



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRONICA Y MECANICA

**“DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA
EVALUAR EL DESEMPEÑO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS”**

ING(c). MOISÉS JUAN JIMÉNEZ MERCADO

ING(c). HUMBERTO CARLOS URZOLA VERGARA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C., ABRIL DE 2009.



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRONICA Y MECANICA

“DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.”

MONOGRAFÍA DE GRADO PERTENECIENTE AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

“OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN BUQUES TIPO NODRIZA FLUVIAL”

DIRECTOR DEL PROYECTO:

BIENVENIDO SARRIA LÓPEZ, PHD.

DIRECTOR DE MONOGRAFIA:

FÉLIX JULIO RADA, MSC(c).

AUTORES:

MOISÉS JUAN JIMÉNEZ MERCADO, ING(c).

HUMBERTO CARLOS URZOLA VERGARA, ING(c).

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C., ABRIL DE 2009.



**Universidad
Tecnológica de Bolívar**
CARTAGENA DE INDIAS

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena de Indias D.T. y C., ABRIL de 2009.

Que este trabajo sea un vivo testimonio del amor que siento por mi hija Sofía.

A mis padres Moisés Jiménez y Luz Mercado gracias a sus ejemplos, valores y sacrificios soy el hombre de bien que soy.

A Marilyn Oviedo compañera incondicional, quien me brindó ese cariño de mujer que me hizo luchar para conseguir este gran triunfo.

A mis hermanos a los cuales quiero mucho y ellos lo saben.

A mi “Madrina, tía, abuela y mamá” Sra. Dolores Isabel Mercado Villalba, tu siempre serás importante para mí.

Con especial cariño a cuatro personas que me hubiese gustado participaran de este momento de felicidad, pero que sé están orgullosos de mí allá en el cielo, los quiero y extraño mucho Abuelos Juan Mercado y Amparo Villalba, Julio Jiménez “JJ” y Francisca Sossa.

Así como también a todas esas personas que me colaboraron en silencio.

Por último, pero no menos importante, agradezco a Dios por todo lo bello que me ha dado y más aun por ser mi amigo y compañero de toda la vida.

Moisés Juan Jiménez Mercado



Una bendición más en la vida, dedicada a dos mujeres pilares en este proyecto de vida que son; mi madre Verónica Vergara y mi esposa Erica Bautista, de quienes siempre tendré su apoyo y amor incondicional.

A mi padre Humberto Urzola Escobar, esto es un triunfo de los dos.

Humberto Carlos

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A los Ingenieros Bienvenido Sarria López, Félix Julio Rada y Dawin Jiménez Vargas quienes desde un principio tuvieron fe en nosotros, quedando este acto grabado en nuestra mentes como las personas que nos brindaron su apoyo en momentos difíciles y para nosotros como un compromiso de amistad de por vida.

A los Auxiliares de laboratorio Edgar Escobar, Carlos Cuadro, Johnny y Ramiro, por toda su colaboración.

A todo el personal de la Universidad Tecnológica de Bolívar, mil gracias.



Cartagena de Indias D.T. y C., 27 de ABRIL de 2009.

Señores
COMITÉ CURRICULAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y MECÁNICA
Universidad Tecnológica de Bolívar
Ciudad

Asunto: Presentación de Monografía de Grado

Estimados Ingenieros:

Muy comedidamente me permito presentar a ustedes la monografía de grado titulada “**Diseño de un Banco de Ensayos para Evaluar el Desempeño de Bombas Centrifugas**”, contribuyendo al desarrollo del proyecto de investigación con aprobación institucional; “*OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN BUQUES TIPO NODRIZA FLUVIAL*”, elaborada y presentada por el estudiante de ingeniería mecatrónica MOISÉS JUAN JIMÉNEZ MERCADO y el estudiante de ingeniería mecánica HUMBERTO CARLOS URZOLA VERGARA.

Agradezco de antemano la atención prestada,

BIENVENIDO SARRIA LÓPEZ, PHD.
Ingeniero Mecánico

Cartagena de Indias D.T. y C., 27 de ABRIL de 2009.

Señores
COMITÉ CURRICULAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y MECÁNICA
Universidad Tecnológica de Bolívar
Ciudad

Asunto: Presentación de Monografía de Grado

Estimados Ingenieros:

La presente tiene como finalidad presentar a ustedes la monografía de grado **“Diseño de un Banco de Ensayos para Evaluar el Desempeño de Bombas Centrífugas”**, contribuyendo al desarrollo del proyecto de investigación con aprobación institucional; *“OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN BUQUES TIPO NODRIZA FLUVIAL”*, elaborada y presentada por el estudiante de ingeniería mecatrónica MOISÉS JUAN JIMÉNEZ MERCADO y el estudiante de ingeniería mecánica HUMBERTO CARLOS URZOLA VERGARA.

Agradezco de antemano la atención prestada,

FÉLIX JULIO RADA, MSc(c).
Ingeniero Mecánico

Cartagena de Indias D.T. y C., 27 de ABRIL de 2009.

Señores
COMITÉ CURRICULAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y MECÁNICA
Universidad Tecnológica de Bolívar
Ciudad

Asunto: Presentación de Monografía de Grado

Estimados Ingenieros:

Nos permitimos presentar a ustedes la monografía de grado titulada “**Diseño de un Banco de Ensayos para Evaluar el Desempeño de Bombas Centrífugas**” dirigida por el MSc(c). Félix Julio Rada, contribuyendo al desarrollo del proyecto de investigación con aprobación institucional “*OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN BUQUES TIPO NODRIZA FLUVIAL*” liderado por el PhD. Bienvenido Sarria López.

Agradezco la atención prestada,

MOISÉS JUAN JIMÉNEZ MERCADO, ING(c).

HUMBERTO CARLOS URZOLA VERGARA, ING(c).



INDICE

	Pág.
OBJETIVOS.....	20
INTRODUCCION.....	21
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE MECÁNICA DE FLUIDOS.....	24
1.1 BOMBAS.....	25
1.1.1 Tipos de bombas y aplicaciones.....	25
1.2 BOMBAS CENTRIFUGAS.....	27
1.2.1Partes y elementos.....	28
1.2.2 Curvas Características y punto de operación.....	33
1.2.2.1 Curva característica del funcionamiento.....	33
1.2.2.2 Curva característica de la eficiencia.....	34
1.2.2.3 Curva característica de un sistema de bombeo.....	37
1.2.2.4 Curva característica de la cabeza neta de succión positiva disponible.....	41
1.2.2.5 Cabeza neta de succión positiva requerida (NPSHR).....	42
1.2.2.6 Punto de operación.....	43
1.3 NORMA ASME PARA PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.....	44
1.3.1 Código ASME PTC 8.2 - 1990.....	44
1.3.2 Aplicación de la norma ASME PTC 8.2 - 1990.....	45
2. BANCOS DE ENSAYOS EN COLOMBIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS.....	48
3. BOMBAS CENTRIFUGAS EN COLOMBIA.....	52



3.1 HIDROMAC.....	53
3.2 IHM.....	55
3.3 SIHI-HALBER.....	56
3.4 BARNES.....	58
4. DISEÑO.....	59
4.1 BOMBA.....	61
4.2 MOTOR.....	61
4.3 CALCULOS HIDRAULICOS.....	62
4.3.1 Calculo de los ramales.....	63
4.4 Deposito de alimentación y descarga.....	78
5. INSTRUMENTACION DEL BANCO DE ENSAYOS.....	79
5.1 ADQUISICIÓN DE DATOS.....	80
5.1.1 Tarjeta de adquisición de datos.....	81
5.5.2 Cable conector.....	82
5.5.3 Bloque conector.....	83
5.5.4 Software controlador.....	83
5.2 CAUDAL.....	84
5.3 PRESION.....	86
5.4 TEMPERATURA.....	88
5.5 SERVOVALVULA PROPORCIONAL.....	89
5.6 VELOCIDAD DE GIRO.....	90



5.7 VELOCIDAD DE GIRO (AUXILIAR).....	92
5.8 CORRIENTE.....	92
5.9 VOLTAJE.....	94
5.10 TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO.....	94
5.10.1 Arrancador motor eléctrico.....	96
5.10.2 Indicador de voltaje.....	96
5.10.3 Indicador de corriente.....	96
5.10.4 Indicador de frecuencias.....	97
6. DESARROLLO DE LA HMI - HUMAN MACHINE INTERFACE.....	98
6.1. ELECCIÓN DE LA PLATAFORMA PARA EL DESARROLLO DE LA HMI....	99
6.1.1 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench.....	99
6.1.1.1 Características Principales.....	99
6.1.1.2 Áreas de Aplicación.....	101
6.2 DESARROLLO DE LA HMI.....	102
6.2.1 Programa principal.....	102
6.2.2 Descripción del funcionamiento.....	103
6.2.3 Utilización de la HMI.....	105
7. MANUAL DE OPERACIÓN.....	107
7.1 CEBADO.....	108
7.1.1 Operación con succión positiva.....	108
7.1.2 Operación con succión negativa.....	108

7.2 VERIFICACIONES PREVIAS.....	109
7.3 CONSIDERACIONES PARA LA PUESTA EN MARCHA PARA TODOS LOS RAMALES.....	110
7.4 EJECUCIÓN DEL SOFTWARE.....	110
8. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	111
8.1 DATOS INICIALES.....	112
8.1.1Objetivos.....	112
8.1.2 Justificación.....	112
8.2 MARCO TEORICO.....	112
8.2.1 Falla.....	112
8.2.2 Mantenimiento.	113
8.2.2.1Tipos de mantenimiento.	113
8.2.2.1.1 Mantenimiento predictivo.....	114
8.2.2.1.2 Mantenimiento proactivo.....	114
8.2.2.1.3 Mantenimiento preventivo.....	114
8.2.2.1.4 Mantenimiento correctivo.....	114
8.2.2.1.4.1 Mantenimiento correctivo no planeado.....	115
8.2.2.1.4.2 Mantenimiento correctivo planeado.....	115
8.3 INDICADORES.....	115
8.3.1 El mantenimiento según su desempeño.	115
8.3.2 Indicadores del mantenimiento según el costo.....	117
8.4 INVENTARIOS DE EQUIPOS.....	118



9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
9.1 CONCLUSIONES.....	122
9.2 RECOMENDACIONES.....	123
10. BIBLIOGRAFÍA	125
10.1 LIBROS CONSULTADOS.....	126
10.2 LINKS CONSULTADOS.....	126
10.3 OTROS.....	127
11. ANEXOS	128

LISTA DE FIGURAS POR CAPITULO

	Pág.
Figura 1.1: Tipos de bomba y clasificación.....	26
Figura 1.2: Bomba centrífuga, disposición, esquema y partes.....	28
Figura 1.3: Tipos de impulsores.....	29
Figura 1.4: Impulsores abiertos y semiabiertos.....	30
Figura 1.5: Impulsores cerrados.....	30
Figura 1.6: Curva de funcionamiento de una bomba.....	34
Figura 1.7: Curva característica de la eficiencia de una bomba centrífuga.....	35
Figura 1.8: Curva característica de un sistema de bombeo.....	37
Figura 1.9: Curva característica de cabeza neta positiva de succión disponible...42	42
Figura 1.10: NPSH requerido.....	42
Figura 1.11: Punto de operación de un sistema de bombeo.....	43
Figura 2.1: Vista superior general.....	49
Figura 2.2: Tubería de succión de 14”.....	50
Figura 2.3: Tubería de descarga de 12”.....	50
Figura 2.4: Tanque de aforo.....	51
Figura 3.1: Bombas HIDROMAC.....	54
Figura 3.2: Bombas IHM.....	56
Figura 3.3: Bombas SIHI-HALBERT.....	57
Figura 4.1: Distribución esquemática del banco de ensayos.....	60
Figura 4.2: Bomba centrífuga IHM 3X18.....	61

Figura 4.3: Motor eléctrico SIEMENS ILA7.....	62
Figura 4.4: Curva del ramal de bombeo 1-3.....	76
Figura 4.5: Curva del ramal de bombeo 1-4.....	77
Figura 4.6: Curva del ramal de bombeo 2-3.....	77
Figura 4.7: Curva del ramal de bombeo 2-4.....	78
Figura 5.1: Configuración general sistema de control y adquisición de datos.....	80
Figura 5.2: Tarjeta de adquisición de datos PCI-6251.....	82
Figura 5.3: Cable conector SHC68-68.....	82
Figura 5.4: Bloque conector BNC-2110.....	83
Figura 5.5: Software controlador DAQ _{MAX}	84
Figura 5.6: Transmisor de caudal KOBOLD DMI-2508N65B30.....	85
Figura 5.7: Transmisor de presión KOBOLD SEN-3276C535.....	87
Figura 5.8: Transmisor de temperatura KOBOLD TDA-15H2R42L3M.....	88
Figura 5.9: Servoválvula EV220B.....	90
Figura 5.10: Variador de velocidad SIEMENS SINPLUS MM440.....	91
Figura 5.11: Tacómetro Marca SHIMPO DT- 209X.....	92
Figura 5.12: Acople transductor de corriente VELASQUEZ.....	93
Figura 5.13: Acople transductor de voltaje VELASQUEZ.....	94
Figura 5.14: Distribución tablero de control eléctrico y estación de trabajo.....	95
Figura 5.15: Indicador de voltaje VELAZQUEZ.....	96
Figura 5.16: Indicador de corriente VELAZQUEZ.....	97
Figura 5.17: Indicador de frecuencia VELAZQUEZ.....	97



Figura 6.1: Panel Frontal del programa.....103

Figura 7.1: Operación de cebado109

LISTA DE TABLAS POR CAPITULO

	Pág.
Tabla 4.1 Calculo Kq del ramal 1-3.....	65
Tabla 4.2 Calculo Kq del ramal 2-3.....	67
Tabla 4.3 Calculo Kq del ramal 1-4.....	69
Tabla 4.4 Calculo Kq del ramal 2-4.....	71
Tabla 4.5 Perdidas totales en el ramal 1-3.....	73
Tabla 4.6 Perdidas totales en el ramal 2-3.....	74
Tabla 4.7 Perdidas totales en el ramal 1-4.....	75
Tabla 4.8 Perdidas totales en el ramal 2-4.....	75
Tabla 4.9 Curva de la bomba.....	76
Tabla 5.1 Transmisores de flujo consultados.....	85
Tabla 5.2 Transmisores de presión de consultados.....	86
Tabla 5.3 Servoválvulas consultadas.....	89
Tabla 5.4 Variadores de velocidad consultados.....	91
Tabla 5.5 Transductores de corriente consultados.....	93
Tabla 8.1 Tipos de mantenimiento según su tiempo de aplicación.....	113
Tabla 8.2 Población de equipos.....	120

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: CD CON LA SIGUIENTE INFORMACION.....	130
A. PLANOS DEL BANCO DE ENSAYOS	
B. SOFTWARE: BombasCentrifugasUTB.vi	
C. CALCULOS HIDRAULICOS.xls	
D. HOJA TECNICA: TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS	
E. HOJA TECNICA: CABLE CONECTOR	
F. HOJA TECNICA: BLOQUE CONECTOR	
G. HOJA TECNICA: MANUAL DE USUARIO BOMBA CENTRIFUGA	
H. HOJA TECNICA: CURVA BOMBA CENTRIFUGA	
I. HOJA TECNICA: LISTA DE PARTE BOMBA CENTRIFUGA	
J. HOJA TECNICA: MOTOR DE LA BOMBA	
K. HOJA TECNICA: TRANSMISOR DE CAUDAL	
L. HOJA TECNICA: TRANSMISOR DE PRESION	
M. HOJA TECNICA: TRANSMISOR DE TEMPERTURA	
N. HOJA TECNICA: SERVOVALVULA PROPORCIONAL	
O. HOJA TECNICA: VARIADOR DE VELOCIDAD	
P. HOJA TECNICA: TACOMETRO ULTRASONICO	
Q. COTIZACIONES	

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ✚ Diseñar un banco de ensayos, por medio de una investigación de tipo descriptiva, para evaluar el desempeño de bombas centrífugas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Diseñar un banco de ensayos para evaluar el desempeño de bombas centrífugas.
- ✚ Diseñar una guía para la realización de gráficos computacionales bidimensionales mediante la utilización del software LabVIEW, que permitan visualizar el desempeño de bombas centrífugas en tiempo real.
- ✚ Seleccionar o desarrollar instrumentos de adquisición, que permitan conocer las magnitudes a medir y así realizar la recolección de datos en tiempo real sobre el comportamiento de bombas centrífugas en el banco de ensayos.
- ✚ Diseñar la implementación electrónica y eléctrica de los instrumentos de medición seleccionados para el banco de ensayos.
- ✚ Diseñar un programa de mantenimiento preventivo para el banco de ensayos.
- ✚ Diseñar un manual de operación para el banco de ensayos.

INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de esta monografía es el DISEÑO DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS, a partir de la generación de sus curvas características, con base en el código ASME PTC 8.2 - 1990.

Para esto, se desarrolla una Human Machine Interface (HMI) con ayuda de la plataforma Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LABVIEW) de la empresa National Instruments, que permite obtener las curvas de altura total, eficiencia, además de la curva del sistema, cabeza neta de succión positiva disponible y la potencia eléctrica consumida de la bomba en función del caudal, a una velocidad de giro constante configurable partir de un variador de frecuencias.

Para el monitoreo de las propiedades que establecen las condiciones de los equipos del banco de ensayos, se utiliza un transmisor de caudal, dos transmisores de presión, dos transmisores de temperatura, una servoválvula, un variador de velocidad, un tacómetro, un transductor de corriente y un transductor de voltaje. Estos instrumentos entregan una señal de corriente de 4 a 20mA proporcional a la señal en cada caso específico.

A continuación se describe el contenido de cada uno de los capítulos:

Capítulo 1: En este capítulo se presentan los conceptos básicos de mecánica de fluidos sobre las bombas centrifugas.

Capítulo 2: En este capítulo se presentan las características técnicas de algunos bancos de ensayos para bombas centrifugas en Colombia.

Capítulo 3: En este capítulo se presentan algunas bombas centrífugas fabricadas en Colombia.

Capítulo 4: En este capítulo se presenta el diseño del banco de ensayos.

Capítulo 5: En este capítulo se presenta la instrumentación del sistema.

Capítulo 6: En este capítulo se presenta la interfaz hombre-máquina.

Capítulo 7: En este capítulo se presenta el manual de operación para poner en marcha el banco de ensayos.

Capítulo 8: En este capítulo se presenta el manual de mantenimiento.

Capítulo 9: Este capítulo presenta las conclusiones y observaciones obtenidas.

Capítulo 10: Este capítulo presentan las fuentes bibliográficas consultadas.

Capítulo 11: Este capítulo presenta los anexos de la monografía.

CAPITULO 1.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE MECANICA DE FLUIDOS

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE MECANICA DE FLUIDOS

1.1. BOMBAS [1.1]

Un equipo de bombeo es un transformador de energía; recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc. y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, posición o velocidad.

Realizando una analogía con las máquinas eléctricas y para el caso específico del agua, una bomba sería un generador hidráulico.

