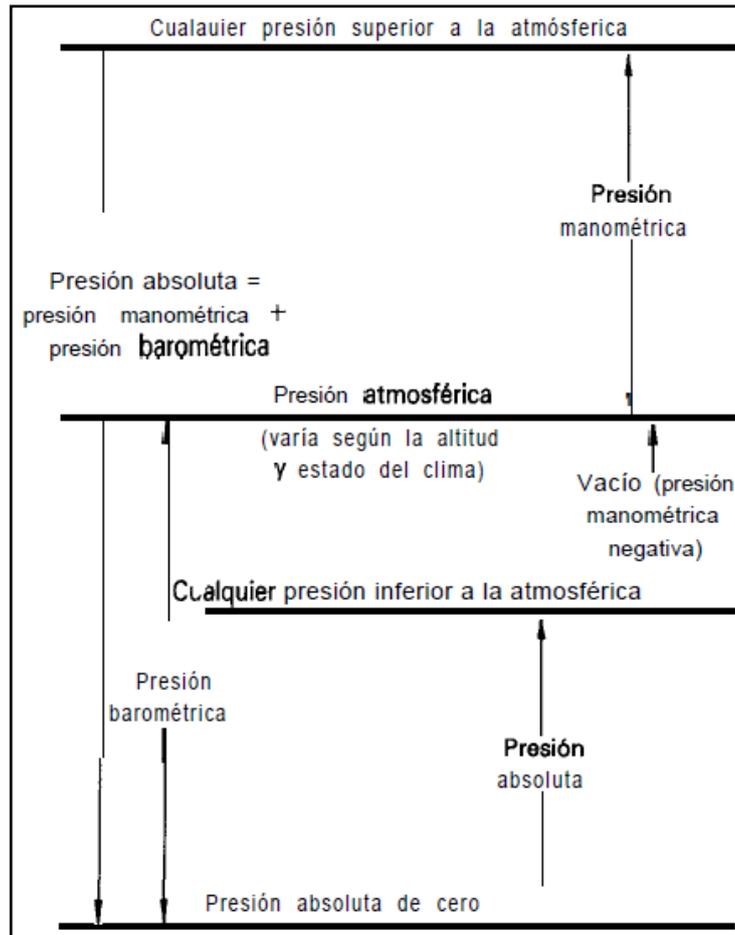


Figura 1.3: Relaciones entre presiones atmosféricas, manométricas y absoluta

Carga de Fricción

Expresada en metros de líquido que se bombea es la necesaria para contrarrestar las pérdidas por fricción ocasionadas por el flujo del líquido en la tubería, válvulas, accesorios y otros componentes. Estas pérdidas varían más o menos proporcionalmente al cuadrado del flujo en el sistema.

1.2.2.5.2 PERDIDAS EN LA ENTRADA Y EL LA SALIDA.

Si la toma de la bomba esta en un depósito, las pérdidas ocurren en el punto de conexión de la tubería de succión con el suministro, magnitud que puede ser disminuida de acuerdo al diseño de la entrada al tubo; estas pérdidas se deben considerar como parte de las pérdidas totales por fricción en el sistema.

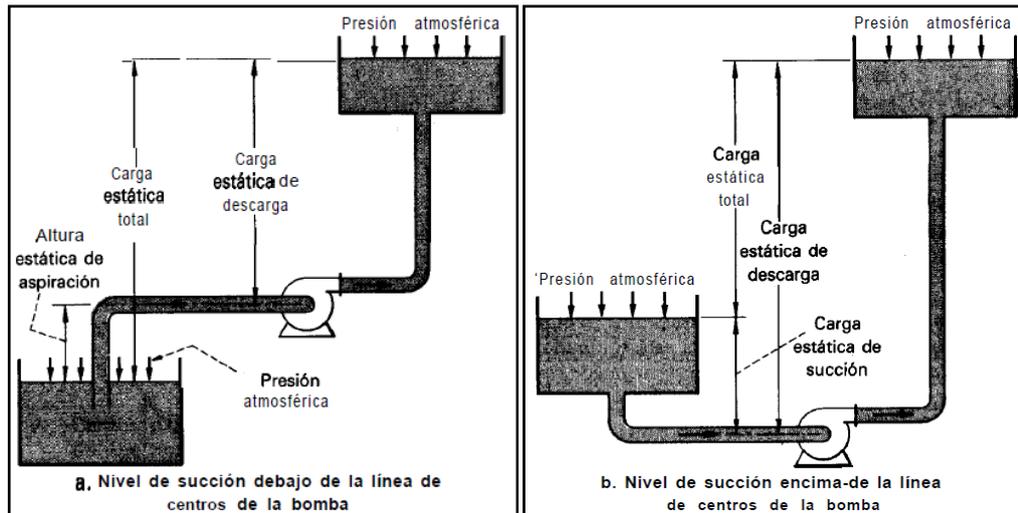


Figura 1.4: La carga estática total en un sistema con bomba centrífuga depende de las condiciones de succión y descarga

1.2.2.6 CURVAS DE FRICCIÓN Y CARGA DEL SISTEMA.

Para resolver problemas de bombeo es importante indicar la relación, en forma de grafica, entre la capacidad y las pérdidas de carga de fricción. Estas pérdidas se calculan con algún flujo determinado y luego se calcula para todos los demás flujos con el empleo del cuadrado de la relación del flujo. La curva resultante se llama curva de fricción del sistema (figura 1.5).

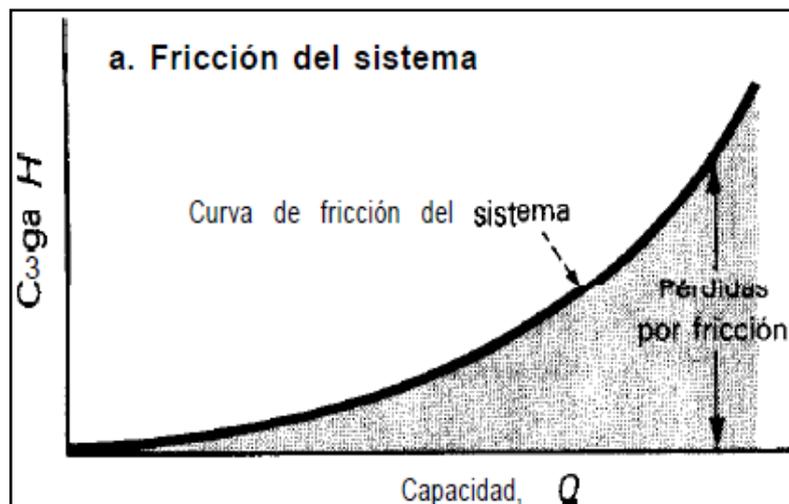


Figura 1.5: Curva de fricción del sistema.

Cuando se combinan las cargas estática, la diferencia en presión y las pérdidas de carga de fricción de cualquier sistema y se trazan contra la capacidad, la curva resultante se llama *curva característica del sistema* (figura 1.6).

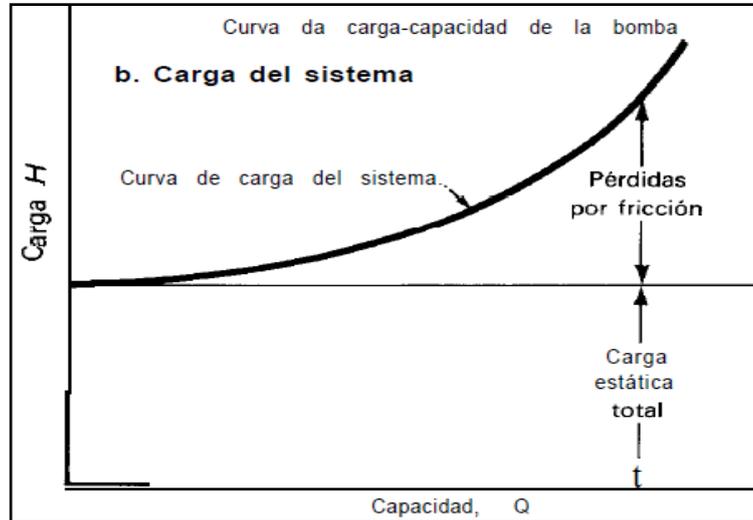


Figura 1.6: Curva de carga del sistema.

Al suponer una curva de la capacidad contra la carga de una bomba centrífuga a velocidad constante, sobre la curva de carga del sistema, se podrá determinar la capacidad que esa bomba entregara al sistema a aquella velocidad particular.

En sistemas que tienen cargas estáticas variables, se pueden trazar curvas que correspondan a las condiciones mínimos y máximos (figura 1.7) para luego con la curva H-Q de la bomba determinar los fluidos mínimo y máximo que entregara la bomba en el sistema.

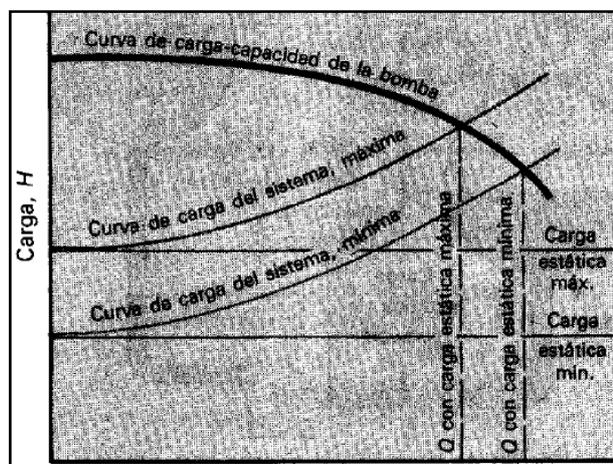


Figura 1.7: Características del sistema para una carga estática variable.

1.2.2.7 VARIACIONES EN EL FLUJO DESEADO.

Es raro que en un sistema deba funcionar una sola capacidad, en general el proceso en que trabaja la bomba centrífuga tiene demanda variable. Una bomba dada en un sistema solo entregara la capacidad correspondiente a la intersección entre la curva H-Q y la curva de carga del sistema. Razón por la cual para variar la capacidad es necesario cambiar la forma de una o ambas bombas. Para cambiar la curva H-Q de la bomba se la hace funcionar a velocidad variable (figura 1.8).

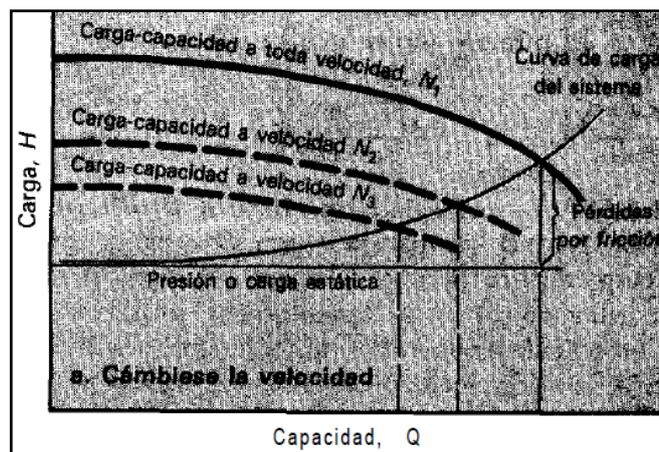


Figura 1.8: Método de variación de velocidad para variar la capacidad de una bomba centrífuga.

La curva de carga del sistema se puede alterar si se produce una pérdida por fricción debida a la acción de una válvula de estrangulación (figura 1.9).

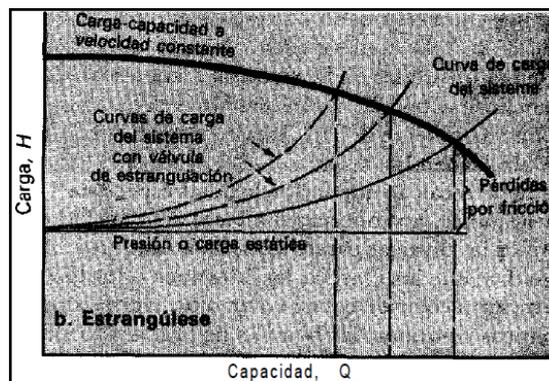


Figura 1.9: Método de estrangulación para variar la capacidad de una bomba centrífuga.

1.2.2.8 CURVAS DE CAPACIDADES NOMINALES.

Una curva de capacidad nominal de un bomba centrifuga indica, en forma condensada las posible aplicaciones de ella a determinada velocidad nominal, con una serie de diámetros de impulsores (figura 1.10).

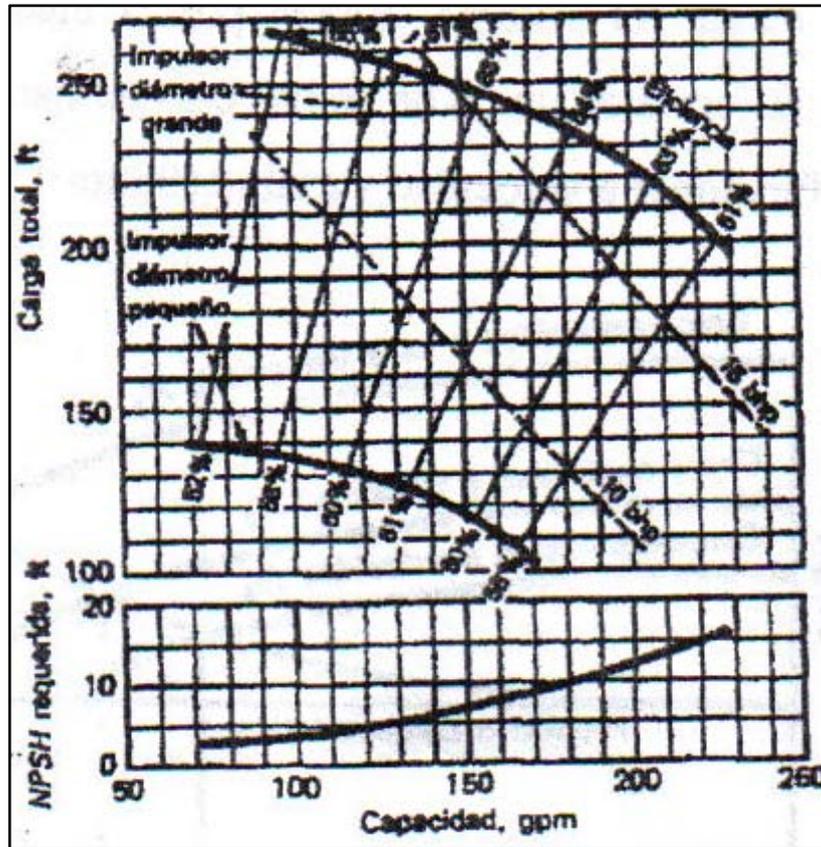


Figura 1.10: Curvas de clasificación para una bomba centrifuga.

1.2.2.9 CURVA IDEAL CARGA-CAUDAL DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

Las curvas características de operación, son de gran utilidad en las turbomáquinas, entre todas estas, las más trascendentales en las bombas centrifugas es la $H=f(Q)$ o curva carga-caudal, por ser estos dos parámetros H y Q los más significativos en el trabajo de una bomba.

La búsqueda de la ecuación explicita correspondiente a esta función implícita $H=f(Q)$ se hace considerando unas condiciones de funcionamiento ideales, esto es, sin perdidas energéticas.

En el cálculo de la H ideal en función de Q se supone primero el caso más generalizado de que no hay circulación del agua a la entrada del impulsor, o sea que $c_{u1} = 0$. De la ecuación de Euler nos queda:

$$H = \frac{u_2 c_{u2}}{g} \quad (1.42)$$

Como se trata de poner la carga en función del caudal solamente, para un impulsor determinado con un radio r_2 girando a una velocidad $\omega = constante$; esto es, con una $u_2 = constante$; solo hará falta expresar a c_{u2} en función de Q en la fórmula de Euler, a través de cantidades fácilmente medibles (figura 1.11).

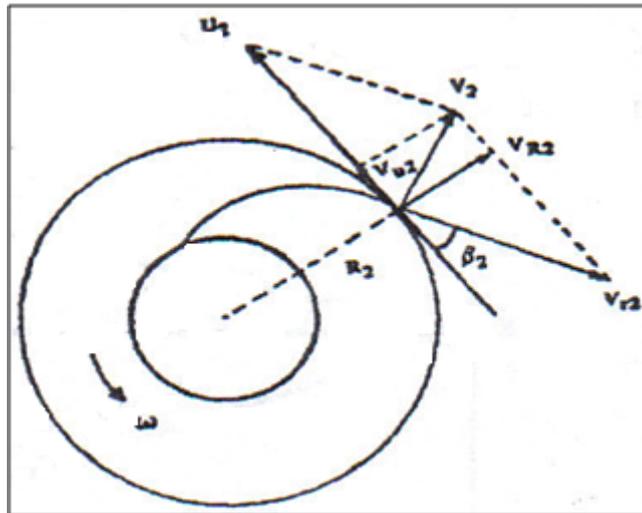


Figura 1.11: Triángulo de velocidad de salida.

$$c_{u2} = u_2 - c_{R2} \cot \beta_2$$

$$c_{R2} = \frac{Q}{A_2}$$

A_2 , es el área periférica de salida del agua. Sustituyendo en la ecuación (1.42).

$$H = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 \cot \beta_2}{g A_2} Q \quad (1.43)$$

Para un impulsor determinado β_2 y A_2 están definidas y por lo tanto la ecuación 1.43 es la forma explícita de la curva característica ideal carga-caudal, se puede poner bajo la forma sencilla.

$$H = c + aQ \quad (1.44)$$
$$c = \frac{u_2^2}{g} \quad y \quad a = \frac{u_2 \cot \beta_2}{gA_2}$$

La expresión 1.44 representa una recta con c como ordenada en el origen y con a como pendiente. Según el valor de β_2 la cotangente puede ser positiva, negativa o cero, dando lugar a las tres formas de la característica presentada en la figura 1.12, cuyo significado es el siguiente:

para $\beta_2 < 90^\circ$, el impulsor tiene los alabes curvados hacia atrás, condición para un buen rendimiento, aunque con faja transferencia energética.

Para $\beta_2 = 90^\circ$, los alabes del impulsor son rectos a la salida, el rendimiento es bajo pero con una transferencia energética importante.

Cuando $\beta_2 > 90^\circ$, los alabes son curvados hacia delante, produciendo una c_2 muy alta, un muy mal rendimiento aunque la transferencia de energías es muy alta.

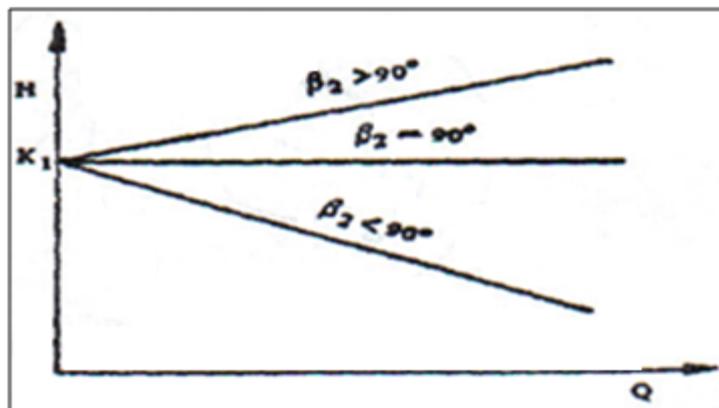


Figura 1.12

El valor de $c = \frac{u^2}{g}$ se llama carga de caudal nulo (shut off head) o carga producida por la bomba con la salida cerrada. Al ser $Q=0$ $c_{R2} = 0$ lo que quiere decir

que la velocidad absoluta solo tiene componente tangente determinando una simple recirculación del agua.

Si en algún caso $c_{u1} \neq 0$ la transferencia tiene la forma:

$$H = \left(\frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 \cot \beta_2}{gA_2} Q \right) - \left(\frac{u_1^2}{g} - \frac{u_1 \cot \beta_1}{gA_1} Q \right) \quad (1.45)$$

Indica que disminuye la energía transferida, cuyo valor será el comprendido entre las dos ordenadas de la figura 1.13.

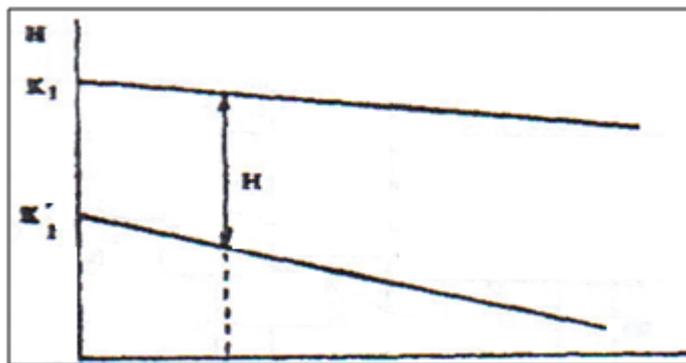


Figura 1.13

1.2.3 ESTUDIO DEL FENÓMENO DE CAVITACIÓN.

La mayor parte de problemas con las bombas centrifugas ocurre en el lado de succión. Por ello es indispensable relacionar la capacidad de succión de la bomba con las características de succión del sistema en que funcionara.

Cuando se bombean líquidos, nunca se debe permitir que la presión en cualquier punto dentro de la bomba caiga a menos de la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. Siempre se debe tener suficiente energía disponible en la succión de la bomba para hacer que el líquido llegue al impulsor y contrarreste las pérdidas entre la boquilla de succión y la entrada al impulsor de la bomba. En este lugar los alabes del impulsor aplican más energía al líquido.

El rendimiento de la bomba se suele presentar con curvas y la curva de carga contra velocidad se traza a una velocidad fija. Las curvas también indican el caballaje al freno requerido con diversos caudales y la eficiencia correspondiente.

Una característica adicional de la bomba es la $(NPSH)_R$, es la energía, metros de carga de líquido que se necesita en la succión de la bomba por arriba de la presión de vapor del líquido a fin de que la bomba entregue una capacidad dada a una velocidad dada.

Los cambios en la $(NPSH)_R$ no alteran el rendimiento de la bomba siempre y cuando la $(npsH)_D$ sea mayor que la $(NPSH)_R$.

Sin embargo cuando la $(NPSH)_D$ cae por debajo del valor de $(NPSH)_R$, la bomba empieza a tener cavitación y pierde eficiencia (figura 1.14).

La característica con línea continua son los valores de $(NPSH)_D$ que exceden de la $(NPSH)_R$, por ejemplo si a 1800 gpm la $(NPSH)_D$ es menor de 17 ft, empieza la cavitación y la bomba produce menos carga.

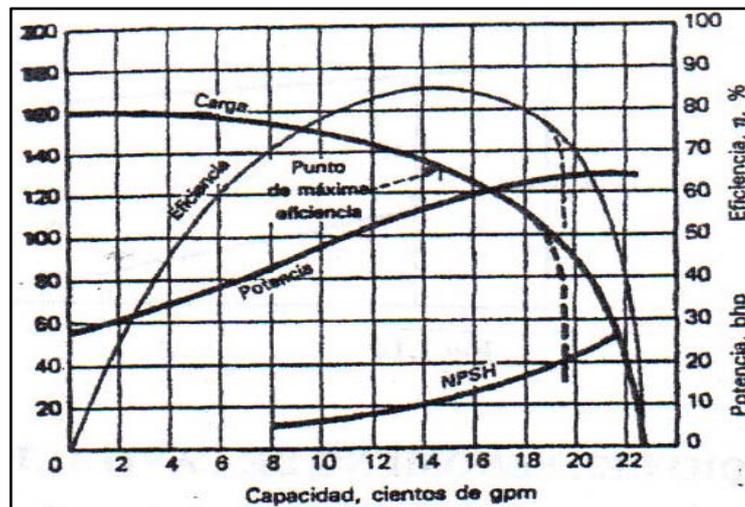


Figura 1.14: Características de rendimiento de una bomba centrífuga.

1.2.3.1 CARGA DE SUCCIÓN Y ALTURA DE ASPIRACIÓN.

Según se define en las normas de Hydraulic Institute, la carga de succión, h_{ss} es la carga estática en el tubo de succión de la bomba por encima de la línea de centros de la misma, menos todas las pérdidas por carga de fricción para la capacidad que se estudia (incluso pérdida en la entrada en el tubo de succión) mas cualquier presión (un vacío es un presión negativa) que haya en el suministro de succión.

Una vez de expresar la carga de succión como valor negativo, se suele utilizar el término “altura de aspiración”. En las figuras 1.15, 1.16 y 1.17 se ilustran las tres condiciones más comunes de suministro para succión.

El **caso I** incluye un suministro de succión a presión que no es la atmosférica y que está arriba de la línea de centros de la bomba (figura 1.15).

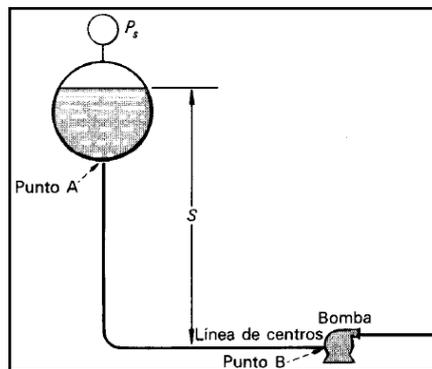


Figura 1.15: $h_z = S - h_{fs} - h_t + P_s$

El **caso II** incluye un suministro de succión a presión atmosférica y colocado mas arriba de la línea de centros de la bomba (figura 1.16)

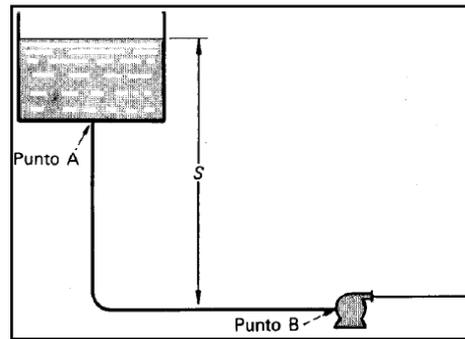


Figura 1.16: $h_s = S - h_{fs} - h_t$

El **caso III** incluye un suministro de succión a presión atmosférica colocado debajo de la línea de los centros de la bomba. Es opcional que la carga de succión se exprese como carga negativa de succión o con valor positivo como altura de aspiración. Un Vacuometro conectado en la brida de succión de la bomba y corregido para la línea de centros de la bomba registrara vacio parcial o sea presión negativa.

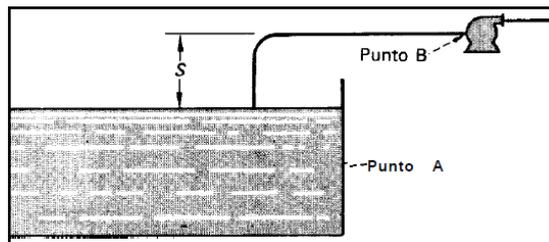


Figura 1.17: h_s (carga de succión) = $(-S) - h_{fs} - h_t$
 $(-h_s$ (altura aspiración) = $S - h_{fs} + h_t$

Nomenclatura.

h_t Pérdida en la entrada, punto A.

h_{fs} Pérdida total por fricción entre punto A y punto B.

h_{vs} Carga de velocidad en punto B.

h_{sg} (Lectura del manómetro en el punto B corregida respecto a la línea de los centros de la bomba) = $h_s - h_{vs}$.

P_s Pies de liquido.

Para determinar la carga de succión, es necesario sumar la carga de velocidad a esta presión negativa en forma algebraica o si se desea trabajar en términos de un vacio, la carga de velocidad se debe restar del vacio para obtener la altura de aspiración.

1.2.3.2 CARGA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN

El empleo de los términos “altura de aspiración permisible” o “carga de succión requerida”, tiene serios inconvenientes. Solo se puede aplicar para el agua, porque indican la energía en la presión barométrica expresada en metros de agua. Los cambios en la presión barométrica, sean por la diferencia en altitud o por la diferencia en el clima, modifican los valores de estos términos. Los cambios en la temperatura de bombeo también influyen porque alteran la presión de vapor del líquido.

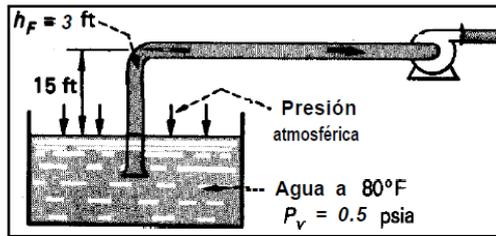
Por esta razón, todas las referencias a las condiciones de succión se hacen con la carga neta positiva de succión NPSH, por arriba de la presión de vapor del líquido.

Es necesario distinguir entre la carga neta positiva de succión disponible $(NPSH)_D$ y la requerida, $(NPSH)_R$. La primera que es una característica del sistema en que se emplea la bomba centrífuga, representa la diferencia entre la carga absoluta de succión existente y la presión de vapor a la temperatura prevaleciente. La $(NPSH)_R$, que es función del diseño de la bomba, representa el margen mínimo requerido entre la carga de succión y la presión de vapor.

La forma en la que se debe calcular la $(NPSH)_D$ a una capacidad dada para los siguientes casos se demuestra en la figura 1.18.

- 1) Una instalación típica con altura de aspiración.
- 2) Una bomba que tiene la succión en un tanque.
- 3) Una bomba que maneja líquido en su punto de ebullición.

Tanto la $(NPSH)_D$ como la $(NPSH)_R$ varían según la capacidad (figura 1.19). Con una presión estática o diferencia en elevación dadas en el lado de succión de una bomba centrífuga, la $(NPSH)_D$ se reduce cuando hay caudales grandes, debido a las pérdidas por fricción en el tubo de succión. Por otra parte ya que la $(NPSH)_R$ es función de las velocidades en los conductos de succión de la bomba de la entrada al impulsor, aumenta en razón directa con el cuadrado de su capacidad.



$$(NPSH)_D = \frac{2,31(P_s - P_v)}{sp. gr} + Z - h_F$$

P_s presión sobre la superficie del líquido

P_v presión de vapor del líquido

Z carga estática (ft).

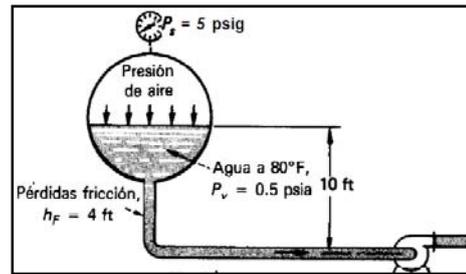
h_F pérdidas por fricción (ft).

- A nivel del mar.

$$(NPSH)_D = \frac{2,31(14,7 - 0,5)}{1,0} - 15 - 3 = 14,8ft$$

- A 500 ft sobre el nivel del mar.

a. Altura de aspiración.



$$(NPSH)_D = \frac{2,31(P_s - P_v)}{sp. gr} + Z - h_F$$

P_s presión sobre la superficie del líquido

P_v presión de vapor del líquido

Z carga estática (ft).

h_F pérdidas por fricción (ft).

- A nivel del mar.

$$(NPSH)_D = \frac{2,31(14,7 + 5 - 0,5)}{1,0} + 10 - 4 = 50,3ft$$

- b. Succión en un tanque a presión.**

Figura 1.18 Cálculo de la carga positiva neta de succión disponible (NPSH).

1.2.3.3 VELOCIDAD ESPECÍFICA DE SUCCIÓN

El rendimiento de un impulsor, desde el punto de vista de la cavitación, no se puede alterar en forma importante con las condiciones existentes en la periferia de descarga del impulsor.

Sin embargo, estas condiciones son los factores primordiales para determinar la carga total que producirá el impulsor. En otras palabras si un impulsor tiene determinadas características de succión, la reducción de su diámetro dentro de límites razonables y por ello, la reducción de su carga, no influirían en su capacidad de succión.

La velocidad específica de succión es en esencia un número índice, que describe las características de succión de un impulsor dado y se define como:

$$S = \frac{n\sqrt{Q}}{(h_s)^{3/4}} \quad (1.46)$$

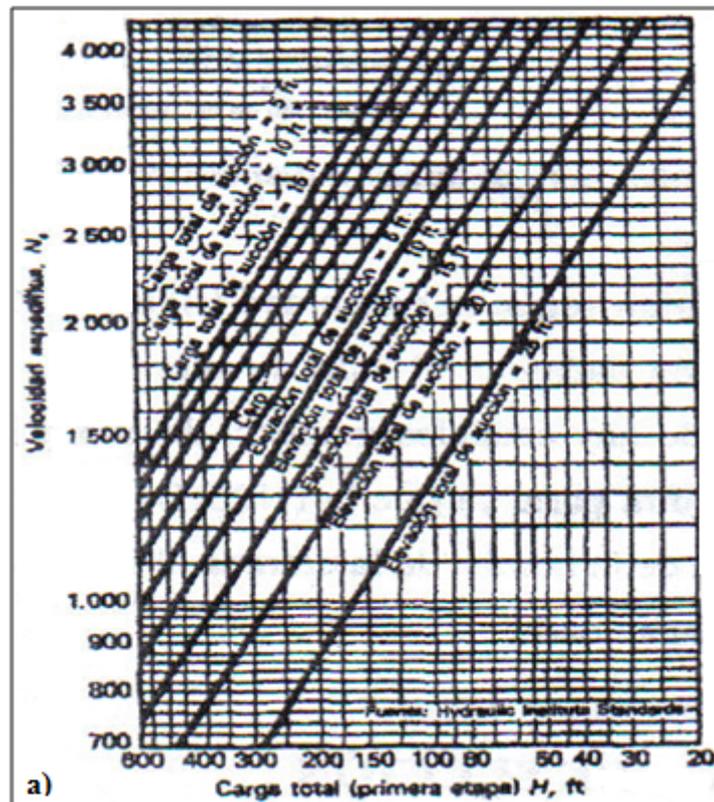
S velocidad específica de succión.

n velocidad de rotación (rpm).

Q flujo(m³=), es el flujo total con impulsores de succión sencilla y con impulsores de succión doble Q es la mitad del flujo total.

h_s es el (NPSH)_R en metros.

Se han modificado varias veces las graficas de límite de velocidad específica (figura 1.19) porque originalmente se adoptaron como lineamientos para las condiciones de succión de las bombas centrifugas. A pesar de que se ha reconocido el concepto de la velocidad específica en las normas del Hydraulic Institute. Las graficas en esas normas están basadas en valores de S que van de 7480 a 10960 y varían en cada grafica y de una grafica a otra.



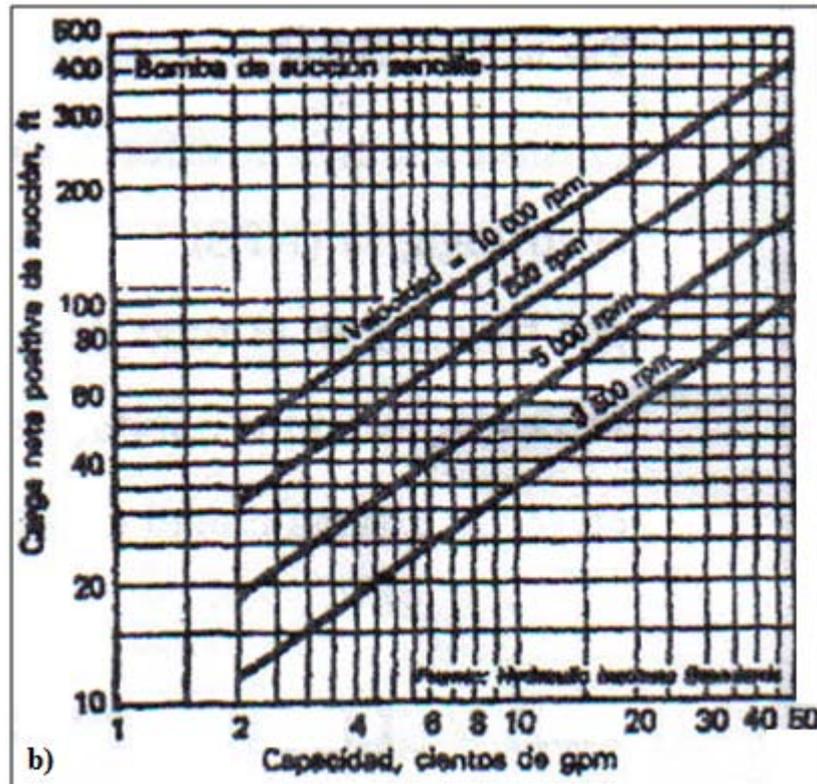


Figura 1.19: a) Límites de velocidad específica para bombas de succión sencilla con impulsor suspendido.
b) Carga neta positiva de succión requerida en bombas centrífugas para agua caliente.

1.2.3.4 CAVITACIÓN Y RENDIMIENTO DE LA BOMBA.

La cavitación ocurre cuando la presión absoluta dentro de un impulsor cae por debajo de la presión de vapor del líquido y se forman burbujas de vapor. Estas se contraen más adelante en los alabes del impulsor cuando llegan a una región de presión más alta. La (NPSH)_R mínima para un velocidad y capacidad dadas de la bomba se define como la diferencia entre la carga absoluta de succión y la presión de vapor de líquido bombeado a la temperatura de bombeo y que es necesario para evitar la cavitación.

La cavitación de la bomba se nota cuando hay una o más de las siguientes señales: ruido, vibración, caída en las curvas de capacidad de carga y eficiencia, con el paso del tiempo, por los daños en el impulsor por picaduras y erosiones. Como todas estas señales, es necesario aplicar ciertas reglas básicas para establecer una uniformidad en la detección de cavitación. La NPSH mínima se determina con una prueba en la cual se miden tanto la carga total como la eficiencia, la velocidad y

capacidad dadas en condiciones de NPSH variable. Los resultados de esta prueba se presentan en una forma similar a la de la figura 1.19. Con los valores altos de NPSH, la carga y la eficiencia permanecen constantes.

Cuando se reduce la NSPH se llega a un punto en el cual se rompen las curvas e indican la disminución en el rendimiento de la bomba ocasionado por la cavitación.

Es difícil señalar con precisión el valor exacto del NPSH al cual se inicia la cavitación (figura 1.20).