Hay una diversidad de mecanismos de bombeo (bombas), cuya capacidad, diseño y aplicación cubren un amplio rango que va desde pequeñas unidades utilizadas para dosificación de cantidades mínimas, hasta bombas centrífugas que son capaces de manejar grandes volúmenes para surtir de agua a las grandes concentraciones urbanas. Su variedad de diseños cubren desde diferentes principios de operación, hasta bombas especiales para manejo de sustancias tan diversas como el agua, metales fundidos, concreto, etc., gastos diferentes y materiales de construcción

1.1.1. Tipos de bombas y aplicaciones [1.1]

Debido a la diversidad de bombas que existen, hay muchas formas de clasificarlas: por rangos de volúmenes a manejar, por fluidos a mover, etc. Sin embargo, la clasificación más general es en función de la forma en que las bombas imprimen el movimiento al fluido, separándose en dos tipos principales; dinámicas y de desplazamiento positivo como se aprecia en la Figura 1.1

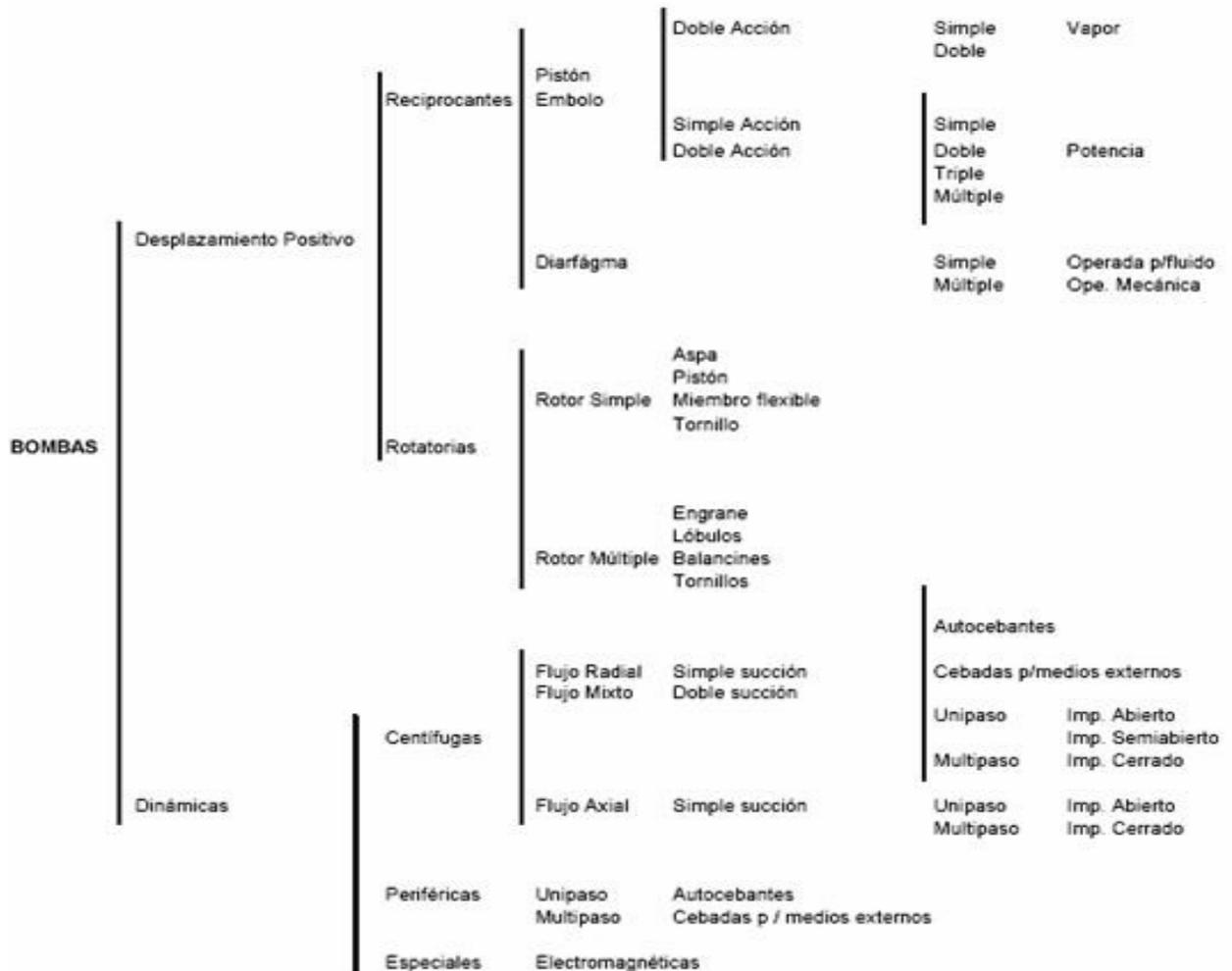


Figura 1.1. Tipos de bomba y clasificación. [1.1]

La clasificación anterior, permite observar la diversidad de tipos que existen y si a ello agregamos materiales de construcción, tamaños diferentes para manejo de gastos y presiones sumamente variables y los diferentes líquidos a manejar, etc., entenderemos la importancia de este tipo de maquinaria.

Dentro de ésta clasificación los tipos de bombas más comúnmente utilizadas son las llamadas Centrífugas, Rotatorias y Reciprocantes, pero concentraremos éste estudio en las Bombas Centrífugas debido a que así lo determina nuestra monografía. [1.1]

1.2. BOMBAS CENTRÍFUGAS [1.1]

Este tipo de bombas son las empleadas en los sistemas de climatización, calefacción o refrigeración; producen un flujo continuo de agua, por otro lado el par de arranque es pequeño, lo que hace fácil su accionamiento, además tiene algunas características básicas que permiten obtener datos base para determinar el comportamiento real del sistema.

Este tipo de bombas tiene ciertas características básicas entre ellas el caudal, la presión suministrada o altura, la altura de aspiración, la potencia consumida y la presión máxima que puede soportar.

Entre sus ventajas cabe destacar que son de sencilla construcción, no requieren tolerancias estrictas, no necesitan válvulas, no tienen movimientos alternativos, son compactas y de poco peso, tienen vida prolongada y fácil mantenimiento, en cuanto a desventajas, en ocasiones presenta bajos rendimientos con caudales pequeños.

Algunas de las propiedades de estas bombas son las siguientes:

- Descarga de flujo continuo, sin pulsaciones.
- Puede bombear todo tipo de líquidos, sucios abrasivos, con sólidos, etc.
- Excelentes alturas de succión en metros de columna de agua.
- Rangos de presión de descarga hasta de 150 kg/cm².
- Rangos de volúmenes a manejar hasta de 20,000 m³/hr.

1.2.1 Partes y elementos [1.1]

a) **Una tubería de aspiración:** Concluye prácticamente en la brida de aspiración.

b) **El impulsor o rodete:** Formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba.

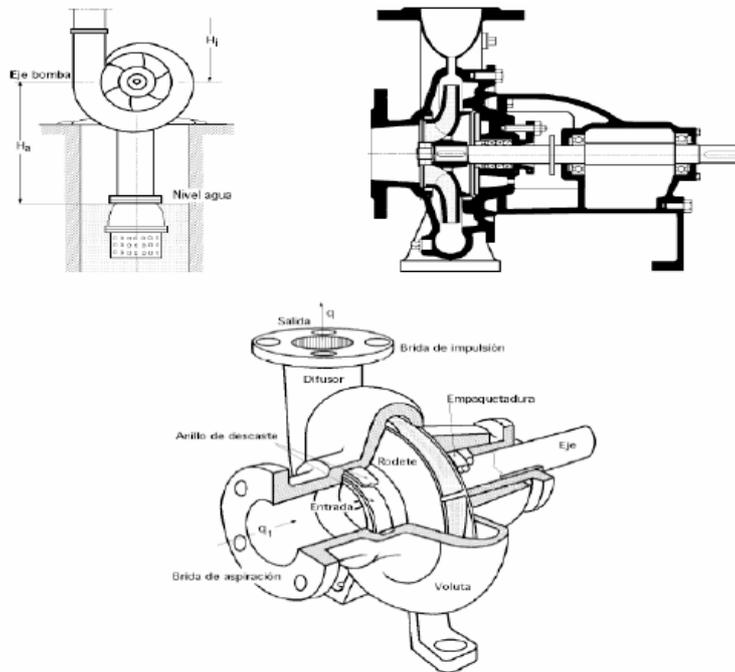


Figura 1.2. Bomba Centrífuga, Disposición, Esquema Y Partes. [1.1]

El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), acelerándose y absorbiendo un trabajo.

Los alabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando una altura dinámica de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación.

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga, pues es el componente que imprime la velocidad al fluido; consiste en un cierto número de aspas o alabes curvados con una forma tal que permite un flujo continuo del fluido a través de ella. El diseño de los impulsores se hace en función del fluido a bombear, pudiendo ser abiertos, semicerrados y cerrados.

Tipos de Impulsores

El impulsor tiene la función fundamental de comunicarle al fluido la energía. Los impulsores pueden ser abiertos, semiabiertos y cerrados.

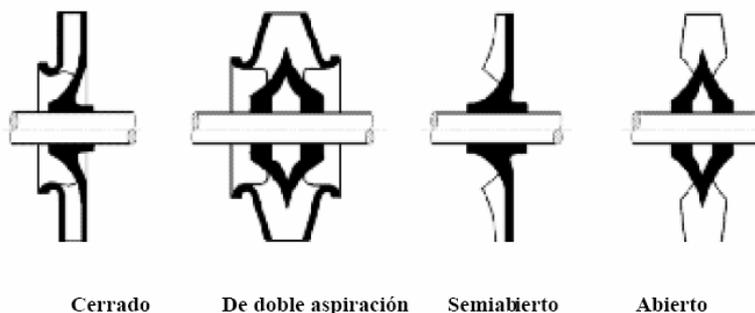


Figura 1.3 Tipos De Impulsores. [1.1]

Abiertos: Estos impulsores manejan líquidos ligeramente sucios, aunque tienen la desventaja de tener que trabajar con claros reducidos entre éste y la carcasa.

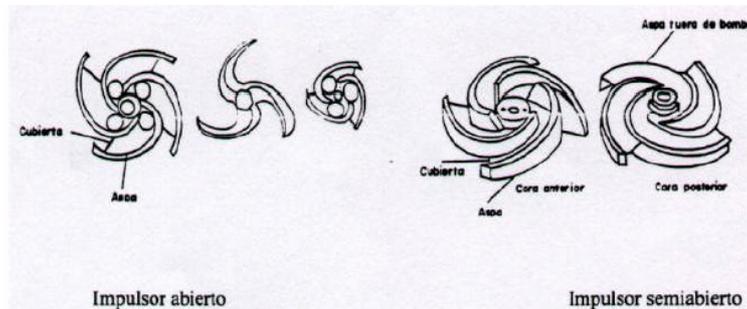


Figura 1.4 Impulsores Abiertos y Semiabiertos. [1.1]

Cerrados: Los impulsores cerrados trabajan con claros mayores entre éstos y la carcasa, ya que el líquido se lleva entre las tapas integrales que cubren ambos lados del impulsor y las aspas. Estos impulsores son los más utilizados en aplicaciones generales en bombas de simple succión y doble succión, así como en bombas de varios pasos.



Figura 1.5 Impulsores Cerrados. [1.1]

c) La voluta: Es una parte fija que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.

La voluta es también un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en

energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete.

En algunas bombas existe, a la salida del rodete, una corona directriz de álabes que guía el líquido antes de introducirlo en la voluta.

La carcasa o voluta de una bomba centrífuga, también con la posibilidad de ser de diferentes diseños, tiene la función de hacer la conversión de energía cinética o de velocidad que se imparte al fluido por el impulsor, en energía de presión o potencial.

Existen dos tipos básicos de carcasas: de tipo espiral y de tipo difusor.

En las carcasas de tipo espiral, el impulsor descarga el fluido en un área que se expande gradualmente, disminuyendo así la velocidad para irse convirtiendo en energía de presión.

La carcasa de tipo difusor, se basa en unas guías estacionarias con una trayectoria definida, que va ampliando el área desde el impulsor hacia la propia carcasa, haciendo también la conversión de energía cinética (velocidad) a energía potencial en el flujo (presión). Este tipo de carcasa es más utilizado en bombas de varias etapas.

Si la carga total (presión que se tiene que vencer con la bomba) que se requiere es mayor de la que se puede desarrollar con un solo impulsor, se puede hacer una combinación de ellos, con el flujo en serie donde el primer impulsor descarga a la succión del segundo, y así sucesivamente; en éstos casos el gasto se mantiene constante a lo largo de los distintos impulsores, pero la presión va adicionándose de impulsor en impulsor. Estas bombas se conocen como multietapas o de varias etapas.

A diferencia de otros tipos de bombas, las centrífugas, operando a velocidad constante proporcionan un flujo desde cero (0) hasta su valor máximo, en función de la carga, diseño propio y condiciones de succión.

d) Una tubería de impulsión: Instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

e) Empaquetaduras y cierres mecánicos: Se llaman empaquetaduras o cierres, a ciertos dispositivos cuyo fin es proporcionar un cierre que reduzca la cantidad de líquido que se pierde por fugas entre una parte en movimiento y otra fija de un equipo.

Las formas más simples de empaquetaduras están formadas por varios anillos de un material flexible insertados dentro de una cámara circular que se llama caja de empaquetaduras. Un anillo circular que se mantiene mediante pernos ajustables, ejerce presión contra los anillos, apretándolos fuertemente contra el eje.

Los anillos de las empaquetaduras se construyen con diferentes tipos de materiales según el servicio que deban prestar.

Los productos pesados pueden ir a un sumidero y ser recuperados, pero la solución más económica es impedir que escapen de la máquina y se pierdan.

Estos son, en general, los componentes de una bomba centrífuga aunque existen distintos tipos y variantes.

La estructura de las bombas centrífugas es análoga a la de las turbinas hidráulicas, salvo que el proceso energético es inverso; en las turbinas se aprovecha la altura de un salto hidráulico para generar una velocidad de rotación

en la rueda, mientras que en las bombas centrífugas la velocidad comunicada por el rodete al líquido se transforma, en parte, en presión, lográndose así su desplazamiento y posterior elevación. [1.2]

1.2.2 Curvas Característica y punto de operación de una bomba

Las curvas características son aquellas que describen el comportamiento de un ramal de bombeo. Dichas curvas son trazadas en función del caudal a una velocidad de giro constante.

1.2.2.1 Curva característica del funcionamiento

La curva característica de una bomba es una gráfica que muestra la altura total desarrollada por la bomba en función del caudal entregado por la misma, a una velocidad de giro constante. [1.3]

En la Figura 1.6 se muestra una curva de funcionamiento de una bomba centrífuga.

El cálculo de la altura total entregada por la bomba requiere que se aplique el teorema de Bernoulli entre la succión (entrada) y la descarga (salida) de la bomba. [1.4]

$$H_B = H_d - H_s + (Z_d - Z_s)$$

Donde

HB: Altura total entregada por la bomba [mca].

Hd: Presión de descarga en la salida de la bomba [mca].

Hs: Presión en la entrada de la bomba [mca].

Zd-Zs: Diferencia de altura entre la entrada y la salida de la bomba [m].

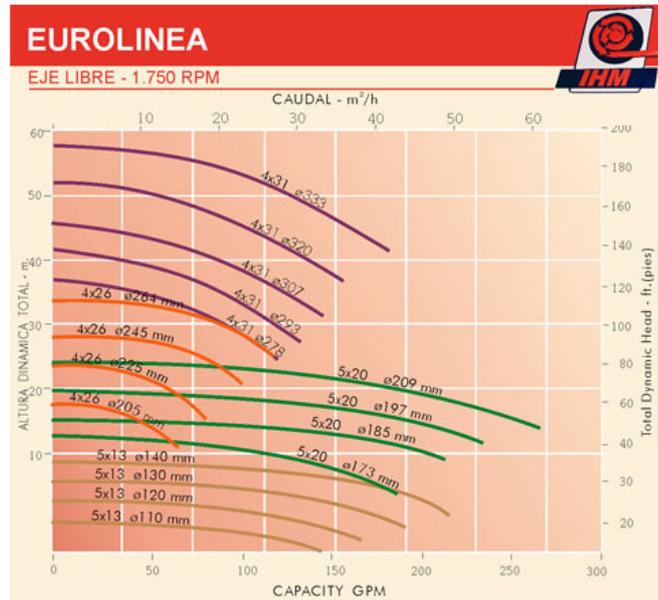


Figura 1.6. Curva de funcionamiento de una bomba. [L.2]

1.2.2.2. Curva característica de la eficiencia

El cálculo de la eficiencia de una bomba requiere que se aplique la ecuación de eficiencia [1.4]. Es relación entre la potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido y la potencia eléctrica consumida por el motor. [1.3]

$$\eta = 100 \frac{P_h}{P_e}$$

Donde

η : Eficiencia de la bomba [%].

P_h : Potencia hidráulica entregada por la bomba al fluido [W].

P_e : Potencia eléctrica consumida por el motor [W].

En la Figura 1.7 se muestra una curva característica de la eficiencia de una bomba centrífuga.

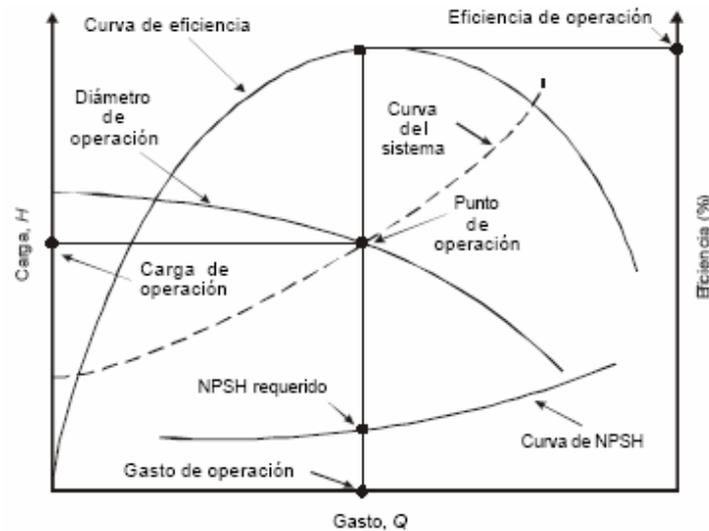


Figura 1.7. Curva característica de la eficiencia de una bomba centrífuga. [1.1]

Potencia hidráulica entregada por la bomba

El cálculo de la potencia hidráulica entregada por la bomba requiere que se aplique la ecuación de potencia hidráulica [1.4]. Es el producto del peso específico del fluido, el caudal entregado por la bomba y la altura total desarrollada por la bomba. [1.3]

$$Ph = \gamma Q H_B$$

Donde:

Ph: Potencia hidráulica agregada por la bomba al fluido [W].

γ : Peso específico del fluido [N/m³].

Q: Caudal volumétrico [m³/s].

H_B: Altura total entregada por la bomba [mca].

Peso específico de un fluido.

Es el peso del fluido por unidad de volumen. Se calcula hallando el producto de su densidad por la aceleración de la gravedad [1.4].

$$\gamma = \rho g$$

Donde:

γ : Peso específico del fluido [N/m^3].

ρ : Densidad del fluido [kg/m^3].

g : Aceleración de la gravedad [$9,8 \text{ m/s}^2$].

Caudal volumétrico en una tubería

El volumen de fluido que fluye por una tubería por unidad de tiempo, es el producto de la velocidad del fluido y el área transversal de la sección por donde fluye [1.4].

$$Q = cA$$

Donde:

Q : Caudal volumétrico [m^3/s].

A : Área de una sección transversal del tubo [m^2].

c : Velocidad media normal a la sección considerada [m/s].

Potencia eléctrica consumida por el motor de la bomba

La bomba del banco experimental es movida por un motor. La potencia eléctrica que consume dicho motor es el producto del voltaje, la corriente, el factor de potencia y la raíz de 3. [1.6]

$$P_e = V \cdot I \cos\phi \cdot \sqrt{3}$$

Donde:

P_e : Potencia eléctrica consumida por un motor trifásico [W].

V : Voltaje de la línea de alimentación.

I : Corriente consumida [A].

$\cos(\phi)$: Factor de potencia del motor.

1.2.2.3. Curva característica de un sistema de bombeo

La curva característica de un sistema de bombeo es una gráfica que muestra la altura de bombeo requerida en función del caudal entregado por la misma, a una velocidad de giro constante. [1.3]

En la Figura 1.8 se muestra una curva característica de un sistema de bombeo.

La altura de bombeo requerida por el sistema es igual a la elevación que la bomba le debe proporcionar al fluido más la pérdida total de carga en todo el sistema. [1.4]

$$H_R = Z_B + H_L$$

Donde:

HR: Altura requerida por un sistema de bombeo [mca].

Z_b: Elevación que la bomba le debe proporcionar al fluido [m]

HL: Pérdida total de carga en todo el sistema [mca].

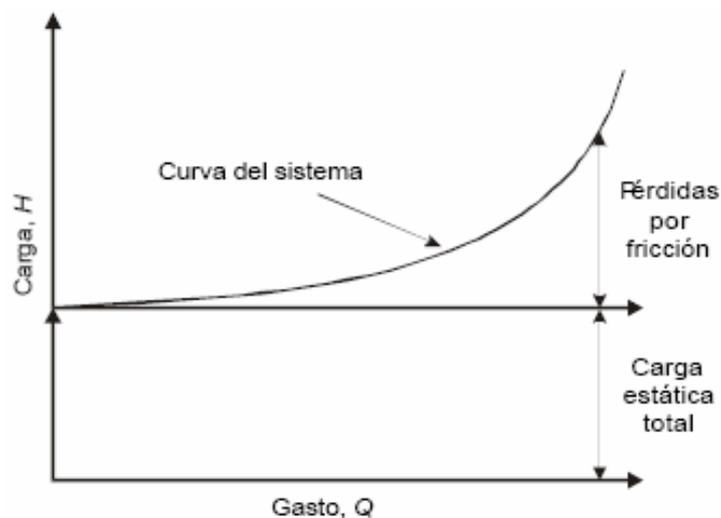


Figura 1.8 Curva característica de un sistema de bombeo [1.1].

Pérdidas de carga en un sistema de bombeo

La pérdida total de carga en un sistema de bombeo es la suma de las pérdidas primarias y las pérdidas secundarias [1.3].

$$H_L = H_{rp} + H_{rs}$$

Donde:

H_L : Pérdida total de carga en todo el sistema [mca].

H_{rp} : Pérdidas primarias de carga en el sistema [mca].

H_{rs} : Pérdidas secundarias de carga en el sistema [mca].

- Pérdidas primarias de carga

Son las pérdidas originadas por el contacto del fluido con la tubería, el rozamiento entre las capas del fluido en el régimen laminar y el rozamiento de las partículas de fluido entre sí en el régimen turbulento [1.3].