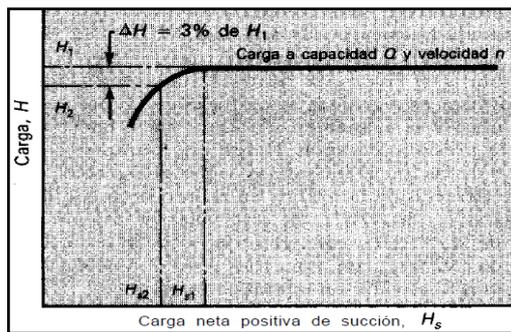


Figura 1.20

1.2.3.5 CONDICIONES INADECUADAS EN LA SUCCIÓN.

Cuando un sistema tienen insuficiente (NPSH)_D para una selección óptima de la bomba, hay varias formas de enfrentarse a este problema. Se puede encontrar medios para aumentar la (NPSH)_D o bien reducir la (NPSH)_R o ambas cosas.

Para aumentar la (NPSH)_D se puede:

1. Subir el nivel del líquido.
2. Bajar la bomba.
3. Reducir las pérdidas por fricción en los tubos de succión.
4. Utilizar una bomba reforzada.
5. Subenfriar el líquido.

Para reducir el (NPSH)_R se puede emplear:

6. Velocidades más bajas.

7. Impulsor de doble succión.
8. Ojo del impulsor más grande.
9. Una bomba de tamaño más grande.
10. Inductores colocados antes de los impulsores convencionales.
11. Varias bombas más pequeñas en paralelo.

1.2.4 RESUMEN DE FORMULAS PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS.

Para la obtención de la cabeza total (Ht) se procedió de la siguiente manera:

$$H_t = \frac{\left[H_d - \left(\frac{H_{s1} + H_{s2}}{2} \right) \right] * 10197.16}{1000} \quad (m H_2O) \quad (1.42)$$

H_d = Presión de descarga (bar).

H_{s1} = Presión de succión bomba 1 (bar).

H_{s2} = Presión de succión bomba 2 (bar).

Para la potencia hidráulica procedemos:

$$P_w = H_t * \delta * Q * g \quad (w) \quad (1.43)$$

δ = Densidad del agua (Kg/m^3).

Q = Caudal (m^3/s).

g = Gravedad (m/s^2).

La potencia en el eje de la bomba es:

$$P_e = V * I_1 * \cos\phi * \eta + V * I_2 * \cos\phi * \eta \quad (w) \quad (1.44)$$

V = Voltaje de alimentación (Vac).

I_1 = Corriente bomba 1 (A).

I_2 = Corriente bomba 2 (A).

η = Rendimiento del motor (0.8).

$\cos\phi$ = Constante 0,95.

El rendimiento de las bombas se obtiene:

$$\eta = \frac{P_w}{P_e} * 100 \quad (\%) \quad (1.45)$$

1.3 PRESIÓN.

Un cuerpo solido de peso W se encuentra en equilibrio sobre una superficie horizontal, siendo A el área de contacto. Se llama presión del cuerpo sobre la superficie horizontal de apoyo, debida a la fuerza vertical W , a la relación:

$$p = W/A \quad (147)$$

El cuerpo está en equilibrio gracias a otra fuerza igual a W y de sentido contrario que ejerce el suelo sobre el cuerpo, que se llama reacción R , la cual en este caso deberá ser también normal al suelo.

Si imaginamos que el cuerpo de la figura 1.21 es ahora una vasija que contiene un fluido, el fluido ejerce también sobre el fondo de la vasija una presión $p = W/A$ en que W es ahora el peso del fluido,.

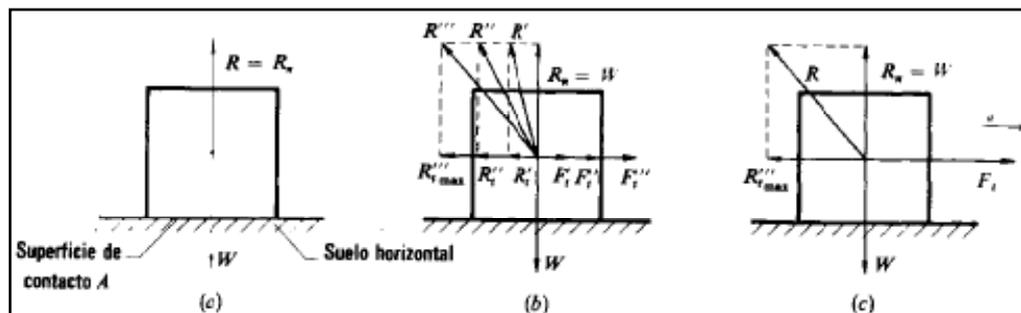


Figura 1.21: Un cuerpo solido apoyado sobre una superficie solida y sometido a una fuerza exterior creciente F_t sigue en equilibrio hasta que F_t es mayor que el rozamiento máximo. Un fluido, por el contrario, sometido a una fuerza F_t se pondrá en movimiento por pequeña que sea la fuerza

Si cortamos imaginariamente el fluido de la figura 1.21 por un plano π , como se muestra en la figura 1.22 y aislamos la parte superior, sustituyendo la parte inferior por las fuerzas que esta ejerce sobre la parte superior, el cuerpo seguirá en reposo. Estas fuerzas elementales, dibujadas en la figura 1.22 son las fuerzas debidas a la presión p' que la parte inferior ejerce sobre la superior iguales y de sentido contrario al peso W' de la parte superior. El fluido aislado esta, pues sometido a una fuerza proporcional a su masa, que es la fuerza de la gravedad

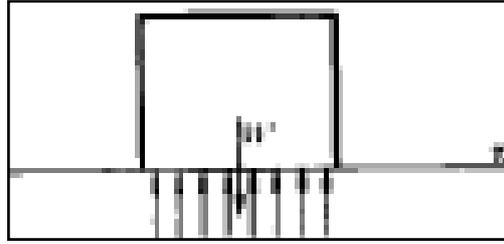


Figura 1.22: Explicación de la Presión en el interior de un fluido

Y a una fuerza proporcional a su superficie y normal a ella, que es la fuerza de presión. Si llamamos a esta fuerza superficial ΔF_p , y a la superficie de contacto ΔA , se define la presión media sobre la superficie ΔA así:

$$\bar{p} = \frac{\Delta F_p}{\Delta A}$$

Y la presión en un punto.

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_p}{\Delta A} = \frac{dF_p}{dA}$$

En el ejemplo de las figuras 1.21, 1.22 la fuerza exterior que origina la presión del líquido es la gravedad; pero en general puede ser cualquier otra fuerza externa, por ejemplo la debida al empuje de un embolo en un cilindro hidráulico.

En general pues la presión media se definirá así:

$$\bar{p} = \frac{F}{A} \quad (1.48)$$

Donde F es la fuerza normal a la superficie A.

Nótese que la presión p no es una fuerza; sino el cociente de una fuerza por una superficie.

Consideremos las siguientes propiedades de la presión en un fluido

- La presión en un punto de un fluido en reposo es igual en todas las direcciones.

- La presión en todos los puntos situados en un mismo plano horizontal en el seno de un fluido en reposo (y situado en un campo gravitatorio constante) es la misma.

- En un fluido en reposo la fuerza de contacto que ejerce en el interior del fluido una parte de este sobre la otra es normal a la superficie de contacto (Corolario: en un fluido en reposo la fuerza de contacto que ejerce el fluido sobre la superficie sólida que lo contiene es normal a ésta).

- La fuerza asociada a la presión en un fluido ordinario en reposo se dirige siempre hacia el exterior del fluido, por lo que debido al principio de acción reacción, resulta en una compresión para el fluido, jamás una tracción.

- La superficie libre de un líquido en reposo (y situado en un campo gravitatorio constante) es siempre horizontal. Eso es cierto sólo en la superficie de la Tierra y a simple vista, debido a la acción de la gravedad no es constante. Si no hay acciones gravitatorias, la superficie de un fluido es esférica y, por tanto, no horizontal.

- En los fluidos en reposo, un punto cualquiera de una masa líquida está sometida a una presión que es función únicamente de la profundidad a la que se encuentra el punto. Otro punto a la misma profundidad, tendrá la misma presión. A la superficie imaginaria que pasa por ambos puntos se llama superficie equipotencial de presión o superficie isobárica.

1.3.1 PRESIÓN POSITIVA.

Esta presión es la que se mide a la salida de las bombas, en el banco de pruebas de bombas centrífugas se encuentra instalado un sensor a la salida de las bombas.

Esta presión es generada desde el interior de la bomba gracias a la acción de los rodets, alcanzando alta velocidad, proyecta hacia afuera el agua anteriormente aspirada gracias a la fuerza centrífuga que desarrolla, encanalando el líquido en el cuerpo fijo y luego en el tubo de envío.

1.3.2 PRESIÓN NEGATIVA.

La presión negativa en una bomba centrifuga es la que se mide en el ingreso de la bomba, es decir es la denominada presión de aspiración, en el banco de pruebas de bombas centrifugas existen 2 sensores que miden la presión negativa, estos están colocados al en la tubería que se encuentra antes del ingreso a las bombas

1.4 TEMPERATURA.

La respuesta de los gases a los cambios de temperatura o de presión es muy notable, en tanto que el cambio en el volumen de un líquido, para cambios en la temperatura o la presión, es muy pequeño. β representa el coeficiente de dilatación volumétrica de un líquido.

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta T} \right) \quad (1.49)$$

Los líquidos se caracterizan por dilatarse al aumentar la temperatura, siendo su dilatación volumétrica unas diez veces mayor que la de los sólidos.

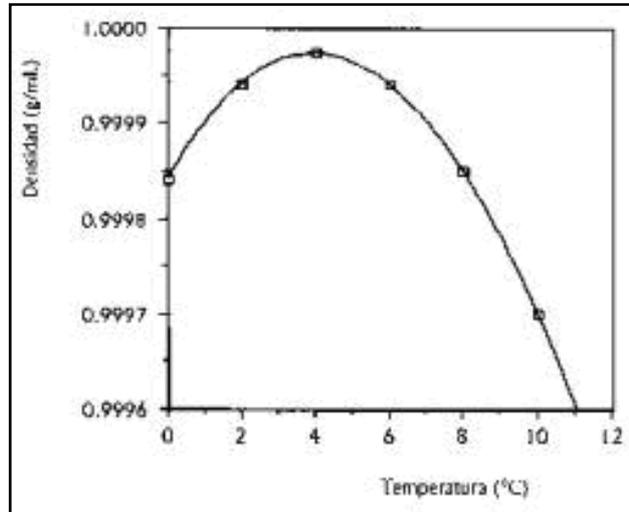


Figura 1.23: Densidad del Agua en Función de la Temperatura

Sin embargo, el líquido más común, el agua, no se comporta como los otros líquidos. En la figura 1.23 se muestra la curva de dilatación del agua. Se puede notar que, entre 0 y 4°C el agua líquida se contrae al ser calentada, y se dilata por encima de los 4°C, aunque no linealmente. Sin embargo, si la temperatura decrece de 4 a 0°C, el agua se dilata en lugar de contraerse. Dicha dilatación al decrecer la

temperatura no se observa en ningún otro líquido común. La densidad del agua tiene un máximo a 4°C. A cualquier otra temperatura su densidad es menor.

La temperatura del agua en el banco de pruebas será modificada mediante una niquelina instalada en el depósito de agua del banco, el monitoreo de la temperatura se realiza mediante un sensor de temperatura instalado directamente sobre el agua del depósito (en 2.3.3 abordaremos el tema de la medición de la temperatura). La niquelina es alimentada con un voltaje de 220v.

1.5 CAUDAL.

Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

Según la ecuación de continuidad el caudal viene dado por:

$$Q = V \cdot S \quad (1.50)$$

Donde:

$$Q \text{ es el Caudal en } \frac{m^3}{s}$$

$$V \text{ es la velocidad en } \frac{m}{s}$$

S es la seccion de la tuberia en m^2

En las bombas centrifugas el fluido entra dentro de la bomba, entonces el rodete que es alimentado por el motor proyecta al fluido a la zona externa del cuerpo de la bomba, debido a la fuerza centrifuga producida por la velocidad del rodete y de esta forma el liquido almacena energía potencial que es transformada en *caudal* y en altura de elevación o energía cinética.

1.6 VELOCIDAD.

En los motores asíncronos trifásicos existen dos formas de poder variar la velocidad, una es variando la frecuencia mediante un equipo electrónico especial y la otra es variando la polaridad gracias al diseño del motor. Esto último es posible en los motores de devanado separado, o los motores de conexión Dahlander.

La velocidad de los motores influye directamente en el resto de los parámetros, es por esta razón que buscamos un control electrónico con amplio rango de variación mediante un variador de frecuencia, el cual será explicado más detenidamente en 2.2.

Para el banco de pruebas de bombas centrifugas lo que se necesita medir es la velocidad angular de los motores de las bombas. La velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación. Se la define como el ángulo girado por unidad de tiempo y se la designa mediante la letra griega ω , su unidad en el S.I. es el radián por segundo (rad/s). La velocidad angular caracteriza al movimiento de rotación del sólido rígido en torno a un eje fijo.

Revoluciones por minuto (rpm, RPM o r/min) es una unidad de frecuencia, usada frecuentemente para medir la velocidad angular. En este contexto, una revolución es una vuelta de una rueda, un eje, un disco o cualquier cosa que gire sobre su propio eje.

La unidad de velocidad angular del S.I. es el radián por segundo:

$$1rpm = 1 \cdot \left(\frac{r}{min}\right) = \left(\frac{2\pi}{60}\right) \cdot \left(\frac{rad}{s}\right) = 0.10471976 \left(\frac{rad}{s}\right) \quad (1.51)$$

Las revoluciones por minuto de una máquina eléctrica síncrona se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$rpm = 60s \cdot \left(\frac{f}{p}\right) \quad (1.52)$$

Donde f es la frecuencia de alimentación y p es el número de polos

CAPÍTULO II

2. SENSORES PROTOCOLOS Y ACTUADORES DEL SISTEMA.

2.1 INTRODUCCIÓN.

En este proyecto, buscamos principalmente la visualización del comportamiento de las bombas centrífugas en diferentes situaciones, para lograrlo debemos capturar y transformar las magnitudes físicas como la presión, el caudal, temperatura y la velocidad en magnitudes eléctricas las cuales pueden ser tratadas y acopladas a nuestras necesidades e ingresarlas a sistemas que nos devuelvan visualmente la magnitud física a medir.

En la figura 2.1 se muestra la ubicación de los sensores instalados en el banco de pruebas para bombas centrífugas.

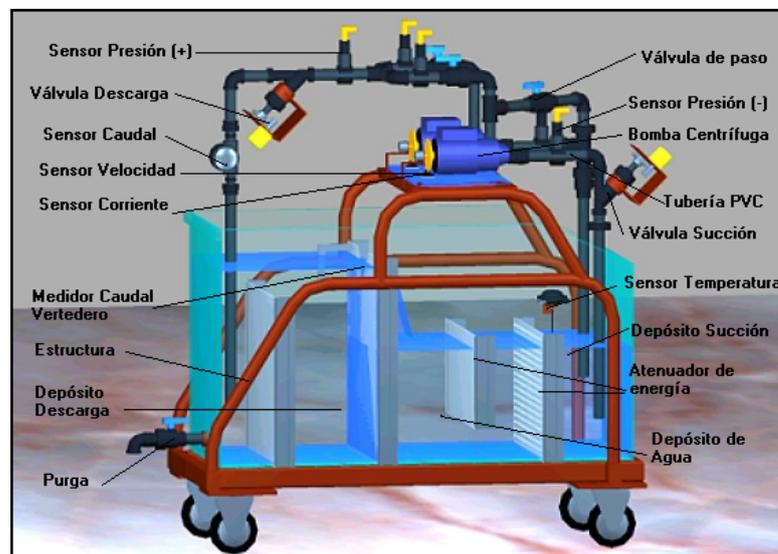


Figura 2.1 Ubicación de los sensores en el banco de pruebas de Bombas Centrífugas (grafico tomado de la tesis de banco para prueba de bombas centrífugas con procesamiento de señales)

Una vez que las señales eléctricas estén dentro del sistema, estas se convierten en información que debe ser compartida entre varios dispositivos como por ejemplo entre el PIC y la PC, para compartir esta información los dispositivos deben hablar un mismo lenguaje a lo que se le llama protocolos de comunicación,

cuando se maneja el mismo protocolo entre los dispositivos estos se comunican sin problema. En este proyecto manejaremos USB para la comunicación entre la PC y el hardware instalado en el banco de pruebas.

Para cambiar el comportamiento de las bombas centrifugas se requiere una variación de las características del fluido como por ejemplo su temperatura, también es necesario tener diferentes velocidades de giro de los motores que alimentan a las bombas, esto se logra mediante un hardware variador de frecuencia, que controla la frecuencia de giro de los motores en las bombas, además de su arranque y paro, es por esta razón que se estudiara las características de este dispositivo, y así lograr acoplarlo al funcionamiento general de Banco de Pruebas para Bombas Centrifugas.

2.2 VARIADOR DE FRECUENCIA.

Un variador de frecuencia (VFD Variable Frequency Drive o AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor AC por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores.

2.2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Estos dispositivos trabajan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de CA está determinada por la frecuencia de Corriente Alterna suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la ecuación 2.1:

$$Velocidad(rpm) = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (2.1)$$

Donde:

f es la frecuencia de la alimentacion en CA

p es el numero de polos

2.2.2 CONTROLADOR DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

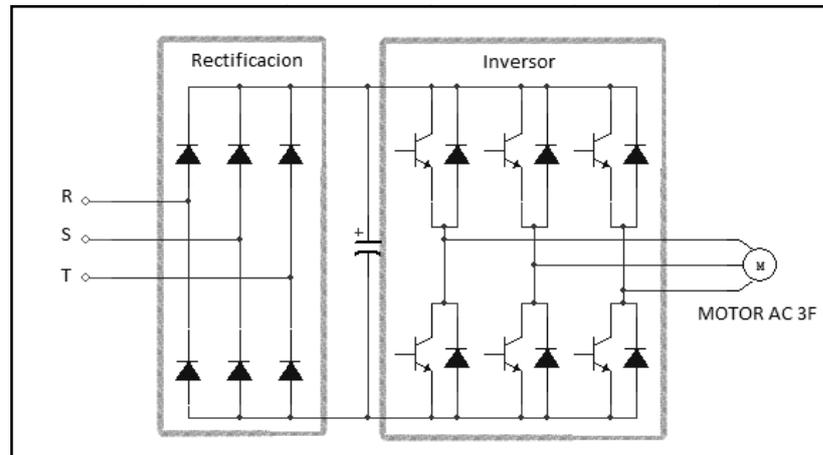


Figura 2.2 Controlador de variador de frecuencia.

Generalmente primero se convierte la energía de entrada de corriente alterna en corriente continua usando un puente rectificador, y esta es convertida en una señal quasi-senoidal de CA usando un circuito inversor conmutado el inversor puede ser controlado por microcontroladores o por circuitos analógicos, el objetivo es variar la frecuencia de alimentación que le llega a la carga.

Actualmente, los transistores bipolares de puerta aislada (IGBTs) son usados en la mayoría de circuitos inversores.

Las características del motor CA requieren la variación proporcional del voltaje cada vez que la frecuencia es variada. Por ejemplo, si un motor está diseñado para trabajar a 460 voltios a 60 Hz, el voltaje aplicado debe reducirse a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Así la relación voltios/hertzios deben ser regulados en un valor constante ($460/60 = 7.67$ V/Hz en este caso).

2.2.3 Variador de Frecuencia DELTA VFD-M.

El variador de frecuencia que se utilizara es el DELTA trifásico de 0.75 kw, 230v modelo: VFD007M23A, este variador se encuentra disponible en el inventario del laboratorio de maquinas hidraulicas.

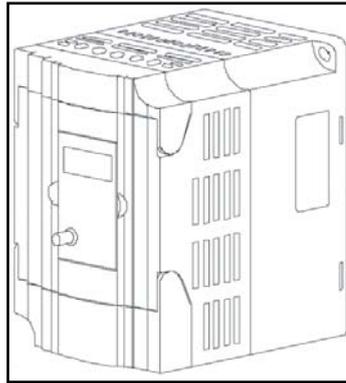


Figura 2.3 Variador de Frecuencia DELTA VFD-M (Tomado de la Hoja de Datos del Variador).

Como se explico anteriormente el VDF controla la velocidad de un motor trifásico mediante la variación de la frecuencia de alimentación principalmente, para la conexión del circuito principal del variador de frecuencia podemos seguir el esquema de la figura 2.4.

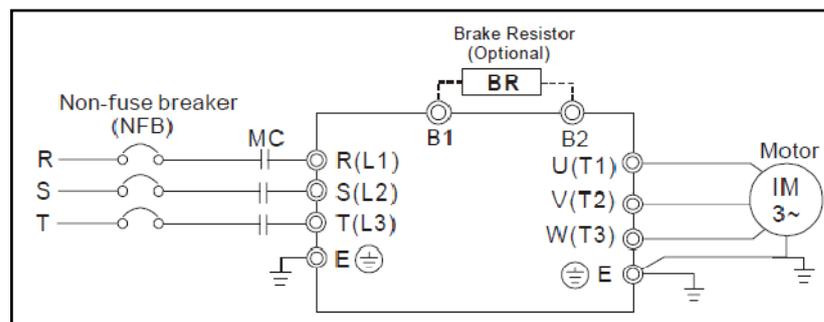


Figura 2.4 Esquema de Conexión del circuito principal(Tomado de la Hoja de datos del Variador).

Símbolo del Terminal	Explicación de la Función del terminal
R/L1, S/L2, T/L3	Entrada de la línea de AC trifásica
U/T1,V/T2, W/T3	Salida de conexión del motor
B1-B2	Conector para la resistencia de frenado (opcional)
	Tierra

Tabla 2.1 Terminales del Variador de Frecuencia

Para configurar las características de funcionamiento, se deben ingresar los datos a través de un teclado externo (figura 2.5).

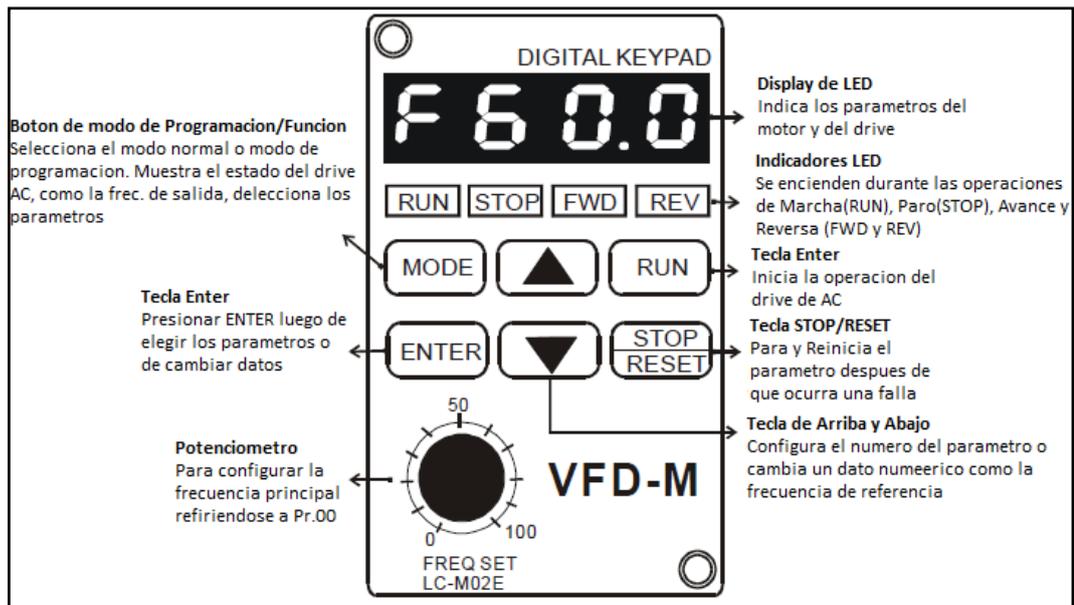


Figura 2.5 Funciones del Teclado del VDF-M (Tomado de la Hoja de datos del Variador).

En la pantalla del teclado se pueden visualizar los mensajes mostrados en la tabla 2.2.

Mensaje Mostrado	Descripción
F 60.0	La frecuencia Maestra o principal del Drive de AC
H 60.0	La frecuencia de operación Actual del Drive de AC
v 600.	La unidad tradicional v , donde $v = H \times Pr.65$
c 999	El valor del contador c
A 50	La salida de corriente presente en los terminales U,V,W
1 50	El paso que se esta realizando internamente en el PLC
P 01	Parámetro Especificado
01	El valor actual guardado sin el parámetro especificado
Frd	Estado del Driver en Marcha hacia adelante
rEv	Estado del Driver en Reversa
End	Se muestra por aproximadamente un segundo si el

	ingreso a sido aceptado
	Se muestra si el ingreso es incorrecto o invalido

Tabla 2.2 Mensajes del Variador de Frecuencia (Tomado de la Hoja de datos del Variador). .

El funcionamiento del Variador de frecuencia es programable mediante parámetros que tienen diferentes valores de configuración, estos valores están explicados en su totalidad en el manual de especificaciones del variador de frecuencia VDF-M que se encuentra en el ANEXO A3 para la modificación de los parámetros podemos usar la secuencia de teclas que se muestran en la figura 2.6.

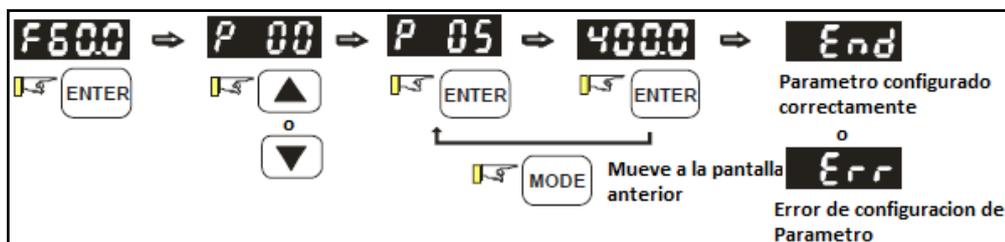


Figura 2.6 Secuencia de teclas para configurar parámetros (Tomado de la Hoja de datos del Variador).

2.3 SENSORES.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa o pueden estar conectados a un indicador de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

Los sensores incorporados en el banco de pruebas para bombas centrifugas extraen las señales de: presión, caudal, temperatura, corriente y velocidad presentes en el mismo. En un sensor se desea tener las siguientes características:

Rango de medida, es el dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.

Precisión, es el error de medida máximo esperado.

Offset o desviación de cero, es el valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el *offset*.

Sensibilidad de un sensor, es la relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.

Resolución, es la mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.

Rapidez de respuesta, puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.

Derivas, son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.

Repetitividad, es el error esperado al repetir varias veces la misma medida.

2.3.1 SENSOR DE PRESIÓN.

Los transductores de presión se instalan en los sistemas de calefacción, refrigeración o ventilación. Miden la presión en una determinada ubicación dentro de un sistema, y convierten esta medida en una señal que podrá leer un instrumento, por ejemplo, resistencia, inductancia o capacitancia.

En ocasiones, la señal se utiliza de manera directa, para medir y ajustar. Como alternativa, el transductor se puede conectar a un transmisor, que convertirá la señal en una tensión variable o señal de intensidad, 0–10 V ó 4–20 mA respectivamente. Estos rangos de señales son empleados por una amplia variedad de sensores de presión.

El control de la presión en los procesos industriales da condiciones de operación seguras. Cualquier recipiente o tubería posee cierta presión máxima de operación y de seguridad variando este, de acuerdo con el material y la construcción. Las presiones excesivas no solo pueden provocar la destrucción del equipo, si no también puede provocar la destrucción del equipo adyacente y ponen al personal en situaciones peligrosas, particularmente cuando están implícitas, fluidos inflamables o corrosivos.

Por otro lado, la presión puede llegar a tener efectos directos o indirectos en el valor de las variables del proceso. Existen varios tipos de sensores disponibles, el que utilizaremos se detalla a continuación.

2.3.1.1 SENSOR DE PRESIÓN ENDRESS+HAUSER CERABAR TPMP 131.

Este modelo de sensor se encuentra instalado el banco de pruebas centrifugas, están instalados tres sensores, dos para medir la presión negativa o de succión que se encuentran antes de las bombas y uno que está instalado a la salida de las bombas y sirve para medir la presión positiva.



Figura 2.7 Sensor de presión cerabar T PMP 131(Tomado de la hoja de datos del sensor).

Este sensor nos entrega una variación de corriente de 4 a 20 mA con un rango de medición de 0 a 16 Bar y una alimentación de trabajo de 11 a 30 vdc, la medición de la corriente se realiza de la forma mostrada en la figura 2.8.

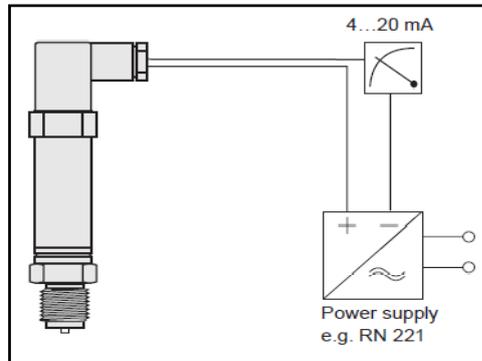


Figura 2.8 Medición de la corriente en el sensor de presión (Tomado de la hoja de datos del sensor).

Para acoplar el sensor al sistema de trabajo debemos calibrarlo para la presión cero, para esto existe un potenciómetro que se encuentra debajo de la base de los conectores, el punto cero se puede calibrar en un $\pm 5\%$, en la figura 2.9 se muestra la localización del potenciómetro de regulación.

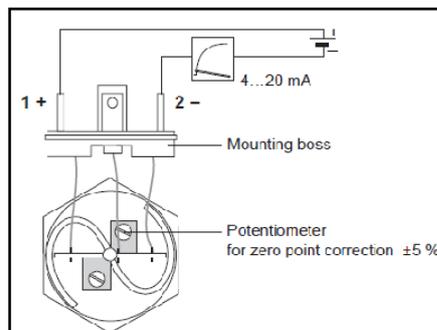


Figura 2.9 Potenciómetro de Ajuste de cero (Tomado de la hoja de datos del sensor).

El sensor tiene un conector de tres pines de alimentación como se describe en la figura 2.10.

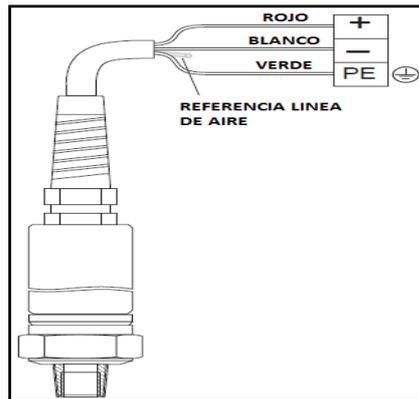


Figura 2.10 Descripción de cables del sensor de presión cerabar T PMP 13(Tomado de la hoja de datos del sensor).

Podemos resumir las características del sensor de la siguiente forma:

Marca: Endress + Hauser

Tipo: Cerabar T PMC 131

Transductor: salida de corriente eléctrica de 4 – 20 mA.

Desviación: (incluyendo histéresis): 0,5% FS

Presión de trabajo: 0 – 16 bar / 0 – 1,6 MPa.

Presión máxima: 40 bar.

Alimentación eléctrica: 11 – 30 v. DC

2.3.2 SENSOR DE CAUDAL (CAUDALÍMETRO).

En el mercado existe una gran variedad de medidores, tanto desde el punto de vista de tamaños y rangos de operación como de principios de funcionamiento. Esto es debido a que se intenta conseguir la máxima precisión para la mayor cantidad de aplicaciones.

Los medidores a tratar, se utilizan para estimar el gasto en determinada sección de la tubería, y se clasificaran como; medidores volumétricos y másicos, teniendo en cuenta que ambos pueden servir para la misma aplicación, ya que volumen y masa son proporcional entre sí.

El principio de funcionamiento es el fenómeno físico en que se basa el medidor, y es una característica de diseño. Para los medidores de caudal

volumétricos, los principales sistemas son presión diferencial, área variable, velocidad, tensión inducida, desplazamiento positivo y vórtice. Para los másicos ^[1] se deben destacar el sistema térmico y el sistema basado en la fuerza de Coriolis.

La gran cantidad de teorías y modelos de caudalímetros que existen nos confirman que no hay una fórmula ideal para medir caudal. La decisión final se debe tomar en base al caudal, viscosidad, temperatura, composición química y presión del fluido que deseamos medir. Cada aplicación tiene un caudalímetro que se adapta mejor a su necesidad.

Los costos son también un factor a considerar, la confiabilidad, precisión y durabilidad son factores muy asociados al costo. No es lo mismo buscar un caudalímetro para un producto de consumo masivo como un calentador de agua, que buscar un caudalímetro para la medir la cantidad de sangre que está circulando por un bypass o un caudalímetro para medir la cantidad de vapor a presión que se desecha a una chimenea de una planta de energía de fisión nuclear.

Existen varios tipos de sensores para medir el caudal, el que usamos para la realización de este proyecto se explica a continuación.

2.3.2.1 SENSOR DE CAUDAL ELECTRÓNICO CON RUEDAS DE PALETA.

Se utiliza cuando los datos sobre el caudal deben transmitirse como salida de impulsos. Este sensor contiene un transductor que trasmite una señal de 0-100Hz. La señal de la salida es linealmente proporcional al caudal.



Figura 2.11 Sensor de caudal electrónico de ruedas de paleta.

[1] Los caudalímetros normales miden el caudal volumétrico, el cual es proporcional al caudal másico sólo cuando la densidad del fluido es constante. Si el fluido tiene una variación de densidad o contiene burbujas, entonces el caudal volumétrico, multiplicado por la densidad, no será exactamente igual al caudal másico.

Este medidor funciona en medios como: el agua y líquidos de baja viscosidad. Este es el tipo de sensor implementado en el banco de pruebas para bombas centrífugas, es por esta razón que entramos más en detalle de su funcionamiento.

2.3.2.1.1 SENSOR DE CAUDAL OMEGA FPR 135.

Los sensores de caudal con salida de pulsos de la serie OMEGA ® FPR130 son usados para aplicaciones de monitoreo y control de flujos. Los sensores están provistos de una salida de pulsos de voltaje en corriente continua proporcional al caudal del fluido. Los pulsos de salida de 4.5 a 24 v son fácilmente integrables en la mayoría de dispositivos de entrada de pulsos Este sensor se muestra en la figura 2.12.

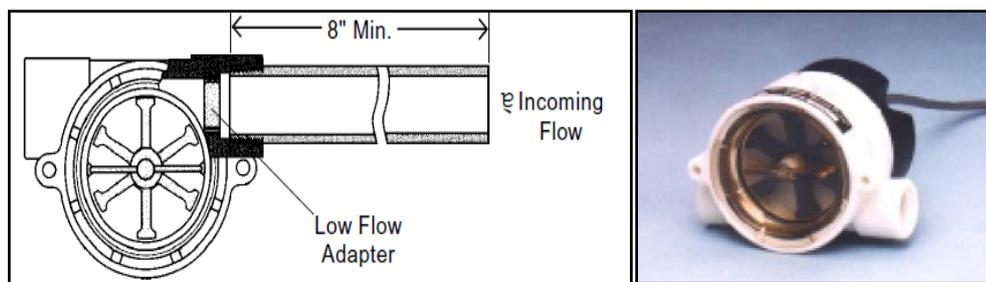


Figura 2.12 Sensor de Caudal Omega FPR 135 (Tomado de la Hoja de Datos del sensor).

Este tipo de sensores las paletas se encuentran perpendiculares al flujo no paralelas como en los sensores de turbinas, debido al sólido diseño del rotor, que no incluye un rodamiento por esferas, este sensor es muy tolerante a partículas en la línea de flujo y no requiere filtros. Debido a que las paletas deben tener un contacto transversal con el flujo la profundidad de inserción del rotor y perfil de flujo adecuado son fundamentales para el rendimiento preciso del caudalímetro.

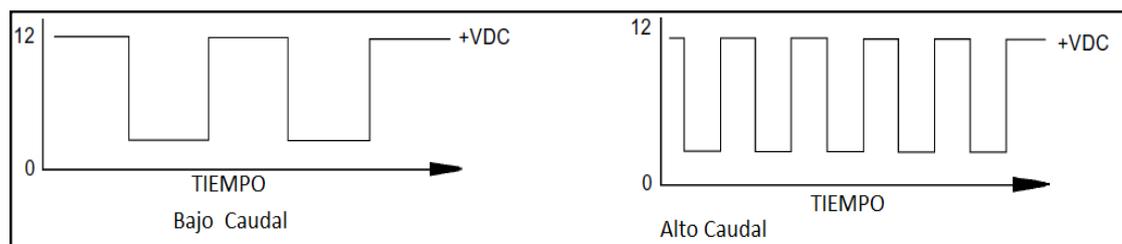


Figura 2.13 Ejemplo de Rangos de medición para el caudalímetro por paletas (Tomado de la hoja de datos del sensor).

La señal de salida de este tipo de sensores es un pulso on/off del voltaje de corriente continua de alimentación del dispositivo que va de 4.5 v a 24 v. La frecuencia del pulso de salida es proporcional al caudal del fluido (figura 2.13) y los rangos van aproximadamente desde 25 Hz para un bajo caudal hasta 225 Hz para alto caudal. A continuación presentamos un resumen de las características de este sensor:

Marca: Omega

Tipo: FPR 135

Transductor: señal de salida en pulsos

Frecuencia de Trabajo: 25Hz para bajo caudal a 225 Hz para caudal alto

Desviación: (incluyendo histéresis): 0,5% FS

Caudal de trabajo: 16 – 80 lt/min

Caudal máximo: 100 lt/min

Alimentación eléctrica: 4,5 – 24 v. DC

2.3.3 SENSOR DE TEMPERATURA.

La temperatura se puede medir basándose en alguna propiedad termométrica como por ejemplo la expansión de un líquido o un gas o la variación de la resistencia eléctrica de un conductor o la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico (termocupla), etc. A continuación se explica el funcionamiento del sensor que se implementara en este proyecto.

2.3.3.1 CIRCUITOS INTEGRADOS TERMOSENSORES.

Son sensores de temperatura integrados en un chip. Los hay de relativos y de absolutos. También es posible escogerlos en grados Centígrados, grados Fahrenheit y grados Kelvin. Estos chips te dan una salida que es proporcional a la temperatura. Las salidas más comunes son en tensión, corriente o frecuencia.

Un ejemplo de sensor integrado es el LM34 (Fahrenheit) y el LM35 (Centígrados).

La característica más sobresaliente de un fototransistor es que permite detectar luz y amplificar mediante el uso de un sólo dispositivo; lo que buscamos con este sensor es que detecte una franja blanca colocada en el rotor de manera que cuando esta pase por el frente del sensor nos dé un pulso el cual puede ser detectado por el PIC.

Una vez detectado el pulso podemos medir mediante el PIC el número de pulsos que se dan en un segundo o en menos tiempo y calcular las rpm a las que está girando el motor, un circuito típico de utilización con el CNY70 es el que se muestra en la figura 2.16.

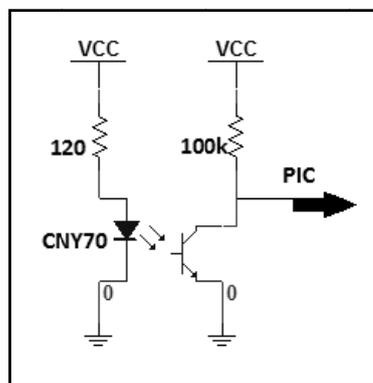


Figura 2.16 Circuito de Aplicacion CNY70

Como se ve en la figura 2.16 el diodo emisor infrarrojo es alimentado constantemente de manera que cuando la franja permita el paso de la luz hacia el fototransistor este se cierre y exista una corriente colector emisor y de esta forma se da un pulso de bajada que llega al PIC.

2.4 MICROCONTROLADOR.

Desde la invención del circuito integrado, el desarrollo constante de la electrónica digital ha dado lugar a dispositivos cada vez más complejos. Entre ellos los microprocesadores y los microcontroladores, los cuales son básicos en la electrónica actual, ya que con la aparición de los microprocesadores comienza la revolución de la electrónica que vivimos hoy.

El resultado son circuitos más pequeños y simplificados, pero que tienen ciertas dificultades, como los dispositivos adicionales: memorias RAM, ROM, periféricos, etc. Existe una tecnología con poca atención relativa a los microprocesadores: el microcontrolador, que no es más que un microprocesador por dentro pero además lleva memoria EEPROM para guardar un programa, un Timer, RAM para desarrollo de procesos, acceso a pines de entrada / salida, y otras tecnologías.

A cambio tiene menos instrucciones para realizar un programa con respecto a un microprocesador. En síntesis, es un circuito integrado programable que contiene internamente todos los componentes de un computador.

Se utiliza para controlar el funcionamiento de una tarea determinada. Una vez que el microcontrolador está programado, se encarga de ejecutar al pie de la letra la tarea encomendada.

Incluye todo estos elementos en un solo circuito integrado por lo que implica varias ventajas: en el circuito impreso por su amplia simplificación de circuitería; en el costo porque un sistema basado en microcontrolador es mucho menor, y lo mejor, el tiempo de desarrollo del proyecto electrónico disminuye considerablemente.

A diferencia del procesamiento de aplicaciones en computadoras, el control de elementos electrónicos mediante cómputo requiere que existan dispositivos de control dentro de las aplicaciones. Al usuario solo le interesa que es lo que necesita saber para utilizar la interfaz que se le presente (botones, teclados, comandos), siempre y cuando funcione y/o cumpla con sus expectativas y objetivos.

En muy pocas ocasiones el usuario final conoce que sistema de control es el que se encuentra funcionando en su aplicación. Así que, de cualquier forma, es vital para la mayoría de los diseñadores de aplicaciones con elementos de control dentro de ellas, seleccionar los dispositivos y las compañías más indicadas de controladores.

Los microcontroladores combinan un alto desempeño a un bajo costo, en un empaquetado pequeño; ofreciendo la mejor relación precio/rendimiento en la industria.

Más de 200 millones de estos productos se distribuyen cada año para satisfacer a los consumidores: periféricos de computadora, automatización de oficinas, sistemas de control automotriz, en seguridad y en telecomunicaciones.

Características de los Microcontroladores.

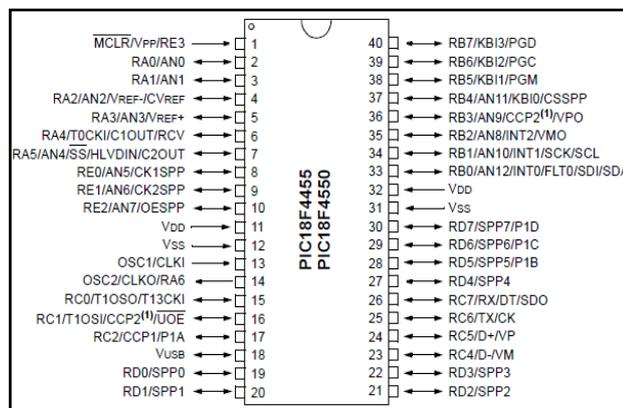


Figura 2.17 Microcontrolador PIC 18F4550 de la Microchip(Tomado de la hoja de datos del Microcontrolador).

La característica principal del microcontrolador es su arquitectura de procesador, que sigue el modelo Harvard, donde el CPU (procesador interno) se conecta de forma independiente y con buses distintos con la memoria de instrucciones y la de datos, con lo que permite al CPU acceder simultáneamente a las dos memorias.

Además se aplica la técnica de segmentación "pipe-line" en la ejecución de las instrucciones, que permite realizar al mismo tiempo la ejecución de una instrucción y la búsqueda del código de la siguiente. Entonces se puede ejecutar cada instrucción en un ciclo (un ciclo de instrucción equivale a cuatro ciclos de reloj).

El formato de todas las instrucciones tiene la misma longitud. Todas las instrucciones de los microcontroladores de la gama baja tienen una longitud de 12

bits, las de la gama media tienen 14 bits y más aún las de la gama alta. El procesador es de tecnología RISC (Computador de Juego de Instrucciones Reducido), por lo que los modelos de la gama baja disponen de un repertorio de 33 instrucciones, 35 los de la gama media y casi 60 los de la alta.

Todas las instrucciones son ortogonales, o sea cualquier instrucción puede manejar cualquier elemento de la arquitectura como fuente o como destino. La arquitectura está basada en un banco de registros, por lo que todos los objetos del sistema (puertos de E/S, temporizadores, posiciones de memoria, etc.) están implementados físicamente como registros.

Finalmente, las herramientas de desarrollo son diversas y muy numerosas. Son abundantes los programadores, los simuladores software, los emuladores en tiempo real, ensambladores, Compiladores C y Compiladores BASIC, etc.

Combinando las características RISC con una arquitectura Harvard de bus-dual, los microcontroladores son más rápidos y flexibles y es el núcleo de la arquitectura más popular para los nuevos diseños de microcontroladores.

2.4.1 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.

El lenguaje nativo de estos microcontroladores es el ASM, y en el caso de la familia "16F" solo posee 35 instrucciones. Pero el ASM es un lenguaje que está mucho más cerca del hardware que del programador, y gracias a la miniaturización que permite incorporar cada vez más memoria dentro de un microcontrolador sin aumentar prácticamente su costo, han surgido compiladores de lenguajes de alto nivel.

El PIC usa un juego de instrucciones tipo RISC, cuyo número puede variar desde 35 para PICs de gama baja a 70 para los de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, instrucciones de condicionamiento y de salto/retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada sleep.

Microchip proporciona un entorno de desarrollo freeware llamado MPLAB que incluye un simulador software y un ensamblador. Otras empresas desarrollan compiladores C y BASIC. Microchip también vende compiladores para los PICs de gama alta ("C18" para la serie F18 (figura 2.17) y "C30" para los dsPICs) y se puede descargar una edición para estudiantes del C18 que inhabilita algunas opciones después de un tiempo de evaluación.

Uno de los más modernos y completos compiladores para lenguaje C es [mikroC], que es un ambiente de desarrollo con editor de texto, librerías con múltiples funciones para todos los módulos y herramientas incorporadas para facilitar enormemente el proceso de programación.

2.5 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.

Un protocolo de comunicaciones es el conjunto de reglas normalizadas para la representación, señalización, autenticación y detección de errores necesario para enviar información a través de un canal de comunicación.

Los protocolos de comunicación para la comunicación digital por redes de computadoras tienen características destinadas a asegurar un intercambio de datos fiable a través de un canal de comunicación imperfecto. Los protocolos de comunicación siguen ciertas reglas para que el sistema funcione apropiadamente.

Los protocolos implantados en sistemas de comunicación de amplio impacto, suelen convertirse en estándares, debido a que la comunicación e intercambio de información (datos) es un factor fundamental en numerosos sistemas, y para asegurar tal comunicación se vuelve necesario copiar el diseño y funcionamiento a partir del ejemplo pre-existente. Esto ocurre tanto de manera informal como deliberada.

Existen consorcios empresariales, que tienen como propósito precisamente el de proponer recomendaciones de estándares que se deben respetar para asegurar la interoperabilidad de los productos.

Para el desarrollo del banco de pruebas de bombas centrífugas buscamos un protocolo de comunicación que esté al alcance de todos los estudiantes usuarios del banco y que además sea conocido y manejado por ellos, es por esta razón que se ha decidido implementar una comunicación mediante USB, el USB nos ofrece buenas características como la conexión en caliente, es decir que el dispositivo se pueda conectar y desconectar sin necesidad de reiniciar la maquina, además que el puerto USB esta casi universalmente presente en las computadoras portátiles, que es en donde debe cargarse el software de adquisición de datos.

2.5.1 USB.

El Universal Serial Bus (bus universal en serie) o Conductor Universal en Serie (CUS), abreviado comúnmente USB, es un puerto que sirve para conectar periféricos a una computadora. Fue creado en 1996 por siete empresas: IBM, Intel, Northern Telecom, Compaq, Microsoft, Digital Equipment Corporation y NEC.

El diseño del USB tenía en mente eliminar la necesidad de adquirir tarjetas separadas para poner en los puertos bus ISA o PCI, y mejorar las capacidades plug-and-play permitiendo a esos dispositivos ser conectados o desconectados al sistema sin necesidad de reiniciar. Sin embargo, en aplicaciones donde se necesita ancho de banda para grandes transferencias de datos, o si se necesita una latencia baja, los buses PCI o PCIe salen ganando. A favor del bus USB, cabe decir que cuando se conecta un nuevo dispositivo, el servidor lo enumera y agrega el software necesario para que pueda funcionar (esto dependerá ciertamente del sistema operativo que esté usando el computador). Algunos dispositivos requieren una potencia mínima, así que se pueden conectar varios sin necesitar fuentes de alimentación extra.

Los dispositivos USB se clasifican en cuatro tipos según su velocidad de transferencia de datos:

Baja velocidad (1.0), tasa de transferencia de hasta 1,5 Mbps (192 KB/s). Utilizado en su mayor parte por dispositivos de interfaz humana (Human interface device, en inglés).

Velocidad completa (1.1), tasa de transferencia de hasta 12 Mbps (1,5 MB/s), según este estándar pero se dice en fuentes independientes que habría que realizar nuevamente las mediciones. Ésta fue la más rápida antes de la especificación USB 2.0, y muchos dispositivos fabricados en la actualidad trabajan a esta velocidad. Estos dispositivos dividen el ancho de banda de la conexión USB entre ellos, basados en un algoritmo de impedancias LIFO.

Alta velocidad (2.0), tasa de transferencia de hasta 480 Mbps (60 MB/s) pero por lo general de hasta 125Mbps (16MB/s). Está presente casi en el 99% de los ordenadores actuales.

Súper alta velocidad (3.0), actualmente se encuentra en fase experimental y tiene una tasa de transferencia de hasta 4.8 Gbps (600 MB/s).

Los dispositivos USB manejan diferentes tipos de transferencias según la acción que estén realizando:

Transferencia de control ("Control transfer"), ocurre cuando un dispositivo se conecta por primera vez. En este momento el controlador de host envía un paquete "Token" al periférico notificándole el número que le ha asignado.

Transferencia de pila de datos ("Bulk data transfer"), este proceso se utiliza para enviar gran cantidad de datos de una sola vez. Es útil para como escáneres o máquinas de fotografía digital.

Transferencia por interrupción ("Interrupt data transfer"): Este proceso se utiliza cuando se solicita enviar información por el bus en una sola dirección (de la función al host).

Transferencia de datos isócrona ("Isochronous data transfer"), este proceso se utiliza cuando es necesario enviar datos en tiempo real. Los datos son enviados con una cadencia precisa ajustada a un reloj, de modo que la transmisión es a velocidad constante.

El cable de bus USB es de 4 hilos, y comprende líneas de señal (datos) y alimentación, con lo que las funciones pueden utilizar un único cable.

Existen dos tipos de cable: apantallado y sin apantallar. En el primer caso el par de hilos de señal es trenzado; los de tierra y alimentación son rectos, y la cubierta de protección (pantalla) solo puede conectarse a tierra en el anfitrión. En el cable sin apantallar todos los hilos son rectos. Las conexiones a 15 Mbps y superiores exigen cable apantallado.

Los conectores de los cables son estandarizados, los más usados para dispositivos de interfaz humana son los que se muestran en la figura 2.18

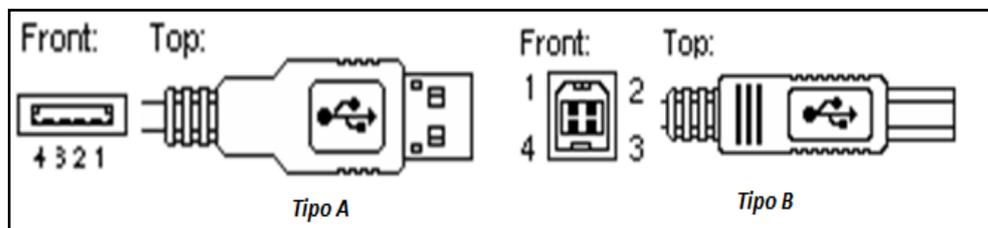


Figura 2.18 Conectores USB Tipo A y Tipo B ^[2].

En la Tabla 2.3 se nombran las funciones de cada pin del conector USB.

Pin	Nombre	Descripción	Color
1	VBUS	+ 5 V. CC	Rojo
2	D-	Data -	Azul
3	D+	Data +	Amarillo
4	GND	Tierra	Verde

Tabla 2.3 Pines del Puerto USB.

2.6 ADQUISICIÓN DE DATOS.

La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras tarjetas electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. Se requiere una etapa de acondicionamiento, que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

La adquisición de datos se inicia con el fenómeno físico o la propiedad física de un objeto (objeto de la investigación) que se desea medir. Esta propiedad física o fenómeno podría ser el cambio de temperatura o la temperatura de una habitación, la intensidad o intensidad del cambio de una fuente de luz, la presión dentro de una cámara, la fuerza aplicada a un objeto, o muchas otras cosas.

La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos mensurables en la adquisición de datos por hardware. Transductores son sinónimo de sensores en sistemas de DAQ.

Las señales pueden ser digitales (también llamada señales de la lógica) o analógicas en función del transductor utilizado.

El acondicionamiento de señales suele ser necesario si la señal desde el transductor no es adecuado para la DAQ hardware que se utiliza. La señal puede ser amplificada, o puede requerir de filtrado. Este pretratamiento de la señal normalmente lo realiza un pequeño módulo acoplado al transductor. En el acondicionamiento de la señal se pueden distinguir diferentes etapas aunque no siempre están presentes todas:

Amplificación, es el tipo más común de acondicionamiento. Para conseguir la mayor precisión posible la señal de entrada deber ser amplificada de modo que su máximo nivel coincida con la máxima tensión que el convertidor pueda leer.

Aislamiento, Otra aplicación en el acondicionamiento de la señal es el aislamiento eléctrico entre el transductor y el ordenador, para proteger al mismo de transitorios de alta tensión que puedan dañarlo. Un motivo adicional para usar aislamiento es el garantizar que las lecturas del convertidor no son afectadas por diferencias en el potencial de masa o por tensiones en modo común.

Cuando el sistema de adquisición y la señal a medir están ambas referidas a masa pueden aparecer problemas si hay una diferencia de potencial entre ambas masas, apareciendo un "bucle de masa", que puede devolver resultados erróneos.

Multiplexado, es la conmutación de las entradas del convertidor, de modo que con un sólo convertidor podemos medir los datos de diferentes canales de entrada. Puesto que el mismo convertidor está midiendo diferentes canales, su frecuencia máxima de conversión será la original dividida por el número de canales muestreados. Se aconseja que los multiplexores se utilicen antes del conversor y después del acondicionamiento de la señal, ya que de esta manera no molestará a los aislantes que podamos tener.

Filtrado, tiene como fin eliminar las señales no deseadas de la señal que estamos observando. Por ejemplo, en las señales cuasi-continuas, (como la temperatura) se usa un filtro de ruido de unos 4 Hz, que eliminará interferencias, incluidos los 50/60 Hz de la red eléctrica.

Las señales alternas, tales como la vibración, necesitan un tipo distinto de filtro, conocido como filtro antialiasing, que es un filtro pasabajo pero con un corte muy brusco, que elimina totalmente las señales de mayor frecuencia que la máxima a medir, ya que se si no se eliminasen aparecerían superpuestas a la señal medida, con el consiguiente error.

Excitación, la etapa de acondicionamiento de señal a veces genera excitación para algunos transductores, como por ejemplos las galgas "extesométricas", "termistores" o "RTD", que necesitan de la misma, bien por su constitución interna, (como el termistor, que es una resistencia variable con la temperatura) o bien por la configuración en que se conectan (como el caso de las galgas, que se suelen montar en un puente de Wheatstone).

Linealización, muchos transductores, como los termopares, presentan una respuesta no lineal ante cambios lineales en los parámetros que están siendo medidos. Aunque la linealización puede realizarse mediante métodos numéricos en el sistema de adquisición de datos, suele ser una buena idea el hacer esta corrección mediante circuitería externa.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

3.1 INTRODUCCION

La implementación del sistema en el banco, necesita un diseño previo en donde se considere todas las funciones necesarias para que las curvas de las bombas centrífugas sean obtenidas de la mejor manera.

En la figura 3.1 se presenta el diagrama a bloques del sistema en conjunto

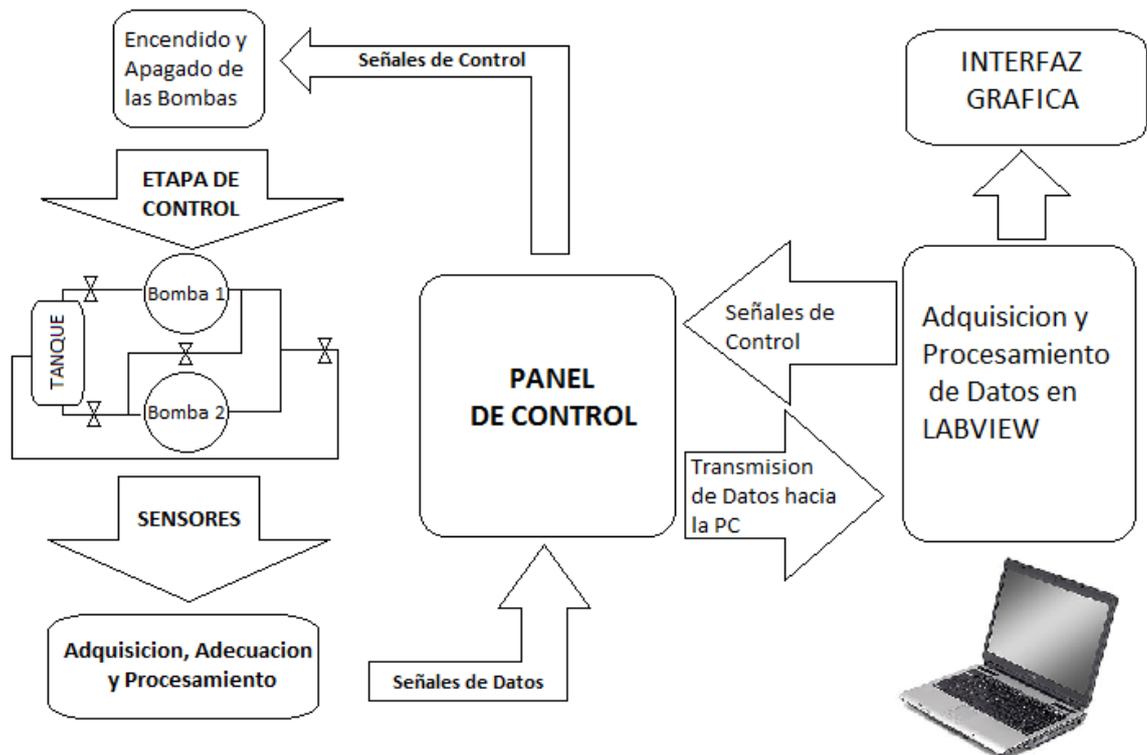


Figura 3.1 Diagrama a Bloques del Sistema

El sistema puede comandar el banco desde el panel de control y también desde la interfaz grafica implementada en Labview, el sistema en conjunto consta de las siguientes partes:

Etapa de Control: Es el circuito de potencia que maneja las bombas y la niquelina.

Panel de Control: Es donde se encuentra el microcontrolador y la circuitería de mando para la etapa de control, además donde llegan los datos de los sensores y son transmitidos a la PC, en el panel de control también se reciben las señales de datos provenientes del software en Labview.

Encendido y apagado de las Bombas: Esta circuitería está subordinada al panel de control, posee aislamiento eléctrico entre la etapa de potencia de los motores y el microcontrolador, recibe las señales de datos del panel de control indicando el encendido o apagado de las bombas y la niquelina.

Adquisición, adecuación y procesamiento de la señal de los sensores: En esta etapa las señales provenientes de los sensores son adquiridas, adecuadas y procesadas par que puedan ser utilizadas en el panel de control.

Transmisión de datos hacia la PC: Los datos son enviados a la PC para que se las curvas características de las bombas sean dibujadas en la interfaz grafica de labview, el envío de datos se hace cuando el cable se encuentra conectado, la comunicación es en USB.

Adquisición y procesamiento de datos en Labview: Los datos provenientes del microcontrolador son procesados en Labview y estos son visualizados en la interfaz grafica, con los datos procesados se pueden graficar las curvas características de las bombas centrifugas.

Interfaz grafica: Es la ventana en la que el usuario controla el arranque y paro de las bombas y además en donde se visualizan los datos medidos y las curvas características calculadas en labview.

3.2 ETAPA DE CONTROL.

Las Bombas implementadas en el banco son Bombas trifásicas de las características mostradas en la tabla 3.1:

Capacidad:	$Q = 50 \text{ lt/min} = 8.33 \times 10^{-4}$
Carga:	$H = 6 \text{ bar}$
Motor:	$N = 3450 \text{ rpm. } 60 \text{ Hz.}$
Configuración Bobinado:	Triangulo.

Tabla 3.1: Características de las Bombas.

El control de velocidad de las bombas se realiza mediante el variador de frecuencia, y el arranque y paro de las mismas se lo hace mediante contactores de 20 A, las bombas además son protegidas por un sistema de breaker trifásico de 15 A, que se encuentra conectado antes de un Interruptor trifásico que controla el paso de la corriente hacia todo el circuito. El circuito de fuerza del banco de bombas es el de la figura 3.2

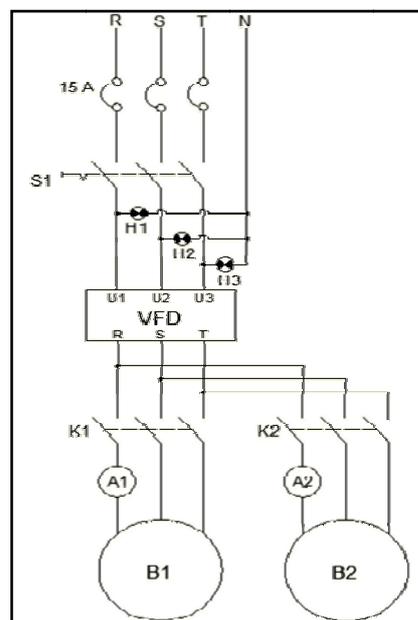


Figura 3.2: Circuito de Fuerza.

Mediante este circuito es posible controlar el arranque y paro de las bombas individualmente, pero la velocidad será la misma en los dos motores, ya que el variador de frecuencia está conectado a los dos motores.

El uso de contactores y el variador de frecuencia permiten que el sistema microcontrolado pueda comandar a las bombas sin necesidad de manejar corrientes altas.

Para la variación de temperatura tenemos que encender una niquelina de las siguientes características:

$V: 220v$

$I: 20A$

La variación de temperatura en el agua del contenedor se lo realizara mediante una niquelina controlada por un contactor el cual se enciende durante un periodo de tiempo determinado por un temporizador regulable de 0 a 30 min. El circuito que controla la niquelina se muestra en la figura 3.3

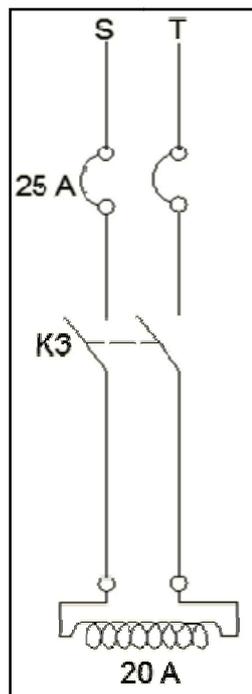


Figura 3.3: Circuito de Variación de la Temperatura Esquema de Fuerza.

El pulsante S2 energiza el contactor y el temporizador, y con un contacto de K3 se realiza una retención hasta que el temporizador abra el contacto T1 y de esta forma se quita la corriente a K3 que deja de funcionar hasta un siguiente pulso de S2

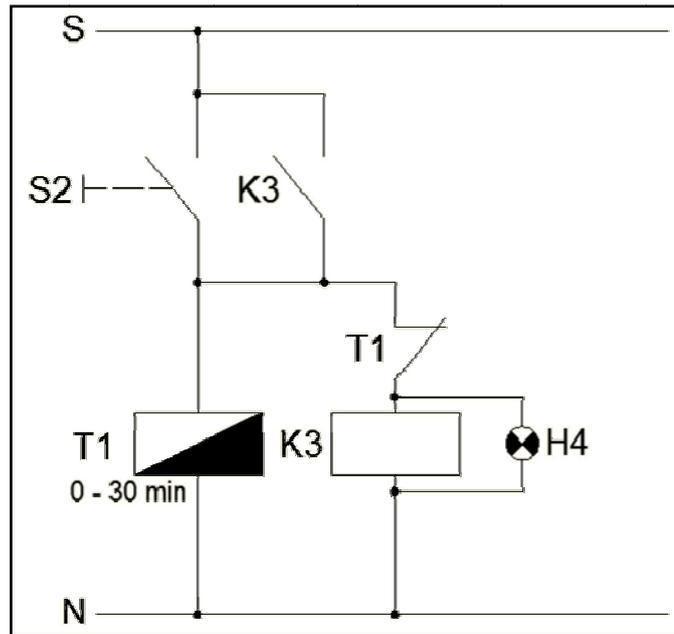


Figura 3.4: Circuito de Variación de la Temperatura Esquema de Control.



Figura 3.5: Pulsante de Encendido de La Niquelina

Mediante este circuito (figura 3.4 y figura 3.5) el estudiante podrá variar la temperatura del agua en el banco y de esta manera contrastar las pruebas a diferentes temperaturas del agua y por lo tanto a una densidad diferente.

Los circuitos de potencia producen voltajes transitorios debidos principalmente a la conmutación en los motores que son cargas inductivas, y estos voltajes transitorios producen perturbaciones en los PICS, por lo que es necesario

eliminarlos; una manera efectiva de lograrlo es mediante una red *RC Snubber*, estos circuitos permiten limitar el gradiente dV/dt generado por un impulso parásito, pero también permiten limitar la amplitud de este impulso por filtración; esto, sin embargo, a condición de que los impulsos no sean repetitivos.

Estas redes RC, actúan como integradores absorbiendo la energía transitoria y reduciendo al mismo tiempo el valor de dV/dt . En los circuitos de control de las bombas la red snubber está colocada en paralelo a cada contacto de K1, K2 y K3, además en paralelo a sus bobinas, como se muestra en la figura 3.6.

Los valores de R y C son:

$$R = 100\Omega \text{ 1W}$$

$$C = 0,47 \mu\text{F 250v}$$

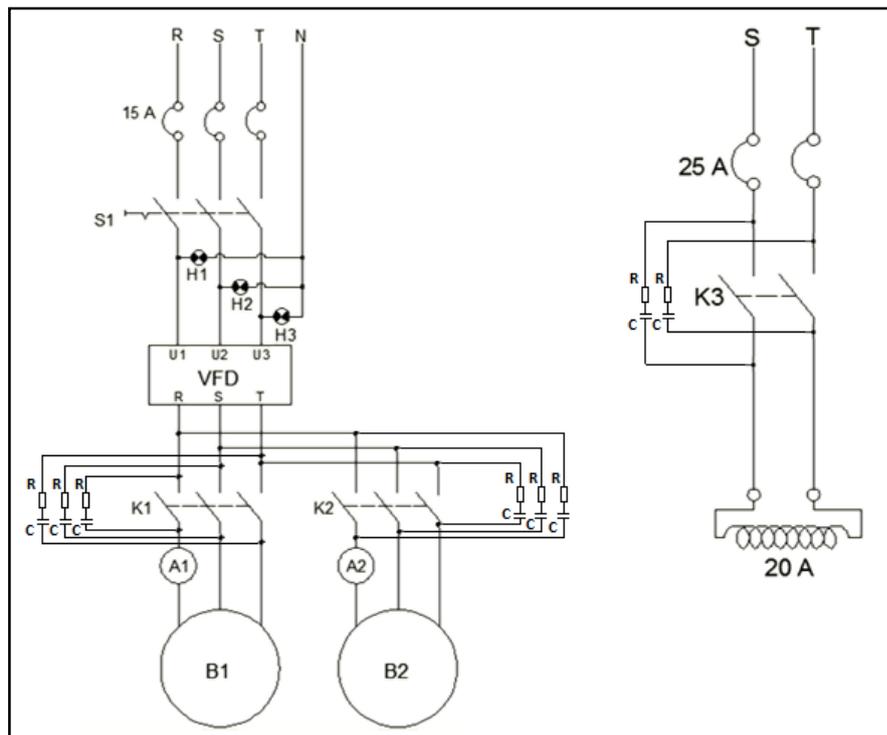


Figura 3.6: Red Snubber colocada en los contactos de K1, K2, y K3.

3.3 PANEL DE CONTROL.

El panel de control o control maestro permite al estudiante controlar las funciones de las bombas y al mismo visualizar los datos recolectados en una pantalla LCD de 4x20 líneas, el panel de control está distribuido de la manera que se muestra en la figura 3.7:

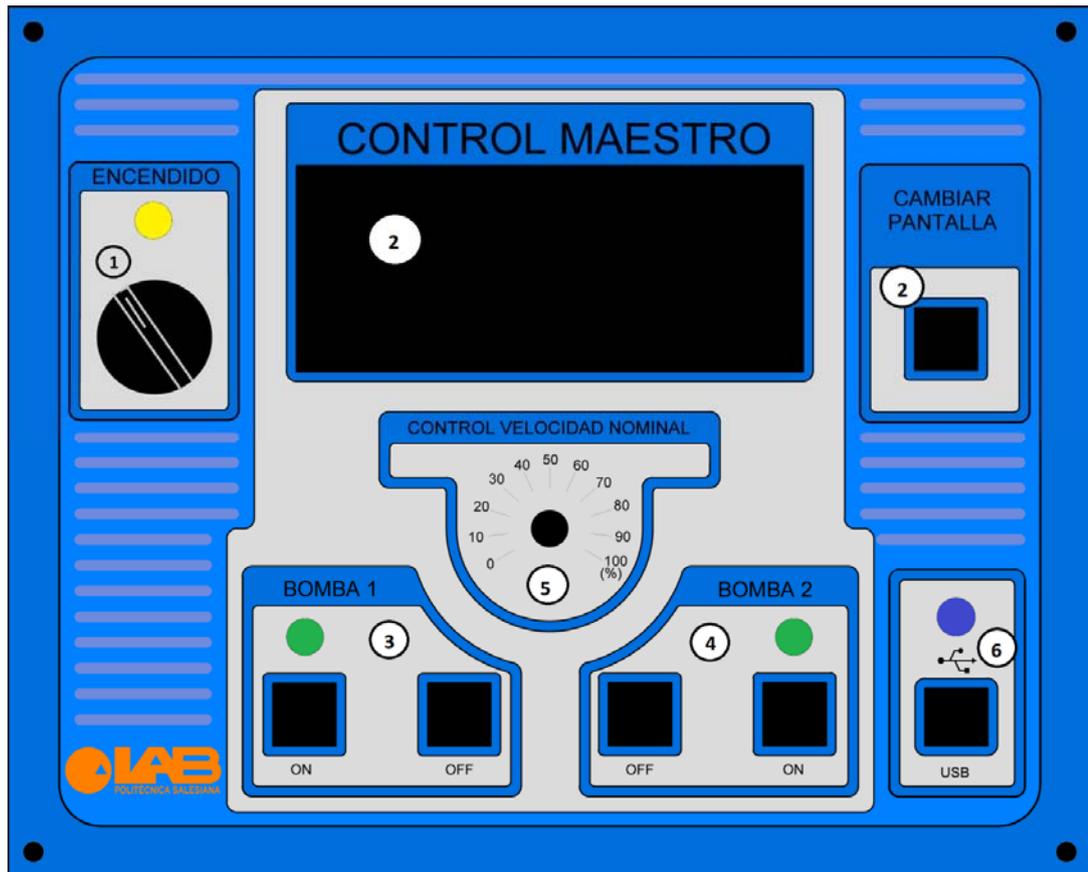


Figura 3.7: Panel de Control.

Descripción:

1. Interruptor de encendido y apagado del sistema
2. Pantalla LCD, en donde se muestran los datos de los sensores en tiempo real en dos pantallas intercambiables mediante el botón “cambiar pantalla”
3. Control Bomba 1, botón de arranque “ON” y paro “OFF”
4. Control Bomba 2, botón de arranque “ON” y paro “OFF”
5. Regulador de velocidad, varia la velocidad de las bombas, tiene un rango de 0 a 60 Hz que es el valor que recibe el variador de frecuencia.
6. Conector USB, interfaz datos USB cuenta con un indicador de conexión.

En el LCD del panel frontal se visualizan los datos obtenidos de los sensores en dos pantallas diferentes.

Pantalla 1 (Figura 3.8):

Hd = Presión Positiva (bares)

Hs1= Presión Negativa 1 (bares)

Hs2= Presión Negativa 2 (bares)

I1= Corriente en la Bomba 1 (Amperios)

I2 = Corriente en la Bomba 2 (Amperios)



Figura 3.8: Pantalla de datos 1.

Pantalla 2 (Figura 3.9)::

Q= Caudal (m³/s)

n1= Velocidad Motor 1 (revoluciones por minuto)

n2= Velocidad Motor 2 (revoluciones por minuto)

T= Temperatura del Agua (grados centígrados)



Figura 3.9: Pantalla de Datos 2.

En el LCD además se visualizan mensajes de inicio y advertencia

Mensaje de Inicio: Este mensaje se muestra cada vez que inicia el sistema (Figura 3.10).



Figura 3.10: Mensaje de Inicio.

Advertencia de Potenciómetro Encendido: Esta advertencia es mostrada cuando el sistema arranca con el switch del potenciómetro de variación de velocidad encendido (Figura 3.11).



Figura 3.11: Advertencia de Switch Encendido.

Mensaje de USB conectado: Se muestra este mensaje (Figura 3.13) cuando el cable de USB (Figura 3.12): está conectado en el panel frontal y en la computadora.



Figura 3.12: Cable USB Conectado.



Figura 3.13: Mensaje de Cable USB conectado.

En caso de falla del sistema o algún imprevisto en la parte superior del panel frontal se encuentra un pulsante de paro de emergencia (Figura 3.14), el cual desactiva el voltaje de alimentación del circuito, lo que hace que las bombas y la niquelina se apaguen.



Figura 3.14: Paro de Emergencia.

3.3.1 ENCENDIDO Y APAGADO DE LAS BOMBAS.

Las bombas son controladas mediante los contactores K1 y K2, estos a su vez están subordinados a un sistema microcontrolado. El circuito que controla los contactores se muestra en la figura 3.15 y figura 3.16:

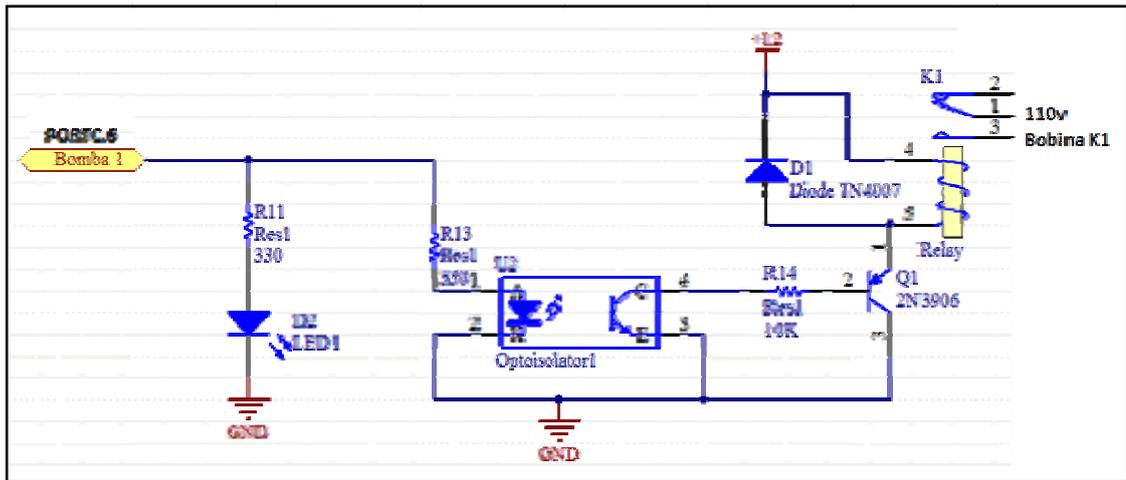


Figura 3.15: Control de Contactor K1.