Las pérdidas primarias en una tubería son función del factor de fricción, la longitud y el diámetro de la misma, así como de la velocidad del fluido. [1.4]

Fórmula de Darcy – Weisbach para pérdidas primarias

$$H_{rp} = f \frac{L}{D} \frac{c^2}{2g}$$

Donde:

H_{rp} : Pérdidas primarias de carga en una tubería [mca].

f : Factor de fricción de la tubería [adimensional].

L : Longitud de la tubería [m].

D : Diámetro de la tubería [m].

c : Velocidad media del fluido [m/s].

g : Aceleración de la gravedad [m/s^2].

El factor de fricción de una tubería

Para su cálculo se utiliza el diagrama de Moody. Es un número adimensional que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería. [1.3]

- Factor de fricción para flujo laminar ($Re < 2000$) [1.4]

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

Donde

f : Factor de fricción de la tubería [adimensional].

Re : Número de Reynolds [adimensional].

- Factor de fricción para flujo turbulento ($Re > 4000$) [1.4]

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

Donde

f : Factor de fricción de la tubería [adimensional].

ε : Rugosidad absoluta de la tubería [m].

D : Diámetro de la tubería [m].

Re: Número de Reynolds [adimensional].

Número de Reynolds

Es cociente de las fuerzas inerciales por las fuerzas viscosas. [1.4]

$$Re = \frac{cD}{\nu}$$

Donde:

Re: Número de Reynolds [adimensional].

c: Velocidad media del fluido [m/s].

D: Diámetro de la tubería [m].

ν : Viscosidad cinemática del fluido [m²/s].

Viscosidad cinemática de un fluido

Es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad de un fluido. [1.4]

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde:

ν : Viscosidad cinemática del fluido [m²/s].

μ : Viscosidad dinámica del fluido [Pa . s].

ρ : Densidad del fluido [kg/m³].

Viscosidad dinámica de un fluido

Es el coeficiente de fricción interna de un fluido es una propiedad del fluido que se denomina viscosidad dinámica. Esta varía con la temperatura [1.4].

- Pérdidas secundarias de carga

Son las pérdidas originadas por los codos, válvulas, contracciones, y en general todos los accesorios de la tubería. [1.4]

$$H_{rs} = K \frac{c^2}{2g}$$

Donde:

H_{rs} : Pérdidas secundarias de carga [mca].

K: Coeficiente de pérdida de carga secundaria [adimensional].

c: Velocidad media del fluido [m/s].

g: Aceleración de la gravedad [m/s^2].

K depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad y de la configuración de la corriente antes del accesorio. [1.4]

1.2.2.4. Curva característica de la cabeza neta de succión positiva disponible

La curva característica de la cabeza de succión positiva disponible de un sistema es una gráfica que muestra la altura total absoluto disponible en función del caudal entregado por la misma, a una velocidad de giro constante. [1.3]

En la Figura 1.9 se muestra la curva característica de la cabeza neta positiva de succión disponible de un sistema de bombeo.

$$NPSH_d = H_E - H_v + \frac{C_E^2}{2g}$$

Donde:

$NPSH_d$: Cabeza neta positiva de succión absoluta disponible [mca].

H_E : Cabeza de presión estática (absoluta) en la entrada de la bomba [mca].

H_v : Presión de vapor del fluido a la temperatura de bombeo [mca].

C_E : Velocidad del fluido en la entrada de la bomba [m/s].

g : Aceleración gravitacional [9.8 m/s²].

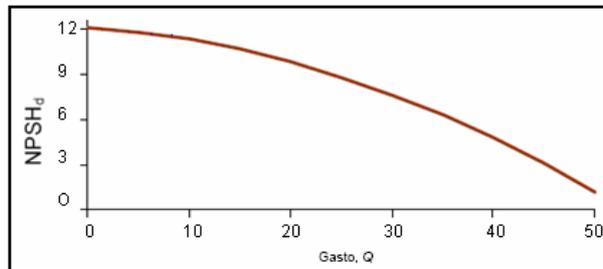


Figura 1.9 Curva característica de la cabeza neta positiva de succión disponible.

1.2.2.5. Cabeza neta de succión positiva requerida (NPSHR)

La cabeza neta de succión positiva requerida es la altura total absoluta requerida en la entrada de la bomba para que en el líquido no se formen burbujas de vapor.

Cuando en la operación de una bomba el NPSH disponible es menor al requerido de acuerdo al fabricante, la bomba comenzará a trabajar con cavitación. [1.4]



Figura 1.10 NPSH requerido [1.1]

1.2.2.6. Punto de operación

El punto de operación de una bomba se obtiene cuando la carga generada por la misma coincide con la que precisa el sistema de bombeo. El punto de operación se establece en la intersección de la curva característica de la bomba (carga vs gasto) y la curva del sistema. Si el sistema requiere un Gasto1 le corresponde una Carga1; para un Gasto2 corresponde una Carga2, etc. Al trazar una línea horizontal y otra vertical que pase por este punto pueden obtenerse los valores de carga, gasto, eficiencia y NPSH requerido. [1.1]

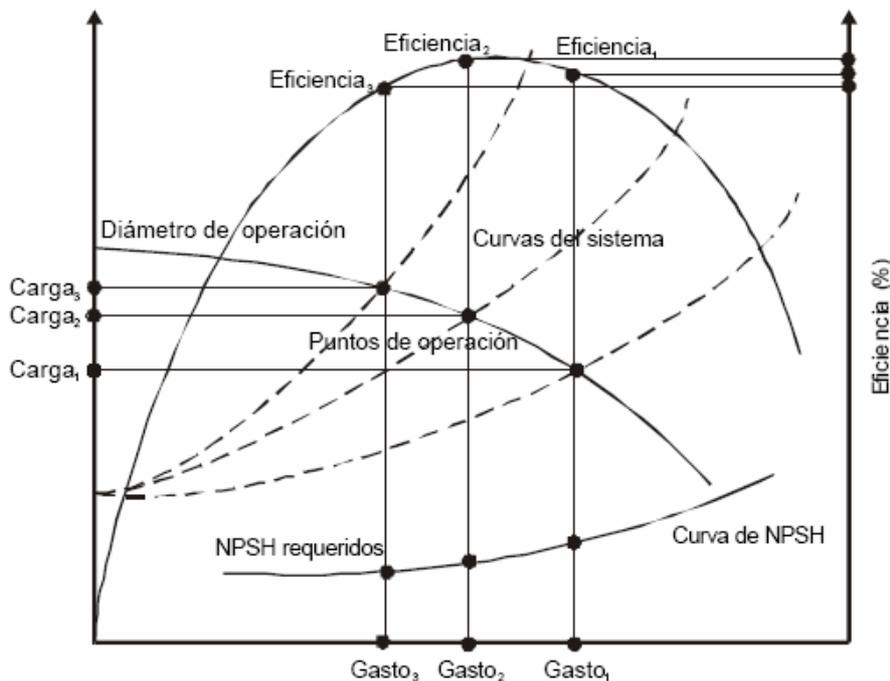


Figura 1.11 Punto de operación de un sistema de bombeo. [1.1]

El punto de operación de un sistema de bombeo debe estar lo más cercano posible al punto de máximo rendimiento.

1.3 NORMA ASME PARA PRUEBAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

1.3.1 Código ASME PTC 8.2 – 1990

Preparado en acorde con el ASME PTC 1 en instrucciones generales, este código provee un estándar para conducir y reportar ensayos de bombas centrifugas, incluyendo las tipo de flujo mixto y flujo axial, y todo aquello que se denomine “bombas” (SECCION 1, ITEM 1.1). [1.5]

Su objetivo es establecer reglas para conducir ensayos de bombas, para determinar bajo condiciones específicas, las siguientes características (SECCION 1, ITEM 1.2) [1.5]:

- Cabeza total producida por la bomba.
- Capacidad de la bomba (Caudal -rata de flujo a través de la bomba).
- Potencia de entrada a la bomba (Eléctrica).
- Eficiencia.
- Cabeza neta positiva de succión requerida. NPSH

Aplica a los ensayos de bombas utilizando líquidos o mezclas que tengan característica de viscosidad newtoniana (SECCION 1, ITEM 1.3) [1.5].

La Sección 4 de la norma ASME presenta información detallada de instrumentos y métodos de medición para ser utilizados en ensayos de bombas (SECCION 4, ITEM 4.1) [1.5].

En ensayos, es generalmente necesario medir (SECCION 4, ITEM 4.2) [1.5]:

- Presión (Succión, Descarga)
- Temperatura (Líquido y Ambiental)
- Caudal (Capacidad de la bomba)
- Velocidad de la bomba
- Potencia de entrada a la bomba. (Eléctrica)

Y parámetros, tales como:

- Peso específico
- Viscosidad
- Presión de vapor

El Código ASME PTC 8.2 – 1990 está fundamentado en los códigos:

- ASME PTC 19.2.
- ASME PTC 19.3.
- ASME PTC 19.4.
- ASME PTC 19.5.
- ASME PTC 19.6.
- ASME PTC 19.7.
- ASME PTC 19.12.
- ASME PTC 19.13.
- ASME PTC 19.16.

1.3.2 Aplicación de la norma ASME PTC 8.2 - 1990.

- Para Medición de presión: Su medición, disposición y configuración en el banco de ensayos se determina acorde con el CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEMS 4.5-4.6-4.7-4.7.1-4.7.2-4.8-4.9-4.10-4.11-4.12-4.12.1-4.12.2-4.13-4.14-4.15-4.16-4.17-4.18-4.19-4.20-4.21, FIGURAS 4.7.2-4.7.3-4.7.4-4.7.5-4.7.6-4.7.7-4.7.8-4.7.9-4.7.10.

Si el diámetro de la tubería no es constante los instrumentos deben estar colocados a una distancia mínima de cinco veces el diámetro de la tubería. Tomando como referencia el flanche de succión y descarga de la bomba.

- Para Medición del caudal: Su medición, disposición y configuración en el banco de ensayos se determina acorde con el CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEMS 4.22-4.23-4.24-4.25.

Para instalar un instrumento de medición de caudal, debe conocerse inicialmente el volumen del flujo que circulara por la tubería para determinar su rango de medición.

La selección del instrumento para tal fin debe estar acorde con la clasificación y métodos expuestos en la tabla 4.22 de la PTC 8.2.

Debe ser instalado en la tubería de descarga, antes de la válvula de control.

- Para Viscosidad: Su configuración en el banco de ensayos se determina acorde con el CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEM 4.26.

Solo aplica para líquidos diferentes al agua y especifica remitirse a la norma PTC 19.17.

- Para la Presión de vapor: Su configuración en el banco de ensayos se determina acorde con el CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEM 4.28.

“Ver medición de temperatura”.

- Para Medición de temperatura: Su medición, disposición y configuración en el banco de ensayos se determina acorde con el CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEMS 4.29-4.30-4.31.

Si la temperatura del líquido a medir es mayor a 50°F (10°C) los instrumentos de medición deben estar colocados lo más cerca posible de la sección en cuestión, para evitar pérdidas o errores en la medición.

Es decir que los instrumentos para medición de temperatura deben ser instalados dentro del recipiente que contiene el líquido. Recomendando el uso de termocuplas o RTD (instrumentos de tipo invasivos).

- Para Potencia eléctrica: Su medición y disposición en el banco de ensayos se determina a partir del CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEMS 4.32-4.33-4.34.

El motor eléctrico que se utilice para esta prueba debe estar acorde con los estándares de la IEEE/NEMA/ANSI/AWWA E101, o fabricado por una empresa reconocida.

Para motores eléctricos A.C se recomienda medir la potencia con la utilización de instrumentos certificados para el voltaje y la corriente.

- Para la Medición de velocidad: Su disposición y configuración en el banco de ensayos se determina a partir del CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEMS 4.35-4.36-4.37.

Se recomienda el uso de contadores de revolución, tacómetros, generadores de tacómetros, contadores de frecuencia eléctrica, contadores de frecuencia óptico, lámparas estroboscópicas, para mediciones en motores eléctricos a.c.

- Para Prueba del NPSH: La disposición y configuración de la tubería y la instrumentación del banco de ensayos se determina a partir del CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEMS 4.38-4.39-4.40-4.41-4.42-4.43-4.44, FIGURAS 4.40.1-4.40.2.

Para llevar a cabo la prueba de NPSH, la distancia mínima desde el flanche de la succión de la bomba hasta el codo debe ser mínimo 10 veces el diámetro de tubería de succión.

- Para Calibración de instrumentos, grabación y datos: La calibración de la instrumentación del banco de ensayos se determina a partir del CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEMS 4.45-4.45.1-4-45.2-4.46-4.47-4.48-4.49-4.50-4.51-4.51.1-4.51.2-4-51.3-4-51-4.

La calibración de todos los equipos del banco de ensayos incluyendo los de instrumentación debe ser acorde con la NATINAL BUREAU OF STARDARS o por un patrón de comparación certificado. Esto mismo aplica para el mantenimiento.

Cuando el instrumento es nuevo la primera calibración debe ser a los doce meses y las demás recalibraciones deben ser cada seis meses.

- Para Driver-motor eléctrico: La disposición en el banco de ensayos se determina a partir del CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEMS 4.52-4.52.1-4.52.2.

La calibración y mantenimiento del motor eléctrico del banco de ensayos debe ser acorde con ANSI/IEEE o por un patrón de comparación certificado.

- Para Computación de resultados: La teoría y formulas utilizadas en el banco de ensayos están acorde con el CÓDIGO ASME PTC 8.2-1990 SECCION 5, ITEMS 5.1-5.2-5.3-5.4-5.5-5.6-5.7-5.8-5.9-5.10-5.11-5.11.1-5.11.2-5.12, FIGURAS 5.7.1-5.7.2-5.7.3-5.7.4-5.7.5

Se requieren múltiples lecturas en un mismo punto para garantizar aritméticamente que dichas lecturas pueden ser utilizadas en la computación de resultados.

Estos métodos pueden ser utilizados para calcular el caudal, la altura, NPSH, eficiencia y potencia eléctrica, dependiendo del tipo de instrumento empleado.

CAPITULO 2.

BANCOS DE ENSAYOS EN COLOMBIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

2. BANCOS DE ENSAYOS EN COLOMBIA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

El siguiente capítulo se recopiló información valiosa acerca de algunos bancos de ensayos de bombas en Colombia. De igual forma los principales fabricantes de bombas en Colombia como HIDROMAC, IHM, SIHI Y BARNES, son muy reservados con esta información y solo la empresa HIDROMAC (Barranquilla-Atlántico) fue la única que proporcionó información acerca de su banco de ensayos que les ayuda determinar las características técnicas y cumplir los estándares de calidad de todas sus bombas fabricadas, a continuación presentaremos las principales características de este banco.

Para el análisis de las diferentes características del banco de la empresa HIDROMAC. Se debe tener en cuenta los diferentes planimétricos.

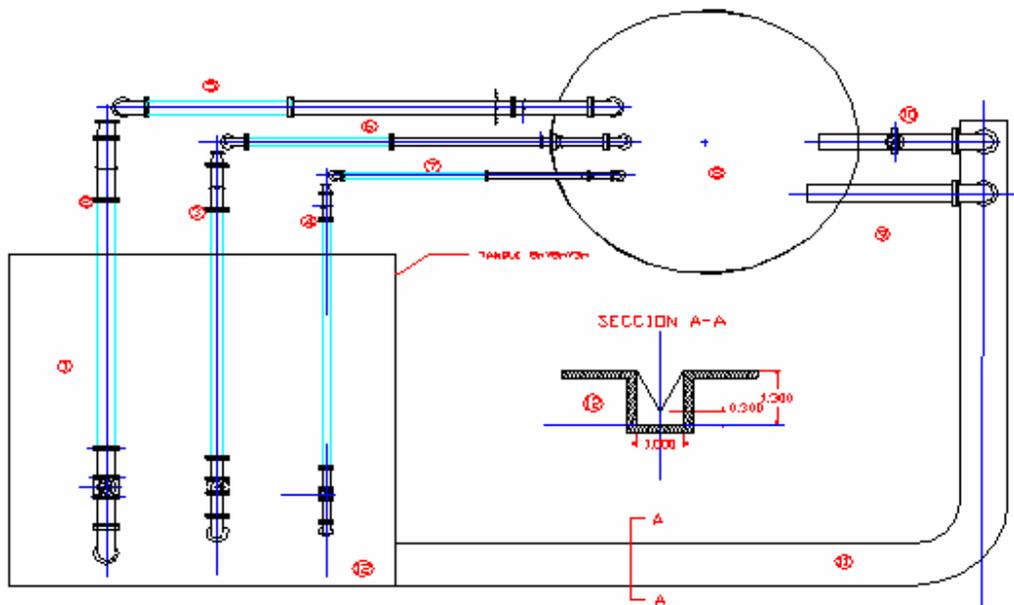


Figura 2.1. VISTA SUPERIOR GENERAL [2.1]

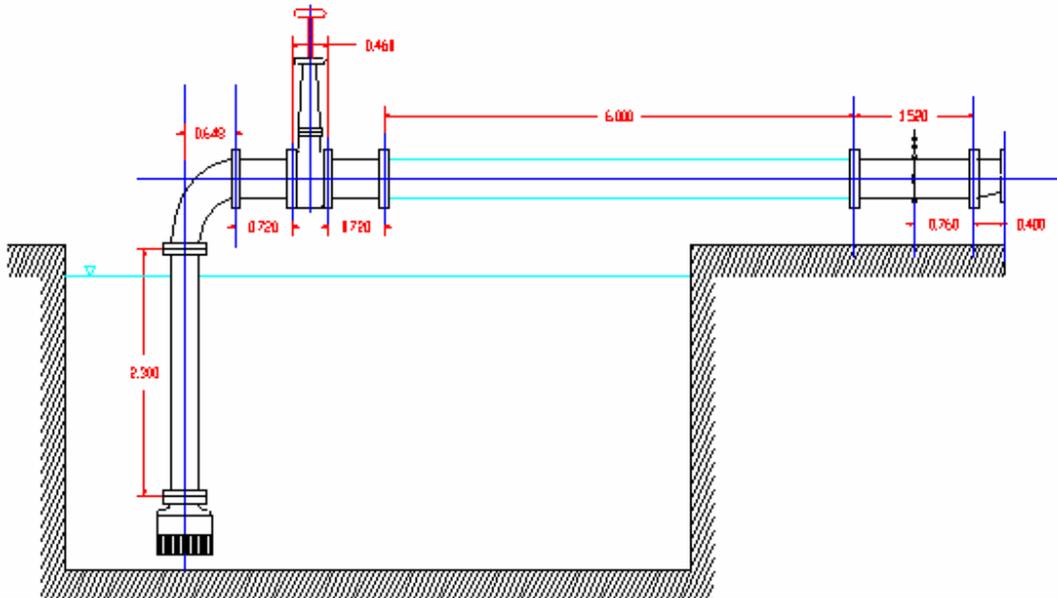


Figura 2.2. TUBERIA DE SUCCION DE 14" [2.1]

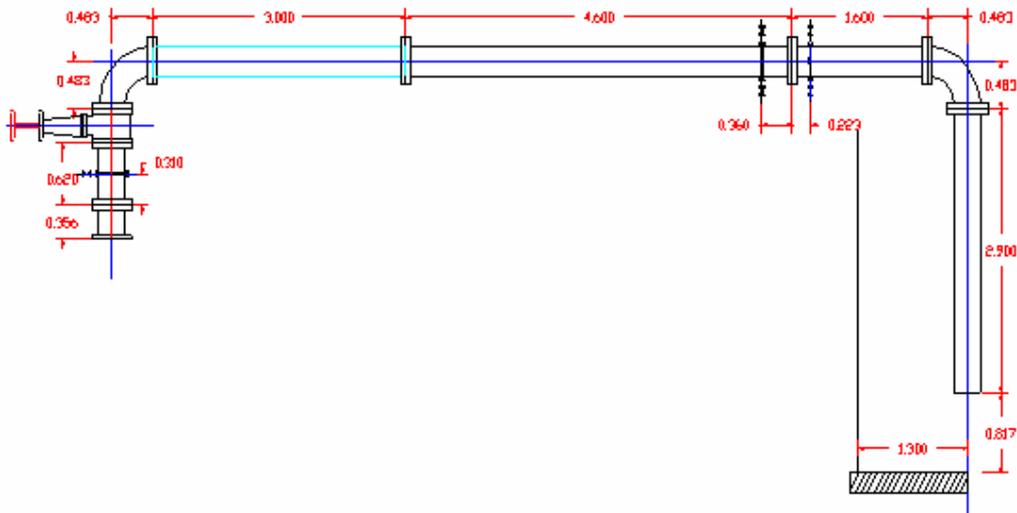


Figura 2.3. TUBERIA DE DESCARGA DE 12" [2.1]

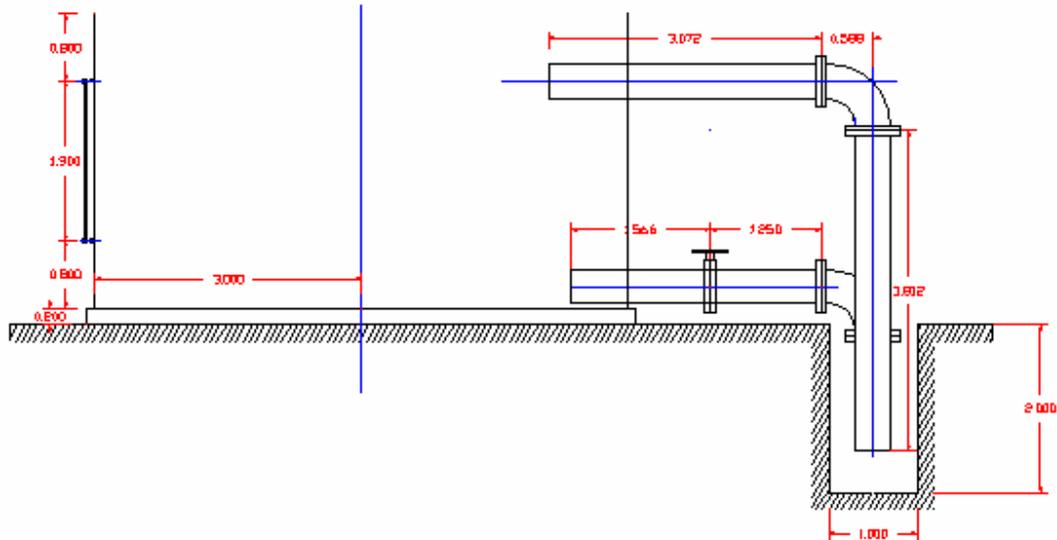


Figura 2.4. TANQUE DE AFORO [2.1]

Teniendo en cuenta las figuras 2.1 a la 2.4, podemos concluir que este es un banco diseñado y fabricado para realizar ensayos a todas y cada una de las bombas fabricadas por la empresa HIDROMAC, dependiendo del tamaño de las dimensiones de las mismas.