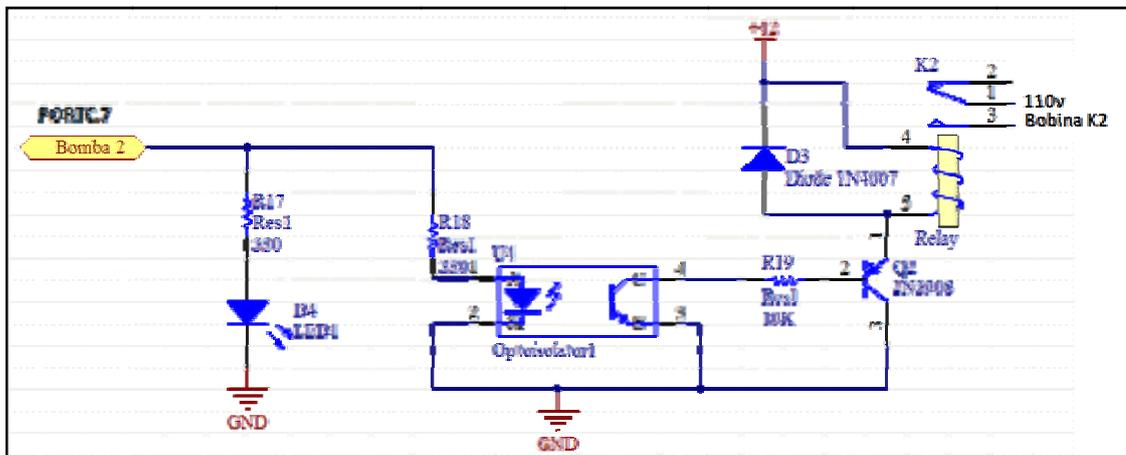


Figura 3.16: Control de Contactor K2.

El optoacoplador utilizado es el PC817, este integrado nos permite aislar la etapa del Microcontrolador de la parte de potencia, es decir el rele que maneja 110v, este circuito además cuenta con un led indicador (verde) de encendido que se encuentra en el panel frontal.

3.3.2 ADQUISICIÓN, ADECUACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE LOS SENSORES.

Para la el procesamiento de los datos se ha utilizado el PIC 18f4550, en el cual utilizamos el convertor analógico digital de 10 bits y un voltaje de referencia de

Vref. (+)=3v y Vref. (-)=0v. Por lo que tenemos que la resolución se puede calcular mediante (3.1)

$$(3.1)$$

La ecuación (3.1) quiere decir que por cada 2,93 milivoltios que aumente el nivel de tensión entre las entradas nombradas como "Vref+" y "Vref-" que ofician de entrada al conversor, éste aumentará en una unidad su salida (siempre sumando en forma binaria bit a bit).

Presión.

Los sensores de presión utilizados entregan una señal de corriente de 4 a 20 mA, para su adquisición se utiliza una resistencia para tener una señal de voltaje y medirlo mediante el ADC¹ del PIC (Figura 3.17).

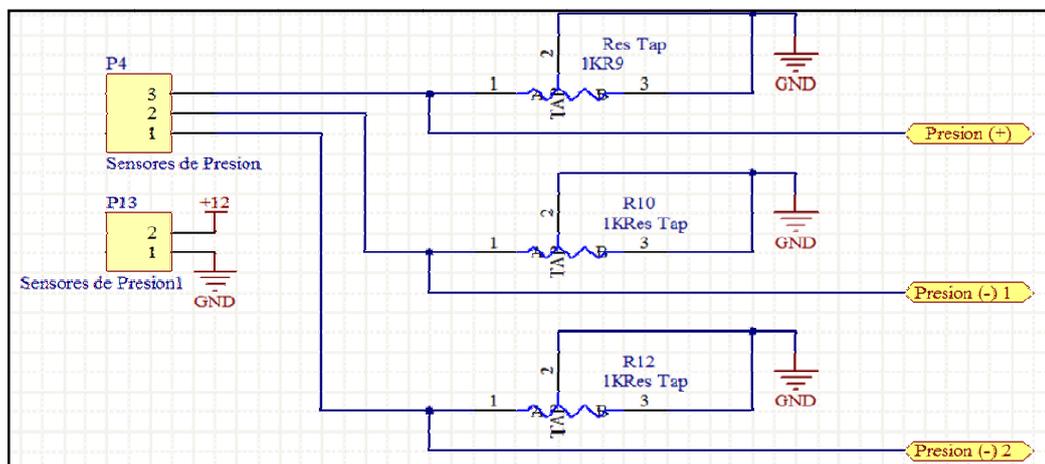


Figura 3.17: Adquisición de Datos de Sensores de Presión.

En el Pic la señal digitalizada es tratada para la visualización como se muestra en la tabla 3.2

Presión Positiva Hd:

<i>Valores Para Hd=0 (Bombas Apagadas)</i>		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente Medida
149	0,485 v	7,67 mA
<i>Valores Para Bombas en Velocidad Máxima</i>		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente Medida
181	0,566 v	8,97 mA

Tabla 3.2: Presión Positiva.

Según las características del sensor este varía de 0 a 16 bares en un rango de 4 a 20 mA, es decir que varía en 1bar/mA. El valor de cero en el sensor se puede regular mediante un potenciómetro interno el cual ha sido regulado en una corriente de 7,67 mA. Entonces tenemos un rango de variaciones calculado mediante 3.2:

$$\text{Variacion del Dato Digitalizado} = 181 - 149 = 32 \quad (3.2)$$

$$\text{Variacion del voltaje} = 0,566 \text{ v} - 0,485 \text{ v} = 0,081 \text{ v} \quad (3.3)$$

$$\text{Variacion de la Corriente} = 8,97 \text{ mA} - 7,67 \text{ mA} = 1,3 \text{ mA} \quad (3.4)$$

Con el dato obtenido en 3.4 buscamos una constante kHd mediante 3.5 y 3.6 que será introducida en el programa del PIC de tal manera que sea multiplicada por el dato medido y de esta manera visualizar el dato de presión en bares.

$$\text{Variacion del Dato} = \text{Variacion del voltaje} / \text{resolucion} = \frac{0,081 \text{ v}}{0,00293} \quad (3.5)$$

$$\text{Variacion del Dato} = 27$$

$$kHd = \frac{1,3 \text{ mA}}{27 \text{ dato digital}} \cdot \frac{1 \text{ bar}}{1 \text{ mA}} = 0,048 \frac{\text{ bar}}{\text{ dato digital}} \quad (3.6)$$

Tomamos 1 dato de cada 10 mediciones y promediamos cada 50 datos tomados para evitar picos y datos en cero debido a interferencias y ruido.

El valor cero de este sensor es ajustado automáticamente en el inicio del programa mediante un promedio de los datos registrados en las primeras 20 mediciones

Presión Negativa 1 Hs1:

<i>Valores Para Bombas Apagadas</i>		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente Medida
340	1 v	7,98 mA
<i>Valores Para Bombas en Velocidad Máxima</i>		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente Medida
315	0,920 v	7,34 mA

Tabla 3.3: Presión Negativa 1.

Según las características del sensor este varía de -1 a 3 bares en un rango de 4 a 20 mA, es decir que varía en 0,25 bar/mA. El valor de cero en el sensor se puede regular mediante un potenciómetro interno el cual ha sido regulado inicialmente en una corriente de 7,98 mA. Entonces tenemos un rango de variaciones calculado en 3.7:

$$\text{Variacion del Dato Digitalizado} = 340 - 315 = 25 \quad (3.7)$$

$$\text{Variacion del voltaje} = 1 \text{ v} - 0,92 \text{ v} = 0,08 \text{ v} \quad (3.8)$$

$$\text{Variacion de la Corriente} = 7,98 \text{ mA} - 7,34 \text{ mA} = 0,64 \text{ mA} \quad (3.9)$$

Con el dato obtenido en 3.9 buscamos una constante *kHs1* mediante 3.10 y 3.11, la que será introducida en el programa del PIC de tal manera que sea multiplicada por el dato medido y de esta manera visualizar el dato de presión en bares.

$$\text{Variacion del Dato} = \text{Variacion del voltaje} / \text{resolucion} = \frac{0,08 \text{ v}}{0,00293} \quad (3.10)$$

$$\text{Variacion del Dato} = 26$$

$$kHs1 = \frac{0,64 \text{ mA}}{26 \text{ dato digital}} \cdot \frac{1 \text{ bar}}{4 \text{ mA}} = 0,0062 \frac{\text{ bar}}{\text{ dato digital}} \quad (3.11)$$

Tomamos 1 dato de cada 10 mediciones y promediamos cada 50 datos tomados para evitar picos y datos en cero debido a interferencias y ruido.

El valor cero de este sensor es ajustado automáticamente en el inicio del programa mediante un promedio de los datos registrados en las primeras 20 mediciones.

Presión Negativa 2 Hs2:

<i>Valores Para Bombas Apagadas</i>		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente Medida
329	1,005 v	8,06 mA
<i>Valores Para Bombas en Velocidad Máxima</i>		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente Medida
308	0,936 v	7,49 mA

Tabla 3.4: Presión Negativa2.

Según las características del sensor este varía de -1 a 3 bares en un rango de 4 a 20 mA, es decir que varía en 0,25 bar/mA. El valor de cero en el sensor se puede regular mediante un potenciómetro interno el cual ha sido regulado inicialmente en una corriente de 8,06 mA. Entonces tenemos un rango de variaciones calculado en 3.12:

$$\text{Variacion del Dato Digitalizado} = 329 - 308 = 21 \quad (3.12)$$

$$\text{Variacion del voltaje} = 1,005 \text{ v} - 0,936 \text{ v} = 0,069 \text{ v} \quad (3.13)$$

$$\text{Variacion de la Corriente} = 8,06 \text{ mA} - 7,49 \text{ mA} = 0,57 \text{ mA} \quad (3.14)$$

Con estos datos (3.13 y 3.14) buscamos una constante $kHs2$ mediante 3.15, la que será introducida en el programa del PIC de tal manera que sea multiplicada por el dato medido y de esta manera visualizar el dato de presión en bares.

$$\text{Variacion del Dato} = \text{Variacion del voltaje/resolucion} = \frac{0,069 \text{ v}}{0,00293} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \text{Variacion del Dato} &= 23 \\ kHs2 &= \frac{0,57 \text{ mA}}{23 \text{ dato digital}} \cdot \frac{1 \text{ bar}}{4 \text{ mA}} = 0,0062 \frac{\text{bar}}{\text{dato digital}} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Tomamos 1 dato de cada 10 mediciones y promediamos cada 50 datos tomados para evitar picos y datos en cero debido a interferencias y ruido.

El valor cero de este sensor es ajustado automáticamente en el inicio del programa mediante un promedio de los datos registrados en las primeras 20 mediciones.

Caudal.

El sensor de caudal utilizado entrega una señal de frecuencia con amplitud de 5 v, para su adquisición se utiliza el convertidor de frecuencia a voltaje LM2907 para tener una señal de voltaje y medirlo mediante el ADC del PIC (Figura 3.18).

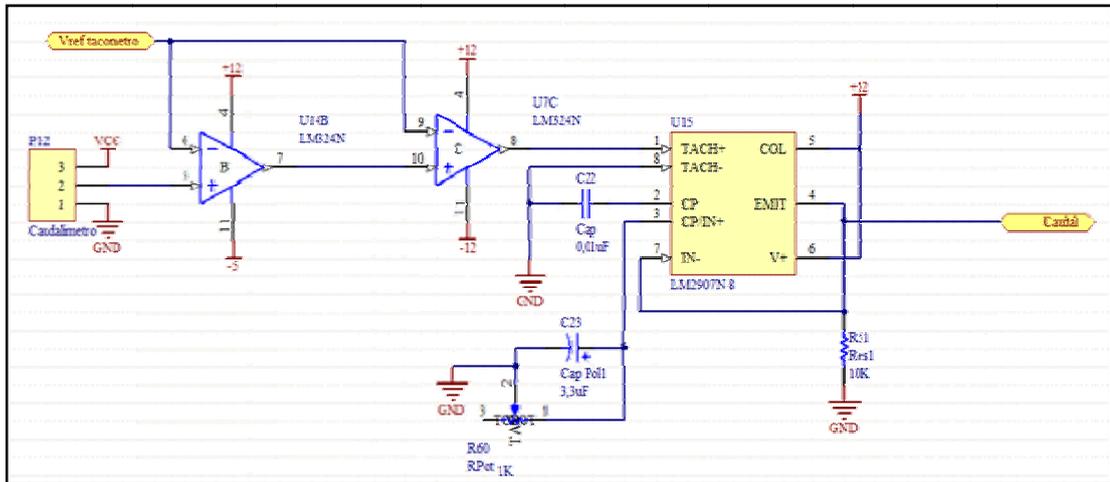


Figura 3.18: Adquisición de Datos de Sensores de Caudal.

La señal proveniente del sensor es amplificada mediante el circuito integrado LM324 que está en configuración de comparador y su amplitud cambia a $\pm 12\text{v}$ (Figura 3.19).

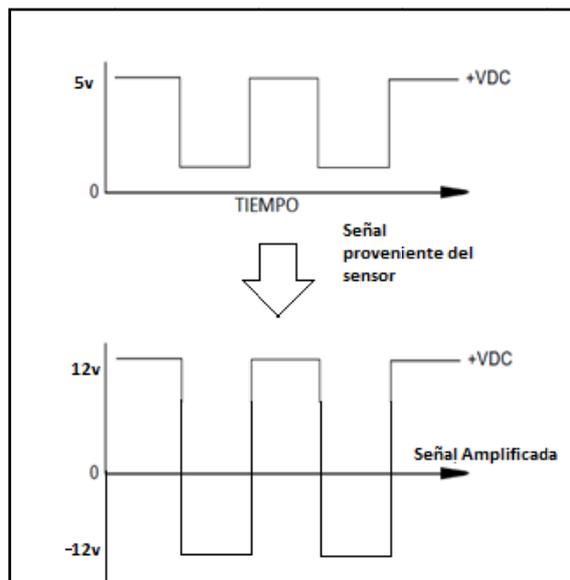


Figura 3.19: Amplificación de la señal de caudal.

Esto se lo realiza porque el convertidor de frecuencia a voltaje necesita que el voltaje a su entrada tenga amplitud positiva y negativa.

El integrado LM2907 tiene una constante de conversión de 67 Hz/V es decir que por cada 67 Hz tendremos 1V a la salida, se realizaron las mediciones de la tabla 3.5:

$$V = 2,85 \text{ v}$$

$$f = (2.85\text{v}) \cdot \frac{67\text{Hz}}{\text{v}} = 190.95 \text{ Hz} \quad (3.17)$$

<i>Valores Para Bombas en Velocidad Máxima</i>			
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Frecuencia	Caudal
973	2,85 v	190,95 Hz	1,62 E-3 m ³ /seg.

Tabla 3.5: Caudal.

Con los datos de la tabla 3.5 buscamos una constante kQ mediante 3.18 la que será introducida en el programa del PIC de tal manera que sea multiplicada por el dato medido y de esta manera visualizar el dato de caudal en m³/seg.

$$kQ = 1,6649 E - 6 \frac{\text{m}^3/\text{seg}}{\text{dato digital}} \quad (3.18)$$

Tomamos 1 dato de cada 10 mediciones y promediamos cada 50 datos tomados para evitar picos y datos en cero debido a interferencias y ruido.

Temperatura.

La medición de temperatura se la realizo con 3 sensores (figura 3.20) distribuidos uniformemente dentro del tanque del banco y el sistema realiza un promedio de los tres valores para obtener la temperatura con al que se realizan los cálculos.

El sensor de temperatura utilizado es el LM35, el cual tiene una constante de 10mv/°C.

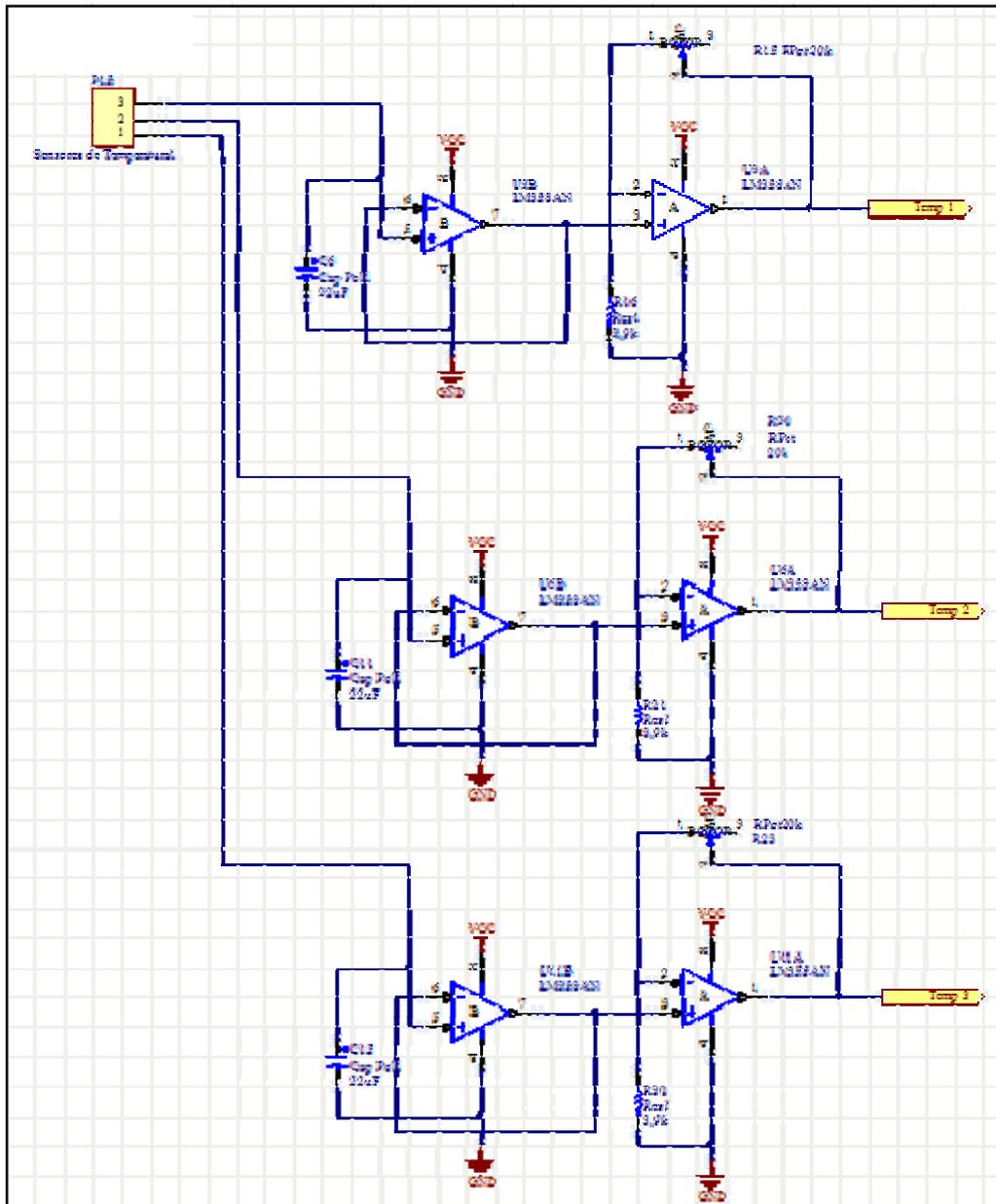


Figura 3.20: Sensores de Temperatura.

El circuito integrado LM358 es un amplificador que multiplica por 4 a la señal que llega de los sensores, esta señal entra en el ADC del PIC, por lo que en el PIC se divide el dato medido para cuatro. El dato digitalizado por el PIC debe multiplicarse por la constante calculada en la ecuación (3.19).

$$(3.19)$$

Tacómetro.

Para medir la velocidad de los motores utilizamos optoacopladores que envían una señal al PIC cada vez que un disco giratorio instalado en el eje corte la luz infrarroja que le llega al receptor, el disco giratorio tiene 4 agujeros (figura 3.22). que nos permiten tener una mayor resolución en la medición de la velocidad de giro.

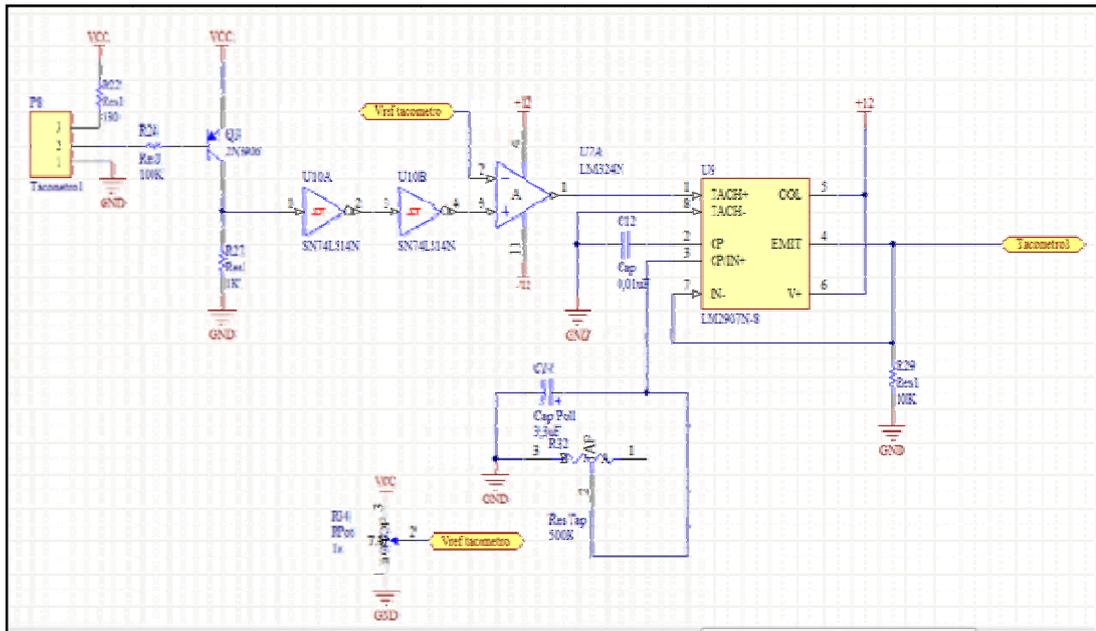


Figura 3.21: Tacómetro.

La señal proveniente del optoacoplador ingresa al circuito mediante dos trigger que modelan la señal en una onda cuadrada, esta señal es amplificada mediante un LM324 en configuración comparador que la convierte en una señal de $\pm 12v$, la cual puede ser ingresada en el convertidor de frecuencia a voltaje LM2907 (figura 3.21).



Figura 3.22: Disco Giratorio del Tacómetro.

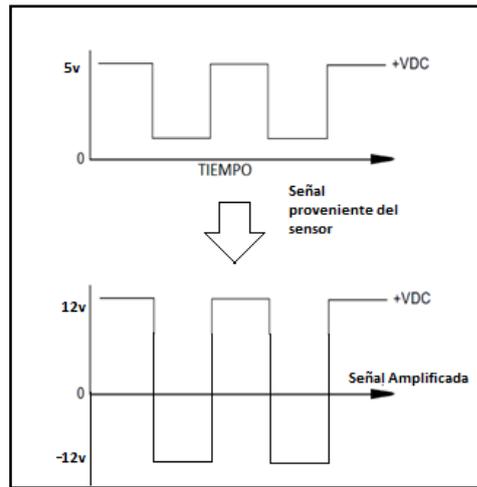


Figura 3.23: Amplificación de la señal del Tacómetro.

<i>Valores Para Bombas en Velocidad Máxima</i>			
BOMBA 1			
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Frecuencia	Velocidad
973	2,850 v	190,9 Hz	3409 rpm.
BOMBA 2			
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Frecuencia	Caudal
974	2,852 v	191,11 Hz	3412 rpm.

Tabla 3.6: Valores de prueba de Tacómetro.

Con los datos mostrados en la tabla 3.6 buscamos una constante kn mediante 3.20 la que será introducida en el programa del PIC de tal manera que sea multiplicada por el dato medido y de esta manera visualizar el dato de velocidad de las bombas en rpm.

$$kn = 3,5044 \frac{\text{rpm}}{\text{dato digital}} \quad (3.20)$$

Tomamos 1 dato de cada 10 mediciones y promediamos cada 50 datos tomados para evitar picos y datos en cero debido a interferencias y ruido.

Amperímetros.

Los sensores de corriente utilizados son transformadores conectados en serie a la fase R (figura 3.24) de cada motor estos transformadores envían una señal de voltaje que es rectificadora y amplificadora antes de ser introducida el PIC (figura 3.25).

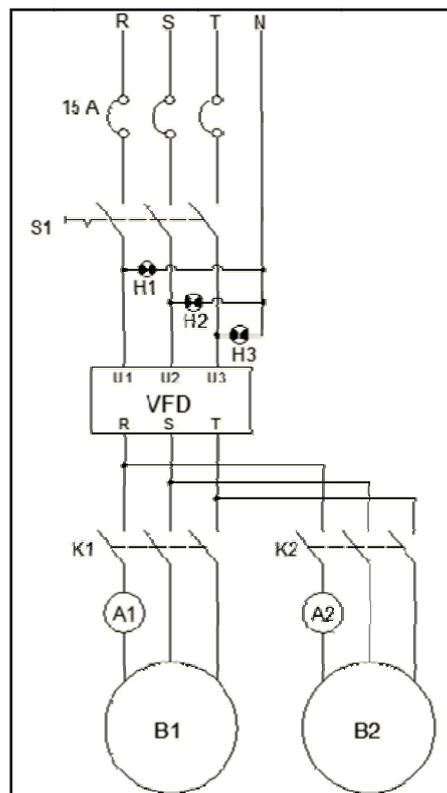


Figura 3.24: Conexión de los Amperímetros en el sistema.

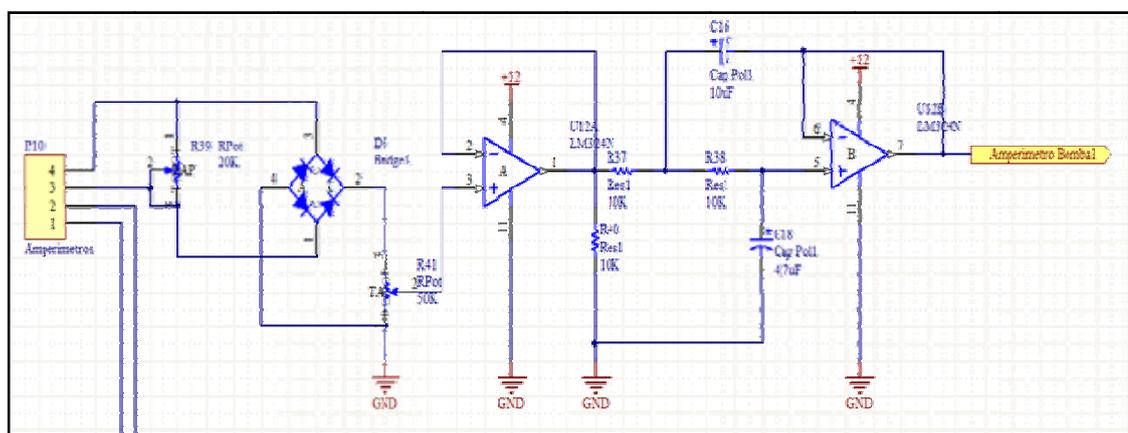


Figura 3.25: Amperímetro.

En el Pic la señal digitalizada es tratada para la visualización como se muestra en la tabla 3.7.

Bomba 1		
Valores Para Bombas Apagadas		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente
0	0,049 v	0 A
Valores Para Bombas en valor intermedio		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente
290	0,929 v	1.5 A
Bomba 2		
Valores Para Bombas Apagadas		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente
0	0,073 v	0 A
Valores Para Bombas en valor intermedio		
Valor Digitalizado	Voltaje Medido	Corriente
318	0,963 v	1.4 A

Tabla 3.7: Valores de Corriente.

Con los datos mostrados en 3.7 buscamos las constantes $kA1$ y $kA2$ mediante 3.21 y 3.22 las que serán introducidas en el programa del PIC de tal manera que sea multiplicada por el dato medido y de esta manera visualizar el dato de presión en bares.

$$kA1 = \frac{1.5 A}{290 \text{ dato digital}} = 0,005172 \frac{\text{bar}}{\text{dato digital}} \quad (3.21)$$

$$kA2 = \frac{1.4 A}{318 \text{ dato digital}} = 0,004402 \frac{\text{bar}}{\text{dato digital}} \quad (3.22)$$

Tomamos 1 dato de cada 10 mediciones y promediamos cada 50 datos tomados para evitar picos y datos en cero debido a interferencias y ruido.

3.3.3 TRANSMISIÓN DE DATOS HACIA LA PC.

Cuando el PIC ha realizado la adquisición de los datos procede a mostrarlos en el LCD o a enviarlos a la PC, esta elección la hace mediante el reconocimiento de la conexión del cable USB (figura 3.26) al sistema, es decir si el cable se encuentra conectado el sistema funciona en modo USB caso contrario funciona en modo manual mostrando los datos en el LCD y con el mando mediante los pulsantes del panel frontal.

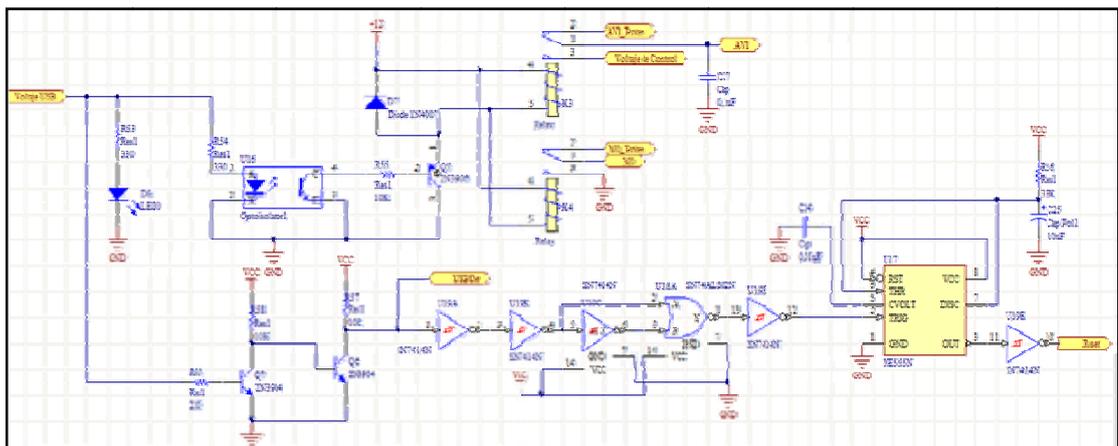


Figura 3.26: Detector de conexión USB.

Cuando el cable USB es conectado el voltaje de alimentación de este puerto activa un led indicador y además un optoacoplador que acciona dos relés, los cuales cambian el origen del control del variador de frecuencia (figura 3.27 y figura 3.28).

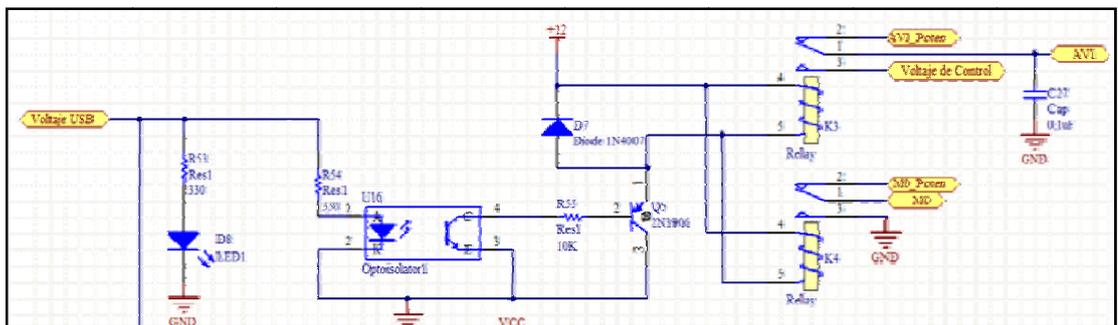


Figura 3.27: Cambio de Control del VFD.

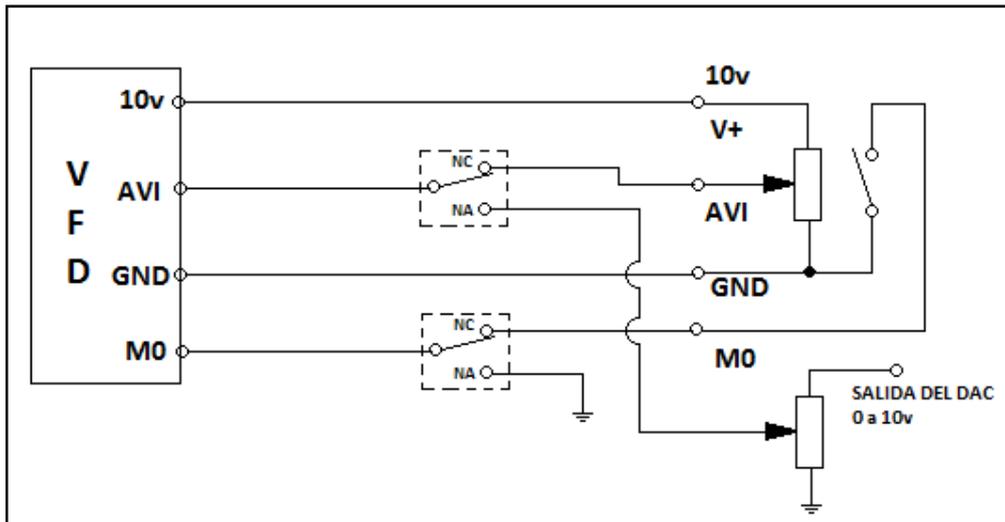


Figura 3.28: Control del Variador de Frecuencia.

En el modo USB el voltaje de control del variador de frecuencia viene de un DAC0808 (figura 3.29) que es controlado por un PIC que recibe el dato desde el PIC USB mediante transmisión serial.

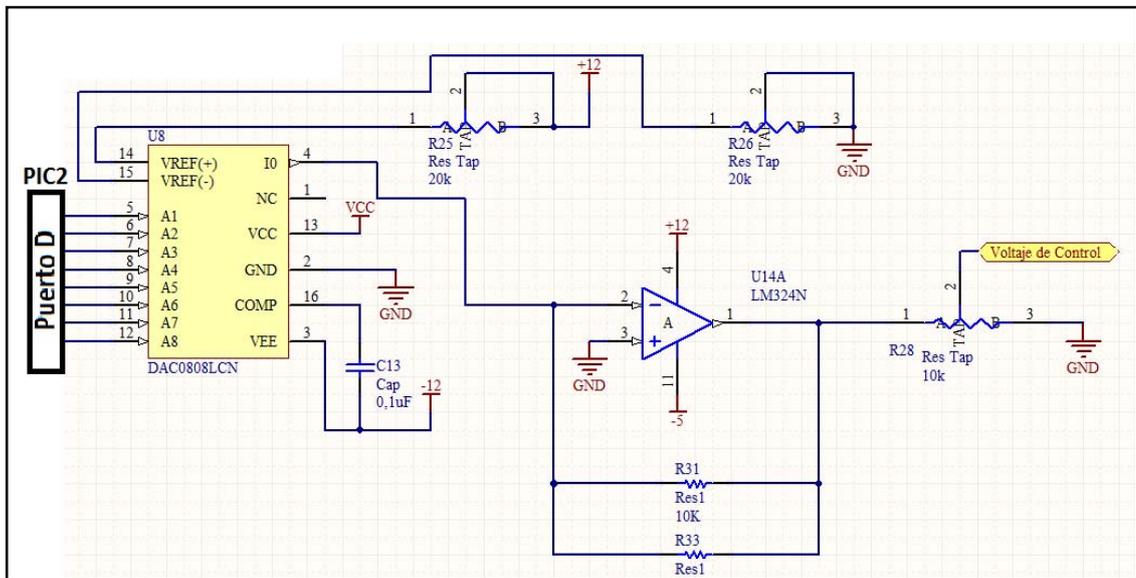


Figura 3.29: Voltaje de Control del Variador de Frecuencia en modo USB.

Para volver al modo manual se debe detectar el momento en el que se desconecta el cable USB, por lo que necesitamos un circuito detector de flancos descendentes (figura 3.30)., es decir un circuito que de un pulso de RESET al PIC USB cuando el cable USB es desconectado.

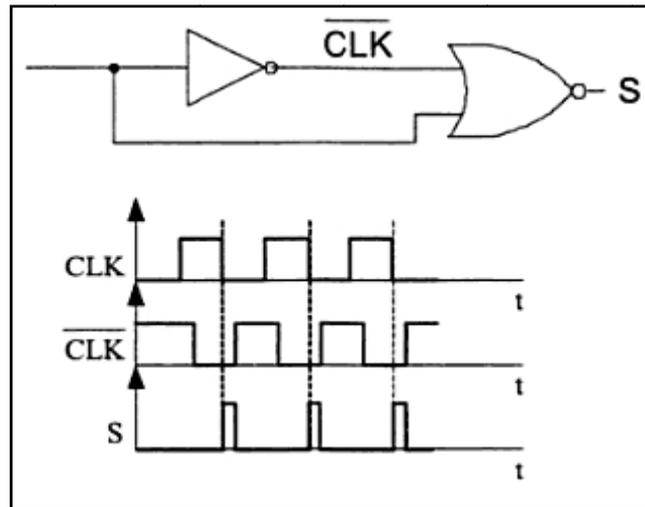


Figura 3.30: Funcionamiento del detector de flanco descendente.