Toda la tubería del banco es en acero, es totalmente análogo, no posee ningún tipo de lectura one line de cada uno de los instrumentos de medición ya que todos los cálculos son realizados teóricamente en formulas ya plasmadas en hoja Excel. Las alturas correspondientes a la succión y descarga son: 2.5 mt y 3.8 mt respectivamente.

Cabe resaltar que este tipo de información no es proporcionada por las empresas que poseen bancos de ensayos por las diferentes leyes que rigen la propiedad intelectual, por ello no se exponen datos técnicos más profundos del banco como las curvas del punto de operación, caudal que maneja el banco, cálculos del NPSH y otros.

CAPITULO 3.

BOMBAS CENTRIFUGAS EN COLOMBIA

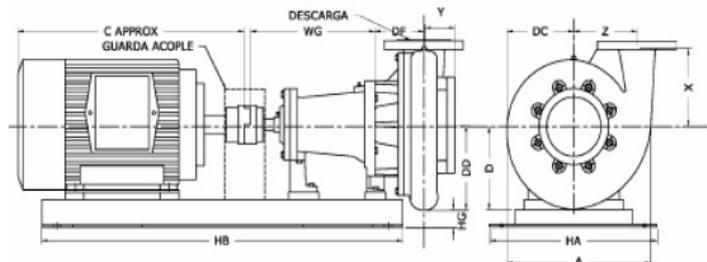
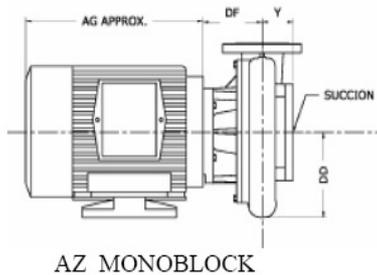
3. BOMBAS CENTRIFUGAS EN COLOMBIA

Es de gran importancia conocer los principales fabricantes de bombas en Colombia ya que es un mercado muy amplio a nivel internacional y preguntando a expertos en la materia en su gran mayoría exponen la siguientes marcas: HIDROMAC, IHM, BARNES y SIHI-HALBERT

Para un mejor análisis de las diferentes bombas fabricadas por estas marcas se expone a continuación algunas características dimensionales según normas de cada uno de los fabricantes.

3.1 HIDROMAC.

En la figura 3.1 se presenta las diferentes dimensiones de bombas centrifugas fabricadas por esta empresa, toda esta información es bajada de la pagina web de la empresa HIDROMAC (www.hidromac.com).



AZ MONOBLOCK

Bas e	Pesos Kg	HA	HB	HG	Frame	II	III	IV	A55	
Bx	22	280	840	46	Peso en Kg	16	37	40	74	
B	27	280	950	46	D	7	133	159	--	
Cu	37	440	950	77		9	159	178	159	--
Cx	44	440	1.010	77		11	--	178	159	--
C	50	440	1.235	77	Bore	12	--	178	159	--
Dx	75	560	1.180	81		15	--	--	--	368
Dx	100	560	1.500	81	WG	262	351	351	--	
Ey	132	590	1.380	89						
E	157	590	1.640	89						
Ez	200	590	1.890	89						

DIN	ANSI	X	Y	Z	DC	D	DD	AZ		Model AZF			Base Number				
								DF		Motor	A	AG					
								IIIA o IIA	IVA	Frame							
32-125A	1¼x1½X5A																
32-160A-B	1¼x1½X7A-B	133	62	106	125	132	132	121	N/A	56	N/A	N/A	Bx	N/A	N/A	N/A	N/A
32-200A-B	1¼x1½X9A-B	162	65	137	157	132	162	119	N/A	143T	248	254	Bx	N/A	N/A	N/A	N/A
32-315A-B	1¼x1½X12A-B																
40-125A	1½x2x5A																
40-160A	1½x1¼x7A	137	64	110	130	132	137	122	N/A								
40-200A	1½x1¼x9A	171	64	110	130	133	137	122	N/A	145T	248	279	Bx	Cu	N/A	N/A	N/A
40-250A	1½x1¼x11A	229	71	156	179	178	184	N/A	146	184T	248	305	Bx	Cu	N/A	N/A	N/A
50-125A	2x2½X5A																
50-160A	2x2½x7A	197	70	179	203	133	210	N/A	N/A	213T	267	356	Bx	Cu	Cu	N/A	N/A
50-200A	2x2½x9A	178	48	144	165	159	175	124	149	254T	318	432	N/A	Cx	Cx	N/A	N/A
50-250A	2x3x11A	203	60	165	178	178	187	130	N/A	284T	349	483	N/A	Cx	Cx	N/A	N/A
50-315A	2x2½x12A																
65-160A	2½x3x7A	149	51	122	148	178	159	129	N/A	284TS	349	483	N/A	Cx	Cx	N/A	N/A
65-200A	2½x3x9A	184	51	151	171	178	184	127	152	286T	349	533	N/A	C	C	E	
65-250A	2½x4x11A																
65-315A	2½x3x12A	210	51	187	213	178	222	130	N/A	286TS	349	533	N/A	Cx	Cx	N/A	N/A
80-200A	3x4x9A	191	54	156	200	203	189	130	156	324T	406	559	N/A	Dx	Dx	E	
80-250A	3x4x11A	229	70	178	192	203	208	138	N/A	324TS	406	559	N/A	Dx	Dx	N/A	N/A
80-315A	3x4x12A	216	54	192	214	203	227	140	165	326T	406	584	N/A	Dx	Dx	E	
80-400E																	
80-40/2-3																	
100-160A	4x4x7A	165	64	140	164	203	186	138	164	326TS	406	584	N/A	Dx	Dx	N/A	N/A
100-200A	4x5x9A	184	79	146	170	229	187	133	159	364T	457	584	N/A	Dx	Dx	E	
100-250A	4x5x11A	229	76	184	202	229	221	143	168	365T	457	610	N/A	N/A	N/A	E	
100-315A	4x5x12A	222	67	202	225	229	225	N/A	171	365TS	457	610	N/A	Dx	Dx	E	
100-400E																	
125-200A	5x6x9A																
125-250A	5x6x11A	229	79	205	221	254	257	152	178	404T	508	660	N/A	N/A	N/A	Ez	
125-315A	5x6x12A	229	73	211	235	254	257	N/A	178	404TS	508	660	N/A	Ey	Ey	Ez	
125-400E																	
150-200A	6x6x9A	210	95	178	203	254	229	140	165	405T	508	686	N/A	N/A	N/A	Ez	
150-250A	6x6x11A	235	79	221	246	279	275	N/A	184	444TS	559	762	N/A	N/A	N/A	Ez	
150-315A	6x6x12A-B-C	235	79	221	246	279	275	N/A	184	445TS	559	813	N/A	N/A	N/A	Ez	
150-450E																	

Para las bombas AZ monoblock el Frame del motor (T, TS) cambia a JM.
Las medidas son en (mm).

Figura 3.1 BOMBAS HIDROMAC [L.1]

3.2 IHM

El fabricante IHM además de proporcionar las diferentes dimensiones, también proporciona las diferentes curvas que genera cada una de sus bombas fabricadas las cuales pueden ser bajadas de su página web (www.ihm.com), como se expone en la figura 3.2.

Versión	Modelo	Succión x Descarga	Motor
Eje libre	3x16 SM	2" X 1.1/4"	Eje Libre
Eje libre	3x18 SM	1,1/2" x 1,1/4"	Eje Libre
Eje libre	3x20 SM	2" X 1.1/4"	Eje Libre
Eje libre	3x26 PE	2" X 1.1/4"	Eje Libre
Eje libre	4x13 SM	2.1/2" X 1.1/2"	Eje Libre
Eje libre	4x26 SM	2.1/2" X 1.1/2"	Eje Libre
Eje libre	4x31 PE	2.1/2" X 1.1/2"	Eje Libre
Eje libre	5x13 SM	2.1/2" X 2"	Eje Libre
Eje libre	5x20 SM	2.1/2" X 2"	Eje Libre
Eje libre	5x25 SM	2" x 2"	Eje Libre
Eje libre	5x26 PE	2.1/2" X 2"	Eje Libre
Eje libre	5x31 PE	2.1/2" X 2"	Eje Libre
Eje libre	6x26 PE	3" X 2.1/2"	Eje Libre
Eje libre	6x31 PE	3" X 2.1/2"	Eje Libre
Eje libre	8x31 PE	4" x 3"	Eje Libre
Eje libre	8x40x2 PE	4" x 3"	Eje Libre
Eje libre	10x16 SM	4" x 4"	Eje Libre
Eje libre	10x40 PE	5" x 4"	Eje Libre
Eje libre	12x25 PE	6" x 5"	Eje Libre

Eje libre	12x40 PE	6" x 5"	Eje Libre
Eje libre	15x40 PE	8" x 6"	Eje Libre
Eje libre	20x23 PE	8" x 6"	Eje Libre

Figura 3.2 BOMBAS IHM [L.2]

3.3 SIHI-HALBERT

Este fabricante en su manual industrial de bombas centrifuga expone características de caudal y altura máxima que genera la bomba, fabricadas acorde a la norma DIN 24255, por otro lado también expone datos de temperatura a la que puede trabajar la bomba como se presenta en la siguiente figura bajada de su pagina web (www.sihi.com).



General purpose pumps



Horizontal volute casing pumps according to EN 733/DIN 24255

1



ZLN

bare shaft design with gland packing or a mechanical seal, with optional quench, heating and external flushing.

2



ZLK (mechanical seal)

close-coupled design with a mechanical seal.

3



ZLK (magnetic drive)

close-coupled design with a magnetic drive.



In-line volute casing pumps with SuperNova hydraulics

4



ZLI (mechanical seal)

close-coupled design with a mechanical seal.

5



ZLI (magnetic drive)

close-coupled design with a magnetic drive.

REF	GENERAL PURPOSE PUMPS	CAPACITY (maximum)	HEAD (maximum)	SPEED (maximum)	TEMPERATURE (maximum)	CASING PRESSURE
1	ZLN	1800 m ³ /h	140 m	3600 rpm	170 °C	PN 16
2	ZLK Mech. seal	740 m ³ /h	90 m	3600 rpm	120 °C	PN 16
3	ZLK Mag. drive	600 m ³ /h	90 m	3600 rpm	300 °C	PN 16
4	ZLI Mech. seal	280 m ³ /h	60 m	3600 rpm	120 °C	PN 16
5	ZLI Mag. drive	280 m ³ /h	60 m	3000 rpm	300 °C	PN 16

Figura 3.3 BOMBAS SIHI-HALBERT [L.3]

3.4 BARNES

BARNES es un fabricante Bombas centrifugas de construcción monobloque, cierre con sello mecánico cuyas bombas suministran potencias entre 1/4 HP hasta 3.0 HP con motores eléctricos y su fuerte no es el sector industrial sino otros campos como se expone a continuación:

Las bombas de la Línea Caracol están diseñadas para:

- Uso domestico
- Aprovechamiento de aguas limpias
- Refrigeración de maquinaria
- Llenado de tanques y bebederos
- Lavado de establos
- Recirculación de agua en piscinas
- Pequeños equipos de presión

CAPITULO 4.

DISEÑO



4. DISEÑO

Debido a que en el capítulo 1 ya quedaron definidas las ecuaciones que rigen el diseño de un banco de ensayos de bombas centrífugas, por lo tanto, en este capítulo se debe pasar al diseño.

A continuación se muestra un dibujo del banco que se adapta a las condiciones para realizar ensayos.

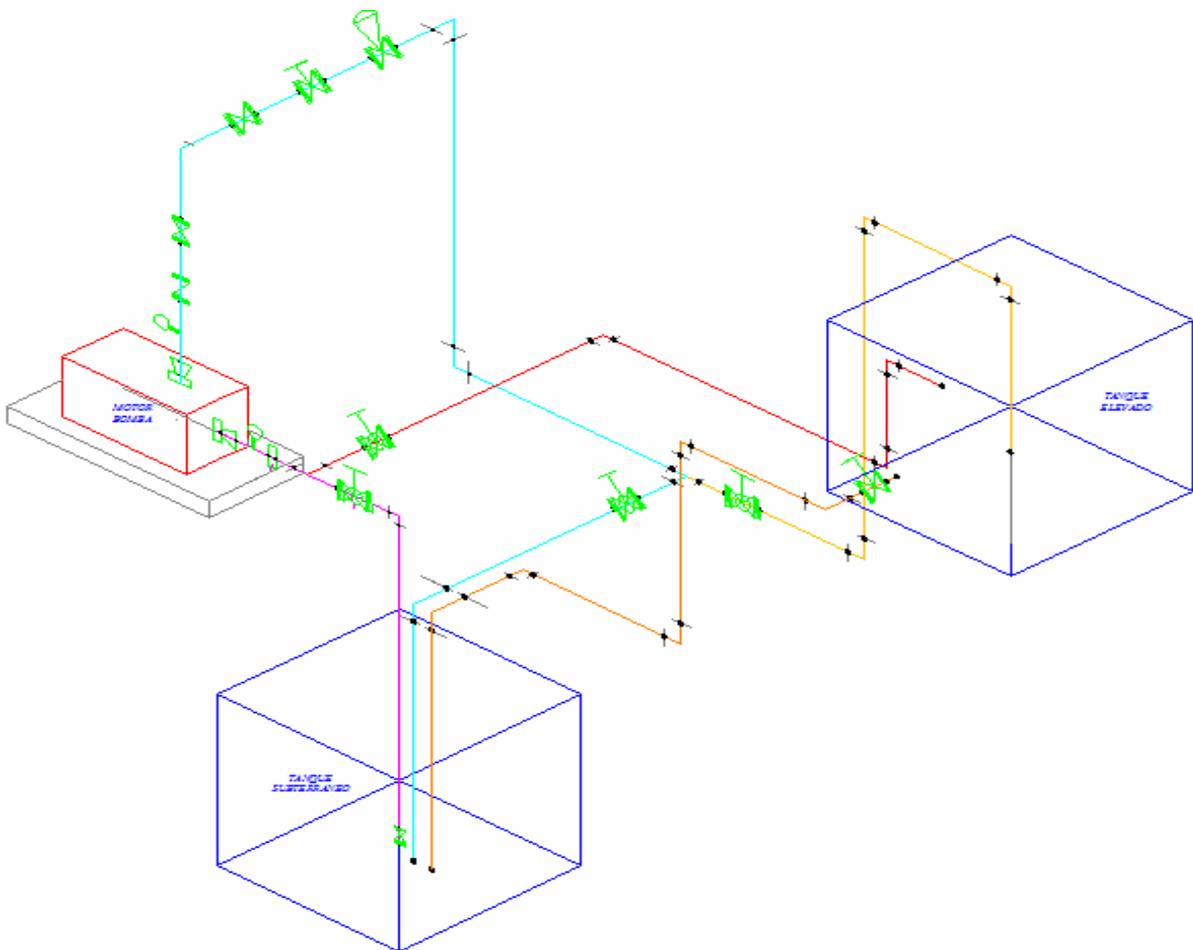


Figura 4.1 Distribución esquemática del banco de ensayos

Se llegó a este modelo estudiando cual sería la forma más cómoda y segura de realizar todas las pruebas, basados en la norma ASME PTC 8.2-1990 y además comparando este diseño con otros bancos que realizan estudios similares.

4.1 BOMBA

Es una bomba IHM modelo 3x18 de 2 Hp con eje libre, con diámetro de impulsor de 180 mm, las principales características de este modelo de bombas son:

- Bombas tipo industrial para trabajo pesado y diseño extra fuerte
- Mayor vida útil
- Construcción en hierro
- Carcasa ubicable en varias posiciones
- Diseño "Back Pull Out" para fácil desarme con alto número de espárragos
- Fácil reparación y rápida adquisición de repuestos
- Monoblock de 1750 rpm, eje libre
- Potencias desde 2 Hp
- Bridas de succión y descarga norma ANSI 125 ó 250
- Bajo costo de operación y ahorro de energía
- Rotor balanceado hidráulicamente

Costo: \$1.614.000 pesos colombianos



Figura 4.2. Bomba centrífuga IHM 3X18

4.2 MOTOR

Es un motor marca Siemens, referencia 1LA7. Trifásico de 3 hp de potencia alimentado con corriente alterna a 220/440 intensidad de 9,6/4.6 amperios. La

velocidad nominal máximo este motor es de 1800 rpm. Costo: \$ 782.300 pesos colombianos

Su función del motor dentro del banco experimental es accionar el impulsor de la bomba, para convertir la energía mecánica en energía hidráulica.

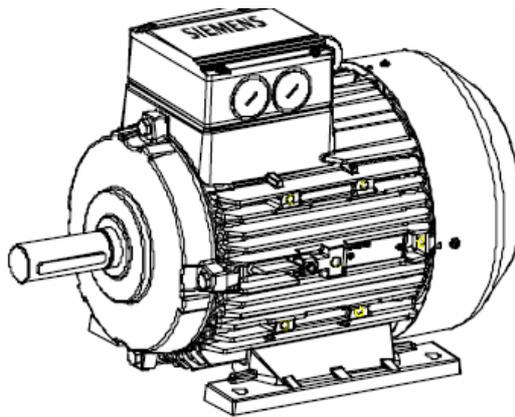


Figura 4.3. Motor eléctrico SIEMENS ILA7

4.3 CALCULOS HIDRAULICOS

De acuerdo al arreglo de tuberías del sistema, las ecuaciones de nodo y los valores de las fracciones de flujo correspondientes al banco de ensayo, se calculan los valores de flujo, las velocidades V , los números de Reynolds Re , las fracciones del flujo total para cada tramo y los factores de fricción f , para de esta manera reemplazar en las ecuaciones correspondientes a las pérdidas de carga total y obtener los valores respectivos para cada trayectoria.

Para cada trayectoria se tiene una línea de suministro y una de retorno, siendo el valor de la pérdida total correspondiente a la suma de las pérdidas por longitud y las pérdidas por accesorios que a su vez incluye las pérdidas por equipos varios como lo son las válvulas de ajuste de flujo, entre otros.

Para obtener los puntos necesarios para trazar la curva del sistema se seleccionan diez (10) valores del Flujo que corresponden desde 0% hasta el 100%, con relación al flujo nominal de operación del sistema.

4.3.1 Cálculos de los ramales

En la siguiente sección se presenta el diseño de cada uno de los ramales de bombeo, donde se detallaran: pérdidas de cada ramal, las curvas generadas para determinar el punto de operación de la bomba en el ramal, cálculos de potencia y finalmente los cálculos de NPSH.