Este pulso debe tener una duración más larga por lo que lo conectamos a un 555 en configuración monoestable (figura 3.31).

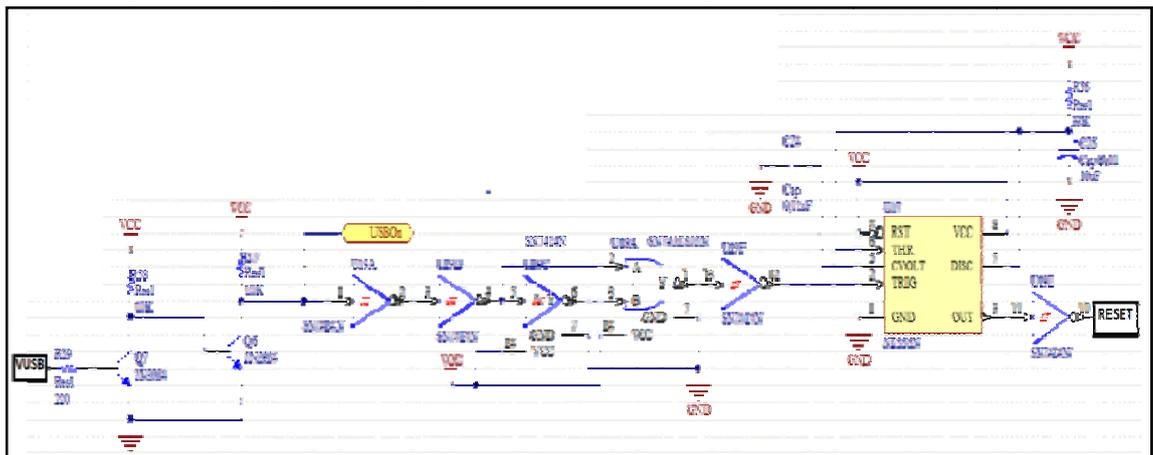


Figura 3.31: Sistema de detección de Flanco y Reset.

Los datos se envían desde el PIC en 28 buffers de 8 bits, por lo que los datos de 10 bits son enviados en 2 buffers y en Labview estos datos son vueltos a unir para manejarlos.

El PIC es reconocido como una interfaz Humano Maquina por el computador, para su detección en Labview es necesario generar un controlador o driver para este dispositivo, esto se lo hace con el programa VISA Driver Wizard de la National Instruments.

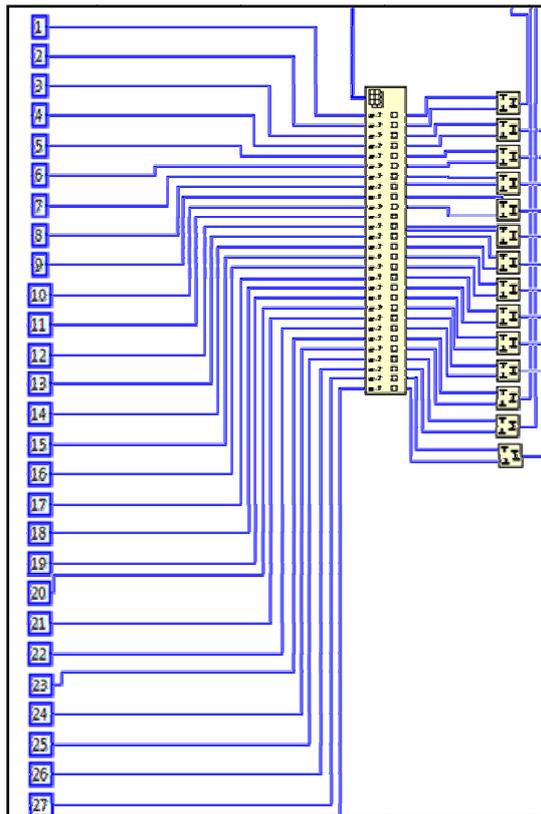


Figura 3.33: Array de datos entrantes.

Cuando se obtienen los datos estos son procesados según las constantes obtenidas en 3.2.2 y los resultados son visualizados en el panel frontal, estos valores son además usados para la obtención de las curvas de funcionamiento de las bombas.

En el modo USB activado las Bombas deben ser activadas desde el panel frontal del programa en Labview, por lo que es necesario enviar datos hacia el PIC (figura 3.34). los datos que se envían al PIC son todos los datos calculados listos para visualizarlos en el LCD, los comandos de activación, paro y velocidad de las bombas.

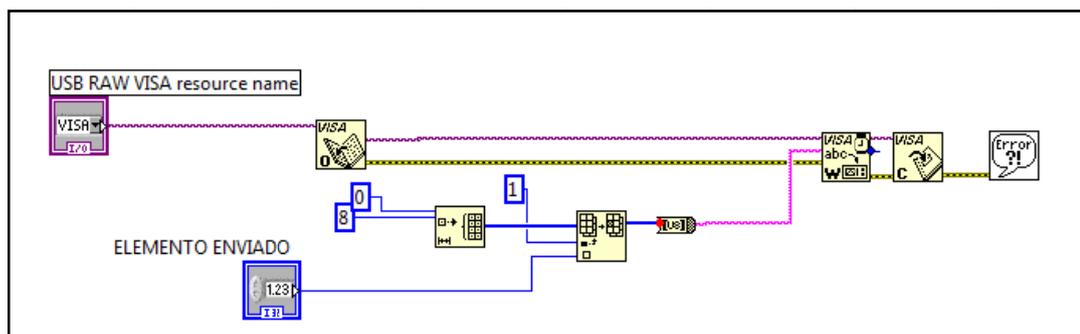


Figura 3.34: Envío de datos hacia el PIC.

3.4.2 INTERFAZ GRAFICA.

La interfaz grafica es la ventana en la que el usuario controla el arranque, paro y velocidad de las bombas y además la interfaz muestra los datos provenientes de los sensores, en las unidades requeridas, con los que el programa puede mostrar las curvas características del sistema.

El panel frontal en LABVIEW o la interfaz grafica posee pestañas en las que el usuario puede realizar diversas funciones las pestañas son las que se muestran a continuación:

- a. **Menú Archivo:** Contiene opciones de gestión de archivos de pruebas del sistema(figura 3.35)..

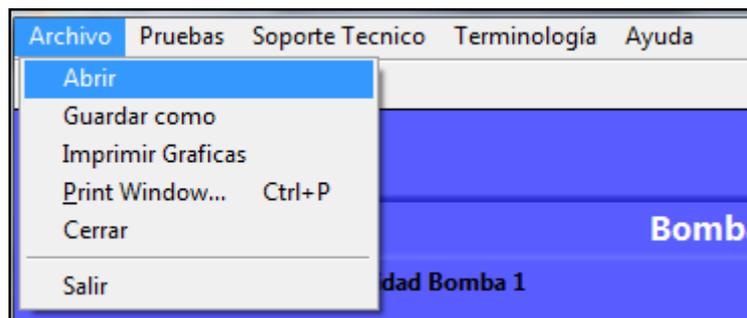


Figura 3.35: Menú archivo.

Submenú Abrir: Nos permite abrir el archivo de una prueba que ha sido guardada.

Submenú Guardar Como: Elige la ubicación donde se guarda los datos de la prueba realizada.

Submenú Imprimir Graficas: Imprime las curvas características obtenidas y la tabla de resultados.

Submenú Print Window: Imprime toda la interfaz de usuario que se esa visualizando en ese instante.

Submenú Cerrar: Cierra la prueba que se está realizando.

Submenú Salir: Cierra el programa.

- b. **Menú Pruebas:** Contiene las Pruebas que se pueden realizar en el banco (figura 3.36).

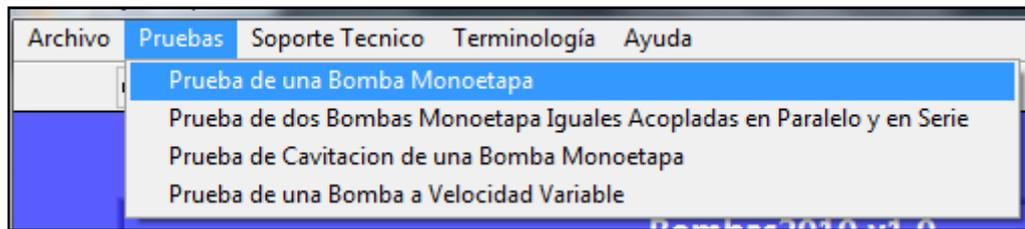


Figura 3.36: Menú Pruebas.

Submenú Prueba de una Bomba Monoetapa: Muestra los controles con las restricciones para esta prueba y el contenedor de las curvas características.

Submenú Prueba de dos Bombas Monoetapa Iguales Acopladas en Paralelo y en Serie: Muestra los controles con las restricciones para esta prueba y el contenedor de las curvas características.

Submenú Prueba de Cavitación de una Bomba Monoetapa: Muestra los controles con las restricciones para esta prueba y el contenedor de las curvas características.

Submenú Prueba de una Bomba a Velocidad Variable: Muestra los controles con las restricciones para esta prueba y el contenedor de las curvas características.

- c. **Menú Soporte Técnico:** Presenta un documento en formato PDF con información teórica de los conceptos que se requieren manejar para entender el comportamiento de las bombas centrífugas. La terminología y

simbología utilizada para presentar la información, está normalizada por la “Norma ANSI HI 1.6 para Pruebas de Bombas Centrífugas”.

- d. **Menú Terminología:** Abre un documento en formato PDF donde se muestra la terminología empleada según Norma ANSI HI 1.6 para Pruebas de Bombas Centrífugas

- e. **Menú Ayuda:** Asiste al usuario cuando se desconozca el funcionamiento general y las capacidades del software y los procedimientos para ejecución de pruebas. Además de datos informativos sobre el equipo de desarrollo del software (figura 3.37).

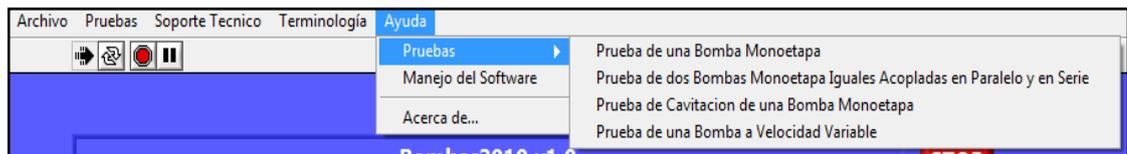


Figura 3.37: Menú Ayuda.

Submenú Pruebas: Contiene una guía para la realización de cada una de las pruebas.

Submenú Manejo del Software: Abre un documento en formato PDF donde se muestra una guía sobre el Manejo del Software Bombas2010.

Submenú Acerca de...: muestra información acerca del desarrollo del software y sobre los autores.

Cuando se selecciona una prueba el software muestra los controles de las Bombas (figura 3.38). y restringe el funcionamiento de los mismos según el tipo de prueba a realizar, además se muestra un panel con las curvas características calculadas por el software

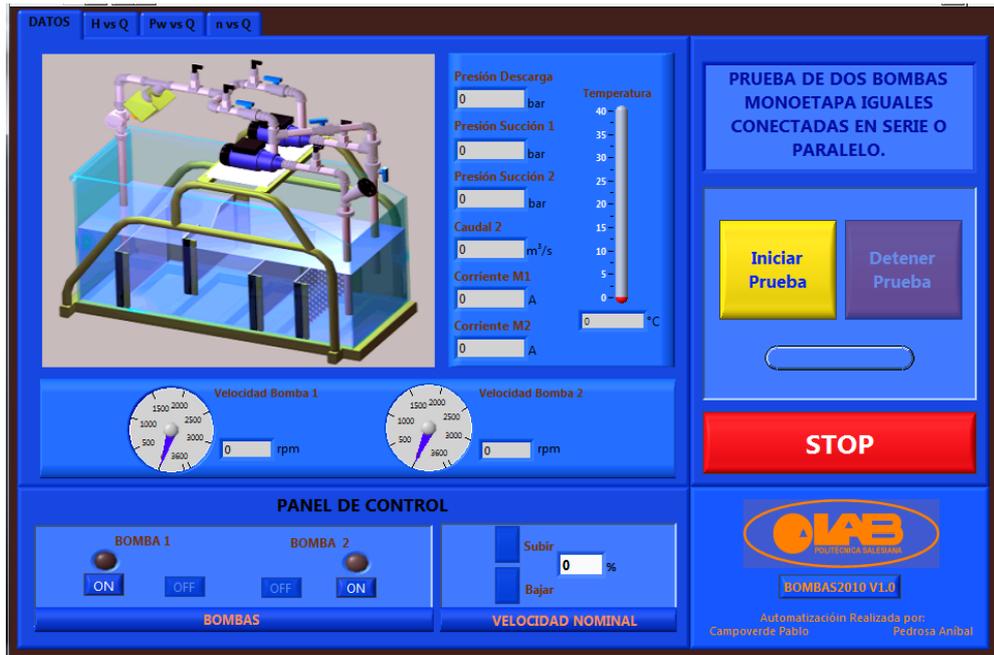


Figura 3.38: Panel Frontal en LABVIEW.

Las Bombas son comandadas mediante pulsantes de encendido y apagado, y la velocidad es controlada por pulsantes de subir y bajar la velocidad (figura 3.39).



Figura 3.39: Panel de Control de Bombas.

Los datos son visualizados en Indicadores gráficos en una pestana con nombre "DATOS" (figura 3.40).

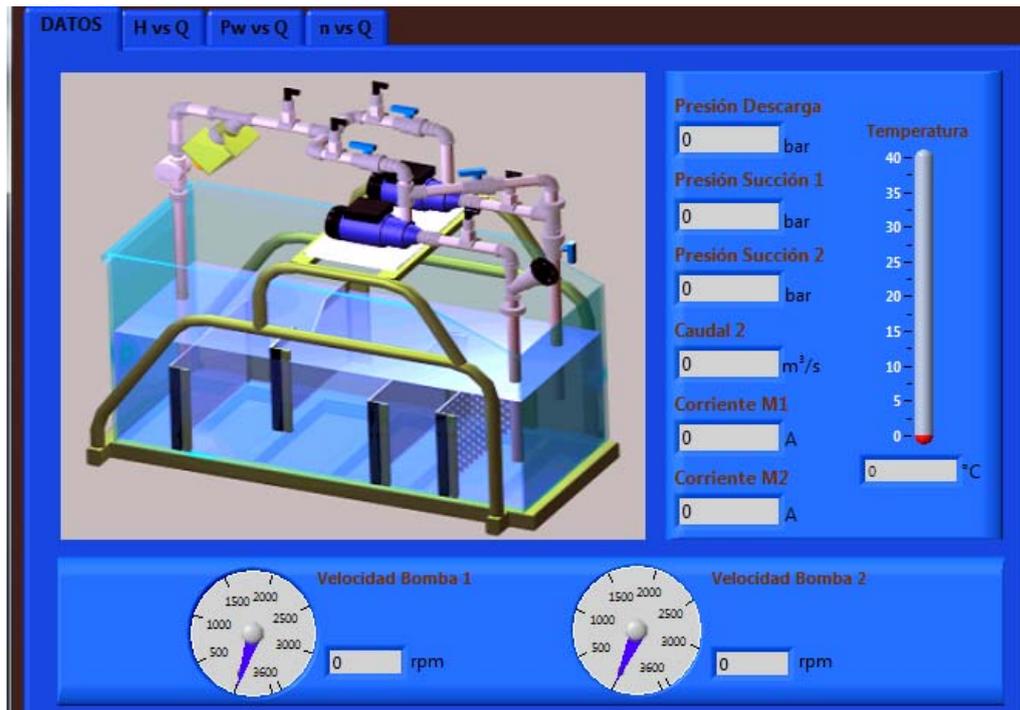


Figura 3.40: Pantalla de visualización de Datos.

La prueba que se está realizando en el momento es visualizada en el panel de control de pruebas en el cual podemos iniciar la adquisición de las curvas y al detener la prueba elegir si queremos guardarla (figura 3.41).

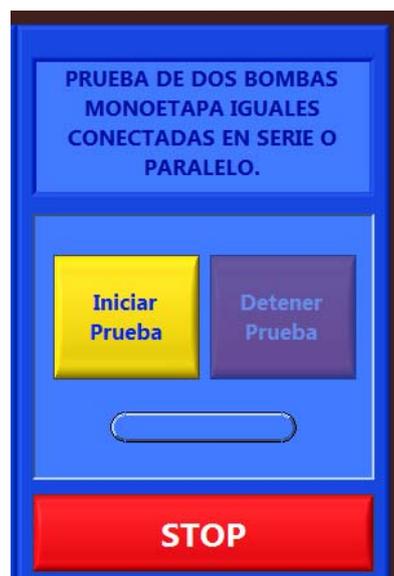


Figura 3.41: Panel de control de Pruebas.

Cuando se inicia la prueba las curvas son visualizadas en tiempo real en las pestañas nombradas para cada prueba (figura 3.42).

H vs Q: Cabeza Total vs. Caudal

Pw vs. Q: Potencia Hidráulica vs. Caudal

N vs Q: Rendimiento vs. Caudal



Figura 3.42: Panel de curvas Características.

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LAS ETAPAS DEL SISTEMA.

Para la realización de las pruebas seguiremos un orden preestablecido, el mismo que se muestra en la figura 4.1, este es un diagrama de bloques de todo el sistema, en el cual se resalta todas las pruebas que se llevaran a cabo para analizar el rendimiento y funcionamiento de los sensores incorporados en el banco de bomba centrífugas.

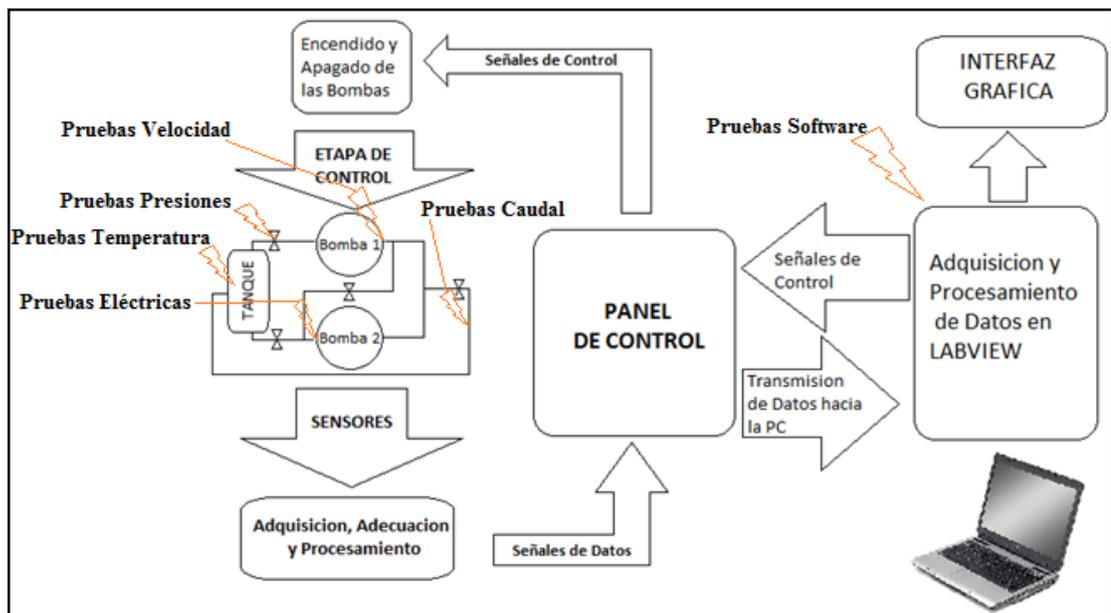


Figura 4.1: Diagrama de las etapas del sistema.

Como se puede apreciar en la figura 4.1, se ha resaltado los puntos donde se llevaran a cabo las pruebas, las mismas que se explicaran con más detalle en los puntos siguientes.

4.1.1 PRUEBAS ELÉCTRICAS.

Se centran en medir los valores de corriente y voltaje nominales de las bombas centrífugas. Cabe recalcar que los datos de placa de las bombas no son los mismos, en un principio las bombas tenían un bobinado monofásico, pero debido a las exigencias en su funcionamiento se lo cambio por un bobinado trifásico, manteniendo una conexión triangulo entre sus devanados.

4.1.1.1 MEDICIÓN DE CORRIENTE.

Para medir los valores de corriente, se utilizo un amperímetro de pinzas digital; este resultado el más indicado para esta aplicación. El proceso de medición lo podemos apreciar en la figura 4.2.



Bomba 1



Bomba 2

Figura 4.2: Procedimiento para medir las corrientes de línea.

Los valores medidos son las corrientes de línea y se presentan en la tabla 4.2, cabe recalcar que estos valores fueron tomados sin carga, es decir, las bombas están trabajando sin agua.

	Bomba 1 (L1)	Bomba 2 (L1)
Corriente de línea, I_L (A)	1.42	1.5

Tabla 4.1: Mediciones de las corrientes de línea en cada bomba centrífuga.

4.1.1.2 MEDICIÓN DE VOLTAJE.

Para medir los valores de voltaje, se utilizó un voltímetro digital, el proceso de medición lo podemos apreciar en la figura 4.3.

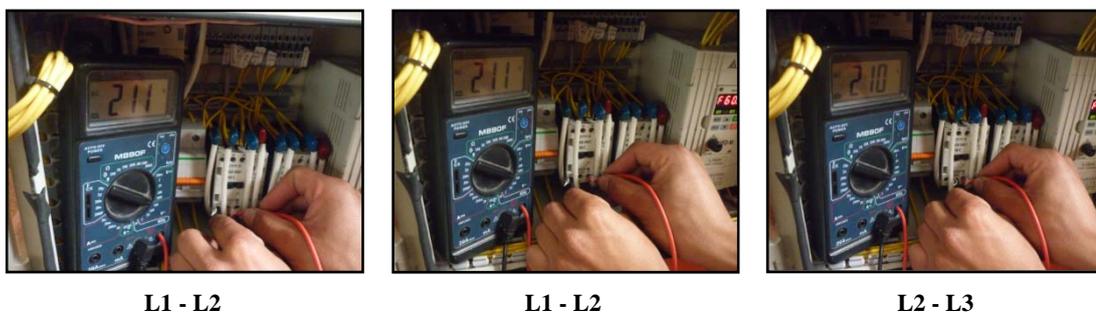


Figura 4.3: Procedimiento para medir los voltajes de línea.

Los valores medidos son las tensiones entre línea y línea, sus resultados se presentan en la tabla 4.2.

Voltaje (V)	L1-L2	L1-L3	L2-L3
Bomba 1	211	211	210
Bomba 2	211	210	211

Tabla 4.2: Medición de voltaje entre línea y línea de cada bomba.

Los valores de las tablas 4.1, 4.2 son aceptables ya que se encuentran dentro de los rangos admitidos y sus valores son confirmados con las prácticas que se han realizado luego de su rebobinado.

4.1.2 PRUEBAS DE SENSORES, BANCO Y SOFTWARE.

4.1.2.1 SENSOR DE PRESIÓN POSITIVA (Hd).

También llamada presión de descarga, su ubicación exacta en el banco la podemos observar en la figura 4.4, debido a las características estructurales del banco los datos digitales obtenidos en la automatización no pueden ser contrastados con otro instrumento, para solucionar este percance, se considero los rangos de medición del sensor y después de un cálculo minucioso (capítulo 3, tema 3.2.2) se

estableció una relación de conversión directa entre el dato obtenido desde el transductor (corriente), su conversión dentro del software (dato digital) y el nivel máximo de bares que soportan las bombas centrífugas (6 bar).



Figura 4.4: Sensor de presión positiva.

Los resultados de los cálculos realizados se presentan en la tabla 4.3.

Capacidad máxima de la bomba (bar)	Valor máximo medido (bar)
6	6.032

Tabla 4.3: Máximo de bares que soporta la bomba versus valor medido.

Como se puede apreciar los valores son muy cercanos, en la tabla 4.4(a), se obtiene la exactitud del sistema implementado y en la tabla 4.4(b) su nivel de precisión.

#	Presión positiva (bar)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Valor Medido	Valor Máximo		
1	5,98	6	0,02	0,33
2	6,032	6	0,032	0,53
3	5,824	6	0,176	3,02
Media del error relativo (%)				1,296
Exactitud (%)				98,704

(a)

Mediciones presión positiva (bar)					
#	1	2	3	4	5
1	0,050	0,102	0,227	0,491	0,636
2	0,050	0,102	0,227	0,491	0,640
3	0,049	0,102	0,227	0,491	0,636
4	0,050	0,102	0,229	0,491	0,641
5	0,050	0,102	0,213	0,491	0,641
6	0,050	0,107	0,211	0,489	0,638
7	0,052	0,107	0,211	0,489	0,638
8	0,052	0,109	0,205	0,489	0,636
9	0,054	0,109	0,205	0,492	0,641
10	0,052	0,109	0,211	0,475	0,640
Media (bar)	0,051	0,105	0,217	0,489	0,639
Desviación estándar (bar)	0,001	0,003	0,009	0,003	0,002
Coefficiente de variación (%)	2,313	2,960	4,000	0,560	0,298
Promedio Coeficientes de variación (%)	2,026				
Precisión (%)	97,974				

(b)

Tabla 4.4: a) Determinación de la exactitud. b) Determinación de la precisión.

Los valores obtenidos en la tabla 4.4, son los mismos para las dos bombas.

4.1.2.2 SENSORES DE PRESIÓN NEGATIVA (Hs).

Presión negativa bomba 1 (Hs1).

También llamada presión de succión, su ubicación exacta en el banco de pruebas la podemos observar en la figura 4.5, debido a las características estructurales del banco los datos digitales obtenidos en la automatización no pueden ser contrastados con otro instrumento, para solucionar este percance, se considero los rangos de medición del sensor y después de un cálculo minucioso (capítulo 3, tema 3.2.2) se estableció una relación de conversión directa entre el dato obtenido desde el transductor (corriente) y su conversión dentro del software (dato digital).



Figura 4.5: Sensor de presión negativa para la bomba 1.

Para calcular la exactitud en los valores de presión negativa medidos, contamos con la colaboración del personal encargado del manejo del banco, pues las características de funcionamiento del mismo impide tener valores patronos exactos, es por ello que después de una consulta realizada y considerando la experiencia del personal, se establece que un valor patrono más cercano seria de $-0,13$ bar en su funcionamiento máximo.

La tabla 4.5(a), muestra el nivel de exactitud en los valores medidos con el sistema implementado, recalando que estos resultados son una aproximación en base a la información que se nos proporciono en el laboratorio y en la tabla 4.5(b) tenemos su nivel precisión.

Presión negativa bomba 2 (Hs2).

El procedimiento realizado para la presión negativa de la bomba 1, es el mismo que se aplica para la presión negativa de la bomba 2. En la figura 4.6 se muestra la ubicación del mismo.

#	Presión negativa bomba 1 (bar)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Valor Medido	Valor Máximo		
1	0,124	0,13	0,006	4,84
2	0,130	0,13	0	0,00
3	0,130	0,13	0	0,00
Media del error relativo (%)				1,613
Exactitud (%)				98,387

(a)

Mediciones presión negativa bomba 1 (bar)					
#	1	2	3	4	5
1	-0,068	-0,081	-0,101	-0,135	-0,154
2	-0,070	-0,081	-0,102	-0,135	-0,154
3	-0,070	-0,082	-0,101	-0,134	-0,154
4	-0,069	-0,081	-0,101	-0,134	-0,154
5	-0,070	-0,081	-0,101	-0,135	-0,153
6	-0,070	-0,080	-0,101	-0,135	-0,158
7	-0,070	-0,081	-0,101	-0,135	-0,160
8	-0,070	-0,081	-0,100	-0,135	-0,159
9	-0,070	-0,081	-0,100	-0,135	-0,159
10	-0,070	-0,081	-0,100	-0,135	-0,159
Media (bar)	-0,070	-0,081	-0,101	-0,135	-0,157
Desviación estandar (bar)	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003
Coefficiente de variación (%)	0,679	0,397	0,499	0,125	1,672
Promedio Coeficientes de variación (%)	0,674				
Precisión (%)	99,326				

(b)

Tabla 4.5: a) Determinación de la exactitud. b) Determinación de la precisión.



Figura 4.6: Sensor de presión negativa para la bomba 2.

En la tabla 4.6(a,b)tenemos el valor de exactitud y precisión respectivamente.

#	Presión negativa bomba 2 (bar)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Valor Medido	Valor Máximo		
1	0,124	0,13	0,006	4,84
2	0,117	0,13	0,013	11,11
3	0,130	0,13	0	0,00
Media del error relativo (%)				5,317
Exactitud (%)				94,683

(a)

Mediciones presión negativa bomba 2 (bar)					
#	1	2	3	4	5
1	-0,015	-0,010	0,058	0,172	-0,053
2	-0,015	-0,010	0,055	0,170	-0,053
3	-0,014	-0,010	0,056	0,171	-0,053
4	-0,014	-0,010	0,056	0,171	-0,052
5	-0,014	-0,010	0,056	0,170	-0,052
6	-0,014	-0,011	0,056	0,170	-0,051
7	-0,015	-0,011	0,056	0,170	-0,052
8	-0,015	-0,011	0,057	0,170	-0,051
9	-0,015	-0,011	0,057	0,170	-0,051
10	-0,016	-0,011	0,057	0,170	-0,052
Media (bar)	-0,015	-0,010	0,056	0,170	-0,052
Desviación estandar (bar)	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Coefficiente de variación (%)	2,939	1,788	1,060	0,278	1,158
Promedio Coeficientes de variación (%)	1,445				
Precisión (%)	98,555				

(b)

Tabla 4.6: a) Determinación de la exactitud.b) Determinación de la precisión.

4.1.2.3 SENSOR DE TEMPERATURA (T).

Para la verificación de los resultados, se utilizo un multímetro (figura 4.7a) y el sistema electrónico incorporado (figura 4.7b). Se realizo un determinado número de mediciones con los dos instrumentos al mismo tiempo. Los resultados obtenidos nos permiten evaluar la exactitud y precisión del sistema al realizar una medición, los resultados se presentan en la tabla 4.7(a,b) respectivamente.



a) Multímetro.

b) Sistema Automatizado (pantalla de visualización).

Figura 4.7: Instrumentos utilizados en la medición de la temperatura.

#	Temperatura (oC)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Sensor 2	Termocupla		
1	16,6	17	0,4	2,41
2	18,5	19	0,5	2,70
3	19,4	20	0,6	3,09
4	22,6	23	0,4	1,77
5	22,5	23	0,5	2,22
6	23,3	24	0,7	3,00
Media del error relativo (%)				2,534
Exactitud (%)				97,466

(a)

Mediciones temperatura (oC)					
#	1	2	3	4	5
1	16,000	17,200	18,500	20,000	21,000
2	16,000	17,300	18,500	20,000	21,000
3	16,000	17,200	18,500	20,000	21,000
4	16,000	17,200	18,500	20,000	20,990
5	16,000	17,300	18,300	20,100	21,000
6	16,000	17,200	18,300	20,000	21,000
7	16,000	17,000	18,500	20,100	21,000
8	16,000	17,200	18,500	20,000	21,000
9	16,000	17,300	18,500	20,000	21,000
10	16,000	17,200	18,300	20,000	21,000
Media (bar)	16,000	17,210	18,440	20,020	20,999
Desviación estandar (bar)	0,000	0,054	0,084	0,032	0,002
Coefficiente de variación (%)	0,000	0,314	0,456	0,160	0,009
Promedio Coeficientes de variación (%)	0,188				
Precisión (%)	99,812				

(b)

Tabla 4.7: a) Determinación de su nivel de exactitud. b) Determinación de su nivel de precisión.

4.1.2.4 SENSORES DE VELOCIDAD (n).

Velocidad bomba 1, (n1).

Para la verificación de su correcto funcionamiento, se procedió a utilizar un tacómetro digital (figura 4.8a) conjuntamente con el sistema electrónico incorporado (figura 4.8b). Se procedió a medir diferentes valores en forma alternada, para posteriormente aplicar los cálculos necesarios y definir el nivel de exactitud que tendremos en las mediciones realizadas con el sistema electrónico implementado en el banco de pruebas para bombas centrífugas.



a) Tacómetro.

b) Adquisición de datos, pantalla de visualización.

Figura 4.8: Instrumentos utilizados en la medición de las rpm (n1).

En la tabla 4.8 se presentan los datos recogidos y los procedimientos que se aplicaron para determinar el nivel de exactitud en las mediciones.

Velocidad bomba 2, (n2).

Para la verificación de su correcto funcionamiento, se procedió de la misma forma que en el punto anterior (velocidad bomba 1). Los elementos utilizados se presentan en la figura 4.9 y de igual forma en la tabla 4.9(a,b) se presentan los niveles de exactitud y precisión.

#	Velocidad bomba 1 (rpm)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Sensor 1	Tacometro		
1	780	781	1	0,13
2	1060	1059	1	0,09
3	1673	1675	2	0,12
4	2380	2380	0	0,00
5	2873	2876	3	0,10
6	3479	3483	4	0,11
Media del error relativo (%)				0,094
Exactitud (%)				99,906

(a)

Mediciones velocidad bomba 1 (rpm)					
#	1	2	3	4	5
1	534	844	1720	2607	3358
2	534	844	1720	2608	3358
3	534	844	1720	2609	3358
4	533	844	1720	2608	3358
5	534	845	1720	2608	3358
6	534	844	1720	2608	3358
7	534	844	1720	2608	3358
8	534	844	1720	2609	3358
9	533	843	1720	2608	3358
10	534	844	1721	2608	3358
Media (bar)	533,8	844,0	1720,1	2608,1	3358,0
Desviación estandar (bar)	0,320	0,200	0,180	0,360	0,000
Coefficiente de variación (%)	0,060	0,024	0,010	0,014	0,000
Promedio Coeficientes de variación (%)	0,022				
Precisión (%)	99,978				

(b)

Tabla 4.8:a) Determinación de su nivel de exactitud. b) Determinación de su nivel de precisión.



a) Tacómetro.



b) Adquisición de datos, pantalla de visualización.

Figura 4.9: Instrumentos utilizados en la medición de las rpm (n2).

#	Velocidad bomba 2 (rpm)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Sensor 2	Tacometro		
1	595	572	23	3,87
2	990	969	21	2,12
3	1536	1493	43	2,80
4	2159	2129	30	1,39
5	3230	3219	11	0,34
6	3503	3498	5	0,14
Media del error relativo (%)				1,777
Exactitud (%)				98,223

(a)

Mediciones velocidad bomba 2 (rpm)					
#	1	2	3	4	5
1	574	862	1772	2687	3344
2	574	863	1770	2687	3345
3	576	864	1771	2685	3345
4	576	864	1770	2684	3345
5	575	863	1770	2683	3344
6	575	864	1772	2682	3344
7	577	863	1770	2682	3344
8	576	863	1771	2684	3344
9	574	864	1772	2684	3345
10	574	864	1774	2685	3344
Media (bar)	575,1	863,4	1771,2	2684,3	3344,4
Desviación estandar (bar)	0,920	0,600	1,040	1,360	0,480
Coefficiente de variación (%)	0,160	0,069	0,059	0,051	0,014
Promedio Coeficientes de variación (%)	0,071				
Precisión (%)	99,929				

(b)

Tabla 4.9: a) Determinación de su nivel de exactitud. b) Determinación de su nivel de exactitud.

4.1.2.5 SENSORES DE CORRIENTE (I).

Corriente bomba 1 (I1).

Para las mediciones de corriente, al igual que en los casos anteriores se utilizó un amperímetro digital de pizas (figura 4,10a) y el sistema de adquisición de datos (figura 4.10b) incorporado en el banco de pruebas para bombas centrifugas. Se realizó una cantidad determinada de mediciones simultáneas con los dos equipos y

cuyos valores se utilizaron para determinar el nivel de exactitud en las mediciones realizadas con el sistema diseñado, de igual forma se realizaron las mediciones necesarias para determinar su precisión. Los resultados obtenidos los podemos apreciar en la tabla 4.10(a,b).



a) Amperímetro.



b) Adquisición de datos, pantalla de visualización.

Figura 4.10: Instrumentos utilizados en la medición de corriente I1.

Corriente bomba 2 (I2).

Para medir la corriente en la bomba 2, se procedió de la misma forma que en el punto anterior (corriente bomba 1), en la figura 4,11 se muestran los equipos utilizados.



a) Amperímetro.



b) Adquisición de datos, pantalla de visualización.

Figura 4.11: Instrumentos utilizados en la medición de corriente I2.

La tabla 4.11(a) muestra las mediciones realizadas y los resultados de exactitud obtenidos.

#	Corriente bomba 1 (A)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Sensor 1	Amperímetro		
1	0,504	0,51	0,006	1,19
2	0,670	0,68	0,01	1,49
3	0,854	0,86	0,01	1,17
4	1,180	1,22	0,04	3,39
5	1,575	1,60	0,025	1,59
6	1,851	1,89	0,039	2,11
Media del error relativo (%)				1,823
Exactitud (%)				98,177

(a)

Mediciones corriente bomba 1 (A)					
#	1	2	3	4	5
1	0,769	0,584	0,864	1,191	1,253
2	0,769	0,585	0,864	1,191	1,251
3	0,769	0,585	0,864	1,191	1,251
4	0,769	0,584	0,864	1,191	1,250
5	0,769	0,584	0,866	1,191	1,248
6	0,752	0,584	0,866	1,191	1,247
7	0,752	0,584	0,866	1,191	1,248
8	0,752	0,585	0,866	1,191	1,253
9	0,752	0,584	0,866	1,191	1,256
10	0,762	0,585	0,866	1,192	1,258
Media (bar)	0,761	0,584	0,865	1,191	1,251
Desviación estandar (bar)	0,008	0,000	0,001	0,000	0,003
Coefficiente de variación (%)	1,024	0,035	0,106	0,012	0,223
Promedio Coeficientes de variación (%)	0,280				
Precisión (%)	99,720				

(b)

Tabla 4.10: a) Determinación de su nivel de exactitud. b) Determinación de su nivel de precisión.