En cada tabla se muestran las pérdidas generadas por los diferentes accesorios en el ramal y las pérdidas generadas por los tramos rectos de tubería (K_v), para así llegar a el cálculo de la constante K_q , que es una forma alternativa de presentar la resistencia existente en el flujo adimensional K_v en flujo turbulento. Tomando la ecuación de Darcy – Weisbach para pérdidas primarias.

$$H_{rp} = f \frac{L}{D} \frac{c^2}{2g}$$

Donde,

$$K_v = f(L/D)$$

$$HL = K_v(c^2/2g)$$

$$HL = K_v(Q^2/2A^2g)$$

$$HL = K_v(8Q^2/\pi^2D^4g) = K_q \cdot Q^2$$

De la cual la constante general de pérdidas del ramal queda de la siguiente forma.

$$K_q = (8K_v)/(\pi^2D^4g)$$



Es por ello que en la tabla cuando nos referimos al ramal 1 y 2, hacemos referencia a la succión por parte del plano y los sistemas 3 y 4 correspondiente a las descargas, según el plano de distribución.

RAMAL 1-3								
Descripción	Diametro Hidraulico (m)	Cantidad (UND)	Longitud (m)	Rugosidad (mm)	Rugosidad Relativa	f	Kv	Kg
FLG DE 1-1/4 A.C 150 LBf	0.0432	1.00	0.0270					
Reductor 2-1/2"X1-1/4"	0.0525	1.00	0.0889				2.1200	23081.33
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.3175	0.0015	0.0285714	0.0260	0.1572	1711.92
Transmisor de Presion con niple a.c 1/2"	0.0127	1.00					0.0000	0.00
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Cheque	0.0525	1.00	0.2159				7.6000	82744.38
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Compuerta 2-1/2	0.0525	1.00	0.1905				0.144	1567.79
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Codo 90 A.C con tapon	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
Acople de 2-1/2	0.0525	2.00					0.0000	0.00
Transmisor de Flujo de 2-1/2" NPT	0.0525	1.00	0.1300				0.1800	1959.74
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Compuerta 2-1/2	0.0525	1.00	0.1905				0.144	1567.79
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Servo Valvula	0.0525	1.00	0.2240				14.0000	152423.86
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00



Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.8395	0.0015	0.0285714	0.0096	0.3364	3662.15
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.1085	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2027	2206.85
Tee PVC (FUJO 90)	0.0525	1.00	0.0762				1.08	11758.41
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0232	252.84
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Bola	0.0525	1.00	0.2159				6.120	66631.00
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.9094	0.0015	0.0285714	0.0096	0.1663	1810.47
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.4000	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2560	2787.18
Valvula de pie	0.0525	1.00	0.2159				7.560	82308.88
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.5970	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2920	3179.38
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1053	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0193	209.64
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Bola	0.0525	1.00	0.2159				6.120	66631.00
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.0635	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0116	126.42
Tee PVC (FUJO 180)	0.0525	1.00	0.1524				0.36	3919.47
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.0508	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0093	101.13
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Transmisor de Presion con niple a.c 1/2"	0.0127	1.00					0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1905	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0943	1027.15
Reductor 2-1/2"X1-1/2"	0.0525	1.00	0.0889				2.1200	23081.33
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
							$\sum k$	186463.60
							$\sum Kq$	566659.21

Tabla 4.1, Calculo Kq del ramal 1-3



RAMAL 2-3								
Descripción	Diametro Hidraulico (m)	Cantidad (UND)	Longitud (m)	Rugosidad (mm)	Rugosidad Relativa	f	Kv	Kq
DESCARGA								
FLG DE 1-1/4 A.C 150 LBf	0.0432	1.00	0.0270				0.0000	0.00
Reductor 2-1/2"X1-1/4"	0.0525	1.00	0.0889				2.1200	23081.33
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.3175	0.0015	0.0285714	0.0260	0.1572	1711.92
Transmisor de Presion 1/2"	0.0127	1.00					0.0000	0.00
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Cheque	0.0525	1.00	0.2159				7.6000	82744.38
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Compuerta 2-1/2	0.0525	1.00	0.1905				0.144	1567.79
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Codo 90 A.C con tapon	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Transmisor de Flujo de 2-1/2" NPT	0.0525	1.00	0.1300				0.1800	1959.74
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Compuerta 2-1/2	0.0525	1.00	0.1905				0.144	1567.79
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Servo Valvula	0.0525	1.00	0.2240				14.0000	152423.86
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.8395	0.0015	0.0285714	0.0096	0.3364	3662.15
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.1085	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2027	2206.85
Tee PVC (FUJO 90)	0.0525	1.00	0.0762				1.08	11758.41



Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Bola de 2-1/2"	0.0525	1.00	0.2159				6.120	66631.00
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.9094	0.0015	0.0285714	0.0096	0.1663	1810.47
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.4000	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2560	2787.18
SUCCION								
Entrada de Tub a tope	0.0525	1.00					0.04	435.50
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.2097	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0383	417.48
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.4975	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0910	990.44
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.3695	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2504	2726.46
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.0394	0.0015	0.0285714	0.0096	0.1901	2069.28
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Bola de 2-1/2"	0.0525	1.00	0.2159				6.120	66631.00
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0232	252.84
Tee PVC (FUJO 180)	0.0525	1.00	0.1524				0.36	3919.47
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.0508	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0093	101.13
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Transmisor de Presion con niple a.c 1/2"	0.0127	1.00					0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1905	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0943	1027.15
Reductor 2-1/2"X1-1/2"	0.0525	1.00	0.0889				2.1200	23081.33
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
							ΣK	119289.70
							ΣKq	499917.23

Tabla 4.2 Calculo Kq del ramal 2-3



RAMAL 1-4								
Descripción	Diametro Hidraulico (m)	Cantidad (UND)	Longitud (m)	Rugosidad (mm)	Rugosidad Relativa	f	Kv	Kg
DESCARGA								
FLG DE 1-1/4 A.C 150 LBf	0.0432	1.00	0.0270					
Reductor 2-1/2"X1-1/4"	0.0525	1.00	0.0889				2.1200	23081.33
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.3175	0.0015	0.0285714	0.0260	0.1572	1711.92
Transmisor de Presion 1/2"	0.0127	1.00					0.0000	0.00
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Cheque	0.0525	1.00	0.2159				7.6000	82744.38
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Compuerta 2-1/2	0.0525	1.00	0.1905				0.144	1567.79
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Codo 90 A.C con tapon	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Transmisor de Flujo de 2-1/2" NPT	0.0525	1.00	0.1300				0.1800	1959.74
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Compuerta 2-1/2	0.0525	1.00	0.1905				0.144	1567.79
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Servo Valvula	0.0525	1.00	0.2240				14.0000	152423.86
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.8395	0.0015	0.0285714	0.0096	0.3364	3662.15
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.1085	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2027	2206.85
Tee PVC (FUJO 180)	0.0525	1.00	0.1524				0.36	3919.47
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77



FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Bola	0.0525	1.00	0.2159				6.120	66631.00
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.3895	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0712	775.43
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.9095	0.0015	0.0285714	0.0096	0.3492	3801.51
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.6047	0.0015	0.0285714	0.0096	0.1106	1203.86
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.8777	0.0015	0.0285714	0.0096	0.1605	1747.36
SUCCION								
Valvula de pie	0.0525	1.00	0.2159				7.560	82308.88
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.5970	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2920	3179.38
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1053	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0193	209.64
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Bola	0.0525	1.00	0.2159				6.120	66631.00
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.0635	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0116	126.42
Tee PVC (FUJO 180)	0.0525	1.00	0.1524				0.36	3919.47
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.0508	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0093	101.13
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Transmisor de Presion con niple a.c 1/2"	0.0127	1.00					0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1905	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0943	1027.15
Reductor 2-1/2"X1-1/2"	0.0525	1.00	0.0889				2.1200	23081.33
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
							ΣK	186463.60
							ΣKq	457586.97

Tabla 4.3 Calculo Kq del ramal 1-4



RAMAL 2-4								
Descripción	Diametro Hidraulico (m)	Cantidad (UND)	Longitud (m)	Rugosidad (mm)	Rugosidad Relativa	f	Kv	Kg
DESCARGA								
FLG DE 1-1/4 A.C 150 LBf	0.0432	1.00	0.0270				0.0000	0.00
Reductor 2-1/2"X1-1/4"	0.0525	1.00	0.0889				2.1200	23081.33
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.3175	0.0015	0.0285714	0.0260	0.1572	1711.92
Transmisor de Presion 1/2"	0.0127	1.00					0.0000	0.00
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Cheque	0.0525	1.00	0.2159				7.6000	82744.38
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Compuerta 2-1/2	0.0525	1.00	0.1905				0.144	1567.79
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Codo 90 A.C con tapon	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Transmisor de Flujo de 2-1/2" NPT	0.0525	1.00	0.1300				0.1800	1959.74
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Compuerta 2-1/2	0.0525	1.00	0.1905				0.144	1567.79
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Servo Valvula	0.0525	1.00	0.2240				14.0000	152423.86
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1436	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0263	285.88
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.8395	0.0015	0.0285714	0.0096	0.3364	3662.15
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.1085	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2027	2206.85
Tee PVC (FUJO 180)	0.0525	1.00	0.1524				0.36	3919.47
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0629	684.77



FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Bola	0.0525	1.00	0.2159				6.120	66631.00
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.3895	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0712	775.43
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.9095	0.0015	0.0285714	0.0096	0.3492	3801.51
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.6047	0.0015	0.0285714	0.0096	0.1106	1203.86
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.8777	0.0015	0.0285714	0.0096	0.1605	1747.36
SUCCION								
Entrada de Tub a tope	0.0525	1.00					0.04	435.50
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.2097	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0383	417.48
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.4975	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0910	990.44
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.3695	0.0015	0.0285714	0.0096	0.2504	2726.46
Codo 90 PVC	0.0525	1.00	0.0953				0.5400	5879.21
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	1.0394	0.0015	0.0285714	0.0096	0.1901	2069.28
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Valvula de Bola de 2-1/2"	0.0525	1.00	0.2159				6.120	66631.00
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.1270	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0232	252.84
Tee PVC (FUJO 180)	0.0525	1.00	0.1524				0.36	3919.47
Tramo recto PVC	0.0525	1.00	0.0508	0.0015	0.0285714	0.0096	0.0093	101.13
Acople de 2-1/2	0.0525	1.00					0.0000	0.00
Transmisor de Presion con niple a.c 1/2"	0.0127	1.00					0.0000	0.00
Tramo recto A.C	0.0525	1.00	0.1905	0.0015	0.0285714	0.0260	0.0943	1027.15
Reductor 2-1/2"X1-1/2"	0.0525	1.00	0.0889				2.1200	23081.33
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	0.0525	1.00	0.0381				0.0000	0.00
							ΣK	119289.70
							ΣKq	506767.22

Tabla 4.4 Calculo Kq del ramal 2-4

Para el cálculo de las pérdidas totales del ramal desde la succión hasta la finalizar la descarga está determinada por la siguiente ecuación.



$$H_B = Z + (K_q) * Q^2$$

Donde:

K_q = pérdidas generadas desde el tanque de succión al tanque de descarga (s^2/m^5)

Z = altura en la que se encuentra el tanque desde la succión (m)

Para el ramal 1-3

Sustituyendo los valores de $Z=0$ y $K_q= 566659.21(s^2/m^5)$, la ecuación del ramal es:

$$H_B = Z + (K_q) * Q^2 \rightarrow H_B = 0 + (566659.21) * Q^2 \rightarrow H_B = (566659.21) * Q^2$$

Para	Q= 0 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0 \text{ m}^3/\text{s})^2$	= 0 m
Para	Q= 0.0003155 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0003155)^2$	= 0.056 m
Para	Q= 0.0006309 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0006309)^2$	= 0.226 m
Para	Q= 0.0009464 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0009464)^2$	= 0.507 m
Para	Q= 0.0012618 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0012618)^2$	= 0.902 m
Para	Q= 0.0015773 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0015773)^2$	= 1.410 m
Para	Q= 0.0025236 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0025236)^2$	= 2.030 m
Para	Q= 0.0022082 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0022082)^2$	= 2.763 m
Para	Q= 0.0025236 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0025236)^2$	= 3.609 m
Para	Q= 0.0028391 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0028391)^2$	= 4.567 m
Para	Q= 0.0031545 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0031545)^2$	= 5.639 m
Para	Q= 0.0034700 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0034700)^2$	= 6.823 m
Para	Q= 0.0037854 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0037854)^2$	= 8.120 m
Para	Q= 0.0041009 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0041009)^2$	= 9.529 m
Para	Q= 0.0044163 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0044163)^2$	= 11.052 m
Para	Q= 0.0047318 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0047318)^2$	= 12.700 m
Para	Q= 0.0050472 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0050472)^2$	= 14.435 m
Para	Q= 0.0053627 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0053627)^2$	= 16.296 m
Para	Q= 0.0056781 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0056781)^2$	= 18.270 m
Para	Q= 0.0059936 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0059936)^2$	= 20.356 m
Para	Q= 0.0063090 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0063090)^2$	= 22.555 m
Para	Q= 0.0066245 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0066245)^2$	= 24.867 m
Para	Q= 0.0069399 m ³ /s	$\rightarrow H_B = (566659.21) * (0.0069399)^2$	= 27.292 m



CURVA DEL RAMAL 1-3			
$HB = Z + (K_{qA-Z}) * Q^2$			
HB (m)	HB (pies)	QB (m3/s)	QB (gpm)
0.000	0.000	0.0000000	0
0.056	0.185	0.0003155	5
0.226	0.740	0.0006309	10
0.507	1.665	0.0009464	15
0.902	2.960	0.0012618	20
1.410	4.625	0.0015773	25
2.030	6.660	0.0018927	30
2.763	9.065	0.0022082	35
3.609	11.840	0.0025236	40
4.567	14.985	0.0028391	45
5.639	18.500	0.0031545	50
6.823	22.385	0.0034700	55
8.120	26.640	0.0037854	60
9.529	31.265	0.0041009	65
11.052	36.260	0.0044163	70
12.687	41.625	0.0047318	75
14.435	47.360	0.0050472	80
16.296	53.465	0.0053627	85
18.270	59.939	0.0056781	90
20.356	66.784	0.0059936	95
22.555	73.999	0.0063090	100
24.867	81.584	0.0066245	105
27.292	89.539	0.0069399	110

Tabla 4.5 Perdidas totales en el ramal 1-3

CURVA DEL RAMAL 2-3			
$HB = Z + (K_{qA-Z}) * Q^2$			
HB (m)	HB (pies)	QB (m3/s)	QB (gpm)
2.180	7.152	0.0000000	0
2.231	7.318	0.0003155	5
2.382	7.815	0.0006309	10
2.635	8.644	0.0009464	15
2.989	9.805	0.0012618	20



3.443	11.297	0.0015773	25
3.999	13.121	0.0018927	30
4.656	15.276	0.0022082	35
5.414	17.763	0.0025236	40
6.273	20.582	0.0028391	45
7.233	23.732	0.0031545	50
8.295	27.213	0.0034700	55
9.457	31.027	0.0037854	60
10.720	35.171	0.0041009	65
12.085	39.648	0.0044163	70
13.550	44.456	0.0047318	75
15.117	49.595	0.0050472	80
16.784	55.067	0.0053627	85
18.553	60.869	0.0056781	90
20.423	67.004	0.0059936	95
22.394	73.470	0.0063090	100
24.465	80.267	0.0066245	105
26.638	87.396	0.0069399	110

Tabla 4.6 Perdidas totales en el ramal 2-3

CURVA DEL RAMAL 1-4			
$HB = Z + (K_{qA-Z}) \cdot Q^2$			
HB (m)	HB (pies)	QB (m ³ /s)	QB (gpm)
2.180	7.152	0.0000000	0
2.223	7.294	0.0003155	5
2.353	7.720	0.0006309	10
2.569	8.429	0.0009464	15
2.872	9.423	0.0012618	20
3.261	10.700	0.0015773	25
3.737	12.261	0.0018927	30
4.299	14.105	0.0022082	35
4.948	16.234	0.0025236	40
5.683	18.646	0.0028391	45
6.505	21.343	0.0031545	50
7.414	24.323	0.0034700	55
8.408	27.586	0.0037854	60
9.490	31.134	0.0041009	65
10.657	34.965	0.0044163	70



11.912	39.080	0.0047318	75
13.253	43.480	0.0050472	80
14.680	48.162	0.0053627	85
16.194	53.129	0.0056781	90
17.794	58.379	0.0059936	95
19.481	63.914	0.0063090	100
21.254	69.732	0.0066245	105
23.114	75.833	0.0069399	110

Tabla 4.7 Perdidas totales en el ramal 1-4

CURVA DEL RAMAL 2-4			
$HB = Z + (K_{qA-z}) \cdot Q^2$			
HB (m)	HB (pies)	QB (m3/s)	QB (gpm)
0.000	0.000	0.0000000	0
0.051	0.168	0.0003155	5
0.205	0.672	0.0006309	10
0.461	1.512	0.0009464	15
0.819	2.688	0.0012618	20
1.280	4.201	0.0015773	25
1.844	6.049	0.0018927	30
2.510	8.233	0.0022082	35
3.278	10.754	0.0025236	40
4.148	13.610	0.0028391	45
5.122	16.803	0.0031545	50
6.197	20.332	0.0034700	55
7.375	24.196	0.0037854	60
8.655	28.397	0.0041009	65
10.038	32.934	0.0044163	70
11.524	37.807	0.0047318	75
13.111	43.016	0.0050472	80
14.801	48.561	0.0053627	85
16.594	54.442	0.0056781	90
18.489	60.659	0.0059936	95
20.486	67.212	0.0063090	100
22.586	74.101	0.0066245	105
24.788	81.327	0.0069399	110

Tabla 4.8 Perdidas totales en el ramal 2-4

Para el cálculo del punto de operación del sistema se superponen las curvas de altura total entregada por la bomba y la curva del ramal.

La siguiente tabla muestra los diferentes valores correspondientes de caudal a la cual la bomba puede operara y su respectiva altura total, todos estos valores fueron tomados de la curvas características de la bomba suministrado por el fabricante.

CURVA BOMBA					
H (pies)	H (m)	Q (m ³ /s)	Q (l/s)	Q (m ³ /h)	Q (gpm)
51.84	15.8	0.00000	0.00	0,00	0.00
51.51	15.7	0.00126	1.26	4,54	20.00
50.03	15.3	0.00252	2.52	9,07	40.00
48.39	14.8	0.00315	3.15	11,34	50.00
45.93	14.0	0.00379	3.79	13,64	60.00
40.03	12.2	0.00505	5.05	18,18	80.00
38.55	11.8	0.00536	5.36	19,30	85.00
32.81	10.0	0.00631	6.31	22,72	100.00
30.02	9.2	0.00678	6.78	24,41	107.50

Tabla 4.9 Curva de la bomba.

En las siguientes grafica se observan las curvas del comportamiento de la bomba.

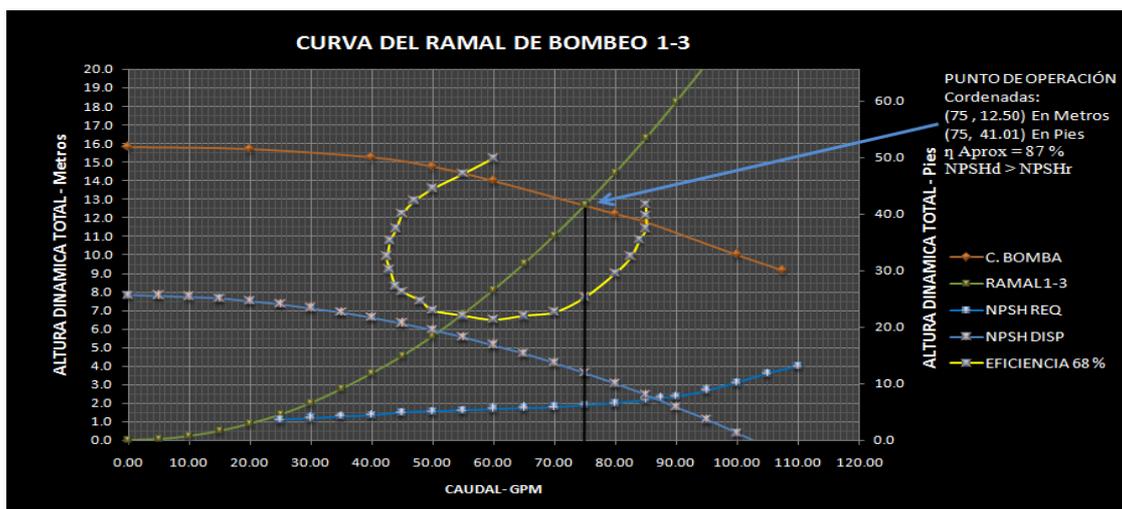


Figura 4.4 Curva del ramal de bombeo 1-3

El punto de operación del ramal 1-3 tiene un caudal de 75 GPM y una altura total de 12.5 metros con una eficiencia= 87 %

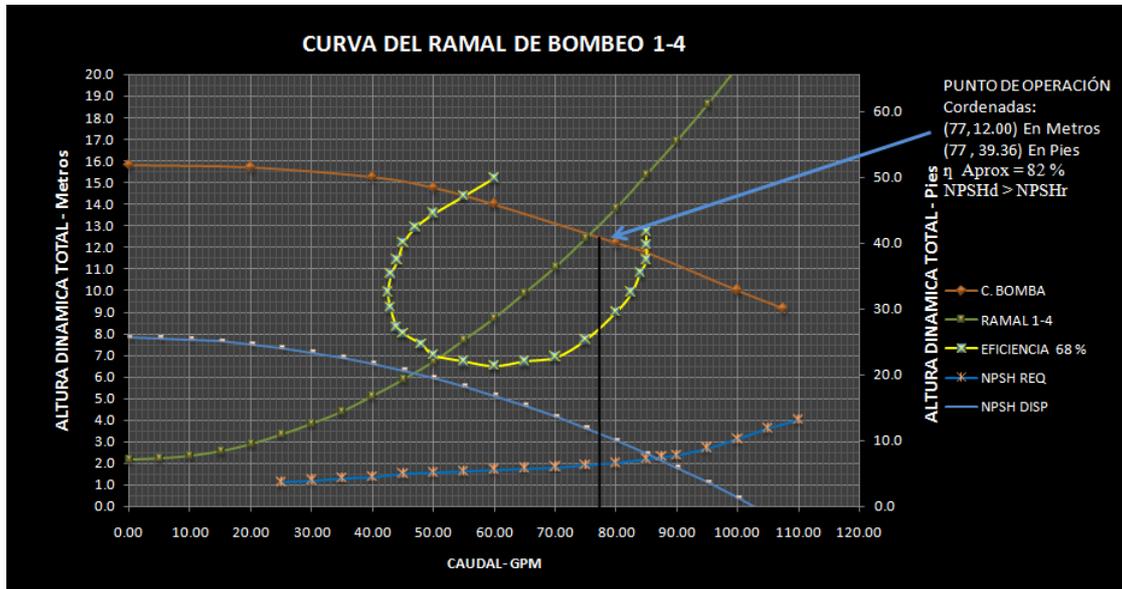


Figura 4.5 Curva del ramal de bombeo 1-4

El punto de operación del ramal 1-4, tiene un caudal de 77 GPM y una altura total de 12 metros, con una eficiencia= 82 %.

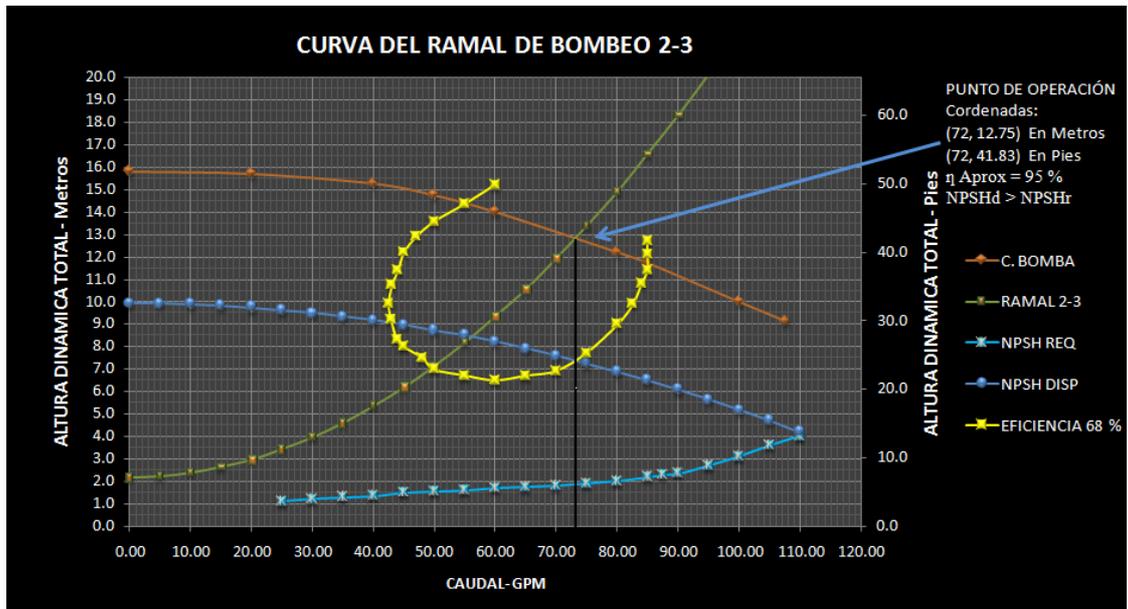


Figura 4.6 Curva del ramal de bombeo 2-3

El punto de operación del ramal 2-3 corresponde a un Caudal de 72 GPM, una Altura total de 12.75 metros, con una eficiencia= 95 %.

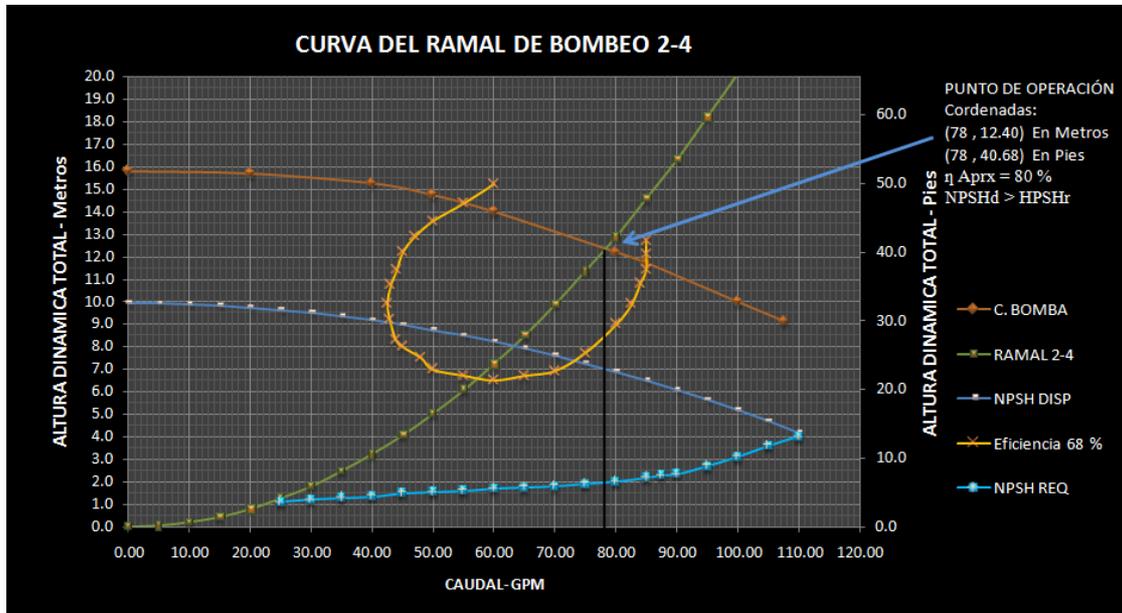


Figura 4.7 Curva del ramal de bombeo 2-4

El punto de operación del ramal 2-4 corresponde a un Caudal de 78. GPM, una Altura total de 12.40 metros, con una eficiencia= 80 %.

4.4 DEPOSITO DE ALIMENTACIÓN Y DESCARGA.

El depósito de alimentación se calculo 2.5 veces del valor de GPM del punto de operación del sistema 2-4 ya que es mayor con 78, G lo que corresponde a dos recipientes para succión y descargue de aproximadamente 750 litros, este volumen no existe comercialmente, por tanto el más aproximado es de 1000 litros.

CAPITULO 5.

INSTRUMENTACION DEL BANCO DE ENSAYOS

5. INSTRUMENTACION DEL BANCO DE ENSAYOS

El sistema de instrumentación del banco de ensayos, consiste en una línea de dispositivos para el monitoreo de las propiedades que establecen las condiciones de los equipos. A continuación se presentan los dispositivos seleccionados más adecuados de acuerdo a su aplicación, y su vez se realiza un análisis desde el punto de vista técnico, económico y de remplazo.

5.1 ADQUISICIÓN DE DATOS.

El esquema de la configuración del sistema de control y adquisición de datos del banco de ensayos es la que se muestra en la figura 5.1 El sistema está compuesto por un computador que cuenta con una tarjeta de adquisición de datos, un cable para comunicar la tarjeta con el bloque conector, y bloque conector que funciona como una terminal de conexiones para los transductores.

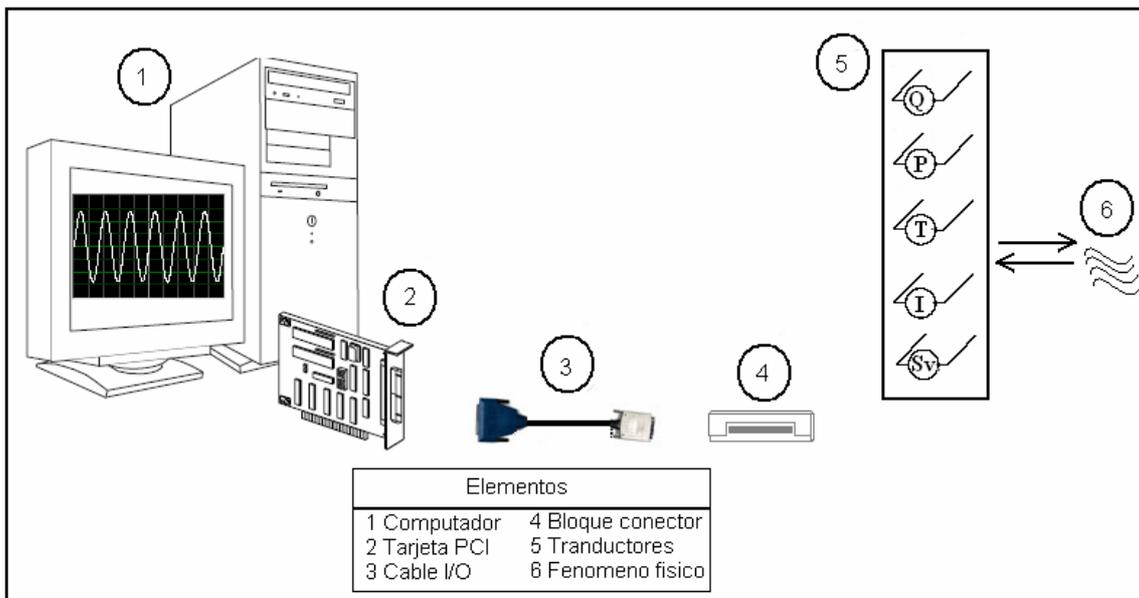


Figura 5.1 Configuración general sistema de control y adquisición de datos.

5.1.1 Tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición es marca National Instruments de referencia PCI-6251, la cual es una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) multifunción de alta velocidad de la Serie M optimizada para una precisión superior a velocidades de muestreo más altas. Costo: \$1180 Dólares

Su función dentro del banco de ensayos es el control y la adquisición de datos.

Datos técnicos

- 16 Bits, 1 MS/s (multicanal), 1.25 MS/s (monocanal), 16 Entradas Analógicas
- Dos salidas analógicas de 16 bits (2.8 MS/s), 24 E/S digitales, dos contadores de 32 bits
- Certificado trazable de calibración expedido por el NIST y más de 70 opciones de acondicionamiento de señal
- DIO correlacionadas (8 líneas sincronizadas, 10 MHz), disparo analógico y digital
- La tecnología de calibración NI-MCal proporciona una mayor precisión
- Obtenga mayor precisión, resolución y sensibilidad en sus medidas gracias a las tarjetas de alta precisión de la Serie M.
- El software de NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress para registro de datos

Para más información sobre la tarjeta de adquisición, ver ficha técnica en el anexo.



Figura 5.2 Tarjeta de adquisición de datos PCI-6251

5.5.2 Cable conector

El cable de I/O es marca National Instruments de referencia SHC68-68 y está especialmente diseñado para funcionar con dispositivos de la Serie M.



Figura 5.3 Cable SHC68-68

Este cable ofrece secciones digitales y analógicas separadas, pares cruzados blindados individualmente para entradas analógicas, salidas analógicas blindadas individualmente y pares cruzados para E/S digitales críticas.

El cable EPM tiene un conector Tipo D de 68 posiciones de la Serie 0.050 a un conector VHDCI de 68 posiciones para conectar un dispositivo de la Serie M a accesorios estándares de 68 pines. Dos cables se requieren para tener acceso a los pines en los dispositivos de la serie M de 2 conectores. Costo: \$110 Dólares

Para más información sobre el cable, ver ficha técnica en el anexo.

5.5.3 Bloque conector

El bloque conector es de la marca National Instruments de referencia BNC-2110 es un bloque conector blindado con conectores BNC. Se utilizar con dispositivos de adquisición de datos (DAQ) multifunción de la Serie M, Serie E, Serie S y dispositivos de salida analógica.

El bloque conector NI BNC-2110 simplifica la conexión de señales analógicas, algunas señales digitales y dos conexiones definidas por el usuario al dispositivo DAQ y mantiene la integridad de sus medidas con una cubierta blindada.

Costo: \$330 Dólares

Para más información sobre el bloque conector, ver ficha técnica en el anexo.



Figura 5.4 Bloque conector BNC-2110

5.5.4 Software controlador

Los dispositivos de la Serie M funcionan con diversos sistemas operativos usando tres opciones de software incluyendo NI-DAQmx, NI-DAQmx Base y el DDK de Hardware de Medida.

El software de NI-DAQmx va más allá de un controlador básico de adquisición de datos y le brinda mayor productividad y rendimiento en el desarrollo de

aplicaciones de adquisición de datos y control. NI-DAQmx controla cada aspecto de su sistema DAQ (incluyendo dispositivos de acondicionamiento de señales de NI), desde la configuración a la programación en LabVIEW, hasta el control a nivel del sistema operativo y del dispositivo.

NI-DAQmx funciona con NI LabVIEW, NI LabVIEW SignalExpress, NI LabWindows™/CVI, C/C++, Visual Basic, Visual Basic .NET y C#. (Para más información sobre el software controlador, ver ficha técnica en el anexo).



Figura 5.5 Software controlador NI-DAQmx

El software controlador NI-DAQmx y el software interactivo de registro de datos LabVIEW SignalExpress de National Instruments están incluidos GRATIS con cada dispositivo DAQ compatible con NI-DAQmx.

5.2 CAUDAL

Para la medición del caudal es necesario instalar un transmisor de caudal en la tubería de descarga, que presente en cualquier momento el caudal suministrado por la bomba, con el fin de determinar posibles signos de avería. El caudal del sistema está relacionado con signos de avería como velocidad baja del impulsor, baja descarga de líquido, presión insuficiente en la descarga, etc.

En la tabla 5.1 se muestran los instrumentos disponibles para este propósito de dos de los fabricantes más reconocidos de este campo.

FABRICANTE	ROSEMOUNT FLOW DIVISION		KOBOLD
Modelo	8800C	8800C	DMI-2508N65B30
Principio	Vortex	Vortex	Magnético
Caudal Max	261 GPM	576 GPM	1200L/min = 317,1GPM
T Max. (°C)	°90C	° 130	110°
Señal de salida	4...20mA	4...20mA	4....20mA
Alimentación (Vdc)	12V	12V	24 V
Costos	US \$ 2120	US \$ 2340	€ \$1000

Tabla 5.1 Trasmisores de caudal consultados

Los rangos de caudal encontrados comercialmente son muy superiores a los requeridos por el banco de ensayos, específicamente si nos referimos a la puesta en marcha de la bomba IHM 3X18.

Como el banco de ensayos será utilizado para evaluar el desempeño de bombas mayores en términos de capacidad, las características nos llevan a recomendar el transmisor de caudal magnético inductivo de referencia DMI-2508N65B30 fabricado por KOBOLD.

Como valor agregado este dispositivo es tanto transmisor como indicador de caudal en campo, es decir, que podemos observar en su display el valor de la medición. Es alimentado con 24 Vdc y entrega una señal de salida de 4-20mA compatible con la tarjeta de adquisición de datos que se instalara. Conexión 2 ½” NTP Macho.



Figura 5.6 Transmisor de caudal KOBOLD DMI-2508N65B30

El transmisor se conecta en los acoples de 2½" ubicados en la línea de descarga. Los cables de alimentación y salida se conectan en la toma ubicada en el tablero de control eléctrico y en el bloque conector, respectivamente.

Para más información sobre el transmisor de caudal KOBOLD ver ficha técnica en el anexo.

5.3. PRESION

Para la medición de la presión es necesario instalar transmisores de presión en la tubería de succión y descarga de la bomba, obteniendo información acerca de cómo se está comportando la bomba en el transporte del fluido, mostrando posibles bajones en el rendimiento debidos a fugas, tuberías parcialmente llenas, etc.

En la tabla 5.2 se muestran los instrumentos disponibles para este propósito de cinco de los fabricantes más reconocidos de este campo.

FABRICANTE	HBM	KISTLER	DANFOSS	SIEMENS	KOBOLD
Modelo	P3BM	7261	MBS 3000	SITRANSP	SEN-3276C535
Presión	Estática	Dinámica	Estática	Dinámica	Dinámica
Rango (bar)	0...10	-1...10	0...10	-1...10	-1...5
Material	Acero	Acero	AISI 316L	Acero	Acero
T Max. (°C)	80	240C	85°	85°	100°
Señal de salida	0,5...12V	0...10V	4-20mA	4...20mA	4...20mA
Alimentación (Vdc)	24V	30V	32 V	15 V	24 V
Costos	US \$990	US \$4200	US \$3200	US \$6800	€ \$290

Tabla 5.2 Trasmisores de presión consultados

Los rangos de presión encontrados comercialmente son superiores a los requeridos por el banco de ensayos, específicamente si nos referimos a la puesta en marcha de la bomba IHM 3X18.

Como el banco de ensayos será utilizado para evaluar el desempeño de bombas mayores en términos de capacidad, las características nos llevan a recomendar el transmisor de presión dinámico de referencia SEN-3276C535 fabricado por KOBOLD.

Como valor agregado este dispositivo es tanto transmisor como indicador de presión en campo, es decir, que podemos observar en su display el valor de la medición. Es alimentado con 24 Vdc y entrega una señal de salida de 4-20mA compatible con la tarjeta de adquisición de datos que se instalara. Conexión G 1/2”.



Figura 5.7 Transmisor de presión KOBOLD SEN-3276C535

Los transmisores se conectan en los acoples rápidos de 1/2” ubicados en las tomas de presión de la línea de descarga y de succión. Los cables de alimentación y salida se conectan en la toma ubicada en el tablero de control eléctrico y en el bloque conector, respectivamente.

Para más información sobre los transmisores de presión KOBOLD ver ficha técnica en el anexo.

5. 4 TEMPERATURA

La temperatura del líquido que circula por las tuberías es también otra propiedad importante que hay que adquirir de campo.

Para la medición de la temperatura es necesario instalar un transmisor de temperatura en el tanque elevado y en el tanque subterráneo, obteniendo en cualquier momento la temperatura real del líquido que circula por el sistema, con el fin de determinar la presión de vapor.

Como el banco de ensayos será utilizado para evaluar el desempeño de bombas mayores en términos de capacidad, haciendo circular agua esta característica importante nos lleva a recomendar el termómetro roscado tipo RTD con transmisor integrado e indicador en campo de referencia TDA-15H2R42L3M fabricado por KOBOLD.



Figura 5.8 Transmisor de temperatura KOBOLD TDA-15H2R42L3M

Como se menciona anteriormente, este dispositivo es tanto transmisor como indicador local tipo LED, es decir, que podemos observar en su display el valor de la medición. Un rango operación de -20°C a 120°C . Es alimentado con 24 Vdc y entrega una señal de salida de 4-20mA compatible con la tarjeta de adquisición de datos que se instalara. Conexión G $\frac{1}{2}$ ". Tiene un costo de € \$239.

Los transmisores se conectan en los acoples rápidos de ½" ubicados en las toma de temperatura del tanque elevado y subterráneo.

Para el primero se introduce la RTD a un costado recipiente y se acopla al transmisor, para el segundo se inserta la RTD en la parte superior y se acopla al transmisor. Los cables de alimentación y salida se conectan en la toma ubicada en el tablero de control eléctrico y en el bloque conector, respectivamente.

Para más información sobre los transmisores de temperatura KOBOLD ver ficha técnica en el anexo.

5. 5 SERVOVALVULA PROPORCIONAL

Esto se hace controlando el porcentaje de apertura de una servoválvula. Cuando el porcentaje de apertura es cero (Apertura = 0%), la Servoválvula estará totalmente cerrada y el caudal será cero ($Q = 0$). Por el contrario, si el porcentaje de apertura es cien (Apertura = 100%), la Servoválvula estará completamente abierta y el caudal será el máximo que puede entregar la bomba.

En la tabla 5.3 se muestran las servoválvulas disponibles para este propósito de cinco de los fabricantes más reconocidos de este campo.