En la tabla 4.11(b) tenemos las mediciones realizadas para determinar la precisión en la medición de las mismas.

#	Corriente bomba 2(A)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Sensor 2	Amperímetro		
1	0,558	0,53	0,028	5,02
2	0,616	0,66	0,044	7,14
3	0,783	0,77	0,013	1,66
4	1,053	1,03	0,023	2,18
5	1,318	1,33	0,012	0,91
6	1,696	1,70	0,004	0,24
Media del error relativo (%)				2,859
Exactitud (%)				97,141

(a)

Mediciones corriente bomba 2 (A)					
#	1	2	3	4	5
1	0,716	0,618	0,910	1,177	1,420
2	0,716	0,617	0,910	1,177	1,419
3	0,716	0,617	0,910	1,177	1,419
4	0,716	0,617	0,909	1,177	1,418
5	0,716	0,617	0,916	1,180	1,417
6	0,717	0,617	0,915	1,180	1,417
7	0,709	0,615	0,916	1,180	1,418
8	0,709	0,615	0,916	1,180	1,420
9	0,709	0,615	0,918	1,180	1,423
10	0,703	0,616	0,918	1,180	1,426
Media (bar)	0,713	0,616	0,914	1,179	1,420
Desviación estandar (bar)	0,004	0,001	0,003	0,001	0,002
Coefficiente de variación (%)	0,590	0,159	0,356	0,109	0,134
Promedio Coeficientes de variación (%)	0,269				
Precisión (%)	99,731				

(b)

Tabla 4.11: a) Determinación de su nivel de exactitud. b) Determinación de su nivel de precisión.

4.1.2.6 SENSOR DE CAUDAL (Q).

Al no disponer de un caudalímetro, el dato a ser comparado o dato patrón, lo obtendremos de forma experimental utilizando un recipiente cuyo volumen sea conocido y el tiempo que este se demore en llenarse (figura 4.12a). El recipiente es de 1 litro, este sirvió para tomar muestras y compararlas con las mediciones realizadas con el sistema electrónico implementado (figura 4.12b). Los resultados de exactitud y precisión obtenidos, se presentan en la tabla 4.12(a,b) respectivamente.



a) Método experimental para el caudal.



b) Sistema electrónico, (Pantalla de visualización).

Figura 4.12: Instrumentos utilizados en la medición del caudal (Q).

#	Caudal (Lt./seg.)		Error absoluto	Error relativo (%)
	Sensor 2	Experimento		
1	0,029	0,030	0,001	3,45
2	0,100	0,098	0,002	2,00
3	0,138	0,140	0,002	1,45
4	0,170	0,166	0,004	2,35
5	0,245	0,250	0,005	2,04
Media del error relativo (%)				2,258
Exactitud (%)				97,742

(a)

Mediciones caudal (Lt/seg)					
#	1	2	3	4	5
1	0,001	0,161	0,484	0,782	0,924
2	0,001	0,161	0,484	0,782	0,924
3	0,001	0,162	0,485	0,782	0,924
4	0,001	0,162	0,484	0,782	0,924
5	0,001	0,162	0,484	0,782	0,924
6	0,001	0,162	0,484	0,782	0,923
7	0,001	0,163	0,484	0,782	0,923
8	0,001	0,163	0,484	0,783	0,923
9	0,001	0,163	0,484	0,783	0,923
10	0,001	0,163	0,484	0,784	0,923
Media (bar)	0,001	0,162	0,484	0,782	0,924
Desviación estandar (bar)	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
Coefficiente de variación (%)	0,000	0,395	0,037	0,072	0,054
Promedio Coeficientes de variación (%)	0,111				
Precisión (%)	99,889				

(b)

Tabla 4.12: a) Determinación de su nivel de exactitud. b) Determinación de su nivel de precisión.

4.1.2.7 PRUEBAS DE SOFTWARE.

Las pruebas de software son realizadas mediante la pestaña de “Pruebas” en el software Bombas2010_v1.0, los resultados son visualizados en graficas distribuidas en tres pestañas: Ht vs. Q, Pw vs Q, n vs Q; estas graficas son realizadas en tiempo real según se van recolectando los datos, en el mismo eje se dibuja la grafica original de color azul y la grafica ajustada de color rojo mediante un modelo de tipo cuadrático (figura 4.13).

a) Prueba de una Bomba Monoetapa.

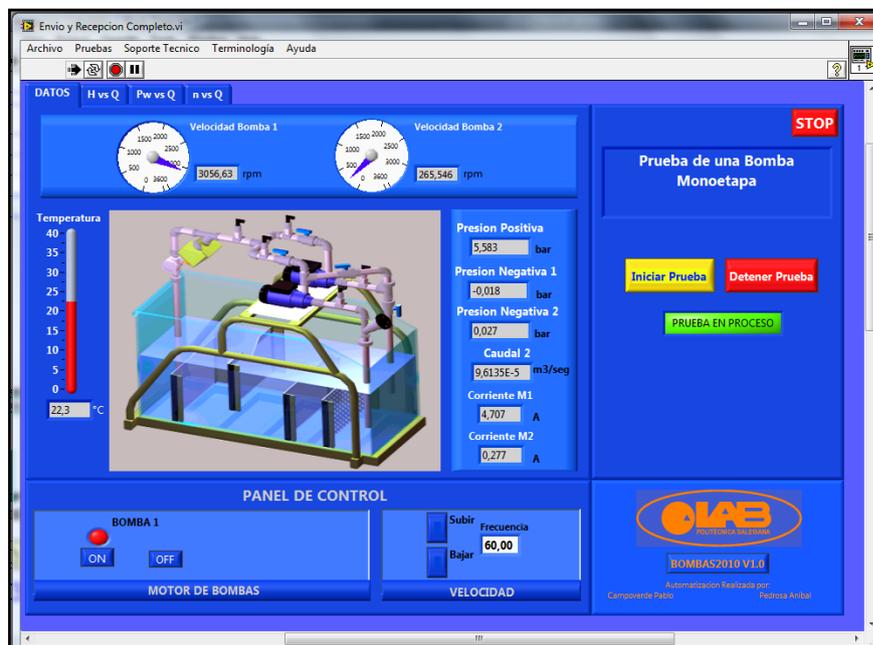


Figura4.13: Prueba de una bomba monoetapa.

Ht vs Q

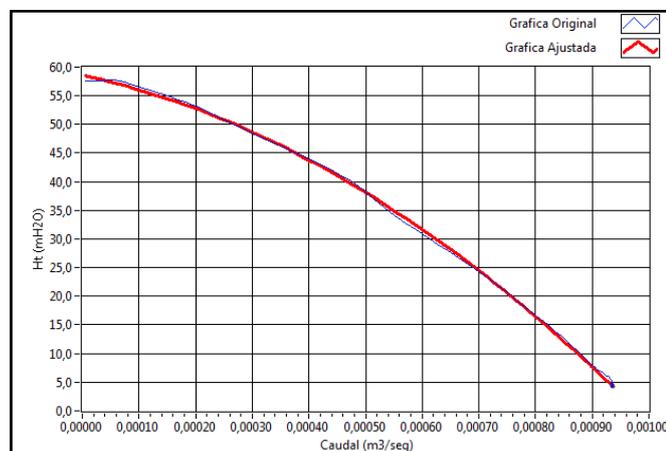


Figura 4.14: Curva Ht vs Caudal.

Pw vs Q

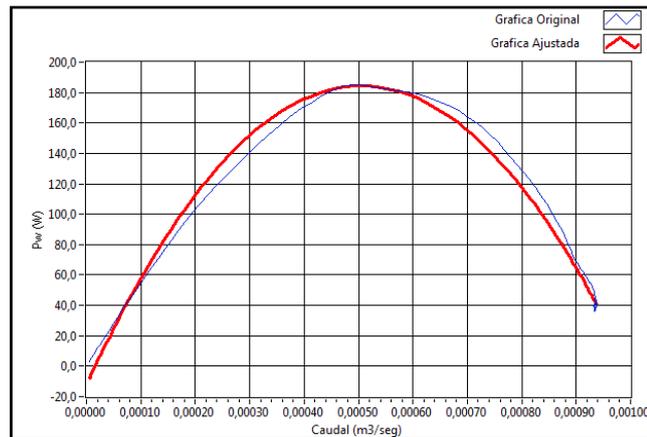


Figura 4.15: Grafica Pw vs Q.

η vs Q

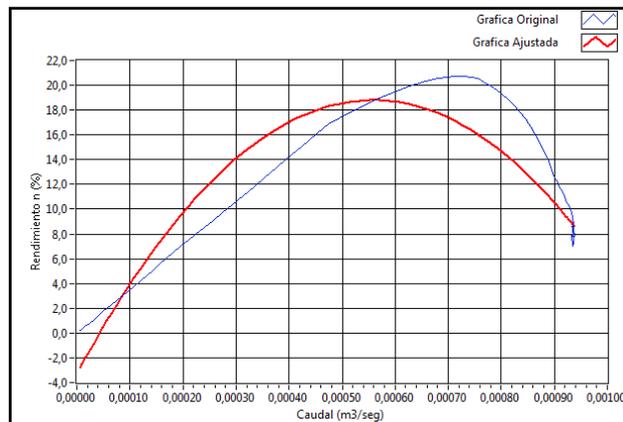


Figura 4.16: Grafica η vs Q.

b) Prueba de Dos Bombas Monoetapa Iguales Conectadas en Serie o Paralelo.

En esta prueba es posible configurar el banco en paralelo y en serie, la configuración de las válvulas esta especificado en la ayuda del software

1) Prueba en Paralelo.

En esta prueba el caudal se duplica y la presión de descarga se mantiene .

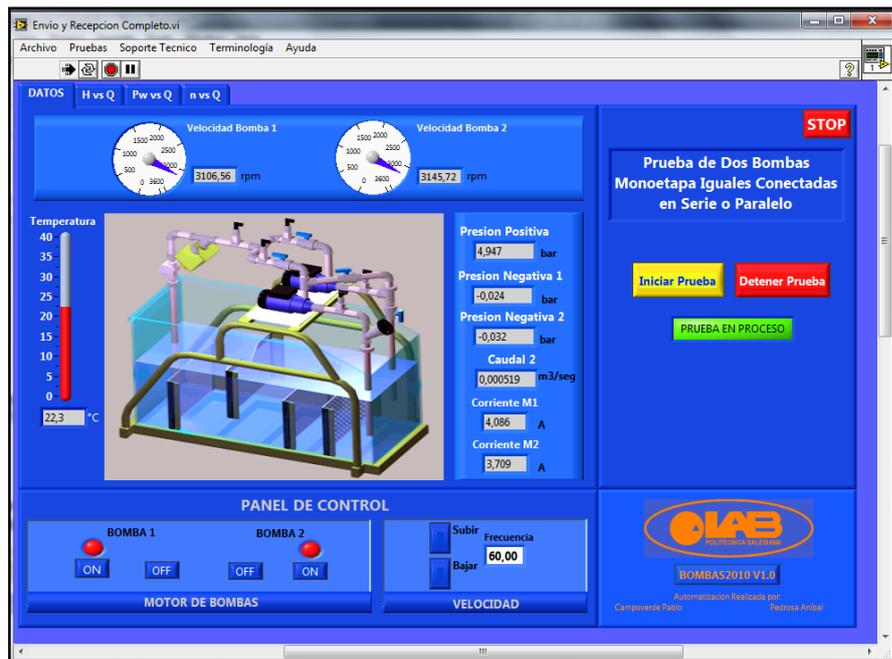


Figura 4.17: Prueba de dos bombas monoetapa iguales conectadas en paralelo.

Ht vs Q

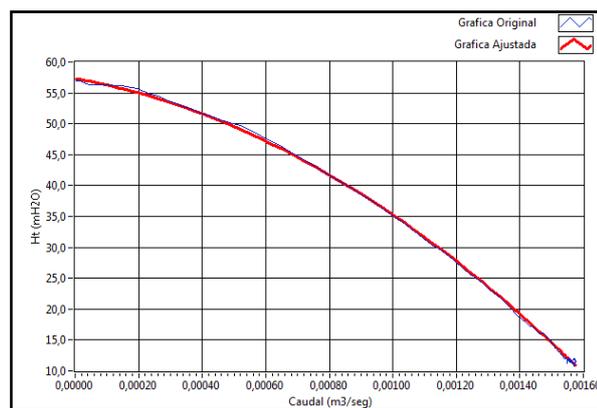


Figura 4.18: Grafica Ht vs Q.

Pw vs Q

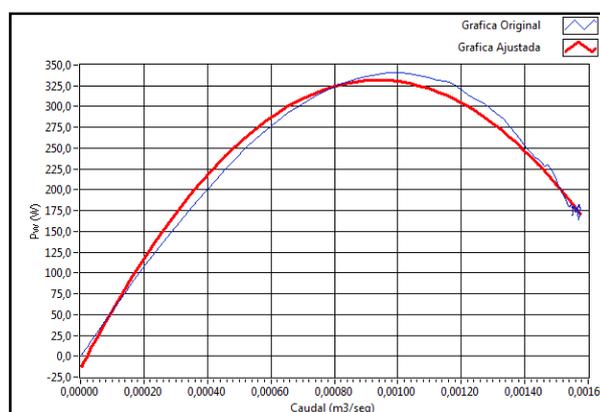


Figura 4.19: Grafica Pw vs Q.

N vs Q

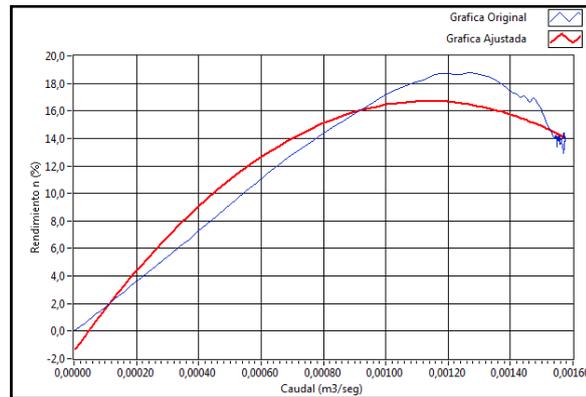


Figura 4.20: Gráfica n vs Q

2) Prueba en Serie

En esta prueba el caudal se mantiene igual pero la presión descarga se duplica.

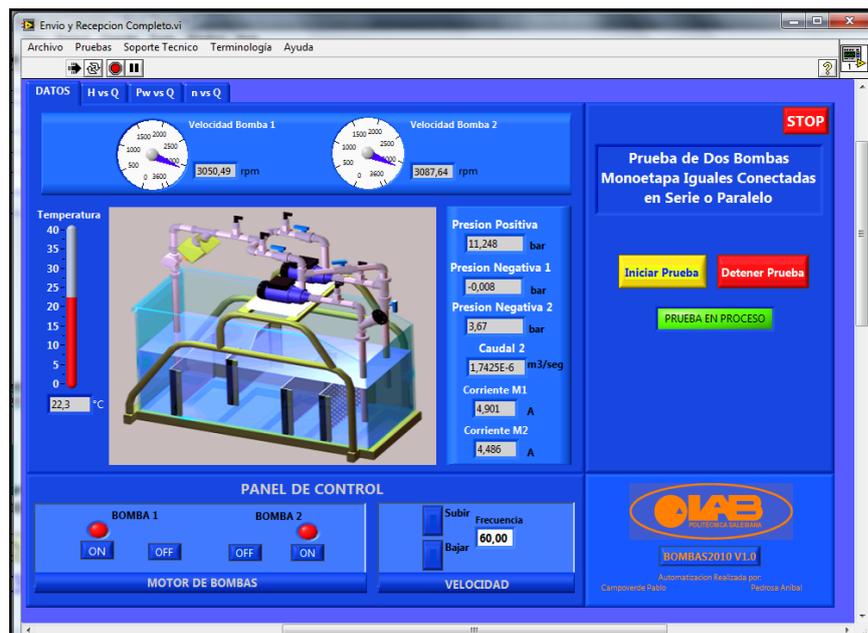


Figura 4.21: Prueba de Dos Bombas monoetapa iguales conectadas en serie.

Ht vs Q

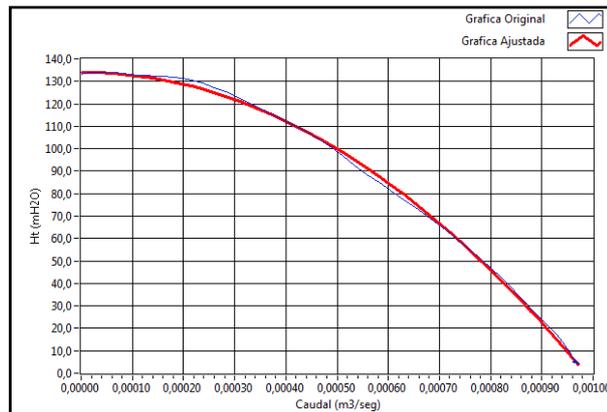


Figura 4.22: Grafica de Ht vs Q.

Pw vs Q

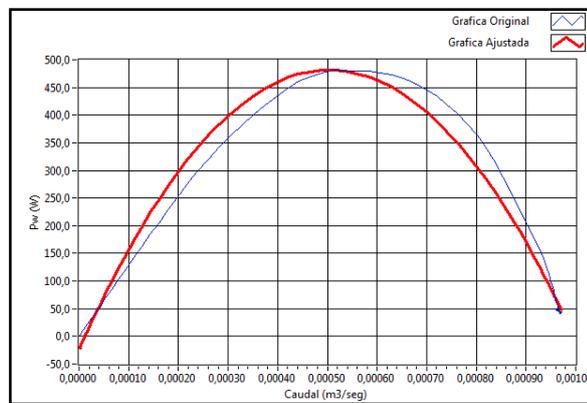


Figura 4.23: Grafica Pw vs Q.

N vs Q

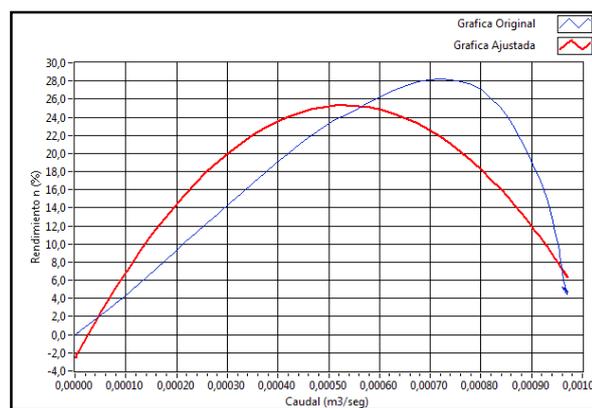


Figura 4.24: Grafica η vs Q.

c) Prueba de cavitación de una Bomba Monoetapa

En esta prueba se va cerrando porcentualmente las válvula de descarga, hasta cortar definitivamente el paso del líquido. Al mismo tiempo en el software Bombas2010_v1.0, se obtienen las graficas de las curvas características de la bomba utilizada para la prueba (figuras 4.26, 2.27, 4.28).



Figura4.25: Prueba de cavitación de una bomba.

Ht vs Q

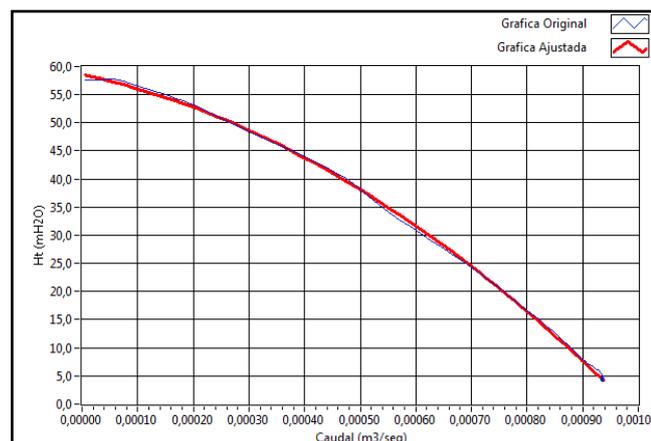


Figura 4.26: Curva cabeza total vs caudal.

Pw vs Q

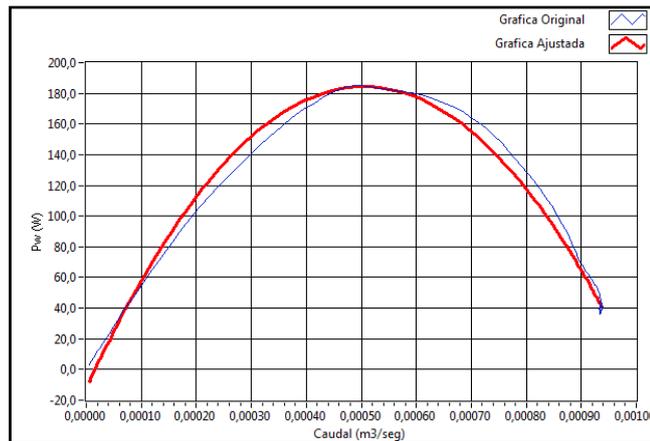


Figura 4.27: Gráfica Pw vs Q.

η vs Q

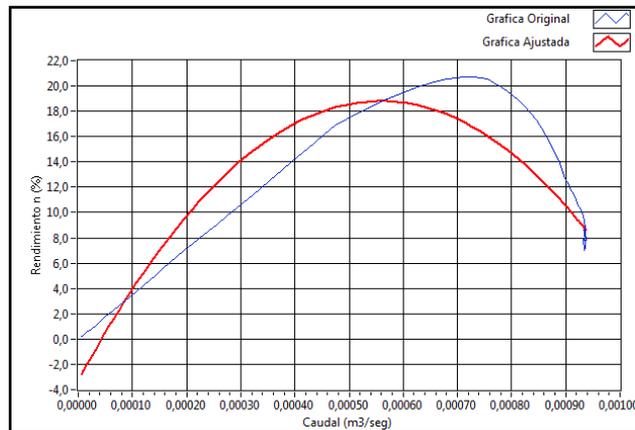


Figura 4.28: Gráfica η vs Q.

d) Prueba de una bomba a velocidad Variable

En esta prueba procedemos a ir variando la velocidad de la bomba porcentualmente desde su mínima hasta alcanzar su máxima velocidad. Al mismo tiempo en el software Bombas2010_v1.0, se van graficando las curvas características de la bomba centrífuga utilizada para realizar la prueba (figuras 4.30, 4,31, 431).



Figura 4.29: Prueba de una bomba a velocidad variable.

Ht vs Q

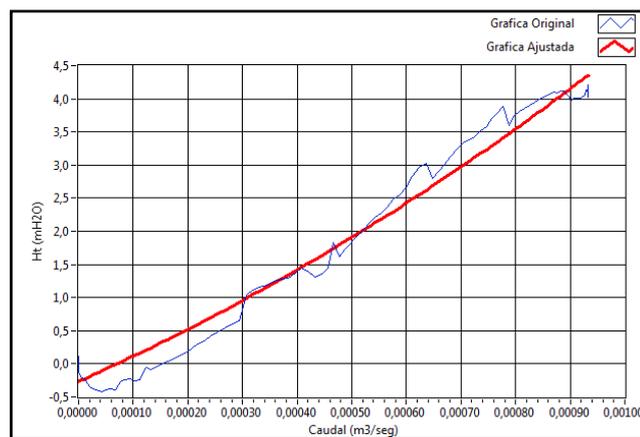


Figura 4.30: Grafica cabeza total vs caudal.

Pw vs Q

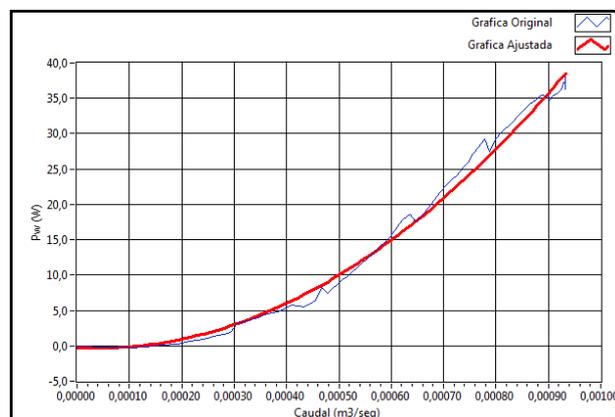


Figura 4.31: Potencia hidráulica vs caudal.

η vs Q

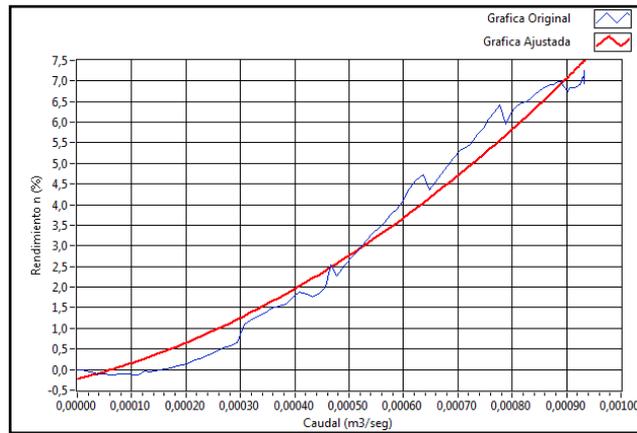


Figura 4.32: Rendimiento vs caudal.

4.1.2.8 PRUEBAS DEL BANCO.

Para la verificación del banco de pruebas para bombas centrífugas, se procedió de forma visual resaltando las partes que lo conforman en su funcionamiento general (figura 4.33d).

El banco consta de una etapa de potencia (figura 4.33a), una etapa de control (figura 4.33b), su estructura mecánica (figura 4.33d), y un control independiente para el encendido de la niquelina (figura 4.33c).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.33: a) Etapa de potencia. b) Etapa de control. c) Control independiente para encendido de la niquelina. d) Banco de pruebas para bombas centrífugas.

4.1.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Sensor de presión positiva.

Como pudimos apreciar en la tabla 4.4(a), entre las mediciones realizadas tenemos una diferencia del 1.29% lo que nos da una exactitud del 98.7%; de igual forma en la tabla 4.4(b), tenemos que el coeficiente de variación del 2.026%, lo cual nos proporciona una precisión del 97.97%, estos resultados indican que los valores medidos están dentro de los rangos aceptables.

Sensor de presión negativa bomba 1.

Como se puede apreciar en la tabla 4.5 (a) entre las mediciones realizadas tenemos una diferencia del 1.61% lo que nos da una exactitud del 98.387%; de igual forma en la tabla 4.5(b), tenemos que el coeficiente de variación del 0,674%, lo cual nos proporciona una precisión del 99.326%, estos resultados indican que los valores medidos están dentro de los rangos aceptables.

Sensor de presión negativa bomba 2.

Según los datos mostrados en la tabla 4.6 (a) entre las mediciones realizadas tenemos una diferencia del 5.317% lo que nos da una exactitud del 94.683%; de igual forma en la tabla 4.6(b), tenemos que el coeficiente de variación del 1,445%, lo cual nos proporciona una precisión del 98.555%, estos resultados indican que los valores medidos están dentro de los rangos aceptables.

Sensor de Temperatura.

De acuerdo a los datos mostrados la tabla 4.7 (a) entre las mediciones realizadas tenemos una diferencia del 2.534% lo que nos da una exactitud del 94.683%; de igual forma en la tabla 4.7 (b), tenemos que el coeficiente de variación del 0,188%, lo cual nos proporciona una precisión del 99.812%, estos resultados indican que los valores medidos están dentro de los rangos aceptables.

Sensor de Velocidad bomba 1.

Según los datos mostrados en la tabla 4.8 (a) entre las mediciones realizadas tenemos una diferencia del 0.094% lo que nos da una exactitud del 99.906%; de igual forma en la tabla 4.8 (b), tenemos que el coeficiente de variación del 0,022%, lo cual nos proporciona una precisión del 99.978%, estos resultados indican que los valores medidos están dentro de los rangos aceptables.

Sensor de Velocidad bomba 2.

Como se aprecia en la tabla 4.9 (a) entre las mediciones realizadas tenemos una diferencia del 1.777% lo que nos da una exactitud del 98.223%; de igual forma en la tabla 4.9 (b), tenemos que el coeficiente de variación del 0,071%, lo cual nos proporciona una precisión del 99.29%, estos resultados indican que los valores medidos están dentro de los rangos aceptables.

Sensor de Corriente Bomba 1.

Como se puede apreciar en la tabla 4.10 (a) entre las mediciones realizadas tenemos una diferencia del 1.823% lo que nos da una exactitud del 98.177%; de igual forma en la tabla 4.10 (b), tenemos que el coeficiente de variación del 0,280%, lo cual nos proporciona una precisión del 99.720%, estos resultados indican que los valores medidos están dentro de los rangos aceptables.

Sensor de Corriente Bomba 2.

Según los datos obtenidos en la tabla 4.11 (a) entre las mediciones realizadas tenemos una diferencia del 2.859% lo que nos da una exactitud del 97.241%; de igual forma en la tabla 4.11 (b), tenemos que el coeficiente de variación del 0,269%, lo cual nos proporciona una precisión del 99.731%, estos resultados indican que los valores medidos están dentro de los rangos aceptables.

Sensor de Caudal.

Como se aprecia en la tabla 4.12 (a) entre las mediciones realizadas tenemos una diferencia del 2.258% lo que nos da una exactitud del 97.742%; de igual forma en la tabla 4.12 (b), tenemos que el coeficiente de variación del 0,111%, lo cual nos proporciona una precisión del 99.889%, estos resultados indican que los valores medidos están dentro de los rangos aceptables.

CONCLUSIONES.

Finalizado el proyecto, podemos concluir que nuestro objetivo planteado se ha alcanzado exitosamente, el Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas del Laboratorio de Máquinas Hidráulicas de la Universidad Politécnica Salesiana Sede-Cuenca, ha sido Automatizado en su totalidad, respetando las exigencias de su funcionamiento y manipulación para todas las prácticas que se han de llevar a cabo en este. Resaltando también, que las mediciones realizadas con el sistema implementado y previo a su verificación, son de alta confiabilidad, por lo que su utilización en la obtención de las curvas características que definen el comportamiento de las bombas centrifugas satisfacen nuestras expectativas, esto también se confirma, al comparar las gráficas obtenidas, con las curvas analizadas en la teoría del capítulo I, sección 1.2.2.5.

Los sensores implementados en el banco de pruebas para bombas centrifugas son muy importantes, pues la veracidad en sus mediciones garantizan los resultados obtenidos. Considerando su importancia, la exigencia en la adquisición, procesamiento y manipulación de sus señales fueron las máximas, pues, sus resultados obtenidos se aplican directamente en la formulación estudiada en el capítulo I, para la obtención de las curvas características. Los resultados obtenidos en las mediciones realizadas con el sistema implementado, son muy satisfactorias, después de las pruebas realizadas se pudo confirmar, que los errores de precisión y exactitud en las mediciones realizadas son mínimos y se encuentran dentro de los rangos aceptables para los instrumentos de medición. En la tabla C.1, se puede observar los márgenes de precisión y exactitud obtenidos para cada sensor incorporado en el banco.

Sensor	Precisión (%)	Exactitud (%)
Presión (Hd)	97.97	98.7
Presión (Hs1)	99.32	98.38
Presión (Hs2)	99.55	94.68
Caudal	99.88	97.74
Temperatura	99.81	97.46
Velocidad (n1)	99.97	99.9
Velocidad (n2)	99.29	98.22
Corriente (I1)	99.72	98.17
Corriente (I2)	99.73	97.24

Tabla C.1: Precisión y exactitud en las mediciones realizadas con los sensores.

Los resultados con las curvas características obtenidas son satisfactorios, estas se obtienen directamente, utilizando las mediciones realizadas con el sistema implementado y aplicando la formulación estudiada en el capítulo I, sección 1.2.4. Las curvas características principales que describen el comportamiento de las bombas centrífugas son: cabeza total-caudal (H_t-Q) la cual presenta una elevación de la cabeza total hasta que alcanza su valor máximo con el caudal en cero (figura 4.14, potencia hidráulica-caudal (P_w-Q) esta curva representa una potencia hidráulica máxima cuando la presión sube, y se hace cero cuando el caudal es cero, como vemos en la figura 4.15, rendimiento-caudal ($\eta-Q$) representa la relación entre la potencia de entrada al eje de la bomba y la potencia entregada por esta, es decir la potencia hidráulica, esta curva alcanza su mayor valor cuando la potencia hidráulica es alta como se muestra en la figura 4.16, estas curvas obtenidas mediante el software nos indican que los datos obtenidos y su posterior análisis están realizados correctamente ya que concuerdan con el funcionamiento teórico de una bomba centrífuga descrito en el capítulo I.

El objetivo planteado como la elaboración de un software para la visualización de las curvas características de las bombas centrífugas, se lo ha cumplido como se puede ver en las figuras de la 4.13 a la 4.32 que es donde se muestran todas las pruebas que el software es capaz de realizar, este software además puede comandar a las bombas desde su interfaz grafica en el panel de control que se muestra en la figura 3.39.

El banco de pruebas requiere además no estar siempre subordinado a una PC, es por esta razón que planteamos el objetivo de realizar una interfaz grafica de usuario, en donde el estudiante pueda comandar el funcionamiento de las bombas y además visualizar los datos recolectados por los sensores, estos datos se pueden visualizar en las unidades requeridas para la construcción de las curvas gracias a las constantes calculadas en el capítulo 3 en la sección 3.3.2. La interfaz grafica presenta los controles y la visualización planteada como objetivo, esta visualización se la realiza a través de un LCD de 4 líneas por 20 caracteres que está colocado en un panel de control que se puede ver en la figura 3.7

Dentro del objetivo de realizar un banco de pruebas consideramos que el sistema debía presentar facilidad en el manejo y robustez en su funcionamiento, por lo que se lo realizo pensando en los posibles errores de manejo y malas manipulaciones del mismo, además de que el software debía contener toda la información necesaria para que el usuario aproveche en su totalidad la capacidad del banco para pruebas de bombas centrifugas, esta información está disponible en el menú “Soporte Técnico”, “Terminología” y en “Ayuda” como podemos ver en la figura 3.37, para facilitar el funcionamiento se planteo que el sistema tuviera un número reducido de elementos de control, como pulsantes o switch, este planteamiento inicial fue alcanzado gracias al detector de flancos descendentes implementado en el sistema, el que se puede ver en la figura 3.31, este circuito permite el cambio del modo manual al automático, sea detectado automáticamente, esto quiere decir que cuando la conexión del cable USB se detecta el sistema pasa a modo USB y si detecta la desconexión este vuelve a modo manual, lo que permite que sean reducidos los controles para el cambio de modos de funcionamiento.

RECOMENDACIONES.

Para utilizar el banco se recomienda previamente la lectura del manual: banco de pruebas para bombas centrifugas.

Antes de poner en funcionamiento el sistema verificar que el pulsante de *paro de emergencia* no se encuentre activado y que las tres fases estén llegando correctamente al banco, esto se comprueba mediante los focos pilotos verdes ubicados en el gabinete de potencia.

Antes de realizar una práctica en el banco de pruebas se recomienda que el estudiante haya revisado previamente la teoría acerca del funcionamiento de las bombas centrifugas.

Se recomienda que el llenado del tanque se lo realice solo en la cantidad necesaria y bajo supervisión, ya que un desborde del líquido podría ocasionar daños al circuito de control de las bombas.

Para el correcto funcionamiento de las bombas centrifugas se necesita que estén llenas de fluido, pues en el caso estar llenas de cualquier gas como el aire no funcionarían correctamente, por esta razón se recomienda que las bombas sean cebadas si están fuera de funcionamiento durante un tiempo largo, el cebado de la bomba consiste en llenar de líquido la tubería de aspiración succión y la carcasa de la bomba, para facilitar la succión de líquido, evitando que queden bolsas de aire en el interior.

Teniendo en cuenta el tipo de prueba a realizar verificar la posición de las válvulas para obtener los resultados deseados.

Verificar que las bombas este detenidas al momento de realizar el cambio del modo manual al USB o viceversa.

Es importante tener en cuenta que la tubería implementada en el sistema no está diseñada para soportar temperaturas elevadas, por lo que se recomienda que la niquelina sea accionada solo hasta llegar a una temperatura máxima de 40 grados centígrados.

Se recomienda que la niquelina sea encendida solo cuando el tanque contenedor de agua se encuentre lleno, ya que de hacerlo sin agua esta podría quemarse y se pone en riesgo la integridad del banco.

Teniendo en cuenta el tipo de prueba a realizar verificar la posición de las válvulas para obtener los resultados deseados.

Finalizado todas las pruebas asegurarse que el tanque contenedor de agua sea vaciado, para evitar la corrosión del mismo.

ANEXO A:

**HOJA DE DATOS DE LOS
SENSORES DE PRESIÓN, CAUDAL,
VARIADOR DE FRECUENCIA Y
LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.**

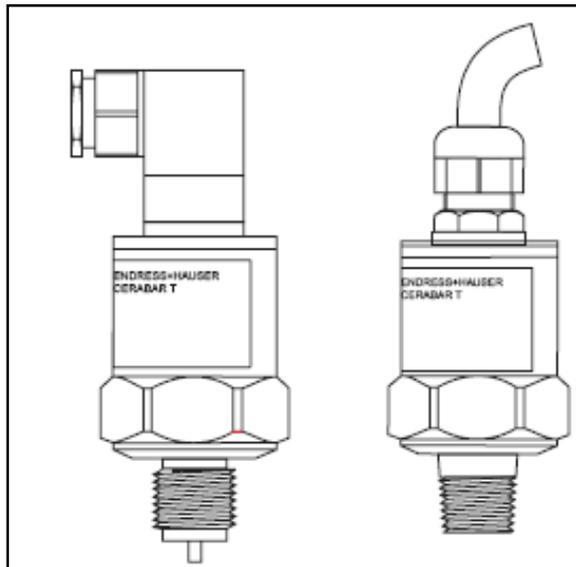
ANEXO A1:

HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE PRESIÓN.

Transmisor de presión.

KA 085P/00/a6/02.05
52027537

**cerabar T
PMC 131**

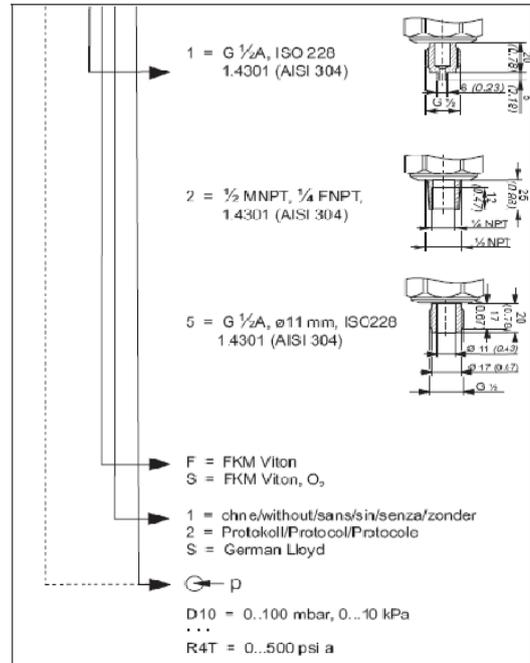
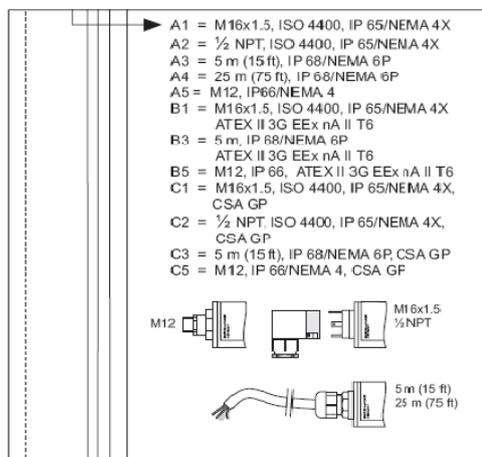
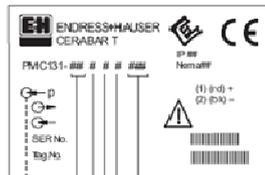


Notas sobre seguridad.

Cerabar T está diseñado para medir presión absoluta y relativa en gases, vapores, líquidos y sólidos pulverulentos. Su empleo inapropiado puede ser peligroso. El equipo deberá ser montado, conectado, instalado y mantenido única y exclusivamente por personal calificado y autorizado, bajo rigurosa observación de las presentes instrucciones de servicio y de la información técnica TI 279P, de las normativas y legislaciones vigentes, así como de los certificados (dependiendo de la aplicación).



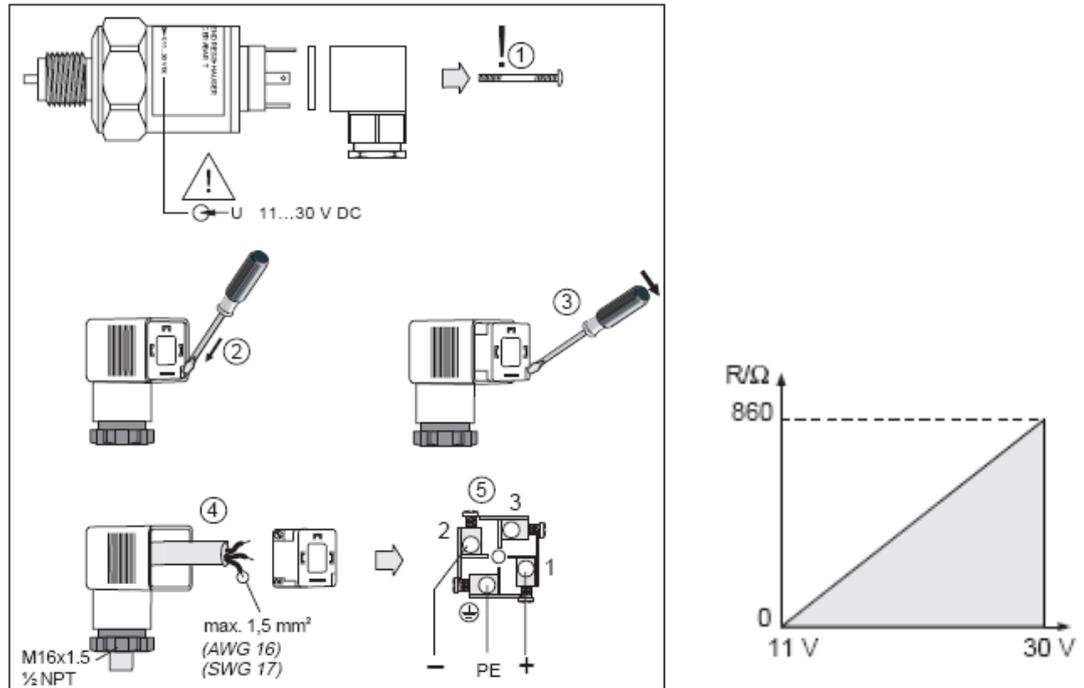
Identificación del equipo.



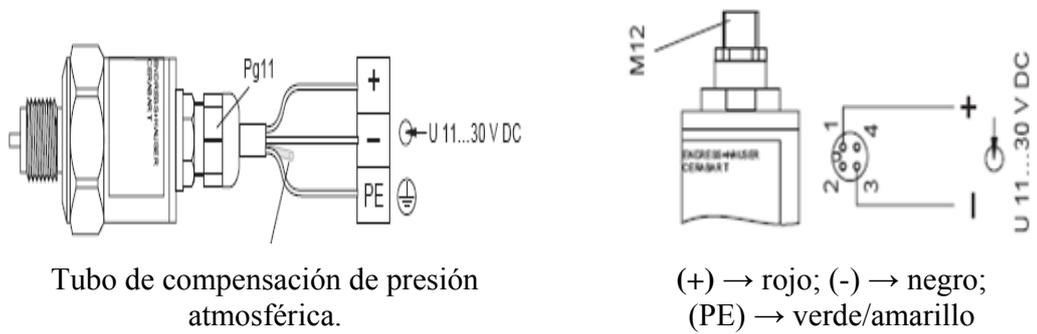
Montaje.

- El funcionamiento del transmisor de presión PMC 131 es independiente de la orientación del montaje.
- No retirar la protección del casquillo roscado hasta el momento previo a su instalación para evitar dañarla rosca o el diafragma de presión.
- El transmisor de presión se deberá montar con un manómetro. El procedimiento es el mismo. Utilizar válvulas de corte y sifón.
- Durante la instalación asegurar que no entre agua en la caja.
- Observar los límites de utilización en oxígeno (para FKP Viton/O₂ según lista BAM).

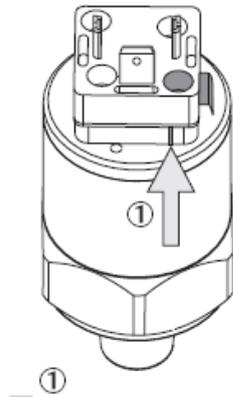
Conexión eléctrica con conector.



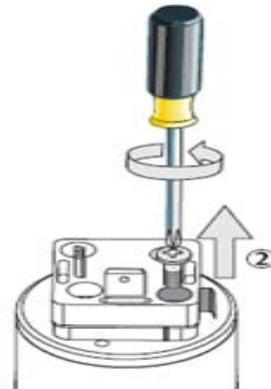
Conexión eléctrica Cable/Conector.



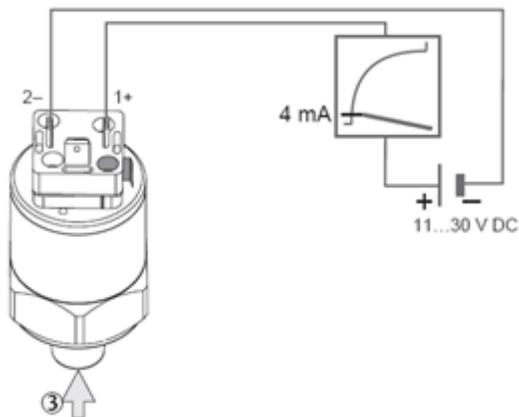
Ajuste del punto cero.



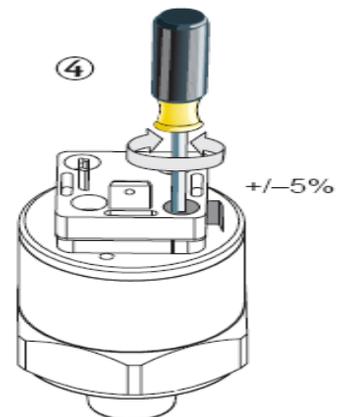
1) Marca para el potenciómetro.



2) Desatornillar.



3) Simulación de medida de presión inicial.



4) Rango de ajuste. $\pm 5\%$

Condiciones de operación.

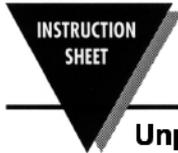
- Rango de temperatura ambiental -20 hasta 85 grados centígrados.
 - Rango de temperatura de almacenamiento -50 hasta 100 grados centígrados.
 - Temperatura máxima de trabajo +100 grados centígrados.
 - Presión máxima de trabajo (p_{max}).
-

ANEXO A2:

HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE CAUDAL.



**FPR130 Series
Pulse Output Flow Sensors**



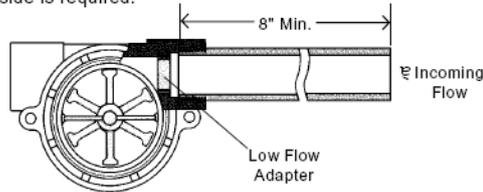
M1982/0999

Unpacking

Remove the Packing List and verify that you have received all equipment. If you have any questions about the shipment, please call the OMEGA Customer Service Department. When you receive the shipment, inspect the container and equipment for any signs of damage. Note any evidence of rough handling in transit. Immediately report any damage to the shipping agent. **NOTE:** The carrier will not honor any claims unless all shipping material is saved for their examination. After examining and removing all contents, save packing material in event reshipment is necessary.

Description

The OMEGA® FPR130 Pulse Output Flow Sensors are used for flow rate monitoring or metering applications. The sensors provide a pulsed dc voltage output that is proportional to the rate of flow. The 4.5 to 24 Vdc pulsed output is easily integrated into most pulse input devices. The FPR130 units monitor dynamic fluid flow. The rotor reacts to turbulence, pulsation, entrained air, and other flow anomalies induced in the flow stream by other process hardware. For optimum performance, install FPR130 units where nominal flow conditions exist, with ports located at the top. Incoming flow may be placed to either port. A minimum of 8" of straight pipe on the inlet side is required.



Applications

- Water Purification/Dispensing Systems
- Chemical Metering Equipment
- Water Sampling
- Ice-Making Machinery
- Water Injection Systems
- Proof of Delivery Systems

Low Flow Applications

A low flow adapter is supplied with most FPR130 units. It is used to produce accurate response at low flow rates. Press-fit the adapter as shown above, in the port selected for incoming flow. **See Flow Range chart below:**

Body Material	Port Size NPT	Part Number	Flow Range - GPM			K-Factor (Pulses/Gal)	
			Standard Range	Low Flow Range	Adapter Part Number	Standard	Low Flow
Polypropylene	.25"	FPR131	0.5 - 5.0	0.1 - 1.0	152147	2196	10,900
	.50"	FPR132	4.0 - 20.0	1.5 - 12.0	151832	611	959
Brass	.25"	FPR133	0.5 - 5.0	0.1 - 1.0	152147	1529	10,080
	.50"	FPR134	4.0 - 20.0	1.5 - 12.0	151832	627	971
	.75"	FPR135	3.0 - 30.0	N/A	N/A	243	N/A

WARNING

When determining chemical compatibility of materials of construction, the flow media and application-associated environmental conditions should be carefully considered.

Installation

FPR130 sensors connect to piping via NPT mating thread forms. The following guidelines are provided to assist with installation for a leak-free seal, without damage to the unit:

- 1) Apply pipe thread sealant to male pipe threads.
- 2) Thread FPR130 unit onto male pipe thread until hand-tight.
- 3) Tighten pipe 1 to 1-1/2 additional turns.
- 4) If improper seal results, continue turning pipe into unit in 1/4 turn increments.

Do not exceed one additional turn on plastic versions.
Recommended Pipe Sealants: Teflon® Thread Tape.

Electrical Data

Input power and output are connected via a multi-conductor, PVC-jacketed 24" cable. Color codes are shown below:

+Vdc - Power In	Red
Power and Signal Ground	Black
Signal Output - High	White

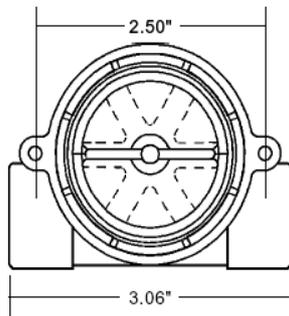
This is a PNP output. A 5-10 K Ω pull-down resistor is needed between black and white wires. For units without a pull-down resistor (such as the DPF70 Series), the DPF700 meter does not require an external pull-down resistor, since it can be set up for PNP output.

Panel Mounting

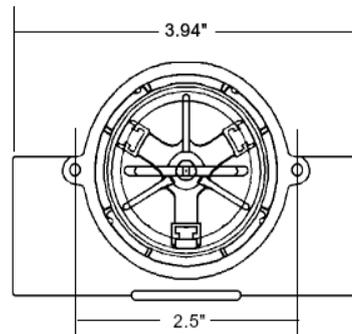
Any FPR130 sensor may be panel mounted using holes integrated into the bodies:

Plastic (Polypropylene) Bodies: Two (2) mounting ears are provided at the body centerline to receive #8 self-tapping screws. **Note:** ANSI T Type 23 self-tapping screws are recommended. They may be replaced with standard machine screws if reinstallation should be required.

Brass and Stainless Steel Bodies: Two (2) mounting holes are provided on the body centerline, as shown below. #8-32UNC-2B screws are required for mounting.



Plastic, Brass, Stainless Steel
1/4", 1/2", 9/16"-18



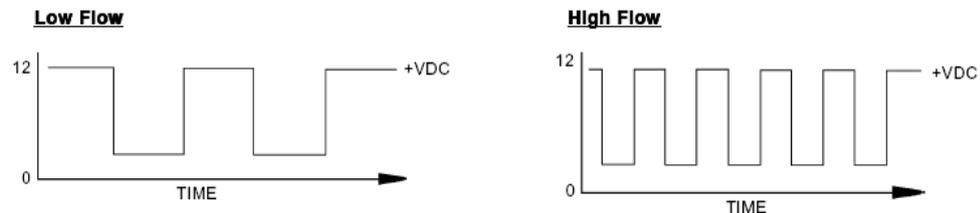
Brass/Stainless Steel
3/4" & 1"

Accuracy/Calibration

The accuracy of the FPR130 Series pulse output flow sensors is $\pm 15\%$ of full scale flow rate for the 4 to 20 GPM and 6 to 30 GPM ranges. All other ranges have an accuracy of $\pm 7\%$ of full scale flow rate. Improved accuracy can be achieved by calibrating the individual flow sensor by counting the number of pulses generated as a known volume of liquid passes through the sensor. Pulses generated, divided by gallons of water collected during the test, equals the specific K-factor for your FPR130 sensor. Nominal K-factors are given in the flow range chart on page 1 of this instruction sheet.

Signal Output

Output signal for the FPR130 series is an on/off pulse of the DC voltage supplied to the unit. It is compatible with most pulse input devices. **Input voltage range** is 4.5 to 24 VDC. Frequency of the output pulse is proportional to the flow rate and ranges from approximately 25 Hz at low flow to 225 Hz at high flow. **See example below:**



Filtration and Cleaning

150 micron filtration is recommended. However, should foreign particles enter the FPR130 sensor, accumulation is easily cleared by removing the lens from the body. The lens is removed by turning its center rib 45° counter-clockwise and then pulling it out. To reinstall the lens, simply reverse the process. Pressure must be relieved from the system prior to sensor clean-out.

**A Repair Kit is available, including the following replacement parts:
lens, O-ring, shaft, and rotor. Consult Sales Department.**

Specifications

Wetted Materials

Body:	Brass or Polypropylene (Hydrolytically Stable, Glass-Reinforced) [†]
Rotor Pin:	Ceramic
Rotor:	PPS/Teflon Composite; Black
Lens:	Polysulfone
O-Ring:	Buna N or Viton

Operating Pressure, Max.

Brass Body	200 PSIG at 70°F
Polypropylene Body	100 PSIG at 70°F

Operating Temperature, Max.

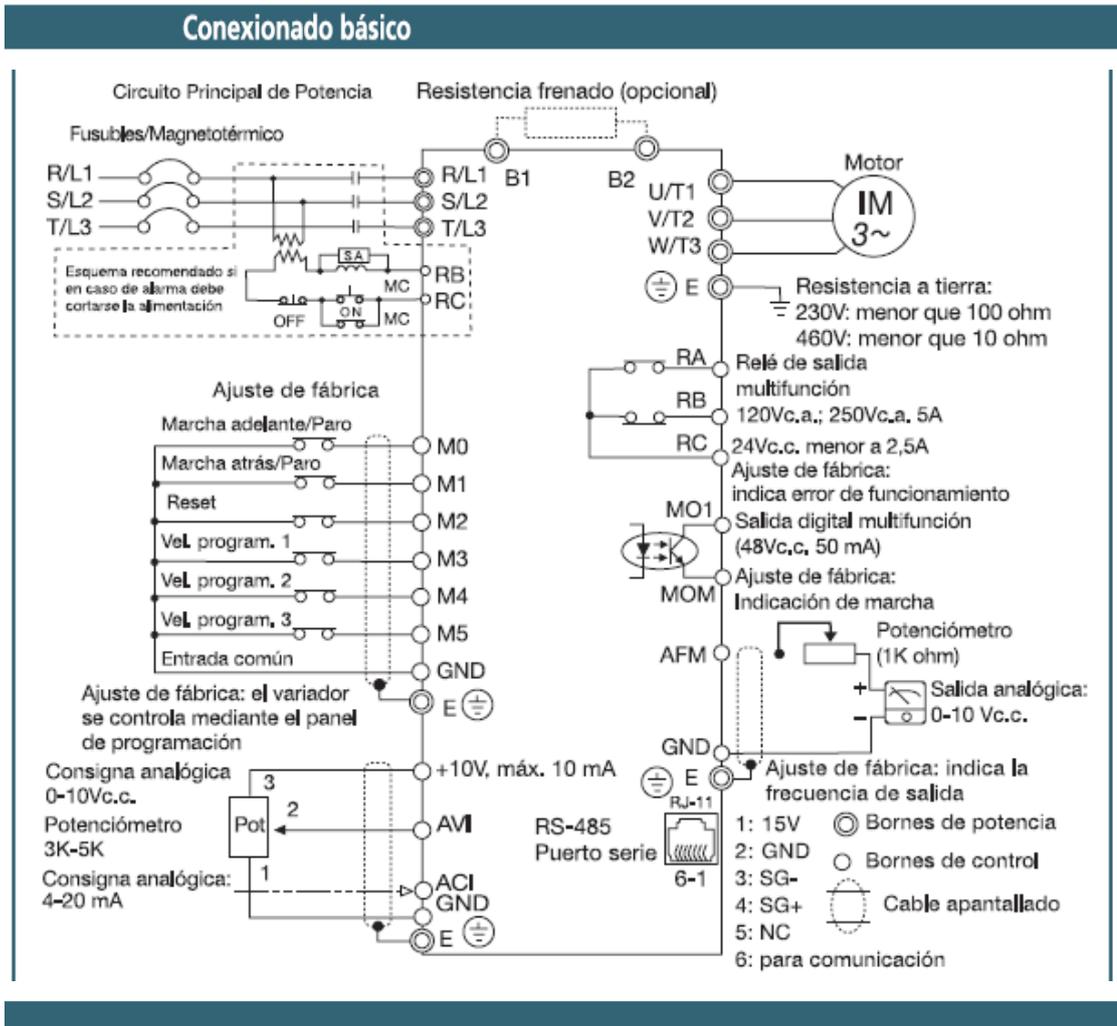
Brass Body	212°F (82.2°C)
Polypropylene Body	180°F (82.2°C)
Electronics (Both Bodies)	150°F (65.5°C) - Ambient

Viscosity, Max.	200 SSU
Input Power	4.5 to 24 Vdc
Output Signal	4.5 to 24 VDC Pulse. Pulse rate dependent on flow rate, port size, and range
Max. Current Source Output	50mA (Max)
Frequency Output Range	25 Hz Low Flow to 225 Hz High Flow
Electrical Termination	22 AWG PVC-Jacketed, 24" Cable Color Coded: Red = +VDC, Black = Ground, White = Signal Output

[†] Hydrolytically stable, glass-reinforced, Polypropylene is UL-recognized to UL746B at a relative temperature index of 65°C

ANEXO A3:

HOJA DE DATOS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.



ASIA: DELTA ELECTRONICS, INC. Taiwan
 NORTH/SOUTH AMERICA: DELTA PRODUCTS CORPORATION. U.S.A.
 EUROPA: DELTRONICS, BV. Netherlands
 JAPAN: DELTA ELECTRONIC, INC. Japan
 www.deltaww.com



Distribuidor para España y Portugal
 Àlaba, 60
 08005 BARCELONA
 Tel. 93 300 03 57 • Fax 93 309 44 79
 www.mecmod.com
 mecmod@mecmod.com



ISO-9001 REGISTERED

DELTA VFD-M



Convertidores de frecuencia vectoriales para motores hasta 7,5 kW

Pocas aplicaciones habrá que se le resistan a los VFD-M gracias a su control vectorial de lazo abierto, capaz de proporcionar 150% de par a 1Hz, que los hace muy adecuados para aplicaciones de posicionamiento en el segmento de las potencias pequeñas y medianas.

Incorporan 5 entradas digitales, relé de salida + salida de colector abierto, salida analógica, consola remotizable que incorpora display, teclado y potenciómetro, comunicación RS485 de serie, transistor de frenado y una lista muy completa de funciones parametrizables.

Incluye un control PID muy completo, con la función "dormir/despertar", para resolver perfectamente aplicaciones

de regulación de una bomba, ventilador, etc. Facilidad de manejo por su concepto racional y simple de la programación a través de la consola.

Aplicaciones de posicionado

Las aplicaciones de posicionado exigen al variador un buen comportamiento a baja velocidad: alta repetibilidad de la velocidad, independientemente de la carga, y mantenimiento del par a baja frecuencia. Según la dinámica que requiera la aplicación, se precisará una resistencia de frenado para el paso de la velocidad rápida a la velocidad lenta de aproximación final.

Los variadores DELTA VFD-M encajan perfectamente en este tipo de aplicaciones, gracias a su modo vectorial con ajuste automático y a su compensación de deslizamiento. Además, están provistos de transistor de frenado de serie.

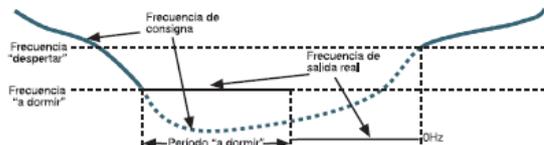
Control PID con función "dormir / despertar", para control de bombas y ventiladores.

Los variadores de frecuencia, mediante un control PID incorporado, se utilizan para mantener una presión, un caudal, o una temperatura, a base de regular automáticamente la velocidad del motor de accionamiento de la bomba o ventilador. Para la realimentación de la magnitud real del proceso, se utilizan transductores de presión, caudal o temperatura conectados directamente al variador.

Los variadores de frecuencia con PID, que no tengan la función "dormir / despertar", no resuelven

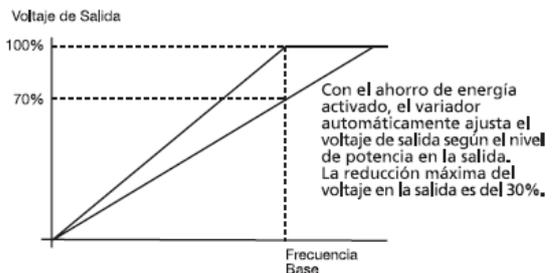
completamente este tipo de aplicaciones. Imaginemos, por ejemplo, una aplicación de bombeo. El motor de la bomba deberá correr más o menos, para mantener una presión constante, en función del caudal demandado. Cuando el caudal demandado es cero, el motor de la bomba debería pararse. Pero en la práctica, si el variador no tiene la función "dormir / despertar", lo que ocurre es que el motor, en vez de pararse, permanece girando a baja velocidad, con el consiguiente riesgo de recalentarse.

La función "dormir / despertar" de los variadores VFD-M, resuelve este problema: detiene del todo el motor cuando la frecuencia de salida ha permanecido baja y estable durante un tiempo determinado (parametrizable) y lo pone nuevamente en marcha cuando detecta que vuelve a haber necesidad de ello debido a una demanda de caudal.



Ahorro de energía automático

Cuando el motor esté trabajando a la velocidad de régimen, el variador calculará el voltaje de salida óptimo, en función de la carga, con objeto de ahorrar energía. (Ver el parámetro Pr.95 del manual del variador). Durante las fases de aceleración o deceleración no actúa esta función, para disponer de toda la tensión.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS										SERIE M	
Clase de Voltaje		Clase 230V (21)					Clase 460 V (43)				
Talla del equipo VFD- □□□ M21/43		004	007	015	022	007	015	022	037	055	075
Potencia Máx. de motor (kW)		0,4	0,75	1,5	2,2	0,75	1,5	2,2	3,7	5,5	7,5
Potencia Máx. de motor (CV)		0,5	1,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0	5,0	7,5	10
Salida	Potencia aparente nominal (kVA)	1,0	1,9	2,7	3,8	2,3	3,1	3,8	6,2	9,9	13,7
	Corriente de salida nominal (A)	2,5	5,0	7,0	10	3,0	4,0	5,0	8,2	13	18
	Voltaje máximo de salida (V)	Proporcional al voltaje de entrada									
Entrada	Frecuencia nominal (Hz)	0,1 a 400 Hz									
	Voltaje nominal	Monofásico 180 a 264V					Trifásico 342 a 528V				
	Rango de frecuencia	50/60Hz ± 5%									
Características del control	Filtro de RFI	Opcional exterior									
	Corriente de entrada nominal (A)	6,3	11,5	15,7	27	4,2	5,7	6,0	8,5	14	23
	Variador monofásico, utilizado como trifásico	2,9	7,6	8,8	12,5	-	-	-	-	-	-
	Sistema de Control	SPWM (Modulación sinusoidal por ancho de pulsos, frecuencia portadora 1kHz-15kHz)/ Control Vectorial de lazo abierto									
	Resolución de la frecuencia de salida	0,1Hz									
	Características del par	En modo vectorial, el par disponible puede llegar al 150% a 1,0Hz									
	Capacidad de sobrecarga	150% de la corriente nominal durante 1 minuto									
	Tiempo de aceleración/deceleración	0,1 a 600 segundos (2 configuraciones independientes para el tiempo de Acel/Decel)									
	Modelo V/F	Modelo V/F ajustable									
	Nivel de protección contra bloqueo	Ajustable en porcentaje de la corriente nominal									
Características operativas	Par de frenado	Aprox. 20% (hasta 125% con resistencia). Transistor de frenado incorporado									
	Ajuste de la frecuencia	Panel de Programación	Ajuste mediante teclas o potenciómetro								
		Señal externa	Potenciómetro -5k /0,5W, 0 a +10V ó a +5V (impedancia de entrada 47 k), interfaz RS-485, 4 a 20 mA (impedancia de entrada 250) velocidades programadas mediante las entradas digitales								
	Señal de marcha/paro	Panel de Programación	Mediante teclas RUN, STOP, FWD / REV								
		Señal externa	FWD/STOP, REV/STOP (RUN/STOP, FWD/REV) control mediante 3 hilos, comunicación serie								
	Señal de entrada multifunción	7 velocidades, Jog, inhibidor acel/decel, selector primera/segunda acel/decel, contador, arranque "al vuelo", operación PLC									
	Indicación de salida multifunción	Variador en funcionamiento, frecuencia alcanzada, indicación de alarma, indicación Local/Remoto, indicación funcionamiento PLC y voltaje bajo									
	Señal de salida analógica	Representativa de frecuencia de salida o de la corriente de salida									
	Otras funciones	Rampas en "S", prevención de sobrecorriente crítica, memorización de fallos, frecuencia portadora ajustable, frenado c.c., reinicio tras una falta de alimentación momentánea, límites de frecuencia, Bloqueo/Reset de parámetros, inhibición de marcha atrás, PID									
	Protección	Auto-diagnóstico, sobretensión, sobrecorriente, voltaje bajo, sobrecarga, sobrecalentamiento, fallo externo, corriente térmica electrónica, fuga a tierra									
Refrigeración	Ventilación forzada										
Ambiente	Ubicación	Altitud Máx. 1.000 m, mantenerlo alejado de gases corrosivos, líquido y polvo									
	Protección contra el polvo	Grado 2									
	Temperatura ambiente	-10°C a +50°C (Sin condensación ni escarcha) -10°C a +40°C para los modelos a partir de 5,5kW									
	Temperatura en el almacenaje	-20°C a +60°C									
	Humedad	Por debajo del 90% RH (sin condensación)									
Vibración	9,81m/s ² (1G) menos que 20Hz, 5,88m/s ² (0,6G) entre 20 y 50 Hz										
Dimensiones (mm)										SERIE M	
		Variador					Variador + filtro footprint				
	kW	Modelo	Altura	Anchura	Profundidad	Peso (kg)	Altura	Anchura	Profundidad		
1 x 230V	0,4	VFD004M21B	151	100	127	1,5	226	100	177		
	0,75	VFD007M21B	151	100	127	1,5	226	100	177		
	1,5	VFD015M21B	151	100	127	1,5	226	100	177		
	2,2	VFD022M21A	220	125	174,5	2,2	295	125	234,5		
3 x 400V	0,75	VFD007M43B	151	100	127	1,5	226	100	177		
	1,5	VFD015M43B	151	100	127	1,5	226	100	177		
	2,2	VFD022M43B	151	100	127	2,2	226	100	177		
	3,7	VFD037M43A	220	125	174,5	3,2	295	125	234,5		
	5,5	VFD055M43A	220	125	174,5	3,2	295	125	234,5		
	7,5	VFD075M43A	220	125	174,5	3,3	295	125	234,5		

ANEXO A4:

HOJA DE DATOS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.

PK

Pumps with peripheral impeller



PERFORMANCE RANGE

- Flow rate up to **90 l/min** (5.4 m³/h)
- Head up to **100 m**

APPLICATION LIMITS

- Manometric suction lift up to **8 m**
- Liquid temperature between **-10 °C** and **+60 °C**
- Ambient temperature up to **+40 °C**
- Max. working pressure:
 - **6.5 bar** for PK 60-65-70-80
 - **10 bar** for PK 90-100-200-300
- Continuous service **S1**

CONSTRUCTION AND SAFETY STANDARDS

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICATIONS



INSTALLATION AND USE

Suitable for use with clean water that does not contain abrasive particles and liquids that are not chemically aggressive towards the materials from which the pump is made.

Thanks to their reliability, the fact that they are easy to use and are economical, they are ideal for domestic use and in particular for distributing water in combination with small pressure sets and for the irrigation of gardens and allotments.

The pump should be installed in an enclosed environment, or at least sheltered from inclement weather.

PATENTS - TRADE MARKS - MODELS

- Motor bracket: patent n° IT1243605 (reduces the risk of the impeller locking after long periods of inactivity)
- PKm 60° is a registered trade mark
- Registered Italian model n° 72753

OPTIONALS AVAILABLE ON REQUEST

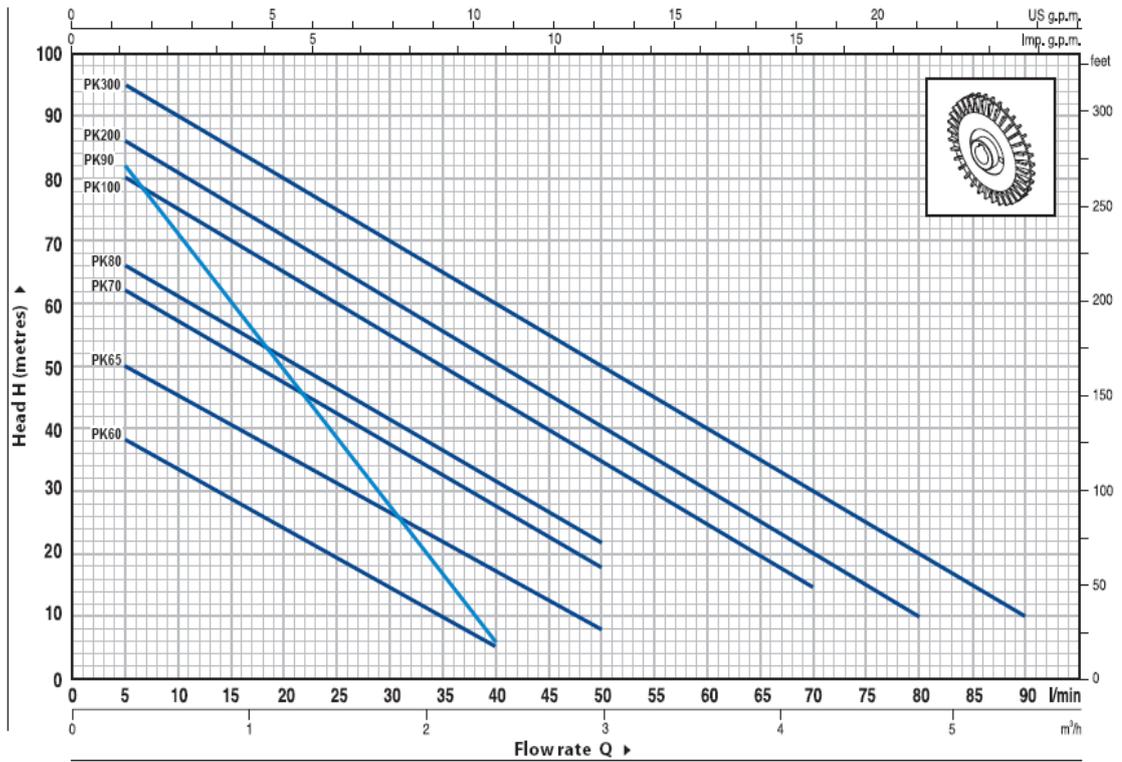
- Special mechanical seal
- Other voltages or 60 Hz frequency
- IP55 class protection

GUARANTEE

2 years subject to terms and conditions

CHARACTERISTIC CURVES AND PERFORMANCE DATA

50 Hz n= 2900 1/min HS= 0 m

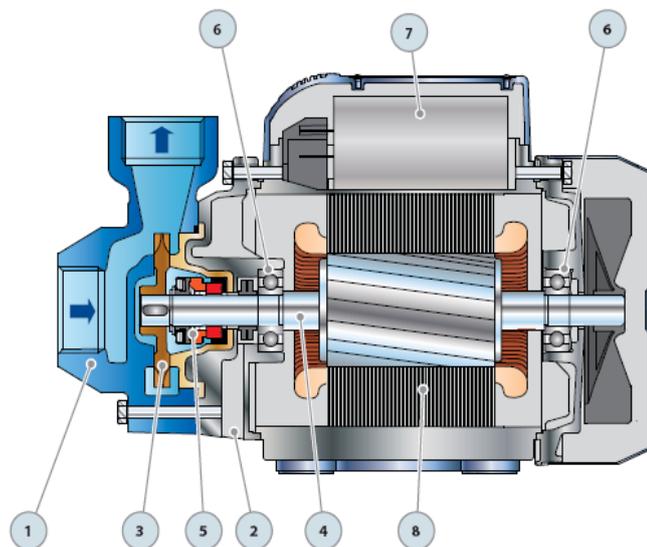


MODEL		POWER		Q	H metres																
Single-phase	Three-phase	kW	HP		m³/h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4		
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90			
PKm 60°	PK 60°	0.37	0.50		40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 65	PK 65	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8							
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18							
PKm 80	PK 80	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22							
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5								
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15					
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10				
-	PK 300	2.2	3		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10			

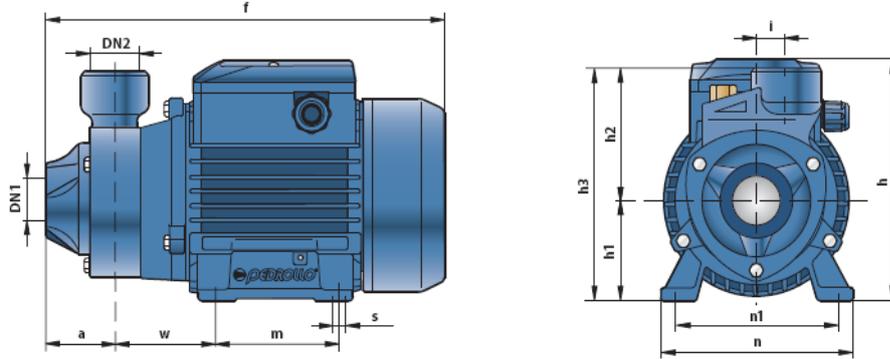
Q = Flow rate H = Total manometric head HS = Suction height

Tolerance of characteristic curves in compliance with EN ISO 9906 App. A.