FABRICANTE	SIRAI	CEME	COAX	DOROT	DANFOSS
Modelo	LI80	8620NC	RMQ-32	Serie 500-EL	EV220B
Principio	solenoides	Solenoides	solenoides	Solenoides	solenoides
P. Max. (bar)	15	10	16	17	15
Material	Acero	Acero	Bronce	Acero	Bronce
T Max. (°C)	130°	90°	80°	60°	90°
Señal de entrada	4-20mA	4-20Ma	4-20mA	4...20mA	4...20mA
Alimentación (Vdc)	24V	24V	24 V	24 V	24 V
Costos	US \$7500	US \$7000	US \$6160	US \$5230	\$ 4.454.000

Tabla 5.3 Servoválvulas consultadas



Figura 5.9 Servoválvula EV220B

Los rangos de trabajo encontrados comercialmente son muy superiores a los requeridos por el banco de ensayos, específicamente si nos referimos a la puesta en marcha de la bomba IHM 3X18.

Como el banco de ensayos será utilizado para evaluar el desempeño de bombas mayores en términos de capacidad, las características nos llevan a recomendar el transmisor de presión dinámico de referencia EV260B fabricada por DANFOSS con conexión de 2 1/2". Tiene un costo de \$4.380.600 y su bobina \$74.950 Pesos colombianos.

Para más información sobre la servoválvula DANFOSS ver ficha técnica en el anexo.

5.6 VELOCIDAD DE GIRO

Su función es controlar velocidad de giro y el torque del eje, variando la frecuencia de la corriente eléctrica del motor.

En la tabla 5.4 se muestran los variadores de velocidad disponibles para este propósito de dos de los fabricantes más reconocidos de este campo.

FABRICANTE	ABB	SIEMENS
Modelo	ACS 150-3E-07A3-4	SINPLUS MM440
Potencia	0-5 HP	0-3 HP
Protección	IP 20	IP-20
Alimentación	220V 3Φ	220V 3Φ
Señal de salida	A relé	4...20mA
Costos	US \$750	\$ 2.603.000

Tabla 5.4 Variadores de velocidad consultados

Teniendo en cuenta que el motor que permite accionar el impulsor de la bomba es marca Siemens, se selecciona el variador de frecuencia vectorial de la misma marca, referencia SINPLUS MM440, de 3 hp de potencia.

La frecuencia de operación por defecto será 60 Hz, sin embargo se puede seleccionar una frecuencia entre 0 y 75 Hz. Garantiza una velocidad nominal del motor a 1708 rpm cuando la frecuencia seleccionada es 60 Hz. Su costo es de \$ 2.603.000 pesos colombianos.



Figura 5.10 Variador de velocidad SIEMENS SINPLUS MM440

El motor de la bomba se operara con el variador de velocidad, desde las teclas de control ubicadas a la derecha del panel. Para encender el motor de la bomba se oprime la tecla verde, y para apagarlo se oprime la tecla roja dos veces. La tecla superior derecha aumentará la frecuencia, mientras que la tecla inferior derecha la disminuirá. Para más información sobre el variador de velocidad SIEMENS, ver ficha técnica en el anexo.

5.7 VELOCIDAD DE GIRO (AUXILIAR)

Para corroborar o verificar que las RPM a la cuales esta girando el motor, sea la que se estipulo con el variador de velocidad SIEMENS MICROMASTER 440, se utilizara un tacómetro digital.

Como el banco de ensayos será utilizado para evaluar el desempeño de bombas que giren más rpm que la IHM 3x18 (es decir a mas de 1750rpm), recomendamos la utilización del tacómetro digital ultrasónico de referencia DT- 209X fabricado por SHIMPO, el cual tiene un rango de lectura sin contacto hasta de 99999 rpm. Tiene un costo de \$209 dólares.



Figura 5.11 Tacómetro Marca SHIMPO DT- 209X

Para más información sobre el tacómetro SHIMPO DT- 209X, ver ficha técnica en el anexo.

5.8 CORRIENTE

Para la medición de la corriente consumida por el motor es necesario instalar un transductor de corriente, obteniendo en cualquier momento la corriente demandada por el motor, con el fin de determinar la potencia eléctrica.

En la tabla 5.5 se muestran los transductores de corriente disponibles para este propósito de dos de los fabricantes más reconocidos de este campo.

FABRICANTE	AMPERS	VELASQUEZ
Modelo	Hawkeye 720	TA420
Rango	0-20...200 Amp	0-20Amp
Señal de salida	4...20mA	4...20mA
Costos	US\$ 320	\$ 407.000

Tabla 5.5 Transductores de corriente consultados

Los rangos de trabajo encontrados comercialmente son muy superiores a los requeridos por el motor, específicamente si nos referimos a la puesta en marcha del motor Siemens IL7 para la bomba IHM 3X18.

Como el banco de ensayos será utilizado para evaluar el desempeño de bombas mayores en términos de capacidad junto con su motor, las características nos llevan a recomendar el transductor de corriente fabricado por VELASQUEZ INGENIEROS ASOCIADOS.

Es un transductor de corriente alterna con salida normalizada en corriente de 4 a 20 mA proporcional a la señal eléctrica medida. Cuenta con un rango de medición hasta 20 Amperios. Dicha transductor se instala en una de las líneas eléctricas que alimentan el motor. Tiene un costo de \$ 407.000 pesos colombianos.

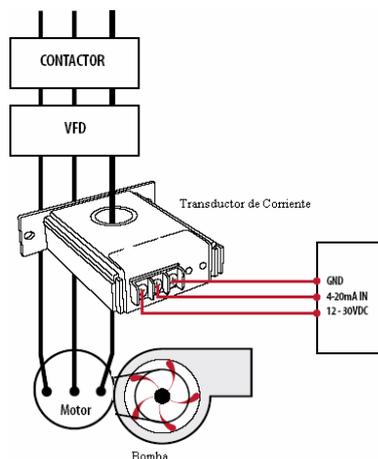


Figura 5.12 Acople transductor de corriente VELASQUEZ

5.9 VOLTAJE

Para la medición del voltaje al cual está conectado el motor es necesario instalar un transductor de corriente, obteniendo en cualquier momento el voltaje de alimentación del motor, con el fin de determinar la potencia eléctrica.

Las características del motor SIEMENS nos llevan a recomendar el transductor de voltaje TV420 fabricado por VELASQUEZ INGENIEROS ASOCIADOS LTDA. El cual es un transductor de voltaje alterna con salida normalizada en corriente de 4 a 20 mA proporcional a la señal eléctrica medida. Cuenta con un rango de medición hasta 300 Voltios. Dicho transductor se instala en una de las líneas eléctricas que alimentan el motor. Tiene un costo de \$ 407.000 pesos colombianos.

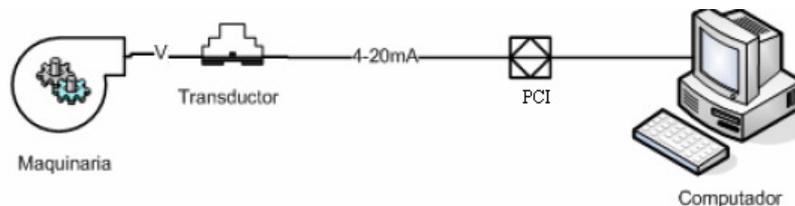


Figura 5.13 Acople transductor de voltaje VELASQUEZ

5. 10 TABLERO DE CONTROL ELÉCTRICO

Desde este tablero se suministra la energía para todos los equipos, instrumentos y dispositivos que componen el banco de ensayos. Su función principal es proteger y acoplar el motor con la red eléctrica.

Su distribución tanto de espacio como de planos es acorde a lo que determine la persona que realice el montaje del banco de ensayos. Por tanto, al momento de montaje se deben colocar salidas de voltajes de 24Vdc, 110 Vac, 220Vac 440Vac para los de los instrumentos y diferentes tipos de bombas que se conecten al banco de ensayos respectivamente.

En caso de presentarse un problema eléctrico en el motor o en la red, el tablero debe contener con que se disparen y corten el suministro de energía. El Interruptor seleccionado es referencia 3bl17021dd330aa0 de la marca SIEMENS en caja moldeada regulable 16-20A. Costo \$593400.

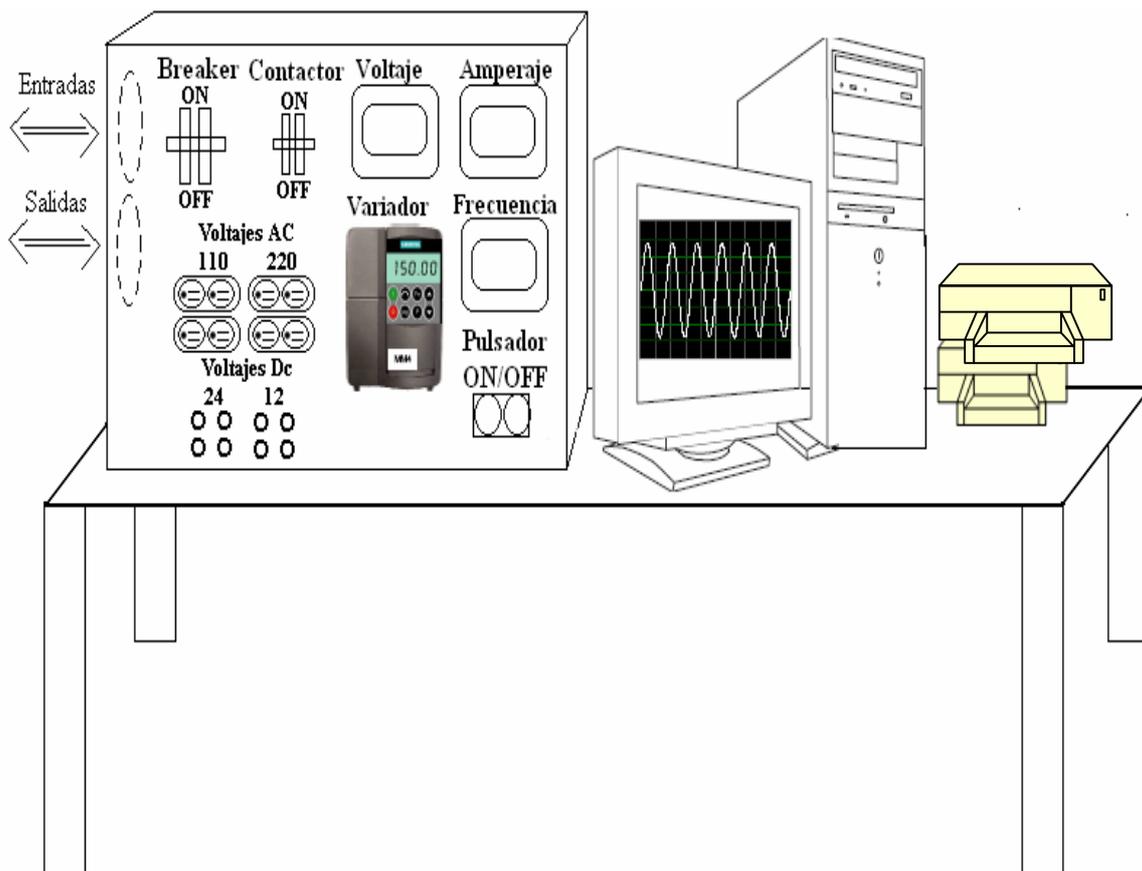


Figura 5.14 Distribución tablero de control eléctrico y estación de trabajo.

Antes de comenzar a operar el banco de ensayos se deben subir el breaker y después de terminar se deben bajar por razones de seguridad.

5.10.1 Arrancador motor eléctrico

Arrancador recomendado, es un arrancador directo que consta de un contactor trifásico marca LG ELECTRIC para motor de 3HP/220 V.AC, con térmico de 11 Amperios (equivalente al 15% por encima de la corriente máxima de funcionamiento a 220 Vac que es 9.6 Amp.) y pulsador ON/OFF. Tiene un costo de \$187.000 pesos colombianos.

5.10.2 Indicador de voltaje

El indicador recomendado, es un Indicador análogo de voltaje de 0-300 Voltaje AC para empotrar en tablero de control eléctrico, de la empresa VELASQUEZ INGENIERO Y ASOCIADOS LTDA. Tiene un costo de \$45.000 pesos colombianos.



Figura 5.15 Indicador de voltaje VELAZQUEZ.

5.10.3 Indicador de corriente

El indicador recomendado, es un Indicador análogo de corriente de 0-100 Amperios AC para empotrar en tablero de control eléctrico, de la empresa VELASQUEZ INGENIEROS Y ASOCIADOS LTDA. Tiene un costo de \$45.000 pesos colombianos.

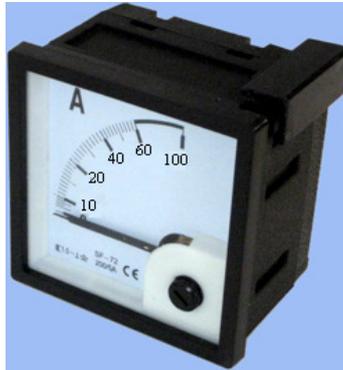


Figura 5.16 Indicador de corriente VELAZQUEZ.

5.10.4 Indicador de frecuencias

El indicador recomendado, es un Indicador análogo de frecuencias de 0-100 Hz para empotrar en tablero de control eléctrico, de la empresa VELASQUEZ INGENIEROS Y ASOCIADOS LTDA. Tiene un costo de \$95.000 pesos colombianos.



Figura 5.17 Indicador de frecuencias VELAZQUEZ.

CAPITULO 6.

DESARROLLO DE LA HMI- HUMAN MACHINE INTERFACE

6. DESARROLLO DE LA HMI - HUMAN MACHINE INTERFACE

Cuando los seres humanos y los computadores interactúan lo hacen a través de un medio o interfaz hombre – máquina, que definimos como HMI. [6.1]

6.1. ELECCIÓN DE LA PLATAFORMA MÁS IDÓNEA PARA EL DESARROLLO DE LA HMI

En este capítulo se presenta el programa que se ha desarrollado para realizar el procesamiento y el despliegue de la información; además, se explicarán las ventajas principales de la plataforma de desarrollo utilizada.

6.1.1 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

El entorno de desarrollo gráfico LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) de National Instruments ayuda a crear aplicaciones flexibles y escalables de diseño, control y pruebas.

Con LabVIEW, ingenieros y científicos pueden interactuar con señales del mundo real, analizar datos para extraer información significativa y compartir resultados a través de pantallas, reportes y la Web.

6.1.1.1. Características Principales

- Intuitivo lenguaje de programación gráfico para ingenieros y científicos
- Herramientas de desarrollo y librerías de alto nivel específicas para aplicaciones
Cientos de funciones para E/S, control, análisis y presentación de datos

- Despliegue en computadoras personales, móviles, industriales y sistemas de computación fijos.

Presenta facilidades para el manejo de:

- Interfaces de comunicaciones:

Puerto serie

Puerto paralelo

GPIB

PXI

VXI

TCP/IP, UDP, DataSocket

Irda

Bluetooth

USB

OPC...

- Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones:

DLL: librerías de funciones

.NET

ActiveX

MultiSim

Matlab/Simulink

AutoCAD, SolidWorks, etc

- Herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales.

Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.

Adquisición y tratamiento de imágenes.

Control de movimiento (combinado incluso con todo lo anterior).

Tiempo Real estrictamente hablando.

Programación de FPGAs para control o validación.

6.1.1.2 Áreas de Aplicación

LabVIEW es utilizado en diferentes ámbitos, siendo los más destacados:

- Análisis automatizado y plataformas de medida:

Test de fabricación

Test de validación/medioambiental

Test mecánico/estructural

Test de fiabilidad en tiempo real

Adquisición de datos

Test de campo portátil

Test de RF y comunicaciones

Test en bancos de prueba

Adquisición de imagen

- Medidas industriales y plataformas de control:

Test y control integrado

Automatización de máquinas

Visión artificial

Monitorización de condiciones de máquina

Monitorización distribuida y control

Monitorización de potencia

- Diseño embebido y plataformas de prototipaje:

Diseño y análisis de sistemas empotrados

Diseño de control

Diseño de filtros digitales

6.2 DESARROLLO DE LA HMI

Analizando las características indicadas en este proyecto, se decidió utilizar el programa de la Nacional Instruments Labview para la elaboración de la Interfaz hombre-máquina.

Por ser una HMI compleja, se desarrolló el programa principal con un conjunto de secuencias incluyendo un sub Vis (sub rutina).

6.2.1 Programa principal

El programa principal es el que controla la adquisición e interpretación de datos, así como también el almacenamiento y la creación de un reporte impreso con las curvas características generadas.

Para realizar estas acciones, se programó la HMI de tal forma que los datos de los instrumentos seleccionados puedan ser leídos de forma automática y en tiempo real.

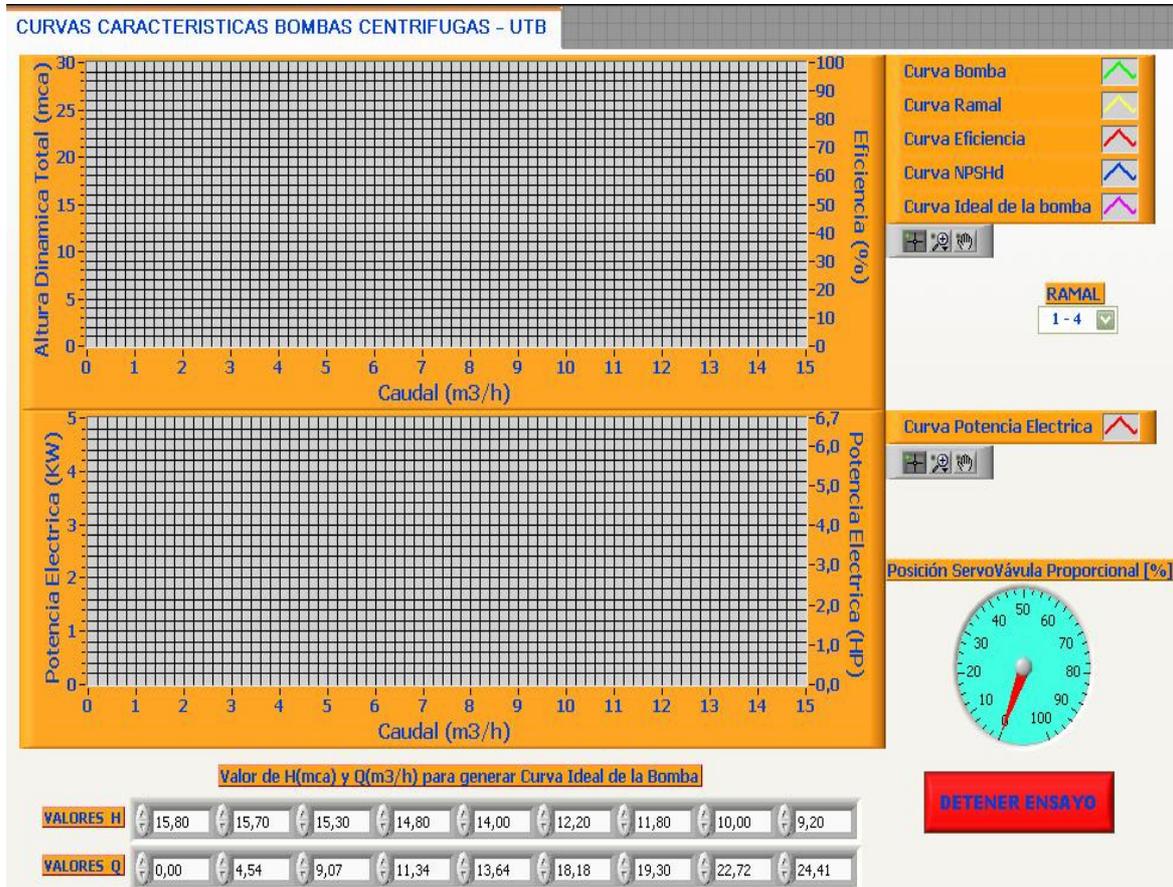


Figura 6.1 Panel Frontal del programa

6.2.2 Descripción del funcionamiento

En la pantalla del programa se escoge el ramal de bombeo que se va operar, y se digita los valores de Q y H de la curva ideal dada por el fabricante de la bomba.

Luego de digitar estos datos se ejecutan el programa, el cual automáticamente comienza a operar el sistema de bombeo y a graficar las curvas características del ramal elegido, la curva ideal de la bomba, y la curva de la potencia eléctrica consumida por el motor. Los valores correspondientes a las curvas se guardan en un archivo en la computadora.

Para el caudal se varía el porcentaje de apertura de la servoválvula que se encuentra en la línea de descarga del sistema. Por preconfiguración la servoválvula va aumentando de 2% en 2% en cada vez hasta alcanzar el 100% de apertura.

Las mediciones deben realizarse a una velocidad de giro constante (rpm) determinada por el variador de velocidad.

El primer gráfico del panel frontal ilustra las diferentes curvas características del ramal seleccionado. Su eje horizontal contiene las mediciones de caudal, en metros cúbicos por hora [m³/h], el eje vertical izquierdo contiene las mediciones de altura total, altura requerida y NPSHd en metros columna de agua [mca], y el eje vertical derecho contiene los cálculos de la eficiencia del sistema en porcentaje [%].