POS.	COMPONENT	CONSTRUCTION CHARACTERISTICS					
1	PUMP BODY	Cast iron, complete with threaded ports in compliance with ISO 228/1					
2	MOTOR BRACKET	Aluminium with brass insert (patented), reduces the risk of impeller seizure					
3	IMPELLER	Brass, with peripheral radial vanes					
4	MOTOR SHAFT	Stainless steel EN 10088-3 - 1.4104					
5	MECHANICAL SEAL	<i>Pump</i>	<i>Seal</i>	<i>Shaft</i>	<i>Materials</i>		
		<i>Model</i>	<i>Model</i>	<i>Diameter</i>	<i>Stationary ring</i>	<i>Rotational ring</i>	<i>Elastomer</i>
		PK 60-65-70-80	AR-12	Ø 12 mm	Ceramic	Graphite	NBR
		PK 90	FN-12	Ø 12 mm	Ceramic	Graphite	NBR
		PK 100-200-300	FN-14	Ø 14 mm	Graphite	Ceramic	NBR
6	BEARINGS	<i>Pump</i>	<i>Model</i>				
		PK 60-65	6201 ZZ / 6201 ZZ				
		PK 70-80-90	6203 ZZ / 6203 ZZ				
		PK 100-200-300	6204 ZZ / 6204 ZZ				
7	CAPACITOR	<i>Pump</i>	<i>Capacitance</i>				
		<i>Single-phase</i>	<i>(230 V or 240 V)</i>		<i>(110 V)</i>		
		PKm 60	10 µF 450 VL	25 µF 250 VL			
		PKm 65	14 µF 450 VL	30 µF 250 VL			
		PKm 70	16 µF 450 VL	60 µF 300 VL			
		PKm 80	20 µF 450 VL	60 µF 300 VL			
		PKm 90	20 µF 450 VL	60 µF 300 VL			
		PKm 100	31.5 µF 450 VL	60 µF 250 VL			
		PKm 200	45 µF 450 VL	80 µF 250 VL			
		8	ELECTRIC MOTOR	PKm: single-phase 230 V - 50 Hz with thermal overload protector built-in to the winding. PK: three-phase 230/400 V - 50 Hz. ➔ Pumps fitted with the three-phase motor option offer IE2 (IEC 60034-30) class high performance – Insulation: F class. – Protection: IP 44.			



DIMENSIONS AND WEIGHT



MODEL		PORTS		DIMENSIONS mm												kg	
Single-phase	Three-phase	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s	1~	3~
PKm 60*	PK 60*	1"	1"	42	245	152	63	75	138	20	80	120	100	55	7	5.3	5.3
PKm 65	PK 65			80	143	6.9	6.4										
PKm 70	PK 70			85	156	10.1	9.0										
PKm 80	PK 80	¾"	¾"	55	285	180	71	85	156		90	140	112	62	10.2	9.2	
PKm 90	PK 90							95	166		10.2	9.2					
PKm 100	PK 100	1"	1"	55	350	212	80	94	174		100	164	125	85	9	14.4	12.4
PKm 200	PK 200									15.5						13.4	
-	PK 300									-						15.6	

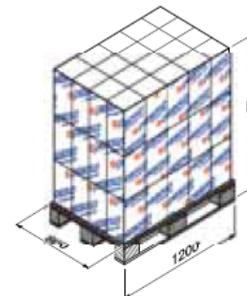
ABSORPTION

MODEL	VOLTAGE (single-phase)		
Single-phase	230 V	240 V	110 V
PKm 60*	2.5 A	2.4 A	5.5 A
PKm 65	3.7 A	3.4 A	7.4 A
PKm 70	5.2 A	4.8 A	10.8 A
PKm 80	5.2 A	4.8 A	10.8 A
PKm 90	5.6 A	5.1 A	11.5 A
PKm 100	9.0 A	8.2 A	18.0 A
PKm 200	11.5 A	11.0 A	24.0 A

MODEL	VOLTAGE (three-phase)				
Three-phase	230 V	400 V	690 V	240 V	415 V
PK 60*	2.0 A	1.15 A	-	1.9 A	1.1 A
PK 65	3.0 A	1.7 A	-	2.8 A	1.6 A
PK 70	3.8 A	2.2 A	-	3.3 A	1.9 A
PK 80	3.8 A	2.2 A	-	3.3 A	1.9 A
PK 90	4.0 A	2.3 A	-	3.8 A	2.2 A
PK 100	6.2 A	3.6 A	2.05 A	5.7 A	3.3 A
PK 200	7.6 A	4.4 A	2.5 A	7.0 A	4.0 A
PK 300	9.3 A	5.4 A	3.15 A	8.7 A	5.0 A

PALLETIZATION

MODEL		GROUPAGE				CONTAINER			
Single-phase	Three-phase	n° pumps	H (mm)	kg		n° pumps	H (mm)	kg	
				1~	3~			1~	3~
PKm 60*	PK 60*	216	1420	1170	1170	324	2050	1740	1740
PKm 65	PK 65	216	1440	1510	1400	243	1600	1700	1580
PKm 70	PK 70	120	1300	1230	1100	180	1870	1840	1640
PKm 80	PK 80	120	1300	1230	1100	180	1870	1840	1640
PKm 90	PK 90	120	1300	1250	1130	180	1870	1860	1680
PKm 100	PK 100	72	1520	1060	910	84	1750	1230	1060
PKm 200	PK 200	72	1520	1140	990	84	1750	1320	1150
-	PK 300	72	1520	-	1140	84	1750	-	1330



ANEXO A5:

HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35DZ.



November 2000

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

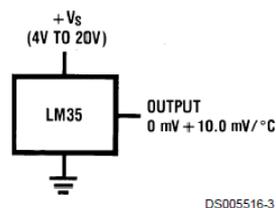
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

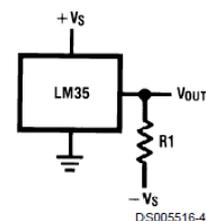
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications



DS005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



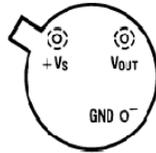
DS005516-4

Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*

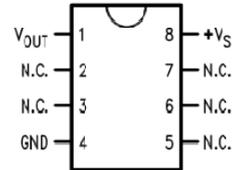


BOTTOM VIEW
DS005516-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

SO-8
Small Outline Molded Package

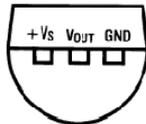


DS005516-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

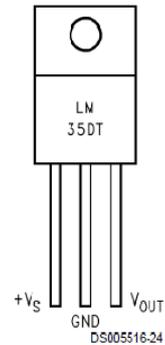
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW
DS005516-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



DS005516-24

*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

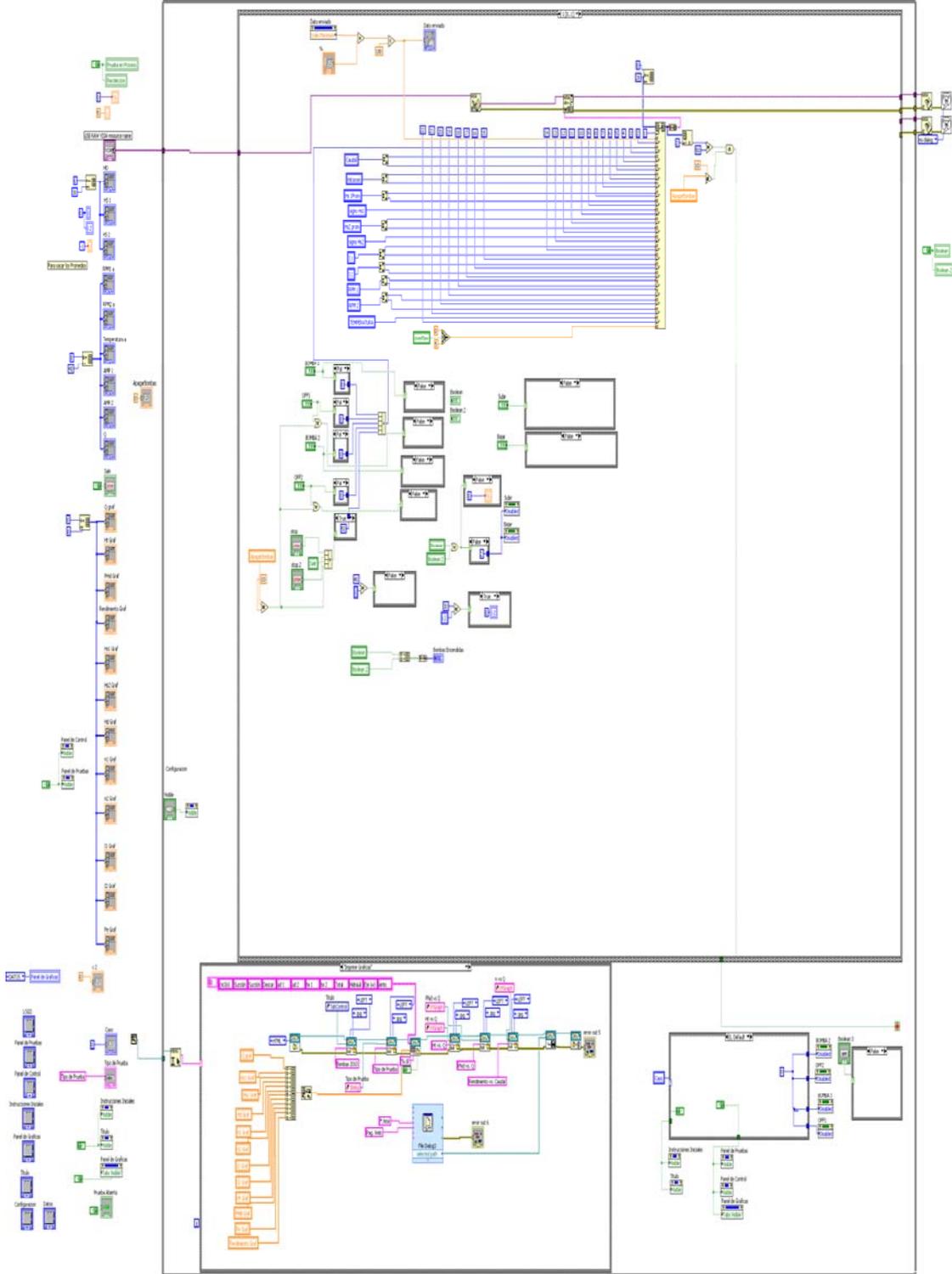
ANEXO B:

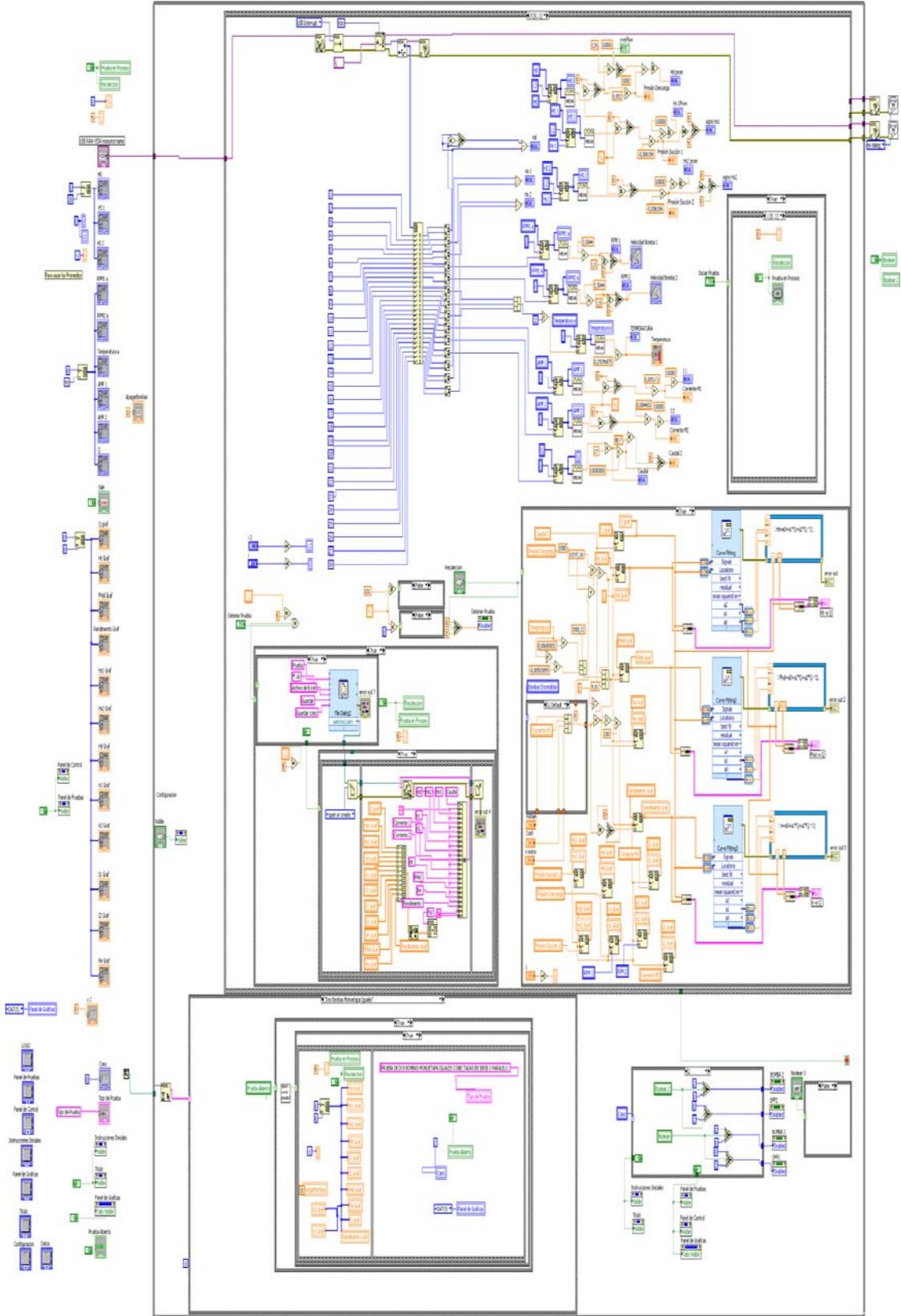
ESQUEMA DE CONEXIONES DEL
CIRCUITO ELECTRÓNICO
UTILIZADO PARA LA
AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO
PARA PRUEBAS DE BOMBAS
CENTRÍFUGAS.

ANEXO C:

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL
SOFTWARE DISEÑADO EN
LABVIEW, PARA LA ADQUISICIÓN
Y PROCESAMIENTO DE LAS
SEÑALES OBTENIDAS.

ANEXO C1:
DIAGRAMAS DE BLOQUES PARA EL SOFTWARE (BOMBAS2010_v1.0).





Anexos.

ANEXO D:
MANUAL DE USUARIO.

Anexos.

ANEXO D1:

***MANUAL DE USUARIO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS
CENTRIFUGAS.***

Banco de Pruebas para Bombas Centrífugas

Manual de Usuario

Precauciones de Seguridad

- Encender la niquelina solo cuando el tanque contenedor de agua se encuentre lleno, ya que de hacerlo sin agua esta podría quemarse y se pone en riesgo la integridad del banco.
 - Antes de poner en funcionamiento el sistema verificar que el pulsante de *paro de emergencia* no se encuentre activado y que las tres fases estén llegando correctamente al banco, esto se comprueba mediante los focos pilotos verdes ubicados en el gabinete de potencia.
 - Verificar que las bombas este detenidas al momento de realizar el cambio del modo manual al USB o viceversa.
 - Teniendo en cuenta el tipo de prueba a realizar verificar la posición de las válvulas para obtener los resultados deseados.
 - Finalizado todas las pruebas asegurarse que el tanque contenedor de agua sea vaciado, para evitar la corrosión del mismo.
 - Arrancar las Bombas solo si el potenciómetro de control de velocidad se encuentra en cero, ya que un arranque brusco podría dañar las bombas.
-

Características

- Determinación de las presiones de succión y descarga del sistema.
 - Determinación del Caudal del sistema.
 - Determinación de la Corriente en los motores.
 - Determinación de la Temperatura.
 - Determinación de las velocidades de cada motor.
 - Calculo de la Cabeza Total, Potencia Hidráulica, Potencia Eléctrica y rendimiento del sistema.
 - Variación de la temperatura mediante encendido temporizado de una niquelina.
 - Transmisión de datos hacia la PC.
 - Visualización de resultados en LCD.
 - Software para Adquisición de datos y obtención de las curvas características de las bombas.
 - Su sistema de control está basado en el uso del PIC con una transmisión de datos mediante USB.
-

Controles y Funciones

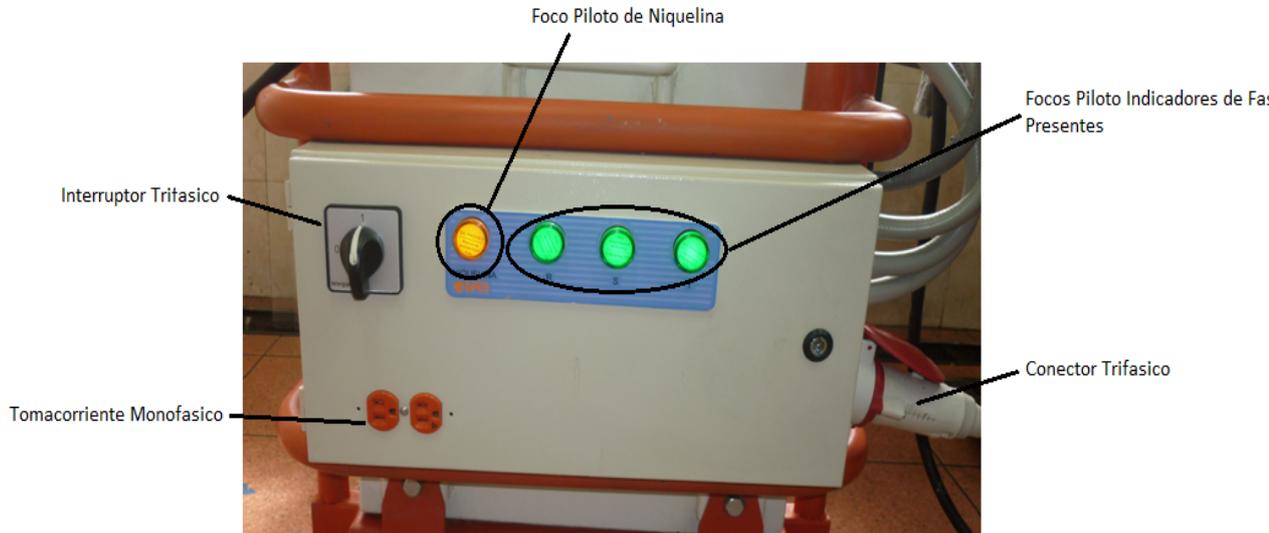


Figura 1: Caja de Potencia

- **Foco Piloto de Niquelina.-** Este foco indica que la niquelina está encendida.
- **Focos Piloto Indicadores de fases presentes.-** Estos focos de color verde indican que las tres fases de alimentación están llegando correctamente al banco.
- **Interruptor trifásico.-** Enciende la alimentación del banco
- **Tomacorriente Monofásico.-** Permite la conexión de aparatos que necesiten una alimentación monofásica.
- **Conector trifásico.-** Conecta la alimentación trifásica para el banco.



Figura 2. Pulsante de Encendido de la Niquelina

Anexos.

El pulsante de encendido de la niquelina (Figura 2) se encuentra a un costado del banco (Figura 3), este permite el encendido de la niquelina durante el tiempo determinado por el temporizador ubicado dentro del gabinete de potencia.



Figura 3. Ubicación del pulsante de encendido de niquelina

Panel de control.

El panel de control o control maestro permite al estudiante controlar las funciones de las bombas y al mismo visualizar los datos recolectados en una pantalla LCD de 4x20 líneas, el panel de control está distribuido de la manera que muestra la figura 4:

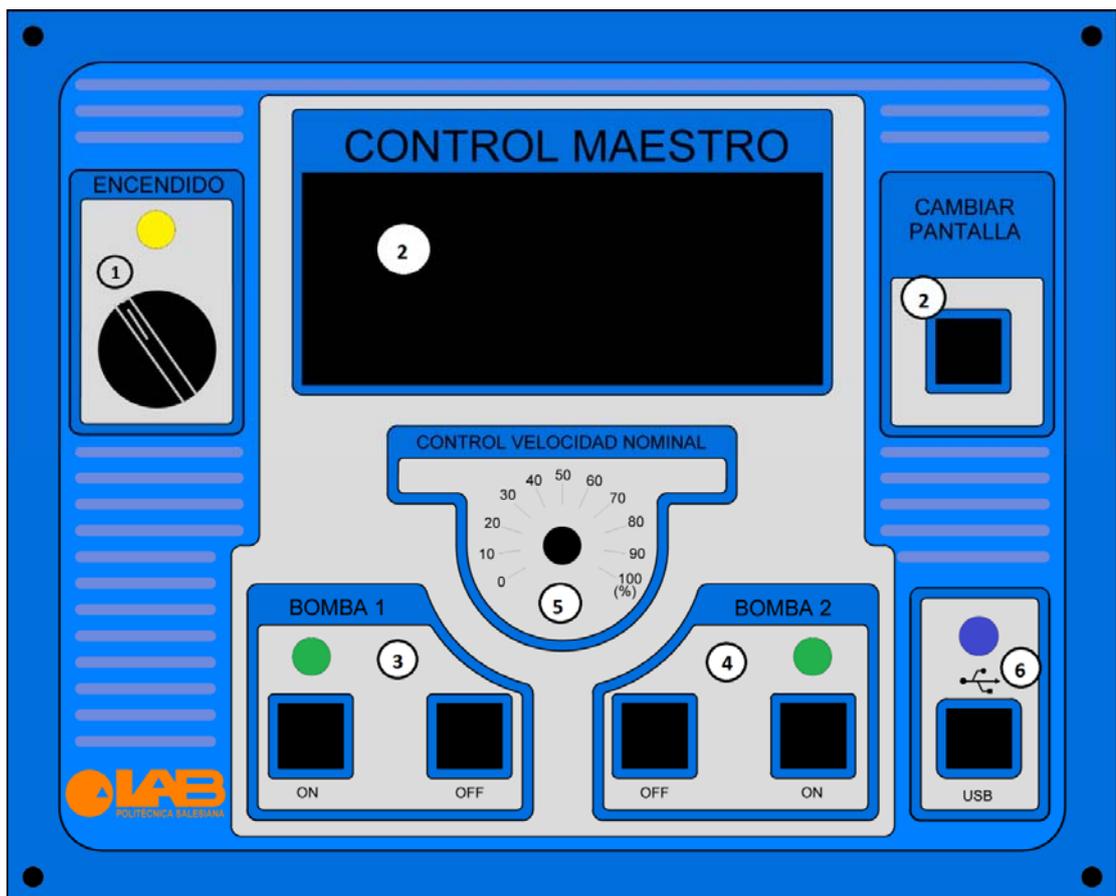


Figura 4: Panel de Control.

Descripción:

1. Interruptor de encendido y apagado del sistema
 2. Pantalla LCD, en donde se muestran los datos de los sensores en tiempo real en dos pantallas intercambiables mediante el botón “cambiar pantalla”
 3. Control Bomba 1, botón de arranque “ON” y paro “OFF”
-

Anexos.

4. Control Bomba 2, botón de arranque “ON” y paro “OFF”
5. Regulador de velocidad, varia la velocidad de las bombas, tiene un rango de 0 a 60 Hz que es el valor que recibe el variador de frecuencia.
6. Conector USB, interfaz datos USB cuenta con un indicador de conexión.

En el LCD del panel frontal se visualizan los datos obtenidos de los sensores en dos pantallas diferentes.

Pantalla 1(Figura 5):

Hd = Presión Positiva (bares)

Hs1= Presión Negativa 1 (bares)

Hs2= Presión Negativa 2 (bares)

I1= Corriente en la Bomba 1 (Amperios)

I2 = Corriente en la Bomba 2 (Amperios)



Figura 5: Pantalla de datos 1.

Pantalla 2 (Figura 6):

Q= Caudal (m³/s)

n1= Velocidad Motor 1 (revoluciones por minuto)

n2= Velocidad Motor 2 (revoluciones por minuto)

T= Temperatura del Agua (grados centígrados)



Figura 6: Pantalla de Datos 2.

En el LCD además se visualizan mensajes de inicio y advertencia

Mensaje de Inicio: Este mensaje se muestra cada vez que inicia el sistema (Figura 7).



Figura 7: Mensaje de Inicio.

Advertencia de Potenciómetro Encendido: Esta advertencia es mostrada cuando el sistema arranca con el switch del potenciómetro de variación de velocidad encendido (Figura 8).



Figura 8: Advertencia de Switch Encendido.

Mensaje de USB conectado: Se muestra este mensaje cuando el cable de USB está conectado en el panel frontal y en la computadora.



Figura 9: Cable USB Conectado.



Figura 10: Mensaje de Cable USB conectado.

En caso de falla del sistema o algún imprevisto en la parte superior del panel frontal se encuentra un pulsante de paro de emergencia, el cual desactiva el voltaje de alimentación del circuito, lo que hace que las bombas y la niquelina se apaguen.



Figura 11: Paro de Emergencia.

Software de Adquisición de Datos Bombas2010 v1.0

La interfaz grafica es la ventana en la que el usuario controla el arranque, paro y velocidad de las bombas y además la interfaz muestra los datos provenientes de los sensores, en las unidades requeridas, con los que el programa puede mostrar las curvas características del sistema.

El panel frontal en LABVIEW o la interfaz grafica posee pestañas en las que el usuario puede realizar diversas funciones las pestañas son las que se muestran a continuación:

- a. **Menú Archivo:** Contiene opciones de gestión de archivos de pruebas del sistema.

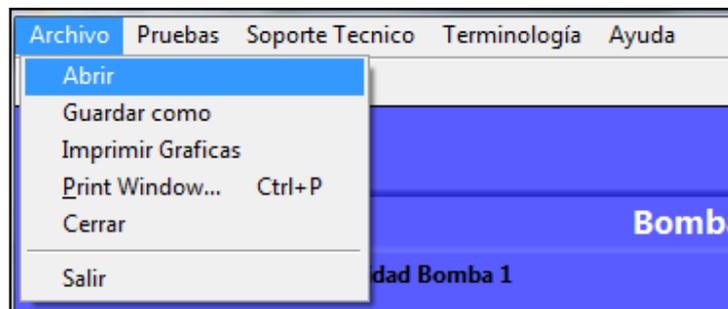


Figura 12: Menú archivo.

Submenú Abrir: Nos permite abrir el archivo de una prueba que ha sido guardada.

Submenú Guardar Como: Elige la ubicación donde se guarda los datos de la prueba realizada.

Submenú Imprimir Graficas: Imprime las curvas características obtenidas y la tabla de resultados.

Submenú Print Window: Imprime toda la interfaz de usuario que se esa visualizando en ese instante.

Submenú Cerrar: Cierra la prueba que se está realizando.

Submenú Salir: Cierra el programa.

b. Menú Pruebas: Contiene las Pruebas que se pueden realizar en el banco

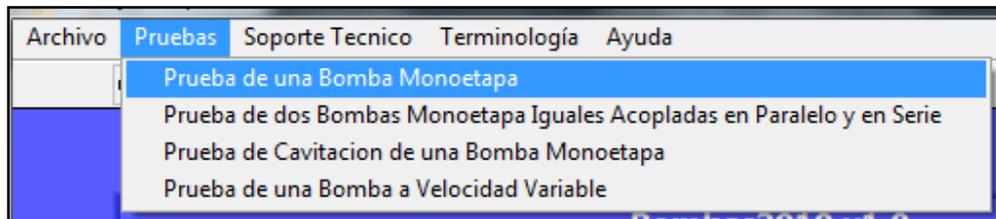


Figura 13: Menú Pruebas.

Submenú Prueba de una Bomba Monoetapa: Muestra los controles con las restricciones para esta prueba y el contenedor de las curvas características.

Submenú Prueba de dos Bombas Monoetapa Iguales Acopladas en Paralelo y en Serie: Muestra los controles con las restricciones para esta prueba y el contenedor de las curvas características.

Submenú Prueba de Cavitación de una Bomba Monoetapa: Muestra los controles con las restricciones para esta prueba y el contenedor de las curvas características.

Submenú Prueba de una Bomba a Velocidad Variable: Muestra los controles con las restricciones para esta prueba y el contenedor de las curvas características.

- c. **Menú Soporte Técnico:** Presenta un documento en formato PDF con información teórica de los conceptos que se requieren manejar para entender el comportamiento de las bombas centrífugas. La terminología y simbología utilizada para presentar la información, está normalizada por la “Norma ANSI HI 1.6 para Pruebas de Bombas Centrífugas”.
- d. **Menú Terminología:** Abre un documento en formato PDF donde se muestra la terminología empleada según Norma ANSI HI 1.6 para Pruebas de Bombas Centrífugas
- e. **Menú Ayuda:** Asiste al usuario cuando se desconozca el funcionamiento general y las capacidades del software y los procedimientos para ejecución de pruebas. Además de datos informativos sobre el equipo de desarrollo del software.

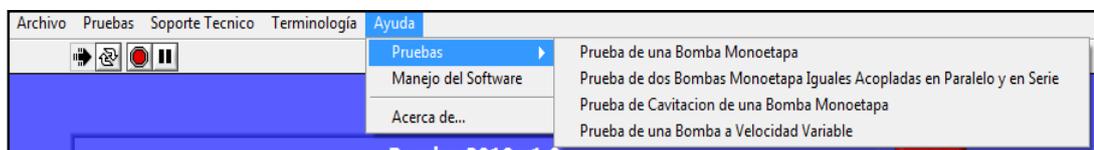


Figura 14: Menú Ayuda.

Submenú Pruebas: Contiene una guía para la realización de cada una de las pruebas.

Submenú Manejo del Software: Abre un documento en formato PDF donde se muestra una guía sobre el Manejo del Software Bombas2010.

Submenú Acerca de...: muestra información acerca del desarrollo del software y sobre los autores.

Cuando se selecciona una prueba el software muestra los controles de las Bombas y restringe el funcionamiento de los mismos según el tipo de prueba a realizar, además se muestra un panel con las curvas características calculadas por el software

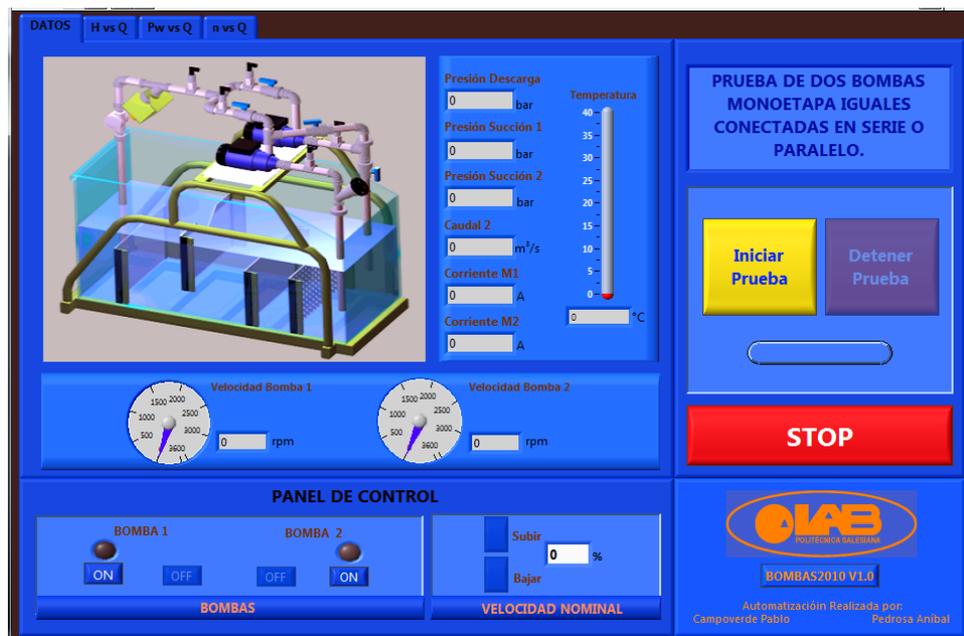


Figura 15: Panel Frontal en LABVIEW.

Las Bombas son comandadas mediante pulsantes de encendido y apagado, y la velocidad es controlada por pulsantes de subir y bajar la velocidad.

Anexos.

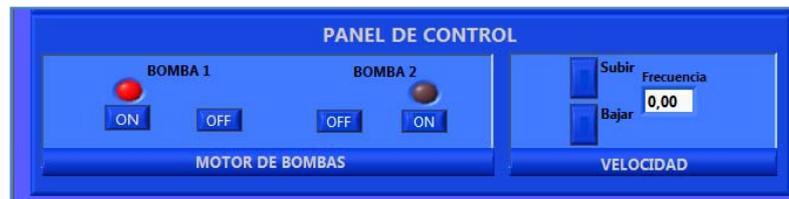


Figura 16: Panel de Control de Bombas.

Los datos son visualizados en Indicadores gráficos en una pestana con nombre "DATOS".

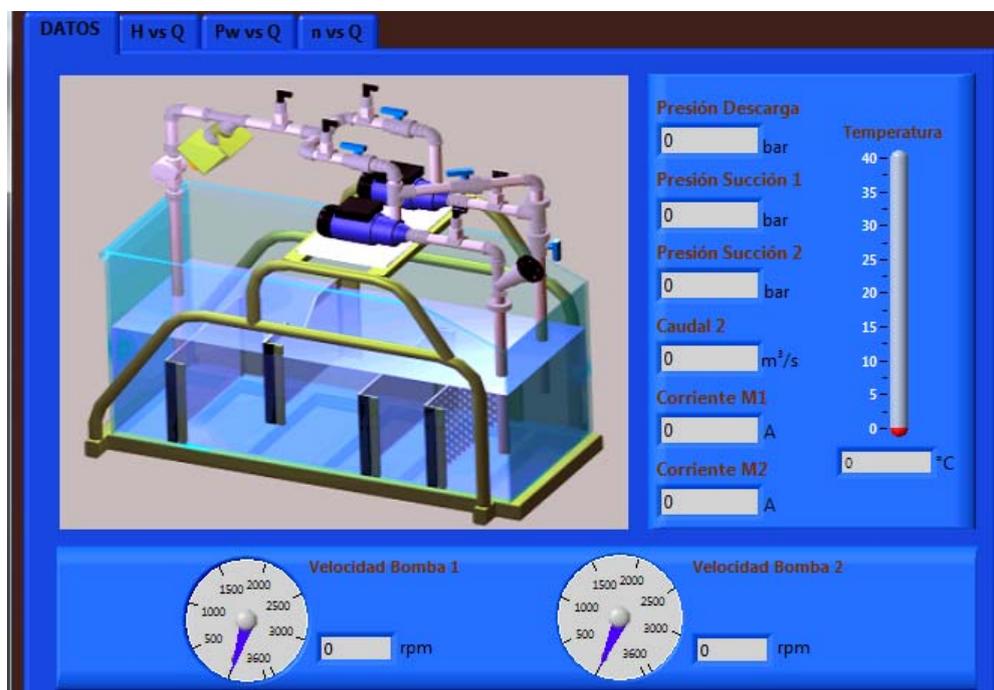


Figura 17: Pantalla de visualización de Datos.

La prueba que se está realizando en el momento es visualizada en el panel de control de pruebas en el cual podemos iniciar la adquisición de las curvas y al detener la prueba elegir si queremos guardarla.

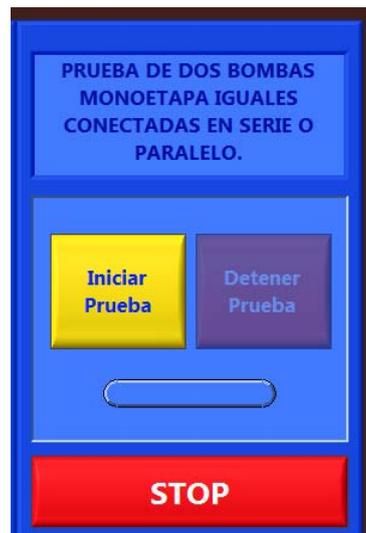


Figura 18: Panel de control de Pruebas.

Cuando se inicia la prueba las curvas son visualizadas en tiempo real en las pestañas nombradas para cada prueba.

H vs Q: Cabeza Total vs. Caudal

Pw vs. Q: Potencia Hidráulica vs. Caudal

N vs Q: Rendimiento vs. Caudal

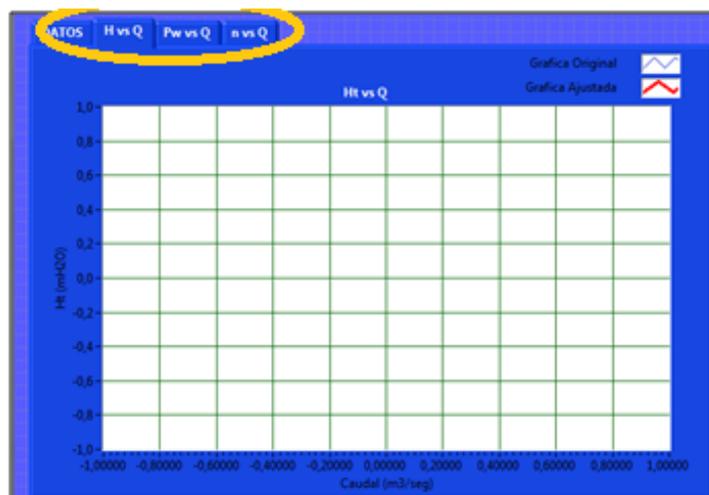


Figura 19: Panel de curvas Características.

BIBLIOGRAFÍA.

Libros:

- Claudio Mataix, Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, Segunda edición.
- Kenneth J. y el cuerpo de redactores de Chemical, Bombas selección, uso y mantenimiento.

Páginas de Internet:

- [www.delta.com.tw/industrialautomation\(datasheet\)](http://www.delta.com.tw/industrialautomation(datasheet))
 - <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Formuladecalculo.htm>
 - <http://www.savinobarbera.com/espanol/teoria.html>
 - <http://www.sensing.es/index.htm>
 - http://www.antechsv.com/p/productos_04.html
 - http://cbs.grundfos.com/BGE_Spain/lexica/AC_Pressure_transducer.html#-
 - http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/transductoressensores/
 - http://www.convencionminera.com/perumin_cms/upload/archivos/TT-067%20Final.pdf
 - <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica35.htm>
 - <http://www.omega.com/techref/flowcontrol.html>
-

Bibliografía.

- <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/medidoresdeqentuberias/medidoresdeqentuberias.html>
 - [http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_\(fluido\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Caudal_(fluido))
 - <http://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/ingenieria-electronica/respuestas/124648/sensor-de-temperatura>
 - <http://www.its.org/>
 - <http://www.eveliux.com/mx/protocolos-de-comunicaciones.php>
 - <http://www.usb.org/developers>
-