Para el segundo gráfico el eje horizontal contiene las mediciones del caudal, en metros cúbicos por hora [m³/h], el eje vertical izquierdo muestra las mediciones de la potencia eléctrica consumida en Kilovatios [KW] y el eje vertical derecho muestra las mediciones en caballos de fuerza eléctricos [HP]

Para cada porcentaje de apertura de la servoválvula se muestra el caudal (Q), la altura total entregada por la bomba (HB), la altura del ramal (HR), el NPSHd (Cabeza neta positiva de succión disponible), la potencia eléctrica consumida (P.Eléctrica) en Kw, y las revoluciones en rpm a la cual se hace la prueba, y la curva ideal de la bomba dada por el fabricante. La otra curva que se muestra es la eficiencia del sistema (η), la cual es adimensional.

La intersección entre las curvas características, la altura total entregada por la bomba y la altura requerida por el sistema, ambas curvas en función del caudal, dan como resultado el punto de operación del sistema. Este punto está constituido por el caudal para el cual la altura requerida por el sistema es igual a la altura total entregada por la bomba.

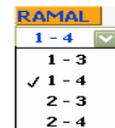
En un archivo se almacenan las mediciones realizadas en el banco de ensayo.

6.2.3 Utilización de la HMI

Pasos que se deben seguir para su correcta ejecución:

1. Abrir el programa “BombasCentrifugasUTB.vi”
2. Conectar una impresora al computador de manera que se imprima el reporte que contiene el gráfico de las curvas generadas.

3. Seleccionar el ramal para generar las curvas características



4. Ingresar los valores de Q y H de la curva ideal dada por el fabricante de la bomba.
5. Ejecutar el programa con el icono Run  ubicado en la barra de herramientas (Toolbar) o presionando Ctrl+R.

6. Seguidamente en panel frontal del VI se observan las siguientes curvas:

- Curva Bomba Vs. Caudal
- Curva Ramal Vs. Caudal
- Curva Eficiencia Vs. Caudal
- Curva NPSHd Vs. Caudal
- Curva ideal Bomba Vs. Caudal
- Curva Potencia eléctrica Vs. Caudal

7. Al finalizar el programa le pedirá al usuario un nombre para el archivo con los datos de las curvas generadas, el nombre será determinado por el usuario, aunque se sugiere que sea la Fecha/Ramal/Hora en que se realiza el ensayo, así: 14062009RAMAL231425.

NOTA: Para detener el ensayo antes de tiempo presionar el botón 

CAPITULO 7.

MANUAL DE OPERACION

7. MANUAL DE OPERACION

Dentro del proyecto del banco de pruebas para bombas centrífugas y es necesario tener en cuenta que antes de arrancar la bomba y la tubería de succión estén completamente llenos del fluido al que se va a bombear.

7.1 CEBADO

La bomba debe ser cebada antes de iniciar su funcionamiento. Se deben tener en cuenta dos procedimientos de cebado que dependen del nivel del agua de alimentación.

7.1.1 Operación con succión positiva.

- Abra la valvula de compuerta de la succión.
- Cierre la valvula de compuerta de la descarga y retire el tapon de cebado ubicada en el codo hasta que salga todo el aire que esta en el interior de la bomba.
- Cierre el tapón de cebado.
- Encienda el motor y vaya abriendo la valvula de descarga hasta el punto de trabajo.

7.1.2 Operación con succión negativa.

- Cierre la valvula de compuerta de la descarga.
- Retire el tapon de cevado y llene la tuberia de succion y la motobomba con agua, hasta que esta salga por el orificio del tapón.
- Apriete el tapón

- Encienda el motor y abra la valvula de descarga hasta el punto de trabajo deseado, según la figura 7.1.

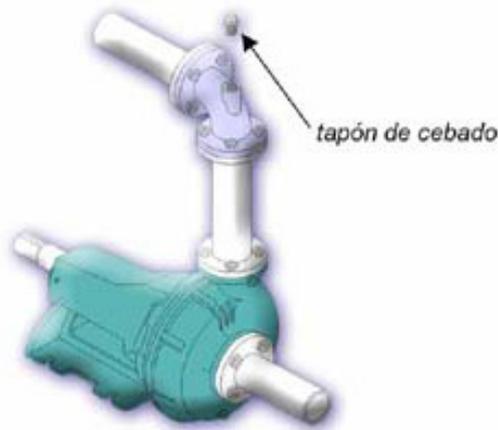


Figura 7.1. Operación de cebado.

Para más información sobre el cebado de la bomba IHM 3X18, ver manual del usuario.

7.2 VERIFICACIONES PREVIAS

Antes de la puesta en marcha del banco se debe verificar que todas las valvulas esten accionadas dependiendo del sistema en el que se desea trabajar, y las tuberias como la bomba esten conectadas y llenas de agua.

Es necesario verificar que la valvula de regulacion ubicada en la tuberia de descarga este cerrada para evitar un flujo en sentido contrario, por la presión que se genera en el tiempo de descarge, y la ubicada en la tuberia de succion esten completamente abiertas sin ningun tipo de obstruccion.

7.3 CONSIDERACIONES PARA LA PUESTA EN MARCHA PARA TODOS LOS RAMALES

1. Abir completamente la valvula de succion del ramal deseado, para que la bomba no trabaje en seco.
2. Realizar el cebado de la bomba, ajustar el variador de velocidad y conectar el motor.
3. Se debe verificar los trasmisores de presion ubicados en la succion y en la descarga, para observar el aumento de la presión progresiva, si no ocurre ningun aumento de la presion se debe parar el motor y nueva mente cebar la bomba.
4. Cuando la velocidad en rpm indicada en el tacometro se la determinada, abrir completamente la valvula de la descarga y correr el software para obtener los datos de operación requeridos para el desarrollo de las curvas.
5. Para realizar la parada del sistema se debe primero cerrar la valvula de regulacion de la descarga y luego se cierran todas la demas valvulas para evitar recirculaciones.

7.4 EJECUCIÓN DEL SOFTWARE

Remitirse al Capitulo 6 secciones 6.2.3, en la cual se presentan los pasos que se deben seguir para la correcta ejecución del software.

CAPITULO 8.

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO**

8. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Dentro del proyecto del banco de pruebas para bombas centrífugas es necesario que al momento en que sea fabricado este banco, se desarrolle su plan de mantenimiento preventivo, para así garantizar la calidad del servicio que se preste a la academia y a la industria.

Este mantenimiento preventivo cuenta con diferentes indicadores que ayudaran al análisis de desempeño y costos. Para así establecer diagnósticos y sugerir acciones correctivas que optimicen las mediciones realizadas por el banco de pruebas cuyo efecto debe compararse a futuro.

8.1 DATOS INICIALES

8.1.1 Objetivos

Diseñar un programa de mantenimiento preventivo a un banco de pruebas de bombas centrífugas.

8.1.2 Justificación

Es necesario el diseño de un sistema de mantenimiento aplicado al banco de prueba con el fin de garantizar las condiciones reales operativa de cada elemento conformado por el banco de prueba una vez diseñado.

8.2 MARCO TEORICO

8.2.1 FALLA.

- **Definición de Falla.**

Es la terminación de la capacidad de una unidad funcional para realizar su función.

Otra definición: Es la incapacidad de un sistema o un componente para realizar una función entre los límites especificados.

8.2.2 Mantenimiento.

- **Definición.**

Es el conjunto de acciones, operaciones y actitudes tendientes a poner o restablecer un bien a un estado específico, que le permitan asegurar un servicio determinado.

8.2.2.1 Tipos de Mantenimiento.

A nivel mundial los diferentes autores y especialistas en el tema del mantenimiento todavía no estandarizan el concepto acerca de los diferentes tipos de mantenimientos caso diferente a lo que sucede con el tiempo de ocurrencia de estos; si son antes o después de la falla

ANTES DE LA FALLA	<ul style="list-style-type: none"> • Predictivo • Proactivo • Preventivo
DESPUÉS DE LA FALLA	<ul style="list-style-type: none"> • Correctivo no planeado • Correctivo planeado

Tabla 8.1. Tipos de mantenimiento según su tiempo de aplicación.

8.2.2.1.1 Mantenimiento Predictivo

Servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o estimación hecha por evaluación estadística, tratando de extrapolar el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio.

8.2.2.1.2 Mantenimiento Proactivo

Es el mantenimiento orientado a la detección y corrección de las causas que generan la falla en un sistema y que van más allá de las fronteras del mismo

8.2.2.1.3 Mantenimiento Preventivo

Es el mantenimiento que se ejecuta a los componentes de un sistema (y/o al sistema en sí) en forma planificada y programada anticipadamente, con base en inspecciones periódicas debidamente establecidas según la naturaleza de cada sistema y encaminadas a descubrir posibles defectos que puedan ocasionar paradas del mismo o daños mayores que afecten su vida útil.

8.2.2.1.4 Mantenimiento Correctivo

Consiste en el reacondicionamiento o sustitución de partes en un equipo una vez que han fallado, es la reparación de la falla (falla funcional), ocurre de urgencia o emergencia.

8.2.2.1.4.1 Mantenimiento Correctivo no Planeado

Es el mantenimiento correctivo realizado a uno o varios elementos del sistema cuando ocurre una falla imprevista haciendo que el sistema se detenga.

8.2.2.1.4.2 Mantenimiento Correctivo Planeado

Es el mantenimiento correctivo realizado a un sistema después de ocurrida la falla en uno de sus elementos sin que este detenga la operación del sistema y comúnmente son corregidos en el preventivo.

8.3 INDICADORES

- **Definición de Indicador.**

Es la medida de un parámetro que es susceptible de ser compararlo con un objetivo predefinido.

Durante la monografía se trabajaran dos tipos de indicadores: de desempeño y costo. Teniendo en cuenta que para los indicadores de desempeño tendremos como referencia los Benchmarks mundiales para bombas centrifugas.

Para el indicador de costos está más relacionado al cumplimiento o no del presupuesto asignado para el mantenimiento del banco.

8.3.1 El Mantenimiento Según su Desempeño.

- **Disponibilidad**

Es el porcentaje de tiempo en que un equipo presenta su plena capacidad de operación.

La fórmula matemática para medir la disponibilidad del banco de pruebas centrífugas es la siguiente.

$$A = [(t_{\text{prog.}} - t_{\text{down}} - d_1) \div (t_{\text{prog.}} - d_1)] \times 100$$

Donde;

$t_{\text{prog.}}$: Tiempo de servicio programado. (Horas)

t_{down} : Tiempo down o parado por mantenimiento. (Horas)

d_1 : Demoras por disponibilidad del personal o presupuesto. (Horas)

Otra forma de medir disponibilidad es con la siguiente fórmula:

$$A\% \text{ (Disponibilidad)} = \frac{\text{MTBS}}{\text{MTBS} + \text{MTTR}} \times 100 \quad (\%)$$

Donde;

MTBS: Tiempo medio entre paradas:

MTTR: Tiempo medio para reparar:

MTBS: $(t_{\text{prog.}}) \div N$, para un periodo dado.

$t_{\text{prog.}}$: Tiempo de banco de prueba produciendo en horas. (Horas)

N : número de paradas por mantenimiento.

- **Tiempo promedio para reparar**

Esta medida me indica la cantidad de tiempo que fue necesario para reparar el sistema o el elemento y ponerlo operativo.

MTTR: $(t_{\text{down}}) \div N$, para un periodo dado.

t_{down} : Tiempo down o parado por mantenimiento. (Horas)

N : número de paradas por mantenimiento.

- **Utilización (U)**

Es la relación entre el tiempo efectivo de operación de un sistema o equipo utilizado para producción y el tiempo que disponía para utilizarlo.

$$U = (t_{\text{prod}}) \div (t_{\text{prog}} - t_{\text{down}}) \times 100$$

Donde;

t_{prod} : Tiempo de maquina produciendo (en horas).

t_{prog} : Tiempo de producción programadas (para un día son 8 horas).

t_{down} : Tiempo down o de equipo parado por mantenimiento (en horas)

- **Relación de Mantenimiento (MR)**

Es la relación entre el número de elementos del banco atendidos por personal de mantenimiento. Esta relación tiene sentido si las máquinas tienen las mismas características físicas y funcionales.

$$MR = N_{\text{máq}} \div N_{\text{mec}}$$

Donde,

$N_{\text{máq}}$: Número de elementos del banco de pruebas mantenidos.

N_{mec} : Número de elementos asignados al mantenimiento del banco.

8.3.2 Indicadores del mantenimiento según el costo

El índice de ejecución presupuestal es la relación entre el presupuesto de gastos de un periodo dado y el gasto real de ese mismo periodo.

$$I_{ep} = (\text{COSTO}_{\text{real}} \div \text{COSTO}_{\text{ppto}}) \times 100$$

Donde:

$\text{COSTO}_{\text{real}}$ = Es la sumatoria de todos los costos de mantenimiento en el periodo dado.

$\text{COSTO}_{\text{ppto}}$ = Es la sumatoria del presupuesto de mantenimiento calculado y asignado para el periodo dado.

8.4 INVENTARIOS DE EQUIPOS

POBLACION	
DESCRIPCION	ITEM CODE
Válvula de pie	B.P.B-001
Tramo recto PVC	B.P.B-002
Codo 90 PVC	B.P.B-003
Tramo recto PVC	B.P.B-001
FLG DE 2-1/2 PVC 200 LBf	B.P.B-004
Válvula de Bola	B.P.B-005
Tramo recto PVC	B.P.B-001
Tee PVC (FUJO 180)	B.P.B-006
Tramo recto PVC	B.P.B-001
Acople de 2-1/2	B.P.B-007
Transmisor de Presión con niple a.c 1/2"	B.P.B-008
Tramo recto A.C	B.P.B-009
Reductor 2-1/2"X1-1/2"	B.P.B-010
FLG DE 2-1/2 A.C 150 LBf	B.P.B-011
Tramo recto A.C	B.P.B-009



Válvula de Cheque	B.P.B-012
Tramo recto A.C	B.P.B-009
Válvula de Compuerta 2-1/2	B.P.B-013
Tramo recto A.C	B.P.B-009
Codo 90 A.C con tapón	B.P.B-014
Tramo recto PVC	B.P.B-001
Transmisor de Flujo de 2-1/2" NPT	B.P.B-015
Servo Válvula	B.P.B-016
Tramo recto PVC	B.P.B-001
Entrada de Tubo a tope	B.P.B-017
Tramo recto PVC	B.P.B-001
Transductor de Temperatura	B.P.B-018
Tarjeta de adquisición de datos	B.P.B-019
Cable I/O	B.P.B-020
Bloque conector	B.P.B-021
Variador de Velocidad	B.P.B-022
Tacómetro ultrasónico	B.P.B-023
Transductor de corriente	B.P.B-024
Transductor de Voltaje	B.P.B-025
Breaker de control	B.P.B-026
Arrancador motor eléctrico	B.P.B-027
Indicador de Voltaje análogo	B.P.B-028
Indicador de corriente análogo	B.P.B-029
Indicador de Frecuencia análogo	B.P.B-030
Bomba centrífuga	B.P.B-031
Motor eléctrico	B.P.B-032
Tanque elevado	B.P.B-033
Tanque subterráneo	B.P.B-034
Toma corriente 110 v	B.P.B-035
Toma corriente 220 v	B.P.B-036



Pulsador on/off	B.P.B-037
Tablero de control	B.P.B-038

Tabla 8.2. Población de equipos

La calibración, la frecuencia de recalibración y el mantenimiento de todos los equipos que conforman el banco de ensayos, se determina a partir del CÓDIGO

ASME PTC 8.2-1990 SECCION 4, ITEMS 4.47-4.48-4.49-4.50-4.51-4.51.1-4.51.2-4-51.3-4-51-4. Se recomienda de igual forma consultar las recomendaciones establecidas por los fabricantes de los equipos, es decir, sus manuales de operaciones y mantenimiento para su buen funcionamiento.

CAPITULO 9.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez concluido el diseño del banco de ensayos, en este capítulo se redactan las conclusiones al respecto. De igual manera se expresan todas las recomendaciones que se han podido extraer luego de la experiencia adquirida durante diseño de la monografía.

9.1 CONCLUSIONES

Los cálculos hidráulicos fueron desarrollados teniendo en cuenta de forma detallada las tuberías y accesorios que conforman cada ramal, determinando de esta manera las pérdidas primarias y secundarias respectivamente. Garantizando de esta manera confiabilidad cuando se proceda al montaje, puesta en marcha y operación. Con base en el código ASME PCT 8.2 -1990.

La instrumentación se selección teniendo en cuenta el monitoreo de variables de operación del banco de ensayos. Analizando para cada elemento comparando entre las diferentes alternativas.

Para el desarrollo de la interfaz HMI, se utilizó como plataforma el software LABVIEW (National Instrument), debido a las facilidades de programación y eficiencia que este ofrece.

Se puede concluir que LabVIEW, por la ventaja de que está basado en un lenguaje de programación de tipo gráfico (lenguaje G) simplifica y reduce el tiempo de desarrollo de una interfaz. Su selección fue acertada.

9.2 RECOMENDACIONES

Diseñar practicas experimentales para observar los modos de fallas típicos de bombas centrifugas, y simulaciones extremas como perdida súbita de energía eléctrica, entre otras.

Se recomienda revisar las conexiones entre la PC-Tarjeta de adquisición-Bloque de control-Instrumentos, antes de comenzar a usar el banco de ensayos.

A través de su HMI, el banco de ensayos cuenta con un selector de ramal para seleccionar cual se va a utilizar. Para saber a qué ramal se refiere se recomienda ver el planos isométricos.

De la información compilada se recomienda el uso de LABVIEW como plataforma para futuros proyectos. Sus principales ventajas son:

- Simplicidad en su manejo, debido a que está basado en un nuevo sistema de programación gráfica, llamada lenguaje G.
- Herramientas de presentación, gráficas, botones, indicadores y controles; los cuales serían complicados de realizar en bases como c++ donde el tiempo para lograr el mismo efecto sería muchas veces mayor.
- Es un programa de mucho poder donde se cuentan entre sus librerías especializadas como la librería de comunicaciones.
- Horas de desarrollo de una aplicación por ingeniero se reducen a un nivel mínimo.
- La programación de subrutinas en módulos de bloques hace posible el uso de estos en otras aplicaciones.

Es importante utilizar las tuberías y accesorios sugeridos en el proyecto para la instalación con el fin de generar adecuadamente la simulación de fallas.

Todos los equipos de la línea de instrumentación seleccionados en el diseño, pueden ser cambiados a la hora del montaje, por otros instrumentos que cumplan con las mismas características estipuladas en el capítulo 5. Teniendo en cuenta el ahorro económico, tiempo de entrega de los equipos, políticas de garantías, aspectos técnicos, entre otros aspectos.

Finalmente, se recomienda leer el Manual de Operación de este banco de ensayos para su óptima utilización y correcto funcionamiento, además de revisar la teoría acerca de la mecánica de fluidos, poniendo énfasis en las bombas centrífugas y sus curvas características.

CAPITULO 10.

BIBLIOGRAFIA

10. BIBLIOGRAFIA

10.1 LIBROS CONSULTADOS

[1.1] CRUZ JUAN C. Y LEÓN KAROL B. Tesis de grado: Evaluación y diagnóstico para la optimización energética del sistema de circulación de agua fría en las embarcaciones tipo nodriza fluvial construidas por COTECMAR. Cartagena de indias D.T. y C. 2003.

[1.2] FERNÁNDEZ P. Documento PDF del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, Bombas Centrifugas y Volumétricas.,

[1.3] MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos aplicada. Cuarta Edición. Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. México D.F. México. 1996.

[1.4] CRANE. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Editorial McGraw Hill. México D.F.

[1.5] ASME PTC 8.2-1990. Código para conducir y reportar ensayos en bombas centrifugas. Estados Unidos, 1991.

[1.6] RASHID, Muhammad, “Electrónica de Potencia”, 1970

[2.1] Empresa HIDROMAC, Barranquilla-Atlántico.

[6.1] CORRALES, Luis, “Interfaces de Comunicación Industrial”, 2004

10.2 LINKS CONSULTADOS

[L.1] Fichas técnicas de bombas centrifugas:

<http://www.hidromac.com>, diciembre 24 de 2008, 3:00 p.m.

[L.2] Bombas centrifugas:

www.ihm.com

[L.3] Bombas centrifugas:

www.sihi.com

[L.4] Bombas centrifugas:

www.barnes.com

[L.5] Medición de las magnitudes hidráulicas:

<http://209.85.215.104/search?q=cache:FuVdAHrzcXIJ:https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/4189/1/article3.pdf+medicion+de+las+magnitudes+hidraulicas+codigo+asme+ptc+19,5&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=co>,

enero 19 de 2008, 9:00 a.m.

10.3 OTROS

[O.1] MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. Editorial Harla S.A. México D.F. México.

[O.2] BOLTON, W. Instrumentación y control industrial 2ª Edición Madrid, Editorial Prentice Hall.

CAPITULO 11.

ANEXOS



Anexo 1: CD